

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**ALTERAÇÕES MORFO-FUNCIONAIS DO
MÚSCULO QUADRÍCEPS FEMORAL DE
HUMANOS LESADO PELO EXERCÍCIO
EXCÊNTRICO**

Fábio Viadanna Serrão

**São Carlos – SP
2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**ALTERAÇÕES MORFO-FUNCIONAIS DO MÚSCULO QUADRÍCEPS
FEMORAL DE HUMANOS LESADO PELO EXERCÍCIO
EXCÊNTRICO**

Fábio Viadanna Serrão

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Fisioterapia, Área de Concentração em Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tânia de Fátima Salvini

Co-orientadora: Prf^a. Dr^a. Vanessa Monteiro Pedro

Agência Financiadora: FAPESP, CAPES

**São Carlos - SP
2004**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

S487am

Serrão, Fábio Viadanna.

Alterações morfo-funcionais do músculo quadríceps femoral de humanos lesado pelo exercício excêntrico / Fábio Viadanna Serrão . -- São Carlos : UFSCar, 2004.

114 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2004.

1. Doenças musculares. 2. Lesão muscular. 3. Eletromiografia. 4. Torque. 5. Ressonância magnética nuclear. 6. Quadríceps femoral. I. Título.

CDD: 616.74 (20^a)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, **José Rodrigues Serrão e Raquel Martins Viadanna Serrão**

Exemplos de amor, dedicação e carinho,
Por me acolherem nos muitos momentos difíceis durante
a realização deste trabalho,
Por me oferecerem a oportunidade de estudar,
E pelo incentivo no desenvolvimento deste trabalho

Aos meus irmãos, **Renato e Leila**, e aos meus
avós pela presença e apoio nesta caminhada

À **Deus**, que me deu saúde e proteção
para o desenvolvimento deste trabalho

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO
DE FÁBIO VIADANNA SERRÃO
APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FISIOTERAPIA, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM
05 DE FEVEREIRO DE 2004.

PROF^a. DR^a. TÂNIA DE FÁTIMA SALNINI
ORIENTADORA
PPG-FT/UFSCAR

PROF^a. DR^a. VANESSA MONTEIRO PEDRO
PPG-FT/UFSCAR

PROF^a. DR^a. DÉBORA BEVILAQUA GROSSI
CURSO DE FISIOTERAPIA/USP

PROF. DR. RINALDO ROBERTO DE JESUS GUIRRO
CURSO DE FISIOTERAPIA/UNIMEP

PROF. DR. JÚLIO CERCA SERRÃO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA/USP

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos meus orientadores

À **Prof^a. Dr^a. Tânia de Fátima Salvini**, do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, pela amizade, paciência, pelo apoio sempre presente, por ter acreditado em mim, pela orientação segura, contribuindo para o meu crescimento científico. Muito Obrigado.

À **Prof^a. Dr^a. Vanessa Monteiro Pedro**, do Departamento de Fisioterapia da UFSCar, minha orientadora no mestrado, pela amizade, pelo apoio, pela incansável demonstração de dedicação à pesquisa, e pela co-orientação durante o doutorado.

Ao **Prof. Dr. Rinaldo Guirro**, do Curso de Fisioterapia da Universidade Metodista de Piracicaba, meu orientador durante a iniciação científica, pela amizade, e por me guiar à pós-graduação

AGRADECIMENTOS

À **minha família**, pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às **voluntárias** que participaram do procedimento experimental, sem as quais não seria possível a realização desta pesquisa.

À **Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)**, na pessoa do seu Reitor Oswaldo Baptista Duarte Filho, pela oportunidade que nos foi concedida para a realização do Curso de Doutorado.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela bolsa de estudo concedida.

À **FAPESP**, pelo apoio financeiro concedido.

À **Ana Paula**, secretária do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar, pelo auxílio dado durante o período de Pós-Graduação.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar.

Aos amigos do laboratório, **Anna Raquel Gomes, Eliane, Jamilson, Ana Raquel R. Lindquist, Karina, Adriana, Nuno, André, Thiago, Carol, Lúcia, Tereza** pela amizade e convívio durante este período.

Aos **professores do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar**, pelos ensinamentos transmitidos durante o doutorado.

Ao **Prof. MS. Carlos Eduardo dos Santos Castro**, do Departamento de Fisioterapia da UFSCar, pela orientação na avaliação da dor realizada neste estudo.

À minha avó **Belmira Martins Viadanna**, por possibilitar o meu estudo.

À minha namorada **Cibele Caniestro Mailho**, pelo convívio, pelo companherismo, pela compreensão e pela ajuda nos momentos difíceis.

À minha “irmãzinha” **Daniela Aparecida Biasotto Gonzalez**, minha grande amiga, pela convivência e por sempre estender suas mãos quando preciso de sua ajuda.

Ao **Prof. Dr. Alberto Carlos Amadio**, por ter aceitado em participar da Banca Examinadora deste trabalho e por sempre nos atender de uma forma muito prestativa.

À **Prof^a. Dr^a. Débora Bevilaqua Grossi** por ter aceitado em participar da Banca Examinadora deste trabalho.

À **Prof^o. Dr^o. Júlio Cerca Serrão** por ter aceitado em participar da Banca Examinadora deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos **Professores Doutores Daniela Aparecida Biasotto Gonzalez, Viviane Balisardo Minamoto, Rúbens Corrêa Araújo, Stela M. Mattiello G. Rosa** por terem aceitado participar como Membros Suplentes da Banca Examinadora deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Jorge Oishi**, pelo auxílio na análise estatística.

Ao **Laboratório Médico Dr. Maricondi** pela realização das análises de creatina quinase deste estudo.

Ao **Grupo de Ressonância Magnética da USP-São Carlos, em especial ao Bernd**, pela realização dos exames de ressonância magnética deste estudo.

A todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

A maioria dos estudos sobre a lesão e regeneração muscular utilizou métodos invasivos em animais. Embora o processo de regeneração muscular em muitos mamíferos seja similar ao encontrado em humanos, é necessário melhorar a aplicação de procedimentos não-invasivos usados na avaliação da lesão e regeneração muscular em humanos. Técnicas não-invasivas tais como a eletromiografia de superfície, a dinamometria isocinética e a ressonância magnética nuclear (RMN) por imagem têm sido utilizadas em estudos em humanos para a avaliação do músculo-esquelético. No entanto, raros são os estudos em que todos esses procedimentos são utilizados conjuntamente, permitindo uma avaliação mais detalhada da função e da morfologia muscular. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento do torque isométrico máximo médio, a atividade elétrica e a dor muscular antes da lesão, durante os 7 primeiros dias pós-lesão e também entre o 21º e 30º dias pós-lesão, quando o músculo já se regenerou. Para isso, foi induzida lesão no músculo quadríceps femoral através de exercício excêntrico intenso. Para comprovar se o modelo utilizado foi efetivo para produzir a lesão muscular, foi também avaliada a atividade plasmática da creatina-quinase (CK) e foi realizada a RMN por imagem do músculo quadríceps femoral. Participaram deste estudo 10 universitárias voluntárias ($21,9 \pm 1,5$), sedentárias e sem qualquer patologia osteomioarticular no membro inferior direito. O torque isométrico máximo médio extensor foi avaliado através de contrações isométricas máximas com a articulação do joelho à 90º de flexão, num Dinamômetro Isocinético (*Biodes Multi-joint System 2*). A atividade elétrica (*Root Mean Square-RMS* - Raiz Quadrada da Média dos Quadrados e a Frequência Mediana) dos músculos vasto medial oblíquo (VMO), vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) foi analisada simultaneamente à mensuração do torque isométrico, utilizando-se um Conversor Analógico – Digital A/D (LYNX) e eletrodos ativos diferenciais simples de superfície (LYNX). As análises quantitativas e qualitativas da dor foram realizadas pela Escala Visual Analógica – *Visual Analog Scales* (VAS) e pela Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor. A atividade da CK foi mensurada utilizando-se o Kit CK-NAC UV unitest e a RMN foi realizada no equipamento ToRM 0.5. Para a indução da lesão no músculo quadríceps femoral, as voluntárias foram submetidas a 4 séries de 15 contrações isocinéticas excêntricas máximas, à velocidade angular de movimento de 5º/s. Os resultados deste estudo demonstraram que o torque isométrico máximo médio diminuiu significativamente até o 4º dia após o exercício excêntrico (imediatamente após e do 1º ao 3º dias após, $p < 0,01$; 4º dia após, $p < 0,05$). O RMS dos músculos VMO, VL e RF diminuiu no 2º dia após o exercício ($p < 0,01$, $p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente). Entretanto, o RMS dos músculos VL e RF entre o 21º e 30º dias foi maior ao antes do exercício ($p < 0,01$). Não houve alteração na frequência mediana após o exercício excêntrico (VMO, $p = 0,90$; VL, $p = 0,55$ e RF, $p = 0,89$). A intensidade da dor foi maior até o 3º dia após o exercício excêntrico, com o pico ocorrendo no 2º dia após ($p < 0,01$). O questionário McGill demonstrou que a palavra “pesada” foi a mais utilizada para caracterizar a dor após a lesão induzida pelo exercício excêntrico. O pico da atividade da CK ocorreu

no 2º dia após o exercício excêntrico ($p < 0,05$). A avaliação pela RMN demonstrou que a maior extensão da lesão ocorreu no 2º e 7º dias após, com algumas voluntárias ainda apresentando sinais de lesão entre o 21º e 30º dias. Em conclusão, o exercício excêntrico diminuiu o torque isométrico máximo médio, aumentou a atividade da CK, alterou o RMS e resultou em dor, os quais se recuperaram gradualmente na primeira semana, apesar da presença de lesão muscular.

Palavras chave: Lesão Muscular, Eletromiografia, Torque, Ressonância Magnética Nuclear, Quadríceps Femoral, Dor, Creatina Quinase

ABSTRACT

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL CHANGES OF HUMAN QUADRICEPS FEMORIS MUSCLE INJURED BY ECCENTRIC EXERCISE

Most studies about muscle regeneration and injury used invasive methods in animals. Although the muscle regeneration process in many mammals is similar to the one found in humans, it is necessary to improve the application of non-invasive procedures used in the evaluation of the muscle regeneration and injury in humans. Non-invasive techniques such as surface electromyography, isokinetic dynamometry and nuclear magnetic resonance (NMR) for imaging have been used in studies in humans for the evaluation of the skeletal muscle. However, studies in which all these procedures are used together, allowing a more detailed evaluation of the muscle morphology and function, are rare. Thus, the aim of this study was to evaluate the behaviour of the medium maximal isometric torque, the electrical activity and the muscle pain before the injury, during the 7 days after the injury and also between the 21st and 30th days after the injury, when the muscle has already regenerated. For this, an injury was induced in the quadriceps femoris muscle through intense eccentric exercise. To confirm if the model utilized was effective to produce the muscle injury, the plasma activity of the creatine kinase (CK) was also evaluated and the NMR for imaging of the quadriceps femoris muscle was realized. Ten university student volunteers ($21,9 \pm 1,5$), sedentary and without musculoskeletal dysfunction in the lower right limb participated in this study. The extensor medium maximal isometric torque was evaluated through maximal isometric contraction with the knee joint at 90° of flexion, in the isokinetic dynamometer (*Biodex Multi-joint System 2 da BIODEX MEDICAL SYSTEM Inc*). The electrical activity (*Root Mean Square-RMS* and Median Frequency) of the vastus medialis oblique (VMO), vastus lateralis (VL) and rectus femoris (RF) muscles was analysed simultaneously to mensuration of the isometric torque, utilizing a Digital Analogue Converter A/D (LYNX) and single differential active electrodes of surface (LYNX). The quantitative and qualitative analysis of the pain were realized by Visual Analogue Scale (VAS) and by Brazilian Version of Short-Form McGill Pain Questionnaire. The activity of CK was measured utilizing the Kit CK-NAC UV unitest (Wiener lab) and the NMR was realized in the ToRM 0.5 equipment. For the induction of quadriceps femoris muscle injury, the volunteers were submitted to 4 series of 15 maximal eccentric isokinetic contractions, at angle velocity $5^\circ \cdot s^{-1}$. The results of this study demonstrated that the medium maximal isometric torque reduced significantly until the 4th day after the eccentric exercise (immediately after and 1st - 4th days after, $p < 0.01$; 4th day after, $p < 0.05$). The RMS of the VMO, VL and RF muscles reduced significantly the 2nd day after ($p < 0.01$, $p < 0.01$ e $p < 0.05$, respectively). However, the RMS of the VL and RF muscles between the 21st and 30th days was significantly greater than before the exercise ($p < 0.01$). There wasn't alteration in the median frequency after the eccentric exercise (VMO, $p = 0.90$; VL, $p = 0.55$ e RF, $p = 0.89$). The intensity of pain was greater until the 3rd day, and the peak occurred in the 2nd day after ($p < 0.01$). The

McGill Pain Questionnaire demonstrated that the word “heavy” was the most used to describe the pain after the induced injury by eccentric exercise. The peak of activity of the CK occurred in the 2nd day after the eccentric exercise ($p < 0.05$). The evaluation by NMR demonstrated that the greatest extension of injury occurred in the 2nd and 7th days after, and some volunteers still showed injury signs between the 21st and 30th days. In conclusion, the eccentric exercise reduced the medium maximal isometric torque, increased the activity of the CK, changed the RMS and resulted in pain, which were gradually recovered in one week, despite the presence of muscle injury.

Key words: Muscle injury, Torque, Nuclear Magnetic Resonance, Quadriceps Femoris, Pain, Creatine Kinase

SUMÁRIO

	Pág.
BANCA EXAMINADORA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	ix
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
3- OBJETIVOS	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
5 RESULTADOS.....	45
6 DISCUSSÃO	61
7 CONCLUSÕES	80
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICES.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do Torque Isométrico Máximo Médio antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21° e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	105
Tabela 2: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo VMO antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	106
Tabela 3: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo VL antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	107
Tabela 4: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo RF antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	108
Tabela 5: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo VMO antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	109
Tabela 6: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo VL antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	110
Tabela 7: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo RF antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	111
Tabela 8: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da intensidade da dor pela escala analógica visual (VAS) no primeiro dia antes (Pré), no segundo e terceiro dia antes (pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.	112

Tabela 9: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da atividade plasmática da creatina quinase (CK) antes (Pré), no 2º dia após (2), no 7º dia após (7) e entre o 21 e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.	113
Tabela 10- Porcentagem de escolha de cada palavra da Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.	52
Tabela 11- Índice médio e desvio padrão da avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.	53
Tabela 12- Número médio e desvio padrão das palavras escolhidas no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.	54
Tabela 13: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da intensidade da dor presente (PPI) no primeiro dia antes (Pré), no segundo e terceiro dias antes (pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.	114
Tabela 14- Avaliação pela RMN por imagem da lesão nos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e vasto intermédio (VI) antes (Pré), no 2º (pós 2), no 7º (pós 7) e entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1- Conversor Analógico-Digital A/D (CAD 12/36-60K).	21
Figura 2- Eletrodos ativos diferenciais simples de superfície (Lynx) (A) e eletrodo de referência (B).	22
Figura 3- Dinamômetro isocinético <i>Biodex System</i> e acessórios. 1- Módulo de controle; 2- Cabeça do dinamômetro; 3- Braço de alavanca; 4- Almofada de resistência ao movimento; 5- Plataforma para o deslocamento da cabeça do dinamômetro; 6- Cadeira; 7- Cintos em Xis; 8- Cinto pélvico; 9- Plataforma para deslocamento da cadeira do dinamômetro.	23
Figura 4- Equipamento de Ressonância Magnética Nuclear por Imagem ToRM 0.5.	28
Figura 5- Posicionamento da voluntária no dinamômetro isocinético para a realização da contração isométrica voluntária máxima (CIVM).	30
Figura 6- Posicionamento dos eletrodos no ventre dos músculos VMO (A), RF(B) e VL (C).	32
Figura 7 - Posição inicial (A) e posição final (B) do exercício isocinético excêntrico para a indução da lesão no músculo quadríceps femoral.	36
Figura 8- Exemplo de uma imagem localizadora sagital demonstrando as secções através dos músculos da coxa. A primeira secção está a aproximadamente 4 cm acima da região mais distal do côndilo femoral (seta em vermelho). A- região anterior da coxa, P- região posterior da coxa	40
Figura 9- Exemplo de uma imagem axial do terço médio da coxa direita antes da indução da lesão pelo exercício excêntrico. VM- vasto medial, VL- vasto lateral, RF- reto femoral, VI- vasto intermédio e (●)- fêmur.	41

Figura 10- Valores médios e desvio padrão do Torque isométrico máximo médio antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21° e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico. 45

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's
n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30)

Figura 11- Valores médios e desvio padrão do RMS dos músculos VMO (A), VL (B) e RF (C) antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's 47
Para os músculos VMO e VL: n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30)

Para o músculo RF: n = 10 (pré, 1 e de 4 a 7), n = 9 (IP, 2-3), n = 7 (21-30)

Figura 12- Valores médios e desvio padrão da FM dos músculos VMO (A), VL (B) e RF (C) antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21° e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico. Teste *One-Way* Anova, $p < 0,05$

Para os músculos VMO e VL: n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30) 48

Para o músculo RF: n = 10 (pré, 1 e de 4 a 7), n = 9 (IP, 2-3), n = 7 (21-30)

Figura 13- Valores médios e desvio padrão da intensidade da dor pela VAS no 1° dia antes (Pré), no 2° e 3° dias antes (Pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21° e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico. Os valores obtidos após o exercício excêntrico foram comparados com os obtidos no 2° e 3° dias antes do exercício. 49

** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's
n = 10 (pré a 7), n = 7 (21-30)

Figura 14- Valores médios e desvio padrão da atividade plasmática da CK antes (Pré), no 2° dia após (2), no 7° dia após (7), e entre o 21° e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico. 50

* = $p < 0,05$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's
n = 10 (pré a 7), n = 7 (21-30)

Figura 15- Valores médios e desvio padrão da intensidade da dor pelo PPI no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Os valores obtidos após o exercício excêntrico foram comparados com os obtidos no 2º e 3º dias antes do exercício. 55

** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's
n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Figura 16- Imagens de RMN, do terço médio da coxa de uma voluntária, antes (Pre), no 2º (2), no 7º (7) e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Nota-se áreas claras indicando lesão muscular (asteriscos). 58

Vasto medial (VM), Vasto lateral (VL), Reto Femoral (RF), Vasto Intermédio (VI) e Fêmur (●)

Figura 17- Imagens de RMN do terço médio da coxa direita de uma voluntária, antes (Pre), no 2º (2), no 7º (7) e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Nota-se áreas claras indicando lesão muscular (asteriscos), mais evidente no músculo RF. 60

Vasto medial (VM), Vasto lateral (VL), Reto Femoral (RF), Vasto Intermédio (VI) e Fêmur (●)

1- INTRODUÇÃO

A alta incidência de lesões nas atividades esportivas, no trabalho e em acidentes de modo geral, tem estimulado diversos estudos tanto para elucidar o processo de regeneração tecidual, como para avaliar a eficiência de procedimentos terapêuticos, que possam auxiliar na recuperação funcional dos indivíduos. Como o músculo esquelético é um dos tecidos mais lesados, os avanços científicos já obtidos, os quais contribuíram para elucidar diversos aspectos envolvidos no processo de lesão e regeneração muscular, bem como a avaliação dos diferentes estágios desse processo, têm sido muito importante para a área da reabilitação e medicina esportiva.

O exercício excêntrico tem sido utilizado como um modelo fisiológico de indução de lesão muscular em humanos. Segundo Ebbeling e Clarkson (1989) e Goldspink (1999), o exercício excêntrico é considerado um dos tipos de exercício mais lesivos ao músculo, devido ao aumento de tensão na linha Z dos sarcômeros, principalmente em músculos de pessoas sedentárias. Alguns estudos têm demonstrado que, para vários grupos musculares, a ativação das unidades motoras durante uma contração excêntrica é 35-60% menor daquela observada durante uma contração concêntrica (Potvin, 1997). Assim, a lesão muscular tem sido atribuída ao *stress* excessivo sobre um pequeno número de fibras musculares ativas durante a contração excêntrica (Moritani, 1988).

A lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico tem sido associada à diminuição da força (Rinard et al., 2000; Serrão et al., 2003), alterações no sinal eletromiográfico (Berry et al., 1990), presença de dor muscular (Brown et al., 1999), e aumento do nível plasmático de proteínas musculares tal como a creatina quinase (Lee e Clarkson, 2003). Além disso, a imagem obtida pela ressonância magnética nuclear (RMN) permite a determinação da localização e a extensão da lesão (Nosaka e Clarkson, 1996).

Uma grande parte dos trabalhos que estudou a lesão e regeneração muscular utilizou métodos invasivos em animais. Embora o processo de regeneração muscular em muitos mamíferos seja similar ao encontrado em

humanos, é necessário melhorar a aplicação de procedimentos não-invasivos usados na avaliação da lesão e regeneração muscular em humanos. Técnicas não-invasivas tais como a eletromiografia de superfície, a dinamometria isocinética e a ressonância magnética por imagem têm sido utilizadas em estudos em humanos para a avaliação do músculo-esquelético.

Lund et al. (1998) avaliaram, por meio do dinamômetro isocinético, as alterações no torque isocinético concêntrico e excêntrico (a 60°/s) antes e durante os primeiros 11 dias após a lesão do músculo quadríceps femoral pelo exercício isocinético excêntrico máximo à velocidade angular de 60°/s, em 7 mulheres. Os resultados demonstraram que os torques isocinéticos concêntrico e excêntrico retornaram ao nível pré-exercício no 6º e 3º dias, respectivamente.

McHugh et al. (2000) registaram, por meio da eletromiografia de superfície, a atividade dos músculos posteriores da coxa durante 6 séries de contração isocinética excêntrica ou concêntrica submáxima. O cálculo integral durante a contração isométrica imediatamente após e no 1º, 2º e 3º dias após o exercício isocinético (excêntrico e concêntrico) foi similar àquele registrado antes da lesão. A frequência média aumentou imediatamente após o exercício isocinético (excêntrico e concêntrico), porém não houve diferença em relação à linha de base no 1º, 2º ou 3º dias após o exercício (excêntrico e concêntrico).

Em um estudo minucioso, Foley et al. (1999) avaliaram, através da ressonância magnética nuclear as alterações no volume e no tempo de relaxação T2 após lesão induzida pelo exercício excêntrico nos músculos flexores do cotovelo. As medidas foram realizadas antes, imediatamente após, e no 1º, 2º, 4º, 7º, 14º, 21º e 56º dias após o exercício. Os autores relataram um aumento no tempo de relaxação T2, que permaneceu aumentado aproximadamente 10% até o 56º dia após o exercício. O volume no compartimento bíceps braquial/braquial aumentou após o exercício, com o pico (volume 40% superior ao da medida antes do exercício) ocorrendo no 2º dia após o exercício. No 14º dia após o exercício o volume foi menor que o volume pré-exercício, e isso foi mantido até o 56º dia. Os autores atribuíram esta diminuição no volume a partir do 14º dia após a uma lesão irreversível em uma

pequena população de fibras musculares “susceptíveis” ou “vulneráveis” à lesão.

No entanto, poucos são os estudos em que todos esses procedimentos são utilizados conjuntamente, permitindo uma avaliação mais detalhada da função e da morfologia muscular. Esta avaliação permitiria uma melhor compreensão do processo de lesão/regeneração do músculo-esquelético e um melhor direcionamento do programa de reabilitação. Assim, o presente estudo fornece uma contribuição neste sentido, avaliando particularmente o período pré e pós-lesão muscular.

2- REVISÃO DA LITERATURA

Neste item serão relatados os estudos encontrados na literatura sobre o exercício excêntrico e a lesão muscular induzida por esse tipo de exercício, a avaliação da lesão muscular pela ressonância magnética nuclear, as alterações na atividade da creatina quinase, na força muscular, na atividade elétrica, e o comportamento da dor muscular após a lesão induzida pelo exercício excêntrico.

2.1- Exercício excêntrico e lesão muscular

Tem sido demonstrado que o exercício excêntrico oferece efeitos benéficos e deletérios ao músculo esquelético. Um dos principais efeitos benéficos é que o exercício excêntrico fornece um potente estímulo para o fortalecimento muscular. Por outro lado, o exercício excêntrico em músculos de pessoas sedentárias está associado à lesão e dor muscular.

Lieber e Fridén (1999) compararam o nível de lesão causado pelo alongamento passivo, contração isométrica e contração excêntrica no músculo tibial anterior de coelhos. Houve uma diminuição na força após os 3 tipos de exercícios, mas esta foi significativamente maior após a contração excêntrica

comparada ao alongamento passivo ou a contração isométrica. Além disso, nenhuma anormalidade ultra-estrutural foi constatada nos músculos submetidos à contração isométrica ou ao alongamento passivo, enquanto nos músculos submetidos à contração excêntrica observou-se desorganização dos sarcômeros, particularmente na região da linha Z.

Em um estudo semelhante realizado anteriormente, Lieber e Fridén (1988) constataram uma lesão específica das fibras rápidas (IIB ou rápidas-glicolíticas) após o exercício excêntrico. Embora tenha sido demonstrado que as fibras musculares rápidas são mais vulneráveis à lesão, o mecanismo envolvido não tem sido bem estabelecido. Vários mecanismos têm sido propostos incluindo lesão mecânica direta, lesão isquêmica, lesão metabólica e lesão resultando da incapacidade de regular adequadamente os íons cálcio. Em função da contração excêntrica estar associada à alta produção de força e resultar em lesão, pressupôs-se que a alta força muscular causava a lesão. Assim, Lieber e Fridén (1993) conduziram um experimento em animais para verificar esse pressuposto. Os resultados deste estudo mostraram que a magnitude da lesão realmente estava intimamente correlacionada à magnitude da tensão muscular.

