



Pontifícia Universidade Católica do Paraná

**ANSELMO GREGO NETO**

**EFEITO AGUDO DO ALONGAMENTO ESTÁTICO  
DOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO  
DOS MÚSCULOS FLEXORES E EXTENSORES DE JOELHO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
TECNOLOGIA EM SAÚDE  
PUCPR**

**PUCPR**

**CURITIBA  
2007**

**ANSELMO GREGO NETO**

**EFEITO AGUDO DO ALONGAMENTO ESTÁTICO DOS ISQUIOTIBIAIS  
NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DOS MÚSCULOS FLEXORES E  
EXTENSORES DE JOELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia em Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisangela Ferretti Manfra

**CURITIBA**

**2007**

Grego Neto, Anselmo  
G819e Efeito agudo do alongamento estático dos isquiotibiais no desempenho  
2007 isocinético dos músculos flexores e extensores de joelho / Anselmo Grego Neto  
; orientadora, Elisangela Ferretti Manffra. – 2007.  
102 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Curitiba, 2007

Bibliografia: f. 87-93

1. Exercícios de alongamento muscular. 2. Maleabilidade. 3. Força muscular.  
4. Torque. I. Manffra, Elisangela Ferretti. II. Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde. III. Título.

CDD 21.ed. – 613.71



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM SAÚDE  
DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 052

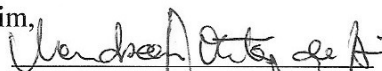
Aos 27 dias do mês de junho de 2007 realizou-se a sessão pública de defesa da dissertação “Efeito Agudo do Alongamento Estático dos Isquiotibiais no Desempenho Isocinético dos Músculos Flexores e Extensores de Joelho”, por Anselmo Grego Neto como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia em Saúde, – Área de Concentração – Bioengenharia perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr<sup>a</sup>. Elisangela Ferretti Manfira,  
PUCPR (Orientador)

  
assinatura

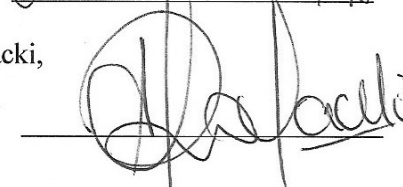
APROVADO  
parecer (aprov/ reprov.)

Prof. Dr. Mardson Freitas Amorim,  
PUCPR



APROVADO

Prof. Dr. André Luiz Felix Rodacki,  
UFPR

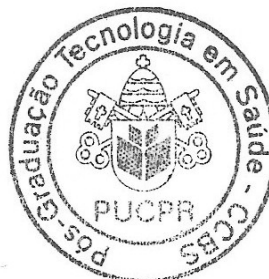


APROVADO

Conforme as normas regimentais do PPGTS e da PUCPR, o trabalho apresentado foi considerado APROVADO (aprovado/reprovado), segundo avaliação da maioria dos membros desta Banca Examinadora. Este resultado está condicionado ao cumprimento integral das solicitações da Banca Examinadora registradas no Livro de Defesas do Programa.

Prof. Dr. Laudelino Cordeiro Bastos,  
Diretor do PPGTS PUCPR





Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão,  
à minha orientadora e a todos os meus amigos  
que direta ou indiretamente me ajudaram  
a concretizar o sonho de ser  
Mestre.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus por ter me dado força e coragem para seguir em frente mesmo nos momentos de relutância e incredulidade.

Agradeço aos meus pais Adalberto e Marina e ao meu irmão Leonardo pelo apoio incondicional que sempre me deram, pela compreensão, pelo carinho e, sobretudo por acreditarem em mim. Palavras não podem traduzir a fortaleza que vocês representam em minha vida.

Agradeço especialmente à minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. e amiga Elisangela Ferretti Manffra por ter me ensinado tanto, por me acalmar nos momentos de anseio, por compartilhar comigo seu conhecimento, pelas críticas construtivas, pelos momentos de descontração tão importantes para amenizar o árduo processo de construção de um trabalho científico, mas principalmente por ter me ensinado que a mais louvável qualidade de um professor é sem dúvida a humildade que nem mesmo o mais alto grau de titulação acadêmica pode jamais ofuscar.

Agradeço ao Prof. MSc. Cássio Preis pela sua colaboração inestimável em todas as etapas deste trabalho.

Agradeço à direção da Clínica Escola de Fisioterapia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná na figura da Prof<sup>a</sup>. MSc. Marciane Kulczycki.

Agradeço à Prof<sup>a</sup>. MSc. Márcia Olandoski pelo auxílio e colaboração imprecindíveis na análise estatística dos dados do presente trabalho e, sobretudo, pela sua permanente disposição em esclarecer nossas dúvidas na difícil e salutar tarefa de interpretar corretamente aquilo que “os números confessam”.

Agradeço penhoradamente a todos os voluntários que gentilmente aceitaram participar deste trabalho, sem os quais a conclusão deste projeto tornar-se-ia inviável.

“O importante é termos a capacidade de sacrificar aquilo que somos,  
para sermos aquilo que podemos ser”  
*(Charles Dubois)*

“O pensamento positivo pode vir naturalmente para alguns, mas  
também pode ser aprendido e cultivado; mude seus  
pensamentos e você mudará seu mundo”  
*(Norman Peale)*

## RESUMO

A realização de exercícios de alongamento muscular antes dos treinamentos e de competições está amplamente enraizada na cultura dos profissionais que trabalham com prescrição de exercício. Acredita-se no alongamento como forma de aprimoramento do desempenho físico e prevenção de lesões. No entanto, estudos recentes têm mostrado que o alongamento, sob certas condições, pode produzir efeitos deletérios na capacidade de geração do torque muscular. Ainda não se conhece completamente as razões fisiológicas e biomecânicas de tal comportamento, há questões em aberto sobre a duração mínima do alongamento capaz de causar tais efeitos e sobre os efeitos que o alongamento de um grupo muscular agonista pode desencadear no desempenho de força de seus antagonistas. Nessa perspectiva, a proposta deste estudo foi investigar as alterações do desempenho isocinético do grupo muscular dos isquiotibiais e do quadríceps mediante dois protocolos de alongamento estático dos isquiotibiais com diferentes volumes. Foram avaliados 36 adultos jovens do sexo masculino, distribuídos em grupos de 12 participantes: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e C. Todos os participantes realizavam um aquecimento sistêmico e depois eram submetidos a avaliações de amplitude de movimento de flexão do quadril (ADM) e isocinética tanto para os flexores quanto para os extensores de joelho. Aos participantes dos grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> eram aplicados protocolos de alongamento estático de 180 e 360 segundos, respectivamente, e estes eram novamente avaliados em relação à ADM e isocineticamente. Os participantes do grupo C também eram submetidos a uma segunda avaliação, após permanecerem em repouso pelo tempo de 270 segundos. As variáveis pesquisadas foram a ADM de flexão do quadril, o pico de torque (P<sub>T</sub>), o trabalho máximo (T<sub>M</sub>) e o trabalho total (T<sub>T</sub>). Em relação à variável ADM foram verificados aumentos significativos quando comparadas as condições pré e pós- alongamento dos grupos de estudo (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>). Em relação ao desempenho isocinético dos isquiotibiais observou-se que as variáveis P<sub>T</sub> e T<sub>M</sub> sofreram déficits na avaliação pós- alongamento no grupo E<sub>2</sub>, mas não nos grupos E<sub>1</sub> e C. A variável T<sub>T</sub>, no entanto, não apresentou diferenças significativas entre os grupos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e o grupo C. Já para o grupo muscular do quadríceps observou-se que apenas o grupo E<sub>2</sub> teve seu desempenho comprometido em todas as variáveis isocinéticas analisadas (P<sub>T</sub>, T<sub>M</sub> e T<sub>T</sub>), sem que o grupo E<sub>1</sub> tenha apresentado quaisquer déficits para estas variáveis. Dessa forma conclui-se que para os isquiotibiais ambos os protocolos de alongamento foram eficientes em produzir aumentos agudos na ADM de flexão do quadril e apenas a capacidade máxima de produção de força (P<sub>T</sub> e T<sub>M</sub>) sofreu déficit induzido pelo protocolo de alongamento de 360 segundos. Para o quadríceps, assim como nos isquiotibiais, o protocolo de 180 segundos não provocou nenhuma alteração significativa nas variáveis isocinéticas enquanto o de 360 segundos provocou déficits em todas elas (P<sub>T</sub>, T<sub>M</sub> e T<sub>T</sub>) demonstrando, assim, que apenas o protocolo de 360 segundos foi responsável pelos déficits pós- alongamento verificados tanto no grupo flexor quanto no extensor de joelho.

Palavras-chave: Alongamento estático, Flexibilidade, Força Muscular, Torque.



## ABSTRACT

Stretching exercises are commonly prescribed before training sessions and competitions aiming at performance improvements and injury prevention. However, recent studies have shown that stretching may cause acute muscular torque production deficits. The physiological and biomechanical mechanisms underlying this behavior are not completely known. Moreover, there are open questions regarding the minimal duration of a stretching protocol able to produce muscular torque deficits and about the effects that the stretching of a muscle group on the strength performance of its antagonist. On this perspective, the aim of this work was to investigate the acute effects of two hamstrings static stretching protocols of different volumes on the isokinetic performance of knee flexors and extensors muscles. Thirty six male volunteers were randomly and evenly distributed in three groups: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> and C. After warming up, the active range of motion (AROM) of hip flexion was assessed and the subjects went through isokinetic evaluations of the knee flexors and extensors. Subjects from groups E<sub>1</sub> and E<sub>2</sub> performed static stretching protocols 180 of 360 seconds, respectively. Then a new isokinetic evaluation and a new assessment of AROM were performed. The subjects of the control group (C) also went through a second evaluation, as well, after remaining at rest during a period of 270 seconds. The variables studied were the AROM of hip flexion, the isokinetic peak torque, the maximum work and the total work. The AROM increased after the application of both stretching protocols, and no changes were observed on this variable for the control group. Considering the hamstrings isokinetic performance it was observed that the peak torque and the maximum work decreased on the post-stretching evaluation of E<sub>2</sub> group, but not in the E<sub>1</sub> and C groups. The total work variable, nevertheless, behaved similarly for E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> and C groups without changes on post-stretching evaluation. Regarding the knee extensor muscle group, it was observed that only E<sub>2</sub> group have shown post-stretching deficits on all the studied isokinetic variables. From these results one can conclude that for the hamstrings both stretching protocols were efficient on producing acute gain on the hip flexion AROM. On the other hand only the longest protocol was able to produce maximal torque deficits for both knee flexors and extensors, while, the total work was not affected by any of the stretching protocols.

Keywords: Static Stretching, Flexibility, Muscle Strength, Torque.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados antropométricos dos sujeitos dos grupos de estudo ( $E_1$ e $E_2$ ) e controle .....	63
Tabela 2 – Valores obtidos nas avaliações pré e pós – alongamento das variáveis consideradas para o grupo muscular dos isquiotibiais .....	65
Tabela 3 – Valores obtidos nas avaliações pré e pós – alongamento das variáveis consideradas para o grupo muscular do quadríceps .....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACSM: “American College of Sports Medicine” (Colégio Americano de Medicina Esportiva)

ADM: amplitude de movimento

CC: componente contrátil

CEP: componente elástico em paralelo

CES: componente elástico em série

E<sub>1</sub>: grupo de alongamento estático 1 (protocolo de 180 segundos)

E<sub>2</sub>: grupo de alongamento estático 2 (protocolo de 360 segundos)

FNP: facilitação neuro-muscular proprioceptiva

OTG: órgão tendíneo de Golgi

P<sub>T</sub>: pico de torque

RM: repetição máxima

SNC: sistema nervoso central

T<sub>M</sub>: trabalho máximo

T<sub>T</sub>: trabalho total

UMT: unidade músculo-tendínea

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema ilustrativo da organização microscópica do músculo esquelético, mostrando o arranjo de seus invólucros de tecido conjuntivo .....	23
Figura 2 – Arranjo estrutural dos filamentos de actina (finos) e miosina (grossos) com o sarcomêro em estado de repouso e durante o encurtamento correspondente à contração muscular .....	24
Figura 3 – Representação esquemática da disposição em paralelo das fibras colágenas do tendão .....	25
Figura 4 – Organização bidimensional e tridimensional do sarcomêro evidenciando suas micro-estruturas.....	26
Figura 5 – Componentes contratéis ativos (CC), componentes elásticos em série (CES) e em paralelo (CEP) .....	27
Figura 6 – Esquema ilustrativo do aumento da molécula de colágeno muscular em decorrência do estímulo provocado pelo alongamento.....	29
Figura 7 – Esquema representativo do reflexo miotático ou de estiramento desencadeado pela percussão do tendão patelar .....	30
Figura 8 – Desenho ilustrativo do sistema de inervação das fibras intra e extrafusais.....	32
Figura 9 – Desenho ilustrativo do órgão tendinoso de Golgi e da sua inervação.....	33
Figura 10 – Vista anterior dos músculos da coxa e do quadril com ênfase no quadríceps.....	42
Figura 11 – Vista anterior dos músculos da coxa e do quadril com ênfase no vasto intermédio .....	43
Figura 12 – Vista posterior da coxa e do quadril com ênfase nos isquiotibiais .....	44
Figura 13 – Dinamômetro isocinético CYBEX® ( <i>modelo Norm 7000</i> ) - sistema de teste e reabilitação .....	45
Figura 14 – Representação das curvas típicas de torque isocinético do grupo muscular do quadríceps fornecida pelo <i>software</i> do dinamômetro isocinético CYBEX NORM 7000.....	48
Figura 15 – Descrição simplificada dos procedimentos metodológicos realizados e tempos aproximados de intervalo entre os procedimentos .....	54

Figura 16 – Voluntário realizando o aquecimento sistêmico na bicicleta ergométrica. ....	55
Figura 17 – Posicionamento do flexímetro no terço médio-lateral da coxa do voluntário para avaliação da ADM em relação ao movimento de flexão da articulação do quadril .....	56
Figura 18 – Mensuração da ADM da articulação do quadril.....	56
Figura 19 – Posicionamento do voluntário no dinamômetro isocinético. A linha tracejada em vermelho indica o alinhamento entre os eixos biológico e mecânico.....	57
Figura 20 – Procedimento técnico de delimitação da amplitude de movimento articular adotado nas avaliações isocinéticas .....	58
Figura 21 – Posicionamento do sujeito durante a realização da técnica de auto-alongamento estático sob a supervisão do pesquisador.....	61
Figura 22 – Valores médios das diferenças percentuais da variável ADM dos Grupos E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> e C com seus respectivos desvios-padrão .....	66
Figura 23 – Valores médios das diferenças percentuais das variáveis pico de torque (P <sub>T</sub> ), trabalho máximo (T <sub>M</sub> ) e trabalho total (T <sub>T</sub> ) para os isquiotibiais dos grupos E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> e C com seus respectivos desvios-padrão .....	67
Figura 24 – Valores médios das diferenças percentuais das variáveis pico de torque (P <sub>T</sub> ), trabalho máximo (T <sub>M</sub> ) e trabalho total (T <sub>T</sub> ) para o quadríceps dos grupos E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> e C com seus respectivos desvios-padrão.....	69

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.2 HIPÓTESES.....	18
1.3 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO.....	18
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>20</b>
2.1 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE ALONGAMENTO .....	21
2.2 CARACTERÍSTICAS HISTOLÓGICAS E MECÂNICAS DA UNIDADE MÚSCULO - TENDÍNEA .....	22
2.2.1 Características Histológicas do Tecido Muscular .....	22
2.2.2 Características Histológicas do Tecido Tendíneo .....	23
2.2.3 Características Mecânicas da Unidade Músculo-Tendínea.....	25
2.2.4 Efeitos do Alongamento no Comportamento dos Tecidos Moles .....	27
2.3 BASES NEUROFISIOLÓGICAS DO ALONGAMENTO .....	30
2.3.1 Fuso Muscular .....	31
2.3.2 Órgão Tendinoso de Golgi .....	32
2.3.3 Alongamento e o Padrão de Ativação dos Mecanorreceptores.....	33
2.4 APLICAÇÃO DOS EXERCÍCIOS DE ALONGAMENTO MUSCULAR PARA DESENVOLVER A FLEXIBILIDADE (FLEXIONAMENTO) E COMO FORMA DE AQUECIMENTO MÚSCULO - ARTICULAR.....	34
2.5 EFEITOS AGUDOS DO ALONGAMENTO SOBRE O DESEMPENHO MUSCULAR.....	37
2.6 ARTROCINEMÁTICA DO JOELHO .....	41
2.6.1 Aspectos Anátomo-Cinesiológicos da Articulação do Joelho .....	41
2.7 DINAMOMETRIA ISOCINÉTICA.....	45
2.7.1 Conceito de Isocinetismo .....	45
2.7.2 Torque ou Momento Muscular.....	47
2.7.3 Avaliação Isocinética dos Músculos do Joelho.....	48
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</b> .....	<b>51</b>
3.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO e EXCLUSÃO .....	51
3.2 AMOSTRA.....	51
3.3 INSTRUMENTOS e PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....	52
3.3.1 Protocolo de Aquecimento Sistêmico .....	53

3.3.2 Protocolo das Avaliações de Amplitude de Movimento de Flexão do Quadril.....	53
3.3.3 Protocolo das Avaliações Isocinéticas.....	57
3.3.4 Protocolos de Alongamento .....	59
3.3.5 Variáveis Analisadas .....	61
3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	62
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
4.1 DADOS ANTROPOMÉTRICOS DOS GRUPOS.....	63
4.2 GRUPO MUSCULAR ISQUIOTIBIAIS .....	64
4.2.1 Resultados Intragrupos .....	64
4.2.2 Resultados Intergrupos .....	64
4.3 GRUPO MUSCULAR QUADRÍCEPS .....	67
4.3.1 Resultados Intragrupos .....	67
4.3.2 Resultados Intergrupos .....	68
<b>CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO.....</b>	<b>70</b>
5.1 DADOS ANTROPOMÉTRICOS .....	70
5.2 GRUPO MUSCULAR ISQUIOTIBIAIS .....	71
5.2.1 Variável Amplitude de Movimento de Flexão do Quadril.....	71
5.2.2 Variáveis Isocinéticas .....	72
5.2.2.1 Resultados Intragrupos .....	72
5.2.2.2 Resultados Intergrupos .....	75
5.3 GRUPO MUSCULAR QUADRÍCEPS .....	76
5.3.1 Resultados Intragrupos .....	76
5.3.2 Resultados Intergrupos .....	78
5.3.3 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	80
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>82</b>
6.1 PRIMEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO NA AMPLITUDE DE MOVIMENTO DE FLEXÃO DE QUADRIL ANTES E APÓS A APLICAÇÃO DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO .....	82
6.2 SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO APLICADO AOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DOS PRÓPRIOS ISQUIOTIBIAIS (FLEXORES DE JOELHO).....	82

6.3 TERCEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO APLICADO AOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DO QUADRÍCEPS (EXTENSORES DE JOELHO) .....	83
6.4 CONCLUSÃO GERAL .....	83
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>96</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A prática de exercícios de alongamento muscular constitui um elemento presente em praticamente todas as academias, clubes esportivos, escolas e clínicas de reabilitação a fim de trabalhar no contexto da atividade física e saúde ou mesmo visando o aprimoramento do desempenho físico (DANTAS, 2005). Esta prática também está presente nos protocolos de aquecimento de atletas de alto rendimento realizados antes dos treinamentos e competições (ACHOUR, 2006).

Nessa perspectiva, um aspecto que chama a atenção é a inclusão de rotinas de alongamento antes da realização de testes físicos empregados na mensuração e na avaliação do desempenho muscular tanto por fisioterapeutas quanto por educadores físicos (MAREK *et al.*, 2005).

De acordo com Behm *et al.* (2004), a difusão e aceitação desta prática estão atreladas ao fato de muitos profissionais do treinamento desportivo e da reabilitação defenderem a inclusão de exercícios de alongamento preparatórios com o argumento de que a realização dos mesmos pode otimizar o desempenho muscular ou mesmo minimizar o risco de lesões musculoesqueléticas.

Por outro lado, a flexibilidade tem sido considerada como um importante aspecto da função humana (DAVIS *et al.*, 2005). Muitas técnicas de aprimoramento da flexibilidade têm sido descritas na literatura (KOKKONEN *et al.*, 1998; FOWLES *et al.*, 2000; POWER *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005). As mais comuns incluem a técnica de alongamento estático, a técnica de alongamento balístico e a técnica de facilitação neuromuscular proprioceptiva (DAVIS *et al.*, 2005).

Entre as diferentes técnicas reportadas na literatura, particularmente a técnica de alongamento estático tem sido considerada bastante eficiente tanto para produzir um aumento agudo na amplitude de movimento articular, quanto para desenvolver a flexibilidade (POWER *et al.*, 2004).

Estudo conduzido por Zakas (2005) salienta que muitos autores têm se dedicado a pesquisar a relevância do tempo total de duração da manutenção das posturas de alongamento sem, no entanto, estabelecer claramente qual a duração adequada de cada repetição nem tão pouco o número de repetições necessárias para atingir tais benefícios.

Entretanto, alguns estudos recentes têm apontado que a técnica estática pode também resultar em um déficit agudo da ordem de 5 a 30% na força máxima

e na potência de grupos musculares previamente alongados (CORNWELL *et al.*, 2001; BEHM *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005). Esses achados têm levado alguns pesquisadores a desencorajarem a prática de exercícios de alongamento antes de atividades que exijam níveis significativos de força e potência musculares (KOKKONEN *et al.*, 1998; NELSON; BANDY, 2004).

Além disso, segundo Marek *et al.* (2005), os déficits agudos na força muscular induzidos pelo alongamento dentro do contexto da reabilitação musculoesquelética podem comprometer os resultados de uma avaliação de desempenho muscular, os quais podem influenciar a tomada de decisão quanto à progressão do atleta no processo de reabilitação ou mesmo retardar o retorno deste à prática esportiva.

Cabe ressaltar, no entanto, que as ressalvas concernentes à prática de exercícios de alongamento antes de atividades de força e potência devem ser encaradas criteriosamente. Grande parte dos estudos que pesquisaram os efeitos agudos do alongamento empregaram em suas metodologias protocolos demasiadamente longos e que, segundo alguns autores, não correspondem efetivamente às rotinas de alongamento realizadas pelos atletas antes dos treinamentos e competições (BRANDENBURG, 2006; ZAKAS *et al.*, 2006).

Duas hipóteses primárias têm sido consideradas para explicar o chamado déficit transitório na força induzido pelo alongamento (MAREK *et al.*, 2005). A primeira delas diz respeito a fatores mecânicos tais como alterações na rigidez da unidade músculo-tendínea, gerando mudanças na relação comprimento-tensão ótima das fibras musculares. A outra hipótese aborda a questão dos fatores neuro-musculares, sobretudo uma possível redução no número de unidades motoras recrutadas durante a execução do movimento após o alongamento.

Alguns autores, tais como Nelson e Bandy (2004), sugerem que os déficits de força, particularmente referentes à técnica de alongamento estático em relação ao pico de torque ( $P_T$ ) isocinético<sup>(1)</sup>, sejam dependentes da velocidade. Segundo estes autores, os efeitos da aplicação da técnica de alongamento seriam mais evidentes quando avaliados isocineticamente<sup>(2)</sup> em baixas velocidades de deslocamento

---

<sup>(1)</sup> Pico de Torque ( $P_T$ ) isocinético refere-se ao ponto de maior valor registrado na curva de torque gerada pelo avaliado durante a avaliação pelo método da dinamometria isocinética (DVIR, 2002).

<sup>(2)</sup> O termo “isocineticamente” aqui empregado faz referência ao método de avaliação do desempenho muscular conhecido como dinamometria isocinética, que apresenta como principal característica viabilizar a execução do movimento a uma velocidade de deslocamento angular fixa e pré-determinada pelo avaliador durante a maior parte da amplitude de movimento avaliada (DVIR, 2002).

angular ( $60$  e  $90^{\circ}\text{s}^{-1}$ ) e praticamente imperceptíveis em velocidades mais elevadas ( $150$ ,  $210$  e  $270^{\circ}\text{s}^{-1}$ ) em relação ao grupo muscular extensor de joelho.

No entanto, Marek *et al.* (2005) refutam tais afirmações na medida em que em seu estudo foram encontrados déficits gerados no  $P_T$  pós-alongamento tanto em velocidades mais baixas ( $60^{\circ}\text{s}^{-1}$ ) quanto em velocidades mais altas de deslocamento angular ( $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ ) também referentes aos músculos extensores do joelho.

Uma outra corrente de autores defende que, além da velocidade do teste isocinético, outro parâmetro relevante é o volume dos exercícios de alongamento (KOKKONEN *et al.*, 1998; FOWLES *et al.*, 2000; POWER *et al.*, 2004). Este volume depende do tempo de permanência total do sujeito na postura de alongamento e, segundo os autores, vai determinar a magnitude do déficit no  $P_T$  isocinético (KOKKONEN *et al.*, 1998; FOWLES *et al.*, 2000; POWER *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2006).

