UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA
NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO

Eugênia Casella Tavares de Mattos

**ADAPTAÇÕES NEURAIS NA MEDULA ESPINHAL DE
HUMANOS PARA DIFERENTES TIPOS DE
TREINAMENTO FÍSICO**

*Tese apresentada ao
Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo,
para a obtenção do título de doutor
em Neurociência e Comportamento*

**SÃO PAULO
2009**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA
NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO

Eugênia Casella Tavares de Mattos

**ADAPTAÇÕES NEURAIS NA MEDULA ESPINHAL DE
HUMANOS PARA DIFERENTES TIPOS DE
TREINAMENTO FÍSICO**

*Tese apresentada ao
Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo,
para a obtenção do título de doutora
em Neurociência e Comportamento*

Área de concentração:
Neurociências e Comportamento

Orientador:
Prof. Dr. André Fábio Kohn

**SÃO PAULO
2009**

ADAPTAÇÕES NEURAIIS NA MEDULA ESPINHAL DE HUMANOS PARA DIFERENTES TIPOS DE TREINAMENTO FÍSICO

Eugênia Casella Tavares de Mattos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Fábio Kohn

Profa. Dr. Ronald D. P. K. C. Ranvaud

Prof. Dr. Gilberto Mastrocola Manzano

Profa. Dra. Tânia de Fátima Salvini

Prof. Dr. Gil Lúcio Almeida

Tese defendida e aprovada em: ____/____/2009.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Mattos, Eugênia Casella Tavares de.

Adaptações neurais na medula espinhal de humanos para diferentes tipos de treinamento físico / Eugênia Casella Tavares de Mattos; orientador André Fábio Kohn. -- São Paulo, 2009.

140 p.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração: Neurociências e Comportamento) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Plasticidade neuronal 2. Reflexo H 3. Atividade física 4. Medula espinhal 5. Inibição pré-sináptica 6. Inibição recíproca I. Título.

QP355

Dedico minha tese aos meus queridos pais pelo apoio e incentivo.

*A minha mãe pela amizade e companheirismo de sempre, e a meu pai que viu em mim o
potencial para pesquisa.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Fábio Kohn por todas orientações, apoio e por ter acreditado nas minhas idéias.

Ao colega, amigo e Major Paulo Ricardo Corrêa Bonifácio que me incentivou e ajudou com a burocracia no Exército Militar Brasileiro.

Ao Capitão Marcelo Wisnesky Soares e os 25 soldados do 22º Batalhão de Logística de São Paulo que viabilizaram minha pesquisa durante o ano de 2006, sempre muito colaborativos.

Ao colega e amigo Leonardo Lamas Leandro Ribeiro que contribuiu com a seleção e treinamento dos sujeitos aqui avaliados. Sem esta colaboração este trabalho não teria o mesmo brilho.

Á eterna e querida amiga Líria Akie Okai que me apoiou, me ouviu, ajudou e ainda ajuda (mesmo à distância).

Aos amigos Rinaldo André Mezzarane, Fernando Rangel, Emerson Fachin Martins, Sabrina Pedão, Carol Fornari, Rogério Cisi, Leonardo Abdala Elias ao Prof Dr. Henrique Moriya pela adorável convivência, pela amizade, alegria, carinho e pelo apoio em horas difíceis.

Ao professor Carlos Ugrinowitch da Escola de Educação Física e Esporte (EEFE) da USP que me ajudou em momentos críticos “existenciais”.

Ao Sandro A. Miqueleti, técnico do Laboratório de Engenharia Biomédica da Escola Politécnica da USP, que me ajudou com a elaboração de vários programas de captação de sinais e sempre esteve pronto para ajudar.

Ao Dr. Ronald D. P. K. C. Ranvaud pela valiosa colaboração na qualificação.

Ao amigo de sempre e marido Daniel Salvador pelos momentos de descontração, apoio e carinho.

Às pessoas que se prontificaram a participar da minha pesquisa como voluntários, sem eles os experimentos não seriam realizados.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

RESUMO

Introdução: As adaptações neurais ao treinamento físico vêm sendo amplamente estudadas e a medula espinhal é um dos locais de possível adaptação. No entanto nenhuma avaliação longitudinal havia sido feita diretamente sobre as circuitarias inibitórias medulares. Até o presente momento as alterações eram somente suposições. O presente trabalho verificou as circuitarias medulares responsáveis pela inibição recíproca (IR) e inibição pré-sináptica (IPS) em sujeitos submetidos a diferentes treinamentos. **Materiais e Métodos:** Para o treino aeróbico (resistência) foram avaliados 25 soldados submetidos ao treinamento militar do Exército Militar Brasileiro. Foram feitas 3 avaliações uma pré-treino e outras duas com 3 e 9 meses após o início das atividades no ano de 2006. Outros 29 sujeitos foram divididos em 3 grupos: controle (permaneceram 8 semanas sem atividades de treinamento), grupo de treino de força máxima e treino de potência. Eles foram submetidos a 8 semanas de treino, realizado com séries de agachamento livre com peso. Para avaliação das circuitarias medulares foi utilizado o reflexo H do sóleus condicionado com estímulos no nervo fibular comum (NFC) - que inerva o músculo tibial anterior (TA). O intervalo entre o estímulo condicionante e o estímulo teste determinou a avaliação da IR, da inibição D1 e da inibição D2 (IPS). Outras variáveis também foram calculadas como: contração voluntária máxima isométrica (CVM) do sóleus e TA e seus respectivos eletromiogramas (EMG), relação elétrica e mecânica entre Hmax/Mmax e condicionamento do EMG do sóleus por estímulos no NFC. Foram feitas análises pareadas com teste *t-student* para o grupo militar e ANOVA *two-way* para comparação dos grupos de força máxima e potência com o grupo controle. **Principais Resultados:** O grupo do exército apresentou aumento na força do sóleus e do TA, juntamente com aumento no RMS do EMG do sóleus e do torque gerado pela onda Mmax, sem alterações nas relações Hmax/Mmax. O treinamento militar reduziu significativamente a inibição D1 e mostrou tendências a aumento da IPS. O grupo de força máxima não mostrou aumento de força isométrica, no entanto apresentou aumento na relação elétrica Hmax/Mmax, com concomitante redução da IR e aumento da IPS. O grupo de potência mostrou ganho na força máxima isométrica somente do sóleus. A capacidade de gerar torque reflexamente também aumentou neste grupo, com aumento significativo na relação mecânica Hmax/Mmax. Esta melhora na utilização do arco reflexo também foi verificada com redução da IPS e aumento da IR neste grupo. **Conclusões:** Estes resultados mostraram que a medula espinal sofre plasticidade nas vias inibitórias IR, inibição D1 e D2, e que esta plasticidade é dependente do tipo de tarefa realizada.

Palavras Chaves: plasticidade neuronal, reflexo H, treinamento, medula espinhal, inibição pré-sináptica, inibição recíproca.

ABSTRACT

Introduction: Neural adaptations with physical training have been widely studied. The spinal cord is a possible locus of adaptation. However, longitudinal studies that evaluate directly the spinal cord pathways have not been found in the literature. Therefore, all reports from the literature justify changes found in measured responses to exercise by hypotheses on spinal cord mechanisms. This study had the objective of measuring features of specific spinal cord pathways to check if they change according to the type of physical training. The pathways related to reciprocal inhibition (RI) and pre-synaptic inhibition (PSI) were investigated in subjects undergoing different trainings. **Materials and Methods:** For endurance training 25 soldiers were subjected to military training of the Brazilian Army. Evaluations were made three times, one previous to the beginning of the activity and twice post-training (within 3 and 9 months). Other 29 subjects were divided into: control group (with no training), maximal strength group and power group. They were subjected to 8 weeks of training with series of squat movements. The soleus H reflex conditioning with stimuli in the common peroneal nerve (CPN) was used to evaluate the spinal cord pathways. The interval between the conditioning and the test stimulus determine the assessment of RI, D1 inhibition and D2 inhibition (PSI). Other variables were also calculated: maximum voluntary isometric contraction from soleus and tibialis anterior and their electromyograms (EMG), electrical and mechanical Hmax/Mmax ratio and 3 inhibitions over the soleus EMG conditioned by stimuli to the CPN. The results were analyzed with paired *t-student* test for the military group and with *two-way* ANOVA to compare the maximal strength and power groups with the control group. **Main Results:** The military group had increased strength of the soleus and the TA muscles, with an increase in the RMS of the soleus EMG. This group also increased the torque generated by the Mmax-wave, without changes in Hmax/Mmax ratio. The military training significantly reduced D1 inhibition and showed tendencies to increase the PSI. The maximal strength group showed no differences in isometric strength, but had increased Hmax/Mmax ratio with concomitant reduction of RI and increased PSI. The power group increased isometric strength only for the soleus muscle. This group also improved the ability to generate torque by reflex pathways, with significant increase in the mechanical Hmax/Mmax ratio, with a reduction of PSI and increase of RI. **Conclusions:** These results show that spinal cord plasticity occurs in the inhibitory pathways of reciprocal inhibition, D1 inhibition and D2 inhibition (pre-synaptic inhibition), and that plasticity is dependent on the type of trained movement.

Key words: neuronal plasticity, spinal cord, H reflex, training, presynaptic inhibition, reciprocal inhibition

LISTAS DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
1) INTRODUÇÃO	1
1.1) ATIVIDADE FÍSICA E INDÍCIOS DE ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES	1
1.2) MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO NEURAL	3
1.3) INFLUÊNCIAS SOBRE O REFLEXO H	9
1.4) AVALIAÇÃO DA INIBIÇÃO RECÍPROCA	10
1.5) INIBIÇÃO PRÉ-SINÁPTICA	13
<i>Metodologia para verificação da IPS</i>	<i>15</i>
1.6) ADAPTAÇÕES NEURAIS	17
1.7) TIPOS DE TREINAMENTOS	19
1.8) ADAPTAÇÕES MEDULARES RELACIONADAS À TREINAMENTO	23
2) OBJETIVOS	28
3) MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1) SUJEITOS E TREINAMENTOS	29
3.1.1) <i>Treinamento militar</i>	<i>30</i>
3.1.2) <i>Treinos de força máxima e potência</i>	<i>31</i>
3.2) ESTIMULAÇÕES E CAPTAÇÕES	32
3.2.1) <i>Reflexo H e Eletromiogramas (EMG).....</i>	<i>32</i>
3.2.2) <i>Estímulo condicionante</i>	<i>34</i>
3.3) PARADIGMAS EXPERIMENTAIS	36
3.3.1) <i>Contração voluntária máxima - isométrica (CVM)</i>	<i>36</i>
3.3.2) <i>Ondas Hmax e Mmax</i>	<i>37</i>
3.3.3) <i>Avaliação das circuitarias inibitórias.....</i>	<i>39</i>
3.3.4) <i>Condicionamento do EMG do sóleus.....</i>	<i>40</i>
3.4) ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
4) RESULTADOS.....	46
4.1) FORÇA MÁXIMA: VOLUNTÁRIA E REFLEXA	46
4.1.1) <i>Grupo do exército</i>	<i>46</i>
<i>Força máxima voluntária: torque e valor RMS do EMG.....</i>	<i>46</i>
<i>Dorsiflexão</i>	<i>46</i>
<i>Flexão plantar</i>	<i>48</i>
<i>Avaliação da força máxima obtidas com as ondas Hmax e Mmax.....</i>	<i>50</i>
<i>Latência do pico de torque.....</i>	<i>52</i>
4.1.2) <i>Grupo de força máxima (GFM) e grupo de potência (GP)</i>	<i>55</i>
<i>Força máxima voluntária: torque e RMS do EMG</i>	<i>55</i>
<i>Dorsiflexão</i>	<i>55</i>
<i>Flexão plantar</i>	<i>57</i>
<i>Avaliação da amplitude das ondas Hmax e Mmax e sua relação Hmax/Mmax</i>	<i>60</i>
<i>Avaliação da força máxima obtidas com as ondas Hmax e Mmax.....</i>	<i>63</i>
<i>Efeito de destreino</i>	<i>65</i>
<i>Relação mecânica Hmax/Mmax</i>	<i>67</i>
<i>Latência do pico de torque.....</i>	<i>69</i>
4.1.3) <i>Ganho de força relativa do sóleus para todos os grupos analisados</i>	<i>72</i>