As fibras musculares pertencentes a diferentes unidades motoras podem ter comprimentos distintos (Loeb et al., 1987). Estes autores demonstraram que as fibras musculares não obrigatoriamente estendiam-se de um tendão ao outro tendão. Ounjian et al. (1991) observaram que muitas fibras tipo IIB terminavam ou originavam-se dentro do próprio ventre muscular. Assim, sugeriu-se que a deformação muscular pode ser diferencialmente distribuída entre os tipos de fibras musculares, tal que a tensão nos diferentes tipos de fibras não seja similar. Baseados nestes resultados, Lieber e Fridén (1999) afirmaram que a lesão específica das fibras tipo IIB pode ter uma explicação geométrica simples, isto é, que elas experimentam maior tensão e lesão devido ao menor comprimento de suas fibras. Desta forma, a lesão seletiva das fibras tipo IIB pode estar relacionada à orientação das fibras musculares no interior dos músculos.

As altas forças produzidas pela contração excêntrica são transmitidas através do músculo pelo tecido conectivo não-contrátil (Kirkendall e Garret, 2002). O citoesqueleto muscular parece estar intimamente envolvido com a lesão pelo exercício excêntrico. Assim, alguns estudos têm avaliado o efeito da contração excêntrica no citoesqueleto muscular. Embora a maioria das micrografias do músculo esquelético mostra o padrão e estriação que resulta primariamente da actina e da miosina, numerosas outras proteínas também estão presentes no interior da célula (Lieber et al., 2002). Especificamente, as proteínas citoesqueléticas mantêm a integridade estrutural da treliça miofibrilar, transmitindo a força gerada pela interação actina-miosina. As proteínas citoesqueléticas mais estudadas, encontradas no interior do sarcômero, são a titina (também conhecida como conectina) e a nebulina. No entanto, uma rede de filamentos intermediários que faz parte do citoesqueleto é encontrada externamente ao sarcômero.

Lazarides (1980) estudou a linha Z do músculo-esquelético e demonstrou a localização periférica de uma proteína de ligação (filamentos intermediários) entre linhas Z adjacentes. Lazarides (1980) chamou esta proteína de desmina (grego, desmos=ligação) e hipotetizou que a ligação das linhas Z adjacentes forneceu estabilização mecânica à fibra muscular. Assim, a desmina atua como um estabilizador mecânico extra-sarcomérico da regularidade e integridade miofibrilar (Lieber e Fridén, 1999).

Lieber e Fridén (1999) relataram que a anormalidade estrutural mais significativa observada após o exercício excêntrico é a perda seletiva da desmina, o que não ocorre após exercício isométrico ou concêntrico. Interessantemente, foi constatado que esta proteína é mais abundante nas fibras musculares lentas do que nas fibras dos tipos rápidas-glicolíticas e rápidas-glicolíticas-oxidativas (Boudriau et al., 1993). A perda da desmina é a alteração estrutural mais rápida observada após exercício excêntrico, podendo ocorrer nos cinco primeiros minutos após uma série de exercícios excêntricos (Lieber et al., 1996). Esta dramática e rápida perda da desmina apontam para vários tipos de hidrólises enzimáticas como um provável mecanismo de lesão. Um candidato atrativo para o mecanismo proteolítico é a ativação, pelo cálcio,

da protease calpaína, a qual está presente no músculo-esquelético (Dayton et al., 1976) e para a qual a desmina é um substrato (Belcastro, 1993). O mecanismo de ação da protease calpaína requer um aumento na concentração de íons cálcio intracelular (Lieber e Fridén, 1999).

O seguinte mecanismo tem sido proposto para a lesão induzida pelo exercício excêntrico: a- o *stress* na fibra muscular resulta no aumento dos íons cálcio no meio intracelular. O aumento na concentração do cálcio pode ser devido ao influxo de cálcio através dos canais ativado pelo *stress* e pelo rompimento do túbulo transversal e do sarcolema; b- o aumento do cálcio leva à ativação da calpaína e hidrólise seletiva ou rompimento da rede de filamentos intermediários (desmina); c- após a lesão da rede de filamentos intermediários ter sido alterada devido à proteólise, o sistema miofibrilar é rompido quando o músculo é submetido à ativações repetidas e se torna incapaz de desenvolver a tensão normal.

Dependendo da intensidade do exercício excêntrico, o nível de lesão pode ser leve e detectável somente com microscopia eletrônica, ou mais severo, o qual pode ser observado por microscopia de luz. No caso de lesão leve avaliada imediatamente após o exercício, somente alguns sarcômeros isolados através do músculo são afetados e mostram evidências de alterações na linha Z com desorganização miofibrilar. Dois a três dias após, a lesão torna-se mais intensa, sendo em geral reparada em 10 dias, em humanos. Na lesão severa é observada intensa lesão miofibrilar e citoesquelética, edema, invasão de células mononucleares, atrofia e necrose de fibras musculares e finalmente a regeneração. A regeneração total do músculo ocorre em geral, em 3 semanas após a indução da lesão (Clarkson e Newham, 1995).

2.2- Avaliação da lesão muscular por Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

A imagem por ressonância magnética nuclear (RMN) é uma técnica não-invasiva, valiosa no estudo da anatomia muscular, da fisiologia do

exercício e de tecidos traumatizados. Comparada a outras técnicas de diagnóstico por imagem, a RMN oferece várias vantagens devido à sua alta sensibilidade para identificar alterações na composição, que ocorrem em associação com a lesão muscular (Shellock e Fleckenstein, 1997). Assim, a imagem por RMN pode contribuir na avaliação e tratamento das lesões musculares.

A patofisiologia da dor muscular de início tardio, decorrente da lesão pelo exercício excêntrico, não é completamente conhecida. Uma das maiores dificuldades na investigação da dor muscular tardia é a incapacidade de localizar precisamente o músculo envolvido e caracterizar a extensão da lesão. Entretanto, com a RMN é possível obter informações para melhor caracterizar as anormalidades musculares associadas à dor muscular tardia.

As principais variáveis utilizadas para estudar a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico são a intensidade do sinal, as alterações no volume ou área de secção transversal, e as alterações no tempo de relaxação T2 (transverso ou *spin-spin*). Na presença de lesão muscular pelo exercício excêntrico são observadas regiões com um aumento na intensidade do sinal (regiões claras na imagem em um protocolo de avaliação denominado seqüência inversão-recuperação), indicando a presença de edema. O aumento na área de secção transversal nos primeiros dias após o exercício excêntrico também já foi observado por Shellock et al. (1991). Estes autores indicaram o edema como o responsável por esse aumento.

O tempo de relaxação T2 é uma medida também indicativa da presença de edema por alterações no meio intracelular. Desde a década de 80 tem sido estabelecido que o tempo de relaxação T2 do músculo em imagens de RMN aumenta durante o exercício, retornando aos valores de repouso dentro de uma hora após o exercício. Esta alteração aguda parece surgir de alterações na química da água intracelular (Ploutz-Snyder, 1997). O tempo de relaxação T2 também pode elevar com a intensidade do exercício e, assim, pode servir como um índice do recrutamento muscular (Jenner et al., 1994). Mais recentemente, tem sido observado um segundo aumento no tempo de relaxação T2 desenvolvendo-se gradualmente entre o 1º e 6º dias após o

exercício excêntrico, mas não após o exercício concêntrico ou isométrico (Shellock et al., 1991). Tem sido observado uma relação entre o aumento no tempo de relaxação T2 e os outros marcadores de lesão muscular nos primeiros dias após a lesão pelo exercício excêntrico, com a conclusão geral que este fenômeno crônico de T2 reflete edema. Entretanto, alguns estudos têm avaliado o T2 por longos períodos, e documentado elevações persistentes no T2 muscular por até 2 a 3 meses após o exercício excêntrico (Shellock et al., 1991). Desta forma, o T2 muscular pode aparentemente permanecer elevado mesmo com a ausência de edema, sugerindo que este aumento residual em T2 pode não ser atribuído ao acúmulo de água extracelular e, sim, refletir uma adaptação na resposta de T2 (Foley et al., 1999).

Segundo Takahashi et al. (1994), o aumento no conteúdo de água no músculo lesado pode ser devido à lesão no tecido conectivo, um aumento na permeabilidade capilar, uma degradação de proteínas do tecido muscular ou uma combinação destes fatores.

Em um importante estudo, Shellock et al. (1991) analisaram as alterações na intensidade do sinal no 1º, 3º, 5º, 10º, 25º, 40º, 50º, 60º e 80º dias após a lesão dos músculos flexores do cotovelo pelo exercício excêntrico. Foi demonstrado um leve aumento na intensidade do sinal no 1º dia após o exercício. No 3º dia após, foi observado um padrão mais difuso de lesão e um aumento na intensidade do sinal do músculo braquial e em quase todo músculo bíceps braquial. A maior intensidade do sinal foi observada no 5º dia após o exercício, com uma diminuição até o 60º dia após. No 80º dia após o exercício, os autores relataram um retorno da intensidade do sinal ao nível pré-exercício. Os autores ainda relataram uma alteração (aumento) no tempo de relaxação T2 até o 50º dia após o exercício. Assim, ainda houve uma alteração no T2 muscular mesmo na ausência de edema.

Nosaka e Clarkson (1996) estudaram as alterações no exame de RMN após a lesão induzida pelo exercício excêntrico nos músculos flexores do cotovelo, em 6 indivíduos. Foram realizadas avaliações antes, e no 1º, 3º, 6º, 10º, 23º, 31º e 58º dias após o exercício. Os resultados deste estudo demonstraram um aumento na área de secção transversal nos primeiros dias

após o exercício excêntrico e um aumento na intensidade do sinal no músculo braquial em todos os indivíduos. Em 3 destes indivíduos houve também um aumento na intensidade do sinal no músculo bíceps braquial, com um aumento mais profundo no 3º ou 6º dias, e em um dos indivíduos estando ainda presente no 23º dia após. Além disso, todos os indivíduos apresentaram um aumento máximo no tempo de relaxação T2 no 3º ou 6º dia após. O tempo de relaxação T2 somente retornou à linha de base no 23º dia, exceto para uma voluntária, que retornou no 31º dia.

2.3- Avaliação da Força e dos níveis de Creatina-quinase (CK) após a lesão muscular

A avaliação da alteração da força muscular e da atividade plasmática da CK tem sido extensivamente utilizada como um indicador de lesão muscular após o exercício excêntrico. A diminuição prolongada da força após o exercício excêntrico é considerada uma das medidas indiretas mais válida e confiável da lesão muscular em humanos (McHugh, 2000).

Por sua vez, a CK é uma enzima que degrada a fosfocreatina para a liberação de altas quantidades de energia e formação de novas moléculas de ATP. No entanto, quando ocorre uma lesão na membrana da fibra muscular a CK se extravasa e é observado um aumento na atividade plasmática da CK. Assim, a CK é muitas vezes usada como um marcador bioquímico para o infarto do miocárdio e para as lesões do músculo-esquelético após o exercício. Após o exercício excêntrico, a CK é liberada na circulação e permanece elevada por vários dias.

Clarkson et al. (1992) avaliaram o comportamento da força e da atividade da creatina quinase (CK) antes e durante os 10 primeiros dias após a lesão dos músculos flexores do cotovelo induzida por contrações excêntricas máximas. Os autores relataram que a força muscular sofreu um decréscimo superior a 50 % imediatamente após o exercício, não havendo recuperação da

força total até o 10º dia. Por sua vez, a atividade da CK aumentou significativamente, com pico ocorrendo no 4º dia após o exercício.

Pearce et al. (1998) investigaram o efeito de uma série de exercícios excêntricos máximos para indução de lesão, na força isométrica máxima dos músculos flexores do cotovelo à 90º de flexão e na atividade da CK, em 5 homens e 3 mulheres. Os autores relataram uma diminuição significativa na força isométrica máxima a partir do 1º dia após o exercício, e esta diminuição manteve-se significativa até o 21º dia. A atividade da CK teve seu maior aumento entre o 3º e 7º dias, retornando aos valores normais no 14º dia após o exercício.

A atividade da CK antes, e no 1º, 2º, 3º, 6º e 9º dias após a lesão induzida pelo exercício isocinético excêntrico máximo do músculo quadríceps femoral de 6 homens foi estudada por Prou et al. (1999). Os autores relataram que o pico de atividade da CK ocorreu no 1º dia após o exercício e retornou ao nível pré-exercício no 9º dia após.

Schwane et al. (2000) estudaram a atividade da CK antes, imediatamente após, e no 1º, 2º, 4º e 7º dias após 60 min de marcha para trás em uma esteira motorizada, em 20 homens afro-americanos. Esta atividade apresenta um grande componente de contração excêntrica dos músculos flexores plantares. Os autores relataram um aumento significativo na atividade da CK no 4º e 7º dias após o exercício.

Byrne et al. (2001) avaliaram o torque isométrico e concêntrico (a 30º/s e 180º/s) e a atividade da CK antes, imediatamente após e no 1º, 2º, 4º e 7º dias após a lesão induzida pelo exercício isocinético excêntrico máximo no músculo quadríceps femoral a uma velocidade angular de 90º/s, em 5 homens e 3 mulheres. Os autores relataram uma redução tanto no torque isométrico quanto no concêntrico até o 7º dia após o exercício. A atividade da CK foi significativamente maior no 4º e 7º dias após o exercício, quando comparado ao valor antes do exercício.

Lee et al. (2001) analisaram, em homens e mulheres, a resposta da CK imediatamente após e durante os quatro primeiros dias após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico máximo nos músculos flexores do cotovelo.

Os resultados deste estudo demonstraram um aumento significativo, quando comparado ao nível pré-exercício, na atividade plasmática da CK do 2º ao 4º dia após o exercício, com o pico ocorrendo no 3º dia após.

Lee e Clarkson (2003) avaliaram a força isométrica máxima e a atividade plasmática da CK antes e durante os cinco primeiros dias após a indução de lesão através de 50 contrações excêntricas máximas dos músculos flexores do cotovelo, em 8 homens. A força isométrica máxima diminuiu aproximadamente 60% imediatamente após, e não retornou ao nível pré-exercício até o 5º dia após o exercício. Em relação à resposta da CK, os autores relataram um aumento significativo na atividade, com o pico ocorrendo entre o 4º e 5º dias.

2.4- Lesão Muscular e Eletromiografia

A eletromiografia cinesiológica como um método de análise da função muscular tem se desenvolvido nos últimos 50 anos (Sodeberg e Knutson, 2000). Em biomecânica, 3 aplicações dominam o uso do sinal eletromiográfico de superfície: 1- sua relação como um indicador do início da contração muscular, 2- sua relação com a força desenvolvida pelo músculo, e 3- seu uso como um índice do processo de fadiga no músculo (De Luca, 1997).

A curva típica do sinal eletromiográfico registrado por eletrodos extracelulares é descrita como um potencial de ação bifásico. Resumidamente, os eventos envolvidos na formação do potencial de ação bifásico do sinal eletromiográfico são: inicialmente, devemos considerar a presença de dois eletrodos na superfície da pele próximos à membrana de uma fibra muscular. No estado de não excitação (repouso), a diferença de potencial entre os eletrodos é zero. Tão logo a propagação de uma excitação alcança um eletrodo uma diferença de potencial é mensurada (fase positiva do potencial). Quando a propagação da excitação na membrana da fibra muscular alcança a região intermediária aos eletrodos, novamente não há diferença de potencial entre os eletrodos. Quando a excitação progride novamente em direção ao

outro eletrodo, ocorre uma nova diferença de potencial entre os eletrodos (fase negativa do potencial). Esta diferença de potencial permanece até que a membrana entre novamente em estado de repouso e o mesmo potencial esteja presente nos dois eletrodos. Assim, a curva típica do sinal registrada usando eletrodos extracelulares é caracterizada por um reverso na polaridade, ou então, um potencial de ação bifásico (Luttmann, 1996).

Os dados eletromiográficos têm sido submetidos a diferentes tipos de análises, seja no domínio do tempo ou no domínio da frequência. No domínio do tempo, dois parâmetros são mais comumente utilizados: o valor de *root-mean-square* (RMS) – raiz quadrada da média dos quadrados - e o valor médio retificado. Ambos são apropriados e fornecem medidas úteis da amplitude do sinal (De Luca, 1997).

O valor de RMS está relacionado à amplitude do sinal eletromiográfico, que, por sua vez, é determinada pelo número de unidades motoras ativadas em um determinado tempo de contração (Basmajian e De Luca, 1985; De Luca, 1997; Merletti et al., 2001). Para os sinais de eletromiografia detectados durante contrações voluntárias, o valor de RMS pode ser mais apropriado, pois ele representa a potência do sinal e desta forma tem um significado físico mais claro (De Luca, 1997).

No domínio da frequência, os parâmetros mais utilizados são a frequência mediana (MDF), a média e a moda. A análise no domínio da frequência tem sido bastante utilizada como índice de fadiga muscular. De acordo com De Luca (1997), o uso da MDF é mais adequado, pois ela é menos sensível ao ruído e, em muitos casos, mais sensível aos processos bioquímicos e fisiológicos que ocorrem no músculo durante contrações sustentadas.

A MDF está relacionada à velocidade média de condução do potencial de ação na fibra muscular (Lindström et al., 1970; Arendt-Nielsen, 1985; Merletti et al., 2001). Se considerarmos dois eletrodos extracelulares, nos casos de alta velocidade de condução, o potencial de ação percorre a distância entre os dois eletrodos dentro de um curto espaço de tempo. No caso de baixa velocidade de condução, mais tempo é necessário para que o

potencial de ação percorra essa distância. Assim, o potencial de ação bifásico é curto para altas velocidades de condução e longo para baixas velocidades. No espectro, componentes de alta frequência são enfatizados em alta velocidade e, em baixas velocidades, os componentes de baixa frequência são enfatizados (Luttmann, 1996). De acordo com Merletti et al. (2001) a MDF varia de 50 a 110 Hz.

As variáveis do sinal eletromiográfico de maior interesse no estudo funcional do músculo-esquelético lesado pelo exercício excêntrico têm sido o RMS e a MDF.

Howell et al. (1985) realizaram um estudo eletromiográfico dos músculos braquial, braquiorradial e bíceps braquial antes e 48 horas após a indução de lesão pelo exercício excêntrico. As medidas eletromiográficas foram realizadas durante o repouso, durante a contração isométrica e durante manobras que envolviam diferentes amplitudes de movimentos de flexão e extensão, utilizando-se diferentes cargas. Os autores relataram que não houve alteração na atividade elétrica após a lesão muscular pelo exercício.

Berry et al. (1990) avaliaram o RMS e a frequência média do sinal elétrico do músculo quadríceps femoral antes, imediatamente após, e 1, 12, 24 e 48 h após exercício excêntrico. Os autores encontraram um aumento significativo no valor de RMS após 1 e 12 h o exercício. Os autores sugeriram que um aumento na atividade elétrica muscular é necessário para produzir a mesma contração pré-exercício excêntrico. Entretanto, este aumento na atividade não está associado à alteração na frequência, sugerindo que unidades motoras com características de ativação similares são utilizadas para gerar força tanto antes quanto após o exercício.

Komi e Viitasalo (1977) avaliaram a eletromiografia integrada, o potencial médio da unidade motora e a frequência média dos músculos vasto lateral e reto femoral antes e após o exercício concêntrico e excêntrico. A atividade elétrica foi mensurada antes, imediatamente após e no 2º dia após por meio da contração isométrica submáxima do músculo quadríceps. Foram aplicadas cargas submáximas de 150, 250, 400, 550 e 700 N. Os autores relataram que não houve alteração na eletromiografia integrada e na

freqüência média após ambos os exercícios. No entanto, o potencial médio da unidade motora aumentou após ambos os exercícios, com um aumento substancialmente maior após o exercício excêntrico.

Felici et al. (1997) analisaram a freqüência mediana do músculo bíceps braquial por meio da contração isométrica com o cotovelo a 90° de flexão, antes e após a lesão induzida pelo exercício excêntrico. A análise da freqüência mediana foi realizada a 80% e 50% da contração isométrica máxima. Para a medida a 80% da contração isométrica máxima, os autores relataram uma diminuição na freqüência mediana imediatamente após o exercício excêntrico, com uma tendência de se manter constante até o 4º dia após o exercício. Em relação às medidas a 50% da contração isométrica máxima, foi constatada uma diminuição na freqüência mediana somente a partir do 2º dia após o exercício excêntrico.

Pearce et al. (1998) avaliaram o RMS durante a contração isométrica máxima do músculo bíceps braquial antes, e no 1º, 3º, 7º, 14º e 28º dias após a lesão induzida por 35 contrações isocinéticas excêntricas máximas a 90°/s. Os resultados deste estudo não demonstraram alterações no RMS após o exercício excêntrico, quando comparado ao RMS antes do exercício.

O RMS do músculo vasto lateral antes, imediatamente após, e no 2º, 4º e 7º dias após lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico do músculo quadríceps femoral foi analisado por Hortobágyi et al. (1999). O RMS foi estudado durante contrações isotônicas excêntricas e concêntricas. Os autores relataram que houve uma queda significativa do RMS imediatamente após, e no 2º e 4º dias após, retornando à linha de base no 7º dia após o exercício.

Por sua vez, Linnamo et al. (2000b) examinaram as alterações na amplitude média e na freqüência mediana do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial, durante a primeira semana após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico. Os autores relataram que não foi verificada alteração na amplitude média após o exercício excêntrico. Entretanto, foi constatada uma diminuição na freqüência mediana imediatamente após o exercício excêntrico, com o retorno à linha de base ocorrendo no 2º dia após o exercício.

Bajaj et al. (2002) analisaram o RMS do sinal eletromiográfico do músculo primeiro interósseo dorsal antes e após lesão induzida pelo exercício excêntrico. A atividade elétrica foi mensurada durante as contrações isométrica, concêntrica e excêntrica a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da contração voluntária máxima. Não foram constatadas alterações no RMS do sinal eletromiográfico após a lesão muscular pelo exercício excêntrico, independente da contração analisada.

Chen (2003) estudou a atividade eletromiográfica integrada e a frequência mediana do músculo bíceps braquial antes e durante os 9 dias que sucederam a indução de lesão pelo exercício excêntrico. Os resultados deste estudo demonstraram uma diminuição na frequência mediana no 1º e 2º dias após o exercício, porém sem alteração na atividade eletromiográfica integrada.

2.5- Dor e lesão muscular

A dor se constitui, na maioria das vezes, na queixa principal de pacientes que apresentam patologias músculo-esqueléticas. Entre os indicadores indiretos de lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico, a dor é um dos mais estudados. A dor resultante da lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico é denominada dor muscular tardia, pois vários estudos têm demonstrado que ela aparece muitas horas após o exercício (Thompson et al., 1999; Cleary et al., 2002).

Há diversas formas para avaliar sistematicamente as queixas de dor clínica (Castro, 1999), sendo as Escalas Visuais Analógicas – *Visual Analog Scales* (VAS) um dos métodos amplamente utilizado para a avaliação da intensidade da dor de um paciente (Sriwatakul et al., 1983; Jensen et al., 1986). As VAS são utilizadas tanto para avaliar a intensidade da dor presente quanto os efeitos que uma medida terapêutica exercem sobre ela.

Vários estudos que avaliaram a dor muscular causada pelo exercício excêntrico utilizaram a VAS como método.

Brown et al. (1997) estudaram a dor no músculo quadríceps femoral após exercício isocinético excêntrico máximo do músculo quadríceps femoral na velocidade angular de 60°/s. Os indivíduos (homens e mulheres) foram divididos em 3 grupos, baseado no número de contrações excêntricas realizadas: grupo 1 (10 repetições), grupo 2 (30 repetições) e grupo 3 (50 repetições). Os resultados demonstraram que para o grupo 1 houve um aumento significativo na intensidade da dor até o 3º dia após, enquanto para os grupos 2 e 3 a dor foi significativamente maior até o 4º e 6º dias após o exercício, respectivamente.

Thompson et al. (1999) analisaram a dor em vários músculos do corpo antes, e nos 3 primeiros dias após o *shuttle run test* (corrida de “ida” e “volta”), em 16 homens. A dor foi avaliada em repouso e durante a contração com 75% da 1 RM (repetição máxima). Os autores relataram que a maior intensidade de dor esteve presente nos músculos posteriores da coxa, com o pico de dor ocorrendo no 2º dia após.

Rinard et al. (2000) avaliaram a diferença entre os sexos na intensidade da dor após a lesão do músculo bíceps braquial induzida pelo exercício excêntrico máximo. A dor foi avaliada durante a palpação do ventre muscular e durante a flexão do cotovelo com um peso de 0,45 Kg. Os autores relataram que não houve diferença entre os sexos na intensidade da dor e, o pico de dor ocorreu entre 32 e 48 horas após o exercício, tanto pelo movimento quanto pela palpação.

A intensidade da dor após o exercício excêntrico máximo dos músculos flexores do cotovelo de 30 homens e 30 mulheres foi estudada por Barlas et al. (2000). Os autores relataram que o pico de dor ocorreu entre o 3º e 4º dias, com uma pequena dor residual ainda presente no 11º dia após o exercício.