A respeito da influência que os diferentes volumes de alongamento apresentam na magnitude dos déficits na força, no estudo de Zakas *et al.* (2006) foram avaliados protocolos com uma repetição com duração de 30 segundos (volume de 30s), dez repetições com duração de 30 segundos cada (volume de 300s) e com dezesseis repetições de 30 segundos cada uma (volume de 480s). Os resultados reportam que não houve diferenças significativas em todas as velocidades angulares pesquisadas nos sujeitos que realizaram o primeiro protocolo (30s), porém decréscimos significativos foram detectados em relação ao pico de torque ( $P_T$ ) nos sujeitos que realizaram o segundo (300s) e o terceiro (480s) protocolos em todas as velocidades angulares.

Nesta mesma perspectiva, no estudo de Marek *et al.* (2005), após a aplicação dos protocolos de alongamento com durações totais de  $16,9 \pm 2,3$  minutos, os resultados reportados indicaram que tanto a técnica de alongamento estático quanto a FNP ocasionaram uma queda significativa no pico de torque, na potência e também na amplitude dos sinais eletromiográficos registrados na comparação pré e pós-alongamento do grupo avaliado. Tanto em baixa ( $60^{\circ}\text{s}^{-1}$ ), quanto em alta velocidade de deslocamento angular ( $300^{\circ}\text{s}^{-1}$ ).

Além das respostas biomecânicas e fisiológicas agudas dos grupos musculares alongados em relação ao seu próprio desempenho de força, outro aspecto relevante é a influência desse alongamento no grupo antagonista ao

alongado. Isso porque desequilíbrios musculares na relação agonista-antagonista configuram um fator que pode aumentar a predisposição da unidade músculo-tendínea à lesão na medida em que a disparidade entre um grupo agonista muito mais forte que o seu antagonista impõe a estes últimos grande propensão à lesão principalmente durante a fase de desaceleração articular excêntrica constantemente requisitada nos desportos (PETERSON; RENSTRÖN, 1995).

No entanto, a maior parte dos trabalhos tomados como referência em relação aos efeitos agudos do alongamento muscular e outras variáveis de desempenho quaisquer que fossem, estudaram tais efeitos em grupos musculares efetivamente alongados, mas não esboçaram preocupação em avaliar a repercussão dos protocolos de alongamento empregados nos músculos antagonistas aos alongados.

Partindo dessa premissa, considera-se pertinente aprofundar a discussão sobre os efeitos agudos do alongamento no desempenho de força tanto do grupo muscular ao qual a técnica é diretamente aplicada, quanto de seu antagonista.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é analisar o efeito agudo de 2 protocolos de alongamento estático com diferentes volumes (180 e 360 segundos) nos músculos flexores e extensores de joelho.

Os objetivos específicos são:

- a) verificar a influência de cada protocolo na amplitude de movimento de flexão de quadril antes e após a aplicação de cada protocolo de alongamento;
- b) verificar a influência de cada protocolo de alongamento aplicado aos músculos isquiotibiais no desempenho isocinético dos próprios isquiotibiais (flexores de joelho);
- c) verificar a influência de cada protocolo de alongamento aplicados aos músculos isquiotibiais no desempenho isocinético do quadríceps (extensores de joelho);

## 1.2 HIPÓTESES

A fim de direcionar a avaliação e a discussão dos resultados foram formuladas as seguintes hipóteses:

H<sub>1</sub>: Após a realização dos exercícios de alongamento de ambos os protocolos ocorre um aumento na amplitude de movimento articular de flexão do quadril dos sujeitos.

H<sub>2</sub>: O aumento na amplitude de movimento de flexão do quadril é significativamente maior nos sujeitos que realizam o protocolo de 360 segundos em comparação com os sujeitos do protocolo de 180 segundos.

H<sub>3</sub>: Ambos os protocolos de alongamento provocam déficits em todas as variáveis isocinéticas dos músculos isquiotibiais.

H<sub>4</sub>: Os déficits nas variáveis isocinéticas dos isquiotibiais pós-alongamento são mais acentuados para os sujeitos do protocolo de 360 segundos em comparação com os sujeitos do protocolo de 180 segundos.

H<sub>5</sub>: Ocorre um aumento pós-alongamento em todas as variáveis isocinéticas do quadríceps dos sujeitos de ambos os protocolos.

H<sub>6</sub>: O aumento nas variáveis isocinéticas do quadríceps é maior nos sujeitos do protocolo de 360 segundos em comparação com os do protocolo de 180 segundos.

## 1.3 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

A seguir há um breve resumo dos principais temas abordados nos capítulos subseqüentes deste trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura abrangendo aspectos relevantes às respostas biomecânicas e neurofisiológicas da unidade músculo-tendínea frente ao estímulo provocado pelos exercícios de alongamento. Os

resultados oriundos de outros estudos com metodologias similares à deste também são apresentados no Capítulo 2. Outros pontos contemplados na revisão dizem respeito ao emprego da técnica de dinamometria isocinética como ferramenta de avaliação das capacidades musculares e aos aspectos anátomo-cinesiológicos do aparelho flexo-extensor de joelho, pelo fato destes movimentos em particular terem sido avaliados neste trabalho.

No Capítulo 3 encontra-se a descrição dos procedimentos metodológicos contemplando a caracterização da amostra, os instrumentos empregados, os procedimentos experimentais realizados, as variáveis analisadas e o tratamento estatístico adotado.

No Capítulo 4 encontra-se a descrição dos resultados apresentados separadamente para cada grupo muscular avaliado (isquiotibiais e quadríceps).

No Capítulo 5 é apresentada a discussão dos resultados obtidos também de forma individualizada para cada grupo muscular, obedecendo a mesma sistematização da apresentação dos resultados, além das sugestões para trabalhos futuros.

No Capítulo 6 é apresentada a conclusão estruturada a partir dos objetivos específicos e geral postulados na presente introdução.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Quando se trata do processo de aquecimento ou preparo músculo-articular, há que se considerar a sua importante função como mediador de inúmeras adaptações agudas às quais o sistema musculoesquelético terá de responder em um curto espaço de tempo frente à sobrecarga que lhe será imposta (ZAKAS *et al.*, 2005).

O propósito primordial do trabalho de aquecimento é promover um aumento da temperatura central do corpo que, segundo Enoka (1999) melhoraria o desempenho biomecânico do sistema motor.

Nesse contexto, além dos exercícios aeróbicos, a inclusão de exercícios de alongamento durante o trabalho de aquecimento tornou-se prática corrente por parte de muitos atletas e praticantes de atividades físicas (KOKKONEN *et al.* 1998; MAREK *et al.*, 2005).

No entanto, a indistinção entre os diferentes objetivos na aplicação dos exercícios de alongamento configura uma questão que merece atenção, sobretudo pelo fato de poder ocasionar efeitos indesejáveis em relação ao desempenho de atletas de alto rendimento (CROSS; WORRELL, 1999).

Além destes aspectos, esta revisão apresenta uma breve descrição das principais técnicas de alongamento existentes, bem como as respostas viscoelásticas e plásticas da unidade músculo-tendínea frente ao estímulo gerado pelo alongamento por serem fundamentais para que se compreenda os mecanismos biomecânicos e fisiológicos responsáveis pela alteração no desempenho de força pós-alongamento descritos por alguns autores tais como Cornwell *et al.* (2001), Marek *et al.* (2005) e Zakas *et al.* (2006).

Outro viés abordado neste capítulo é o emprego da dinamometria isocinética como importante instrumento tecnológico de avaliação precisa da função muscular (DVIR, 2002), além de algumas particularidades do dinamômetro e dos exercícios isocinéticos, tendo em vista que este instrumento foi empregado nas avaliações do desempenho muscular no presente trabalho.

## 2.1 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE ALONGAMENTO

O objetivo de qualquer programa de flexibilidade deve ser melhorar a amplitude de movimento (ADM) em uma determinada articulação, por meio da alteração da extensibilidade das unidades músculo-tendíneas que produzem movimento na articulação (DANTAS, 2005).

Nesse sentido, as técnicas de alongamento para melhorar a flexibilidade evoluíram com os anos. A técnica mais antiga é a denominada alongamento ou movimento balístico que utiliza movimentos rápidos que impõem uma mudança no comprimento dos músculos ou do tecido conjuntivo que estão sendo alongados (PRENTICE; VOIGHT, 2003).

A técnica balística pode ser encarada como um exercício composto por duas fases. A primeira delas constitui um movimento de força contínua em que é realizado um movimento acelerado pela contração concêntrica dos músculos agonistas com os antagonistas relaxados (ACHOUR, 2006). A segunda fase constitui-se em um movimento em inércia, sem contração muscular, ocorrendo uma desaceleração nas amplitudes finais do movimento (ACHOUR, 2006).

Outra técnica muito empregada nos programas de desenvolvimento da flexibilidade é a facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP). Todos os procedimentos relativos à técnica de FNP envolvem algum padrão de contração e relaxamento alternados dos músculos agonistas e antagonistas com a finalidade de estimular os órgãos tendíneos de Golgi (OTG)<sup>(3)</sup> (HALL, 2005).

A técnica de FNP pode induzir um aumento significativo na ADM articular em uma única sessão de alongamento. Entretanto, esta técnica apresenta como desvantagem a necessidade da participação de um professor de educação física ou de um fisioterapeuta junto ao sujeito que está realizando o exercício (DAVIS *et al.*, 2005).

Finalmente, a técnica de alongamento muscular estático, pesquisada no presente trabalho, consiste basicamente na execução de um movimento lento até que a posição articular desejada seja alcançada devendo ser mantida estaticamente por um determinado tempo (DANTAS, 2005). Algumas das

---

<sup>(3)</sup> OTG refere-se ao receptor sensorial localizado na junção músculo-tendínea que responde à tensão gerada durante o alongamento e a contração muscular, responsável pelo chamado reflexo de estiramento inverso (HAMILL; KNUTZEN, 1999).



características benéficas da técnica de alongamento estático incluem a menor possibilidade do sujeito ultrapassar a ADM articular fisiológica durante a execução da técnica, a menor demanda energética requerida em comparação com as técnicas dinâmicas além da menor possibilidade do sujeito apresentar dor muscular pós-alongamento (ACSM, 2003).

As recomendações quanto ao tempo ideal para a manutenção do sujeito nas posturas de alongamento estático configuram um ponto de divergência e discordância bastante evidente na literatura. Entretanto, existe uma tendência de muitos autores adotarem os parâmetros e diretrizes estabelecidos pelo Colégio Americano de Medicina Esportiva (ACSM) que sugere que o exercício de alongamento estático deve ter uma duração mínima de 10 a 30 segundos e devem ser realizadas de 3 a 4 repetições por seção (ACSM, 2003).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS HISTOLÓGICAS E MECÂNICAS DA UNIDADE MÚSCULO-TENDÍNEA

Nesta seção são apresentados aspectos referentes às características histológicas e mecânicas pertinentes à unidade músculo-tendínea, entretanto o tecido muscular e o tendíneo são descritos individualmente para melhor compreensão.

### 2.2.1 Características Histológicas do Tecido Muscular

Do ponto de vista histológico, três camadas de tecido conjuntivo recobrem as fibras musculares (WILMORE; COSTILL, 2001). Dessas camadas a mais profunda corresponde ao endomísio que envolve e separa uma fibra muscular da outra. No entanto, além do endomísio, uma outra camada de tecido conjuntivo conhecida por perimísio circunda um feixe de até 150 fibras musculares conhecido como fascículo muscular (McARDLE *et al.*, 2003).

A mais superficial das camadas de tecido conjuntivo que revestem o músculo corresponde a uma fáscia de tecido fibroso que circunda o músculo como um todo, sendo denominada de epimísio (McARDLE *et al.*, 2003).

Os níveis histológicos de organização muscular estão ilustrados esquematicamente na figura 1.

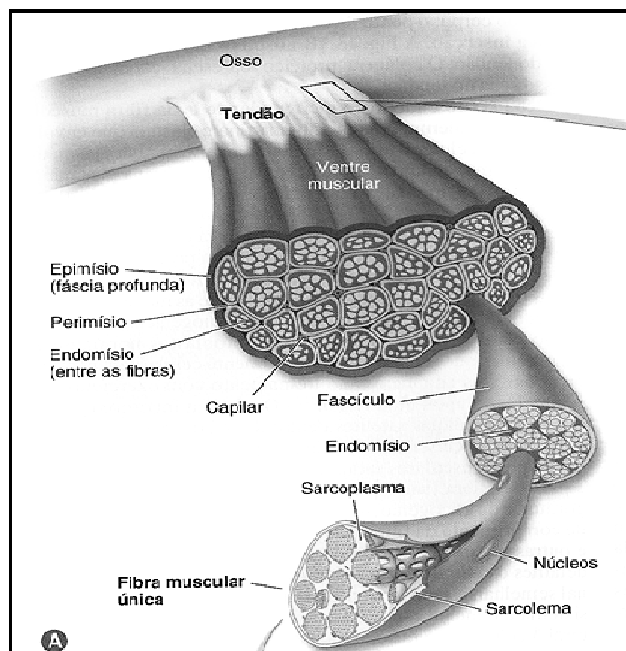


Figura 1 – Esquema ilustrativo da organização microscópica do músculo esquelético, mostrando o arranjo de seus invólucros de tecido conjuntivo (McARDLE *et al.*, 2003).

Uma das unidades funcionais mais básicas do sistema musculoesquelético corresponde à miofibrila (GUYTON; HALL, 2002). Cada uma das miofibrilas é constituída por sarcomêros que proporcionam ao músculo a capacidade de relaxar e contrair pela interação entre as proteínas actina e miosina (WATKINS, 1999), conforme ilustrado na figura 2.

### 2.2.2 Características Histológicas do Tecido Tendíneo

Funcionalmente o tendão conecta o músculo ao osso. Do ponto de vista histológico os tendões são caracterizados como tecidos conectivos densos que contêm colágeno, elastina, proteoglicanas e água (ALTER, 1999).

O colágeno tendíneo constitui aproximadamente 90% da proteína total do tendão (PETERSON; RENSTRÖN, 1995). O tendão é composto principalmente de colágeno tipo I (TAYLOR, 1990). Embora o tendão tenha pouca elastina, aproximadamente 2%, o tecido elástico do tendão tem a função de conservar energia para manter o tônus muscular durante o relaxamento (TAYLOR, 1990).

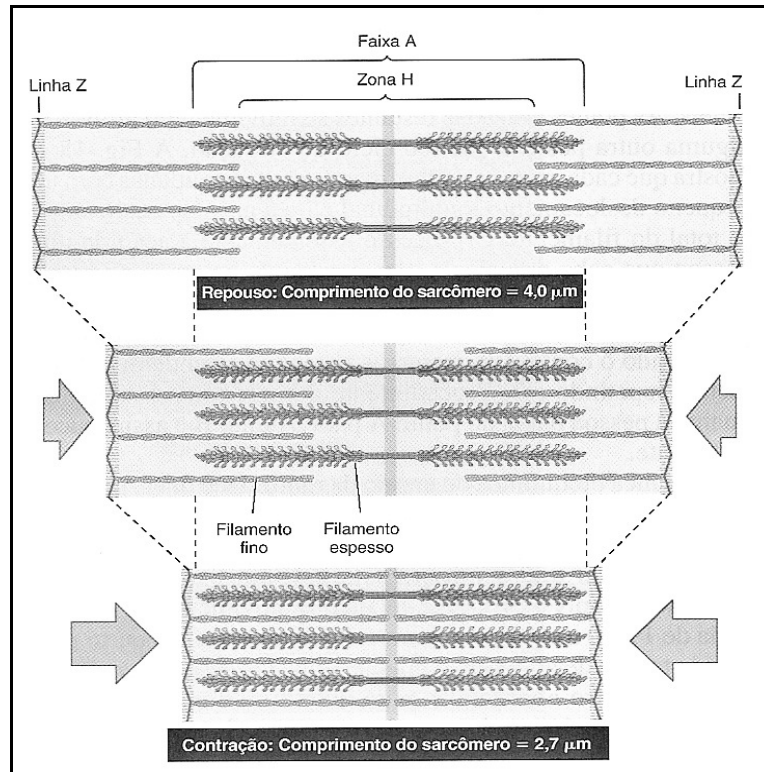


Figura 2 – Arranjo estrutural dos filamentos de actina (finos) e miosina (grossos) com o sarcomero em estado de repouso e durante o encurtamento correspondente à contração muscular (McARDLE *et al.*, 2003).

Ainda sobre as características histológicas do tendão, um outro aspecto importante diz respeito à disposição de suas fibras colágenas que se desenvolvem em paralelo umas às outras e são muito resistentes à tensão (HALAR; BELL, 2002), conforme ilustrado na figura 3.

Para Gross (2000) os tendões são capazes de suportar pelo menos duas vezes a força máxima que os músculos podem exercer sobre eles.

Em estudo conduzido por Thein (1999) observou-se que quanto maior a área de secção transversal do tecido tendíneo, maior deve ser a tensão de alongamento antes do tendão atingir seus componentes plásticos. E, de acordo com Peterson e Renström (1995), com uma tensão de alongamento entre 4 e 8% da tensão máxima suportada pelo tendão antes de seu rompimento total, algumas fibras tendíneas já começam a sofrer micro-rupturas e vão ficando progressivamente mais fracas, podendo comprometer o mecanismo de transferência de força do tendão para a alavanca mecânica.

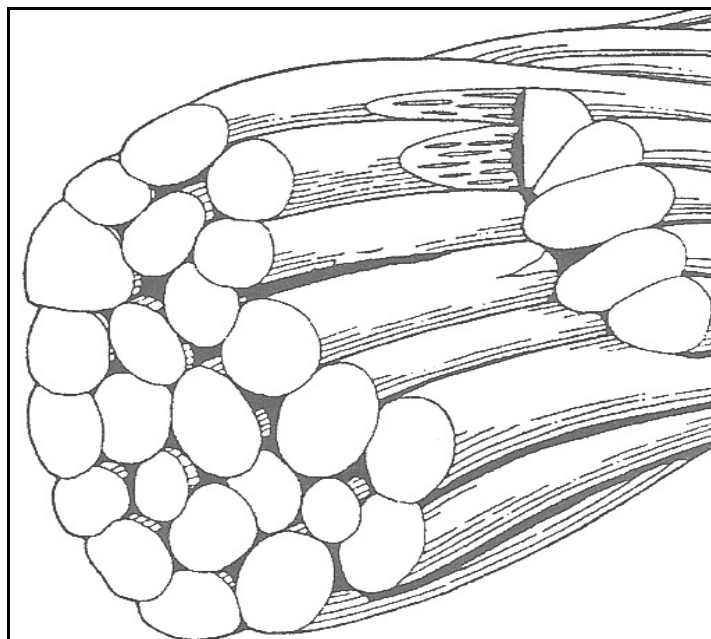


Figura 3 – Representação esquemática da disposição em paralelo das fibras colágenas do tendão (ACHOUR, 2006).

### **2.2.3 Características Mecânicas da Unidade Músculo-Tendínea**

Para compreender as características mecânicas do tecido muscular é fundamental compreender a relação entre três componentes: o componente contrátil (CC), o componente elástico em paralelo (CEP) e o componente elástico em série (CES) (HERZOG, 2005).

O CC é o responsável pela chamada força de contração exercida pelas proteínas actina e miosina em cada sarcomêro. A microestrutura do sarcomêro está ilustrada na figura 4, onde é possível observar as faixas alternadas ao longo do comprimento do músculo que lhe conferem o aspecto estriado, ressaltando-se que o disco Z divide ao meio as bandas I e adere ao sarcolema para proporcionar estabilidade à toda estrutura do sarcomêro (WILMORE; COSTILL, 2001).

Em relação à resposta do sarcomêro ao estímulo provocado pelo exercício de alongamento, Herzog (2005) reitera que a sobreposição das bandas A (compreendidas entre os dois discos Z) e das bandas I não se altera muito. Entretanto, os miofilamentos de actina são afastados da banda A e as bandas H tornam-se mais longas, assumindo uma extensão igual ao aumento do comprimento das bandas I.

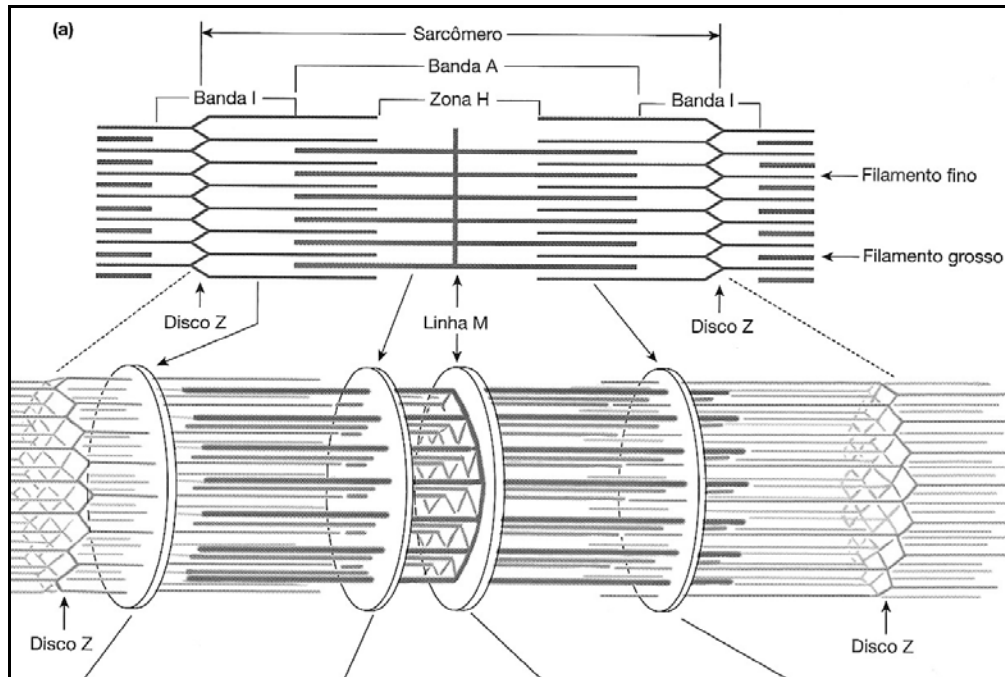
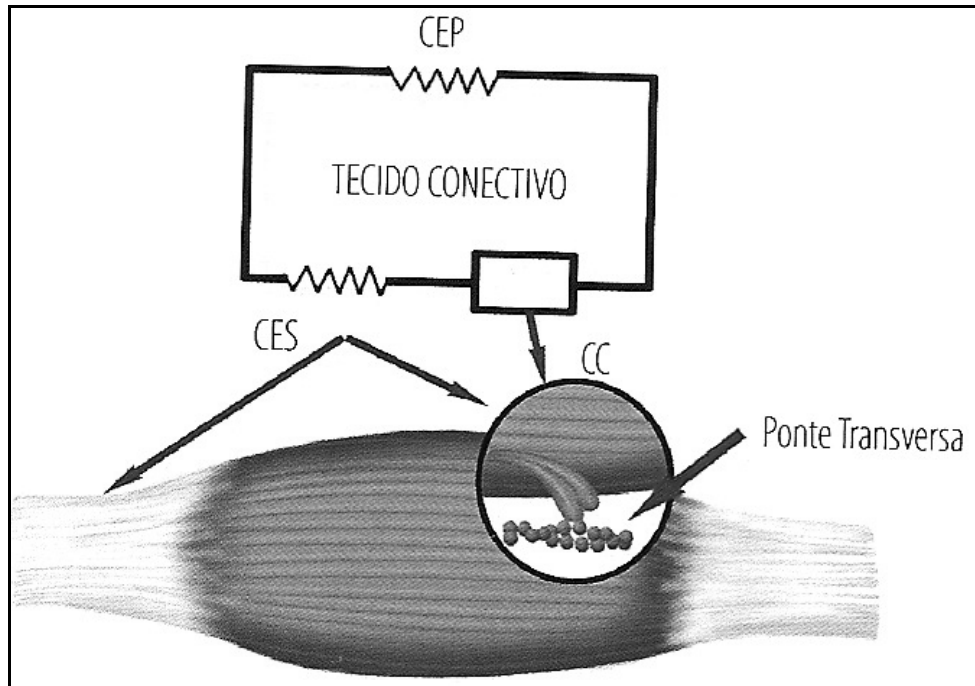


Figura 4 – Organização bidimensional e tridimensional do sarcomêro evidenciando suas microestruturas (SILVERTHORN, 2003).

Um aspecto relevante na compreensão do funcionamento do sarcomêro está atrelado à relação comprimento-tensão que influencia diretamente a capacidade muscular de geração de força (HALL, 2005).

Ocorre que quando o sarcomêro se contrai, o potencial máximo de geração de força fica comprometido em razão da sobreposição dos filamentos de actina e miosina. Ao passo que no sarcomêro muito longo, o potencial máximo de força também é reduzido, pois a actina no estado ativo fica além do alcance da ponte-cruzada (HAMILL; KNUTZEN, 1999).

Em relação ao componente elástico em paralelo (CEP), atribui-se a ele a responsabilidade pela tensão presente no músculo em repouso. O CEP é constituído pelo endomísio, epimísio e perimísio (JÓZSA; KANNUS, 1997). Desses componentes Enoka (1999) reitera ser o perimísio o principal componente elástico estando posicionado em paralelo com os componentes contráteis, conforme ilustrado na figura 5.



Figuras 5 – Componentes contráteis ativos (CC), componentes elásticos em série (CES) e em paralelo (CEP) (ACHOUR, 2006).