CVM normalizada pela Mmax (torque e RMS do EMG)	72
Torque normalizado pela amplitude (para ondas Mmax e Hmax)	74
4.2) AVALIAÇÃO DA CIRCUITARIA INIBITÓRIA	75
4.2.1) <i>Grupo do exército</i>	75
4.2.2) <i>Treinamento de força: força máxima e potência</i>	79
4.3) EMG CONDICIONADO	87
4.3.1) <i>Grupo do exército</i>	87
4.3.2) <i>Treinamento de força: força máxima e potência</i>	91
5) DISCUSSÃO	96
5.1) CVM - TORQUE	96
5.2) CVM - RMS DO EMG	100
5.3) REFLEXO H	103
5.3.1 <i>Amplitude das ondas Hmax Mmax</i>	104
5.3.2 <i>Torque das ondas Hmax e Mmax</i>	110
5.3.3 <i>Efeitos do destreino</i>	113
5.3.4 <i>Latência</i>	114
5.4) CIRCUITARIA	115
5.4.1) <i>Grupo do exército</i>	115
5.4.2 <i>Grupo Força Máxima e Grupo Potência</i>	118
5.5) ANÁLISE DA TERCEIRA COLETA DOS MILITARES	122
<i>Força</i>	122
<i>Latência</i>	122
<i>Vias inibitórias</i>	122
5.6) EMG CONDICIONADO	123
5.7) FUNCIONALIDADE CLÍNICA	126
5.8) PROPOSTAS FUTURAS	128
6) CONCLUSÕES	129
CONCLUSÕES GERAIS	129
CONCLUSÕES ESPECÍFICAS AOS TREINOS	129
7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	131
ANEXO A	141
ANEXO B	142

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1- 1 Desenho esquemático da obtenção do reflexo H do sóleus (em azul) com estimulação no nervo tibial (NT – letra A no desenho). Esquematização da via inibição recíproca - IR (via 1) acionada pelo estímulo condicionante (B) no nervo fibular comum (NFC), mediada por um único interneurônio denominado InIa (interneurônio Ia). Esquematização da via da inibição pré-sináptica - IPS (via 2) , mediada por uma via polissináptica, mediada por diversos interneurônios, sendo que o interneurônio de última ordem (vermelho - InPAD) atuando sobre os terminais pré-sinápticos das fibras Ia do sóleus. 7
- Figura 1- 2 Curva da velocidade de execução de um movimento em função da carga de resistência. 21
- Figura 3- 1 Cadeira, pedal e transdutor de força. Na figura a direita é possível verificar o pedal e o transdutor com mais detalhe. 33
- Figura 3- 2 Determinação do ponto de captação do EMG do músculo sóleus e do tibial anterior, com o eletrodo de superfície (foto inferior direita). Foto superior direita mostra o eletrodo de estimulação do nervo tibial, posicionado na fossa poplíteia, ilustrado na figura à esquerda..... 34
- Figura 3- 3 À direita eletrodo de estimulação do nervo fibular comum, à esquerda posicionamento do eletrodos de captação do EMG do músculo tibial anterior e posição do eletrodo terra. 35
- Figura 3- 4 a) torque gerado durante uma dorsiflexão máxima (N/m). A linha horizontal (vermelha) indica o valor médio do torque calculado entre o 2º e o 4º segundo de contração. b) EMG máximo do TA, retificado (mV). O contorno em vermelho indica o EMG filtrado e a linha azul ao fundo indica o valor médio do RMS do EMG calculado no mesmo período do torque. 36
- Figura 3- 5 (a) Ilustração da obtenção de uma onda Mmax (elipse), (b) visão aproximada da onda Mmax e o respectivo torque gerado por ela (c). Com a curva do torque foi calculado o pico e a latência do ponto máximo. 38
- Figura 3- 6. A) Sobreposição de cem trechos de EMG do sóleus condicionado por estímulos no nervo fibular comum. Seta vertical indica o momento do estímulo, seta inclinada indica a onda M do TA captada no sóleus, a elipse indica o período de inibição mais evidente de curta duração, e o colchete sinaliza uma inibição sobre o EMG mais suave e de maior duração. B) Promediação dos 100 trechos de EMG. Seta inclinada indica a onda M do TA captada no sóleus, e elipse mostra potencial de ação composto captado no sóleus. C) EMG retificado e promediado, a linha contínua indica o valor basal médio (EMG anterior ao instante zero). D) EMG retificado, promediado e filtrado, em que as inibições são salientadas em preto. 41

Figura 3- 7 Condicionamento do EMG do sóleus durante contração de 20% da CVM por estímulo no NT para obtenção de um reflexo H semelhante ao potencial de ação composto ao obtido na figura 3-6b. A) sobreposição dos 100 trechos de EMG sem qualquer indicio de inibição. B) Aproximação para visualização do reflexo H do sóleus. C) Sinal vermelho EMG promediado, sinal azul EMG retificado e promediado sem qualquer trecho de inibição.	42
Figura 4- 1 CVM do TA para o grupo do exército pré-treino (1) e após o treinamento militar (2). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do EMG do TA. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$	47
Figura 4- 2 Valor do torque máximo obtido na CVM do TA para o grupo do exército para as três coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino). As barras representam o erro padrão. Análise ANOVA <i>One way</i> * $p < 0,05$ e ** $p < 0,001$ 48	48
Figura 4- 3 CVM do sóleus para o grupo do exército pré-treino (1) e após o treinamento militar (2). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do EMG do sóleus. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$	49
Figura 4- 4 CVM do sóleus para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do sóleus . As barras representam o erro padrão. ANOVA <i>one-way</i> post-hoc <i>Bonferroni</i> * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$	49
Figura 4- 5 Torque máximo obtido com a onda Mmax e Hmax antes (1) e depois (2) do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$, *** $p < 0,0001$..	50
Figura 4- 6 Amplitude pico a pico das ondas Mmax e Hmax (mV) antes (1) e depois (2) do treinamento militar As barras representam o erro padrão.	51
Figura 4- 7 Latência para o pico de torque da onda Mmax e Hmax para o grupo do exército antes (1) e depois do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$ ** $p < 0,006$	52
Figura 4- 8 Torque máximo obtido com a onda Mmax e Hmax para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino) As barras representam o erro padrão. ANOVA <i>one-way</i> post-hoc <i>Bonferroni</i> * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$	53
Figura 4- 9 Latência para o pico de torque da onda Mmax e Hmax para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino) As barras representam o erro padrão. Anova <i>one-way</i> post-hoc <i>Bonferroni</i> * $p < 0,05$	55
Figura 4- 10 Torque máximo obtido na contração voluntária máxima do tibial anterior para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.....	56
Figura 4- 11 RMS do EMG do TA obtido na contração voluntária máxima do mesmo para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e grupo potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.	56

- Figura 4- 12 Torque máximo obtido a flexão plantar máxima para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão. Teste *t-student* individual * $p<0,05$ 58
- Figura 4- 13 O gráfico ilustra as médias do torque obtido durante a flexão plantar máxima, para os grupos controle, força máxima (força) e potência, no tempo 1 (pré-treino) e 2 (pós-treino). Eixo Y indica torque em N.m A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores, com aumento mais evidente no GP.59
- Figura 4- 14 RMS médio do sóleus obtido na contração voluntária máxima para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.60
- Figura 4- 15 Valores da relação elétrica Hmax/Mmax antes (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de força máxima (GFM) e potência (GP). As barras representam o erro padrão. * aponta para diferença entre pré e pós treino, valor de $p=0,0021$ com o teste *t-student*..... 62
- Figura 4- 16 Valores da relação elétrica Hmax/Mmax (eixo Y) antes (1) e após 8 semanas (2) no grupo controle e para os grupos de força máxima (força) e potência. Na análise ANOVA *two-way* houve efeito de tempo sobre os resultados $p<0,05$, em que é possível dizer que os 3 grupos apresentaram o mesmo comportamento. 63
- Figura 4- 17 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de treino de força e potência. As barras representam o erro padrão..... 63
- Figura 4- 18 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de treino de força e potência. As barras representam o erro padrão. Teste *t-student* * $p<0,05$ 64
- Figura 4- 19 O gráfico ilustra o pico de torque gerado com a onda Hmax, para os grupos controle, força máxima (força) e potência, no tempo 1 (pré-treino) e 2 (pós-treino). Eixo Y indica torque em N.m. A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores, em que o GP mostra um aumento mais claro no pico de torque quando comparado aos outros grupos. 65
- Figura 4- 20 Torque máximo obtido com as ondas Mmax e Hmax do sóleus para o grupo potência na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão. ANOVA *one-way* post-hoc *Bonferroni* * $p<0,05$, ** $p<0,01$ 66
- Figura 4- 21 Torque máximo obtido com as ondas Mmax e Hmax do sóleus para o grupo força máxima na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta) As barras representam o erro padrão..... 67
- Figura 4- 22 Relação mecânica Hmax/Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência , antes (1) e após o treinamento 2). A análise ANOVA *two-way* apontou para interação entre os fatores tempo e treino, em que o grupo potência tem comportamento oposto aos demais grupos ($p<0,05$)..... 68