Kraemer et al. (2001) estudaram a intensidade da dor nos músculos flexores do cotovelo em 15 homens que realizaram 100 repetições de contração excêntrica com 1 RM (repetição máxima). A intensidade da dor foi avaliada durante o movimento ativo do cotovelo, a palpação e uma avaliação da dor global. A dor foi avaliada antes, e no 1º, 2º e 3º dias após o exercício. O pico de dor durante o movimento ativo e durante a palpação ocorreu no 2º dia,

mas no 3º dia a dor ainda estava presente. Um resultado diferente foi verificado para a dor global, com o pico de dor ocorrendo no 3º dia após o exercício.

O comportamento da dor após a indução de lesão dos músculos flexores do cotovelo através da contração excêntrica máxima à 120º/s foi estudado Evans et al. (2002). A dor foi avaliada antes, e no 1º, 2º, 3º e 7º dias após o exercício, durante a flexão e extensão do cotovelo, em 16 homens e 27 mulheres. Os autores relataram que o pico de dor ocorreu no 2º-3º dias após o exercício, tanto durante a flexão quanto durante a extensão do cotovelo.

Entretanto, as VAS tratam a dor como um fenômeno monodimensional e, por isso, somente avaliam-na em termos da intensidade de sua presença ou da porcentagem de seu alívio.

Além de sua intensidade, as dores precisam ser avaliadas pelo menos em três outros aspectos: suas qualidades sensoriais e discriminativas, sua resposta afetiva e motivacional e em seus aspectos de avaliação cognitiva. Assim, em 1975, Melzack construiu o Questionário McGill de Dor que, talvez, seja o método mais difundido para avaliar o fenômeno doloroso em sua multidimensionalidade. Melzack (1975), ao resgatar essas três dimensões fundamentais da dor, advoga que as clássicas avaliações monodimensionais de intensidade da dor não são capazes de retratar toda a complexidade do fenômeno doloroso. Este autor entende que a palavra “dor” em sua formulação, refere-se não a uma sensação específica que varia somente em intensidade, mas sim a uma variedade infinita de qualidades que são categorizadas por um único rótulo lingüístico.

No entanto, segundo Melzack (1975), um entrevistador treinado demora de cinco a dez minutos para aplicar o Questionário McGill de Dor, o qual pode ser um tempo muito longo para alguns quadros de dores agudas ou intensas. Em função disso, Melzack, em 1987, desenvolveu uma forma resumida do Questionário McGill de Dor – *The Short-Form McGill Pain Questionnaire* – para atender as especificidades dos estudos nos quais haja algum tipo de restrição no tempo de coleta das informações junto aos pacientes.

Desde a publicação do Questionário McGill de Dor em língua inglesa, em 1975, mais de vinte versões desse questionário para outras línguas podem ser encontradas em publicações especializadas. O Questionário McGill de Dor já foi traduzido para treze idiomas diferentes, incluindo o português. Em 1999, Castro elaborou uma Versão Brasileira do Questionário McGill de Dor, que agora começa a ser utilizado.

3- OBJETIVOS

3.1- Objetivo central

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação conjunta da morfologia e da função muscular após a lesão induzida pelo exercício excêntrico. Assim, o presente estudo foi delineado para avaliar o comportamento do torque extensor, e da atividade elétrica (RMS e MDF) e da dor no músculo quadríceps femoral, lesado pelo exercício excêntrico. Essas variáveis foram avaliadas antes do exercício excêntrico, durante os 7 primeiros dias após o exercício e também entre o 21º e 30º dias após exercício. A contração isométrica máxima do músculo foi utilizada para avaliação do torque e da eletromiografia. A dor foi avaliada através de questionários. Para se comprovar que a lesão foi induzida, bem como avaliar a área de extensão da lesão no músculo, foram também mensuradas a atividade plasmática da CK e a imagem do músculo por RMN antes, no 2º e 7º dias após e entre o 21º e 30º dias após.

3.2- Objetivo específico

Elaborar um protocolo de indução de lesão muscular pelo exercício isocinético excêntrico em baixas velocidades de contração .

4- MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Voluntários

Participaram deste estudo 10 voluntárias adultas ($21,9 \pm 1,5$), universitárias, sedentárias e que não haviam participado de programas de treinamento resistido nos 3 meses anteriores ao experimento. Além disso, as voluntárias não iniciaram qualquer programa de treinamento físico durante o período de experimento. As voluntárias não apresentavam qualquer patologia osteomioarticular no membro inferior direito, bem como problemas cardíovasculares. Para que isso fosse assegurado, cada voluntária foi avaliada conforme ficha em anexo (Apêndice 1). As avaliações foram realizadas no membro inferior direito, que era o membro dominante em todas as voluntárias. Todas as voluntárias assinaram um termo de consentimento (Apêndice 2), o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética para Estudos em Humanos da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (Apêndice 3) e foi conduzido de acordo com o Conselho Nacional de Saúde, Resolução 196/96.

4.2- Instrumentação

4.2.1- Eletromiógrafo e Eletrodos

Para a avaliação eletromiográfica foi utilizado um Conversor Analógico-Digital A/D (CAD 12/36-60K – LYNX Tecnologia Eletrônica, Brasil) com resolução de 12 bits, módulo condicionador de sinais (MCS 1000-V2) de 16 canais, e um programa de Aquisição de Dados (Aqdados versão 4.6). Este equipamento também possui um filtro tipo *Butterworth* com uma largura de banda de 10,6 a 509 Hz e um ganho de 50 vezes, e está interfaciado a um computador. Os sinais eletromiográficos foram amostrados de forma

sincrônica, com uma frequência de aquisição de 1000 Hz por canal e armazenados para posterior análise (Figura 1).

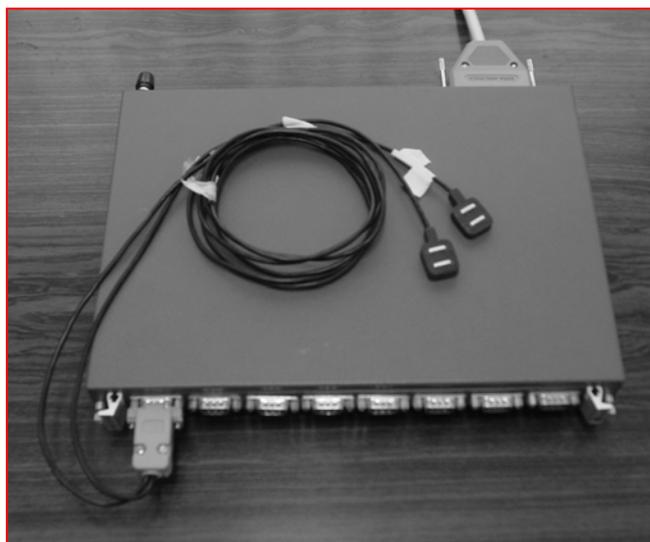


Figura 1- Conversor Analógico-Digital A/D (CAD 12/36-60K) e eletrodos de superfície ativos diferenciais simples (LYNX Tecnologia Eletrônica).

Para a captação da atividade elétrica dos músculos estudados foram utilizados eletrodos de superfície ativos diferenciais simples (LYNX Tecnologia Eletrônica), compostos por duas barras paralelas de Ag\AgCl, cada uma com 1cm de comprimento, 0,2 cm de largura e distanciadas 1cm entre si. Estas barras estão acopladas a uma cápsula de resina acrílica retangular de 2,2 cm de comprimento, 1,9 cm de largura e 0,6 cm de altura. Essa cápsula permite que a distância entre as barras paralelas seja mantida constante durante todo o período de avaliação. Além disto, os eletrodos possuem um índice de rejeição pela modulação comum de 80 dB (Mathiassen et al, 1995), um ganho interno de 20 vezes e uma impedância de entrada maior que 10 G Ω . Um eletrodo de referência, constituído de uma placa metálica foi utilizado (Figura 2).

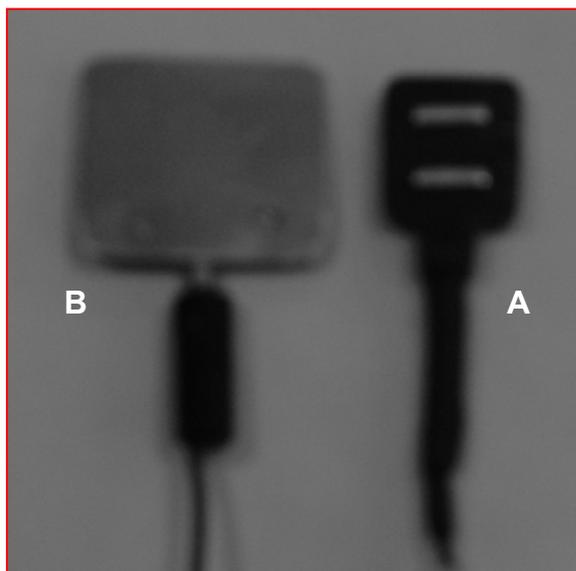


Figura 2- Eletrodos ativos diferenciais simples de superfície (LYNX) (A) e eletrodo de referência (B).

4.2.2- Dinamômetro Isocinético

Para a avaliação do torque isométrico máximo médio extensor e para a indução da lesão no músculo quadríceps femoral foi utilizado um Dinamômetro Isocinético (*Biodex Multi-joint System 2, BIODEX MEDICAL SYSTEM Inc., New York*), alocado no Ambulatório de Fisioterapia – Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. O dinamômetro está interfaciado a um Microcomputador *Pentium II – 333 MHz*.

Este equipamento é constituído por uma cadeira, que por sua vez, possui encosto e assento ajustáveis. Com a finalidade de estabilização da voluntária na cadeira há 2 cintos de contenção em forma de X que transpassam o tronco, um cinto pélvico e um cinto no meio da coxa. A cadeira localiza-se sobre uma plataforma que possibilita deslocá-la ântero-posteriormente, a fim de ajustar à voluntária. Além disso, o equipamento apresenta: uma unidade de recepção de força; uma célula de carga (que converte o sinal força em um sinal elétrico); um braço de alavanca (base para a

unidade de recepção de força); acessórios para a realização de testes nas várias articulações do corpo; um módulo de controle, composto por um computador associado aos seus *softwares*, periféricos e interfaces de transdução analógico-digital, responsável pelo controle do tipo de ação muscular desejada, da velocidade angular de teste, da amplitude de movimento e pelo processamento de dados em tempo real; a cabeça do dinamômetro, onde se fixa o motor do braço de alavanca (Guaratini, 1999). A cabeça do dinamômetro também se posiciona sobre uma plataforma que possibilita deslocá-la para os lados, com a finalidade de se ajustar ao indivíduo a ser avaliado (Figura 3).

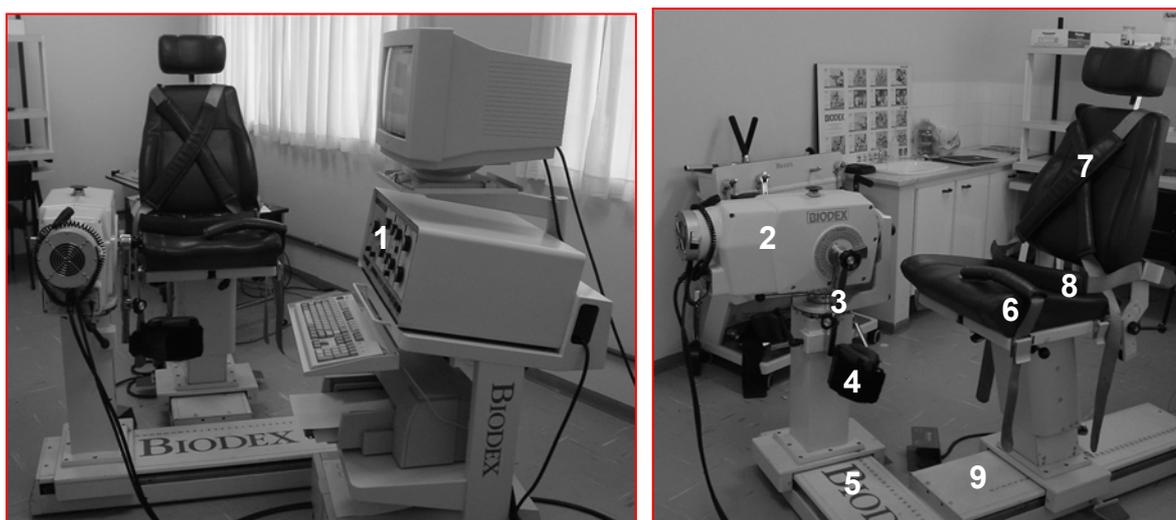


Figura 3- Dinamômetro isocinético *Biodex System* e acessórios. 1- Módulo de controle; 2- Cabeça do dinamômetro; 3- Braço de alavanca; 4- Almofada de resistência ao movimento; 5- Plataforma para o deslocamento da cabeça do dinamômetro; 6- Cadeira; 7- Cintos em Xis; 8- Cinto pélvico; 9- Plataforma para deslocamento da cadeira do dinamômetro

4.2.3- Goniômetro

Para a mensuração dos ângulos de flexão da articulação do joelho direito, durante a avaliação eletromiográfica e o torque isométrico máximo médio extensor utilizou-se um goniômetro universal de plástico (CARCI). O goniômetro também foi utilizado para a colocação dos eletrodos de eletromiografia sobre os músculos VMO e VL.

4.2.4- Fichas de Avaliação da Dor

A intensidade e a qualidade da dor foi avaliada utilizando-se a Escala Analógica Visual (VAS) e a Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor.

4.2.4.1- Escala Analógica Visual (VAS)

A avaliação sistemática da intensidade da dor foi realizada utilizando-se uma Escala Visual Analógica – *Visual Analog Scales* (VAS) (Sriwatakul et al, 1983; Jensen et al, 1986). A VAS se constituiu de uma linha de 10 cm barrada na extremidade esquerda pela expressão “sem dor” e na extremidade direita pela expressão “a maior dor possível” (Apêndice 4). Foi aplicada uma VAS para cada dia de avaliação.

4.2.4.2- Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor

A dor também foi avaliada pela Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor (Castro, 1999). A Versão Brasileira do Questionário McGill de Dor foi construída por Castro (1999), a partir de originais em língua inglesa desenvolvidos por Melzack (1975).

Em 1987, Melzack elaborou a Versão Resumida do Questionário McGill de Dor. Na versão original na língua inglesa, a Versão Resumida do Questionário McGill de Dor (Melzack, 1987) constitui-se das seguintes partes: 1- Descrição da dor, 2- Intensidade da dor presente (*Present Pain Intensity - PPI*), e 3- Uma VAS (Apêndice 5).

Para a construção de uma Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor foi utilizada a tradução realizada por Castro (1999) da versão completa do mesmo questionário. A Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor, da mesma forma que a versão original em inglês, destina-se a avaliar qualitativa e quantitativamente o relato das experiências de dor. A Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor foi construída em língua portuguesa através de um processo de tradução recriação (reconstruir na língua meta a idéia contida na língua fonte, sem se preocupar com a literalidade das formas). A tradução do questionário e sua reconstrução em português foram feitas em cinco etapas. Não cabe aqui descrever as etapas. Os interessados na descrição destas etapas devem consultar o estudo original (Castro, 1999).

A Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor é constituída das mesmas partes da Versão Resumida em inglês do Questionário McGill de Dor (Apêndice 6).

A primeira parte do questionário (Descrição da dor) é formada por um conjunto de palavras que descrevem qualidades da experiência dolorosa. O questionário é constituído de 15 palavras, onde as onze primeiras palavras representam a dimensão sensorial da experiência dolorosa e as quatro últimas palavras representam a dimensão afetiva da experiência dolorosa. Cada palavra é acompanhada de uma escala âncora de intensidade da dor de 0=*none* (na versão brasileira, sem dor), 1=*mild* (fraca), 2=*moderate* (moderada), 3=*severe* (severa).

A segunda parte do questionário (Intensidade da dor presente – PPI) busca avaliar a intensidade global da dor presente no momento de aplicação do questionário. A Intensidade da Dor Presente (PPI) é formada por cinco palavras âncora. São palavras, que em inglês, apresentam uma clara

gradação em intensidade: *mild* (na versão brasileira, fraca), *discomforting* (moderada), *distressing* (forte), *horrible* (violenta), *excruciating* (insuportável). Cada palavra é acompanhada de uma escala numérica de intensidade da dor.

A terceira parte do questionário (VAS) fornece um índice da intensidade da dor. Esta escala já foi descrita no item anterior (item 4.2.4.1).

Frente à possibilidade das voluntárias apresentarem diferentes conceituações a cerca das qualidades das dores apresentadas no questionário, houve a necessidade de se explicar previamente o significado de cada uma das palavras. Assim, segue abaixo uma descrição do significado de cada uma das palavras da forma como foi explicada para todas as voluntárias.

Latejante: Indica aquelas dores que sofrem intrinsecamente uma variação temporal, ou seja, entre dois estímulos dolorosos existe um intervalo de tempo sensorialmente perceptível;

Que irradia: Representa a localização de uma dor, isto é, indicam a área corporal mais ou menos delimitada onde o indivíduo percebe que a dor incide;

Pontada de faca: Caracteriza aquelas dores percebidas como uma pressão exercida de fora para dentro do organismo, que incide numa área fixa, pequena e bem delimitada;

Que corta: Especifica as qualidades sensoriais de dores incisionais, que cortam o corpo e são percebidas como se fossem produzidas por um instrumento afiado que rasga a pele ou dilacera a carne, dividindo-a em partes;

Cãibra: Assinala as qualidades sensoriais de dores sentidas na forma de um aperto, de uma pressão que parece reduzir o diâmetro de uma região ou parte do corpo. São tipos de dores que foram incorporadas ao vocabulário técnico em palavras como “cãibras” e “cólicas”, que tipificam uma compressão dolorosa, um espasmo, sentido nos músculos;

Cólica: Assinala as qualidades sensoriais de dores sentidas na forma de um aperto, de uma pressão que parece reduzir o diâmetro de uma região ou parte do corpo. São tipos de dores que foram incorporadas ao vocabulário técnico em palavras como ‘cãibras’ e ‘cólicas’, que tipificam uma compressão dolorosa, um espasmo, sentido nas vísceras;

Quente: Tipifica as dores que produzem sensações de aquecimento ou queimação;

Dolorida: Dor contínua, de maior intensidade, porém indefinida; dor persistente;

Pesada: Dor pesada, indefinida e constante;

Sensível: Uma região propensa à dor, sensível ao toque; dá a impressão de inchaço, aumento de volume;

Repuxa: Refere aquelas dores percebidas como resultantes da ação de uma força exercida em direções opostas, provocando um estiramento, uma torção, ou uma separação em alguma estrutura orgânica;

Que cansa: Traduz a falta de forças, o desgaste, o esgotamento e a exaustão física ou mental que uma dor de grande intensidade ou de longa duração pode induzir ou provocar no indivíduo;

Dá náusea: Diz respeito às reações vegetativas desagradáveis que uma dor pode desencadear;

Horrível: Uma dor que pode produzir uma grande ansiedade no indivíduo, um sentimento que pode ser traduzido em preocupação, pavor, temor ou pânico ante a noção de um perigo real ou imaginário, ante a ameaça que uma dor representa à integridade física, mental, social e ocupacional do indivíduo;

Castigante: A presença de um quadro doloroso que pode sugerir, à alma de um crente, sentimentos de punição e purgação.

4.2.5- Equipamento de Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

A avaliação da lesão muscular através da RMN por imagem foi realizada numa cooperação científica com o Grupo de Ressonância Magnética do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – São Carlos. O equipamento utilizado foi o ToRM 0.5, desenvolvido pelo Grupo de Ressonância Magnética do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – São Carlos (Figura 4).



Figura 4- Equipamento de Ressonância Magnética Nuclear por Imagem ToRM 0.5.

4.3- Procedimentos

Antes do início do experimento, as voluntárias foram submetidas a um período de familiarização com os procedimentos adotados para a avaliação do sinal eletromiográfico, do torque isométrico máximo médio e da dor. Além disso, as voluntárias também foram familiarizadas, utilizando o membro inferior contralateral, com as contrações isocinéticas excêntricas, usadas na indução da lesão.

Previamente às contrações, foi realizado um auto-alongamento do músculo quadríceps femoral direito. Para isso, na posição em pé, a voluntária realizava a flexão do joelho direito, mantendo o quadril em posição neutra. O alongamento foi realizado cinco vezes e cada alongamento foi mantido por 30 s, com um período de repouso de 15 s entre cada um.

A atividade elétrica dos músculos VMO, VL e RF, e o torque isométrico máximo médio extensor começaram a ser registrados dois segundos após o início da contração muscular, de acordo com o protocolo utilizado por Hanten e Schulthies (1990). A voluntária foi orientada a realizar as contrações em um padrão constante, cessando-as somente após comando verbal do pesquisador.

Previamente ao início da avaliação, o dinamômetro isocinético foi devidamente calibrado de acordo com o manual fornecido pelo fabricante do equipamento.

4.3.1- Avaliação do Torque isométrico máximo médio

O torque isométrico máximo médio extensor do membro inferior direito foi avaliado através da Contração Isométrica Voluntária Máxima (CIVM) do músculo quadríceps femoral. O torque isométrico foi analisado com a articulação do quadril à 100° de flexão e a articulação do joelho à 90° de flexão. A voluntária foi estabilizada na cadeira do equipamento por meio dos dois cintos em X que transpassam o tronco, e pelo cinto pélvico. O eixo mecânico de rotação (eixo mecânico do braço de resistência) foi alinhado ao epicôndilo lateral do fêmur (eixo de rotação da articulação do joelho), e a resistência foi aplicada no terço distal da perna, imediatamente acima ao maléolo medial (Figura 5).

A posição de 90° de flexão da articulação do joelho foi utilizada baseando-se no estudo de Bandy e Hanten (1993), que encontraram uma amplitude média do sinal eletromiográfico do músculo quadríceps femoral maior nesta posição.



Figura 5- Posicionamento da voluntária no dinamômetro isocinético para a realização da contração isométrica voluntária máxima (CIVM).

Anteriormente ao início da contração realizou-se a medida do torque produzido pela força peso da perna, com a articulação do joelho posicionada à 90° de flexão.

Para a CIVM, utilizou-se o seguinte comando verbal: “Prepare, Vai! Força! Força! Relaxe!” emitido de forma vigorosa, com o objetivo de modular a força e a duração da resposta requerida. Além do comando verbal, foi oferecido um *feedback* visual às voluntárias através da visualização do monitor do computador com a representação da curva de torque desenvolvida durante a contração.

Foram realizadas 6 CIVM. Cada contração foi mantida por um período de 4 s, com um intervalo de repouso de 2 min entre elas.

Foram realizadas três medidas do torque isométrico máximo médio extensor antes da indução da lesão muscular pelo exercício excêntrico, com a finalidade de se obter o padrão médio do torque isométrico pré-exercício excêntrico (linha de base). O torque isométrico máximo médio também foi

mensurado imediatamente após o exercício excêntrico, durante os 7 primeiros dias após o exercício e também entre o 21º e 30º dias após o exercício.

4.3.2- Avaliação da Atividade Elétrica

4.3.2.1- Preparação da pele e colocação dos eletrodos

Com a finalidade de diminuir a resistência elétrica, a pele foi previamente tricotomizada e realizada a limpeza com álcool 70%, sendo os eletrodos fixados à pele com esparadrapo.

Para a captação da atividade elétrica do músculo VMO, o eletrodo foi posicionado sobre o seu ventre, a 4 centímetros da borda súpero-medial da patela (Hanten e Schulthies, 1990) e a aproximadamente 55º de inclinação em relação a uma linha imaginária unindo o centro da patela e a espinha ílaca ântero-superior (linha de referência) (Lieb e Perry, 1968). Para o músculo VL, o eletrodo foi colocado sobre o seu ventre, a 15 centímetros da borda súpero-lateral da patela e a aproximadamente 14º de inclinação em relação à linha de referência (Bevilaqua-Grosso, 1996). O goniômetro foi utilizado para posicionar os eletrodos nos diferentes ângulos de inclinação. Com a voluntária na posição de teste (90º de flexão de joelho), o eixo do goniômetro era alinhado ao centro da patela, o braço fixo do goniômetro era alinhado à espinha ílaca ântero-superior, e o braço móvel do goniômetro era deslocado até o ângulo de inclinação desejado. Para o músculo reto femoral o eletrodo foi posicionado através da palpação de seu ventre, imediatamente abaixo do ponto em que o músculo sartório o cruza (Signorile et al., 1995). Para confirmar o posicionamento dos eletrodos sobre o ventre dos músculos VMO e VL foi realizada a palpação muscular, com a voluntária na posição de teste (Figura 6).

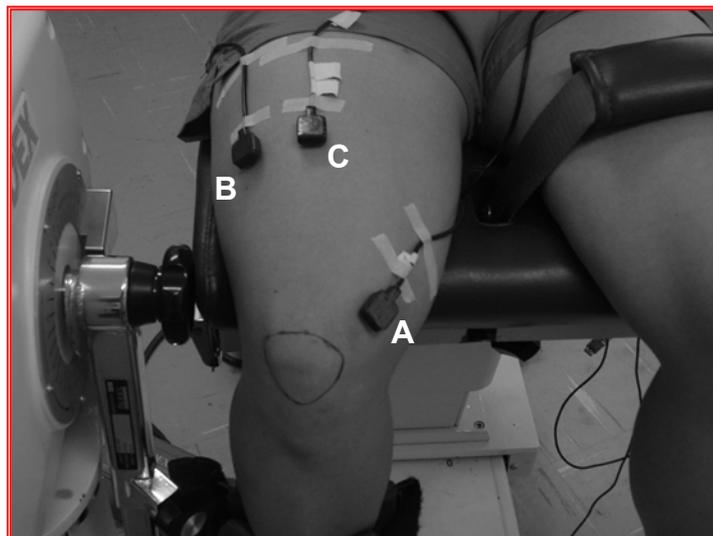


Figura 6- Posicionamento dos eletrodos no ventre dos músculos VMO (A), VL (B) e RF (C).