Hamill e Knutzen (1999) salientam que o CEP tem um papel importante quando o músculo é alongado passivamente pelo fato de oferecer resistência viscoelástica ao trabalho de alongamento prevenindo possíveis lesões ocasionadas pelo hiper-alongamento.

Os componentes elásticos em série (CES) estão localizados majoritariamente nos tendões, também ilustrados na figura 5.

Tanto o CEP quanto o CES oferecem uma tensão resistiva quando alongados e armazenam energia potencial elástica para contribuir com o movimento articular subsequente ao alongamento (HERZOG, 2005). Segundo Hall (2005) quando o músculo é alongado o componente elástico em série absorve mais energia que o componente elástico em paralelo.

#### 2.2.4 Efeitos do Alongamento no Comportamento dos Tecidos Moles

Tanto os tecidos contráteis (músculos) como os não contráteis ou conectivos (fáscias, tendões e ligamentos) apresentam propriedades elásticas e plásticas (WATKINS, 1999). Por propriedades elásticas pode-se entender a capacidade dos

tecidos de retornar ao seu comprimento original de repouso cessado o estímulo do alongamento (HAMILL; KNUTZEN, 1999). Por propriedades plásticas pode-se entender a capacidade dos tecidos de se deformarem permanentemente não retornando ao seu estado ou comprimento original (HAMILL; KNUTZEN, 1999).

Se o objetivo do exercício de alongamento é ocasionar uma deformação de ordem plástica no tecido muscular (efeito crônico) a tensão ou estímulo aplicado deve superar o limite elástico da unidade músculo-tendínea (ALTER, 1999).

Durante a execução do alongamento, os fluidos compostos de glicosaminoglicanas e proteoglicanas (que constituem a chamada substância fundamental das fâscias e dos tendões) saem lentamente da matriz desses tecidos e, durante a recuperação (fase de relaxamento), há uma lenta reabsorção desses fluidos pelos tecidos tanto das fâscias quanto dos tendões (LAUR *et al.*, 2003).

Segundo Reid (1992), a substância fundamental circunda as células de colágeno e as fibras das fâscias e dos tendões. Por sua vez as proteoglicanas e as glicosaminoglicanas provêem espaço e lubrificação entre as fibras de colágeno, de forma a reduzir o atrito entre as moléculas de colágeno.

A presença das glicosaminoglicanas permite que o feixe de colágeno mova-se e alinhe-se durante a tensão muscular (DONATELLI, 1994). Desta forma, a recuperação imperfeita do tecido muscular deve-se à presença do fluido viscoso no espaço anatômico do colágeno, permitindo que ocorra uma deformação plástica do músculo.

O trabalho de alongamento com objetivo de provocar deformações plásticas separa as ligações intermoleculares das fibras colágenas dos tecidos conectivos. Entretanto, para alcançar este tipo de deformação é imprescindível um tempo de insistência do sujeito na postura de alongamento de no mínimo 30 segundos (WATKINS, 1999).

Nesse sentido, autores como Taylor (1990) e Proske (1993) reiteram que a relativa proporção entre elasticidade e plasticidade é determinada pela intensidade e pelo volume da tensão a que a unidade músculo-tendínea é submetida durante o exercício de alongamento. Sendo que, no contexto dos exercícios de alongamento, por intensidade pode-se compreender a amplitude de movimento final atingida pela articulação e por volume compreende-se o tempo total de duração ou permanência do sujeito na postura de alongamento (ACHOUR, 2006).

Em outras palavras, a natureza das respostas da unidade músculo-tendínea frente ao estímulo causado pelo alongamento terá predominância mais elástica ou mais plástica em função diretamente da amplitude de movimento final atingida pelo exercício e do tempo de manutenção do estímulo (TAYLOR, 1990; PROSKE, 1993), sendo este último o aspecto mais controverso na literatura sobre alongamento e flexibilidade.

Nesse sentido, para que ocorra um aumento efetivo da flexibilidade é necessário que ocorra uma deformação plástica do colágeno músculo-tendíneo, deixando espaços nos tecidos, seguindo-se inflamação, reparo e modelagem por meio dos fibroblastos (THRELKELD, 1992). Para que tais deformações permanentes ocorram é imperativo que ocorra um rompimento das ligações inter e intramoleculares no colágeno (REID, 1992), conforme ilustrado pela figura 6.

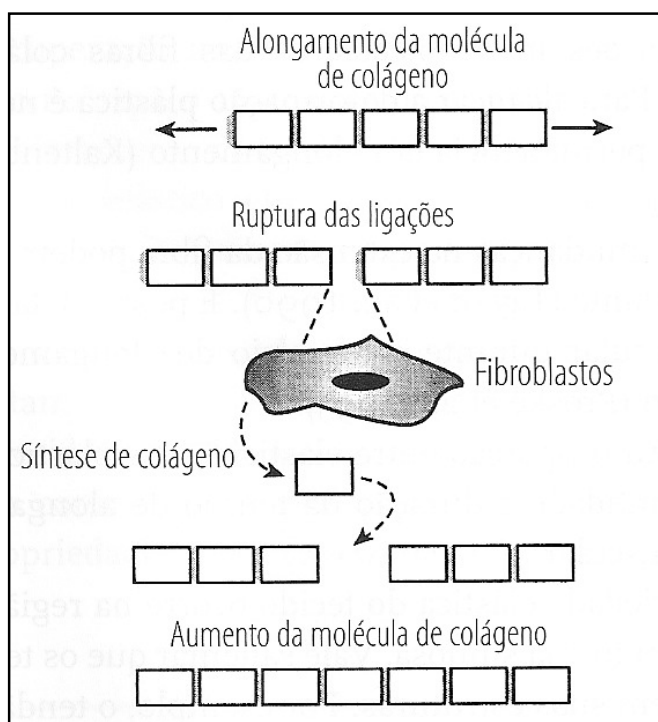


Figura 6 – Esquema ilustrativo do aumento da molécula de colágeno muscular em decorrência do estímulo provocado pelo alongamento (ACHOUR, 2006).



## 2.3 BASES NEUROFISIOLÓGICAS DO EFEITO DO ALONGAMENTO

De acordo com Prentice e Voight (2003), todas as técnicas de alongamento baseiam-se em um fenômeno neurofisiológico que envolve o chamado reflexo miotático.

Simplificadamente pode-se entender por reflexo miotático a ativação monossináptica dos receptores sensoriais presentes nos músculos e tendões em resposta ao estímulo do alongamento (EKMAN, 2000).

Esta ativação desencadeia a transmissão neural através de uma única sinapse conduzida pelos nervos aferentes até a medula espinhal e o *feedback* deste estímulo mecânico conduzido via nervos eferentes que trazem de volta um sinal excitatório da medula espinhal para o músculo tendo como resultado a elaboração de tensão muscular no grupo agonista mediante o relaxamento reflexo de seus antagonistas, fenômeno este conhecido como inibição recíproca<sup>(4)</sup> (WILMORE; COSTILL, 2001), conforme demonstrado na figura 7.

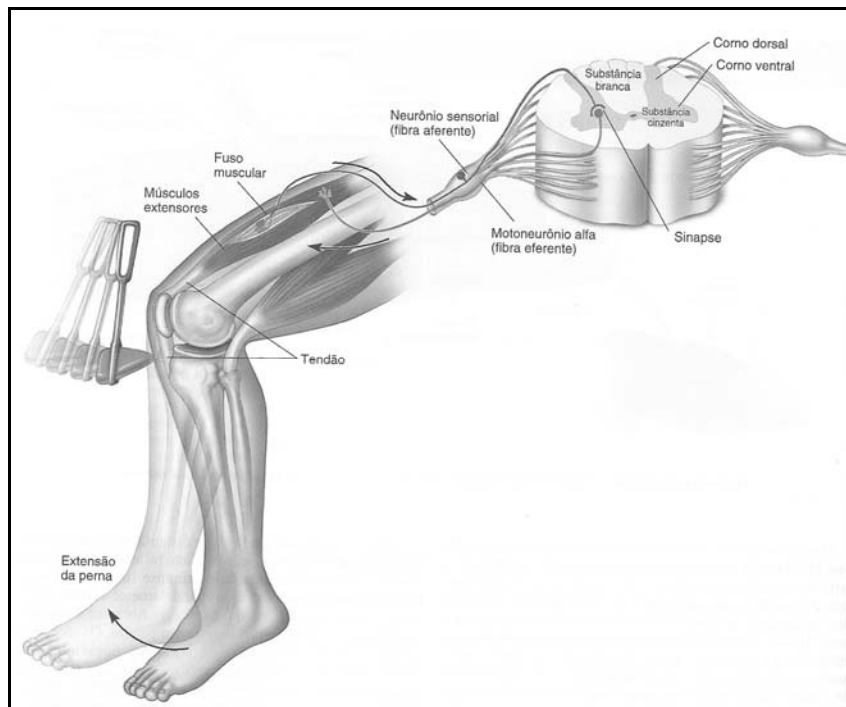


Figura 7 - Esquema representativo do reflexo miotático ou de estiramento desencadeado pela percussão do tendão patelar (WILMORE; COSTILL, 2001).

<sup>(4)</sup> A inibição recíproca refere-se ao circuito espinhal que resulta em uma diminuição da excitabilidade dos neurônios motores do músculo antagonista em decorrência do estiramento do músculo agonista (COHEN, 2001).

Todos os músculos do corpo contêm mecanorreceptores ou receptores sensoriais de movimento que, quando estimulados, informam ao sistema nervoso central (SNC) principalmente sobre o nível de tensão e comprimento muscular (HALL, 2005).

Segundo Ekman (2000) dois desses mecanorreceptores são importantes no reflexo miotático: o fuso muscular e o órgão tendíneo de Golgi (OTG).

Devido à sua relevância na compreensão das respostas proprioceptivas<sup>(5)</sup> do músculo e do tendão quando estimulados pelos exercícios de alongamento, o fuso e o OTG são descritos mais pormenorizadamente a seguir.

### **2.3.1 Fuso Muscular**

De acordo com Silverthorn (2003) os fusos musculares atuam como receptores de alongamento, enviando informações sobre o comprimento do músculo para o SNC.

Segundo Wilmore e Costill (2001) cada fuso muscular é formado por cerca de 4 a 20 pequenas fibras musculares especializadas, denominadas de fibras intrafusais (dentro do fuso) que se apresentam envoltas em uma bainha de tecido conjuntivo. Por sua vez, as fibras intrafusais são controladas por motoneurônios especializados, denominados motoneurônios gama e as fibras extrafusais (as fibras regulares do músculo fora do fuso) são inervadas por motoneurônios alfa.

Do ponto de vista funcional existem dois tipos de fusos musculares: os primários e os secundários (DANTAS, 2005). Os fusos primários respondem tanto ao grau de alongamento muscular (a amplitude de movimento articular atingida) quanto ao ritmo desse alongamento (a velocidade com que o exercício é realizado), ou seja, os fusos primários são responsivos à fase dinâmica do alongamento. Já os fusos secundários respondem somente ao grau de alongamento, a chamada resposta estática (DANTAS, 2005).

A principal função dos fusos musculares é, portanto, informar ao sistema nervoso o comprimento do músculo bem como a velocidade de variação no seu comprimento (GUYTON; HALL, 2002).

---

<sup>(5)</sup> Propriocepção corresponde à aferência neural cumulativa para o SNC oriunda dos mecanorreceptores presentes nos músculos, tendões, cápsulas articulares, ligamentos e na pele. Sendo responsável pela consciência estática e cinestésica da posição articular, além da resposta reflexa necessária para a adequada regulação do tônus muscular (PRENTICE; VOIGHT, 2003).

O sistema de inervação alfa-gama do fuso neuromuscular encontra-se ilustrado na figura 8.

### 2.3.2 Órgão Tendinoso de Golgi (OTG)

Os órgãos tendinosos de Golgi são receptores localizados na junção em que o músculo “mescla-se” com o tendão, ou seja, na junção mio-tendinosa (HALL, 2005). E, portanto estes receptores são estimulados pelo nível de tensão existente na unidade mio-tendinosa ou pela velocidade de variação desta tensão (GUYTON; HALL, 2002).

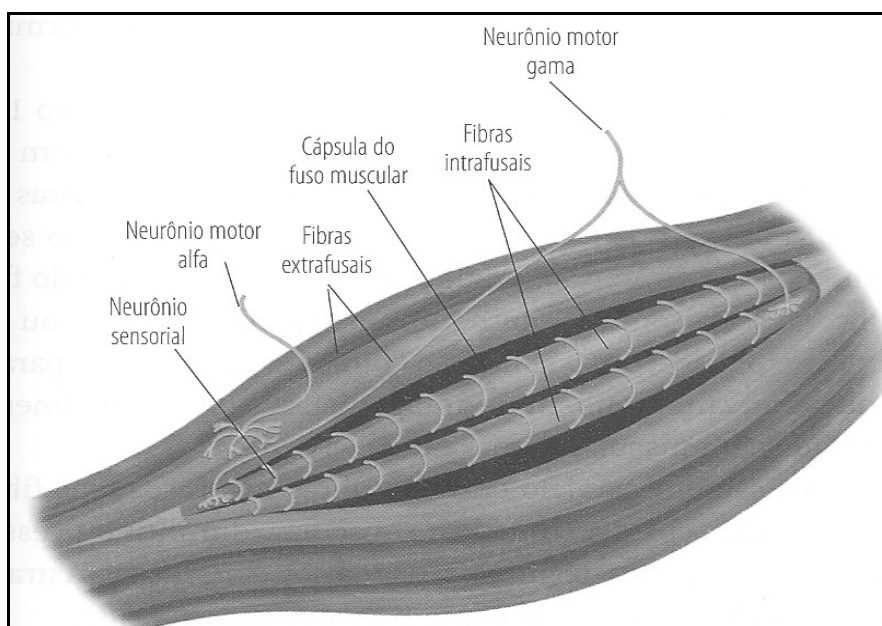


Figura 8 – Desenho ilustrativo do sistema de inervação das fibras intra e extrafusais (WILMORE; COSTILL, 2001).

A principal função dos OTG's é, portanto a de inibir os músculos agonistas (que se contraem durante a produção de determinado movimento) processo este denominado de inibição autogênica<sup>(6)</sup>, desempenhando um papel protetor em relação à possibilidade de lesão quando existe sobrecarga potencialmente lesiva

<sup>(6)</sup> A inibição autogênica refere-se ao processo de inibição reflexa de um músculo mediante a ativação de seus próprios receptores sensoriais (COHEN, 2001).

nos músculos agonistas mediante o relaxamento reflexo destes (WILMORE; COSTILL, 2001).

As vias neurais que interligam o OTG à medula espinhal estão esquematicamente representadas na figura 9.

### 2.3.3 Alongamento e o Padrão de Ativação dos Mecanorreceptores

Prentice e Voight (2003) reiteram que quando um músculo é alongado o neurônio sensorial aferente primário (motoneurônio gama) que inerva as fibras intrafusais do fuso neuromuscular inicia o reflexo de estiramento (reflexo miotático) transmitindo informações para a medula espinhal de modo a informar ao SNC sobre o comprimento do músculo.

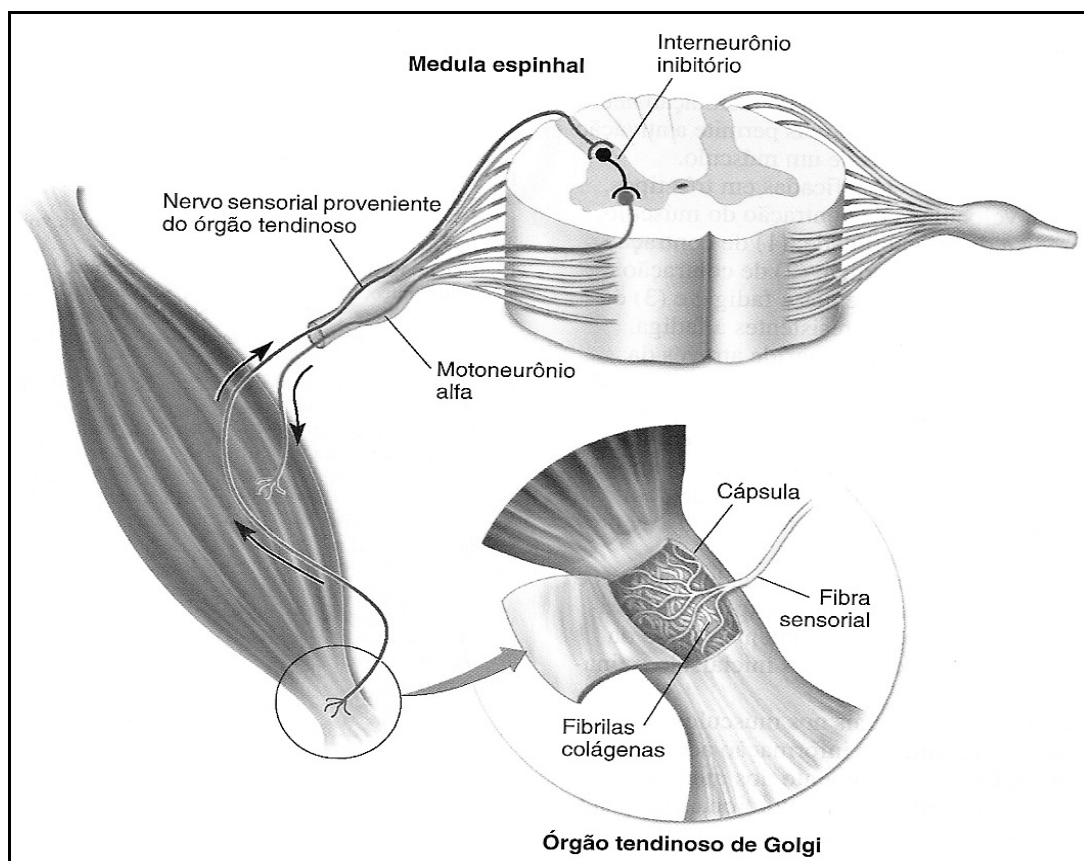


Figura 9 – Desenho ilustrativo do órgão tendinoso de Golgi e da sua inervação (McARDLE *et al.*, 2003).

Já na medula espinhal o estímulo trazido pelos motoneurônios gama são transmitidos por meio de sinapse ao motoneurônio alfa desencadeando a contração muscular reflexa, de forma a proporcionar resistência ao alongamento realizado (EKMAN, 2000).

Segundo Enoka (1999) esta resposta é proporcional à velocidade com que o alongamento é realizado, de modo que, quanto mais rápido for o alongamento mais o músculo irá se contrair reflexamente para resistir a ele.

Com a manutenção da postura de alongamento os motoneurônios gama reduzem seus disparos à medula espinhal, de maneira a reduzir a resistência do músculo ao estímulo provocado pelo alongamento, fenômeno este conhecido como “acomodação do estímulo” (ACHOUR, 2006).

Por essa razão muitos autores descrevem que a técnica de alongamento estático, na qual o sujeito deve mover o segmento que está sendo alongado lentamente até atingir a posição articular desejada e mantê-la por no mínimo 30 segundos (PRENTICE; VOIGHT, 2003), reduziria a intensidade dos estímulos emitidos pelos motoneurônios gama primários reduzindo o nível de interferência destes em relação ao trabalho de alongamento (NELSON *et al.*, 2004; POWER *et al.*, 2004; DAVIS *et al.*, 2005).

Já o órgão tendinoso de Golgi (OTG) é mais responsivo em relação aos exercícios de alongamento dinâmicos, como na técnica de alongamento balístico. Se o alongamento for realizado em posições articulares extremas o OTG responde ao reflexo de estiramento com o chamado reflexo de estiramento inverso, promovendo o relaxamento do músculo que está sendo alongado ou do músculo que está se contraindo para produzir o alongamento (WILMORE; COSTILL, 2001).

## 2.4 APLICAÇÃO DOS EXERCÍCIOS DE ALONGAMENTO MUSCULAR PARA DESENVOLVER A FLEXIBILIDADE (FLEXIONAMENTO) E COMO FORMA DE AQUECIMENTO MÚSCULO-ARTICULAR

É de fundamental importância que se estabeleça uma diferenciação funcional entre flexibilidade e alongamento muscular. A flexibilidade pode ser entendida como o resultado da interação de vários fatores (POWER *et al.*, 2004). Entre eles a capacidade extensível do tecido muscular e dos tendões, dadas suas propriedades

histológicas e mecânicas, conferindo às articulações uma determinada amplitude de movimento para a execução eficiente de determinadas funções (ACSM, 2003).

Uma outra definição mais funcional do conceito de flexibilidade reporta que esta seria a habilidade de mover o corpo e suas partes dentro dos seus limites máximos sem causar danos às articulações e aos músculos envolvidos (MARINS; GIANNICHI, 1998).

A flexibilidade deve ser compreendida como um dos componentes da aptidão física, tanto quanto a força, a capacidade aeróbia e anaeróbia (ACSM, 2003).

Já o alongamento muscular é o meio pelo qual torna-se possível, mediante um rearranjo na disposição dos miofilamentos, aumentar o comprimento muscular e conseqüentemente possibilitar uma amplitude de movimento articular maior (ACHOUR, 2006).

Em relação às possibilidades de aplicação dos exercícios de alongamento, freqüentemente não é feita distinção clara entre aqueles empregados para o aquecimento e os prescritos para aumentar a flexibilidade (ENOKA, 1999). Nesse sentido, vale ressaltar que uma das funções dos exercícios de aquecimento é reduzir a rigidez muscular associada a tixotropia<sup>(7)</sup> de forma a aumentar agudamente a temperatura periférica tanto do tecido conjuntivo que forma os músculos quanto a dos tecidos periarticulares por meio de um maior aporte sangüíneo, não tendo como objetivo aumentar cronicamente a amplitude de movimento ou a flexibilidade em uma articulação (NELSON; BANDY, 2004).

Basicamente, as diferenças entre a aplicação dos exercícios de alongamento visando o aquecimento dos realizados com o objetivo de promover aumento da amplitude de movimento articular, relacionam-se ao tempo de permanência do sujeito na postura de alongamento, ao número de repetições do exercício e também à amplitude de movimento trabalhada durante a execução do exercício (DANTAS, 2005).

Segundo Alter (1999) um programa de treinamento objetivando o aprimoramento da flexibilidade é constituído por exercícios planejados, deliberados

---

<sup>(7)</sup> Tixotropia refere-se à propriedade de viscosidade presente na matriz extracelular dos tendões e ligamentos em decorrência do gel formado pela ligação entre as moléculas de água e as de proteoglicanas (ENOKA, 1999). A propriedade tixotrópica dos tendões e ligamentos está diretamente ligada ao nível de resistência que estes tecidos oferecem ao alongamento, quanto maior a viscosidade maior a resistência e vice-versa (SPERNOGA *et al.*, 2001).

e regulares que podem aumentar a amplitude de movimento de uma articulação ou um conjunto de articulações durante um período de tempo.

Para tanto, é imprescindível que algumas variáveis concernentes à estruturação de um programa de desenvolvimento da flexibilidade sejam delineadas de acordo com o objetivo do praticante. Tais variáveis são: o tipo de técnica empregada, a frequência das seções, o tempo de duração do exercício e também o número das repetições (ZULUAGA, 2000).

Segundo Achour (2006), o número de séries e de repetições dos exercícios de alongamento pode ser importante para definir o quanto os efeitos agudos do alongamento se desenvolvem e se mantêm.

Taylor (1990) reporta que os máximos benefícios na flexibilidade ocorrem quando cada grupo muscular é alongado quatro vezes subseqüentemente, e que repetições adicionais em uma única seção não resultam em aumentos significativos no comprimento muscular.

Neste sentido, Zakas (2005) preocupou-se em analisar os possíveis efeitos da duração de cada repetição em diferentes protocolos de alongamento empregando a técnica estática, porém com o mesmo tempo total de aplicação do protocolo em adolescentes jogadores de futebol. Em seu estudo foram avaliados quinze sujeitos do sexo masculino que realizaram três diferentes protocolos de alongamento estático para a extremidade inferior todos com um volume total de 30 segundos em uma única seção.

O primeiro protocolo foi realizado com uma única repetição com duração de 30 segundos (1 x 30s), o segundo foi realizado com duas repetições de 15 segundos cada (2 x 15s), e o terceiro realizado com seis repetições de cinco segundos cada (6 x 5s). A flexibilidade dos sujeitos foi avaliada antes e imediatamente após a aplicação dos protocolos. Os resultados reportados neste estudo indicaram que não houve diferenças significativas entre os três protocolos avaliados ( $p > 0,05$ ) (ZAKAS, 2005). Ou seja, os resultados indicaram apenas que todos os grupos tiveram um aumento transitório ou agudo nos níveis de flexibilidade, mas que, no entanto, apenas fica claro que o volume total de 30 segundos representa um estímulo eficiente para aumentar agudamente a flexibilidade, independentemente da forma de fracionamento deste tempo nos diferentes números de repetições realizadas pelos sujeitos.

Em estudo conduzido por Spernoga *et al.* (2001), a manutenção dos ganhos no comprimento dos músculos isquiotibiais após uma única sessão empregando um protocolo de alongamento com a técnica de FNP (facilitação neuromuscular proprioceptiva) foi avaliada. Neste estudo foram avaliados 30 homens saudáveis sendo que 15 realizaram o alongamento e os 15 demais serviram de controle. O protocolo de alongamento empregado neste estudo contava com 5 repetições da técnica em cada qual o sujeito realizava uma contração isométrica máxima dos isquiotibiais por 7 segundos e era submetido a alongamento passivo por outros 7 segundos.