Figura 4- 23 Relação mecânica Hmax/Mmax do grupo potência na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão.....	69
Figura 4- 24 Latência do pico de torque da onda Mmax para os grupos controle, força máxima e potência. As barras representam o erro padrão. *p<0,05, **p<0,01	70
Figura 4- 25 Latência do pico de torque da onda Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência na condição pré-treino (1) e pós-treino (2). Análise ANOVA <i>two-way</i> mostrou efeito de tempo sobre a variável, com os três grupos mostrando tendência de redução da latência.	70
Figura 4- 26 Latência do pico de torque da onda Mmax do grupo potência antes (barra branca), após o treinamento (barra hachurada) e após o destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão. *p<0,05	71
Figura 4- 27 Relação entre a força máxima obtida voluntariamente pelo torque obtido com a onda Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA <i>two-way</i> mostrou interação entre os fatores tempo e tempo, em que o grupo potência mostra tendência diferente dos demais grupos.	72
Figura 4- 28 Torque da flexão plantar máxima normalizada pelo torque da onda Mmax para o grupo do exército, avaliadas no pré-treino (barra branca), após 2 meses de treino (barra hachurada) e após 9 meses de treinamento militar (barra preta). As barras representam o erro padrão.....	73
Figura 4- 29 Relação TQ/AMP para onda Mmax (barras brancas) e Hmax (barras hachuradas) do grupo de força máxima (GFM), avaliados antes (1) e depois (2) do treino. Os resultados da onda Mmax apresentaram tendência a aumento após o treino (p=0,08). ...	74
Figura 4- 30 Relação TQ/AMP para onda Mmax (barras brancas) e Hmax (barras hachuradas) do grupo potência (GP), avaliados antes (1) e depois (2) do treino.	75
Figura 4- 31 Inibições IR, D1 e D2 obtidas para o grupo do exército antes (barra branca) e depois (barra hachurada) do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. Teste <i>t-student</i> ***p<0,0001	76
Figura 4- 32 Comportamento da inibição D1, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo do exército, antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.	76
Figura 4- 33 Inibição D2 obtidas antes (1) e depois (2) o treinamento do exército. A comparação mostra tendência de aumento da mesma (Teste <i>t-student</i> p=0,09).	77
Figura 4- 34 Comparação do comportamento das inibições IR, D1 e D2 ao longo das três avaliações realizadas no grupo do exército. Praticamente as alterações visualizadas na segunda coleta se mantém após 6 meses de atividade menos intensa.	79

Figura 4- 35 Comportamento da IR, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.	80
Figura 4- 36 Comportamento da inibição D1, analisados individualmente para verificação da falta de homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2).	80
Figura 4- 37 Comportamento da inibição D2, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2). Setas indicam os sujeitos com comportamento diferenciado dos demais.....	81
Figura 4- 38 Comportamento da IR, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo potência (GP), antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.	82
Figura 4- 39 Comportamento da inibição D2, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo potência (GP), antes (1) e após o treinamento (2). Setas indicam os sujeitos com comportamento diferenciado dos demais.	83
Figura 4- 40 Comparação do comportamento das inibições IR (a), inibição D1 (b) e inibição D2 (c) para os grupos controle, grupo força máxima (GFM) e grupo potência (GP), antes e após o treinamento . As barras representam o erro padrão.	85
Figura 4- 41 Porcentagem de IR (eixo Y) obtida nos grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA <i>two-way</i> mostrou efeito de tempo, ou seja os três grupos apresentam redução na segunda coleta. A redução da IR é mais evidente nos grupos GFM e GP.	86
Figura 4- 42 Porcentagem de inibição D2 (eixo Y), obtida nos grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA <i>two-way</i> mostrou interação entre os fatores que fica evidenciado com o comportamento diferente entre o GFM e GP.....	87
Figura 4- 43 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, no intervalo 1 (de latência 45ms) antes (1) e após o treinamento militar (2). As barras representam o erro padrão.....	88
Figura 4- 44 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, 130ms após o estímulos e no intervalo 2 (de latência 140ms) antes (1) e após o treinamento militar (2). As barras representam o erro padrão.....	89
Figura 4- 45 Latência de aparecimento da maior inibição nos trechos do intervalo 1 e 2 para o grupo do exército, antes (1) e depois do treinamento (2). As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$	89
Figura 4- 46 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, no intervalo 1 (45ms), aos 130ms após o estímulos e no intervalo 2 (140ms). Verificados antes (barra branca) e após o treinamento (barra hachurada), para os grupos controle (A), força máxima (B) e potência (C). As barras representam o erro padrão. ...	93

- Figura 4- 47 Diferença na latência de aparecimento das inibições no intervalo 1 e 2, entre a primeira e a segunda coleta nos grupos controle (C), força máxima (F) e potência (P). .95
- Figura 5- 1 Figura modificada de (KOMI 2003) que ilustra as adaptações musculares (linha azul) e neurais (linha vermelha), relacionadas ao ganho de força (linha preta) durante um treinamento com sobrecarga.....96
- Figura 5- 2 Ilustração das possíveis vias para a IR (via 2) e a inibição D1 (via 1), mediadas por interneurônios diferentes. A Ir seria mediada pelo InIa vermelho e a inibição D1 seria uma via mais longa, mediada por um interneurônio final diferente (azul). TA: tibial anterior, SO: sóleus. Ponta de seta amarela: estímulos elétricos teste e condicionante nos respectivos nervos. MN: motoneurônios. Ia: fibras aferentes 119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distribuição de sujeitos entre os grupos controle, força máxima e potência, e as respectivas idades.	30
Tabela 2 Volume de atividade física semanal com membros inferiores, nas primeiras 12 semanas do treinamento militar	31
Tabela 3 Valores médios e desvio padrão (DP) da amplitude pico a pico e do torque gerado pelas ondas Mmax e Hmax do grupo do exército, verificadas pré-treino (1) e pós treino (2), com as respectivas relações Hmax/Mmax elétrica e mecânica	51
Tabela 4 Valores médios e desvio padrão (DP) do torque gerado pelas ondas Mmax e Hmax do grupo do exército, verificadas pré-treino (1) e pós treino (2) e após 6 meses da segunda coleta (3), com as respectivas latências para o pico da onda Mmax e relação mecânica Hmax/Mmax.....	54
Tabela 5 Valores de torque máximo (e desvio padrão) durante a CVM do TA, juntamente com os valores RMS, para os grupos: controle, força máxima e potência, na situação pré-treino (1) e após o treino (2)	57
Tabela 6 Valores de torque máximo (e desvio padrão) durante a CVM do sóleus, juntamente com os valores RMS, para os grupos: controle, força máxima e potência, na situação pré-treino (1) e após o treino (2)	58
Tabela 7 Amplitude em (mV) das ondas Hmax e Mmax pré-treino e pós-treino no grupo controle e nos grupos de GFM e GP	61
Tabela 8 Relação elétrica Hmax/Mmax pré-treino e pós-treino no grupo controle e nos grupos de GFM e GP.....	62
Tabela 9 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, antes e após 8 semanas no grupo controle e para os grupos de GFM e GP. * diferença significativa $p < 0,05$	64
Tabela 10 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, pré-treino, pós-treino e destreino para os grupos de GFM e GP.....	66
Tabela 11 Relação mecânica Hmax/Mmax obtidas para os grupos controle, GFM e GP. * $p < 0,05$	68
Tabela 12 Valor do torque durante a CVM normalizados pelo torque obtido com a onda Mmax, para os grupos do exército, controle, força máxima e potência antes e depois do treinamento.	73
Tabela 13 Comparação das inibições IR, D1 e D2 nas três avaliações (1 pré treino, 2 após 12 semanas de treinamento, e 6 meses após a 2º coleta) no grupo do exército.	78

Tabela 14 Média e desvio padrão das inibições IR, D1 e D2 para os grupos controle (C), força máxima (GFM) e potência (GP), antes (1) e depois (2) do treinamento. * $p < 0,05$	84
Tabela 15 Inibição obtida nos três trechos analisados do EMG do sóleus condicionado pelo estímulo no NFC, nas três coletas (1 – pré treino, 2- com 3 meses de treino, 3 – com 9 meses de treino). * $p < 0,05$	90
Tabela 16 Latência de aparecimento do maior ponto de inibição nos dois trechos de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulo no NFC. Verificados nos períodos 1 – pré treino, 2- com 3 meses de treino, 3 – com 9 meses de treinamento militar.....	91
Tabela 17 Inibição obtida nos três trechos analisados do EMG do sóleus condicionado pelo estímulo no NFC, nos grupos controle, força máxima (GFM) e potência (GP), na condição pré-treino (1) e pós treino (2). As diferenças entre as coletas também estão expressas, onde valores negativos mostram redução, e valores positivos mostram aumento da inibição. * $p < 0,05$	92
Tabela 18 Latência de aparecimento do maior ponto de inibição nos dois trechos de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulo no NFC, nos grupos controle, força máxima e potência, na condição pré-treino (1) e pós treino (2). As diferenças entre as coletas também estão expressas, onde valores negativos mostram redução, e valores positivos mostram aumento da inibição.	94

LISTA DE ABREVIATURAS

1 RM: sobrecarga que o indivíduo consegue realizar um movimento completo

CVM: contração voluntária máxima (isométrica)

EMG: Eletromiograma

FF: motoneurônios que inervam fibras musculares tipo IIb de contração rápida porém fadigáveis

FR: motoneurônios que inervam fibras musculares tipo IIa de contrações rápidas resistentes a fadiga

GFM: grupo força máxima

GP: grupo potência

H/M: relação Hmax/Mmax

Hmax: Reflexo H de máxima amplitude

Ia: fibras aferentes intrafusais

IIa: fibras musculares inervadas por motoneurônios tipo FR

IIb: fibras musculares inervadas por motoneurônios tipo FF

InIa: interneurônios medulares que mediam a inibição recíproca

InPAD: interneurônio medular que media a inibição pré-sináptica

Interv1: inibição, de latência de aparecimento de aproximadamente 46ms, verificada com o EMG do sóleus condicionado por estímulos no nervo fibular comum

Interv2: inibição, de latência de aparecimento de aproximadamente 140ms, verificada com o EMG do sóleus condicionado por estímulos no nervo fibular comum

Intervalo C-T: intervalo entre o estímulo teste (para obtenção do reflexo H) e o estímulo condicionante no nervo fibular comum

IPS: inibição pré-sináptica

IR: inibição recíproca

Mmax: Onda M máxima

MNs: motoneurônios

NFC: nervo fibular comum

NT: nervo tibial

PSTH: Post-Stimulus Time Histogram, forma de avaliação da probabilidade de disparos de unidades motoras, captadas com eletrodos de agulha.

RMS: root mean square

S: motoneurônios que inervam fibras musculares tipo I de contrações lentas

TA: tibial anterior

TQ/AMP : (N.m/uV)

Torque gerado pela Onda Hmax ou Mmax
amplitude da onda

UMs: unidades motoras

1) INTRODUÇÃO

1.1)Atividade física e indícios de adaptações neuromusculares

É sabido que a prática de atividade física proporciona diversas adaptações nos tecidos biológicos como adaptações cardio-respiratórias (CATAI *et al.* 2002), ósseas (STENGEL *et al.* 2005) e neuromusculares (LINNAMMO *et al.* 2000; SUETTA *et al.* 2004; ANDERSEN *et al.* 2005). Dentre estas, as adaptações neuromusculares são responsáveis pelo ganho de força e melhora no desempenho do movimento.

Umas das formas mais evidentes para o aumento da força, é o aumento do volume muscular. Quanto maior a área de secção transversa do músculo, maior sua capacidade de gerar força (TRAPPE *et al.* 2001). Porém o volume muscular só fica mais evidente a partir de 6 semanas de treino (PLOUTZ *et al.* 1994), mas o ganho de força aparece antes disto.

Este aumento inicial de força, sem que haja qualquer adaptação muscular pode ser atribuída às adaptações neurais, que melhoram o desempenho, coordenação e força do músculo treinado.