Para a reprodução na colocação dos eletrodos nas diferentes avaliações, foi utilizado um molde de plástico fino e deformável. Com a voluntária na posição de teste, foi feita a marcação do posicionamento dos eletrodos no molde, adotando como referência a patela. O mesmo molde, de cada voluntária, foi utilizado para as avaliações subseqüentes.

Os eletrodos foram fixados na linha média do músculo, com a superfície de detecção perpendicular às fibras musculares, como descrito por De Luca (1997).

O eletrodo de referência foi fixado na tuberosidade da tíbia direita do voluntário.

4.3.2.2- Avaliação eletromiográfica propriamente dita

A atividade elétrica dos músculos VMO, VL e RF foi captada de forma simultânea, porém não sincronizada, ao registro do torque isométrico máximo médio, durante as CIVM. Desta forma, os procedimentos adotados para a avaliação eletromiográfica foram aqueles descritos para a mensuração do torque isométrico máximo médio.

Foram realizadas três medidas da atividade elétrica, nos três dias que antecederam a indução da lesão pelo exercício excêntrico, com a finalidade de se obter o padrão da atividade elétrica pré-exercício excêntrico (linha de base). A atividade elétrica também foi mensurada imediatamente após o exercício excêntrico, durante os 7 primeiros dias após o exercício e também entre o 21º e 30º dias após o exercício.

Do sinal eletromiográfico, foi analisado o *Root Mean Square* – RMS (Raiz Quadrada da Média dos Quadrados) e a frequência mediana (MDF).

4.3.2.3- Pós - processamento dos sinais eletromiográficos

Os sinais eletromiográficos obtidos foram armazenados no *Software* Aqdados 4.6 e posteriormente convertidos para a Linguagem *ASCAii* através de uma função do próprio programa. Em seguida, os registros foram tratados por meio do *Software MatLab* 5.0. Para o tratamento dos registros eletromiográficos foram utilizadas algumas funções de pós-processamento do sinal biológico desenvolvidas pelo Prof. Dr. Antônio Marcos de Lima Araújo. Estas funções foram inseridas no *Matlab* 5.0 e permitiram uma análise mais detalhada dos sinais eletromiográficos, além da verificação da qualidade dos sinais captados. As funções utilizadas para o tratamento do sinal eletromiográfico deste estudo foram: função EMG 11, função EMG 12 e função EMG 124. Para a avaliação do RMS e da MDF foram escolhidos os três melhores sinais eletromiográficos, baseado na avaliação realizada pela aplicação da função EMG 12.

A função EMG 11 permitiu a visualização dos sinais eletromiográficos brutos dos músculos VMO, VL e RF.

Em seguida foi aplicada a função EMG 12 que permitiu as seguintes análises:

- 1- Análise no tempo: forma de onda e envoltória normalizada;
- 2- Análise em frequência: espectrograma, frequência mediana e densidade espectral de potência;
- 3- Análise probalística: função densidade de probabilidade, função distribuição de probabilidade e histograma;
- 4- Valor médio, valor mediano, *Root Mean Square* (RMS), valor mínimo, valor máximo, número de amostras e faixa dinâmica.

Com a aplicação desta função foi possível verificar o valor de RMS de cada músculo, bem como eliminar os sinais com interferências que poderiam comprometer a análise.

Após a aplicação da função EMG 12 foi aplicada a função EMG 124, que permitiu a análise dos sinais no domínio da frequência (Hertz-Hz). Assim, a função EMG 124 foi aplicada para os três melhores sinais eletromiográficos, para cada dia e músculo. Um valor médio da frequência mediana dos três sinais foi obtido. Um filtro com uma largura de banda de 10 a 450Hz foi aplicado e, os dados foram normalizados pelo valor médio do sinal. Ervilha et al. (1998) demonstraram que a normalização pelo valor médio do sinal se constitui num procedimento adequado para normalizar a intensidade do sinal eletromiográfico.

A janela *Hanning* com uma sobreposição de 90% para o processamento da Transformada Rápida de Fourier foi utilizada para calcular o RMS e a frequência mediana.

4.3.3- Indução da lesão

Para a indução da lesão no músculo quadríceps femoral, as voluntárias foram submetidas a um regime de contrações musculares isocinéticas excêntricas. Inicialmente, a voluntária foi posicionada no equipamento com a articulação do quadril à 100° de flexão e a articulação do joelho à 110° de flexão. A voluntária foi estabilizada na cadeira do equipamento por meio dos dois cintos em X que transpassam o tronco, e pelo cinto pélvico. O eixo mecânico de rotação (eixo mecânico do braço de resistência) foi alinhado ao epicôndilo lateral do fêmur (eixo de rotação da articulação do joelho) e a resistência aplicada no terço distal da perna, imediatamente acima ao maléolo medial. O examinador selecionou o modo de operação do equipamento de forma que a extensão do joelho fosse passiva. A extensão passiva do joelho foi realizada de 110° (posição inicial) até 40° de flexão (posição final), descrevendo então, uma amplitude de movimento de 70°. Por sua vez, a contração isocinética excêntrica do músculo quadríceps femoral foi realizada com o movimento do braço de resistência na direção oposta, ou seja, de 40° à 110° de flexão. Assim, a posição inicial para a contração excêntrica foi a de 40° de flexão. A voluntária era orientada a estender a articulação do joelho. No entanto, para a realização da contração isocinética excêntrica, o examinador selecionava o primeiro torque do braço de resistência do equipamento superior ao torque extensor. Assim, o braço de resistência promovia o movimento de flexão do joelho, enquanto o músculo contraía contra a resistência e, ao mesmo tempo, se alongava. Os extremos da amplitude de movimento foram limitados pelo dinamômetro isocinético (Figura 7).

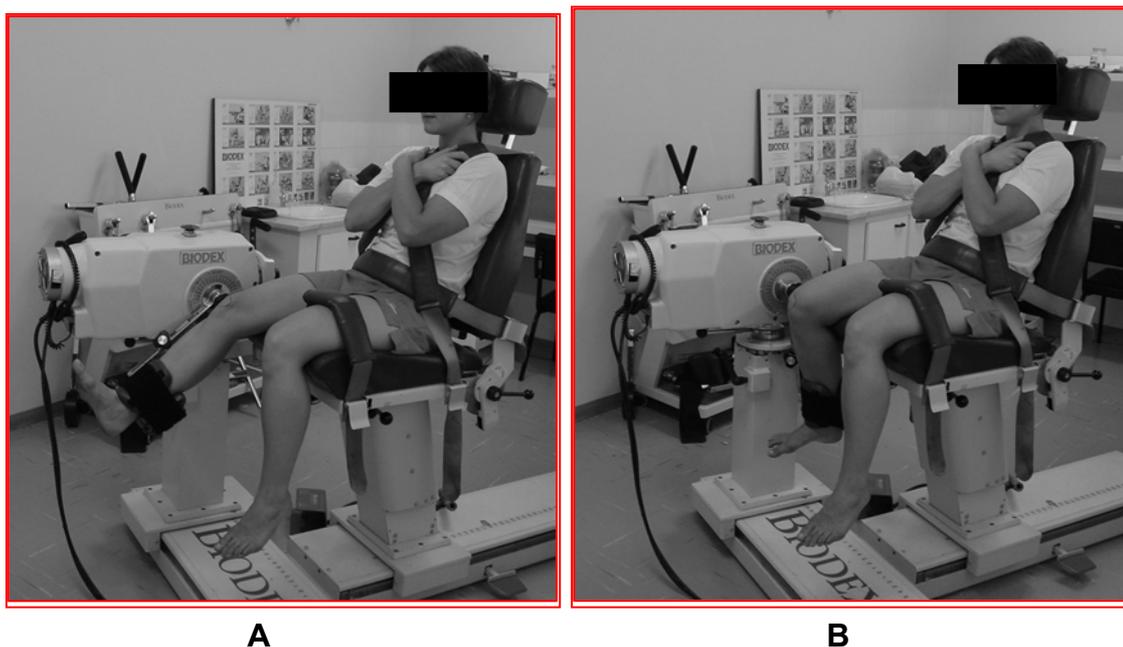


Figura 7 - Posição inicial (A) e posição final (B) do exercício isocinético excêntrico para a indução da lesão no músculo quadríceps femoral.

Foram realizadas 4 séries de 15 contrações isocinéticas excêntricas máximas do músculo quadríceps femoral, à velocidade de 5°/s. Entre cada série houve um período de repouso de 5 min.

Duas voluntárias não foram capazes de desenvolver todas as contrações da última série, devido à fadiga muscular. Estas voluntárias realizaram apenas 6 contrações da última série, totalizando assim, 51 contrações isocinéticas excêntricas.

4.3.4- Avaliação da dor

4.3.4.1- Avaliação da intensidade da dor pela VAS

A intensidade da dor pela VAS foi avaliada durante a palpação, contração e o auto-alongamento do músculo quadríceps femoral. Para a realização da palpação a voluntária sentou-se na mesa de exames com a perna pendente (articulação do joelho à 90° de flexão). O examinador palpou de uma forma padronizada a região sobre o músculo VM, RF e VL. Para a contração, com a voluntária na mesma posição, foi realizada a extensão da articulação do joelho de 90° a 0° de flexão (contração concêntrica do músculo quadríceps femoral) e, em seguida, a flexão de 0° a 90° (contração excêntrica do músculo quadríceps femoral). Para o auto-alongamento do músculo quadríceps femoral, a voluntária posicionou-se em pé e realizou a flexão passiva do joelho, com a articulação do quadril em posição neutra.

Após a palpação, a contração e o auto-alongamento, as voluntárias foram orientadas, baseadas na maior intensidade de dor verificada nas três atividades, a marcarem a intensidade de dor com um traço vertical sobre a linha de 10 cm barrada pelas expressões “sem dor” e “a maior dor possível” da VAS.

Para o cálculo da intensidade da dor, o examinador mensurou, por meio de uma régua, a distância entre a extremidade barrada pela expressão “sem dor” até a marcação feita pela voluntária.

Foram realizadas medidas da intensidade da dor pela VAS nos três dias que antecederam a indução da lesão pelo exercício excêntrico, com a finalidade de se realizar uma linha de base. A intensidade da dor também foi mensurada imediatamente após o exercício excêntrico, durante os 7 primeiros dias após o exercício e também entre o 21° e 30° dias após o exercício.

4.3.4.2- Avaliação da dor pela Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor

A Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor foi aplicada antes, imediatamente após o exercício excêntrico, durante os 7 primeiros dias após o exercício e também entre o 21º e 30º dias após o exercício.

Para a aplicação da primeira parte (descrição da dor) do questionário, o examinador lia em voz alta cada uma das palavras isoladamente, dando o tempo necessário para a voluntária decidir se a palavra qualificava ou não sua dor. Quando a palavra em questão representava a dor, era então solicitado que a voluntária indicasse a intensidade da dor para a palavra em questão (escala âncora de intensidade da dor).

As medidas descritivas realizadas foram: a- a porcentagem de escolha de cada palavra; b- o índice médio de avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total; e c: o número médio de palavras escolhidas. O cálculo de cada uma das medidas foi realizado da seguinte forma:

a- Para calcular a porcentagem de escolha de cada palavra, foi identificada a porcentagem em que cada palavra foi escolhida para cada dia de avaliação, por todas as voluntárias; b- Para o cálculo do índice médio de avaliação da dor, os valores escalares indicados numericamente para cada palavra escolhida foram somados e divididos pelo número de voluntárias. O índice foi avaliado nos aspectos sensorial, afetivo e total; c- Para a identificação do número médio de palavras escolhidas fez-se a soma das palavras escolhidas por todas as voluntárias e dividiu-se pelo número de palavras (número de palavras = 15).

Na segunda parte do questionário, um valor médio para a intensidade da dor presente (PPI) foi calculado. Para isso, fez-se a soma dos valores escalares de cada palavra escolhida como indicativa da intensidade global de dor e, em seguida, dividiu-se pelo número de voluntárias. Esta medida foi realizada para cada dia de avaliação. O PPI foi avaliado durante a palpação, a contração e o auto-alongamento do músculo quadríceps femoral. Os procedimentos realizados para a palpação, contração e auto-alongamento

foram os mesmos daqueles descritos no item 4.3.4.1 (Avaliação da intensidade da dor pela VAS).

4.3.4- Avaliação da atividade plasmática da Creatina Quinase (CK)

Os exames do nível plasmático da CK foram realizados no Laboratório Médico Dr. Maricondi – São Carlos. Para este exame foi utilizado o Kit CK-NAC UV unitest (Wiener lab. – Argentina). Aproximadamente 5ml de sangue foi retirado das veias da região anterior do cotovelo e centrifugado após coagulação durante 8 min a 3000rpm(s) para a obtenção do plasma (400 μ l). O volume de aspiração do equipamento foi de 6 μ l e o volume do reagente de 260 μ l. O teste foi realizado no equipamento Express PLUS (Bayer) na temperatura de 25°C. O valor de referência para mulheres adultas está entre 10 e 70 Unidades/litro (U/L)

A avaliação da atividade plasmática da CK foi realizada antes da indução da lesão, e no 2º, 7º e entre o 21º e 30º dias após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico.

4.3.5- Avaliação por Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

A avaliação muscular por RMN foi realizada antes da indução da lesão, e no 2º, 7º e entre o 21º e 30º dias após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico.

Para esta avaliação a voluntária foi posicionada em decúbito dorsal com as articulações do quadril e do joelho em posição neutra.

Antecedendo a aplicação do protocolo para a avaliação da lesão muscular, foi realizada uma imagem localizadora sagital, com a primeira secção à aproximadamente 4cm acima da região mais distal do côndilo femoral (Figura 8).

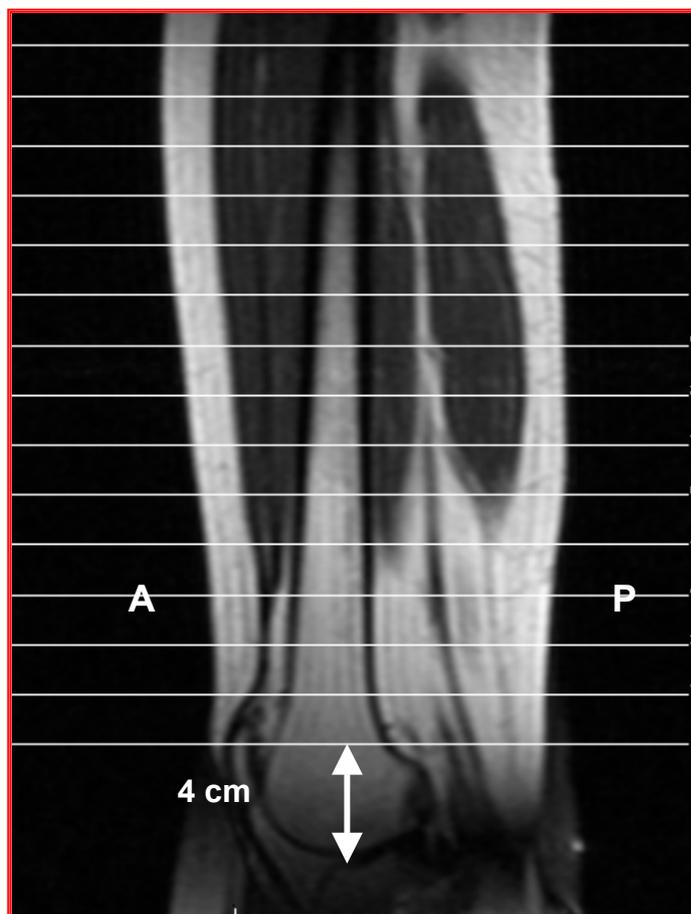


Figura 8- Exemplo de uma imagem localizadora sagital demonstrando as secções através dos músculos da coxa. A primeira secção está a aproximadamente 4 cm acima da região mais distal do côndilo femoral (seta em vermelho). A- região anterior da coxa, P- região posterior da coxa

A avaliação do músculo quadríceps femoral foi realizada através de 15 secções axiais (transversais). No entanto, somente a imagem de uma secção do terço médio da coxa foi utilizada para a avaliação da lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico (Figura 9). O protocolo utilizado para a avaliação da lesão muscular é denominado Seqüência Inversão Recuperação, e possui as seguintes características: Tempo de repetição (TR): 2000 ms; Tempo ao eco: 70 ms; Tempo de Inversão TI: 140 ms; Números de médias

NEX: 4; Espessura da secção THK: 15 mm; Distância entre as secções (Interslice): 17 mm; *Field of View*: 256 × 256; Resolução (X:Y): 150 × 250; *Flow Compensation* 2ª ordem em x, y, z; Largura de Banda de Radio-Freqüência: 6 KHz.

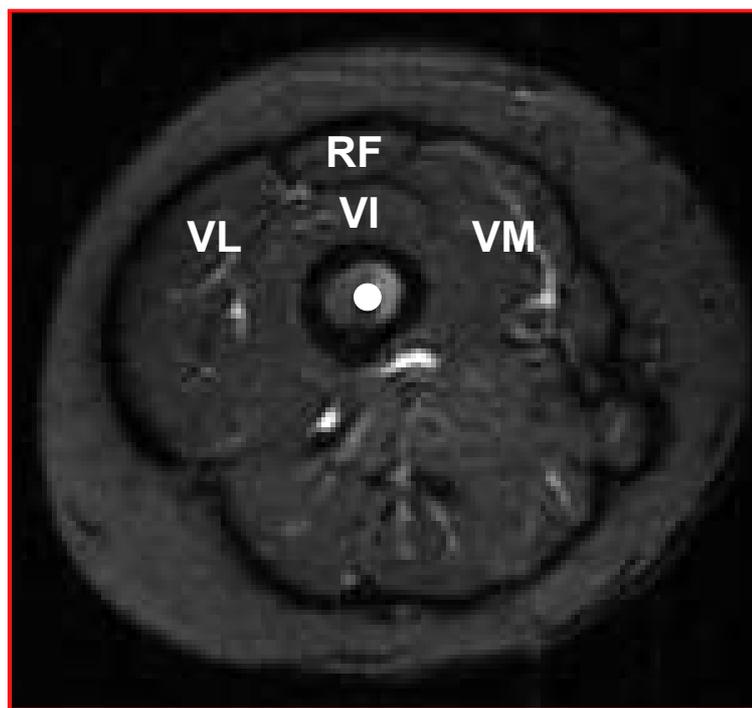


Figura 9- Exemplo de uma imagem axial do terço médio da coxa direita antes da indução da lesão pelo exercício excêntrico. VM- vasto medial, VL- vasto lateral, RF reto femoral, VI- vasto intermédio e (•)- fêmur.

4.3.6- Análise Estatística

Como descrito no item 4.1, foram analisadas 10 voluntárias no total. Entretanto, em função de problemas nos equipamentos (dinamômetro isocinético e/ou eletromiógrafo), não foi possível coletar todas as medidas, em todos os dias, conforme planejado inicialmente. Assim, a análise estatística dos

resultados foi realizada considerando o número de voluntárias efetivamente avaliadas em cada dia do estudo.

Anteriormente à análise dos dados foi aplicado um teste de normalidade para verificar se a distribuição dos dados era normal ou não. Baseado nesta informação aplicou-se o teste estatístico mais indicado.

Para todos os cálculos estatísticos foi utilizado o *software GB-Stat School Pak* versão 6.5.

Para a comparação entre grupos (antes e após a lesão) foi aplicada a *One-Way* ANOVA sem repetição (completamente aleatório). Na presença de diferença significativa entre grupos, foi aplicado o teste de Dunnett's. Para todos os testes foi considerado um nível de significância de $p \leq 0,05$ (5%).

Como descrito no item 4 (Material e Métodos), foram realizadas três medidas antes da indução da lesão para a avaliação do torque isométrico e da atividade elétrica (RMS e MDF). Assim, para verificar possíveis diferenças entre as medidas realizadas antes da indução da lesão, a *One-Way* ANOVA sem repetição foi aplicada. Não foram constatadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as medidas realizadas antes da lesão, tanto para o torque isométrico quanto para a atividade elétrica (RMS e MDF). Desta forma, a média dos valores obtidos nas três medidas realizadas antes da indução da lesão foi utilizada para a análise estatística do torque isométrico e da atividade elétrica (RMS e MDF).

Para a análise do torque isométrico máximo médio extensor uma amostra de 10 voluntárias foi utilizada para as avaliações realizadas antes, e do 1º ao 7º dia após o exercício excêntrico. Para as avaliações realizadas imediatamente após e entre o 21º e 30º dias após o exercício, uma amostra de 9 e 7 voluntárias, respectivamente, foi utilizada.

A análise do RMS dos músculos VMO e VL nas avaliações realizadas antes, e do 1º ao 7º dia após o exercício excêntrico foi realizada com uma amostra de 10 voluntárias. Para as avaliações imediatamente após e entre o 21º e 30º dias após foi utilizada uma amostra de 9 e 7 voluntárias, respectivamente. Para a análise do RMS do músculo RF foi utilizada uma amostra de 10 voluntárias nas avaliações antes, e no 1º, 4º, 5º, 6º e 7º dias

após o exercício. Para as avaliações realizadas imediatamente após e no 2º e 3º dias após foi utilizada uma amostra de 9 voluntárias e, para a avaliação entre o 21º e 30º dias após uma amostra de 7 voluntárias.

Para a análise da frequência mediana dos músculos VMO e VL nas avaliações realizadas antes da lesão e do 1º ao 7º dia após o exercício excêntrico foi utilizada uma amostra de 10 voluntárias. Para a análise imediatamente após e entre o 21º e 30º dias após foi utilizada uma amostra de 9 e 7 voluntárias, respectivamente. Para a análise da frequência mediana do músculo RF antes, e no 1º, 4º, 5º, 6º e 7º dias após o exercício foi utilizada uma amostra de 10 voluntárias. Para a análises imediatamente após e no 2º e 3º dias após o exercício a amostra foi de 9 voluntárias e, para a análise entre o 21º e 30º dias após a amostra foi de 7 voluntárias.

Para a análise da intensidade da dor pela VAS e pela intensidade da dor presente (PPI) foi utilizada uma amostra de 10 voluntárias para as avaliações antes e até o 7º dia após o exercício excêntrico, e uma amostra de 7 voluntárias na avaliação entre o 21º e 30º dias após o exercício. Todas as voluntárias não apresentaram dor na primeira avaliação antes da indução da lesão pelo exercício excêntrico. No entanto, algumas voluntárias relataram a presença de dor nas avaliações realizadas no segundo e terceiro dias antes do exercício excêntrico, provavelmente decorrente das contrações isométricas voluntárias máximas realizadas para a avaliação do torque isométrico e da atividade elétrica. Assim, optou-se por comparar os valores de intensidade de dor obtidos nas avaliações após o exercício excêntrico com os valores médios obtidos na segunda e terceira avaliações antes do exercício.

Para a análise da atividade plasmática da CK foi utilizada uma amostra de 10 voluntárias para as avaliações realizadas antes e no 2º e 7º dias após o exercício excêntrico. Uma amostra de 7 voluntárias foi utilizada para a análise entre o 21º e 30º dias após o exercício.

A análise da porcentagem de escolha de cada palavra, do índice de avaliação da dor e do número médio de palavras escolhidas, descritas na Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor, foi realizada pela

análise estatística descritiva. A amostra utilizada foi a descrita para a análise da intensidade da dor pela VAS e pelo PPI.

A avaliação da lesão muscular pela RMN foi realizada em 6 voluntárias. A presença de lesão muscular, para cada dia de avaliação, foi determinada pela análise visual da imagem (intensidade do sinal).

5- RESULTADOS

5.1- Torque Isométrico Máximo Médio

O torque isométrico máximo médio foi significativamente menor imediatamente após ($p < 0,01$) o exercício excêntrico. Embora tenha ocorrido uma recuperação progressiva, o torque isométrico ainda apresentou-se significativamente menor no 1º ($p < 0,01$), 2º ($p < 0,01$), 3º ($p < 0,01$) e 4º ($p < 0,05$) dias após o exercício excêntrico, quando comparado ao valor pré-exercício (Figura 10; Tabela 1-Apêndice 7).