Os resultados deste trabalho apontaram que o protocolo empregado foi eficiente em aumentar agudamente o comprimento dos isquiotibiais e que este efeito transitório perdurou por até 6 minutos terminada a execução do protocolo (SPERNOGA *et al.*, 2001).

Em relação à manutenção do comprimento dos músculos isquiotibiais mediante a aplicação de um protocolo de alongamento estático, DePino *et al.* (2000) salientam que após o término da aplicação de um protocolo com duração total de 1 minuto (3 séries de 20 segundos) os efeitos transitórios de aumento da ADM da articulação do quadril (em relação ao movimento de flexão) perduraram por 3 minutos após o término da aplicação do estímulo.

## 2.5 EFEITOS AGUDOS DO ALONGAMENTO SOBRE O DESEMPENHO MUSCULAR

Segundo Guimarães Neto (2002), é fundamental que se considere o tipo de contração muscular e a sua intensidade no esforço físico subsequente ao trabalho de alongamento.

Autores como Achour (2006) reiteram ser prudente que apenas poucas repetições de exercícios de alongamento dinâmico ou estático de curta duração (de dez a vinte segundos) sejam realizadas antes de exercícios de força. Ainda segundo Achour (2006), tempos maiores de alongamento podem ocasionar o relaxamento das fibras musculares, gerando uma redução no tônus muscular que pode não ser benéfica ao desempenho em atividades que exijam potência, movimentos rápidos e vigorosos ou mesmo força máxima.



Trabalhos como o de Laur *et al.* (2003) reiteram que mesmo protocolos curtos de alongamento dos músculos isquiotibiais (3 repetições de 20 segundos cada, com volume total de 1 minuto) podem ser negativos não apenas para a força, mas também para a resistência muscular além de poderem desencadear repercussões negativas em relação à tolerância muscular à fadiga.

Marek *et al.* (2005) salientam que os alongamentos musculares podem comprometer temporariamente a capacidade muscular de produzir força. Podendo inclusive, segundo os autores, afetar o desempenho de vários exercícios de força durante o processo de reabilitação. Os autores compararam os efeitos agudos das técnicas de alongamento estático e FNP em relação às variáveis pico de torque, potência, amplitude de movimento passiva e ativa, além da resposta eletromiográfica do quadríceps antes e após a aplicação dos protocolos de alongamento com volumes médios de  $16,9 \pm 2,3$  minutos (MAREK *et al.*, 2005). Os resultados reportados por este estudo indicam que tanto a técnica de alongamento estático quanto a FNP ocasionaram uma queda significativa no pico de torque, na potência e também na amplitude dos sinais eletromiográficos registrados na comparação pré e pós-alongamento, tanto em baixa velocidade ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ), quanto em alta velocidade isocinética ( $300^\circ \cdot s^{-1}$ ).

Em outro estudo realizado por Zakas *et al.* (2006) foi pesquisada a influência aguda da duração de protocolos de alongamento estático para o grupo muscular do quadríceps no pico de torque isocinético em jogadores de futebol em várias velocidades angulares distintas ( $60, 90, 150, 210$  e  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ) e com tempos diferentes de aplicação dos protocolos de alongamento. Neste estudo foram avaliados protocolos com uma repetição com duração de 30 segundos (volume de 30s), dez repetições com duração de 30 segundos cada (volume de 300s) e com dezesseis repetições de 30 segundos cada uma (volume de 480s). Os resultados reportam que não houve diferenças significativas em todas as velocidades angulares pesquisadas nos sujeitos que realizaram o primeiro protocolo (30s), porém decréscimos significativos foram detectados em relação ao pico de torque ( $P_T$ ) dos sujeitos que realizaram o segundo (300s) e o terceiro (480s) protocolos em todas as velocidades angulares pesquisadas.

Os achados deste estudo questionam as afirmações de Nelson e Bandy (2004) de que os decréscimos no pico de torque encontrados após a realização de exercícios de alongamento seriam velocidade-específicos e só poderiam ser

observados em baixas velocidades angulares ( $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  e  $90^{\circ} \cdot s^{-1}$ ) e não em velocidades mais elevadas ( $150$ ,  $210$  e  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ ).

Assim, a magnitude dos efeitos agudos deletérios do alongamento estático em relação ao  $P_T$  parece estar muito mais relacionada com o volume dos protocolos de alongamento e com o tempo de permanência dos sujeitos nas posturas do que propriamente com a velocidade isocinética empregada nas avaliações.

Nesse sentido, alguns autores têm sugerido hipóteses que possam explicar os motivos pelos quais muitos trabalhos têm encontrado déficits na força muscular induzidos pelo alongamento. Entre eles pode-se citar o trabalho de Kokkonen *et al.* (1998) no qual os autores verificaram déficits no teste de 1 RM (teste de uma repetição máxima) em sujeitos que foram submetidos a cinco diferentes exercícios de alongamento para os músculos flexores e extensores do joelho com volume total de 20 minutos.

Os resultados obtidos neste estudo reportam que o grupo submetido ao protocolo de alongamento obteve um decréscimo de 16% em relação aos valores obtidos pelo mesmo grupo antes da aplicação do protocolo, entretanto os sujeitos do grupo controle (que não realizaram nenhum trabalho de alongamento, permanecendo em repouso durante o tempo correspondente à aplicação do protocolo) não apresentaram alterações nas avaliações de força inicial e final (KOKKONEN *et al.*, 1998).

Tais resultados foram atribuídos às alterações das respostas musculares e dos proprioceptores articulares em decorrência do trabalho de alongamento. Principalmente em relação ao OTG que, segundo os autores, seria responsável por responder à tensão provocada pelo alongamento e gerar um reflexo inibitório (reflexo autogênico) tanto no músculo que está sendo alongado quanto no seu antagonista. Ainda de acordo com Kokkonen *et al.* (1998), os nociceptores presentes nos músculos, tendões e cápsulas articulares podem também ser responsáveis pela inibição da via neural responsável pela ativação muscular otimizada.

No estudo de Marek *et al.* (2005), duas hipóteses também foram descritas para esclarecer os déficits agudos na força e também na potência muscular pós-alongamento. A primeira delas refere-se a fatores mecânicos, tais como alterações nas propriedades viscoelásticas da unidade músculo-tendínea. A segunda hipótese

trata de fatores neurais em concordância com Kokkonen *et al.* (1998), tais como a menor ativação das unidades motoras pós-alongamento. O fato de terem ocorrido déficits induzidos pelo alongamento na ativação eletromiográfica (EMG) de superfície dos músculos vasto lateral e reto femoral nas velocidades angulares de 60 e 300°·s<sup>-1</sup> após a aplicação dos protocolos de alongamento reforça a hipótese de que um menor número de unidades motoras seja ativado após protocolos de alongamento mais longos (MAREK *et al.*, 2005).

Mais uma vez quando se considera os efeitos agudos do alongamento sobre o desempenho muscular parece estar bem documentada a inter-relação entre o volume dos protocolos empregados pelos diferentes estudos previamente às avaliações de força e a magnitude dos déficits encontrados (BRANDENBURG, 2006). Nesse sentido, ainda não há pleno consenso entre os autores a respeito do tempo mínimo de duração dos protocolos capaz de promover alterações de natureza mecânica e/ou proprioceptivas na unidade músculo-tendínea a ponto de comprometer a força em níveis significativos.

A maior parte dos autores relata ter encontrado déficits significativos no desempenho dos músculos flexo-extensores de joelho mediante a aplicação de protocolos com tempos totais de duração bastante variados. No entanto, alguns destes estudos empregaram em suas metodologias protocolos de alongamento consideravelmente longos, em torno de 20 minutos (KOKKONEN *et al.*, 1998; MAREK *et al.*, 2005) e que não correspondem efetivamente às rotinas de aquecimento empregadas pela maioria dos atletas antes de seus treinamentos e competições conduzindo, portanto, a uma série de indagações sobre a aplicabilidade prática dos resultados oriundos destes estudos, conforme salienta Brandenburg (2006).

Nessa perspectiva, um dos autores que comparou os efeitos agudos de volumes menores de alongamento foi Branderburg (2006), tendo o autor pesquisado protocolos de alongamento estático para os músculos isquiotibiais com durações totais de 15 e 30 segundos, empregando a dinamometria isocinética como instrumento de avaliação do desempenho muscular. Os resultados deste estudo reportam que mesmo protocolos curtos de alongamento foram capazes de ocasionar déficits significativos nos picos de torque concêntrico e excêntrico e também no pico de força isométrico de ambos os grupos, resultados tais que

levaram o autor a desencorajar a inclusão de quaisquer exercícios de alongamento estático durante a preparação e o aquecimento prévios à atividades de força.

## 2.6 ARTROCINEMÁTICA DO JOELHO

A respeito dos movimentos do joelho, duas articulações separadas têm de ser consideradas: a articulação tibiofemoral, que é a mais importante, uma vez que controla os movimentos de flexão e extensão do membro inferior, e a femoropatelar que atua como uma polia para o tendão quadricipital (PALASTANGA, 2000).

Os principais movimentos que ocorrem na articulação do joelho são, portanto, a flexão e a extensão, juntamente com uma discreta rotação interna quando a articulação é flexionada (WATKINS, 1999).

Segundo Hall (2005), a articulação do joelho difere de uma articulação dobradiça típica, não somente em virtude da rotação que ocorre, mas também porque o eixo em torno do qual o movimento ocorre, juntamente com a área de contato entre as superfícies articulares, move-se durante a extensão e a flexão para frente e para trás, respectivamente.

### 2.6.1 Aspectos Anátomo-Cinesiológicos da Articulação do Joelho

Nesta seção são descritos alguns dos aspectos anatômicos e cinesiológicos mais relevantes dos músculos responsáveis pelos movimentos de extensão e flexão da articulação do joelho.

Em relação ao grupo muscular do quadríceps femoral, os autores o descrevem como consistindo de quatro músculos: o vasto lateral, vasto intermédio, vasto medial e o reto femoral (STARKEY; RYAN, 2001).

Todos os músculos que compõem o quadríceps femoral apresentam uma inserção distal comum na tuberosidade da tíbia sobre o ligamento patelar (PUTZ; PABST, 2000), conforme pode ser visto na figura 10.

Como grupo, o quadríceps femoral promove a extensão do joelho. O reto femoral por ser um músculo biarticular, também funciona como flexor do quadril, especialmente quando o joelho está flexionado; e o vasto medial oblíquo promove o deslizamento medial da patela (STARKEY; RYAN, 2001).

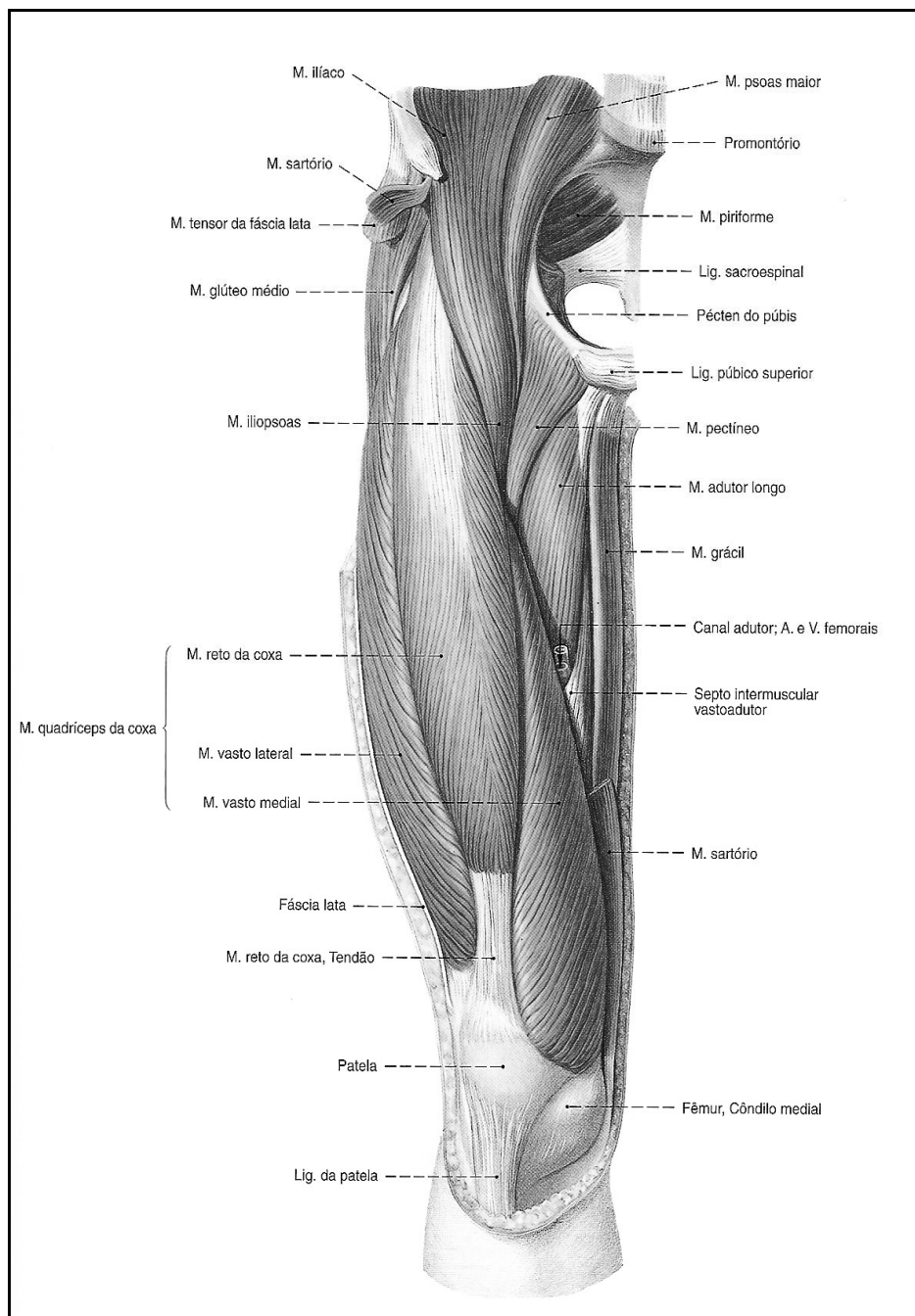


Figura 10 – Vista anterior dos músculos da coxa e do quadril com ênfase no quadríceps (PUTZ; PABST, 2000).

O músculo vasto intermédio, por fazer parte da camada profunda dos músculos da coxa, está representado na figura 11 mediante a remoção do músculo reto femoral.

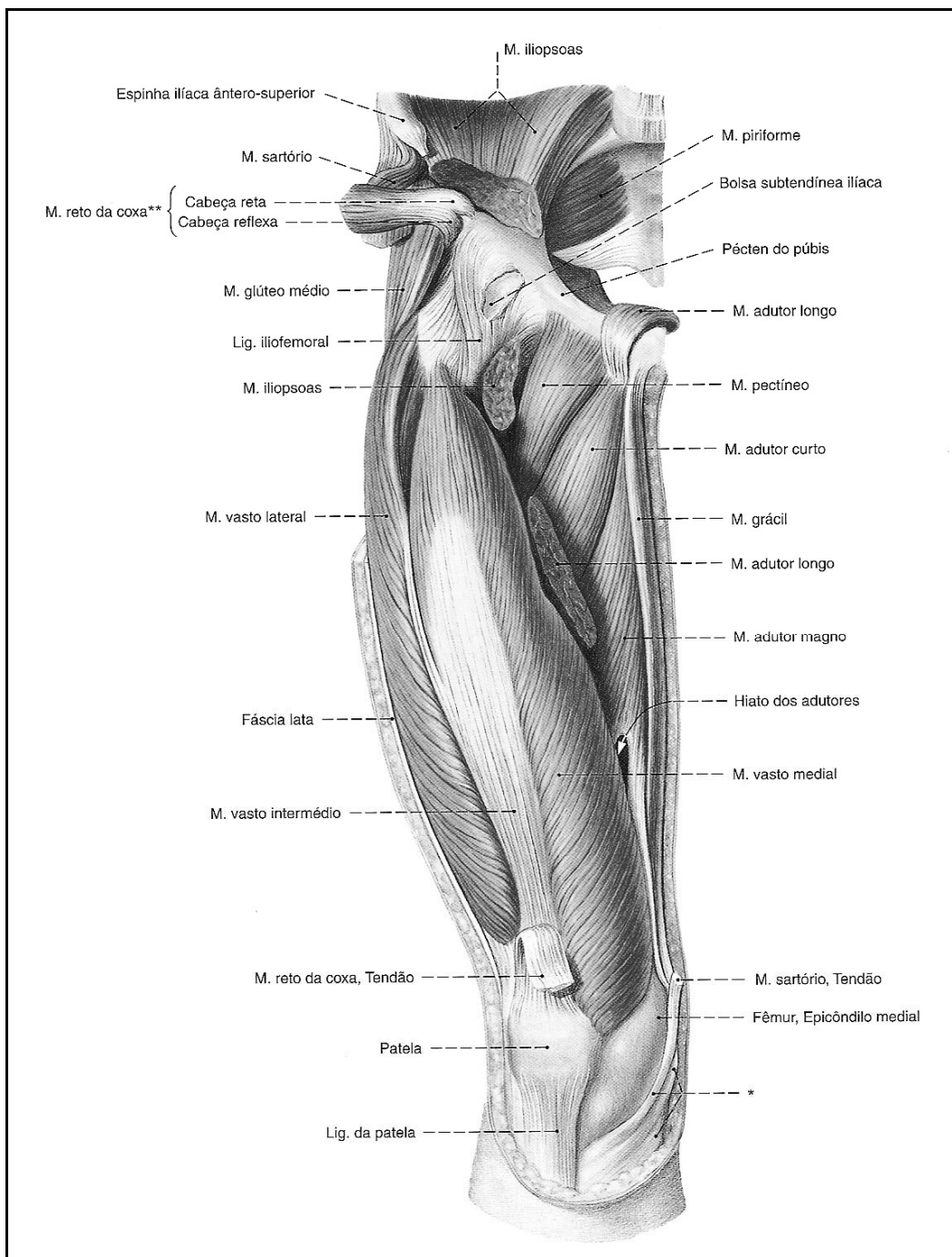


Figura 11 – Vista anterior dos músculos da coxa e do quadril com ênfase no vasto intermédio (PUTZ; PABST, 2000).

Já o grupo antagonista do quadríceps no movimento de extensão da articulação do joelho é o grupo dos músculos isquiotibiais (HALL, 2005). O grupo isquiotibial é constituído pelos músculos semitendinoso, semimembranoso e a cabeça longa do bíceps femoral (STARKEY; RYAN, 2001). Os isquiotibiais estão representados na figura 12.

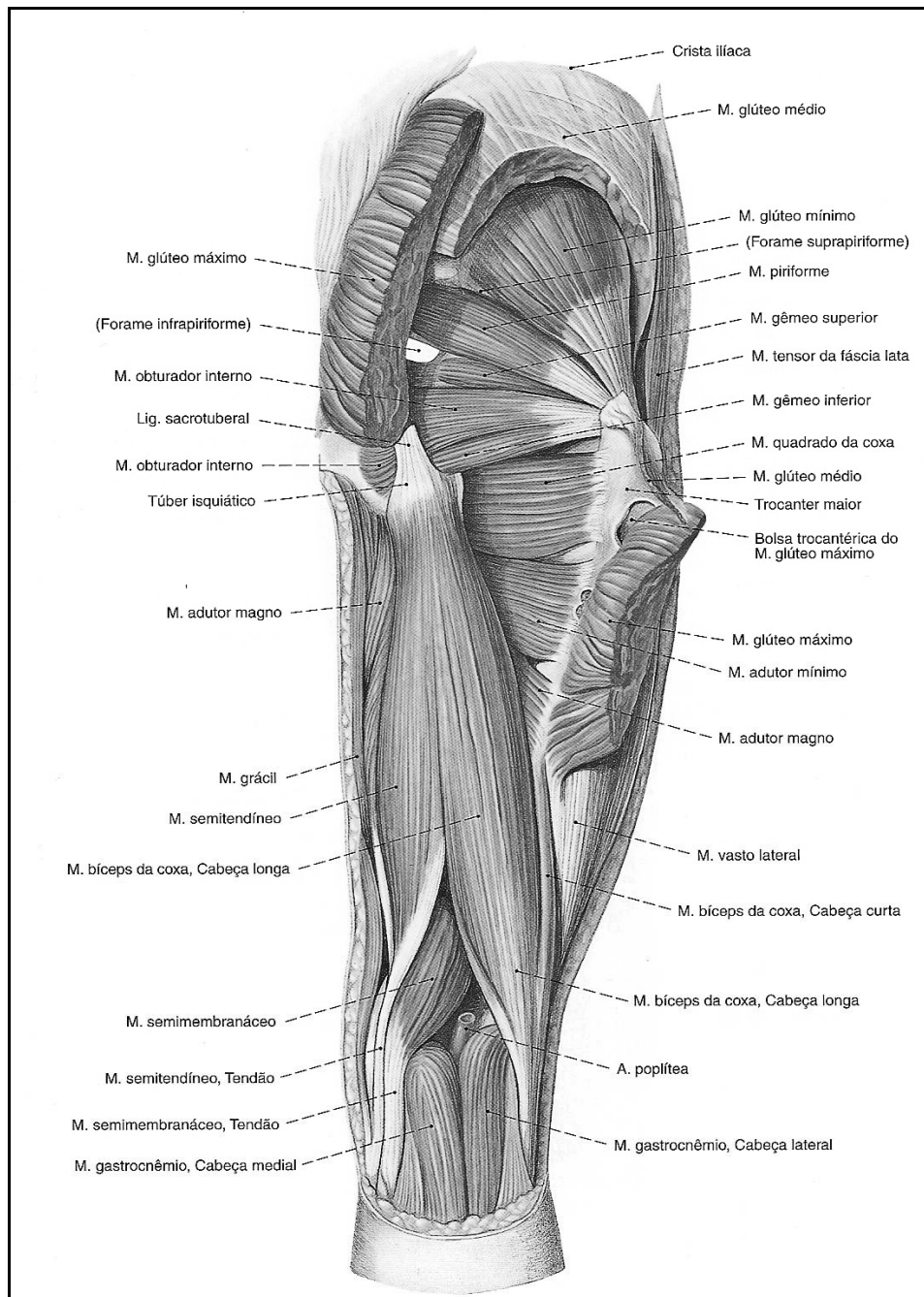


Figura 12 – Vista posterior da coxa e do quadril com ênfase nos isquiotibiais (PUTZ; PABST, 2000).

Como grupo, os isquiotibiais funcionam fazendo a flexão do joelho e a extensão do quadril (STARKEY; RYAN, 2001). O bíceps femoral funciona também promovendo a rotação externa do joelho, enquanto o semimembranoso e o semitendinoso promovem a rotação interna do joelho (HALL, 2005).

## 2.7 DINAMOMETRIA ISOCINÉTICA

Nesta seção são abordados conceitos básicos a respeito da dinamometria isocinética, assim como os conceitos de torque e momento articular.

Considerações sobre a aplicação da dinamometria isocinética na avaliação dos músculos do joelho também são abordadas. O modelo de dinamômetro isocinético utilizado neste trabalho está representado na figura 13.



Figura 13 – Dinamômetro isocinético CYBEX® (*modelo NORM 7000*) – sistema de teste e reabilitação.

### 2.7.1 Conceito de Isocinetismo

O isocinetismo é um processo no qual um segmento do corpo acelera para alcançar uma velocidade fixa pré-selecionada contra uma resistência adaptável



(DVIR, 2002). Independentemente da magnitude da força exercida pelo sujeito avaliado, a velocidade do segmento avaliado não excederá a velocidade pré-selecionada pelo avaliador (DVIR, 2002).

Segundo Prentice e Voight (2003) o exercício isocinético pode ser basicamente definido como um movimento que ocorre em uma velocidade angular constante com resistência acomodativa.

Algumas características relevantes da avaliação isocinética são a possibilidade do avaliado produzir força máxima ao longo de toda a amplitude de movimento (diferentemente dos exercícios isotônicos convencionais não isocinéticos), além da possibilidade do avaliado ter a seu desempenho muscular mensurado em várias velocidades angulares distintas (DVIR, 2002). Desta forma estima-se com mais precisão diferentes aspectos das capacidades musculares, tais como a força pura, a potência (força explosiva), a resistência (força sustentada) tornando mais fidedignos e objetivos os dados sobre o desempenho do grupo muscular testado em relação às atividades funcionais do avaliado (ZAKAS *et al.*, 2006).

Para McArdle *et al.* (2003), o treinamento com resistência isocinética combina tanto as características positivas do exercício isométrico quanto do levantamento dinâmico de pesos (exercícios isotônicos).

O isocinetismo proporciona, portanto, uma sobrecarga muscular em uma velocidade constante enquanto o grupo muscular é solicitado a gerar sua capacidade de força máxima por toda a amplitude de movimento (DVIR, 2002).