Com isto, diversos estudos vêm tentando estabelecer a relação entre as adaptações neuromusculares com o ganho de força inicial. Estes estudos são realizados em indivíduos saudáveis (VOIGT *et al.* 1998; CARROLL *et al.* 2002), atletas (CASABONA *et al.* 1990; VOIGT *et al.* 1998; CARROLL *et al.* 2002) e idosos (HAKKINEN *et al.* 1996; HAKKINEN *et al.* 1998; AVELA *et al.* 2006).

A existência das adaptações neurais fica evidente em estudos com treinamento imaginário (YUE and COLE 1992; BONNET *et al.* 1997), educação cruzada -com ganho de

força no membro contralateral ao membro treinado (YUE and COLE 1992; PLOUTZ *et al.* 1994) - e com treinamento em idosos (HAKKINEN *et al.* 1996), conforme será sintetizado a seguir.

Em um trabalho clássico, Yue e Cole (1992) verificaram um aumento de 22% na força dos músculos adutores do polegar após 4 semanas de treinos imaginários de força máxima para o mesmo músculo. O grupo que realizou a contração efetivamente, apresentou um aumento de 30% na força máxima. Bonnet *et al.* (1997) verificaram que a excitabilidade do reflexo H do sóleus aumenta quando o sujeito mentaliza a contração do mesmo. Esses achados e os de Yue e Cole (1992) ilustram o efeito do planejamento de um movimento nas possíveis alterações neurais.

Enoka (1988) revisou sobre a capacidade de um grupo muscular aumentar a força durante a contração voluntária máxima (CVM) somente com o treinamento do membro contralateral. Para verificar estes achados, Ploutz *et al.* (1994) submeteram 9 sujeitos a treinamento unilateral do quadríceps direito durante 9 semanas. Verificou-se um aumento de 7% na força máxima do quadríceps não treinado. Os resultados do trabalho de Yue e Cole (1992) também comprovaram um aumento da força contralateral, no lado não treinado, de 10 e 14% no grupo de treinamento imaginário e treinamento efetivo, respectivamente, confirmando os resultados obtidos sobre aprendizagem cruzada. Todos estes incrementos de força devem ser atribuídos às adaptações neurais, que ocorrem pela existência de comunicação neural entre os membros contralaterais, por meio de interneurônios na medula (SABATINO *et al.* 1994) que possibilita que a ativação de um deles influencie sobre o membro contrário, por meio de interneurônios facilitatórios e inibitórios. Além disto, parte das vias cortico-espinhais (trato piramidal) não cruzam para o lado contrário na medula. O feixe ipsilateral faz com que a ativação de um dos membros (com atividade unilateral do córtex) também influencie o membro contralateral (LAGERQUIST *et al.* 2006). Sendo assim,

o fortalecimento do membro contralateral ao membro treinado ocorre por mecanismos neurais.

Além do treino imaginário e do ganho de força contralateral, o aumento na força em idosos também colaboram para as confirmações a respeito das adaptações neurais. Idosos acometidos pela sarcopenia (perda de sarcômeros) apresentam perda significativa na força (KIDO *et al.* 2004). O treinamento físico de um grupo idoso, por 12 semanas, gera um ganho de força significativo, não acompanhado por alterações estruturais na musculatura ou junções neuromusculares relevantes. Este ganho de força também foi portanto atribuído às adaptações do SNC (ENOKA 1997).

Existem, portanto, inúmeras evidências da ocorrência de adaptação neural, que acontece preferencialmente no início do treinamento, gerando aumento na intensidade de força e melhora na coordenação motora sem necessariamente sem aumento do tamanho do músculo (KOMI 2003; ENOKA 2008). O desafio associado a estes dados é o entendimento dos mecanismos de adaptação que o sistema neural passa.

1.2) Mecanismos de adaptação neural

Os mecanismos de adaptação neural relacionados ao aumento de força com treinamento podem ser atribuídos a: a) aumento da atividade dos músculos agonistas, b) aumento da ativação dos músculos sinergistas, c) redução da atividade dos músculos antagonistas.

A maior evidência para o aumento da atividade muscular pode ser verificada com a avaliação da atividade eletromiográfica do músculo. O eletromiograma (EMG) é o resultado da somatória dos potenciais de unidades motoras captados pelos eletrodos, sendo as suas características dependentes do número de unidades motoras (UMs) recrutadas e as

respectivas frequências de disparo. O aumento da força pode ser resultado tanto do aumento do número de UMs recrutadas, bem como pelo aumento da frequência de disparo das mesmas. Porém a avaliação do EMG com eletrodos de superfície, comumente utilizado, não permite a distinção entre estes dois fatores (SOLOMONOW *et al.* 1990), sendo necessários alguns processamentos matemáticos para inferir sobre a frequência de disparo.

A análise do EMG pode ser feita de diversas maneiras, a mais frequentemente utilizada é pelo cálculo da integral do sinal EMG retificado (também chamado de EMG integrado), porém o cálculo do valor RMS (root mean square) do EMG também podem ser considerados. A comparação do EMG é feita durante uma CVM ou qualquer outro movimento voluntário. Suas características são comparadas antes e depois do treinamento. O aumento do EMG pode significar aumento no recrutamento das UMs.

Hakkinen *et al* (1996) verificaram aumento de 19% no EMG do quadríceps (nos três ventres avaliados) após 12 semanas de treinamento de força máxima progressivo. Estes resultados foram semelhantes nos diversos grupos avaliados, adultos jovens e idosos, divididos por sexo. Estas adaptações neuromusculares estavam associadas com ganho de força máxima e aumento de 14% da área de secção transversa do músculo, que indica aumento do volume muscular. Häkkinen e Komi (1986), realizaram um estudo longitudinal com um grupo de treinamento de força máxima (com agachamento) e outro com treino explosivo (com saltos). Após 12 semanas de treinamento, o primeiro grupo já mostrou aumento da força máxima com aumento concomitante do EMG do quadríceps.

Quando dois músculos antagonísticos se contraem simultaneamente a geração de força é diminuída, por que as forças se anulam. Esta co-ativação entre músculos antagonistas parece estar relacionada com insegurança na execução da tarefa. Carolan e Cafarella (1992) verificaram que o aumento da força gerada pelos extensores do joelho após 8 semanas de treinamento de força (feito com contração isométrica máxima dos músculos extensores),

estava relacionado com uma visível redução de 20% da atividade dos músculos flexores do joelho. Esta redução também ocorreu no membro não treinado, mas de forma mais suave, com redução de 13%. Este mesmo grupo de pesquisadores analisou o comportamento da atividade dos músculos agonistas e antagonistas durante a extensão de joelho. Após 6 meses de treinamento do grupo extensor, os resultados mostraram um aumento 17% na atividade do vasto medial e vasto lateral e redução de 20% da atividade do bíceps femoral em mulheres idosas (HAKKINEN *et al.* 1998).

Esses dados experimentais evidenciam que é possível verificar a existência de mudanças na atividade muscular dos grupos sinergistas e antagonistas envolvidos no movimento treinado. O que ainda não se tem esclarecido são os sítios de adaptações (BAWA 2002; ADKINS *et al.* 2006). Existem evidências de adaptações medulares (NIELSEN *et al.* 1993; ADKINS *et al.* 2006; ZEHR 2006), bem como corticais (PLAUTZ *et al.* 2000; REMPLE *et al.* 2001; CARROLL *et al.* 2002; ADKINS *et al.* 2006)

Plautz *et al.* (2000) em macacos, e Kleim *et al.* (2002) em ratos, não verificaram adaptações substanciais no córtex motor após treino com movimentos repetidos. Já Remple *et al.* (2001) verificaram adaptação supramedular em ratos submetidos a movimentos repetidos somente durante o aprendizado de uma nova tarefa, e não durante o treinamento de força. Em seres humanos, Jensen *et al.* (2005) também só verificaram aumento dos sinais corticais durante o aprendizado do movimento e não durante o treino de força.

Na tentativa de tentar compreender melhor as adaptações no SNC supra-medular, (CARROLL *et al.* 2002) investigaram a plasticidade na camada cortical e sub cortical após 4 semanas de treinamento dos músculos intrínsecos da mão. Para esta avaliação fizeram uso de estimulação elétrica e estimulação magnética transcraniana para obtenção do potencial motor antes e depois do treino. O treinamento proporcionou ganho de força verificado com o torque máximo, e foi acompanhado por uma redução nos sinais motores

evocados. Esta redução representa menor ativação de UMs por comandos descendentes. Para explicar estes resultados, os autores atribuíram as alterações à eficácia das sinapses entre as vias cortico-espinhais e os motoneurônios (MNs) alfa, a alterações intrínsecas dos MNs e/ ou alterações nos interneurônios que mediam as circuitarias medulares facilitatórias ou inibitórias. A redução da eficácia das sinapses entre os neurônios corticais e os motoneurônios poderia, a princípio, ocorrer por aumento da IPS sobre as fibras descendentes. Entretanto, como não há IPS sobre estas vias (NIELSEN and PETERSEN 1994), as adaptações foram atribuídas a mecanismos ocorrendo na medula.

Com grandes tendências de modulações medulares, a medula espinal virou foco de estudos sobre neuroplasticidade, e uma das formas de acesso à mesma é o reflexo H. O reflexo H é uma resposta análoga ao reflexo de estiramento, que pode ser evocado em diferentes músculos com a estimulação elétrica de seus respectivos nervos (MAGLADERY and MCDUGAL 1950). O reflexo H pode fornecer informações sobre o estado de algumas estruturas medulares como dos MNs ou algumas vias polissinápticas. Apesar de teoricamente ser possível verificar o reflexo H em qualquer músculo, ele é mais facilmente obtido no sóleus (HUGON 1973; ZEHR 2002) e no flexor dos dedos (BAWA and SINKJAER 1999; AYMARD *et al.* 2000).

O reflexo H do sóleus é obtido com a estimulação no nervo tibial (NT), em que as fibras Ia do sóleus são despolarizadas gerando um reflexo monossináptico com os motoneurônios do mesmo -Figura 1- 1. A captação deste reflexo é realizada com eletrodos de superfície fixados sobre o ventre muscular, e representa um potencial de ação composto, somatória de vários potenciais de ação síncronos.

Com a estimulação do NT, é possível verificar o comportamento da curva de recrutamento do sóleus decorrente da despolarização das fibras aferentes. Com o aumento gradual da intensidade do estímulo, a amplitude do reflexo aumenta até atingir seu ponto

máximo (Hmax). Com o aumento da intensidade, surge uma onda M com latência de 3ms decorrente da despolarização das fibras eferentes (que apresentam maior limiar de disparo), com concomitante redução da amplitude do reflexo H.

Figura 1- 1 Desenho esquemático da obtenção do reflexo H do sóleo (em azul) com estimulação no nervo tibial (NT – letra A no desenho). Esquematização da via inibição recíproca - IR (via 1) acionada pelo estímulo condicionante (B) no nervo fibular comum (NFC), mediada por um único interneurônio denominado InIa (interneurônio Ia). Esquematização da via da inibição pré-sináptica - IPS (via 2) , mediada por uma via polissináptica, mediada por diversos interneurônios, sendo que o interneurônio de última ordem (vermelho - InPAD) atuando sobre os terminais pré-sinápticos das fibras Ia do sóleo.