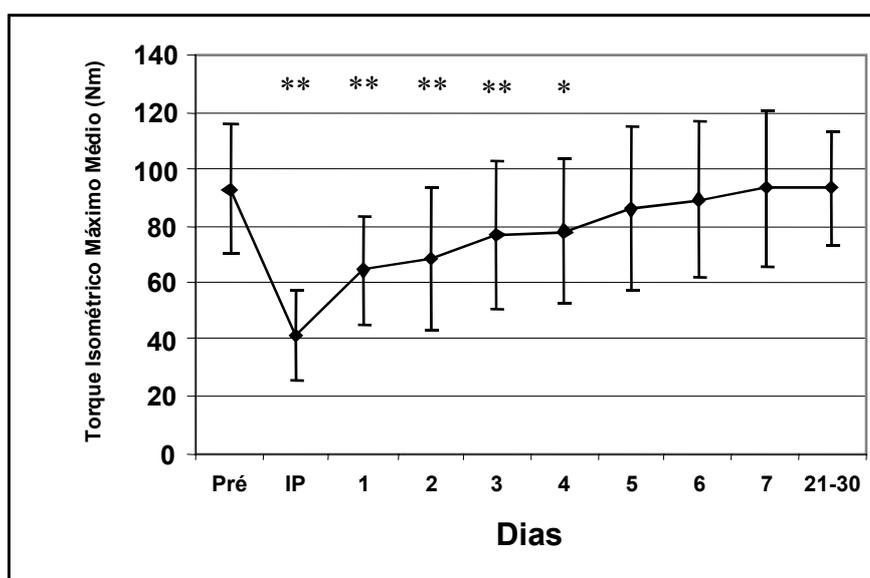


Figura 10- Valores médios e desvio padrão do Torque isométrico máximo médio antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's
 n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30)

5.2- Raiz Quadrada da Média dos Quadrados (*Root Mean Square-RMS*)

Os resultados deste estudo demonstraram que o RMS do músculo VMO diminuiu significativamente ($p < 0,01$) no 2º dia após o exercício excêntrico, quando comparado ao valor obtido antes do exercício (Figura 11A; Tabela 2-Apêndice 7). Para os músculos VL (Figura 11B; Tabela 3-Apêndice 7) e RF (Figura 11C; Tabela 4-Apêndice 7), foi observada uma diminuição significativa no RMS no 2º dia após o exercício excêntrico ($p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente). Entretanto, o RMS dos músculos VL e RF obtido entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico foi significativamente maior ($p < 0,01$), quando comparado ao valor obtido antes do exercício.

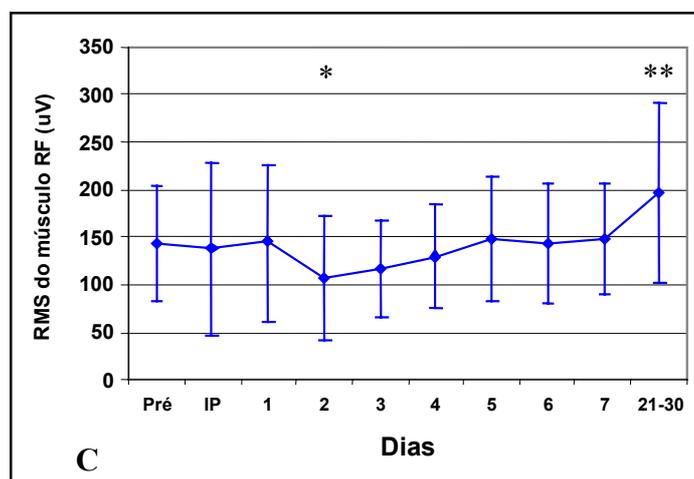
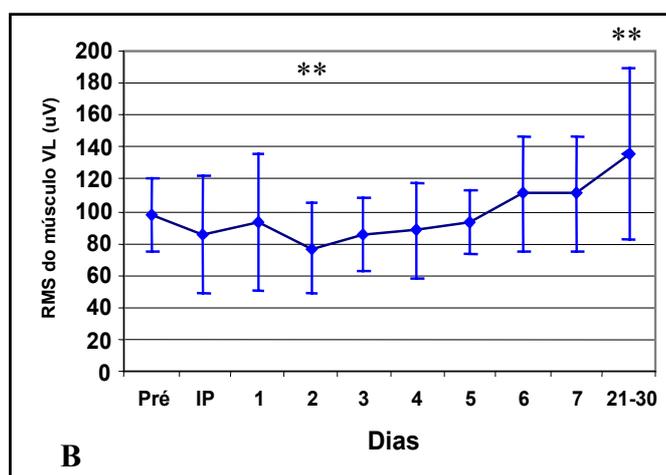
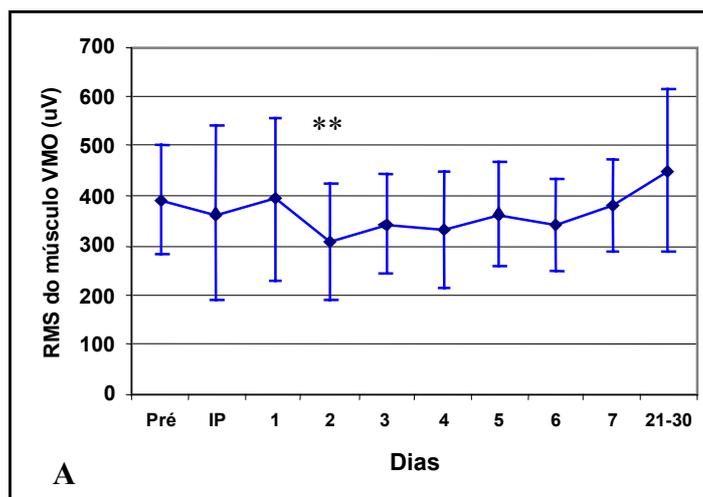


Figura 11- Valores médios e desvio padrão do RMS dos músculos VMO (A), VL (B) e RF (C) antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30^o (21-30) dias após o exercício excêntrico.

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's

Para os músculos VMO e VL: $n = 10$ (pré, 1 a 7), $n = 9$ (IP), $n = 7$ (21-30)

Para o músculo RF: $n = 10$ (pré, 1 e de 4 a 7), $n = 9$ (IP, 2-3), $n = 7$ (21-30)

5.3- Frequência Mediana (MDF)

Com a aplicação da *One-Way* ANOVA, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos na MDF dos músculos VMO ($p=0,90$), VL ($p=0,55$) e RF ($0,89$) – Figuras 12A, 12B e 12C, respectivamente, e tabelas 5, 6 e 7 (Apêndice 7), respectivamente.

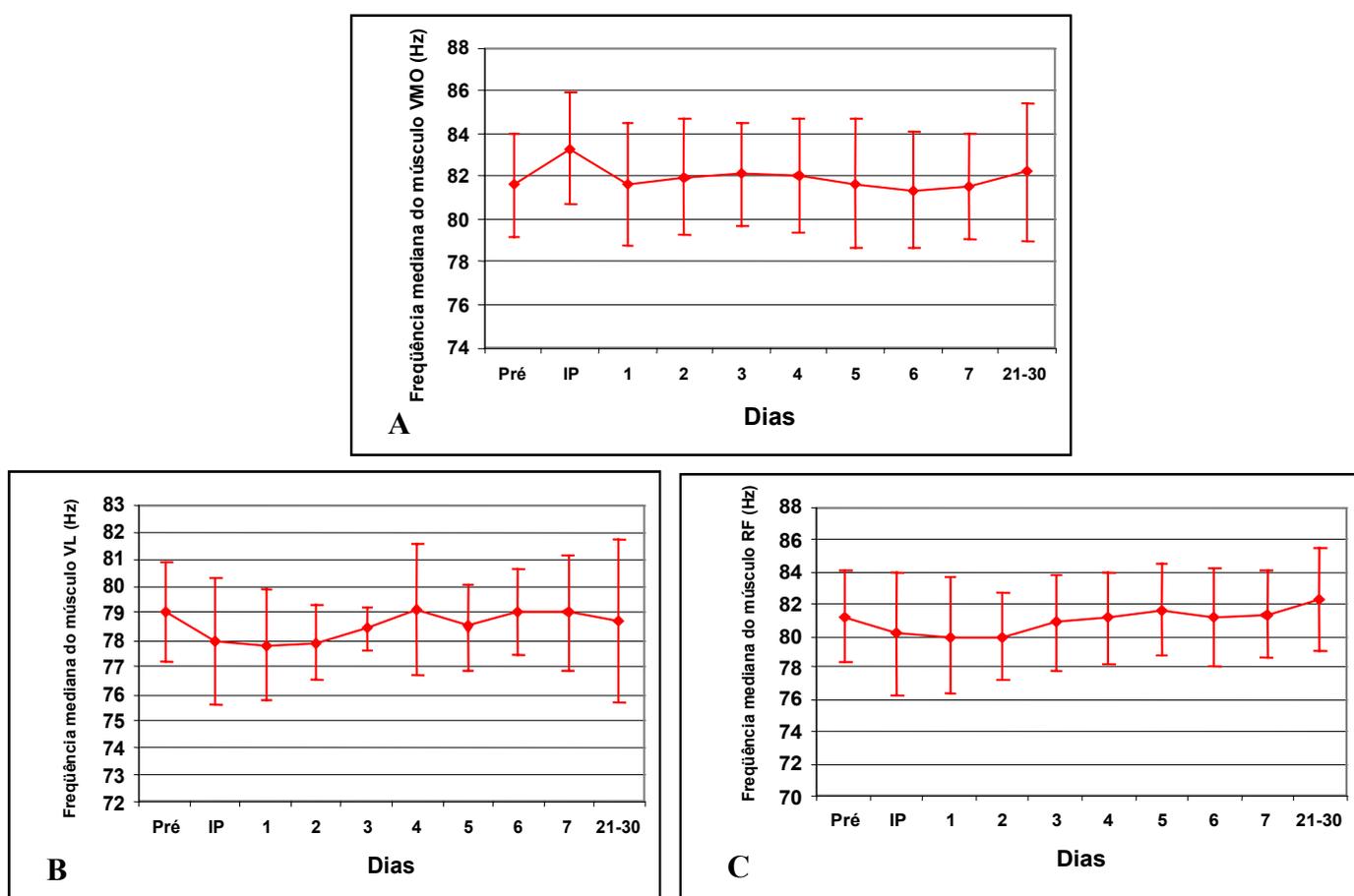


Figura 12- Valores médios e desvio padrão da MDF dos músculos VMO (A), VL (B) e RF (C) antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Teste *One-Way* Anova, $p<0,05$

Para os músculos VMO e VL: $n= 10$ (pré, 1 a 7), $n= 9$ (IP), $n= 7$ (21-30)

Para o músculo RF: $n= 10$ (pré, 1 e de 4 a 7), $n= 9$ (IP, 2-3), $n= 7$ (21-30)

5.4- Intensidade da Dor pela VAS

A VAS demonstrou que a intensidade da dor imediatamente após, e no 1º, 2º e 3º dias após o exercício excêntrico foi significativamente maior ($p < 0,01$) comparada àquela verificada no 2º e 3º dias antes do exercício excêntrico, com o pico de dor ocorrendo no 2º dia após o exercício (Figura 13; Tabela 8- Apêndice 7).

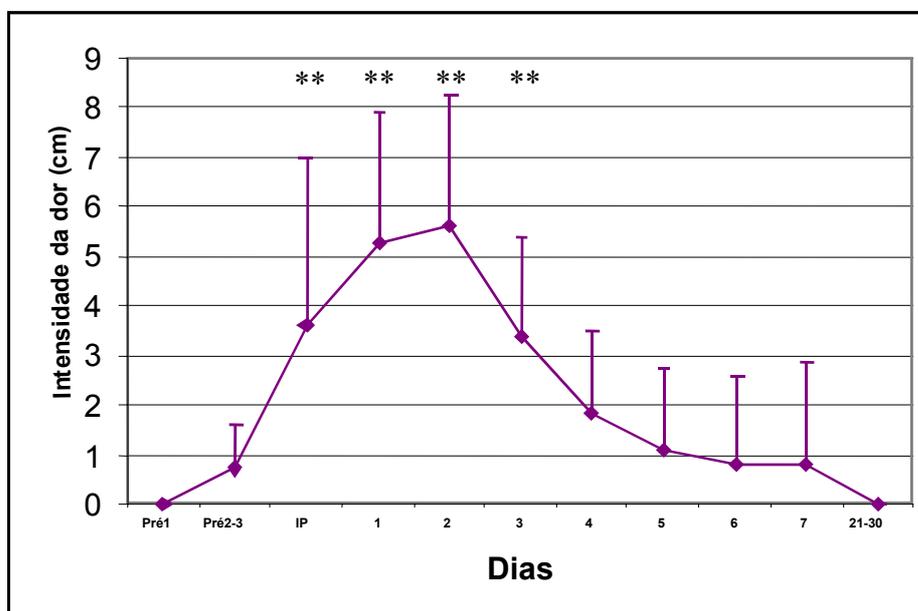


Figura 13- Valores médios e desvio padrão da intensidade da dor pela VAS no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Os valores obtidos após o exercício excêntrico foram comparados com os obtidos no 2º e 3º dias antes do exercício.

** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e *Dunnett's*
 $n = 10$ (pré a 7), $n = 7$ (21-30)

5.4- Atividade Plasmática da CK

A atividade plasmática da CK foi significativamente maior ($p < 0,05$) no 2º dia após o exercício excêntrico, quando comparada à atividade obtida antes do exercício (Figura 14; Tabela 9-Apêndice 7).

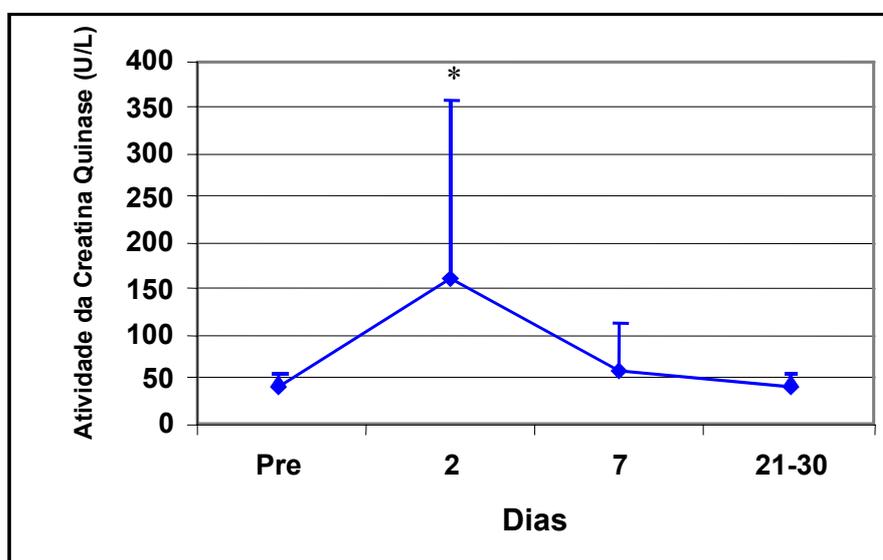


Figura 14- Valores médios e desvio padrão da atividade plasmática da CK antes (Pré), no 2º dia após (2), no 7º dia após (7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

* = $p < 0,05$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

5.5- Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor

5.5.1- Porcentagem de escolha de cada palavra

De uma forma geral a maior porcentagem de escolha de cada palavra ocorreu no 1º, 2º e 3º dia após o exercício excêntrico. As palavras “pesada” e “dolorida” foram as mais escolhidas imediatamente após, e no 1º e 2º dias após. Constatou-se ainda, que somente a palavra “pesada” foi escolhida por todas as voluntárias, imediatamente após, e no 1º e 2º dias após o exercício. No entanto, a palavra “dolorida” foi a mais escolhida do 4º ao 7º dia após o exercício. Além disso, foi observado que as palavras “cólica” e “dá náusea” não foram escolhidas em momento algum da avaliação da experiência dolorosa causada pelo exercício excêntrico. Após o 5º dia, nenhuma palavra foi escolhida por mais do que 50% das voluntárias e, entre o 21º e 30º dias nenhuma palavra foi escolhida (Tabela 10).

Tabela 10- Porcentagem de escolha de cada palavra da Versão Brasileira Resumida do Questionário McGill de Dor no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

	Pré	Pré 2	Pré 3	IP	1	2	3	4	5	6	7	21-30
Latejante	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	0%	0%	0%
Que irradia	0%	0%	10%	20%	30%	50%	30%	30%	10%	20%	0%	0%
Pontada de	0%	30%	40%	40%	50%	60%	60%	30%	40%	20%	20%	0%
Que corta	0%	0%	10%	40%	30%	50%	30%	10%	10%	0%	10%	0%
Cãibra	0%	30%	20%	40%	50%	30%	20%	20%	0%	0%	0%	0%
Cólica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Quente	0%	30%	30%	60%	60%	70%	50%	30%	20%	10%	0%	0%
Dolorida	0%	30%	50%	90%	90%	90%	80%	80%	50%	40%	30%	0%
Pesada	0%	20%	20%	100	100	100	80%	10%	10%	0%	0%	0%
Sensível	0%	20%	50%	50%	80%	80%	70%	60%	30%	20%	10%	0%
Repuxa	0%	10%	30%	60%	60%	70%	40%	40%	10%	10%	10%	0%
Que cansa	0%	10%	10%	50%	50%	60%	60%	10%	0%	0%	0%	0%
Dá náusea	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Horrível	0%	0%	0%	10%	30%	40%	20%	10%	0%	0%	0%	0%
Castigante	0%	0%	0%	20%	20%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

n= 10 (pré a 7); n= 7 (21-30).

5.5.2- Índice médio de avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total

O maior índice médio de avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total ocorreu no 2º dia após o exercício excêntrico. Além disso, em todos os dias após o exercício, o índice no aspecto sensorial foi superior ao afetivo.

Tabela 11- Índice médio e desvio padrão da avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

	Sensorial	Afetivo	Total
Pré	0	0	0
Pré 2	2,4 ± 2,75	0,1 ± 0,31	1,25 ± 2,24
Pré 3	3,4 ± 3,16	0,3 ± 0,94	1,85 ± 2,77
IP	8,7 ± 4,52	1,4 ± 1,34	5,05 ± 4,95
1	11 ± 5,81	1,3 ± 1,15	6,15 ± 5,93
2	11,3 ± 5,81	2,1 ± 2,33	6,7 ± 6,39
3	7 ± 4,94	1 ± 1,05	4 ± 4,64
4	3,8 ± 3,35	0,3 ± 0,67	2,05 ± 2,96
5	1,9 ± 1,91	0	0,95 ± 1,63
6	1,3 ± 1,56	0	0,65 ± 1,26
7	1 ± 1,15	0	0,5 ± 0,94
21-30	0	0	0

n= 10 (pré a 7); n= 7 (21-30)

5.5.3- Número médio de palavras escolhidas

Foi constatado que o maior número médio de palavras escolhidas ocorreu no 2º dia após (4,8) o exercício excêntrico. Na avaliação entre o 21º e 30º dias após nenhuma palavra foi escolhida.

Tabela 12- Número médio e desvio padrão das palavras escolhidas no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2 e Pré 3, respectivamente), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

Dias	Número médio de palavras
Pré	0
Pré2	1,2±1,3
Pré3	1,8±1,8
IP	4,0±3,03
1	4,4±3,08
2	4,8±3,2
3	3,6±2,8
4	2,2±2,31
5	1,2±1,57
6	0,8±1,2
7	0,5±0,9
21-30	0

n= 10 (pré a 7); n= 7 (21-30)

5.5.4- Intensidade da Dor Presente (PPI)

Na avaliação da intensidade da dor por meio do PPI, foi constatada uma intensidade da dor significativamente maior ($p < 0,01$) nas avaliações realizadas imediatamente após, e no 1º, 2º e 3º dias após o exercício excêntrico, quando comparada à intensidade da dor no 2º e 3º dias antes do exercício. Além disso, foi constatado que a intensidade da dor entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico foi significativamente menor ($p < 0,05$) àquela obtida no 2º e 3º dias antes do exercício (Figura 15; Tabela 13-Apêndice 7).

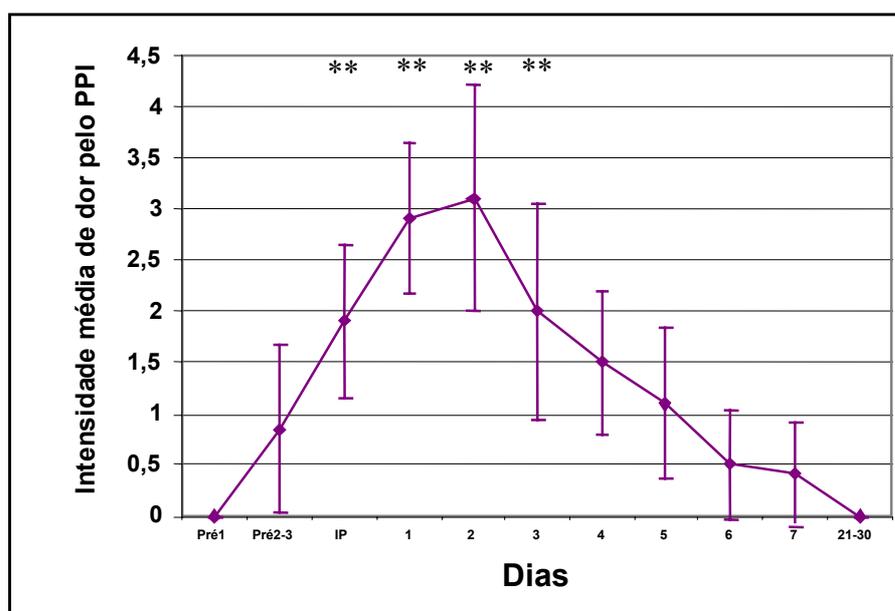


Figura 15- Valores médios e desvio padrão da intensidade da dor pelo PPI no 1º dia antes (Pré), no 2º e 3º dias antes (Pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Os valores obtidos após o exercício excêntrico foram comparados com os obtidos no 2º e 3º dias antes do exercício.

** = $p < 0,01$; Testes *One-Way* Anova e Dunnett's

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

5.6- Avaliação da lesão muscular pela RMN por imagem

Como descrito no item 4.3.6 (análise estatística), a RMN por imagem foi realizada em 6 voluntárias e a presença de lesão muscular, para cada dia de avaliação, foi determinada pela análise visual da imagem (intensidade do sinal). Na tabela 14, a presença de lesão nos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e vasto intermédio (VI), de cada voluntária, é indicada pelas cruzes (+). Observa-se na tabela que, os músculos VM, VL e VI, de todas as voluntárias, apresentaram sinais de lesão no 2º e 7º dias após o exercício excêntrico. O músculo RF, com exceção da voluntária 4, também apresentou sinais de lesão no 2º e 7º dias após o exercício. Além disso, verificou-se que a voluntária 3 apresentou sinais de lesão em todas as porções do músculo quadríceps até a avaliação entre o 21º e 30º dias após o exercício. A voluntária 5, com exceção do músculo RF, também apresentou sinais de lesão muscular até a avaliação entre o 21º e 30º dias após o exercício.

Tabela 14- Avaliação pela RMN por imagem da lesão nos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e vasto intermédio (VI) antes (Pré), no 2º (pós 2), no 7º (pós 7) e entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico.

		Voluntárias					
Músculos		1	2	3	4	5	6
	Pré						
	2	+	+	+	+	+	+
VM	7	+	+	+	+	+	+
	21-30			+		+	
	Pré						
	2	+	+	+	+	+	+
VL	7	+	+	+	+	+	+
	21-30			+		+	
	Pré						
	2	+	+	+	+	+	+
RF	7	+	+	+		+	+
	21-30			+			
	Pré						
	2	+	+	+	+	+	+
VI	7	+	+	+	+	+	+
	21-30			+		+	

n= 6; + = presença de lesão

Na figura 16 é exemplificado o exame por RMN do terço médio da coxa direita (corte axial) de uma voluntária, antes do exercício excêntrico, e no 2º, 7º e entre o 21º e 30º dias após o exercício.

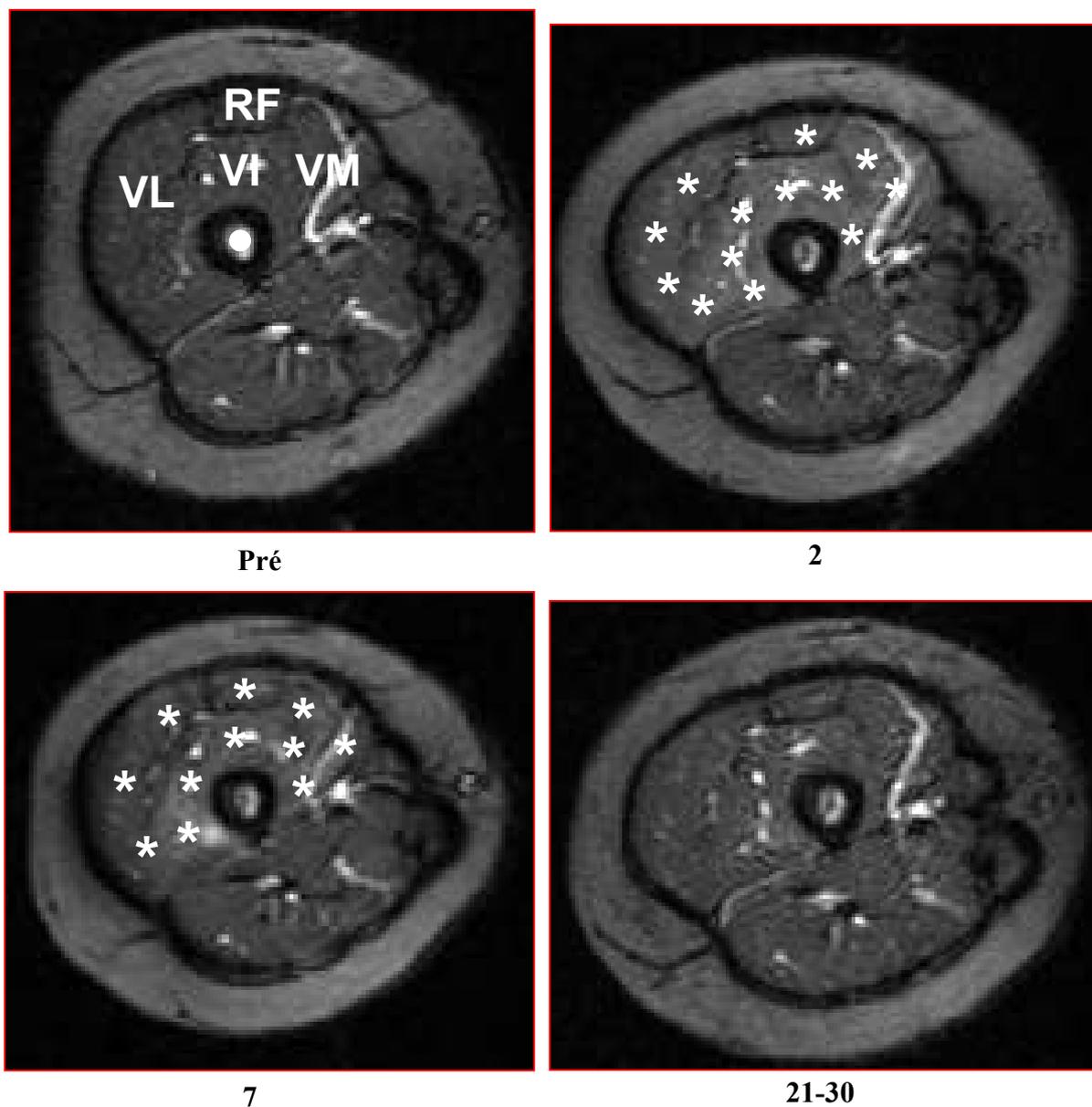


Figura 16- Imagens de RMN, do terço médio da coxa de uma voluntária, antes (Pre), no 2º (2), no 7º (7) e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Nota-se áreas claras indicando lesão muscular (asteriscos). Vasto medial (VM), Vasto lateral (VL), Reto Femoral (RF), Vasto Intermédio (VI) e Fêmur (●). A altura da secção é a mesma para cada um dos dias.