Qualquer variação na magnitude do torque gerado pelo sujeito durante a realização do movimento isocinético encontra uma força oponente proporcional àquela aplicada ao dispositivo mecânico. Assim, o exercício isocinético apresenta resistência variável, ou seja, um regime de acomodação permanentemente adaptável ao esforço muscular do avaliado (controlado pelo servo motor do dinamômetro) de forma a garantir que a velocidade de execução do exercício seja a mais uniforme possível dentro da quase totalidade da amplitude de movimento pesquisada (DVIR, 2002).

O treinamento isocinético ativa um número significativo de unidades motoras de forma a impor sistematicamente uma sobrecarga aos músculos até mesmo nos ângulos articulares relativamente menos favorecidos na curva comprimento-tensão, à medida que a própria biomecânica da alavanca ósteo-mio-tendinosa

produz variações na capacidade geradora de força através da amplitude de movimento articular (McARDLE *et al.*, 2003).

### **2.7.2 Torque ou Momento Muscular**

No contexto da dinamometria isocinética, segundo Dvir (2002), o torque ou momento muscular produzido pelo sujeito ocorre em uma tentativa permanente de superar a velocidade de deslocamento angular determinada conforme os objetivos da avaliação.

Para Dvir (2002) a resistência imposta pelo dinamômetro à execução do movimento varia constantemente no intuito de equiparar a força aplicada pelo avaliado em todos os pontos da amplitude de movimento avaliada, garantindo assim que o movimento ocorra na mesma velocidade angular em toda sua extensão, principal característica do isocinetismo.

A magnitude do torque produzido pelo avaliado no dinamômetro é mensurada em newtons x metro (N.m) e pode ser representada tanto numérica quanto graficamente (CYBEX NORM, 1998), conforme demonstrado na figura 14. A área abaixo da curva da figura 14 representa o trabalho muscular produzido pelo avaliado (mensurado em joules) e o ponto mais proeminente da curva representa o pico de torque. As curvas representadas na primeira linha indicam as repetições da primeira avaliação e das da segunda linha indicam as repetições da segunda avaliação (reavaliação). As curvas nomeadas “*Best*” (representadas pelas cores azul escuro e vermelho) indicam que nesta repetição foi gerado o melhor trabalho muscular, as nomeadas “*Average*” (representadas pelas cores verde e lilás) correspondem às curvas intermediárias e as nomeadas “*Maximum*” (representadas pelas cores azul claro e amarelo) indicam que nesta repetição foi registrado o maior torque atingido pelo avaliado (pico de torque) (CYBEX NORM, 1998). Um exemplo de laudo com as informações completas dos resultados de uma avaliação isocinética para a articulação do joelho encontra-se no Anexo A.

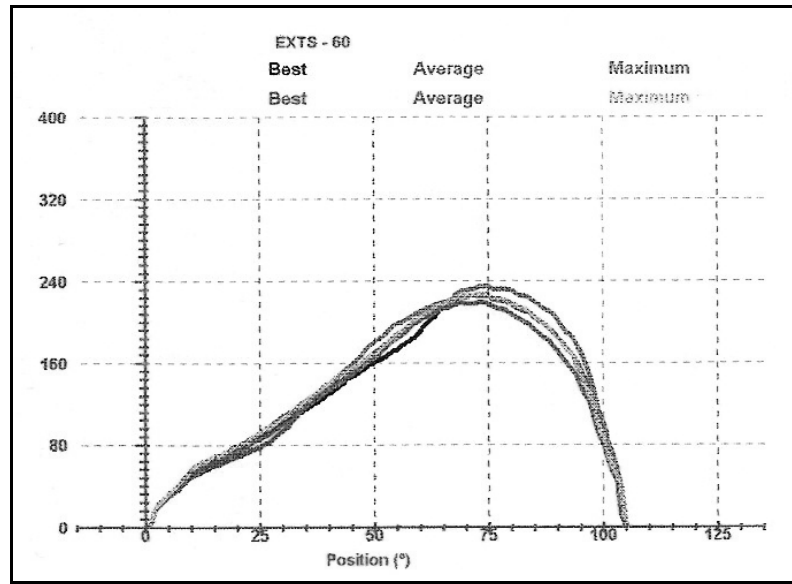


Figura 14 - Representação das curvas típicas de torque isocinético do grupo muscular do quadríceps geradas pelo *software* do dinamômetro isocinético CYBEX NORM 7000.

### 2.7.3 Avaliação Isocinética dos Músculos do Joelho

Segundo Dvir (2002) alguns aspectos devem ser levados em consideração em relação ao teste isocinético para a articulação do joelho, tais como:

- a) o alinhamento dos eixos biológico e mecânico;
- b) o posicionamento e a estabilização corretos do avaliado;
- c) a posição da plataforma de resistência e as velocidades do teste.

Cada um destes aspectos é abordado de forma mais pormenorizada a seguir.

#### a) Alinhamento dos eixos Biológico e Mecânico

Para o teste isocinético dos músculos extensores e flexores do joelho o avaliador deve alinhar o côndilo femoral lateral do sujeito avaliado com a alavanca do dinamômetro para que o centro de rotação da articulação coincida com o centro de rotação da alavanca do aparelho isocinético, estando o avaliado na posição usual sentada (*vide figura 19*), (CYBEX NORM, 1998).

## b) Posicionamento e Estabilização

Os procedimentos adequados para o posicionamento e estabilização do avaliado foram descritos por Dvir (2002), como segue:

- Posição Sentada: o avaliado deve permanecer sentado com o tronco levemente reclinado e as coxas bem suportadas pelo assento. Nessa posição o joelho é testado ao longo de uma ADM que se estende a partir de 75 a 90° de flexão, na direção da máxima extensão possível (DVIR, 2002);
- Ângulo de Reclinação: foi observado que o ângulo de inclinação tem um efeito diferencial no momento do quadríceps e dos isquiotibiais (DVIR, 2002). Enquanto o momento do quadríceps não foi significativamente diferente entre as posições sentada e semi-reclinada, os resultados dos isquiotibiais foram significativamente mais altos na posição sentada. Assim, a posição sentada (tronco a aproximadamente 80°) é considerada a ideal para o teste tanto dos extensores quanto dos flexores do joelho (DVIR, 2002).

## c) Velocidades Angulares adequadas para o Teste Isocinético do Joelho

Os isquiotibiais e o quadríceps têm sido testados usando um campo extensivo de velocidades angulares (DVIR, 2002).

É discutível se o emprego de velocidades angulares altas (acima de 180° s<sup>-1</sup>), particularmente para o teste do joelho, produza dados que melhorem significativamente a interpretação dos resultados obtidos no teste (ZAKAS *et al.*, 2006).

Primeiramente, ainda não está claro se um setor razoável da ADM é coberto em uma velocidade de deslocamento angular maior do que 180° s<sup>-1</sup> (DVIR, 2002).

Em segundo lugar, em seu estudo, Ghena *et al.* (1991), demonstraram apenas uma diferença muito discreta (3 N.m) e não significativa entre o momento concêntrico dos isquiotibiais a 300 e 450° s<sup>-1</sup>. Para o quadríceps, houve uma diminuição mais significativa (33 N.m) no pico de torque entre as velocidades, mas foi pequena se comparada com a diferença entre 120 e 300° s<sup>-1</sup> (74 N.m).

Portanto, no teste isocinético de joelho, velocidades muito elevadas não proporcionam informação útil, a não ser que a modalidade esportiva do atleta

esteja associada com o desempenho muscular de alta velocidade (PRENTICE; VOIGHT, 2003). Mais do que isso, excluindo-se atletas profissionais, velocidades angulares muito altas não parecem simular nenhuma atividade com sentido funcional.

Para o condicionamento muscular voltado particularmente à potência, a velocidade angular de  $450^{\circ}\text{s}^{-1}$  é recomendada por alguns autores (PRENTICE; VOIGHT, 2003).

Uma faixa recomendável de velocidades de teste isocinético para a articulação do joelho estaria compreendida, portanto, entre  $60$  e  $180^{\circ}\text{s}^{-1}$  (DVIR, 2002).

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os procedimentos metodológicos realizados neste trabalho. Primeiramente encontram-se descritos os procedimentos gerais e posteriormente os específicos.

#### 3.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Para que fossem incluídos neste estudo os sujeitos deveriam atender aos seguintes critérios:

- a) Serem todos do sexo masculino;
- b) Terem entre 17 e 21 anos de idade;
- c) Realizarem atividade física com predominância aeróbica com uma frequência de pelo menos 3 vezes por semana e com um volume mínimo de 40 minutos por seção;
- d) Apresentarem como dominante o membro inferior direito.

Como critérios de exclusão dos sujeitos neste estudo foram estabelecidos:

- a) Histórico de lesão músculo-esquelética nos últimos 6 meses;
- b) Presença de qualquer patologia traumato-ortopédica envolvendo o sistema musculoesquelético.
- c) Sujeitos que realizassem treinamento sistemático de força.

#### 3.2 AMOSTRA

Respeitando os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, o universo amostral do presente trabalho constituiu-se de 36 sujeitos, com idade média de 19 ( $\pm 2$ ) anos, peso médio de 63,76 ( $\pm 5,3$ ) kg e estatura média de 173 ( $\pm 4,7$ ) cm.

A maior parte dos sujeitos recrutados para a pesquisa era de jovens cadetes do exército da cidade de Curitiba (5° Batalhão) e os demais acadêmicos da PUCPR.

Todos os sujeitos assinaram previamente um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em

Pesquisa com Seres Humanos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, sob o número de registro 902 (Anexo B).

Os dados referentes à massa corporal, estatura, idade, nível de atividade física e dominância de membros inferiores (de acordo com a preferência de chute) foram registrados em uma ficha de anamnese individual para cada sujeito cujo modelo encontra-se no Anexo C.

### 3.3 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Todos os procedimentos experimentais do presente trabalho foram realizados no Centro de Dinamometria Isocinética da Clínica Escola de Fisioterapia da PUCPR.

Para mensuração da massa corporal dos sujeitos foi empregada uma balança mecânica (*Techline®*, modelo AAS 320), com precisão de 0,3 kg. A mensuração da estatura dos sujeitos foi realizada por meio de um estadiômetro com precisão de 0,1 cm (*Sanny®*, modelo Standard ES – 2030). Para a avaliação do desempenho muscular foi empregado o dinamômetro isocinético (*Cybex®*, modelo *NORM 7000*), módulo de membros inferiores. O flexímetro (*ICP®*, modelo 1406), foi empregado para as avaliações da amplitude de movimento da articulação do quadril. E o aquecimento sistêmico dos sujeitos foi realizado em bicicleta ergométrica (*Moviment®*, modelo Biocycle 2600 Eletromagnetic).

Os sujeitos foram distribuídos aleatoriamente em três grupos com 12 participantes cada: grupo de alongamento estático 1 ( $E_1$ ), grupo de alongamento estático 2 ( $E_2$ ), que foram submetidos a protocolos de alongamento de 180 e 360 segundos, respectivamente, e o grupo controle (C), cujos participantes não realizaram nenhum tipo de alongamento, permanecendo em repouso por aproximadamente 270 segundos.

O processo de randomização dos participantes nos três grupos foi dirigido por meio de sorteio. Logo após a anamnese, o próprio participante sorteava o grupo do qual faria parte. Quando o número de sujeitos previsto para um grupo era completado, este grupo era excluído do sorteio.

Todos os sujeitos realizaram um aquecimento sistêmico em bicicleta ergométrica, após o qual estes foram submetidos a uma avaliação da amplitude de movimento (ADM) de flexão do quadril.

Após a avaliação inicial da ADM de quadril, os sujeitos realizaram um protocolo de familiarização no dinamômetro isocinético (aquecimento específico) seguido de uma avaliação isocinética inicial.

Concluída esta etapa, os sujeitos realizaram seus respectivos protocolos de alongamento, à exceção do grupo controle que permaneceu em repouso durante o tempo médio correspondente à aplicação dos dois protocolos de alongamento (270 segundos).

Após a execução do alongamento, era realizada a reavaliação da ADM de flexão do quadril que seguiu os mesmos procedimentos da avaliação inicial.

A última etapa da coleta de dados consistiu na reavaliação isocinética que também seguiu o mesmo protocolo da avaliação inicial à exceção da série de familiarização. O tempo decorrido entre a avaliação final da ADM e a reavaliação isocinética foi de aproximadamente 60 segundos.

A seqüência dos procedimentos metodológicos está representada esquematicamente no fluxograma da figura 15, bem como o tempo aproximado (em segundos) decorrido entre as diferentes etapas da coleta de dados.

A seguir encontra-se a descrição detalhada dos procedimentos metodológicos empregados.

### **3.3.1 Protocolo de Aquecimento Sistêmico**

Os sujeitos realizaram o aquecimento sistêmico com carga de 0,5 kpm (resistência mínima fornecida pelo equipamento) durante cinco minutos, tempo também empregado por outros autores e considerado suficiente para ativar o fluxo sanguíneo periférico (MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2005).

O posicionamento do sujeito na bicicleta está ilustrado pela figura 16.

### **3.3.2 Protocolo das Avaliações de Amplitude de Movimento de Flexão do Quadril**

Para avaliação da ADM, o flexímetro era posicionado na face lateral da coxa direita, com o voluntário em decúbito dorsal conforme demonstrado na figura 17.



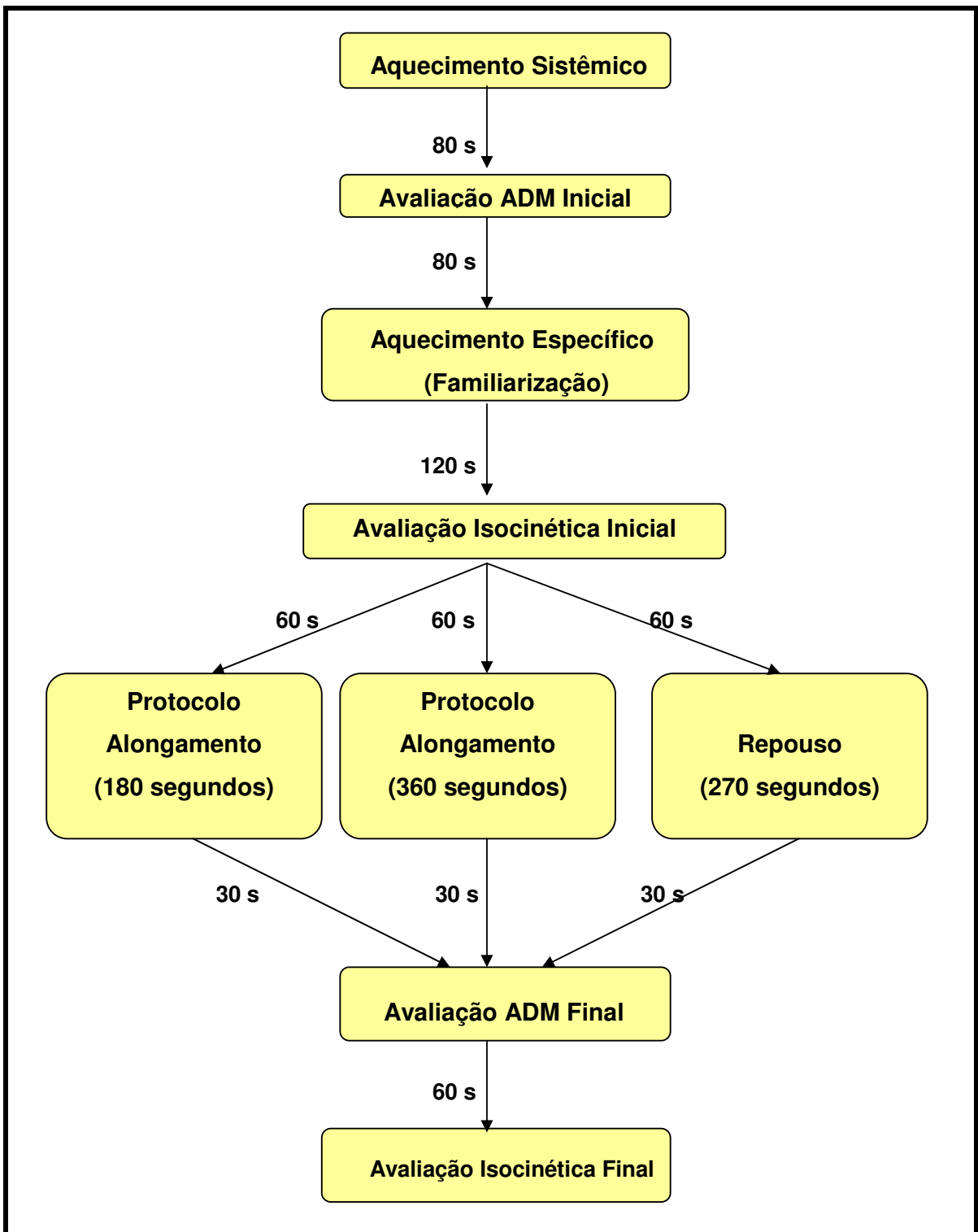


Figura 15 – Descrição simplificada dos procedimentos metodológicos realizados e tempos aproximados de intervalo entre os procedimentos.

Em seguida, o sujeito realizava ativamente o movimento de flexão da articulação do quadril até a sua amplitude máxima com o joelho plenamente estendido e o tornozelo em posição neutra sendo o valor do ângulo (em graus) apontado pelo flexímetro registrado sempre pelo mesmo avaliador, conforme demonstrado na figura 18.

Este procedimento foi repetido três vezes e a média das três mensurações foi o valor considerado no estudo. O coeficiente de variação foi calculado, para cada medida de ângulo, e sua média que é de 4,0% fornece uma estimativa da repetibilidade do procedimento. Os dados detalhados sobre a variabilidade das medidas da ADM de flexão do quadril dos sujeitos encontram-se descritos no Apêndice B.



Figura 16 – Voluntário realizando o aquecimento sistêmico na bicicleta ergométrica.

A posição do flexímetro era demarcada com uma caneta dermatográfica para que o mesmo pudesse ser colocado precisamente na mesma posição na avaliação da flexibilidade pós-alongamento.



Figura 17 – Posicionamento do flexímetro no terço médio-lateral da coxa do voluntário para avaliação da ADM de flexão da articulação do quadril.

A técnica de avaliação da amplitude de movimento de flexão do quadril com o sujeito em decúbito dorsal realizando o movimento de flexão do quadril com o joelho em extensão total foi descrita por Davis *et al.* (2005) como sendo uma forma consistente para a estimativa e avaliação do comprimento dos músculos isquiotibiais.



Figura 18 – Mensuração da ADM da articulação do quadril.

### 3.3.3 Protocolo das Avaliações Isocinéticas

Durante as avaliações isocinéticas os sujeitos foram primeiramente posicionados sentados no dinamômetro, tendo a cadeira sido posicionada a 85° de flexão do quadril, e o eixo mecânico do aparelho alinhado em relação ao epicôndilo lateral do fêmur do avaliado, considerado o ponto anatômico de referência para as avaliações de joelho (DVIR, 2002; PAPADOPOULOS *et al.* 2005). O posicionamento do sujeito está ilustrado na figura 19.



Figura 19 – Posicionamento do voluntário no dinamômetro isocinético. A linha tracejada em vermelho (-----) indica o alinhamento entre os eixos biológico e mecânico.

Antes da realização de cada avaliação isocinética foi realizada a correção para a gravidade como parte integrante dos procedimentos de preparo do dinamômetro isocinético.

A adequada estabilização dos sujeitos era garantida pelos cintos colocados na região do tronco, do quadril e da coxa do membro inferior avaliado atendendo à sugestão do manual de uso do dinamômetro isocinético (CYBEX NORM, 1998).

Todos os dados isocinéticos considerados no presente estudo são relativos ao membro inferior direito que correspondia ao membro dominante de todos os

sujeitos participantes neste estudo. Tal característica era determinada de acordo com a preferência de chute dos sujeitos verificada durante a anamnese realizada com os mesmos antes da coleta de dados.

A amplitude de movimento foi limitada entre 105° de flexão e 0° de extensão do joelho conforme recomendação da Cybex Norm (1998), conforme demonstrado na figura 20, que ilustra a extensão máxima do joelho do avaliado, ponto este considerado como 0° na avaliação isocinética.



Figura 20 – Procedimento técnico de delimitação da amplitude de movimento articular adotado nas avaliações isocinéticas.

Os testes isocinéticos foram realizados concentricamente tanto na extensão, quanto na flexão do joelho. As avaliações dos grupos musculares do quadríceps e dos isquiotibiais foram realizadas concomitantemente, ou seja, no mesmo “ciclo” de movimento. Em outras palavras, durante a extensão do joelho que o sujeito executava era avaliada a musculatura quadricipital e durante a flexão a musculatura isquiotibial. Todos os testes isocinéticos empregados neste estudo foram realizados na velocidade de angular de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  tendo em vista que em baixas velocidades ocorre um recrutamento mais eficiente das unidades motoras e a força

muscular pode ser melhor isocineticamente avaliada (DVIR, 2002; MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2005).

Após terem sido posicionados no dinamômetro os sujeitos realizaram o aquecimento específico que correspondeu a uma série composta por três repetições sendo as duas primeiras submáximas e a última máxima, com o objetivo de promover a familiarização dos sujeitos com o dinamômetro (com o padrão das contrações isocinéticas), além de promover um recrutamento progressivo de unidades motoras, conforme recomendado por Marek *et al.* (2005) e por Branderburg *et al.* (2006).

Após o término da série de familiarização, era permitido um intervalo de 2 minutos (120 segundos) antes que os sujeitos realizassem as 3 repetições máximas correspondentes à avaliação isocinética inicial, para que não houvesse qualquer tipo de influência da série de familiarização no desempenho dos sujeitos na avaliação isocinética inicial, mesmo procedimento adotado por Marek *et al.* (2005).

A avaliação isocinética pós-alongamento, à exceção da familiarização, seguiu os mesmos parâmetros da avaliação inicial. Todos os sujeitos tiveram veemente encorajamento verbal do mesmo avaliador durante todos os testes isocinéticos (McNAIR *et al.*, 1996).

### **3.3.4 Protocolos de Alongamento**

Os sujeitos dos grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> foram submetidos à técnica de alongamento estático aplicada no grupo muscular isquiotibial sob supervisão direta do pesquisador, porém sem auxílio. Para tanto, os sujeitos foram instruídos a permanecer sentados na maca com os joelhos em extensão total e os tornozelos em dorsi-flexão para que a musculatura flexora plantar (tríceps sural e músculo plantar) também fosse alongada, tendo em vista o importante papel desse grupo muscular como motor secundário, atuando como sinergista com os isquiotibiais durante o movimento de flexão do joelho (GREGO NETO *et al.*, 2006). Em seguida realizavam a flexão máxima do tronco com os membros superiores também estendidos na posição chamada de “sentar e alcançar”, por ser esta uma postura considerada eficiente para o alongamento dos músculos isquiotibiais (DANTAS, 2005; ACHOUR, 2006).

Após atingirem a ADM final na qual deveriam permanecer para realizar o alongamento, os sujeitos eram inquiridos a respeito do nível de desconforto provocado pelo exercício, sendo então instruídos de que este deveria ser o máximo tolerável sem, no entanto, provocar dor. Por tratar-se de uma postura de auto-alongamento os exercícios foram realizados sem auxílio externo do pesquisador, porém os sujeitos eram permanentemente encorajados verbalmente a executarem os exercícios na máxima amplitude articular segundo recomendam Dantas (2005) e Achour (2006).

A postura de alongamento empregada neste estudo encontra-se ilustrada na figura 21. Com a finalidade de evitar compensações e garantir maior eficiência do exercício, uma tira de velcro era firmemente posicionada no terço distal da coxa dos sujeitos para evitar a flexão dos joelhos, procedimento também adotado por Papadopoulos *et al.* (2005) em seu estudo.

O protocolo de alongamento para o grupo E<sub>1</sub> consistia de uma série composta de 4 repetições de 45 segundos cada uma, perfazendo um total de 180 segundos (3 minutos) de permanência do sujeito na postura de alongamento.

Para o grupo E<sub>2</sub> o protocolo consistia de uma série composta de 8 repetições de 45 segundos cada, perfazendo um total de 360 segundos (6 minutos) na postura de alongamento.

Em ambos os protocolos as repetições eram realizadas com o intervalo de um minuto, assim como no estudo de Davis *et al.* (2005).

A estruturação dos protocolos de alongamento obedeceu às recomendações do Colégio Americano de Medicina Esportiva em relação ao tempo mínimo de 30 segundos de duração de cada repetição capaz de promover alterações visco-elásticas e proprioceptivas na unidade músculo-tendínea (ACSM, 2003). E, portanto, o fracionamento das séries em repetições de 45 segundos configura, de acordo com a literatura, um volume capaz de provocar um aumento agudo na amplitude de movimento articular em razão das alterações mecânicas e fisiológicas que ocasiona na UMT (ACSM, 2003).

A seleção do número de repetições e, por conseguinte, do tempo total de duração dos protocolos foi realizada com base nas durações médias de aplicação dos protocolos empregados em outros estudos com metodologias similares à deste trabalho, porém não reproduzindo fielmente os mesmos tempos empregados em nenhum estudo consultado no intuito de investigar quais seriam os efeitos de

outros volumes de alongamento diferentes dos já relatados em trabalhos homólogos (KOKKONEN *et al.*, 1998; BEHM *et al.*, 2004; POWER *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; PAPADOPOULOS *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2005).



Figura 21 – Posicionamento do sujeito durante a realização da técnica de auto-alongamento estático sob a supervisão do pesquisador.