A redução da amplitude do reflexo H é decorrente de alguns mecanismos: 1) colisão dos potenciais antidrômicos nos axônios dos MNs gerados pelo estímulo elétrico com os potenciais gerados pelo arco-reflexo, 2) inibição recorrente via células de Renshaw, 3) inibição pela ativação de eferentes Ib (PIERROT-DESEILLIGNY and BURKE 2005). O aumento da intensidade de estímulo faz com que a onda M aumente até o seu valor máximo, onde todos os MNs estão sendo despolarizados, e o reflexo H está completamente ausente. O

valor de amplitude pico a pico da onda M máxima (Mmax) é freqüentemente utilizado para uma padronização das amplitudes do reflexo H. Além disto, a relação entre a Hmax e a Mmax é amplamente utilizada na literatura como uma forma de verificar a excitabilidade do reflexo H, e inferir sobre os fatores que podem interferir na excitabilidade do mesmo (CASABONA *et al.* 1990; NIELSEN *et al.* 1993; MYNARK and KOCEJA 1997; CARP *et al.* 2001; MAFFIULETTI *et al.* 2001; OZMERDIVENLI *et al.* 2002).

Algumas alterações da excitabilidade podem ser vistas em avaliações funcionais. Por exemplo, Schneider e Capaday (2003) verificaram a modulação do reflexo H durante diferentes fases da marcha após treinamento com tarefas motoras simples como andar para trás. Houve redução da amplitude do reflexo H do sóleus nas diversas fases, estas adaptações foram atribuídas pelos autores às alterações na excitabilidade dos MNs do sóleus e/ou aumento da inibição pré-sináptica (IPS). A IPS é uma via medular que tem função de modular a influência das fibras aferentes sobre os MNs. Ela será melhor explicada futuramente.

Na área de neurofisiologia de exercício físico a relação Hmax/Mmax é comparada antes e após o treinamento. Este índice serve para inferir sobre a excitabilidade do reflexo e com isto inferir sobre a excitabilidade dos MNs e/ou o grau da IPS (CASABONA *et al.* 1990; VOIGT *et al.* 1998; SCAGLIONI *et al.* 2003; GRUBER *et al.* 2007). A relação Hmax/Mmax no repouso é variável entre os sujeitos (SCHIEPPATI 1987). Esta variação era originalmente atribuída apenas a fatores genéticos, porém diferentes trabalhos (ROCHCONGAR *et al.* 1979; CASABONA *et al.* 1990; NIELSEN *et al.* 1993) têm mostrado que esta relação pode também estar relacionada com o estado de treinamento do sujeito, ou seja ser resultado de uma adaptação do sistema neural.

1.3) Influências sobre o reflexo H

Como dito anteriormente, o reflexo H é muito utilizado para verificar as adaptações neurais na medula. As alterações mensuradas na amplitude pico a pico do reflexo podem refletir alterações na excitabilidade do arco reflexo, e esta excitabilidade pode ser influenciada por comandos descendentes e/ou aferentes (NIELSEN *et al.* 1995a). Estas influências podem ser facilitatórias ou inibitórias (MIZUNO *et al.* 1971; HUGON 1973; HULTBORN *et al.* 1987b), geralmente fazem uso de um ou mais interneurônios em suas vias, que podem ter ação pré ou pós-sináptica (MEUNIER *et al.* 1993).

Algumas destas vias que influenciam o reflexo H podem ser avaliadas com o uso do reflexo H, porém neste trabalho duas vias inibitórias serão focadas: inibição recíproca dissináptica -IR (GOTTLIEB *et al.* 1982; CRONE *et al.* 1987; NIELSEN and KAGAMIHARA 1992; KIDO *et al.* 2004) e a inibição pré-sináptica – IPS (MIZUNO *et al.* 1971; HULTBORN *et al.* 1987a; CAPADAY *et al.* 1995b; ZEHR and STEIN 1999; MORIRA *et al.* 2001). A avaliação destas vias inibitórias é feita com o condicionamento do reflexo H por estímulos no nervo do músculo antagonista, neste caso o condicionamento do reflexo H do sóleus é feito com estímulos no nervo fibular comum (NFC), que inerva o músculo tibial anterior (TA).

A inibição recíproca (IR) está presente entre músculos antagonistas e acredita-se que sua função é, juntamente com comandos descendentes, ajustar a contração do agonista com o relaxamento do antagonista para um movimento mais coordenado. Para que isto ocorra, fibras aferentes partem do músculo antagonista e por meio de um interneurônio inibitório realizam uma hiperpolarização dos MNs do músculo agonista. Esta hiperpolarização dificulta a despolarização destes MNs por outros comandos (aferentes ou descendentes- Figura 1- 1-via 1).

1.4) Avaliação da inibição recíproca

As fibras aferentes Ia do músculo antagonista e comandos descendentes convergem para um interneurônio (InIa) que promove hiperpolarização dos MNs alfa do músculo agonista. Estes interneurônios ainda recebem influência descendente, de inibição recorrente (cel. Renshaw), de fibras cutâneas, do InIa que causa IR oriundo do músculo agonista (PIERROT-DESEILLIGNY and BURKE 2005) e de IPS (ENRIQUEZ-DENTON *et al.* 2000).

Existem três formas de avaliação da IR em seres humanos: 1) condicionamento do reflexo H (NIELSEN *et al.* 1995a; ILES 1998; MORITA *et al.* 2001), 2) condicionamento do EMG voluntário do sóleus (PETERSEN *et al.* 1998) e 3) técnica de “PSTH”, que avalia a probabilidade de disparo de UMs captadas com eletrodos de agulha após o condicionamento (ASHBY and WIENS 1989).

A avaliação com a utilização do reflexo H é realizada com o condicionamento do mesmo com estímulos no NFC. É importante ressaltar que para uma avaliação adequada da IR, o intervalo entre os pulsos condicionante e teste (intervalo C-T) deve estar entre 0 e 3 ms. Este atraso está relacionado com o local de colocação dos eletrodos e com o atraso central para uma sinapse (Figura 1- 1).

A avaliação mediante o condicionamento do EMG foi realizada em diversos estudos, em que um nível de contração do sóleus é mantido e simultaneamente o sujeito recebe estímulos no NFC. Este procedimento induz uma redução no disparo de alguns MNs gerando uma depressão no EMG retificado quando comparado a níveis basais. Esta depressão tem duração de 10ms e tem seu pico de mínimo em torno de 45ms após o estímulo. Levando em consideração a velocidade de condução das fibras, seriam necessários pelo menos 30ms para que qualquer efeito pudesse ser visualizado, sendo assim os 10ms restantes poderiam ser

considerados como atraso central. Segundo os autores (CAPADAY *et al.* 1990; PETERSEN *et al.* 1998) a ação da IR visualizada com base no EMG voluntário aparece com maior latência do que quando obtida com o reflexo H, pois o disparo das unidades motoras é assíncrono e a inibição sobre os MNs pode ocorrer de maneira mais irregular, diferente da avaliação com o reflexo H que é resultado de uma atividade síncrona das unidades motoras.

Capaday *et al.*(1995b) relataram o aparecimento de 2 trechos de inibição no EMG condicionado apresentando latência equivalente aos 5ms e 20ms entre o estímulo teste e condicionante, usado para o condicionamento do reflexo H. Sendo assim, a depressão do EMG voluntário após condicionamento por estimulação do NFC pode não ser exclusivamente efeito da IR clássica, podendo apresentar componentes da inibição obtida com atraso central de 15-20ms. Mais estudos são necessários sobre o assunto.

A quantificação da IR, segundo alguns autores é descrita como difícil, com baixos índices de inibição - menos de 10% (MIZUNO *et al.* 1971), porém outros autores não relatam o mesmo problema (CRONE *et al.* 1985; ILES 1986; PEREZ and FIELD-FOTE 2003). Esta diferença pode estar relacionada com o ponto de estimulação do NFC (fibras superficiais e profundas), assim como diferenças na população avaliada. Crone *et al.* (1987) verificou até 40% de inibição e sua amostra era constituída de estudantes com histórico de atividade física semanal. Além disto um maior grau de inibição recíproca também foi verificado no trabalho de Nielsen *et al.* (1993), em que atletas com diferentes cargas horárias semanais foram avaliados, e o grau de inibição aumentou conforme o nível de atividade dos sujeitos avaliados. Estes achados também podem sugerir uma plasticidade das vias, assim como achados em pacientes com espasticidade (MORITA *et al.* 2001).

Como citado anteriormente, a IR sofre modulações durante contrações voluntárias. Durante a ativação voluntária do músculo TA, a IR sobre o sóleus apresentou ligeiro aumento, somente durante a fase dinâmica da contração, e não na isométrica (CRONE

et al. 1987). Esta dificuldade em verificar este aumento pode estar relacionada com uma oclusão do interneurônio InIa por comandos descendentes, e de aferentes. Isto é fortemente sugerido durante uma avaliação da IR após bloqueio das aferentes Ia do TA durante a dorsiflexão (NIELSEN *et al.* 1995a), em que a inibição se tornou mais evidente.

A verificação do aumento da IR do TA sobre o sóleus, com o reflexo H durante a dorsiflexão seria esperada como resultado de um aumento do *drive* descendente (NIELSEN and KAGAMIHARA 1993) sobre a circuitaria envolvida com aumento da excitabilidade dos InIa que realizam a IR sobre os MNs do sóleus. Isto poderia aumentar a eficácia da ativação da IR pelo estímulo condicionante (PIERROT-DESEILLIGNY and BURKE 2005).

Já durante a flexão plantar o grau de IR sobre o sóleus apresentou-se reduzido (ILES 1986; CRONE *et al.* 1987; MORITA *et al.* 2001) quando comparado ao repouso. Esta redução pode estar relacionada com a inibição mútua entre os InIa e também associado com um aumento da IPS sobre as aferentes do TA (PIERROT-DESEILLIGNY and BURKE 2005).

Durante a co-contração entre sóleus e TA, a IR (do TA para o sóleus) apresenta considerável redução (NIELSEN and KAGAMIHARA 1992). Esta redução da IR possibilita que ambos os músculos se contraíam simultaneamente, e pode estar associada ao aumento da IPS sobre ambos os músculos. O aumento da IPS sobre as fibras aferentes de sóleus e TA reduz a interferência das mesmas sobre os MNs do sóleus, permitindo que o controle descendente predomine melhorando o controle.

Levando em consideração estas modulações das inibições e os achados de Nielsen *et al.* (1993) de que a IR é diferente nos sujeitos com diferentes históricos de atividade física, resta a dúvida se este sistema é adaptável ao treino ou se estes achados são resultados de características genéticas ou de treinamentos muito prolongados. No intuito de verificar a

existência de uma plasticidade a curto prazo, Perez *et al.* (2003) verificaram em sujeitos normais o efeito de um condicionamento da circuitaria medular sobre a IR do sóleus com estímulos elétricos sobre as Ia do TA. O padrão de estimulação (duração de 30 minutos) foi para simular o padrão de disparo das Ia do TA durante a fase de balanço na marcha. Os resultados apontam para um efeito agudo de aumento da inibição, até 5 min após o fim do condicionamento, que, entretanto, não se manteve com o passar do tempo.