As imagens de RMN mostram regiões musculares hiperintensas no 2º e 7º dias após o exercício excêntrico comparadas com a imagem antes do exercício, indicando a presença de lesão muscular. A maior extensão de lesão muscular, nesta voluntária, foi observada no 2º dia após o exercício, enquanto no 7º dia pós-exercício ainda observa-se sinais de lesão muscular. No exame realizado entre o 21º e 30º dias não se observam sinais de lesão muscular.

Uma das voluntárias (voluntária 3) avaliada apresentou um padrão de lesão diferente das demais. Embora esta voluntária tenha apresentado a lesão em todo o músculo quadríceps, observou-se uma lesão mais evidente no músculo RF, que permaneceu até a avaliação entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico (Figura 17)

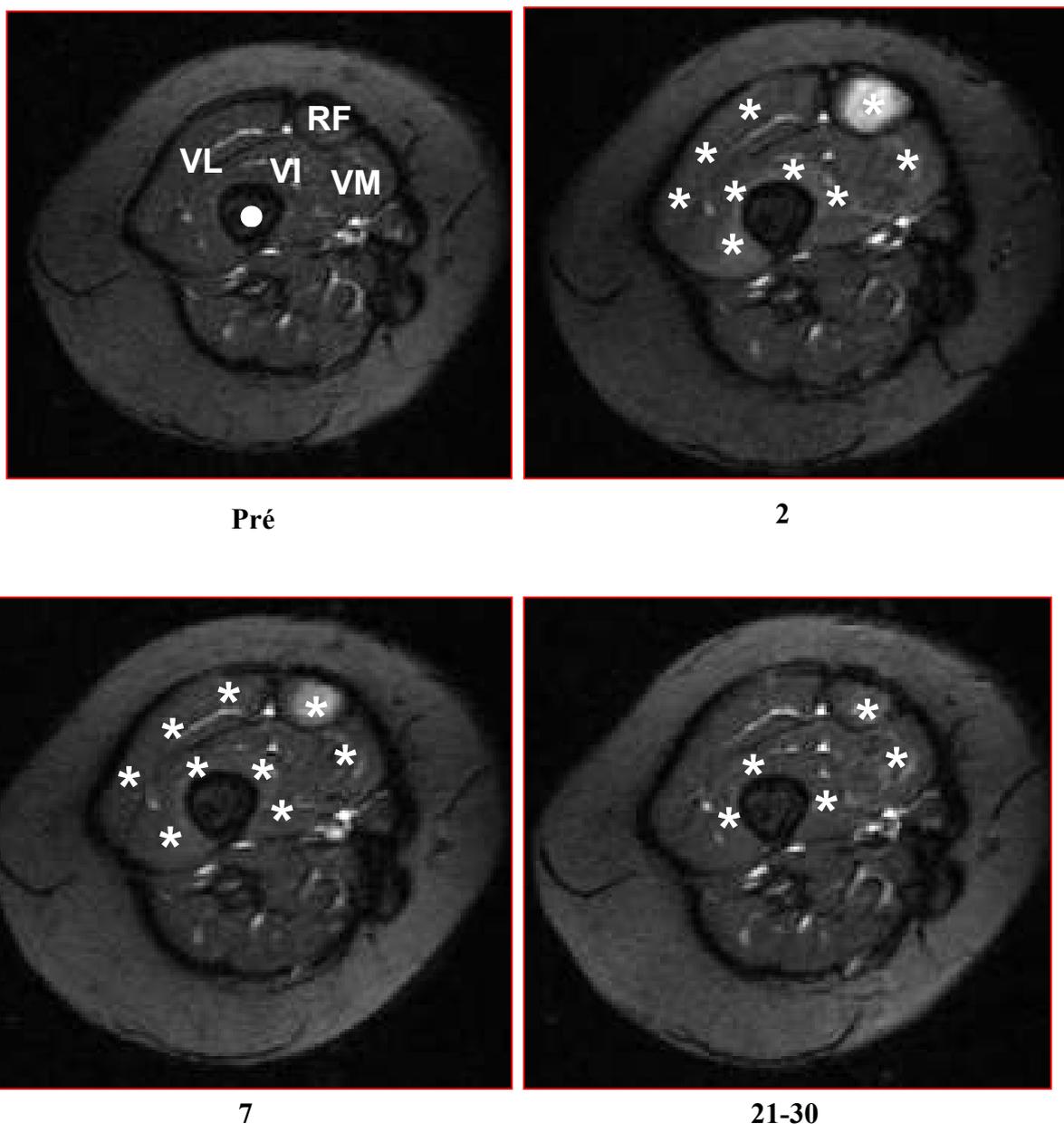


Figura 17- Imagens de RMN, do terço médio da coxa direita de uma voluntária, antes (Pre), no 2º (2), no 7º (7) e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico. Nota-se áreas claras indicando lesão muscular (asteriscos), mais evidente no músculo RF.

Vasto medial (VM), Vasto lateral (VL), Reto Femoral (RF), Vasto Intermédio (VI) e Fêmur (•). A altura da secção é a mesma para cada um dos dias.

6- DISCUSSÃO

6.1 – Ressonância Magnética Nuclear (RMN) por Imagem

Os resultados deste estudo demonstraram que os músculos VM, VL e VI, de todas as voluntárias apresentaram sinais de lesão no 2º e 7º dias após o exercício excêntrico. O músculo RF, com exceção da voluntária 4, também apresentou sinais de lesão no 2º e 7º dias após o exercício. Além disso, verificou-se que a voluntária 3 apresentou sinais de lesão em todas as porções do músculo quadríceps até o 21º dia após o exercício. A voluntária 5, com exceção do músculo RF, também apresentou sinais de lesão muscular até o 21º dia após o exercício. Assim, a avaliação por RMN permitiu demonstrar que o protocolo de exercício excêntrico utilizado neste estudo foi eficiente em induzir lesão nas diferentes porções do músculo quadríceps femoral de mulheres sedentárias.

Shellock et al. (1991), Nosaka e Clarkson (1996) e Foley et al. (1999) analisaram as alterações na intensidade do sinal e no tempo de relaxação T2 após o exercício excêntrico e relataram uma alteração prolongada em T2. No presente estudo, devido ao protocolo e equipamento utilizados, não foi possível determinar o tempo de relaxação T2, bem como a área de secção transversa. Assim, a determinação da lesão muscular foi realizada através da identificação das áreas com aumento na intensidade do sinal no músculo quadríceps femoral. Em função do aumento na intensidade do sinal ser considerado um reflexo do aumento no conteúdo de água tecidual, as alterações observadas neste estudo podem indicar edema no músculo quadríceps lesado.

É interessante observar que mesmo apresentando sinais de lesão muscular até o 7º dia após o exercício excêntrico, como verificado pela RMN por imagem, o torque isométrico retornou ao nível pré-exercício no 5º dia após. Golden e Dudley (1992) relataram que se a força está restaurada e o rompimento miofibrilar ainda está presente, uma ativação muscular mais completa mediará a restauração da força. No entanto, isto não foi observado

no presente estudo, pois embora o torque isométrico tenha retornado ao normal mesmo com a evidência de lesão muscular, não foram constatadas diferenças na MDF de nenhum dos músculos avaliados. Além disso, houve uma diminuição no RMS dos músculos VMO, VL e RF no 2º dia após.

Embora não tenha sido possível identificar o dia em que a lesão foi mais extensa em função de não se ter realizado avaliações entre o 2º e 7º dias após, foi possível constatar que no dia em que ocorreu o pico de dor muscular (2º dia após) o músculo quadríceps apresentou extensa hiperintensidade em todas as suas porções. Em relação à CK, pode-se sugerir que a alta atividade plasmática observada no 2º dia após está correlacionada com a lesão do músculo quadríceps, como constatado pela RMN.

Um resultado interessante ocorreu em uma das voluntárias, que apresentou um padrão de lesão diferente das demais. Embora esta voluntária tenha apresentado a lesão em todo o músculo quadríceps, observou-se uma lesão mais evidente no músculo RF, que permaneceu até a avaliação entre o 21º e 30º dias após o exercício excêntrico.

Garrett et al., (1989) avaliaram, por meio da tomografia computadorizada e da RMN, a incidência de lesão em vários músculos. Estes autores reportaram que dos componentes do músculo quadríceps, o RF foi o que apresentou maior incidência de lesão. Além disto, Garrett et al. (1989) observaram que as lesões foram mais frequentemente observadas na junção músculo-tendínea.

Embora esta voluntária tenha apresentado uma lesão mais evidente no músculo RF, quando comparado às outras voluntárias, e esta lesão tenha permanecido até o 21º dia após, o torque isométrico retornou ao nível pré-exercício no 6º dia após, o que foi semelhante ao comportamento do torque das outras voluntárias. Assim, sugere-se que a maior lesão no músculo RF desta voluntária não foi um fator que influenciou a recuperação do torque isométrico do músculo quadríceps.

6.2- Torque Isométrico Máximo Médio

Os resultados deste estudo demonstraram uma diminuição de 56% no torque isométrico máximo médio imediatamente após o exercício excêntrico. O torque isométrico manteve-se diminuído também do 1º ao 4º dia após o exercício. Estes resultados são similares aos observados por Newham et al. (1987), Clarkson et al. (1992), Nosaka e Clarkson (1995), MacIntyre et al. (1996), Child et al. (1998), Lund et al. (1998), Rinard et al. (2000), Nosaka et al. (2002a).

Clarkson et al. (1992) observaram uma diminuição de 50% na força isométrica máxima dos músculos flexores do cotovelo imediatamente após o exercício excêntrico máximo, com retorno gradual da força, porém ainda com déficit presente no 10º dia pós-exercício. Da mesma forma, utilizando um protocolo de exercício excêntrico máximo semelhante ao de Clarkson et al. (1992), Nosaka et al. (2002a) encontraram uma diminuição de 58,1% na força isométrica máxima imediatamente após, e que não retornou aos níveis pré-exercício até o 4º dia após. Byrne et al. (2001) estudaram as alterações nos torques isométrico máximo, concêntrico (30º/s e 180º/s) e excêntrico (30º/s e 180º/s) do músculo quadríceps femoral imediatamente após, e no 1º, 2º, 4º e 7º dias após exercício isocinético excêntrico máximo. Estes autores relataram uma diminuição significativa em todos os torques mensurados até o 7º dia após o exercício excêntrico.

As diferenças metodológicas em relação ao protocolo de exercício excêntrico utilizado são possíveis explicações para as diferenças encontradas nos resultados do torque isométrico obtidos no presente estudo e aqueles encontrados por Byrne et al. (2001). No presente estudo foi constatada uma diminuição significativa no torque isométrico máximo médio até o 4º dia após o exercício excêntrico, enquanto no estudo de Byrne et al. (2001) o torque isométrico permaneceu abaixo do valor obtido antes do exercício excêntrico até o 7º dia após. No entanto, no protocolo excêntrico de Byrne et al. (2001) os voluntários realizaram 100 contrações excêntricas máximas, enquanto no

presente estudo foram realizadas apenas 60 contrações excêntricas máximas. Talvez a principal diferença metodológica diz respeito à amplitude de movimento na qual o exercício excêntrico foi realizado. No estudo de Byrne et al. (2001) o exercício excêntrico foi realizado na amplitude de movimento de 40° a 140° de flexão (0°=extensão completa), enquanto no presente estudo foi utilizada a amplitude de 40° a 110° de flexão. Child et al. (1998) demonstraram que o exercício excêntrico realizado com o músculo no comprimento mais alongado resulta em maior perda funcional e lesão quando comparado ao exercício excêntrico realizado com o músculo em um comprimento menor. No estudo de Byrne et al. (2001) o exercício excêntrico foi realizado com o músculo quadríceps femoral em um comprimento mais alongado. Assim, sugere-se que o maior tempo para a recuperação do torque no estudo de Byrne et al. (2001) tenha sido decorrente de um maior grau de lesão, quando comparado ao presente estudo.

A magnitude da lesão e da perda da força pelo exercício excêntrico é dependente da intensidade do exercício (Nosaka et al., 2002a). Eston et al. (1996) relataram que protocolos de corrida na descida (exercício de *endurance* que envolve contração excêntrica submáxima), que produz mínima lesão, tipicamente resultam numa perda de 10-30% na força imediatamente após o exercício. O exercício excêntrico máximo pode muitas vezes resultar numa perda, imediatamente após, de 50-65% na capacidade de produção de força (Nosaka e Clarkson, 1995; MacIntyre et al., 1996).

Estudos usando modelos animais têm mostrado que esta diminuição na força após o exercício excêntrico é provavelmente conseqüente à lesão gerada pelo alto *stress* mecânico ao qual o músculo é submetido (Armstrong, 1990; Lieber e Friedén, 1993). Tem sido demonstrado, em animais, que o alongamento do músculo além de 140% do seu comprimento ótimo durante a contração excêntrica resulta em um *stress* mecânico anormal, diminuindo sua capacidade de produção de força e aumentando a lesão muscular (Faulkner et al., 1993).

O mecanismo exato da diminuição da força muscular após o exercício excêntrico não é bem conhecido (Clarkson e Hubal, 2002). McHugh (2003)

sugere que a perda de força após o exercício excêntrico estaria associada ao rompimento físico nas estruturas envolvidas na produção da força (incluindo a perda de proteínas contráteis miofibrilares) ou uma falha no processo de acoplamento excitação-contração (seqüência de eventos que inicia com a liberação da acetilcolina na junção neuromuscular e termina com a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático).

Uma manifestação da perda de força muscular após o exercício excêntrico é o fenômeno da fadiga de baixa freqüência. Após a lesão muscular induzida pelo exercício há uma diminuição na capacidade de produzir força em estimulações de baixa freqüência, que pode se estender até uma semana após o exercício (Jones, 1996; Hill et al., 2001). Hill et al. (2001) observaram que a perda de força durante a estimulação elétrica tetânica do músculo quadríceps femoral em 10 ou 20 Hz após o exercício excêntrico é maior quando comparada à perda de força durante estimulações em 50 ou 100 Hz. As principais características da fadiga de baixa freqüência são: 1- A força em baixas freqüências de estimulação é mais severamente afetada, 2- O efeito persiste na ausência de grandes distúrbios metabólicos ou elétricos no músculo, 3- A recuperação é lenta, durante horas ou, em casos severos, dias para uma completa recuperação, o que não ocorre em outros tipos de fadiga (por exemplo, fadiga de alta freqüência).

Este tipo de fadiga pode ser causado por uma variedade de atividades e é caracterizado pela perda de força quando testada em baixas freqüências de estimulação. Pelo fato da recuperação da força ser lenta, Jones (1981 apud JONES, 1996) sugeriu que a fadiga de baixa freqüência pode ser conseqüente à lesão na estrutura da fibra muscular e do processo de acoplamento excitação-contração. Isto foi fortalecido quando se observou que este tipo de fadiga era mais pronunciado após exercício excêntrico (Newham et al., 1983), que causa severa lesão muscular, ou quando o músculo era submetido a longos períodos de contração isométrica (JONES et al., 1989 apud JONES, 1996).

Edwards et al. (1977) sugeriram que a fadiga de baixa freqüência é devida a uma falha no processo de acoplamento excitação-contração. Estudos

realizados em animais indicam a redução na liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, após a lesão muscular induzida por exercício, como a causa primária da fadiga de baixa frequência, e oferecem evidências que a incapacidade do músculo produzir força máxima após o exercício excêntrico resulta da falha no processo de acoplamento excitação-contração.

As alterações na ultra-estrutura do retículo sarcoplasmático após lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico, em animais, foram observadas por Byrd (1992). Este autor relatou uma grande dilatação da cisterna e da porção longitudinal do retículo sarcoplasmático e do sistema de túbulos transversos (túbulo T) após a lesão muscular pelo exercício excêntrico. Byrd (1992) ainda enfatiza que as dilatações no retículo sarcoplasmático não são permanentes. No entanto, não se sabe se as dilatações no retículo sarcoplasmático após o exercício representam lesão ou uma resposta normal ao exercício intenso.

Warren et al. (2001 apud McHUGH, 2003) relataram que a falha no processo de acoplamento excitação-contração responde por cerca de 50-75% da perda da força nos primeiros 5 dias após o exercício excêntrico. Entretanto, esta estimativa é baseada em contrações máximas eletricamente estimuladas em modelos animais.

Atualmente, a falha no processo de acoplamento excitação-contração tem sido indicada como uma provável causa da diminuição da força muscular após o exercício excêntrico em humanos. O primeiro estudo que avaliou o efeito de um exercício intenso nas características funcionais do retículo sarcoplasmático (liberação de cálcio) em humanos foi desenvolvido por Hill et al. (2001). Eles estudaram o torque isométrico voluntário máximo, a contração isométrica em estimulações de baixas (10 e 20 Hz) e altas (50 e 100 Hz) frequências, e a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático antes, imediatamente após e 3,5 horas após um protocolo de exercício intenso. Foi observado que juntamente com uma diminuição de 33% no torque voluntário máximo do quadríceps houve uma diminuição significativa na produção de torque em estimulações de baixas frequências, e isto, apresentou uma correlação significativa com a diminuição na liberação de cálcio. Os autores concluíram que a diminuição de 35% na liberação de cálcio imediatamente

após o exercício, juntamente com uma associação significativa entre esta alteração e a severidade da fadiga de baixa frequência observada, suporta a hipótese que a redução na liberação de cálcio pode estar envolvida na redução da força em músculos humanos. Entretanto, os mecanismos responsáveis pela diminuição na liberação de cálcio ainda não são conhecidos.

Foi observado através da RMN que o protocolo de exercícios utilizado neste estudo resultou em lesão muscular. Assim, a lesão muscular observada pode ter colaborado com a diminuição do torque isométrico máximo médio nos dias que sucederam o exercício excêntrico.

6.3 Atividade Eletromiográfica

Os resultados deste estudo demonstraram que o RMS do músculo VMO diminuiu significativamente no 2º dia após o exercício excêntrico, quando comparado ao valor obtido antes do exercício. Resultados semelhantes de RMS foram observados entre os músculos VL e RF, com uma diminuição significativa no RMS no 2º dia após o exercício excêntrico e um aumento significativo entre o 21º e 30º dias após, quando comparado ao valor obtido antes do exercício.

Os resultados do RMS dos músculos VMO, VL e RF imediatamente após e no 1º dia após o exercício foram similares aos encontrados por Howell et al. (1985), Pearce et al. (1998), McHugh et al. (2000), Linnamo et al. (2000b), Bajaj et al. (2002) e Chen et al. (2003), que não relataram alterações após a indução da lesão muscular. No entanto, no 2º dia após foi constatada uma queda no RMS dos músculos VMO, VL e RF. Hortobágyi et al. (1999) também verificaram uma diminuição no RMS do músculo quadríceps femoral imediatamente após, e no 2º e 4º dias após o exercício excêntrico.

Segundo Basmajian e De Luca (1985) o RMS é representativo do número de unidades motoras ativadas durante a contração e é comumente utilizado como uma medida da atividade do músculo. Assim, pode-se sugerir que o número de unidades ativadas durante a contração isométrica dos

músculos VMO, VL e RF não foi alterado imediatamente após e no 1º dia após o exercício excêntrico.

Por outro lado, é difícil explicar a diminuição do RMS no 2º dia após para os três músculos estudados, e o aumento no RMS dos músculos VL e RF entre o 21º e 30º dias após o exercício. Como descrito acima, Hortobágyi et al. (1999) encontraram uma diminuição no RMS no 2º dia após, porém a diminuição já havia ocorrido imediatamente após o exercício. No presente estudo a diminuição no RMS somente ocorreu no 2º dia após, sem alteração nas avaliações imediatamente após e no 1º dia após. Uma observação importante é que no mesmo dia em que ocorreu a diminuição do RMS também houve o pico de dor. Assim, uma possível inibição da ativação muscular devido à dor poderia estar envolvida na diminuição do RMS observada no 2º dia após o exercício excêntrico, embora não tenha havido diminuição do torque isométrico.

Em relação à MDF, não foram encontradas diferenças significativas entre as medidas realizadas antes e após o exercício excêntrico, para os três músculos avaliados. Este resultado concorda com os relatados por Berry et al. (1990), que não encontraram alteração significativa na frequência média imediatamente após, e nos dias após a indução da lesão no músculo quadríceps femoral pelo exercício excêntrico. Por outro lado, Linnamo et al. (2000b) e Chen et al. (2003) observaram uma diminuição na MDF do músculo bíceps braquial até o 2º dia após o exercício excêntrico. Da mesma forma, Felici et al. (1997) relataram uma diminuição na frequência mediana no músculo bíceps braquial até o 4º dia após o exercício excêntrico.

A MDF tem sido relacionada à velocidade média de condução do potencial de ação na fibra muscular. Assim, uma diminuição na MDF durante a fadiga, tem sido atribuída a uma diminuição na velocidade de condução nas fibras musculares ativas (Arendt-Nielsen, 1985; Merletti et al., 2001).

Linnamo et al. (2000b) relataram que a diminuição na velocidade de condução na fibra muscular pode estar relacionada à concentração elevada de lactato no sangue e ao acúmulo de próton H^+ . No entanto, já foram observadas alterações na MDF na ausência de lactato sangüíneo (Linnamo et al., 2000a).

Na ausência de lactato sangüíneo, uma falha no processo de acoplamento excitação-contração (Vestergaard-Poulsen et al., 1995) e uma lesão seletiva das fibras musculares rápidas – tipo IIb (Lieber e Frieden, 1988) poderiam resultar na diminuição da MDF.

Com a lesão seletiva das fibras rápidas (IIb) após o exercício excêntrico, as fibras lentas (tipo I) seriam preferencialmente recrutadas. Uma vez que a velocidade de condução do potencial de ação das fibras lentas é menor, uma diminuição na MDF seria observada.

O recrutamento das unidades motoras com o aumento na produção de força progride de unidades motoras lentas (fibras musculares tipo I) para unidades motoras rápidas-oxidativas (fibras musculares tipo IIa) e daí para unidades motoras rápidas-glicolíticas (fibras musculares tipo IIb) (Clarkson et al., 1992). Entretanto, há evidências que durante uma contração excêntrica ocorre um recrutamento preferencial das unidades motoras rápidas-glicolíticas (fibras musculares tipo II) (Nardone et al., 1989). Assim, esse recrutamento preferencial das unidades motoras rápidas-glicolíticas explicaria a maior susceptibilidade das fibras musculares rápidas à lesão induzida pelo exercício excêntrico e a conseqüente diminuição na MDF.

Entretanto, o recrutamento durante a contração excêntrica é dependente da velocidade em que o movimento ocorre. Walmsley et al. (1978) evidenciaram que durante a locomoção em velocidade lenta, unidades motoras lentas-oxidativas são preferencialmente recrutadas durante a contração excêntrica.

Desta forma, a diferença na velocidade da contração excêntrica utilizada no protocolo de indução de lesão pode ter sido o fator responsável pela diferença nos resultados encontrados na MDF entre os estudos de Linnamo et al. (2000b) e Chen et al. (2003) e os encontrados no presente estudo. Linnamo et al. (2000b) e Chen et al. (2003) utilizaram contrações excêntricas em velocidades mais altas de movimento (115°/s e 60°/s, respectivamente) durante o protocolo de lesão, o que provavelmente resultou em lesão preferencial de fibras musculares rápidas (IIb) e conseqüente diminuição na MDF. Contrariamente, no presente estudo as contrações excêntricas para induzir

lesão foram realizadas a uma velocidade de movimento de 5°/s, o que provavelmente causou um recrutamento primário de unidades motoras lentas-oxidativas, sem lesão isolada ou preferencial das fibras musculares rápidas (tipo IIb). Assim, sugere-se que, após o exercício excêntrico as fibras rápidas (tipo IIb) continuaram a ser ativadas, sem portanto causar alteração na MDF.