### 3.3.5 Variáveis Analisadas

As variáveis avaliadas isocineticamente no presente estudo foram o pico de torque ( $P_T$ ) mensurado em *newtons.metro*, o trabalho máximo ( $T_M$ ) mensurado em *joules* e o trabalho total ( $T_T$ ) também mensurado em *joules*. Além da amplitude de movimento articular (ADM) de flexão do quadril mensurada em graus. Todas as variáveis isocinéticas deste estudo foram obtidas tanto para os músculos isquiotibiais quanto para os músculos do quadríceps. A variável ADM foi obtida apenas para os músculos isquiotibiais.

Cabe ressaltar que o  $P_T$  e o  $T_M$  foram registrados apenas na melhor repetição dentre as três realizadas a cada avaliação isocinética. Já a variável  $T_T$  reflete a soma do trabalho muscular exercido nas três repetições executadas pelo participante.



Sendo estes valores fornecidos automaticamente pelo *software* do dinamômetro, conforme representado no Anexo A.

As variáveis  $P_T$ ,  $T_M$  e  $T_T$  são citadas por Dvir (2002) como bons preditores do desempenho muscular, especialmente em relação à força, embora a maior parte dos estudos considere apenas o  $P_T$  em suas metodologias (MAREK *et al.*, 2005; PAPADOPOULOS, *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2005; BRANDENBURG *et al.*, 2006).

### 3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para a análise estatística, avaliou-se inicialmente a condição de normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov–Smirnov e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levène. Para a comparação dos três grupos em relação às variáveis antropométricas e às variáveis pré-alongamento foi usada a análise de variância com um fator (ANOVA).

Para a comparação das avaliações pré e pós-alongamento intragrupos foi usado o teste t de Student para amostras pareadas (STELL, 1997).

Para todos os sujeitos de cada grupo, foram determinadas as diferenças percentuais entre os valores pré e pós-alongamento de cada variável, sendo:

$$\text{Diferença Percentual} = 100 \cdot (\text{valor}_{\text{pós}} - \text{valor}_{\text{pré}}) / \text{valor}_{\text{pré}}$$

A análise de covariância (ANCOVA) tendo os valores pré-alongamento como co-variável foi aplicada a fim de verificar a homogeneidade entre os três grupos em relação às diferenças percentuais.

Nos casos em que esta análise revelou diferenças significativas entre os grupos aplicou-se o teste LSD para que fossem feitas comparações dos grupos dois a dois (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Em todos os testes, valores de  $p \leq 0,05$  indicaram significância estatística.

O *software* utilizado para a realização do tratamento estatístico do presente trabalho foi o SPSS (versão 14).

## 4 RESULTADOS

A apresentação dos resultados está organizada inicialmente descrevendo as características antropométricas dos sujeitos dos grupos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e C e posteriormente descrevendo os resultados das variáveis pesquisadas em função dos grupos musculares. Os dados referentes ao grupo dos músculos isquiotibiais são apresentados primeiramente e posteriormente os dados relativos ao grupo dos músculos do quadríceps.

Objetivando uma melhor padronização na apresentação dos dados referentes à ADM e isocinéticos, o comportamento das variáveis isocinéticas será descrito individualmente para cada grupo (resultados intragrupos) e posteriormente de forma comparativa entre grupos (resultados intergrupos).

### 4.1 DADOS ANTROPOMÉTRICOS DOS GRUPOS

Os dados antropométricos dos grupos encontram-se descritos na Tabela 1.

Nesta tabela é possível observar que há homogeneidade dos grupos em relação às características antropométricas avaliadas.

Tabela 1: Dados antropométricos dos sujeitos dos grupos de estudo (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) e Controle

Variável	Grupo E <sub>1</sub>	Grupo E <sub>2</sub>	Controle	Valor de p*
<b>Idade (anos)</b>	21,1 ± 2,7	20,9 ± 3,0	21,8 ± 3,5	0,743
<b>Massa (kg)</b>	66,7 ± 12,4	67,3 ± 10,3	68,8 ± 6,0	0,874
<b>Estatura (cm)</b>	173,3 ± 7,5	176,0 ± 6,5	177,0 ± 5,5	0,378
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,1 ± 2,7	21,7 ± 2,2	22,0 ± 2,0	0,905

Nota: (\*) Valor de p correspondente ao teste ANOVA, comparativo entre os três grupos. Os valores de  $p > 0,05$  indicam que não foram encontradas diferenças significativas entre as variáveis.

## 4.2 GRUPO MUSCULAR ISQUIOTIBIAIS

Neste item estão descritos os dados referentes aos músculos isquiotibiais (flexores de joelho).

### 4.2.1 Resultados Intragrupos

Na Tabela 2 são apresentados os valores absolutos médios e seus respectivos desvios-padrão encontrados nas avaliações iniciais e finais de ADM e isocinética dos músculos isquiotibiais, para cada uma das variáveis investigadas.

O teste ANOVA revelou que houve homogeneidade entre os três grupos em todas as variáveis na condição pré-alongamento, comprovando a validade do processo de randomização dos grupos.

A amplitude de movimento (ADM) de flexão do quadril de ambos os grupos de estudo ( $E_1$  e  $E_2$ ) apresentaram aumentos significativos, enquanto que para o grupo controle (C) esta manteve-se inalterada, dentro do nível de significância adotado ( $p \leq 0,05$ ).

Apenas o grupo  $E_2$  apresentou déficit significativo do  $P_T$  no teste pós-alongamento, sem que o mesmo comportamento tenha ocorrido com os grupo  $E_1$  e C para esta variável.

Tanto o grupo  $E_2$  quanto o C apresentaram variações significativas do  $T_M$ , no entanto, a variação ocorrida no grupo  $E_2$  foi negativa (queda no  $T_M$ ) enquanto a do grupo C foi positiva (aumento do  $T_M$ ). Os dados do grupo  $E_1$  mantiveram-se inalterados para esta variável.

Nenhum dos grupos de estudo ( $E_1$  e  $E_2$ ) apresentou variações significativas na variável  $T_T$ , diferentemente do grupo C que apresentou aumento desta variável.

### 4.2.2 Resultados Intergrupos

A figura 22 mostra o comportamento da diferença percentual média da ADM para cada grupo e seu respectivo desvio-padrão. A análise de covariância indicou que não houve homogeneidade dos grupos em relação a esta variável ( $p=0,001$ ).

Tabela 2: Valores obtidos nas avaliações pré e pós-alongamento das variáveis consideradas para o grupo muscular dos isquiotibiais

Variável		Grupo E <sub>1</sub>	Grupo E <sub>2</sub>	Controle
ADM (graus)	Pré	78,1 ± 8,1	83,8 ± 12,7	79,2 ± 14,8
	Pós	82,1 ± 10,4	89,0 ± 11,7	78,5 ± 13,1
	Valor de <i>p</i> *	<b>0,008</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,494
Pico de Torque (N.m)	Pré	117,0 ± 24,2	121,3 ± 15,0	115,7 ± 16,2
	Pós	116,9 ± 25,2	114,9 ± 13,4	118,7 ± 19,2
	Valor de <i>p</i> *	0,969	<b>0,029</b>	0,153
Trabalho Máximo (J)	Pré	154,8 ± 33,1	162,2 ± 21,7	149,6 ± 25,7
	Pós	154,2 ± 36,2	154,4 ± 22,4	155,9 ± 28,2
	Valor de <i>p</i> *	0,825	<b>0,017</b>	<b>0,009</b>
Trabalho Total (J)	Pré	446,6 ± 95,5	464,8 ± 66,4	434,5 ± 77,4
	Pós	438,3 ± 105,8	451,9 ± 70,3	446,3 ± 79,7
	Valor de <i>p</i> *	0,374	0,190	<b>0,036</b>

Nota: (\*) Valor de *p* correspondente ao teste comparativo entre os valores das avaliações pré e pós-alongamento. Os valores destacados em negrito indicam significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

As comparações dois a dois indicaram diferença entre os grupos E<sub>1</sub> e C ( $p=0,007$ ) e entre E<sub>2</sub> e C ( $p=0,01$ ). Porém as diferenças entre E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> não se mostraram significativas ( $p=0,397$ ) em relação à diferença percentual da ADM.

A figura 23 mostra o comportamento da diferença percentual média do P<sub>T</sub>, T<sub>M</sub> e T<sub>T</sub> para cada grupo e seu respectivo desvio-padrão. A análise de covariância indicou que não houve homogeneidade dos grupos em relação às diferenças percentuais do P<sub>T</sub> ( $p=0,037$ ) e do T<sub>M</sub> ( $p=0,037$ ).

As comparações dos grupos dois a dois revelaram que para a variável P<sub>T</sub> houve diferença significativa na comparação entre o grupo E<sub>2</sub> e o C ( $p = 0,010$ ), ao contrário das comparações entre E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> ( $p=0,088$ ) e entre E<sub>1</sub> e C ( $p=0,343$ ).

Para a diferença percentual da variável T<sub>M</sub>, as comparações dois a dois revelaram diferença significativa entre os grupos E<sub>2</sub> e C ( $p=0,002$ ), mas não entre E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> ( $p=0,135$ ) e E<sub>1</sub> e C ( $p=0,068$ ).

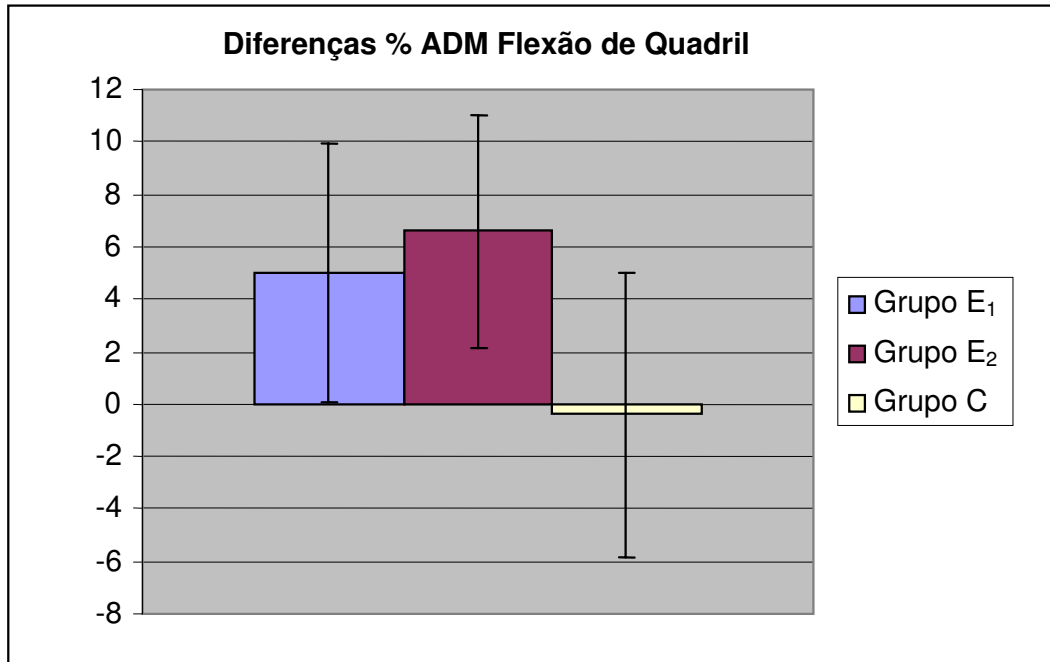


Figura 22 – Valores médios das diferenças percentuais da variável ADM dos grupos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e C com seus respectivos desvios-padrão.  
 Nota: Foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os 3 grupos para esta variável ( $p=0,001$ ).

A média da diferença percentual da variável  $T_T$  mostrou-se homogênea entre os grupos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e C no nível de significância adotado ( $p=0,063$ ).

A tabela C<sub>1</sub> contendo os dados completos referentes à figura 22 e 23 encontram-se no Apêndice C.

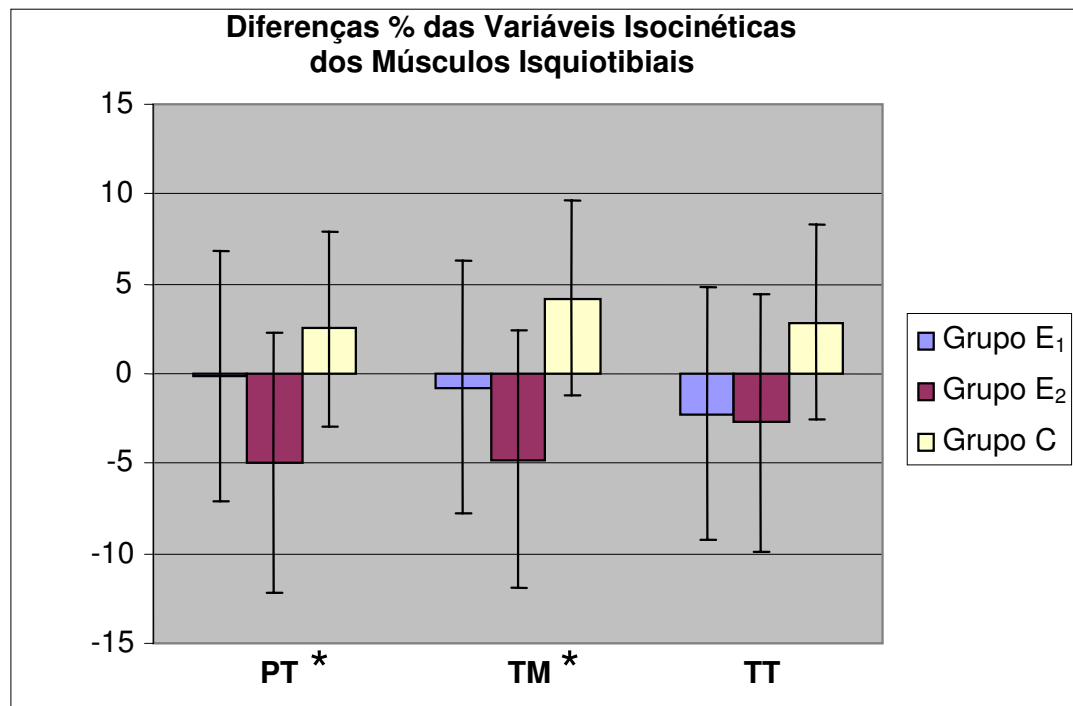


Figura 23 – Valores médios das diferenças percentuais das variáveis pico de torque ( $P_T$ ), trabalho máximo ( $T_M$ ) e trabalho total ( $T_T$ ) para os isquiotibiais dos grupos  $E_1$ ,  $E_2$  e C com seus respectivos desvios-padrão.

Nota: (\*) indica que foi encontrada diferença estatisticamente significativa na comparação entre os 3 grupos para a variável.

#### 4.3 GRUPO MUSCULAR QUADRÍCEPS

Neste item estão descritos os dados referentes aos músculos do quadríceps (extensores de joelho).

##### 4.3.1 Resultados Intragrupos

Na Tabela 3 são apresentados os valores absolutos médios e seus respectivos desvios-padrão encontrados nas avaliações isocinéticas inicial e final do quadríceps, para cada uma das variáveis investigadas.

O teste ANOVA revelou que houve homogeneidade entre os três grupos em todas as variáveis na condição pré-alongamento, comprovando a validade do processo de randomização dos grupos.

Apenas o grupo E<sub>2</sub> apresentou variação significativa (déficit) nas variáveis isocinéticas no pós-alongamento, permanecendo os grupos E<sub>1</sub> e C sem variações relevantes no nível de significância adotado ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 3: Valores obtidos nas avaliações pré e pós-alongamento das variáveis consideradas para o grupo muscular do quadríceps

Variável		Grupo E <sub>1</sub>	Grupo E <sub>2</sub>	Controle
Pico de Torque (N.m)	Pré	191,5 ± 41,7	204,0 ± 28,1	208,9 ± 25,2
	Pós	197,0 ± 29,0	197,5 ± 29,0	207,2 ± 33,1
	Valor de $p^*$	0,140	<b>0,014</b>	0,723
Trabalho Máximo (J)	Pré	225,5 ± 51,6	241,8 ± 42,2	243,3 ± 31,2
	Pós	232,9 ± 58,2	233,8 ± 41,2	245,2 ± 34,2
	Valor de $p^*$	0,082	<b>0,010</b>	0,540
Trabalho Total (J)	Pré	652,5 ± 153,3	698,2 ± 125,0	700,3 ± 95,9
	Pós	667,9 ± 183,2	678,6 ± 127,7	711,1 ± 121,9
	Valor de $p^*$	0,234	<b>0,026</b>	0,464

Nota: (\*) Valor de  $p$  correspondente ao teste comparativo entre os valores das avaliações pré e pós-alongamento. Os valores destacados em negrito indicam significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.3.2 Resultados Intergrupos

A figura 24 mostra o comportamento da diferença percentual média do  $P_T$ ,  $T_M$  e  $T_T$  para cada grupo e seu respectivo desvio-padrão. A análise de covariância indicou que não houve homogeneidade dos grupos em relação às variáveis  $P_T$  ( $p=0,044$ ) e  $T_M$  ( $p=0,013$ ).

As comparações dos grupos dois a dois revelaram que para a variável  $P_T$  houve diferença significativa na comparação entre os grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> ( $p=0,021$ ), ao contrário das comparações entre E<sub>1</sub> e C ( $p=0,139$ ) e entre E<sub>2</sub> e C ( $p=0,367$ ).

Para a variável  $T_M$ , as comparações dos grupos dois a dois revelaram que houve diferença significativa entre os grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> ( $p=0,004$ ), mas não entre E<sub>1</sub> e C ( $p=0,289$ ) e entre E<sub>2</sub> e C ( $p=0,056$ ).

Nenhuma diferença significativa entre as médias percentuais dos grupos foi verificada para a variável  $T_T$  ( $p=0,087$ ).

A Tabela contendo os dados numéricos referentes à figura 24 encontra-se no Apêndice C<sub>2</sub>.

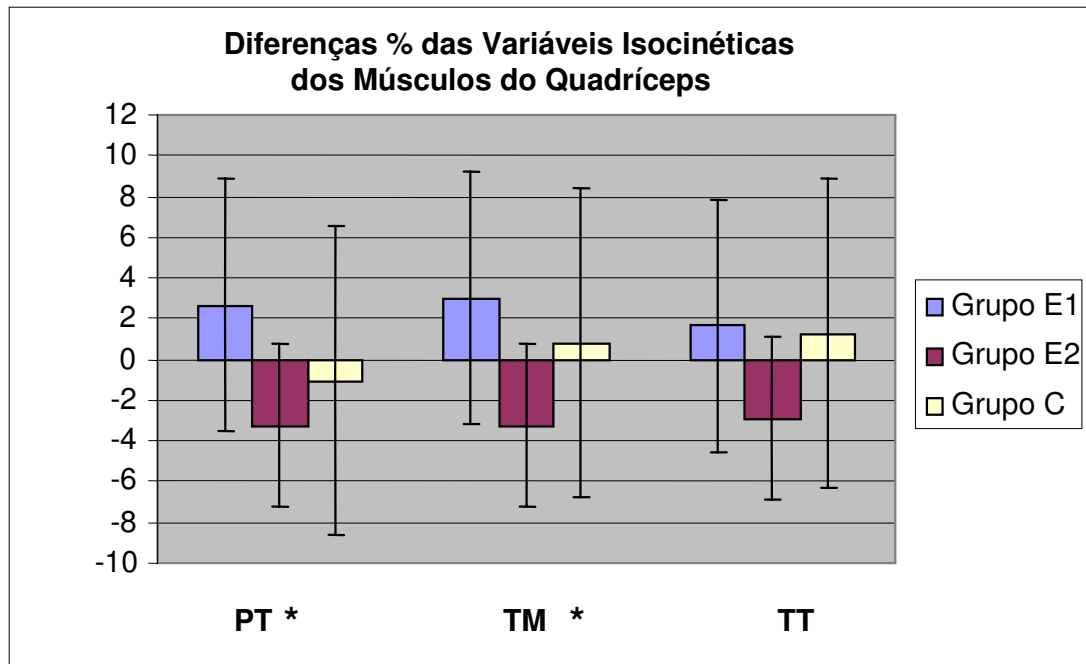


Figura 24 – Valores médios das diferenças percentuais das variáveis pico de torque ( $P_T$ ), trabalho máximo ( $T_M$ ) e trabalho total ( $T_T$ ) para o quadríceps dos grupos  $E_1$ ,  $E_2$  e C com seus respectivos desvios-padrão.

Nota: (\*) indica que foi encontrada diferença estatisticamente significativa na comparação entre os 3 grupos para a variável.



## 5 DISCUSSÃO

Neste capítulo são discutidos primeiramente os dados antropométricos dos grupos e posteriormente os dados relativos à ADM e às variáveis isocinéticas pesquisadas. Assim como na apresentação dos resultados, esta discussão está estruturada de acordo com os grupos musculares, de maneira que são discutidos os resultados dos isquiotibiais e em seguida os do quadríceps.

### 5.1 DADOS ANTROPOMÉTRICOS

O tratamento estatístico empregado para a análise dos dados antropométricos demonstrou que não houve diferenças significativas entre os grupos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e controle. Assim comprova-se que o processo de randomização dos sujeitos foi capaz de produzir grupos homogêneos em relação às características antropométricas, conforme esperado. Este resultado é relevante tendo em vista que eventuais diferenças de natureza antropométrica entre os grupos poderiam comprometer a confiabilidade dos resultados da presente pesquisa.

Em relação às características antropométricas, o perfil da população pesquisada (*vide* Tabela 1) no presente trabalho apresentou similaridades com a população de trabalhos homólogos na literatura. Por exemplo, no trabalho de Papadopoulos *et al.* (2005), os autores avaliaram 32 sujeitos do sexo masculino com idade média de 20,7±1,0 anos, altura média de 178,6±7,8 cm e peso médio de 76,1±9,9 kg. Também no trabalho de Zakas *et al.*, (2006) os 14 sujeitos avaliados apresentam como perfil antropométrico uma altura média de 177,6±4,3 cm, peso médio de 70,8±3,5 kg e idade média de 18,5±0,6 anos.

Dessa forma, havendo relativa similaridade entre os perfis populacionais do presente trabalho com os de trabalhos homólogos, as comparações entre os resultados dos diferentes estudos tornam-se possíveis desde que se leve em conta as diferenças metodológicas existentes entre eles.

## 5.2 GRUPO MUSCULAR DOS ISQUIOTIBIAIS

A seguir são discutidos os resultados das variáveis ADM e isocinéticas para o grupo muscular flexor de joelho (isquiotibiais).

### 5.2.1 Variável Amplitude de Movimento de Flexão do Quadril

A respeito dos resultados intragrupos concernentes à ADM pode-se salientar que da mesma forma que em outros estudos da literatura (KOKKONEN *et al.*, 1998; DECOSTER *et al.*, 2004; POWER *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2006), observou-se aqui um aumento agudo significativo na amplitude de movimento articular nos grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> que realizaram os protocolos de alongamento, ao contrário do grupo C, conforme previa a hipótese H<sub>1</sub>. Tais resultados confirmam a eficácia de ambos os protocolos em produzir individualmente alterações significativas na ADM. Este resultado pode ser decorrente das alterações visco-elásticas e proprioceptivas que os efeitos agudos do alongamento geram na unidade músculo-tendínea (KOKKONEN *et al.*, 1998; DECOSTER *et al.*, 2004; POWER *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS *et al.*, 2006).

Entretanto, chama a atenção o fato de que embora tenha havido uma diferença significativa na comparação dos grupos de estudo (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) com o grupo controle (C), esta diferença não se revelou significativa entre os grupos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>. Tal resultado refuta a hipótese H<sub>2</sub> que admitia que a diferença entre os volumes dos protocolos pudesse ocasionar diferenças no aumento da ADM.

A hipótese H<sub>2</sub> foi formulada tendo em vista que alguns autores sugerem que quanto maior o tempo de permanência do sujeito na postura de alongamento maior seriam os aumentos agudos na ADM (KOKKONEN *et al.*, 1998, BEHM *et al.*, 2004). Tais autores acreditam que isto ocorreria em função do relaxamento reflexo que o exercício de alongamento estático provoca no grupo muscular e no tendão alongados como resposta à estimulação dos mecanorreceptores tais como os fusos musculares e os órgãos tendíneos de Golgi (DANTAS, 2005; ACHOUR, 2006).

No entanto, segundo os mesmos autores (DANTAS, 2005; ACHOUR, 2006) apenas protocolos com diferenças bastante acentuadas em termos de volume

seriam capazes de provocar diferenças significativas na UMT a ponto de repercutirem na ADM articular. Os autores embasam essa afirmação reiterando que em suas pesquisas protocolos de alongamento estático para os músculos isquiotibiais com duração acima de 10 minutos induziram um aumento significativamente maior na ADM de flexão do quadril quando comparados à protocolos com duração inferior a 2 minutos.

Portanto, infere-se que a diferença de 180 segundos entre os volumes de ambos os protocolos comparados no presente estudo tenha sido insuficiente para deflagrar diferentes efeitos na magnitude da ADM. Isso concorda com os resultados do trabalho de Zakas *et al.* (2006) no qual os autores também não verificaram diferenças significativas entre as mudanças nas ADM's provocadas por protocolos estáticos com volumes de 30, 300 e 480 segundos, embora individualmente todos os protocolos tenham sido eficientes em aumentar de forma significativa a ADM assim como apontam os resultados da presente pesquisa.