Crone *et al.* (1994) verificaram o grau de IR em pacientes com esclerose múltipla (que apresentam redução no grau de IR - MORITA *et al.* 2001) após estimulações freqüentes sobre o NFC. O grupo apresentou níveis de IR pós-condicionamento semelhantes ao grupo controle sem patologias. Estes resultados sugerem uma adaptação da via inibitória responsável pela IR, em caso de treinamento de pacientes ou estimulação elétrica.

Apesar destes achados, que sugerem plasticidade, nenhum estudo longitudinal foi realizado para estudar as variações nos níveis de IR com treinamento físico envolvendo contrações voluntárias em indivíduos saudáveis. Desta forma, um dos objetivos do presente trabalho foi verificar a existência de alteração nos níveis de IR, em decorrência de treinamento físico, assim como da IPS descrita a seguir.

1.5) Inibição Pré-sináptica

A eficácia das sinapses das fibras aferentes sobre os motoneurônios pode ser modulada pela IPS por meio de comandos supra-espinhais. As vias que envolvem a IPS são complexas, podendo abranger músculos sinergistas, antagonistas, vias sensoriais cutâneas. Em todos os casos a modulação da sinapse ocorre sobre os neurônios pré-sinápticos das vias aferentes (RUDOMIN 1999). Com a IPS a influência periférica é modulada para cada

movimento para melhor ajudar o controle motor. A Figura 1- 1 (via 2) ilustra a IPS que ocorre entre músculos.

A IPS é intermediada por interneurônios denominados InPAD (“primary afferent depolarisation”) que estabelecem sinapses axo-axônicas gabaérgicas nos terminais das aferentes Ia. Estes interneurônios modulam a liberação de glutamato pelo terminal Ia “pré” por meio da ativação de receptores de 2 tipos, encontrados nos terminais das vias aferentes. Por exemplo, a ativação de receptores tipo A promove o aumento da permeabilidade das terminações Ia aos íons cloreto (Cl⁻), despolarizando-as. Em decorrência disto, a amplitude do potencial de ação propagado nestes terminais aferentes é reduzida, o que reduz ou bloqueia o influxo de cálcio para o interior da célula, reduzindo a liberação de neurotransmissores na fenda sináptica (RUDOMIN *et al.* 1993). Os efeitos da IPS têm maior duração e apresentam maior atraso central em relação a IR dissinápica (PIERROT-DESEILLIGNY and BURKE 2005).

A ativação dos InPAD tem origem periférica e central. No primeiro caso, e tomando como exemplo a IPS sobre as terminações das aferentes do sóleus, a IPS pode ser ativada por estímulos elétricos no NFC, ou vibração sobre o músculo tibial anterior (STEIN 1995).

Assim como a IR, a IPS sofre influências descendentes (MEUNIER 1999), entre sinergistas (HULTBORN *et al.* 1987a) e receptores cutâneos (DELWAIDE *et al.* 1981). Com estas influências, o grau de IPS se altera durante a ativação voluntária. Durante a dorsiflexão a IPS se mostrou aumentada na fase dinâmica e tônica (CRONE and NIELSEN 1989; MEUNIER and MORIN 1989; NIELSEN and KAGAMIHARA 1993; LEONARD *et al.* 1999; MORITA *et al.* 2001). O aumento da IPS aumenta a seletividade dos comandos descendentes e auxilia na preparação do movimento, uma vez que o aumento da IPS foi constatado 50ms antes da contração do TA (NIELSEN and KAGAMIHARA 1993).

Achados da literatura utilizando o paradigma da facilitação heterônima do reflexo H do sóleus pelo quadríceps, apontaram para a redução da IPS durante flexão plantar somente na fase dinâmica (HULTBORN *et al.* 1987b; MEUNIER and MORIN 1989; MORITA *et al.* 2001). Em outros dados, não publicados, desenvolvidos neste laboratório com condicionamento do reflexo H pelo NFC, verificou-se redução de 33% da IPS durante a flexão plantar isométrica, obtida com intervalos entre estímulo teste e condicionante, variando entre 15-100ms, referentes às inibições D1 e D2 (MATTOS 2003), descritas no item a seguir.

Metodologia para verificação da IPS

Neste trabalho a IPS tem grande peso, tendo em vista que as discussões existentes na literatura sobre as alterações na modulação da excitabilidade do arco reflexo após treinamento envolvem alterações na IPS (CASABONA *et al.* 1990; NIELSEN *et al.* 1993; AAGAARD *et al.* 2002).

Visando promover uma fundamentação a cerca da metodologia para verificar a IPS, apresenta-se a seguir uma descrição das abordagens para avaliação da IPS. Há na literatura mais de uma forma de se avaliar a IPS, uma delas ainda trás dúvidas em relação ao acesso efetivo à vias pré-sinápticas e portanto necessita de algumas explicações prévias.

Uma das maneiras de avaliar a IPS, utilizando o reflexo H do sóleus, é com a utilização do condicionamento do reflexo H do sóleus pelo estímulo no NFC (MIZUNO *et al.*, 1971). O condicionamento é feito com o estímulo no NFC antecedendo o estímulo no NT em alguns milissegundos. Mizuno *et al.* (1971) realizaram o condicionamento com diferentes intervalos C-T e obtiveram 3 trechos de inibição: com intervalo C-T de 2 a 3ms, de 10 a 30ms e de 60 a 120ms. O primeiro trecho de inibição foi atribuído à inibição recíproca dissináptica, o segundo foi denominado inibição D1 e foi atribuído à IPS, e a terceira inibição foi atribuída

a estiramentos seguidos dos fusos neuromusculares do sóleus após contração do TA. Esta inibição, obtida com intervalo C-T de 100ms, foi encontrada quando o pé do indivíduo estava solto, o que permitia um pequeno movimento de tornozelo, e após a fixação do pé a inibição apresentou-se bem menor. Desta forma, para Mizuno *et al.* (1971) a metodologia adequada para a verificação da IPS é por meio do condicionamento do reflexo H com estímulos no NFC, com intervalo C-T entre 10 e 30ms; sendo a inibição encontrada no período da D2 atribuída a outros fatores.

Porém trabalhos como os de Capaday *et al.* (1995, 1997), de Leonard *et al.* (1999) e Zehr e Stein (1999) utilizaram o intervalo C-T de 100ms como uma forma de avaliar a IPS. Segundo estes autores, a avaliação com latência de condicionamento menor não é apropriada, pois pode sofrer influências das inibições pós-sinápticas.

Contribuindo para estes achados, Iles e Pisini (1992) aplicaram uma estimulação magnética transcraniana sobre a região medial inter-hemisférica que promovesse uma inibição do reflexo H, e para avaliar diferentes circuitarias medulares, o reflexo H condicionado pelo estímulo cortical foi também condicionado por estímulos no NFC com diferentes intervalos C-T. Somente os intervalos referentes à IR dissinápica (3ms) e D1(10-30ms) sofreram interferências das estimulações magnéticas corticais, enquanto a IPS causada por com estímulos vibratórios sobre o bíceps femoral, e o condicionamento do reflexo H com estímulos no NFC com intervalos referentes a D2, não sofreram qualquer interferência. Com estes resultados, os autores atribuíram à IPS os resultados obtidos com condicionamentos com intervalos C-T acima de 60ms.

No entanto Faist *et al.* (1996), fizeram uso de potencial evocado motor (PEM) para verificar a origem da inibição evocada com estímulos no NFC com C-T referentes a D1. Segundo os autores o PEM não sofreu alterações com os estímulos periféricos, sugerindo uma

origem pré-sináptica aos resultados obtidos com intervalos C-T da D1, uma vez que as vias descendentes não recebem IPS sobre seus terminais (NIELSEN and PETERSEN 1994).

Os resultados com estimulação magnética de Iles e Pisini (1992) e Iles (1998), reforçam a contribuição de efeitos inibitórios pós-sinápticos quando o intervalo C-T está abaixo de 60ms. Eles evidenciaram claramente que intervalos C-T acima de 70ms estão associados à IPS, referida como D2 por Mizuno *et al.* (1971). Vale salientar que estes autores atribuíram aos resultados obtidos com a D2 a uma inibição decorrente de estiramentos do sóleus após contrações do TA. Porém, em todos os experimentos dos trabalhos citados (CAPADAY 1997; LEONARD *et al.* 1999; ZEHR and STEIN 1999), houveram boa fixação do pé, descartando-se qualquer estiramento do sóleus.

No presente trabalho, as inibições associadas a intervalos C-T de 15-20 ms e de 90-110ms serão denominados D1 e D2 respectivamente, apesar de na literatura ambas serem atribuídas a IPS. Além de verificar possíveis adaptações das inibições D1 e D2 ao treinamento físico, o presente trabalho ainda pretende conseguir dados adicionais que permitam um melhor esclarecimento a respeito das origens das inibições D1 e D2.

1.6) Adaptações neurais

Com todas estas informações vemos que o SNC faz uso de uma série de vias para ajustar o controle motor ao movimento. Sendo este movimento treinado, estas vias podem ser passíveis de mudanças durante o movimento e talvez causando alguma mudança permanente, neste caso chamado de plasticidade (WOLPAW and TENNISSEN 2001).

Toda a medula espinal, MNs, InIa e circuitarias inibitórias e facilitatórias, está sob influência descendente (vias corticoespinhais), e por vias aferentes oriundas dos receptores cutâneos e musculares (sinergistas e antagonistas). Todas estas fibras aferentes

podem contribuir para o aumento ou redução da eficácia de uma via inibitória e/ou facilitatória bem como os comandos descendentes.

Estes comando sobre as vias de IR e IPS (NIELSEN *et al.* 1995a) interferem como as mesmas influenciarão no movimento voluntário. Um exemplo são as inibições que as aferentes do TA causam sobre os neurônios medulares associados ao sóleus durante a ativação voluntária de ambos os músculos. As inibições sofrem um pequeno aumento durante a ativação voluntária do TA, sendo mais evidente na IPS do que na IR (LEONARD *et al.* 1999; MORITA *et al.* 2001). Já durante a flexão plantar, as inibições causadas por IR e IPS causadas sobre o sóleus apresentam redução (HULTBORN *et al.* 1987b; ILES and ROBERTS 1987; MEUNIER and MORIN 1989; MORITA *et al.* 2001; MATTOS 2003).

Do conhecimento destas modulações momentâneas das vias inibitórias de IR e IPS, surge a dúvida se estas alterações poderiam se tornar persistentes com algum tipo de treinamento, sugerindo plasticidade das circuitarias medulares.

É sabido que em animais a modulação da amplitude do reflexo H é possível de ser condicionada e controlada. Experimentos em ratos mostram que reforço positivo faz com que os animais consigam modular a amplitude do reflexo H, e segundo os autores a hipótese deste controle vem da modulação das inibições e excitações de fibras aferentes homônimas ou heterônimas (WOLPAW and CHEN 2001). As alterações ocorrem sem mudanças no volume do músculo ou atividade de antagonistas, agonistas ou sinergistas (WOLPAW and O'KEEFE 1984). Os autores ainda dividem a plasticidade em 2 fases, uma rápida nas primeiras 6 horas em que o reforço positivo é mais efetivo, e outra tardia que continua indefinidamente. Para que ocorra a segunda fase, provavelmente existam mudanças descendentes (suprasegmentares) para reforçar os padrões da fase 1, ou alterações da circuitaria reflexa (região das fibras Ia) decorrente de diferentes comandos descendentes. O treino deve gerar

novos padrões que podem ser acessados pela memória e que a continuidade do treino poderá levar a mudanças estruturais no nível medular (WOLPAW and O'KEEFE 1984).