Outros fatores relacionados às divergências nos resultados entre o presente estudo e aqueles relatados por Linnamo et al. (2000b) podem estar relacionados às diferenças metodológicas, tanto na captação quanto no pós-processamento do sinal. No estudo de Linnamo et al. (2000b) a MDF foi mensurada durante contrações concêntricas e excêntricas, enquanto no presente estudo a MDF foi mensurada durante contrações isométricas. No entanto, a alteração do posicionamento dos eletrodos em relação à zona de inervação é um dos problemas da mensuração da MDF em situações dinâmicas (Roy et al., 1986), o que pode ter sido um fator que influenciou os resultados de MDF de Linnamo et al. (2000). Desta forma, a realização da contração isométrica, no presente estudo, provavelmente eliminou este problema.

6.4- Avaliação da Dor

No presente estudo, a intensidade da dor foi avaliada por dois métodos: a escala analógica visual (VAS) e a intensidade da dor presente (PPI). Os resultados demonstraram que tanto pela VAS como pelo PPI a dor foi significativamente maior imediatamente após, e no 1º, 2º e 3º dias após o exercício excêntrico, com o pico ocorrendo no 2º dia após o exercício. Este resultado é similar aos já descritos na literatura (Nosaka e Clarkson, 1996; Brown et al., 1997; Barlas et al., 2000).

Alguns estudos (Rinard et al., 2000; Kraemer et al., 2001; Evans et al., 2002) avaliaram a intensidade da dor através da aplicação de uma VAS para cada atividade provocativa da dor muscular, tais como a contração e a palpação. No presente estudo a dor foi avaliada durante a palpação, contração

e auto-alongamento, mas somente uma VAS foi aplicada. Assim, a voluntária realizava as atividades que provocam a dor e, em seguida, fazia a anotação da maior dor percebida baseada nas três atividades. Aparentemente a aplicação de uma VAS para cada atividade provocativa de dor parece mais preciso. Entretanto, se pensarmos num contexto clínico, o paciente normalmente relata a sua intensidade de dor baseado nas atividades de vida diária, que envolve contração, alongamento e palpação. Ou seja, o paciente normalmente relata uma intensidade de dor global e não a intensidade de dor para cada atividade que a provoca. Além disso, Nosaka e Clarkson (1996) avaliaram a intensidade da dor no músculo bíceps braquial após a lesão induzida pelo exercício excêntrico durante a palpação e o movimento de extensão do cotovelo, e relataram que a dor se desenvolveu no 1º dia após e se manteve até o 3º dia após, sem diferença entre a palpação e a extensão do cotovelo.

Embora o comportamento da dor após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico tenha sido extensivamente estudado, o mecanismo exato que explique como ela se desenvolve e porque ela aparece mais tardiamente não é completamente compreendido. O edema e o aumento na pressão intramuscular resultante do exercício excêntrico são possíveis fatores envolvidos. Crenshaw et al. (1994 apud CLARKSON e HUBAL, 2002) encontraram um aumento na área de secção transversa da fibra e na pressão intramuscular do músculo quadríceps femoral após o exercício excêntrico.

Entretanto, Clarkson et al. (1992) reportaram que o comportamento da dor e do edema, mensurado pela circunferência do membro, não coincide. Estes autores verificaram que o edema desenvolveu-se gradualmente, com o pico de edema ocorrendo no 5º dia após o exercício, quando a dor já havia diminuído.

A presença de edema também foi comprovada pelas avaliações de RMN realizadas no presente estudo. Foi verificado que no dia em que ocorreu o pico de dor (2º dia após) havia uma extensa área de edema por todo o músculo quadríceps femoral, enquanto no 7º dia após houve uma diminuição tanto na dor quanto na extensão da lesão muscular. Como não foram realizadas avaliações por RMN entre o 2º e 7º dias, não foi possível verificar o

comportamento do edema durante toda a primeira semana e correlacionar com a intensidade de dor.

Embora haja a hipótese do envolvimento do edema e do aumento da pressão intramuscular no desenvolvimento da dor, deve ser ressaltado que a dor após exercício excêntrico normalmente é aparente durante a palpação, o alongamento e a contração, mas não durante o repouso. Desta forma, se o edema e o aumento da pressão intramuscular fossem os principais fatores envolvidos no desenvolvimento da dor, esta também deveria estar presente durante o repouso.

Uma outra hipótese para explicar o desenvolvimento da dor após o exercício excêntrico é a liberação de substâncias químicas decorrentes do processo inflamatório. As bradicininas, histamina e prostaglandina parecem estar envolvidas com a sensação de dor após o exercício. Estas substâncias são liberadas quando o tecido muscular é lesado e ativam as fibras nervosas tipo III (A delta) e IV (C) que levam informações da dor do músculo para o sistema nervoso central (O'Connor e Cook, 1999). Babenko et al. (1999) relataram que a injeção de bradicinina, histamina ou prostaglandina E2 no músculo resulta em hiperalgesia. Acredita-se que a ação excitatória destas substâncias sensibilize os nociceptores, diminuindo o limiar para estimulação. Assim, os nociceptores podem ser ativados por outros estímulos, tais como a deformação mecânica ou o edema. Howell et al. (1993) sugerem que o comportamento da dor (curso da dor) reflete a presença de mediadores químicos, mas a pressão seria o estímulo físico para evocar a sensação de dor.

Foi discutido anteriormente sobre os possíveis mecanismos envolvidos na diminuição da força após o exercício excêntrico, porém sem fazer referência de uma possível correlação entre a dor e a perda da força. Muitas vezes atribui-se à dor como o fator responsável pela diminuição da força desenvolvida pelo músculo após o exercício excêntrico. Ou seja, em função da dor o indivíduo não produziria voluntariamente a força máxima. Entretanto, segundo Clarkson (1992), a dor não pode ser usada como a principal explicação para a diminuição na força, desde que a força está ainda diminuída quando a dor não

é aparente. Em outras palavras, o curso do desenvolvimento da dor e perda/recuperação da força é muito diferente.

Em um estudo recente, Nosaka et al. (2002b) encontraram uma pequena correlação entre a dor e a diminuição na força muscular após a aplicação de um protocolo de exercício excêntrico para os músculos flexores do cotovelo. Da mesma forma, Newham et al. (1987) forneceram evidências contrárias à idéia que o indivíduo é incapaz de ativar totalmente os músculos devido à dor. Estes autores demonstraram que a aplicação de estimulação elétrica durante a contração voluntária máxima não resulta em qualquer aumento na produção de força, indicando que, embora eles estivessem com dor, os indivíduos foram capazes de ativar totalmente seus músculos. Embora não tenha sido realizado um teste de correlação entre a força e a dor, os resultados do presente estudo foram semelhantes aos encontrados pelos estudos acima, pois foi observado que o pico de dor ocorreu no 2º dia após o exercício excêntrico, quando o torque já estava se recuperando.

Embora o Questionário McGill de Dor tenha sido extensivamente utilizado na avaliação da dor em lesões músculo-esqueléticas, poucos estudos (Craig et al., 1996; Barlas et al., 2000; Bajaj et al., 2001) utilizaram-no para a avaliação da dor após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico.

Segundo nossa avaliação, esse é o primeiro estudo realizado para identificar as palavras usadas na língua portuguesa para relatar a experiência dolorosa após a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico.

Barlas et al. (2000) aplicaram a Versão Resumida do Questionário McGill para comparar o efeito dos medicamentos paracetamol, codeína e aspirina com um grupo controle (realizou o exercício excêntrico, mas não foi realizada qualquer intervenção) e um placebo (ingestão de pastilhas de lactose) na dor induzida pelo exercício excêntrico. Entretanto, a aplicação do questionário somente foi realizada imediatamente após e no 3º dia após o exercício. Os resultados deste estudo demonstraram que, para o grupo controle, o índice total foi maior imediatamente após, comparado ao 3º dia após o exercício excêntrico

Bajaj et al. (2001) avaliaram o comportamento da dor após a indução de lesão pelo exercício excêntrico no músculo 1º interósseo dorsal, em 11 homens. Entretanto, neste estudo foi utilizada a versão completa do Questionário McGill de Dor. Os autores relataram que as palavras mais escolhidas após 24 horas foram “*pressing*” (na versão brasileira “pressão”) e “*tiring*” (“dor que cansa”); após 48 horas a palavra mais escolhida foi “*sharp*” (“que corta”). No final da primeira semana nenhuma das palavras foi selecionada por mais do que 30% dos indivíduos e no final da segunda semana, nenhuma das palavras foi escolhida. Os autores ainda reportaram que o índice nos aspectos sensorial e afetivo foi maior imediatamente após o exercício quando comparado aos outros dias de avaliação. O índice no aspecto sensorial foi maior no 1º, 2º e 10º dias após o exercício quando comparado à avaliação realizada antes do exercício. O índice no aspecto sensorial foi maior que no aspecto afetivo em todos os dias de avaliação após o exercício.

Os resultados do presente estudo concordam parcialmente com os encontrados por Bajaj et al. (2001). Bajaj et al. (2001) relataram que as palavras mais escolhidas no 1º dia após a lesão induzida pelo exercício excêntrico foram “*pressing*” (na versão brasileira “pressão”) e “*tiring*” (“dor que cansa”). No entanto, no presente estudo, a palavra “pesada” foi a mais escolhida no 1º dia após o exercício. Além disso, a maior porcentagem de escolha da palavra “que cansa” ocorreu no 2º e 3º dias após o exercício. No 2º dia após o exercício, Bajaj et al. (2001) relataram que a palavra “*sharp*” (“que corta”) foi a mais escolhida. No presente estudo, a maior porcentagem de escolha da palavra “que corta” também ocorreu no 2º dia após (50%), porém a palavra mais escolhida neste dia foi “pesada” (100%). Bajaj et al. (2001) constatou que no final da primeira semana nenhuma das palavras foi selecionada por mais do que 30% dos indivíduos. Isto concorda com os resultados do presente estudo, pois também foi verificado que no 7º dia após o exercício a maior porcentagem de escolha foi de 30% para a palavra “dolorida”.

No estudo de Bajaj et al. (2001) o índice nos aspectos sensorial e afetivo foi maior imediatamente após o exercício, quando comparado aos outros dias de avaliação. Estes resultados são diferentes aos do presente estudo, onde o

índice nos aspectos sensorial e afetivo foi maior no 2º dia após o exercício excêntrico. Por outro lado, os dois estudos observaram um maior índice no aspecto sensorial do que no aspecto afetivo em todos os dias de avaliação após o exercício.

O fato dos músculos avaliados (quadríceps femoral, no presente estudo e 1º interósseo dorsal, no estudo de Bajaj et al., 2001) possuírem diferentes funções nas atividades de vida diária poderia ser uma explicação para as diferenças nos resultados entre os estudos. Outras possíveis explicações para as diferenças encontradas dizem respeito aos problemas relacionados à linguagem, às diferenças na forma de aplicação do questionário, e o fato do estudo de Bajaj et al. (2001) ter utilizado a versão completa do questionário McGill de Dor. As experiências culturais, sócio-econômicas, educacionais e a experiência dolorosa individual também poderiam ser citadas. No presente estudo, todas as voluntárias eram universitárias e, com exceção de três delas, cursavam a graduação na área da saúde.

Não foram encontrados na literatura trabalhos relacionando a fase do processo patofisiológico envolvido na lesão após o exercício excêntrico, com as palavras utilizadas para caracterizar a dor. No entanto, poderíamos destacar algumas observações interessantes nos nossos resultados. Por exemplo, a palavra “pesada” apresentou a maior porcentagem de escolha no exame realizado imediatamente após e até o 3º dia após o exercício excêntrico. Poderíamos relacionar a escolha desta palavra com a fadiga, imediatamente após, e com o edema presente nos dias seguintes (1º, 2º e 3º dias). A maior porcentagem de escolha da palavra “cãibra” ocorreu imediatamente após e no 1º dia após o exercício, talvez estando relacionada com a fadiga e espasmo muscular. O mesmo foi observado com a palavra “quente”, que apresentou a maior porcentagem imediatamente após, e no 1º e 2º dia após, podendo estar relacionado com o processo inflamatório instalado.

6.5- Avaliação da atividade plasmática da CK

Os resultados deste estudo demonstraram que a atividade plasmática da CK foi maior no 2º dia após o exercício, retornando ao nível pré-exercício no 7º dia após o exercício excêntrico.

O período no qual ocorre a maior atividade plasmática da CK parece ser dependente do tipo de exercício utilizado para induzir a lesão muscular. A maioria dos estudos utiliza a contração excêntrica máxima ou, então, a corrida na descida (esteira motorizada inclinada), aonde ocorre uma contração excêntrica submáxima do quadríceps. Alguns estudos (Byrnes, 1985; Eston et al., 1996) demonstraram que o pico de atividade da CK após a corrida na descida ocorreu entre o 1º e 2º dias, enquanto outros estudos (Clarkson et al., 1992; Lund et al., 1998; Schwane et al., 2000; Byrne et al., 2001; Lee e Clarkson, 2003) encontraram o pico de atividade da CK para exercícios excêntricos máximos entre o 4º e 6º dias após o exercício.

Uma das limitações deste estudo foi a não mensuração da atividade da CK entre o 2º e 7º dias após o exercício. Assim, não foi possível verificar o dia em que ocorreu o pico de atividade da CK após o protocolo de exercício excêntrico aplicado. No entanto, foi possível observar um aumento significativo no 2º dia, oferecendo evidências indiretas da ocorrência da lesão.

A variabilidade inter-indivíduos é destacada como um dos principais problemas na mensuração da atividade da CK como um indicador de lesão muscular. Nosaka e Clarkson (1996) constataram uma grande variabilidade na resposta da CK entre indivíduos submetidos ao mesmo protocolo de exercício excêntrico. Assim, Friden e Lieber (2001) não consideram a atividade da CK como uma medida confiável da quantidade de lesão muscular. Estes autores relataram uma pobre correlação entre a atividade da CK e a função dos músculos dorsiflexores de tornozelo de coelhos (torque evocado por estimulação nervosa) no 1º, 2º, 7º, 14º e 28º dias após lesão pelo exercício excêntrico. Eles relataram ainda que este resultado não foi surpreendente, desde que a permeabilidade da fibra muscular às enzimas intramusculares

pode ou não estar correlacionada com a função contrátil da célula. Embora Friden e Lieber (2001) tenham relatado que o nível de atividade da CK não está correlacionado com a magnitude da lesão muscular, eles sugerem que os níveis elevados de CK fornecem evidências de lesão muscular em uma maneira “binária” – lesado ou não lesado.

Segundo Clarkson e Hubal (2002) a variabilidade na resposta da CK parece não estar relacionada ao sexo, massa muscular ou nível de atividade física. Estes autores sugerem que a resposta da CK pode ser influenciada por vários fatores que não a lesão muscular, incluindo possíveis fatores genéticos.

De acordo com Lindena et al. (1979) a CK é transportada primeiramente pelo sistema linfático. Quando o músculo é lesado, há um rompimento na membrana celular permitindo que as proteínas musculares sejam removidas das células para o interstício (Rodenburg et al., 1994). Do interstício, as proteínas, dependendo dos seus tamanhos, entram diretamente no fluxo sanguíneo ou entram no sistema linfático. As proteínas transportadas pelo sistema linfático finalmente entram no fluxo sanguíneo através do ducto torácico. A CK mostra um retardo no aparecimento no sangue após o exercício excêntrico, tal que o seu aumento não é iniciado até 24-48 horas após, com o pico ocorrendo entre 96-120 horas após o exercício (Clarkson, 1992). Assim, fatores que afetam o fluxo linfático, tais como o movimento, afetaria a atividade da CK no sangue. Se o fluxo da linfa é restringido, haveria um retardo no aparecimento da CK no sangue e, devido a esse retardo, a CK provavelmente seria desativada antes de alcançar a circulação (Hsu e Watanabe, 1983).

Sayers e Clarkson (2003) compararam a atividade da CK após a indução de lesão dos flexores do cotovelo pelo exercício excêntrico em duas situações: grupo 1- os indivíduos tiveram o membro superior lesado imobilizado durante os primeiros 4 dias após o exercício (grupo imobilizado), e grupo 2- as atividades após o exercício foram mantidas (grupo controle). Os autores constataram, para o grupo controle, um aumento significativo na atividade da CK no 2º dia após o exercício, com o pico ocorrendo entre 4º e 5º dias após. Enquanto isso, no grupo imobilizado, não houve aumento significativo na

atividade da CK até o 3º dia após o exercício, quando um aumento na atividade já é esperado. No entanto, após a retirada da imobilização (4º dia) foi observado um aumento significativo na atividade da CK, sugerindo uma remoção, para os vasos sanguíneos, da CK acumulada nos vasos linfáticos durante o período de imobilização. Porém, a resposta da CK no grupo controle foi maior do que à observada no grupo imobilizado até o 7º dia após o exercício. Os autores sugeriram que a magnitude da resposta da CK após a retirada da imobilização não foi tão grande quanto àquela observada no grupo controle, devido a inativação da atividade da enzima dentro dos músculos ou vasos linfáticos durante o período de imobilização. Assim, conclui-se que a atividade da CK pode ser influenciada pela atividade muscular após o exercício excêntrico e, desta forma, pode ser um fator que explique a alta variabilidade na resposta.

A alta variabilidade inter-indivíduos na resposta da CK talvez seja a explicação mais plausível para o alto desvio padrão observado nas medidas realizadas no 2º e 7º dias após o exercício excêntrico neste estudo. No estudo de Sayers e Clarkson (2003), citado acima, também foram encontrados altos valores de desvio padrão no grupo controle, onde a atividade muscular após o exercício excêntrico não foi controlada. Por outro lado, a variabilidade inter-indivíduos no grupo imobilizado foi mínima, resultando em baixos valores de desvio padrão.

6.6- Limitações

No presente estudo a reprodução da colocação dos eletrodos foi realizada utilizando-se um molde de plástico. Com a voluntária na posição de teste, era feita a marcação do posicionamento dos eletrodos no molde. Para o reposicionamento dos eletrodos nas avaliações subseqüentes, o molde era colocado sobre a coxa da voluntária, com a marcação do posicionamento dos eletrodos na pele sendo realizada em seguida. Durante a colocação do molde

de plástico sobre a coxa da voluntária era aplicada uma força de tração, o que resultava em deformação do molde. No entanto, não era possível controlar a intensidade da força de tração aplicada sobre o molde. Assim, é possível que diferentes graus de deformação do molde tenha ocorrido entre as avaliações. Em função disto, algum erro em relação ao reposicionamento dos eletrodos é esperado. A colocação dos eletrodos sobre o ponto motor do músculo pode ser usada como uma tentativa para diminuir o erro no reposicionamento dos eletrodos. No entanto, alguns estudos não recomendam a colocação dos eletrodos sobre o ponto motor, mas sim, entre o ponto motor e a junção miotendinosa (De Luca, 1997). Em função disto, que no presente estudo optou-se pelo uso do molde de plástico para o reposicionamento dos eletrodos.

No presente estudo, a intensidade da dor foi avaliada por meio da VAS e do PPI. Embora esses métodos (principalmente a VAS) sejam extensivamente usados para a avaliação da intensidade da dor, eles estão sujeitos a erros em função de sua subjetividade. No entanto, quando comparamos esses dois métodos, podemos sugerir que o PPI talvez tenha uma maior precisão do que a VAS, pois no PPI é apresentada uma escala numérica de intensidade da dor acompanhada de cinco palavras de graduação da intensidade da dor.

7- CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo, dentro das condições experimentais utilizadas, permitem concluir que:

O protocolo de exercício excêntrico foi eficiente em induzir lesão no músculo quadríceps, como demonstrado pelas avaliações por RMN. A RMN demonstrou a presença de lesão por todo o músculo quadríceps femoral no 2º e 7º dias após o exercício, com algumas voluntárias ainda com sinais de lesão muscular no 21º dia após. Assim, este protocolo pode ser usado em estudos futuros que visam avaliar a função muscular, bem como avaliar o efeito de métodos utilizados no tratamento da lesão muscular;

O torque isométrico máximo médio sofreu uma diminuição de 56% imediatamente após o exercício excêntrico, e manteve-se diminuído até o 4º dia após o exercício, embora tenha apresentado sinais de recuperação desde o 1º dia;

Os resultados deste estudo demonstraram que o RMS dos músculos VMO, VL e RF diminuiu no 2º dia após o exercício excêntrico. Além disso, os músculos VL e RF demonstraram um aumento no RMS entre o 21º e 30º dias após, quando comparado ao valor obtido antes do exercício;

A frequência mediana dos músculos VMO, VL e RF não sofreu alterações após a indução de lesão pelo exercício excêntrico;

A intensidade da dor foi maior imediatamente após, e do 1º ao 3º dias após, com o pico ocorrendo no 2º dia após o exercício excêntrico;

A maior porcentagem de escolha de cada palavra relacionada à sensação dolorosa ocorreu do 1º ao 3º dias após o exercício excêntrico. As palavras “pesada” e “dolorida” foram as mais escolhidas imediatamente após, assim como no 1º e 2º dias após. Somente a palavra “pesada” foi escolhida por todas as voluntárias, imediatamente após, e no 1º e 2º dias após o exercício. Após o 5º dia, nenhuma palavra foi escolhida por mais de 50% das voluntárias. Entre o 21º e 30º dias nenhuma palavra foi escolhida;

O maior índice médio da avaliação da dor nos aspectos sensorial, afetivo e total ocorreu no 2º dia após o exercício excêntrico. Além disso, em todos os dias após o exercício, o índice no aspecto sensorial foi superior ao afetivo;

O maior número médio de palavras escolhidas relacionadas à dor ocorreu no 2º dia após o exercício excêntrico;

A atividade plasmática da CK foi maior no 2º dia após o exercício, retornando ao nível pré-exercício no 7º dia após o exercício excêntrico;

O torque isométrico máximo médio, a atividade da CK, o RMS e a dor recuperaram-se gradualmente na primeira semana, apesar da presença de lesão no músculo quadríceps femoral;

A recuperação funcional do músculo-esquelético ocorre durante a primeira semana após a lesão induzida pelo exercício mesmo na ausência de uma intervenção terapêutica;

Os resultados deste estudo oferecem uma maior dimensão do processo de lesão/regeneração do músculo-esquelético de humanos, possibilitando um melhor direcionamento do programa de reabilitação.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENDR-NIELSEN, L.; MILLS, K. The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fiber conduction velocity. **Electroencep. Clin. Neurophysiol.**, v. 60, p. 130-134, 1985.

ARMSTRONG, R. B. Initial events in exercise-induced muscular injury. **Med. Sci. Sports. Exerc.**, v. 22, p. 429-435, 1990.

BABENKO, V. et al. Experimental human muscle pain induced by intramuscular injections of bradykinin, serotonin, and substance P. **Eur. J. Pain**, v. 3, p. 93-102, 1999.

BAJAJ, P.; GRAVEN-NIELSEN, T.; ARENDR-NIELSEN, L. Post-exercise muscle soreness after eccentric exercise: psychophysical effects and implications on mean arterial pressure. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v. 11, p. 266-273, 2001.

BAJAJ, P. et al. Assessment of postexercise muscle soreness by electromyography and mechanomyography. **J. Pain**, v. 3, n. 2, p. 126-136, 2002.

BANDY, W. D.; HANTEN, W. P. Changes in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscles following isometric training. **Phys. Ther.**, v. 73, p. 455-467, 1993.

BARLAS, P. et al. Managing delayed-onset muscle soreness: Lack of effect of selected oral systemic analgesics. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, v. 81, p. 966-972, 2000.

* De acordo com NBR – 6023, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agosto de 2002.

Abreviaturas de periódicos segundo *World List of Scientific Periodicals*.

BASMAJIAN, J. V.; De LUCA, C. J. Muscle alive: their function revealed by electromyography. 5 ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985. 561 p.

BELCASTRO, A. Skeletal muscle calcium-activated neutral protease (Calpain) with exercise. **J. Appl. Physiol.**, v. 74, p. 1381-1386, 1993.

BERRY, C. B.; MORITANI, T.; TOLSON, H. Electrical activity and soreness in muscles after exercise. **Am. J. Phys. Med. & Rehabil.**, v. 69, n. 2, p. 60-66, 1990.

Bevilaqua-Grosso, D. **Músculo vasto lateral oblíquo. Correlações anatomo-clínicas.** 1996. 83 p. Dissertação (Mestrado em Biologia e Patologia Bucodental) - Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba.

BOUDRIAU, S. et al. Cytoskeletal structure of skeletal muscle: identification of an intricate exosarcomeric microtubule lattice in slow- and fast-twitch muscle fibers. **J. Histochem. Cytochem.**, v. 41, p. 1013-1021, 1993.

BROWN, S.; DAY, S.; DONNELLY, A. Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. **J. Sports Sci.**, v. 17, p. 397-402, 1999.

BYRD, S. K. Alterations in the sarcoplasmic reticulum: a possible link to exercise-induced muscle damage. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 24, n. 5, p. 531-536, 1992.

BYRNES, W.C. et al. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. **J. Appl. Physiol.**, v. 59, p. 710-715, 1985.

BYRNE, C.; ESTON, R. G.; EDWARDS R. H. T. Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v. 11, p. 134-140, 2001.

CASTRO, C. E. S. **A Formulação Lingüística da Dor: Versão Brasileira do Questionário McGill de Dor.** 1999. 240 f. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

CHEN, T. C. Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 89, p. 115-121, 2003.