### **5.2.2 Variáveis Isocinéticas**

Objetivando uma melhor sistematização na discussão das variáveis isocinéticas, serão discutidos separadamente os resultados das comparações entre as avaliações inicial e final dentro de cada grupo (intragrupos) e, posteriormente, os resultados oriundos das comparações entre os três grupos (intergrupos).

#### **5.2.2.1 Resultados Intragrupos**

A análise dos resultados intragrupos das variáveis isocinéticas (*vide* Tabela 2) evidencia que o protocolo de 180 segundos não provocou alteração significativa nas variáveis  $P_T$ ,  $T_M$  do grupo  $E_1$ . Em contrapartida, os resultados intragrupos das variáveis isocinéticas do grupo  $E_2$  evidenciam que o protocolo de 360 segundos provocou déficit significativo nestas variáveis isocinéticas máximas. A variável  $T_T$  não apresentou diferença em nenhum dos casos.

Tais resultados concordam com os do estudo de Zakas *et al.* (2006), no qual os autores comparam as diferenças das médias do  $P_T$  isocinético nas condições pré e pós-alongamento entre sujeitos que realizaram protocolos com uma repetição

com duração de 30 segundos (volume de 30s), dez repetições com duração de 30 segundos cada (volume de 300s) e com dezesseis repetições de 30 segundos cada uma (volume de 480s), no referido estudo os autores reportam que a magnitude das diferenças encontradas no grupo que realizou o protocolo de 30 segundos não foi sequer significativa entre as condições pré e pós-alongamento, diferentemente dos resultados obtidos para os grupos de 300 e 480 segundos cujo  $P_T$  sofreu decréscimo significativo pós-alongamento.

Estes resultados não permitem aceitar a hipótese  $H_3$  que previa que ambos os protocolos fossem capazes de provocar déficits em todas as variáveis isocinéticas.

Especificamente a hipótese  $H_3$  não previa um comportamento diferenciado entre as variáveis máximas ( $P_T$  e  $T_M$ ) e o trabalho total ( $T_T$ ) pelo fato das três contrações musculares terem sido executadas pelos sujeitos de forma seqüencial, ou seja, sem que nenhum intervalo fosse permitido entre elas. No entanto, os resultados do  $T_T$  não sofreram alterações significativas pós-alongamento contrariando a suposição de que todas as variáveis isocinéticas seriam de alguma forma influenciadas pelos protocolos de alongamento.

Uma linha de argumentação para o comportamento do grupo  $E_1$  em relação às variáveis  $P_T$  e  $T_M$  pode ter relação com o nível de rigidez da UMT, ou seja, infere-se que o protocolo de 180 segundos possa não ter alterado substancialmente o nível de rigidez na unidade músculo-tendínea a ponto de comprometer o desempenho dos componentes contratéis musculares e a capacidade do próprio tendão de transferir força para a alavanca óssea, como parece ocorrer com volumes maiores de alongamento (KOKKONEN *et al.*, 1998; BEHM *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; PAPADOPOULOS *et al.*, 2005; BEHM *et al.*, 2006; BRANDENBURG, 2006; ZAKAS *et al.*, 2006).

Seguindo a mesma linha de argumentação dos resultados obtidos para o grupo  $E_1$  em relação às variáveis  $P_T$  e  $T_M$ , o comportamento apresentado pelo grupo  $E_2$  pode ser elucidado na medida em que, ao contrário do protocolo de 180 segundos, o volume de 360 segundos tenha sido capaz de deflagrar uma redução significativa no nível de rigidez da UMT, isso considerando-se que, segundo alguns autores, biomecanicamente quanto mais rígida e “compacta” estiver a UMT melhor será sua capacidade de tracionar a alavanca óssea durante a geração de torque e trabalho muscular (KOKKONEN *et al.*, 1998; BEHM *et al.*, 2004; MAREK *et al.*,

2005; PAPADOPOULOS *et al.*, 2005; BEHM *et al.*, 2006; BRANDENBURG, 2006; ZAKAS *et al.*, 2006).

Ainda segundo os mesmos autores, de uma forma mais específica, os elementos contráteis musculares de uma unidade músculo-tendínea mais rígida encontram-se em uma posição mais favorável na curva comprimento-tensão ideal para a geração de força em comparação com a disposição dos elementos contráteis (actina e miosina) de uma unidade músculo-tendínea que esteja sob a influência dos efeitos agudos do alongamento (KOKKONEN *et al.*, 1998; BEHM *et al.*, 2004; MAREK *et al.*, 2005; PAPADOPOULOS *et al.*, 2005; BEHM *et al.*, 2006; BRANDENBURG, 2006; ZAKAS *et al.*, 2006).

Outra explicação possível para os resultados dos grupos  $E_1$  e  $E_2$  em relação às variáveis máximas pode estar relacionada ao fato do tempo de 180 segundos não ter sido suficiente para desencadear o processo de inibição autogênica considerado como um dos mecanismos responsáveis pelo déficit de força induzido pelo alongamento (KOKKONEN *et al.*, 1998; MAREK *et al.*, 2005; ZAKAS, 2005; ZAKAS *et al.*, 2006), ao contrário do protocolo de 360 segundos. Sendo assim, o maior tempo de permanência dos sujeitos do grupo  $E_2$  nas posturas de alongamento teria sido, este sim, suficiente para desencadear o reflexo de inibição autogênica com magnitude suficiente a ponto de comprometer a capacidade muscular ótima de geração de força e trabalho máximos (BEHM *et al.*, 2004; KOTZAMANIDIS, 2004; BEHM *et al.*, 2006; BRANDENBURG, 2006).

A respeito do fenômeno da inibição autogênica, este foi bastante esmiuçado em trabalhos homólogos, alguns dos quais realizaram avaliações eletromiográficas de superfície e constataram que tal fenômeno é responsável por uma redução significativa no número de unidades motoras recrutadas no grupo muscular sob sua influência, limitando consideravelmente a produção de força por tais grupos musculares (KOTZAMANIDIS, 2004; MAREK *et al.*, 2005; BRANDENBURG, 2006).

Nesse sentido, Kokkonen *et al.* (1998) reiteram que a ativação do reflexo de inibição autogênico é limitada pela duração do protocolo de alongamento. Levando-se em consideração o elevado limiar de excitabilidade do OTG (comparado ao do fuso muscular) em relação ao alongamento estático citado por Enoka (1999). Dessa forma infere-se que o protocolo  $E_2$  tenha desencadeado uma resposta mais contundente do OTG em comparação com o protocolo  $E_1$ , fato que

refletiu nos déficits acentuados das variáveis isocinéticas máximas ( $P_T$  e  $T_M$ ) do grupo  $E_2$ .

A análise intragrupos da variável  $T_T$  não apresentou variação entre as condições pré e pós-alongamento nos grupos  $E_1$  e  $E_2$ . Uma justificativa possível para este comportamento seria o fato de ter ocorrido uma dissipação dos efeitos do alongamento no decorrer da execução das três repetições. Portanto, infere-se que tenha havido um recrutamento progressivo de unidades motoras no transcorrer da realização das três repetições concêntricas máximas pós-alongamento atendendo à demanda imposta no transcorrer da execução do exercício, minimizando a influência da inibição autogênica na capacidade muscular de produção de trabalho (ENOKA, 1999; BEHM *et al.*, 2004; BEHM *et al.*, 2006).

A análise estatística intragrupo das variáveis isocinéticas do grupo controle revelou aumentos significativos das variáveis  $T_M$  e  $T_T$  e ausência de alteração significativa no  $P_T$ . Tal comportamento pode ser justificado em razão de um provável efeito de treinamento e aprendizagem motora proporcionados pela avaliação isocinética inicial que possa ter influenciado positivamente tanto o desempenho do  $T_M$  quanto do  $T_T$  durante a avaliação isocinética final (BEHM *et al.*, 2004; BEHM *et al.*, 2006). O comportamento do pico de torque demonstra, no entanto, que a capacidade máxima de geração de força manteve-se inalterada para este grupo.

#### 5.2.2.2 Resultados Intergrupos

A análise estatística dos resultados intergrupos das diferenças percentuais nas variáveis isocinéticas (que encontra-se na figura 23) evidencia que os diferentes volumes de alongamento comparados na presente pesquisa não apresentaram diferenças significativas entre si ( $E_1 \times E_2$ ). Esse resultado não permite assumir como verdadeira a hipótese  $H_4$  que pressupunha que as diferenças encontradas nas avaliações pré e pós-alongamento entre  $E_1$  e  $E_2$  seriam significativas e mais acentuadas no grupo  $E_2$  do que no grupo  $E_1$  em razão dos diferentes regimes de alongamento realizados pelos sujeitos de cada grupo.

Dessa forma torna-se relevante salientar que embora a premissa expressa pela hipótese  $H_4$  não tenha se confirmado, os resultados intergrupos da variável  $P_T$  obtidos entre os grupos  $E_1 \times E_2$  ( $p=0,088$ ) e os resultados da variável  $T_M$  entre os

grupos  $E_1 \times C$  ( $p=0,068$ ) podem não ter se mostrado significativos em função das características da variável escolhida para análise estatística e seu desvio-padrão (limitação do tamanho da amostra).

Em relação ao  $T_T$ , chama a atenção o fato de que as diferenças percentuais entre as condições pré e pós-alongamento mostraram-se homogêneas nos três grupos de estudo ( $E_1$ ,  $E_2$  e  $C$ ). Seguindo a mesma linha de argumentação da análise dos resultados intragrupos para esta variável, pode-se dizer que os efeitos provocados pelos estímulos neuro-mecânicos do alongamento na unidade músculo-tendínea foram minimizados ao longo do *continuum* das três contrações isocinéticas máximas (ENOKA, 1999; BEHM *et al.*, 2004; BEHM *et al.*, 2006).

### 5.3 GRUPO MUSCULAR DO QUADRÍCEPS

A seguir são discutidos os resultados das variáveis isocinéticas para o grupo muscular extensor de joelho (quadríceps).

Em relação aos dados encontrados para o grupo muscular do quadríceps cabe ressaltar que há uma relativa escassez de estudos na literatura que fazem referência aos efeitos que o alongamento de um grupo agonista pode exercer no desempenho isocinético de seus antagonistas (SHRIER, 2004).

#### 5.3.1 Resultados Intragrupos

Quando foram comparadas as condições pré e pós-alongamento, na análise dos resultados intragrupos (*vide* Tabela 3), observou-se que o protocolo de 180 segundos não provocou nenhuma alteração significativa nas variáveis isocinéticas enquanto que o protocolo de 360s provocou déficits em todas elas ( $P_T$ ,  $T_M$  e  $T_T$ ). Estes resultados não permitem assumir como verdadeira a hipótese  $H_5$  que previa um aumento significativo em todas as variáveis isocinéticas do quadríceps dos sujeitos de ambos os protocolos.

A hipótese  $H_5$  foi formulada com base nas afirmações de Enoka (1999), Hamill, Knutzen (1999) e Hall (2005) de que músculos isquiotibiais mais encurtados podem limitar biomecanicamente a extensão completa do joelho com o sujeito na posição sentada fazendo com que o  $P_T$  seja atingido em uma angulação da amplitude de movimento menos favorável da curva comprimento-tensão. Portanto,

seria presumível que o aumento transitório no comprimento muscular dos isquiotibiais pudesse facilitar o trabalho quadricipital e conseqüentemente melhorar seu desempenho em todas as variáveis isocinéticas pesquisadas (ENOKA, 1999; HAMILL; KNUTZEN, 1999; HALL, 2005).

A exemplo dos resultados obtidos para os isquiotibiais, há duas justificativas possíveis para a inobservância da premissa expressa pela hipótese  $H_5$ . A primeira de ordem mecânica e a segunda de ordem neuro-motora e ambas relacionadas aos volumes dos protocolos pesquisados.

Em relação à justificativa mecânica, pode-se inferir que as alterações no comprimento dos isquiotibiais do grupo  $E_1$  não tenham sido suficientes para provocar aumentos significativos na ADM de extensão de joelho dos sujeitos a ponto de otimizar significativamente o desempenho destes na avaliação isocinética pós-alongamento. No que concerne ao grupo  $E_2$ , embora seja provável que o protocolo de 360 segundos pudesse provocar uma melhora no desempenho quadricipital em decorrência do aumento na ADM de extensão do joelho dos sujeitos, é possível que a influência dos fatores neuro-motores, doravante discutida, tenha sobrepujado tais efeitos uma vez que os sujeitos do grupo  $E_2$  tiveram sua *performance* pós-alongamento significativamente comprometida em relação às variáveis isocinéticas máximas.

A outra justificativa para a ausência de alterações no grupo  $E_1$  e, ao mesmo tempo, para os déficits significativos do grupo  $E_2$  pós-alongamento pode estar atrelada ao fenômeno da inibição recíproca entre os grupos musculares do quadríceps e dos isquiotibiais. Nesse sentido, Brandenburg (2006) salienta que em resposta à ativação dos fusos musculares do grupo muscular alongado (isquiotibiais), na tentativa de resistir à tensão do alongamento, ocorra uma redução reflexa na ativação neural do grupo antagonista (neste caso o quadríceps). O autor reitera ainda que este processo seja desencadeado em função do reflexo miotático (reflexo provocado pelo alongamento) segundo o qual um aumento na salva de impulsos neurais aos músculos que estão sendo alongados ocorreria concomitantemente a uma diminuição na salva de impulsos dirigida aos músculos antagonistas relaxando-os reflexamente.

Nesse contexto, mesmo que para o grupo  $E_2$  o aumento significativo no comprimento dos isquiotibiais pudesse proporcionar uma melhora no desempenho isocinético de quadríceps, a interferência do fenômeno da inibição recíproca pode



ter sido determinante para que houvesse um déficit significativo de todas as variáveis. Nesse sentido, é também possível inferir que o protocolo de 180 segundos não tenha sido capaz de desencadear de forma contundente a inibição recíproca, justificando, portanto, os resultados do grupo E<sub>1</sub>.

Os resultados do quadríceps do grupo C mantiveram-se inalterados nas comparações entre as duas avaliações isocinéticas, diferentemente dos resultados dos isquiotibiais, muito provavelmente em razão das peculiaridades biomecânicas e fisiológicas da musculatura quadricipital em relação aos seus antagonistas. Nessa perspectiva, de acordo com Hamill e Knutzen (1999), o limiar de treinabilidade e responsividade do quadríceps ao treinamento de força (proporcionado neste estudo pela avaliação isocinética inicial) é consideravelmente mais difícil de ser atingido do que os dos isquiotibiais. Isso deve ao fato da musculatura quadricipital ser mecanicamente até três vezes mais forte que os seus antagonistas pelo fato do quadríceps contrair-se continuamente contra a gravidade (HAMILL; KNUTZEN, 1999). Segundo Wilmore e Costill (2001), quanto mais forte biomecanicamente é um grupo muscular e quanto maior for a área de secção transversa de suas fibras, maior deve ser a intensidade e o volume do estímulo para que ocorra uma melhora significativa de desempenho tanto do ponto de vista neural (efeitos agudos) quanto em relação ao aumento da massa muscular, a chamada hipertrofia (efeitos crônicos).

Nesse sentido, é possível inferir que a avaliação isocinética inicial não proporcionou um estímulo capaz de otimizar o desempenho da musculatura quadricipital dos sujeitos do grupo C na avaliação isocinética final.

### **5.3.2 Resultados Intergrupos**

A hipótese H<sub>6</sub> previa a ocorrência de diferenças no aumento nas variáveis isocinéticas do quadríceps de acordo com os diferentes volumes de alongamento, ou seja, de forma mais contundente nos sujeitos do protocolo de 360 segundos em comparação com os do protocolo de 180 segundos. Da forma como está formulada, essa hipótese é negada pelos resultados desta pesquisa, pois não se observou aumento nos grupos de estudo.

Porém, as comparações das diferenças percentuais nas variáveis isocinéticas (*vide* figura 24) mostram diferenças de comportamento entre os grupos  $E_1$  e  $E_2$  exceto para a variável  $T_T$  as quais são discutidas aqui.

A exemplo dos isquiotibiais, a homogeneidade dos grupos em relação às diferenças percentuais na variável  $T_T$  permite inferir que os dois protocolos de alongamento estático tiveram seus efeitos paulatinamente dissipados e/ou compensados mediante a execução contínua das três contrações concêntricas máximas da avaliação isocinética final, muito provavelmente em decorrência do recrutamento progressivo de unidades motoras atuando na execução do movimento tanto de flexão quanto de extensão do joelho (KOKKONEN *et al.*, 1998; FOWLES *et al.*, 2000; BEHM *et al.*, 2004; POWER *et al.*, 2004). Assim como para os isquiotibiais, as comparações estatísticas entre os grupos dois a dois para a variável  $T_T$  não foram realizadas tendo em vista que a magnitude das diferenças percentuais entre os grupos de estudo nas condições pré e pós-alongamento não se revelou estatisticamente significativa, assim como os desvios-padrão para esta variável nos grupos  $E_1$  e  $E_2$ .

No entanto, o comportamento das diferenças percentuais nas variáveis  $P_T$  e  $T_M$  revelou-se bastante diferente entre os grupos  $E_1$  e  $E_2$  sendo positivas no primeiro caso e negativas no segundo e a análise estatística corrobora esta observação. Em outras palavras, diferentemente dos resultados dos isquiotibiais, para o quadríceps as diferenças detectadas entre  $E_1$  e  $E_2$  denotam explícita relação com os volumes de alongamento de um grupo e de outro de forma muito mais evidente do que no caso dos isquiotibiais.

Seguindo a linha de interpretação dos resultados intragrupos, tendo em vista que mecanicamente o alongamento dos isquiotibiais não repercutiu positivamente no desempenho quadrípital, o principal argumento recai sobre a influência dos fatores neurais. Nessa perspectiva, a magnitude do fenômeno da inibição recíproca foi determinante nas diferenças verificadas entre os grupos  $E_1$  e  $E_2$  em relação às variáveis máximas.

Desse modo é possível inferir que o protocolo de 180 segundos não tenha sido capaz de deflagrar a inibição recíproca quadrípital tal qual o protocolo de 360 segundos, fato que fica bastante evidente quando se observa que houve um discreto aumento do  $P_T$  e do  $T_M$  do grupo  $E_1$  em contraposição aos déficits acentuados que o grupo  $E_2$  apresentou para as mesmas variáveis, demonstrando

que em relação ao desempenho de força máxima do quadríceps, a diferença de 180 segundos entre os volumes dos dois protocolos comparados foi determinante para provocar estímulos inibitórios na UMT com intensidades suficientemente díspares a ponto de promover uma queda acentuada no desempenho dos sujeitos que realizaram alongamento por 6 minutos (grupo E<sub>2</sub>) em comparação com os que fizeram alongamento por 3 minutos (grupo E<sub>1</sub>).

### 5.3.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Nesse cenário, a partir da discussão apresentada, é possível identificar algumas modificações metodológicas que, na perspectiva de trabalhos futuros, auxiliariam substancialmente na elucidação de questões que foram suscitadas na presente pesquisa e que permanecem em aberto tais como:

- a) o emprego da eletromiografia (EMG) de superfície conjuntamente com as avaliações isocinéticas para que a resposta muscular frente aos estímulos mecânicos e fisiológicos gerados pelos protocolos de alongamento possam ser mais bem compreendidas e quantificadas, inclusive mediante a análise do reflexo de *Hoffman* que é um dos importantes indutores do processo de inibição autogênica capazes de comprometer os mecanismos de produção de força pela alavanca ósteo-mio-tendínea (KOKKONEN *et al.*, 1998);
- b) sobre os protocolos de avaliação isocinética, sugere-se que futuros pesquisadores esbocem preocupação em considerar os ângulos de pico de torque como uma variável que poderá proporcionar informações consistentes a respeito da influência dos exercícios de alongamento na capacidade ótima da alavanca mio-tendínea de geração de torque e trabalho muscular em relação à curva comprimento-tensão (MAREK *et al.*, 2005);
- c) a respeito da duração dos efeitos agudos do alongamento seria pertinente que futuros pesquisadores possam confirmar ou refutar o mecanismo de dissipação de tais efeitos em relação à variável T<sub>T</sub> inferidos no presente estudo, mediante a obtenção dos valores relativos ao trabalho muscular produzido pelos sujeitos a cada repetição isoladamente, e não apenas a somatória dos trabalhos das três repetições;

d) a mensuração da ADM de extensão de joelho nas condições pré e pós-alongamento dos isquiotibiais seria um parâmetro relevante a ser considerado em trabalhos futuros para confirmar se o protocolo E<sub>2</sub> foi de fato capaz de aumentá-la em contraposição ao protocolo E<sub>1</sub>. Este dado pode indicar se foram os efeitos da inibição recíproca que impediram a melhora esperada do desempenho quadricipital de ambos os grupos pós-alongamento;

e) a inclusão do componente excêntrico nas avaliações isocinéticas pré e pós-alongamento também seria oportuna em trabalhos vindouros, uma vez que é sabido que o controle muscular excêntrico exerce papel fundamental na prevenção de eventuais lesões musculoesqueléticas (GREGO NETO; PREIS, 2005), prerrogativa esta muito empregada para justificar a realização dos exercícios de alongamento durante o aquecimento e o preparo músculo-articular (KOKKONEN, 1998; POWER, 2004; THACKER *et al.*, 2004).

## 6 CONCLUSÃO

Este capítulo está estruturado de acordo com os objetivos estabelecidos na Introdução do presente trabalho, sendo primeiramente abordados os objetivos específicos, o objetivo geral e as conclusões gerais.

### 6.1 PRIMEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO NA AMPLITUDE DE MOVIMENTO DE FLEXÃO DE QUADRIL ANTES E APÓS A APLICAÇÃO DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO

Ambos os protocolos de alongamento foram eficientes em produzir aumentos significativos na ADM articular quando comparadas as condições inicial e final de cada grupo. Adicionalmente, os dois protocolos de alongamento mostraram ganhos indistinguíveis. Conclui-se, portanto, que a diferença de 180 segundos entre os volumes dos protocolos comparados no presente estudo tenha sido insuficiente para deflagrar diferentes efeitos na UMT.

### 6.2 SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO APLICADO AOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DOS PRÓPRIOS ISQUIOTIBIAIS (FLEXORES DE JOELHO)

Os resultados da análise intragrupos das variáveis isocinéticas evidenciam que o protocolo de 180 segundos não foi capaz de provocar alterações significativas pós-alongamento nas variáveis  $P_T$ ,  $T_M$ . Em contrapartida, os resultados da análise intragrupos das variáveis isocinéticas do grupo  $E_2$  evidenciam que o protocolo de 360 segundos provocou déficit significativo nestas variáveis isocinéticas máximas. A variável  $T_T$  não apresentou diferença em nenhum dos casos.

Assim é possível concluir que apenas a capacidade máxima de produção de força foi comprometida e somente pelo protocolo de 360 segundos. No entanto, quando se considerou a produção de força ao longo de algumas repetições (variável  $T_T$ ), não foi possível distinguir o efeito dos dois protocolos mesmo um tendo o dobro de volume em relação ao outro.

### 6.3 TERCEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO: VERIFICAR A INFLUÊNCIA DE CADA PROTOCOLO DE ALONGAMENTO APLICADO AOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DO QUADRÍCEPS (EXTENSORES DE JOELHO)

Os resultados da análise intragrupo das variáveis isocinéticas evidenciam que o protocolo de 180 segundos não provocou nenhuma alteração significativa nas mesmas, enquanto o protocolo de 360s provocou déficits em todas elas ( $P_T$ ,  $T_M$  e  $T_T$ ).

Na perspectiva dos resultados comparativos entre os grupos foi bastante clara a influência dos diferentes volumes de ambos os protocolos de alongamento não apenas em relação ao grupo controle, mas também nas diferenças percentuais encontradas entre  $E_1$  e  $E_2$  para as variáveis máximas ( $P_T$  e  $T_M$ ). No entanto, o  $T_T$  quadricipital a exemplo do ocorrido nos isquiotibiais, permaneceu inalterado nas comparações intergrupos entre as condições pré e pós-alongamento, demonstrando que em protocolos relativamente curtos, como os comparados no presente trabalho, ocorre um provável processo de dissipação dos efeitos agudos do alongamento quando sucedidos de contrações concêntricas de alta intensidade.

### 6.4 CONCLUSÃO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o efeito agudo de 2 protocolos de alongamento estático com diferentes volumes (180 e 360 segundos) nos músculos flexores e extensores de joelho

Com base nos resultados obtidos na presente pesquisa é possível concluir que, considerando as análises intragrupos, apenas o protocolo de 360 segundos ocasionou déficits pós-alongamento em praticamente todas as variáveis isocinéticas pesquisadas tanto no grupo flexor quanto no extensor de joelho. Isso demonstra que, sob certas condições, o alongamento dos isquiotibiais pode influenciar deletariamente o desempenho de seus antagonistas. Em contrapartida, o protocolo de 180 segundos não comprometeu o desempenho dos sujeitos em nenhuma variável pesquisada.