Além disto, os treinamentos alteram algumas propriedades eletrofisiológicas do MNs como o limiar de disparo, velocidade de condução (CARP *et al.* 2001). Gardiner *et al.* (2006) realizaram uma revisão acerca das adaptações sofridas pelo MNs alfa com o treinamento. Estas adaptações podem ocorrer em diversos pontos como: morfologia do corpo celular e reestruturação dendrítica (ISHIHARA *et al.* 2004), aumento de liberação de neurotransmissores na junção neuromuscular (DESAULNIERS *et al.* 2001), alterações eletrofisiológicas no potencial de membrana, taxa de disparo de potenciais de ação (BEAUMONT and GARDINER 2003). Apesar destas adaptações já terem sido comprovadas, as suas relações funcionais ainda não são claras, e mais estudos são necessários para sua compreensão e para verificação destes efeitos em seres humanos.

1.7) Tipos de Treinamentos

Com o início dos estudos de adaptações medulares em seres humanos, atletas de diferentes áreas começaram a ser comparados. Antes de compararmos os resultados presentes na literatura vamos diferenciar os principais tipos de treinos pesquisados: de resistência (*endurance*), de força máxima e de potência muscular.

Eles se diferenciam quanto à implementação de resistência (carga), repetições e velocidade do movimento. Os diferentes treinos vão interferir diretamente nos resultados de força, hipertrofia, velocidade de contração.

Os treinos de força máxima e de potência são semelhantes em suas características metabólicas (metabolismo anaeróbico-(KOMI 2003)), e na existência de sobrecarga para execução dos movimentos. Esta imposição de sobrecarga propicia maiores

adaptações musculares, portanto estas características têm sido as mais estudadas nestes 2 grupos.

Já nos estudos com treino de resistência, o foco dos estudos são as características metabólicas, sendo este treino de metabolismo aeróbico, tais como variáveis cardio-respiratórias, assim como análise de índice de consumo de O_2 (VO_{2max}).

As características mecânicas de cada treino interferem diretamente nas adaptações que o sistema neuromuscular sofre. Em treinamentos de resistência, a exposição ao esforço é prolongada, geralmente de baixa intensidade, como, por exemplo, corridas de longa distância. Para a manutenção da atividade prolongada, os músculos devem ser mais resistentes à fadiga, sem necessidade de vencer grandes cargas. Nestes treinos, é possível manipular a frequência da atividade e volume de treino, porém não há implementação de carga com pesos. Desta forma, os sistemas neuromuscular, cardio-respiratório, metabólico e vascular se adaptam para suprir estas necessidades. Como a implementação de sobrecarga é nula, as adaptações musculares são menores e conseqüentemente foram menos exploradas pela literatura. Contudo, este treino é capaz de proporcionar adaptações neurais (KOCEJA and KAMEN 1992), uma vez que há mudanças na coordenação motora de antagonistas e sinergistas e deve ser melhor explorada.

Já os comportamentos neuromusculares dos treinos de força máxima e potência, que serão aqui denominados genericamente como treinos de força são mais explorados. Estes treinos envolvem necessariamente a aplicação de sobrecarga durante a execução do movimento a ser treinado. A diferenciação entre os 2 tipos de treino será dada pela sobrecarga aplicada e conseqüentemente pela velocidade de execução do movimento. Para o treino de potência, a característica mais relevante é a execução do movimento que gere maior potência muscular, para isto o movimento deve ser executado com a maior

velocidade possível e com a maior carga possível. Já no treino de força máxima a sobrecarga imposta vai ser sempre próxima da máxima.

É sabido que na presença de cargas elevadas a velocidade máxima de contração é mais baixa, e que com baixas cargas a velocidade de execução máxima é maior (TIHANYI *et al.* 1982). Este comportamento pode ser visualizado na curva força x velocidade na Figura 1- 2. Existindo um ponto em que se obtém a velocidade máxima exercida com a carga máxima. Este é o ponto em que o músculo gera maior potência, ou seja, de máximo produto entre $F(\text{força}) \cdot v(\text{velocidade})$

Figura 1- 2 Curva da velocidade de execução de um movimento em função da carga de resistência.

Para o cálculo da sobrecarga ideal para cada tipo de treino, é calculada a carga máxima que o indivíduo consegue realizar para um dado movimento. Esta carga é denominada 1RM (Uma Repetição Máxima), e é a carga para o sujeito realizar uma única repetição, ou seja, uma segunda repetição seria inviável por fadiga muscular.

Com os dados de 1RM, a sobrecarga de 30-40% de 1RM é calculada para a aplicação do treino de potência (KRAEMER and RATAMESS 2004a), com o movimento sendo executado com a velocidade máxima. Geralmente envolvem programas de 3 séries com cerca de 12 repetições cada.

Já no caso do treino de força máxima a sobrecarga a ser vencida durante o treino é ao redor de 70-80% da 1RM (KRAEMER and RATAMESS 2004b). A orientação durante a execução do movimento é para este ser realizado com a maior velocidade possível. Porém considerando a curva força x velocidade (Figura 1- 2), a velocidade de execução durante o treino de força máxima será menor e o movimento mais lento. Devido à alta sobrecarga o número de repetições cai para 4-6 por série.

Devido à diferença na velocidade de execução nos 2 tipos de treinos, o ciclo de movimento realizado no treino de potência é mais curto (WILSON *et al.* 1993; KELLIS *et al.* 2005), e portanto o tempo de exposição ao estímulo mecânico é maior durante o treino de força máxima (ELLIOTT *et al.* 1989).

Uma outra característica importante dos tipos de treino que serão analisados é a exigência muscular para cada um deles. Como discutido anteriormente, no treino de resistência os músculos devem ser resistentes à fadiga sem grandes necessidades de vencer sobrecarga. Já no treino de força máxima os músculos precisam gerar muita força, mas com pouca necessidade de resistência. Estas características dos movimentos estão relacionadas também com o tipo de fibras musculares existentes.

De forma simplificada existem 3 tipos de fibras musculares: I, IIa e IIb. As fibras musculares tipo I, inervadas por MNs pequenos (tipo S 'slow'), têm contração lenta, com alta resistência à fadiga e baixa capacidade de gerar força. As fibras tipo IIa têm maior capacidade de gerar força, com resistência moderada à fadiga. Já as fibras tipo IIb, inervadas pelos MNs maiores (tipo FF 'fast fatigable'), geram muita força por um curto período de tempo, por serem altamente fadigáveis (BURKE 1980; KANDEL *et al.* 2000; WINTERS and CRAGO 2000).

O padrão de recrutamento das fibras não se altera com o movimento, as fibras tipo I são recrutadas primeiramente, seguidas pelas IIa e IIb. Porém os diferentes treinos

podem gerar adaptações nestas fibras para facilitar o movimento treinado. O treino com implantação de sobrecarga faz com que as fibras tipo IIb sofram mudanças apresentando mais características das fibras tipo IIa (STARON *et al.* 1994a). Isto propicia maior resistência à fadiga para o exercício treinado. A mudança de fibras tipo I para tipo IIa é mais difícil de ser verificada e manipulada com exercícios (ALLEMEIER *et al.* 1994), porém foi verificada com o desuso muscular (JAKOBSSON *et al.* 1991).

Fica claro, portanto, que os três treinos exigem de formas diferentes o sistema neuromuscular, possivelmente com programações motoras e recrutamento muscular diferenciado. Isto necessariamente reflete nas diferentes adaptações sofridas pelos músculos e pelo controle motor do indivíduo que treina.

1.8) Adaptações medulares relacionadas à treinamento

A maioria dos estudos de adaptações neurais ao exercício físico é transversal e poucos abordam a circuitaria inibitória para avaliar as adaptações. A variável mais utilizada para se inferir sobre a via reflexa Ia-MN do sóleus é a relação Hmax/Mmax. Apesar de sua grande utilização, os resultados ainda não claros para todas os tipos de treino, além de algumas discordâncias.

Para atletas submetidos durante anos a treinos de potência apresentaram menor relação Hmax/Mmax, quando comparado a atletas de resistência (ROCHCONGAR *et al.* 1979), e até mesmo menor que sujeitos destreinados (CASABONA *et al.* 1990; MAFFIULETTI *et al.* 2001; OZMERDIVENLI *et al.* 2002). Entretanto Nielsen *et al.* (1993) mostraram que esta relação aumenta com o nível de atividade física, e portanto a relação Hmax/Mmax deveria ser maior entre atletas de potência quando comparados a sedentários.

Pouco se sabe sobre as adaptações a longo prazo em atletas submetidos a treino de força máxima, com estes atletas foram feitos estudos longitudinais apresentados mais adiante.

Além disto, Nielsen *et al.* (1993) em um estudo transversal, mostraram que bailarinas apresentam menor relação Hmax/Mmax quando comparadas a outros atletas de força ou potência. Eles atribuíram esta redução da relação ao maior nível de co-contração entre os músculos sóleus e TA. Em complemento ao trabalho de Nielsen *et al.* (1993), Perez *et al.* (2004) verificaram a relação Hmax/Mmax antes e após o treinamento com co-contração entre sóleus e tibial anterior durante 30 min. Os sujeitos sedentários foram instruídos a manter o torque igual a zero, mantendo uma atividade mínima no sóleus e TA. Após o treino, a excitabilidade do reflexo diminuiu. Sendo assim a redução da relação Hmax/Mmax pode estar relacionada com um maior nível de co-contração entre sóleus e TA.

Poucos são os estudos longitudinais com treinamento físico e plasticidade neural. Voigt *et al.* (1998) estudou o reflexo H no repouso e durante salto, antes e após 4 semanas de treinamento com salto. No repouso o reflexo Hmax apresentou um aumento de 28% após o treinamento. Já durante o salto, o reflexo que era 40% da amplitude do reflexo H durante o repouso, não apresentou mudanças com o treinamento.

Aagaard *et al.* (2002) avaliaram a relação Hmax/Mmax do sóleus em um estudo longitudinal em que os sujeitos foram submetidos a treinamento com agachamento durante 14 semanas. A avaliação do reflexo Hmax foi realizada em repouso e durante a flexão plantar máxima. O aumento da excitabilidade do reflexo só foi verificado durante a CVM, e não no repouso, sendo atribuída pelos autores a adaptações corticais e possíveis alterações na IPS. Segundo os autores, o aumento da excitabilidade do reflexo ou dos MNs ou redução da IPS, possibilita uma melhor utilização da entrada aferente das Ia causadas pelo estiramento do sóleus antes e durante a fase de contato com o solo, o que pode contribuir para um aumento na propulsão e aceleração dos membros inferiores.