CHILD, R. B.; SAXTON, J. M.; DONNELLY, A. E. Comparison of eccentric knee extensor muscle actions at two muscle lengths on indices of damage and angle-specific force production in humans. **J. Sports. Sci.**, v. 16, p. 301-308, 1998.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-Induced Muscle Damage in Humans. **Am. J. Phys. Med. Rehabil.**, v. 81(suppl. 11), p. 52-69, 2002.

CLARKSON, P. M.; NEWHAM, D. J. Associations between muscles soreness, damage and fatigue. **Adv. Exp. Med. Biol.**, v. 384, p. 457-469, 1995.

CLARKSON, P. M.; NOSAKA, K.; BRAUN, B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 24, n. 5, p. 512-520, 1992.

CLEARY, M. A. et al. Temporal pattern of the repeated bout effect of eccentric exercise on delayed-onset muscle soreness. **J. Athl. Train.**, v. 37, n. 1, p. 32-36, 2002.

CRAIG, J. A. et al. Lack of effect of transcutaneous electrical nerve stimulation upon experimentally induced delayed onset muscle soreness in humans. **Pain**, v. 67, p. 285-289, 1996.

DAYTON, W. R. et al. A Ca^{2+} activated protease possibly involved in miofibrillar protein turnover purification from porcine muscle. **Biochemistry**, v. 15, p. 2150-2158, 1976.

De LUCA, C.J. The use of surface electromyography in biomechanics. **J. Appl. Biomech.**, v. 13, p. 135-63, 1997.

EBBELING, C. B.; CLARKSON, P. M. Exercise-induced muscle damage and adaptation. **Sports Med.**, v. 7, p. 207-234, 1989.

EDWARDS, R. H. et al. Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. **J. Physiol.**, v. 272, p. 769-778, 1977.

ERVILHA, U. F.; DUARTE, M.; AMADIO, A. C. Estudo sobre procedimentos de normalização do sinal eletromiográfico durante o movimento humano. **Rev. Bras. Fisiot.**, v. 3, n. 1, 1998.

ESTON, R. G. et al. Muscle tenderness and peak torque changes after downhill running following a prior bout of isokinetic eccentric exercise. **J. Sports Sci.**, v. 14, p. 291-299, 1996.

EVANS, R. K. et al. Effects of warm-up before eccentric exercise on indirect markers of muscle damage. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 34, n. 12, p. 1892-1899, 2002.

FAULKNER, J. A.; BROOKS, S. V.; OPITECK, J. A. Injury of skeletal muscle fibers during contractions: Conditions of occurrence and prevention. **Phys. Ther.**, v. 73, p. 911-921, 1993.

FELICI, F.; COLACE, L.; SBRICCOLI, P. Surface EMG modifications after eccentric exercise. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, v. 7, n. 3, p. 193-202, 1997.

FOLEY, J.M. et al. MR measurements of muscle damage and adaptation after eccentric exercise. **J. Appl. Physiol.** V. 87, n. 6, p. 2311-2318, 1999.

FRIDÉN, J.; LIEBER, R. L. Serum creatine kinase level is a poor predictor of muscle function after injury. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v.11, p. 126-127, 2001.

GARRETT Jr, W. E. et al. Computed tomography of hamstring muscle strains. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 21, p. 506-514, 1989.

GOLDEN, C. L.; DUDLEY, G. A. Strength after bouts of eccentric or concentric actions. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 24, p. 926-933, 1992.

GOLDSPINK, G. Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. **J. Anat.**, v. 194, p. 323-334, 1999.

GUARATINI, M. I. **Confiabilidade e precisão da medida para teste-reteste no dinamômetro isocinético Biodex**. 1999. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

HANTEN, W. P.; SCHULTHIES, S. S. Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles. **Phys. Ther.**, v. 7, p. 561-565, 1990.

HILL, C. A. et al. Sarcoplasmic reticulum function and muscle contractile character following fatiguing exercise in humans. **J. Appl. Physiol.**, v. 531, n. 3, p. 871-878, 2001.

HORTOBÁGYI, T. et al. Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. **J. Appl. Physiol.**, v. 82, p. 492-498, 1998.

HOWELL, J. N. et al. An eletromyographic study of elbow motion during postexercise muscle soreness. **J. Appl. Physiol.**, v. 58, p. 1713-1718, 1985.

HOWELL, J. N.; CHLEBOUN, G.; CONATSER, R. Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans. **J. Physiol.**, v. 464, p. 183-196, 1993.

HSU, H.; WATANABE, J. The implication of thoracic duct lymph in the distribution and elimination of rabbit muscle creatine phosphokinase. **Chem. Pharm. Bull.**, v. 31, p. 3269-3276, 1983.

JENNER, G. et al. Changes in magnetic resonance images of muscle depend on exercise intensity and duration, not work. **J. Appl. Physiol.**, v. 76, p. 2119-2124, 1994.

JENSEN, M. P.; KAROLY, P.; BRAVER, S. The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods. **Pain**. v. 27, p. 117-126, 1986.

JONES, D. A. High- and low-frequency fatigue revisited. **Acta. Physiol. Scand.**, v. 156, p. 265-270, 1996.

KIRKENDALL, D. T.; GARRETT, W. E. Session 2: Eccentric muscle injury. Clinical perspectives regarding eccentric muscle injury. **Clin. Orthop. Rel. Res.**, v. 1 (suppl. 403), p. 81-89, 2002.

KOMI, P. V.; VIITASALO, J. T. Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions. **Acta. Physiol. Scand.**, v. 100, p. 246-254, 1977.

KRAEMER, W. et al. Continuous compression as an effective therapeutic intervention in treating eccentric-exercise-induced muscle soreness. **J. Sport Rehabil.**, v. 10, p. 11-23, 2001.

LAZARIDES, E. Intermediate filaments as mechanical integrators of cellular space. **Nature (London)**, v. 283, p. 249-256, 1980.

LEE, J.; CLARKSON, P. M. Plasma creatine kinase activity and glutathione after eccentric exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 35, n. 6, p. 930-936, 2003.

LEE, J. et al. Eccentric exercise effect on blood oxidative-stress markers and delayed onset of muscle soreness. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 34, n. 3, p. 443-448, 2002.

LIEB, F. J.; PERRY, J. Quadriceps function: an anatomical and mechanical study using amputated limbs. **J. Bone Jt. Surg.**, v. 50-A, p. 1535-1548, 1968.

LIEBER, R. L.; FRIDÉN, J. Selective damage of fast glycolytic muscle fibers with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior. **Acta Physiol. Scand.**, v. 133, p. 587-588, 1988.

LIEBER, R. L.; FRIDÉN, J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. **J. Appl. Physiol.**, v. 74, p. 520-526, 1993.

LIEBER, R. L.; THORNELL, L. E.; FRIDÉN, J. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 minutes of cyclic eccentric contraction. **J. Appl. Physiol.**, v. 80, p. 278-284, 1996.

LIEBER, R. L.; FRIDÉN, J. Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction. **J. Sci. Med. Sport.** v. 2, n. 3, p. 253-265, 1999.

LIEBER, R. L.; SHAH S.; FRIDÉN, J. Cytoskeletal disruption after eccentric contraction-induced muscle injury. **Clin. Orthop. Rel. Res.**, v. 1 (suppl. 403), p. 90-99, 2002.

LINDENA, J.; KUPPER, W.; TRAUTSCHOLD, I. Lymphatic transport of cellular enzymes from muscle into the intravascular compartment. **Enzyme**, v. 24, p. 120-131, 1979.

LINNAMO, V.; BOTTAS, R.; KOMI, P. V. Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue. **J. Electromyogr. Kinesiol.** v. 10, n. 293-300, 2000a.

LINNAMO, V. et al. Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, v. 10, p.417-424, 2000b.

LINDSTRÖM, L.; MAGNUSSON, R.; PETERSEN, I. Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studies with frequency analysis of EMG signals. **Electromyogr.**, v. 4, p. 341-356, 1970.

LOEB, G. E. et al. Distribution and innervation of short, interdigitated muscle fibers in parallel-fibered muscles of the cat hindlimb. **J. Morphol.**, v. 191, p. 1-15, 1987.

LUND, H. et al. Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathophysiological alterations related to delayed onset muscle soreness. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v. 8, p. 208-215, 1998.

LUTTMANN, A. Physiological basis and concepts of electromyography. In: KUMAR, S.; MITAL, A. (Org.). **Electromyography in Ergonomics**. Taylor & Francis, 1996. p. 51-95.

MacINTYRE, D. L. et al. Presence of WBC, decreased strength, and delayed soreness in muscle after eccentric exercise. **J. Appl. Physiol.**, v. 80, n. 3, p. 1006-1013, 1996.

MATHIASSEN, S. E.; WINKEL, J.; HAGG, G. M. Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, v. 4, n. 5, p. 197-226, 1995.

McHUGH, M. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v. 13, p. 88-97, 2003.

McHUGH, M. P. et al. Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. **J. Sports. Sci.**, v. 18, p. 163-172, 2000.

MELZACK, R. The McGill Pain Questionnaire Major properties and scoring methods. **Pain**, v. 1, p. 277-299, 1975.

MELZACK, R. The short-form McGill Pain Questionnaire. **Pain.**, v. 30, p. 191-197, 1987.

MERLETTI, R.; RAINOLDI, A.; FARINA, D. Surface electromyography for noninvasive characterization of muscle. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 29, n. 1, p. 20-25, 2001.

MORGAN, D. L. New insights into the behavior of muscle during active lengthening. **Biophys J.**, v. 57, p. 209-221, 1990

MORITANI, T.; MURAMATSU, S.; MURO, M. Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. **Am. J. Phys. Med.**, v. 66, p. 338-350, 1988.

NARDONE, A.; ROMANO, C.; SCHIEPPATI, M. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. **J. Physiol.**, London, v. 409, p. 451-471, 1989.

NEWHAM, D. J.; JONES, D. A.; CLARKSON, P. M. Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. **J. Appl. Physiol.**, v. 63, n. 4, p. 1381-1386, 1987.

NEWHAM, D. J. et al. Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. **Clin. Sci.**, v. 64, p. 55-62, 1983.

NOSAKA, K.; CLARKSON, P. M. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 27, n. 9, p. 1263-1269, 1995.

NOSAKA, K.; CLARKSON, P. M. Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 28, p. 953-961, 1996.

NOSAKA K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 34, n. 6, p. 920-927, 2002a.

NOSAKA K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v. 12, p. 337-346, 2002b.

O'CONNOR, P. J.; COOK, D. B. Exercise and pain: The neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. **Exerc. Sport. Sci. Rev.**, v. 27, p. 119-166, 1999.

OUNJIAN, M. et al. Physiological and developmental implications of motor unit anatomy. **J. Neurobiol.**, v. 22, p. 547-559, 1991.

PEARCE, A. J. et al. The effects of eccentric exercise on neuromuscular function of the biceps brachii. **J. Sci. Med. Sport.**, v. 1, n. 4, p. 236-244, 1998.

PLOUTZ-SNYDER, L. L. et al. Different effects of exercise and edema on T2 relaxation in skeletal muscle. **Magn. Reson. Med.**, v. 37, p. 676-682, 1997.

POTVIN, J. R. Effects of muscle kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contractions. **J. Appl. Physiol.**, v. 82, p. 144-151, 1997.

PROU, E. et al. Exercise-induced muscle damage: Absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. **J. Sports Med. Phys. Fitness**, v. 39, p. 226-232, 1999.

RODENBURG, J. B. et al. Changes in phosphorus compounds and water content in skeletal muscle due to eccentric exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 68, p. 205-213, 1994.

ROY, S.; DeLUCA, C.; SCHNEIDER, J. Effects of electrode location on myoelectric conduction velocity and median frequency estimates. **J. Appl. Physiol.**, v. 61, p. 1510-1517, 1986.

SAYERS, S. P.; CLARKSON, P. M. Short-term immobilization after eccentric exercise. Part II: Creatine Kinase and Myoglobin. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 35, n. 5, p. 762-768, 2003.

SERRAO, F. V. et al. Functional changes of human quadriceps muscle injured by eccentric exercise. **Braz. J. Med. Biol. Res.**, v. 36, n. 6, p.781-786, 2003.

SCHWANE, J. A. et al. Plasma creatine kinase responses of 18- to 30- yr- old African-American men to eccentric exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 32, n. 2, p. 370-378, 2000.

SHELLOCK, F. G.; FLECKENSTEIN, J. L. Magnetic Resonance Imaging of Muscle Injuries. In: STOLLER, D. W. (Org.). **Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics & Sports Medicine**. New York: Lippincott-Raven Publishers, 1997. p. 1341-1362.

SHELLOCK, F. G. et al. Exertional muscle injury: evaluation of concentric versus eccentric actions with serial MR imaging. **Radiol.**, v. 179, p. 659-664, 1991.

SIGNORILE, J. F. et al. The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v. 22, p. 2-9, 1995.

SODEBERG, G. L.; KNUTSON, L. M. A guide for use and interpretation of kinesiology electromyographic data. **Phys. Ther.**, v. 80, n. 5, p. 485-498, 2000.

SRIWATAKUL, K. Studies with different types of Visual Analogue Scales for measurement of pain. **Clin. Pharmacol. Ther.**, v. 34, p. 234-239, 1983.

TAKAHASHI, H. et al.. Changes in magnetic resonance images in human skeletal muscle after eccentric exercise. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, v. 69, p. 408-413, 1995.

THOMPSON, D.; NICHOLAS, C. W.; WILLIAMS, C. Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. **J. Sports Sci.**, v. 17, p. 387-395, 1999.

VESTERGAARD-POULSEN, P. et al. Simultaneous ³¹P-NMR spectroscopy and EMG in exercising and recovering human skeletal muscle: a correlation study. **J. Appl. Physiol.**, v. 79, n. 5, p. 1469-1478, 1995.

WALMSLEY, B.; HODGSON, J. A.; BURKE, E. Forces produced by medial gastrocnemius and soleus muscles during locomotion in freely moving cats. **J. Neurophysiol.**, v. 41, p. 1203-1216, 1978.

APÊNDICE 1**FICHA DE AVALIAÇÃO FÍSICA****DADOS PESSOAIS**

Voluntário número: _____ Data da Avaliação: _____

Nome: _____

Idade: _____ Sexo: _____

Peso: _____ Altura: _____

Atividade Física: sim () não ()

modalidade: _____

frequência: _____

História de lesão ou trauma no músculo quadríceps ? sim () não ()

Se sim, há quanto tempo ? _____

História de problemas cardíaco-respiratório ? _____

AVALIAÇÃO POSTURAL

- Vista Anterior
- Vista Lateral
- Vista Posterior

PROVAS DE FORÇA MUSCULAR MANUAL

	Membro Inferior Direito	Membro Inferior Esquerdo
Quadríceps		
Isquiotibiais		
Adutores		
Abdutores		
Flexores do Quadril		
Extensores do Quadril		

PROVAS DE RETRAÇÕES MUSCULARES

	Membro Inferior Direito	Membro Inferior Esquerdo
Isquiotibiais		
Gastrocnêmios		
Prova de Thomas		
Prova de Ober		
Sóleo		

JOELHO

Testes Especiais	Joelho Direito	Joelho Esquerdo
Stress Valgo 0° 30		
Stress Varo 0° 30°		
Gaveta Anterior Posição Neutra Rotação Lateral Rotação Medial		
Gaveta Posterior Posição Neutra Rotação Medial Rotação Lateral		
Lachman		
Mc Murray		
Apreensão		
Pipkin		

PATELA

Hiper móvel: _____

Hipomóvel: _____

Alta: _____

Normal: _____

Medializada: _____

Lateralizada: _____

APÊNDICE 2

TERMO DE CONSENTIMENTO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar

Departamento de Fisioterapia / Laboratório de Neurociências

Consentimento formal de participação no trabalho de doutoramento:
“Alterações Morfo-Funcionais Do Músculo Quadríceps Femoral De Humanos Lesado Pelo Exercício Excêntrico ”

Orientadora : Prof^ª. Dr^ª. Tânia de Fátima Salvini – Laboratório de Neurociências – UFSCar.

Aluno: Fábio Viadanna Serrão

Eu, _____, RG N^o
_____, residente à _____ n^o
_____, bairro _____, na cidade de
_____, estado _____, concordo

em participar como voluntário (a) do trabalho: **“Alterações Morfo-Funcionais Do Músculo Quadríceps Femoral De Humanos Lesado Pelo Exercício Excêntrico ”**, proposto pela Prof^ª. Dr^ª. Tânia de Fátima Salvini, pelo aluno Fábio Viadanna Serrão.

O trabalho tem como objetivo avaliar a performance e a dor do músculo quadríceps femoral antes e após a lesão induzida por exercício excêntrico.

Inicialmente, serei submetido (a) a uma avaliação física. Em seguida serei submetido (a) a uma avaliação eletromiográfica (não invasiva) e do torque do músculo quadríceps femoral antes e durante os sete dias que se seguem a lesão do músculo quadríceps femoral induzida por exercício excêntrico no dinamômetro isocinético Biodex Inc. Também serei submetido (a) a uma avaliação de ressonância magnética e sangüínea para a dosagem de creatina quinase.

Os dados obtidos neste trabalho serão mantidos em sigilo e não poderão ser consultados por outras pessoas sem a minha autorização por escrito. Por outro lado, poderão ser utilizados para fins científicos, resguardando, no entanto, a minha privacidade.

Eu li e entendi todas as informações contidas neste documento, assim como as da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

São Carlos, _____ de _____ de 2001 .

Assinatura do Voluntário (a)

Responsáveis:

Prof^a. Dr^a. Tânia de Fátima Salvini

Fábio Viadanna Serrão

APÊNDICE 3

APÊNDICE 4**LABORATÓRIO DE NEUROCIÊNCIAS – UFSCar****Ficha de Avaliação da Dor – VAS**

Nome do voluntário: _____

Número do voluntário: _____

Pré**Sem dor****A maior dor possível****Pré 2****Sem dor****A maior dor possível****Pré 3****Sem dor****A maior dor possível****Imediatamente após à lesão****Sem dor****A maior dor possível****1º dia após à lesão****Sem dor****A maior dor possível****2º dia após à lesão****Sem dor****A maior dor possível**

3º dia após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

4º dia após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

5º dia após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

6º dia após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

7º dia após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

Entre o 21º e 30º dias após à lesão

|_____|
Sem dor A maior dor possível

APÊNDICE 5

SHORT-FORM MCGILL PAIN QUESTIONNAIRE
RONALD MELZACK

PATIENT'S NAME: _____

DATE: _____

	<u>NONE</u>	<u>MILD</u>	<u>MODERATE</u>	<u>SEVERE</u>
THROBBING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
SHOOTING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
STABBING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
SHARP	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
CRAMPING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
GNAWING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
HOT-BURNING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
ACHING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
HEAVY	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
TENDER	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
SPLITTING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
TIRING-EXHAUSTING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
SICKENING	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
FEARFUL	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____
PUNISHING-CRUEL	0) _____	1) _____	2) _____	3) _____

NO PAIN |-----| WORST POSSIBLE PAIN

P P I

- 0 NO PAIN _____
- 1 MILD _____
- 2 DISCOMFORTING _____
- 3 DISTRESSING _____
- 4 HORRIBLE _____
- 5 EXCRUCIATING _____

APÊNDICE 6**Versão Brasileira Resumida do MCGILL PAIN QUESTIONNAIRE
Castro (1999)****Data da entrevista:** _____

Entrevistadores:

Número do voluntário: _____ Número do Exame: _____**Dados Pessoais****Nome:** _____

Idade: _____

Sexo: _____

Estado civil: _____

Escolaridade: _____

Profissão: _____

Nº de filhos: _____

Horas de sono: _____

Endereço:

CEP: _____

Cidade: _____

Telefone: _____

Indicativo

diagnóstico:

ANAMNESE**Queixa Principal (QP)****História da Moléstia Atual (HMA)****História Progressiva (HP)**

Parte I. DESCRIÇÃO DA DOR
Versão Brasileira Resumida do MCGILL PAIN QUESTIONNAIRE

Castro (1999)

	Nenhuma	Fraca	Moderada	Severa
Latejante	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Que irradia	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Pontada de faca	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Que corta	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Cãimbra	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Cólica	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Quente	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Dolorida	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Pesada	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Sensível	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Repuxa	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Que cansa	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Dá náusea	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Horrível	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____
Castigante	0) ____	1) ____	2) ____	3) ____

Parte II. QUAL É A INTENSIDADE DE SUA DOR PRESENTE (PPI) ?

_____	(0)	SEM DOR
_____	(1)	FRACA
_____	(2)	MODERADA
_____	(3)	FORTE
_____	(4)	VIOLENTA
_____	(5)	INSUPORTÁVEL

PARTE III. ESCALA ANALÓGICA VISUAL (VAS)

Sem dor		A maior dor possível

APÊNDICE 7

TABELAS

Tabela 1: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do Torque Isométrico Máximo Médio antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21º e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	78475,12825	9	8719,45869	14,86395	<0.0001 **
Dentro do grupo	198276,83439	338	586,61785		
Total	276751,96264	347			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)--

	Controle (Pré)
IP	9.62276**
1	5.57942**
2	4.78951**
3	3.08565**
4	2.88328*
5	1.32305 ns
6	,74857 ns
7	,06746 ns
21-30	,0887 ns

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n = 10 (pré, 1 a 7), n = 9 (IP), n = 7 (21-30)

Tabela 2: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo VMO antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	ValorF	Probabilidade
Entre grupos	417681,81554	9	46409,09062	3,05024	,0016 *
Dentro do grupo	5142627,79365	338	15214,87513		
Total	5560309,6092	347			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)--

	Controle (Pré)
IP	,99633 ns
1	,04914 ns
2	3.27853**
3	1.83005 ns
4	2.39278 ns
5	1.09042 ns
6	1.9608 ns
7	,46745 ns
21-30	1.99608 ns

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Tabela 3: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo VL antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	66909,17699	9	7434,353	7,43375	<0.0001 **
Dentro do grupo	338027,25979	338	1000,08065		
Total	404936,43678	347			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)--

	Controle (Pré)
IP	1.77468 ns
1	63831 ns
2	3.1932**
3	1.77326 ns
4	1.47327 ns
5	,69831 ns
6	1.94159 ns
7	1.99659 ns
21-30	5.00079**

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Tabela 4: Análise de Variância (ANOVA) e teste de Dunnett's do RMS do músculo RF antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	122956,18056	9	13661,79784	2,9428	,0022 **
Dentro do grupo	1541293,29312	332	4642,44968		
Total	1664249,47368	341			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 e de 4 a 7), n= 9 (IP, 2-3), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)--

	Controle (Pré)
IP	,37654 ns
1	06111 ns
2	2.48222*
3	1.74647 ns
4	,99243 ns
5	,37439 ns
6	,02243 ns
7	,37207 ns
21-30	3.25397**

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 e de 4 a 7), n= 9 (IP, 2-3), n= 7 (21-30)

Tabela 5: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo VMO antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	28,6561	9	3,18401	,4467	,9064 ns
Dentro do grupo	755,55079	106	7,12784		
Total	784,2069	115			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Tabela 6: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo VL antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	29,84288	9	3,31588	,86739	,5567 ns
Dentro do grupo	405,21746	106	3,8228		
Total	435,06034	115			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 a 7), n= 9 (IP), n= 7 (21-30)

Tabela 7: Análise de Variância (ANOVA) da frequência mediana do músculo RF antes (Pré), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	40,17034	9	4,46337	,47185	,8905 ns
Dentro do grupo	983,76825	104	9,45931		
Total	1023,9386	113			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré, 1 e de 4 a 7), n= 9 (IP, 2-3), n= 7 (21-30)

Tabela 8: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da intensidade da dor pela escala analógica visual (VAS) no primeiro dia antes (Pré), no segundo e terceiro dias antes (pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	436,32196	9	48,48022	15,95989	<0.0001 **
Dentro do grupo	294,65	97	3,03763		
Total	730,97196	106			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)--

	Controle (Pré 2-3)
IP	4.07399**
1	7.33318**
2	7.33318**
3	3.7777**
4	1.11109 ns
5	,22222 ns
6	,37036 ns
7	,66665 ns
21-30	,58793 ns

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Tabela 9: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da atividade plasmática da creatina quinase (CK) antes (Pré), no 2º dia após (2), no 7º dia após (7) e entre o 21 e 30º (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	96211,45251	3	32070,48417	2,82115	.05 *
Dentro do grupo	375139,62857	33	11367,86753		
Total	471351,08108	36			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)

	Controle (Pré)
2	2.51038*
7	,31878 ns
21-30	,00734 ns

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Tabela 13: Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Dunnett's da intensidade da dor presente (PPI) no primeiro dia antes (Pré), no segundo e terceiro dias antes (pré 2-3), imediatamente após (IP), nos 7 dias após (1 a 7), e entre o 21 e 30° (21-30) dias após o exercício excêntrico.

ANOVA Summary Table

	Soma dos quadrados	df	Quadrados médios	Valor F	Probabilidade
Entre grupos	96,35654	9	10,70628	18,04534	<0.0001 **
Dentro do grupo	57,55	97	,5933		
Total	153,90654	106			

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)

Dunnett's Procedure (Tratamento vs. Controle)

	Controle (Pré 2-3)
IP	3.51971**
1	6.87181**
2	7.54224**
3	3.85492**
4	2.17887 ns
5	,83803 ns
6	1.50845 ns
7	1.50845 ns
21-30	2.51284*

Estatisticamente significativa ao nível de 5%

* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$

ns= diferença não significativa

n= 10 (pré a 7), n= 7 (21-30)