As análises comparativas dos déficits percentuais produzidos pelos protocolos indicam que para o grupo flexor, no qual a técnica de alongamento foi aplicada, os efeitos agudos dos protocolos de 180 e de 360 segundos não mostraram

diferenças relevantes. Ao contrário, para o grupo extensor, os déficits percentuais provocados pelo protocolo de 360 segundos foram significativamente maiores que aqueles provocados pelo protocolo mais curto.

Observa-se, portanto que os efeitos do alongamento na força foram sensíveis a esta diferença de 180s na duração dos protocolos de alongamento. Porém, é importante lembrar que a amplitude de movimento respondeu de forma semelhante nos dois casos. Assim, pode-se inferir que os mecanismos fisiológicos responsáveis pelo aumento na ADM podem não os mesmos responsáveis pela queda na força.

As informações e conclusões mostradas neste trabalho podem trazer contribuições para o planejamento de rotinas de alongamento em treinamento desportivo e reabilitação. Porém é necessário levar em conta vários fatores tais como a natureza da atividade a ser executada. Por exemplo, se o que é exigido do atleta é força máxima, então este estudo mostra que alongamentos longos podem ser prejudiciais ao desempenho, uma vez que se observou aqui que as variáveis máximas são prejudicadas. Por outro lado, se a valência física exigida é a resistência, esses protocolos não necessariamente são prejudiciais já que o trabalho total não se mostrou influenciado pelo alongamento.

De qualquer forma este estudo demonstra que torna-se imperativo que cada vez mais informações consistentes e cientificamente consubstanciadas estejam disponíveis a respeito da relação custo-benefício que permeia a inclusão de exercícios de alongamento como forma de aquecimento. A prerrogativa da prevenção de lesões deve ser considerada ao lado das repercussões de tais exercícios no desempenho de atletas de alto rendimento no contexto da Educação Física ou mesmo nos protocolos de reabilitação no contexto da Fisioterapia.

## REFERÊNCIAS

ACHOUR, A. J. **Exercícios de alongamento: anatomia e fisiologia**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2006.

ACSM. **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

ALTER, M. J. **Ciência da Flexibilidade**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1999.

BEHM, D. G.; BAMBURY, A.; CAHILL, F.; POWER, K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time and movement time. **Medicine & Science In Sports & Exercise**. v. 77, n. 5, p.1397-1402, 2004.

BEHM, D. G.; BRADBURY, E. E., HAYNES, A. T. HODDER, J. N., LEONARD, A. M., PADDOCK, N.R. Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power. **Journal of Sports and Science Medicine**. v. 38, n.5, p.33-42, 2006.

BRANDENBURG, J.P. Duration of stretch does not influence the degree of force loss following static stretching. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. v. 46, n.4, p. 526-534, 2006.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística. Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CORNWELL, A.; NELSON, A.G.; HEISE, G.D.; SIDAWAY, B. Acute effects of passive muscle stretching on vertical jump performance. **Journal of Human Movement Studies**. v.40, n.4, p.307-324, 2001.

CROSS, M.K.; WORRELL, T.W. Effects of a Static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. **Journal of Athletic Training**. v. 34, n. 1, p.11-14, 1999.

CYBEX NORM. **Manual de Uso – Sistema de Teste e Reabilitação** - Instrucon – Indústria e Comércio de Produtos Científicos, São Paulo, 1998.

DANTAS, E.H.M. **Alongamento e Flexionamento**. 5. ed. Rio de Janeiro: Shape, 2005.



DAVIS, S.; ASHBY, P. E.; McCALE, K. L.; McQUAIN, J. A.; WINE, J. M. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 19, n.1, p. 27-32, 2005.

DECOSTER, L.C.; SCANLON, R.L.; HORN, K.D; CLELAND, J. Sating and Supine hamstring stretching are equally effective. **Journal of Athletic Training**. v. 39, n. 4, p. 330-334, 2004.

DePINO, G.M.; WEBRIGHT, W.C.; ARNOLD, B.L. Duration of maintained hamstrings flexibility following cessation of an acute static stretching protocol. **Journal of Athletic Training**. v. 35, n. 5, p. 56-59, 2000.

DONATELLI, R. **Orthopedic physical therapy**. 3. ed. New York: Churchill Livingstone, 1994.

DVIR, Z. **Isocinética: avaliações musculares, interpretações e aplicações clínicas**. São Paulo: Manole, 2002.

EKMAN, L. E. **Neurociência: fundamentos para a reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

ENOKA, R. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1999.

FOWLES, J. R.; SALE, D. G.; MacDOUGALL, J. D. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. **Journal of Applied Physiology**. v. 89, n. 8, p. 1179-1188, 2000.

GHENA, D.R., KUTH, A.L., THOMAS, M. Torque characteristics of the quadriceps and hamstrings muscles during concentric and eccentric loading. **Journal of Orthopedic and Sports Physiotherapy**. v.14, n.3, p.149-154, 1991.

GREGO NETO, A.; PREIS, C. A valorização do treinamento muscular excêntrico na fisioterapia desportiva. **Fisioterapia em Movimento**. v. 18, n. 1, p.19-26, 2005.

GREGO NETO, A.; PREIS, C.; BITTENCOURT, E.; MANFFRA, E. F.; ISRAEL, V. L. Análise da Influência do treinamento isocinético da musculatura plantiflexora no mecanismo flexor de joelho. **Fisioterapia em Movimento**. v.19, n. 2, p. 25-35, 2006.

GROSS, J. **Exame musculoesquelético**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

GUIMARÃES NETO, W. **Musculação total: montagem de programas de treinamento**. Rio de Janeiro: Phorte Editora, 2002.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

HALAR, E.M.; BELL, K.R. **Alterações e efeitos fisiológicos e funcionais da inatividade nas funções corporais**. In: Tratado de Medicina de Reabilitação. São Paulo: Manole, 2002.

HALL, S.J. **Biomecânica básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. **Bases biomecânicas do movimento humano**. São Paulo: Manole, 1999.

HERZOG, W. Force enhancement following stretch of activated muscle: critical review and proposal for mechanisms. **Medical & Biological Engineering & Computing**. v.43, n. 5, p.173-180, 2005.

JÓZSA, L.; KANNUS, P. **Human tendons**. Champaign: Human Kinetics, 1997.

KOKKONEN, J.; NELSON, A.G; CORNWELL, A. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. **Research Quarterly for Exercise and Sport**. v. 69, n. 4, p. 411-415, 1998.

KOTZAMANIDIS, C. Are the antagonist muscles fatigued during a fatigue task of agonist muscles?. **Isokinetics and Exercise Science**. v.32, n.12, p.167-171, 2004.

LAUR, D.J.; ANDERSON, T.; GEDDES, G.; CRANDALL, A.; PINCIVERO, D.M. The effects of acute stretching on hamstring muscle fatigue and perceived exertion. **Journal of Sports Sciences**. v. 21, n. 1, p. 163-170, 2003.

MAREK, S. M.; CRAMER, J. T.; FINCHER, A. L; MASSEY, L. L.; DANGELMAIER, S. M.; PURKAYASTHA, S.; FITZ, K. A.; CULBERTSON, J. Y. Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on muscle Strength and Power Output. **Journal of Athletic Training**. v. 40, n. 2, p. 94-103, 2005.

MARINS, J. C.; GIANNICHI, R. S. **Avaliação e prescrição de atividade física: guia prático.** 2. ed. Rio de Janeiro: Shape, 1998.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho.** 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

McNAIR, P.; DEPLEDGE, J., BRETTKELLY, M., STALNLEY, S.N. Verbal encouragement: effects of maximum effort voluntary muscle activation. **British Journal of Sports Medicine.** v. 30, n. 6, p.243-245, 1996.

NELSON, R.T.; BANDY, W.D. Eccentric Training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. **Journal of Athletic Training.** v. 39, n. 3, p. 254-258, 2004.

PALASTANGA, N. **Anatomia e movimento humano.** 3. ed. São Paulo: Manole, 2000.

PAPADOPOULOS, G.; SIATRAS, T.; KELLIS, S. The effect of static and dynamic stretching exercises on the maximal isokinetic strength of the knee extensors and flexors. **Isokinetics and Exercise Science.** v.35, n.13, p.285-291, 2005.

PETERSON, L.; RENSTRÖN, P. **Sports injuries: their prevention and treatment.** New York: Human Kinetics, 1995.

POWER, K.; BEHM, D.; CAHILL, F.; CARROLL, M.; YOUNG, W. An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise.** v. 31, n. 4, p. 1351-1360, 2004.

PRENTICE, W. E.; VOIGHT, M. L. **Técnicas em reabilitação musculoesquelética.** Porto Alegre: Artmed, 2003.

PROSKE, U. Thixotropy in skeletal muscle and in muscle spindles: a review. **Progress in Neurobiology.** v. 41, p. 705 -721, 1993.

PUTZ, R; PABST, R. **Sobotta: atlas de anatomia humana.** 21. ed. vol. 2. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

REID, D.C. **Sports injury assessment and rehabilitation.** New York: Churchill Livingstone, 1992.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada.** São Paulo: Manole, 2003.

SHRIER, I. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. **Clinical Journal of Sport Medicine.** v.14, n.5, p.267 – 273, 2004.

SPERNOGA, S.G.; UHL, T.L.; ARNOLD, B.L.; GANSNEDER, B.M. Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol. **Journal of Athletic Training.** v. 36, n. 1, p. 44-48, 2001.

STARKEY, C.; RYAN, J. **Avaliação de lesões ortopédicas e esportivas.** São Paulo: Manole, 2001.

STELL, R.G.D. **Principles and procedures of statistics. A biometrical approach.** New York: McGraw-Hill Companies, Inc, 1997.

TAYLOR, D.C. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. **The American Journal of Sports Medicine.** v. 13, n. 3, p. 300-309, 1990.

THACKER, S.B.; GILCHRIST, J.; STROUP, D.F.; KIMSEY, D. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. **Medicine & Science in Sports & Exercise.** v. 36, n. 3, p. 371-378, 2004.

THEIN, M. L. Mobility impairment. In: **Therapeutic exercise, moving toward function.** Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999.

THRELKELD, A. J. The effects of manual therapy on connective tissue. **Physical Therapy.** v. 72, n. 12, p. 61-72, 1992.

WATKINS, J. **Estrutura e função do sistema esquelético.** Porto Alegre: Artmed, 1999.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. **Fisiologia do esporte e do exercício.** São Paulo: Manole, 2001.

ZAKAS, A. The effect of stretching duration on the lower-extremity flexibility of adolescent soccer players. **Journal of Bodywork and Movement Therapies.** v. 9, p. 220-225, 2005.

ZAKAS, A.; BALASKA, P.; GRAMMATIKOPOULOU, M. G.; ZAKAS, N.; VERGOU, A. Acute effects of stretching duration on the range of motion of elderly women. **Journal of Applied Physiology**. v. 9, p. 270-276, 2005.

ZAKAS, A.; DOGANIS, G.; PAPAKONSTANDINOY, V.; SENTELIDIS, T.; VAMVAKOUDIS, E. Acute effects of static stretching duration on isokinetic peak torque production of soccer players. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**. v. 10, p. 89-95, 2006.

ZULUAGA, Maria. **Sports physiotherapy: applied science and practice**. 3. ed. Melbourne: Churchill Livingstone, 2000.

## **APÊNDICES**

## **APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**



### **PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM SAÚDE**

#### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

EU \_\_\_\_\_, RG Nº \_\_\_\_\_, estou sendo convidado a participar de um estudo denominado: “EFEITO AGUDO DO ALONGAMENTO DOS ISQUIOTIBIAIS NO DESEMPENHO ISOCINÉTICO DOS MÚSCULOS FLEXORES E EXTENSORES DE JOELHO”, cujo objetivo é verificar de forma científica e fidedigna o nível de influência que diferentes protocolos de “exercícios de alongamento preparatória (técnica estática) exercem imediatamente sobre o desempenho da força muscular máxima. Estou ciente de que este estudo terá duração de Março até Outubro de 2006, e será realizado no Centro de Dinamometria Isocinética da Clínica de Fisioterapia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) no período da manhã (entre as 8:00 e 12:00 hs).

Sei que para o avanço da pesquisa a participação de voluntários é de fundamental importância. Caso aceite participar desta pesquisa eu estarei plenamente ciente de que qualquer dúvida que eu possa vir a ter durante a pesquisa será prontamente sanada e esclarecida pelo pesquisador responsável, e que minha integridade física, mental, moral e social serão irrefutavelmente preservadas. Estou igualmente ciente de que serei plenamente esclarecido da relevância prática deste estudo e quiçá de seus resultados oportunamente se assim eu o desejar.

Declaro estar ciente de que, embora o teste isocinético (realizado no dinamômetro isocinético sob a supervisão direta do pesquisador) exija um esforço muscular significativo, este será realizado em conformidade com todos os rigores de segurança imprescindíveis à realização do teste especificados no Manual de Uso da CYBEX NORM (Sistemas de Teste e Reabilitação), fabricante do equipamento.

Estou ciente de que não deverei omitir nenhuma informação relevante e/ou quaisquer intercorrências de ordem majoritariamente física ou emocional do

pesquisador principalmente no dia de minhas avaliações sob pena de prejudicar a idoneidade dos resultados do estudo.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome, ou qualquer outro dado confidencial, será mantido em sigilo. A elaboração final dos dados será feita de maneira codificada, respeitando o imperativo ético da confidencialidade.

Estou ciente de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, nem sofrer qualquer dano.

O pesquisador envolvido com o referido projeto é, Anselmo Grego Neto, fisioterapeuta (CREFITO 59562 – F) com quem poderei manter contacto pelo telefone: (41) 9903-0743.

Estão garantidas todas as informações que eu queira saber antes, durante e depois do estudo.

Li, portanto, este termo, fui orientado quanto ao teor da pesquisa acima mencionada e compreendi a natureza e o objetivo do estudo do qual fui convidado a participar. Concordo, voluntariamente em participar desta pesquisa, sabendo que não receberei nem pagarei nenhum valor econômico por minha participação.

---

Assinatura do sujeito de pesquisa

---

Assinatura do pesquisador

Curitiba, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2006.



**APÊNDICE B – TABELA DOS VALORES DAS 3 MEDIDAS DA ADM DE FLEXÃO DO QUADRIL PARA CADA SUJEITO NAS CONDIÇÕES PRÉ E PÓS-TESTE COM A RESPECTIVA MÉDIA E O DESVIO-PADRÃO.**

GRUPO E1	PRÉ - TESTE					PÓS - TESTE				
	1ª Avaliação (graus)	2ª Avaliação (graus)	3ª Avaliação (graus)	Média (graus)	DP	1ª Avaliação (graus)	2ª Avaliação (graus)	3ª Avaliação (graus)	Médias	DP
DS	75	72	70	72	2,516611478	75	84	80	80	4,509249753
LO	90	85	78	84	6,027713773	80	85	83	83	2,516611478
VB	85	75	79	80	5,033222957	90	87	79	85	5,686240703
AH	66	72	74	71	4,163331999	80	78	75	78	2,516611478
MB	70	78	80	76	5,291502622	70	77	80	76	5,131601439
PA	70	65	65	67	2,886751346	75	73	75	74	1,154700538
FS	83	90	84	86	3,765938897	91	85	90	89	3,21450254
VS	85	87	83	85	2	90	87	85	87	2,516611478
LB	77	69	67	71	5,291502622	72	74	69	72	2,516611478
EP	90	87	94	90	3,511884584	101	110	105	105	4,509249753
RE	87	85	86	86	1	89	91	86	89	2,516611478
NM	87	81	80	83	3,785938897	83	79	81	81	2
			<b>médias</b>	<b>79,16666667</b>	<b>3,774533265</b>			<b>médias</b>	<b>83</b>	<b>3,232387486</b>
GRUPO E2										
EP	105	110	110	108	2,886751346	110	110	107	109	1,732050808
FT	85	74	83	81	5,859465277	93	95	90	93	2,516611478
MF	82	85	83	83	1,527525232	85	84	86	85	1
VL	75	73	76	75	1,527525232	83	84	80	82	2,081665999
FF	95	92	90	92	2,516611478	95	94	100	96	3,21450254
RS	80	80	76	79	2,309401077	85	81	82	83	2,081665999
MC	68	74	72	71	3,055050463	72	74	75	74	1,527525232
RB	92	95	98	95	3	110	102	97	103	6,567436524
JM	83	80	87	83	3,511884584	82	90	85	86	4,041451884
RA	90	96	92	92	2,516611478	95	89	94	93	3,21450254
CR	80	90	90	87	5,773502692	91	90	92	91	1
CP	60	61	56	59	2,645751311	65	65	69	66	2,309401077
			<b>médias</b>	<b>84</b>	<b>3,094173348</b>			<b>médias</b>	<b>88</b>	<b>2,606409292</b>
GRUPO C										
HA	75	70	70	72	2,886751346	70	83	75	76	6,567436524
CE	60	57	53	57	3,511884584	65	60	61	62	2,645751311
WC	85	90	92	89	3,605551275	80	85	82	82	2,516611478
AC	55	60	65	60	5	65	65	60	63	2,886751346
AS	80	85	85	83	2,886751346	80	80	75	78	2,886751346
FL	85	87	78	83	4,725815626	80	78	89	82	5,859465277
JP	55	63	61	60	4,163331999	70	65	60	65	5
LS	90	92	90	91	1,154700538	91	92	82	88	5,507570547
IMN	89	90	91	90	1	90	90	91	90	0,577350269
TM	56	51	51	53	2,886751346	52	56	61	56	4,509249753
AG	100	98	101	100	1,527525232	100	101	102	101	1
WA	90	90	89	90	0,577350269	90	87	91	89	2,081665999
			<b>médias</b>	<b>77</b>	<b>2,82720113</b>			<b>médias</b>	<b>78</b>	<b>3,502383821</b>

## APÊNDICE C

**TABELA C<sub>1</sub>: DIFERENÇAS PERCENTUAIS E DESVIOS-PADRÃO ENTRE AS MÉDIAS OBTIDAS NAS AVALIAÇÕES PRÉ E PÓS-TESTE ISOCINÉTICO PARA O GRUPO MUSCULAR DOS ISQUIOTIBIAIS**

Variável	Grupo E <sub>1</sub>	Grupo E <sub>2</sub>	Controle	Valor de <i>p</i> *
<b>ADM Flexão</b>				
<b>Quadril (%)</b>	5,0 ± 4,9	6,6 ± 4,5	-0,4 ± 5,4	<b>0,001</b>
<b>Pico de</b>				
<b>Torque (%)</b>	-0,1 ± 7,0	-4,9 ± 7,2	2,5 ± 5,4	<b>0,037</b>
<b>Trabalho</b>				
<b>Máximo (%)</b>	-0,8 ± 8,2	-4,8 ± 6,0	4,2 ± 4,3	<b>0,006</b>
<b>Trabalho</b>				
<b>Total (%)</b>	-2,2 ± 7,1	-2,7 ± 6,93	2,9 ± 3,9	0,063

(\*) Valor de *p* relativo à comparação das diferenças percentuais entre os grupos. Os valores destacados em negrito indicam significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

**TABELA C<sub>2</sub>: DIFERENÇAS PERCENTUAIS E DESVIOS-PADRÃO ENTRE AS MÉDIAS OBTIDAS NAS AVALIAÇÕES PRÉ E PÓS-TESTE ISOCINÉTICO DO GRUPO MUSCULAR DO QUADRÍCEPS**

Variável	Grupo E <sub>1</sub>	Grupo E <sub>2</sub>	Controle	Valor de <i>p</i> *
<b>Pico de</b>				
<b>Torque (%)</b>	2,64 ± 5,6	-3,27 ± 3,9	-1,0 ± 7,7	<b>0,044</b>
<b>Trabalho</b>				
<b>Máximo(%)</b>	3,0 ± 5,9	-3,2 ± 4,0	0,8 ± 4,7	<b>0,013</b>
<b>Trabalho</b>				
<b>Total (%)</b>	1,6 ± 6,1	2,8 ± 4,0	1,2 ± 7,2	0,087

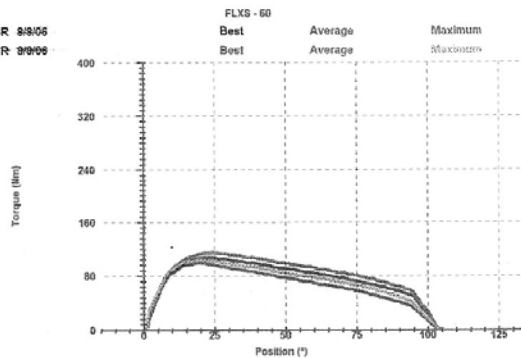
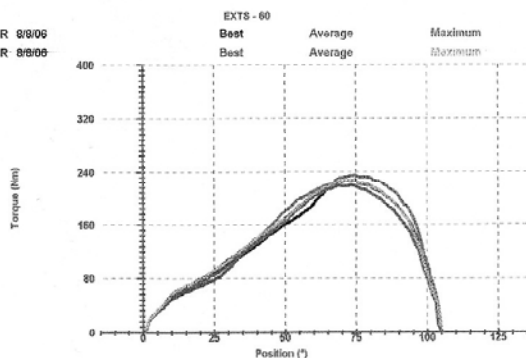
(\*) Valor de *p* relativo à comparação das diferenças percentuais entre os grupos. Os valores destacados em negrito indicam significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

## **ANEXOS**

## ANEXO A – MODELO DE LAUDO ISOCINÉTICO DE AVALIAÇÃO DE JOELHO (MÚSCULOS QUADRÍCEPS E ISQUIOTIBIAIS)

Facility Name: Clinica de Fisioterapia PUCPR  
 Patient Name:  
 Report Type: Isokinetic Short Progress  
 Muscle Group: CON/CON  
 DAP/Action: 0101 Knee Extension/Flexion CON/CON

CYBEX Evaluation  
 Patient ID: J1119  
 Report Date: August 8, 2006  
 Body Weight (Kg): 66.00



	Right	8/ 8/06	Right	8/ 8/06	
BW (Kg) / Max GET (Nm)	66.00	/ 14.00	66.00	/ 14.00	Progress
Repetitions	3		3		3

### CONCENTRIC FLEXORS

	60	60	60		
Speed (°/Sec)	60	60	60		
Peak Torque (Nm)	115	104	-9%	%	%
Peak Torque % BW	174.2%	157.6%			
Angle of Peak Torque	24°	18°			
Total Work (BWR) (Joule)	150	130	-13%	%	%
Total Work (BWR) % BW	228.3%	198.0%			
Avg Power (BWR) (Watts)	66.9	66.1	-1.3%	%	%
Avg Power (BWR) % BW	101.4%	100.1%			
Set Total Work	419	358	-14%	%	%

### CONCENTRIC EXTENSORS

	60	60	60		
Speed (°/Sec)	60	60	60		
Peak Torque (Nm)	235	227	-3%	%	%
Peak Torque % BW	356.1%	343.9%			
Angle of Peak Torque	75°	74°			
Total Work (BWR) (Joule)	255	250	-2%	%	%
Total Work (BWR) % BW	387.6%	379.6%			
Avg Power (BWR) (Watts)	136.9	130.4	-4.8%	%	%
Avg Power (BWR) % BW	207.5%	197.5%			
Set Total Work	761	736	-3%	%	%

### CONCENTRIC FLEXORS / CONCENTRIC EXTENSORS

Peak Torque	48.9%	45.8%
Total Work (BWR)	58.9%	52.2%
Avg Power (BWR)	48.9%	50.7%
Set Total Work	55.1%	48.6%
Average ROM ( 104)	103°	103°

Signed: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

**ANEXO B – CARTA DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA  
DA PUCPR**



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Curitiba, 24 de novembro de 2005.


Of. 537/05/CEP-PUCPR

**Ref. "Análise isocinética do efeito imediato de diferentes formas de alongamento muscular sobre o desempenho da força máxima"**

Prezado (a) Pesquisador

Venho por meio deste, informar a Vossa Senhoria que o Comitê de Ética em Pesquisa da PUCPR, no dia 23 de novembro do corrente ano aprovou o Projeto Intitulado "**Análise isocinética do efeito imediato de diferentes formas de alongamento muscular sobre o desempenho da força máxima**" pertencente ao Grupo III, sob o registro no CEP n° 902 e será encaminhado a CONEP para o devido cadastro. Lembro ao senhor (a) pesquisador (a) que é obrigatório encaminhar relatório anual parcial e relatório final a este CEP.

Atenciosamente,

  
Profª M. Sc Ana Cristina Miguez Ribeiro  
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa - PUCPR

Ilmo Sr  
Anselmo Grego Neto

**ANEXO C – MODELO DE FICHA DE ANAMNESE DO SETOR DE DINAMOMETRIA ISOCINÉTICA DA CLÍNICA ESCOLA DE FISIOTERAPIA DA PUCPR**



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Clínica de Fisioterapia e Reabilitação

Cybox ID: \_\_\_\_\_

**DINAMOMETRIA ISOCINÉTICA**

Requerido por: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ n.º \_\_\_\_\_ Bairro: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Data de Nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Sexo:  M

F

Membro dominante:  Dir.

Esq.

Nível de atividade física (orientada):  sedentário (a)

1x por semana

3x por semana

todos os dias

Diagnóstico clínico: \_\_\_\_\_

Diagnóstico fisioterápico: \_\_\_\_\_

Articulação a ser testada: \_\_\_\_\_

OBS.: \_\_\_\_\_

Peso: \_\_\_\_\_ kg

Altura: \_\_\_\_\_ cm