Como foi visto, alguns trabalhos demonstraram adaptação neural ao treinamento físico (CASABONA *et al.* 1990; VOIGT *et al.* 1998; CARROLL *et al.* 2002; AVELA *et al.* 2006), e parte destas alterações foi atribuída às alterações na medula espinhal, sem, no entanto, as vias inibitórias terem sido avaliadas diretamente.

Somente alguns autores relacionaram o estudo destas circuitarias com o treinamento físico. Nielsen *et al.* (1993) mostraram que não só a relação Hmax/Mmax aumenta com o nível de atividade, como a IR também foi maior quando comparado ao sedentário. Neste trabalho foram avaliadas as relações Hmax/Mmax e a IR em 4 grupos diferentes: grupo de sedentários, grupo com atividades regulares 1-10hs por semana, grupo de atletas relacionados a diferentes esportes submetidos a treinos de 15 a 20hs semanais e bailarinas profissionais cujo treino mínimo semanal era de 25hs. A relação Hmax/Mmax se mostrou maior conforme o nível de atividade semanal, a relação Hmax/Mmax era maior no grupo que tinha maior nível de atividade semanal, com exceção das bailarinas que apresentaram uma menor relação Hmax/Mmax assim como menor grau de IR.

Segundo os autores a redução da relação Hmax/Mmax deve ser atribuída a diferenças na transmissão entre as fibras Ia e os MNs, principalmente relacionadas a alterações da IPS. Um aumento da IPS poderia causar menores reflexos (menor Hmax) e menores níveis de IR como visto nas bailarinas (NIELSEN *et al.* 1993). Neste caso a forte contração exigida na atividade de dança clássica está associada a um suposto aumento da IPS e redução da IR para manutenção do equilíbrio nas diferentes posturas de balé. Esta supressão do ganho do reflexo também foi verificada em bailarinas avaliadas durante a mudança da postura prona para em pé, em que postura de pé exige maior ativação muscular (MYNARK and KOCEJA 1997).

No entanto as variações nas sinapses entre Ia e MNs podem ter sofrer alterações crônicas e também interferir na relação Hmax/Mmax, como pode ser verificado em

trabalhos com a depressão homossináptica. A depressão homossináptica está reduzida em pacientes com espasticidade (FAIST *et al.* 1994; NIELSEN *et al.* 1995b), assim como em pacientes submetidos a treino de potência (EARLES *et al.* 2002).

Um estudo interessante foi realizado verificando a plasticidade transitória das vias inibitórias medulares (IR e inibição D1) (PEREZ *et al.* 2003). Neste estudo estas inibições sobre o reflexo H do sóleus foram verificadas antes e após um condicionamento com estímulos elétricos no NFC durante 30 minutos. As avaliações das inibições foram realizadas a cada 5 minutos durante 20 minutos. O grau da IR foi maior após 5 minutos do fim da estimulação, já a inibição D1 não apresentou diferença. Estas mudanças foram somente agudas, uma vez que após 10 minutos do término do condicionamento não houve mais alterações quando comparadas à situação prévia.

Como pôde ser visto, as alterações da excitabilidade do reflexo H com o treino já foram bastante exploradas na literatura, e em todos os casos os resultados foram atribuídos a alterações na IPS, embora o grau de IPS nunca tenha sido mensurado diretamente antes e depois da atividade física.

Tendo em vista este panorama de adaptações neuromusculares ao treinamento, com alterações na excitabilidade do reflexo H atribuídas a alterações na IPS e os indícios de adaptações agudas das circuitarias inibitórias ao condicionamento, surge a dúvida se é mesmo a IPS a responsável por estas alterações de excitabilidade na via reflexa, e se as diferenças verificadas nos níveis de IR entre atletas de diferentes modalidades é resultado de uma seleção genética natural, ou seria um processo de plasticidade. Sendo um processo de plasticidade, qual seria o tempo de exposição ao treino para se verificar o início das mudanças?

Com isto surge a necessidade de uma avaliação longitudinal das circuitarias inibitórias sujeitas a treinamento físico. O presente trabalho selecionou inicialmente para

avaliação de um grupo de recrutas militares do Exército Brasileiro. A determinação do grupo avaliado levou em consideração as características de ativação do sóleus nas atividades de rotina do treinamento militar, com manutenção de longos períodos de pé, além de marchas e corridas. Este tipo de atividade pode ser classificado como apresentando características aeróbicas, de resistência neuromuscular.

Posteriormente, foram avaliados sujeitos submetidos a treinamento de fortalecimento de membros inferiores com características de treinos de força máxima e potência. Com isto, os 3 diferentes tipos de treinos foram avaliados a fim de verificar a ocorrência de adaptação nas circuitarias medulares. Os experimentos também permitiram verificar se os diferentes exercícios físicos podiam afetar de maneiras distintas a plasticidade neural na medula espinhal.

2) OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é verificar se o treinamento físico pode gerar algum tipo de efeito crônico nos graus de IR e de IPS.

Objetivos específicos

- Avaliação da CVM isométrica do TA e do sóleus com análise do torque e do EMG pré e pós treinamento.
- Verificação das adaptações na relação Hmax/Mmax e no torque gerado por estas respostas.
- Investigação da existência de adaptações nas inibições verificadas com o condicionamento do EMG voluntário do sóleus, e se estas adaptações diferem com os treinamentos.
- Havendo alterações no grau de inibição, verificar se há dependência do tipo de treinamento.
- Na presença de alterações nas variáveis avaliadas no grupo de treinamento do exército, verificar se estas alterações se mantêm ao longo do tempo.
- Investigar um possível comportamento diferenciado da inibição D1 e D2 ao treinamento.

3) MATERIAIS E MÉTODOS

3.1) Sujeitos e treinamentos

Foram analisados 25 sujeitos do sexo masculino, com idade de 18 anos, todos ingressantes nas atividades militares no ano de 2006. A seleção dos sujeitos foi feita com base no menor histórico de atividade física semanal. Para tal, foi feito um questionário de atividades para 80 recrutas, dos quais apenas 40 foram considerados sedentários, com no máximo 2hs de atividade semanal. Dentre os sujeitos sedentários, 25 se voluntariaram para a participação no estudo.

Previamente aos experimentos, os sujeitos foram orientados a respeito de todos os procedimentos a serem realizados e assinaram o termo de consentimento livre esclarecido. Todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética local e pelo comitê interno do Exército Militar Brasileiro.

A primeira série de avaliações foi realizada antes do início oficial das atividades militares de 2006, na primeira semana de março, com reavaliação 3 e 9 meses depois. Somente 2 sujeitos não apresentaram reflexos H e foram excluídos do trabalho na primeira coleta de dados. Na segunda coleta de dados 2 sujeitos não participaram por motivos de saúde e na terceira coleta somente 12 sujeitos retornaram para avaliação.

Paralelamente a estas coletas, foram realizados os mesmos paradigmas em 29 sujeitos do sexo masculino (idade média $24,97 \pm 5,72$ anos), que passaram por 2 tipos diferentes de treinamento nos membros inferiores. Os sujeitos foram divididos aleatoriamente em 3 grupos de treino: controle, força máxima e potência (Tabela 1). Ambos os treinos tiveram duração de 8 semanas. Os movimentos realizados durante o treino não foram específicos para o TA ou SO, porém envolveram as atividades coordenadas destes músculos

para a execução dos movimentos requisitados. O grupo controle foi avaliado para comparação com os grupos treinados e garantir efeito de treino. Para isto estes sujeitos foram instruídos a não mudar os hábitos de atividades físicas durante o período de 8 semanas.

Tabela 1 Distribuição de sujeitos entre os grupos controle, força máxima e potência, e as respectivas idades.

	Grupo controle	Grupo Força Máxima	Grupo potência
N de Sujeitos	8	9	12
Idade média	28,55±6,22	22,55±4,63	24,38±6,64

3.1.1) Treinamento militar

Todos os recrutas passaram diariamente por atividades físicas pré-determinadas pelo cronograma militar que envolve variados exercícios. Os exercícios mais relevantes para o presente estudo foram as corridas, marchas e longos períodos de pé (denominados: Formatura e Ordem Unida). Demais atividades como flexões de braço, abdominais, barras, e lutas melhoram o condicionamento físico, mas provavelmente não afetaram diretamente a atividade do sóleus e TA.

O nível de atividade semanal variou de 2 a 5 vezes. A Tabela 2 descreve as atividades em cada semana do primeiro período. É importante salientar que estas atividades foram estabelecidas para o grupo, porém o volume individual de atividade não foi analisado.

A primeira avaliação foi realizada nos dias 3 a 6 de março de 2006, e a re-avaliação foi realizada nos dias 6, 7 e 8 de junho de 2006. A terceira e última coleta foi realizada na primeira semana de novembro de 2006. Este segundo período constou de atividades semelhantes em menor quantidade, sem a possibilidade de discriminação individual das horas de marcha e manutenção da postura em pé.

Tabela 2 Volume de atividade física semanal com membros inferiores, nas primeiras 12 semanas do treinamento militar

Semana	Volume de Corrida (4400m)	Postura em pé por 1h e meia
1	3 vezes	4 vezes
2	4 vezes	4 vezes
3	3 vezes	3 vezes
4	3 vezes	5 vezes
5	3 vezes	5 vezes
6	2 vezes	2 vezes
7	3 vezes	2 vezes
8	2 vezes	4 vezes
9	2 vezes	3 vezes
10	2 vezes	2 vezes
11	2 vezes	2 vezes
12	2 vezes	2 vezes
Total realizado no primeiro período	31 corridas de 4400 metros	57 horas na postura de pé restrita

3.1.2) Treinos de força máxima e potência

Os treinamentos de força máxima e potência foram determinados e acompanhados pelo aluno de mestrado da EEFE – USP, Leonardo Leandro Lamas, uma vez que estes sujeitos também faziam parte de seus estudos de mestrado.

O treinamento foi realizado ao longo de 8 semanas, com treinos três vezes por semana. O treinamento consistiu em diversas séries de agachamento com diferentes cargas, números de séries e de repetições entre os grupos. A determinação da carga de treino para cada sujeito foi estipulada com base na carga máxima para o mesmo movimento, indicada

como 1 RM. O treinamento de potência teve início com carga equivalente a 30 % da 1RM, evoluindo para até 50% nas semanas finais do treinamento. Já o treino de força máxima teve início com carga 50 % da 1RM evoluindo para praticamente 90% do valor da 1 RM. Com 4 semanas de treino, o valor de 1RM foi reavaliado para um ajuste na carga de treinamento. Em ambos os casos os sujeitos eram instruídos a realizar o movimento com a máxima velocidade possível, mas devido à carga de treino as velocidades de execução no grupo potência foi maior, respeitando a curva força x velocidade descrita anteriormente.

O treino de força máxima e de potência envolvem o agachamento com peso livre. Este movimento fortalece os músculos extensores dos membros inferiores preferencialmente os músculos que formam o quadríceps femoral. Porém a execução completa do movimento possibilita a flexão plantar realizada pelos músculos sóleus e gastrocnêmios, aqui avaliados. Além disto os músculos dorsiflexores agem como estabilizadores articulares durante o movimento, e também poderiam sofrer efeitos com o treino. O fortalecimento do quadríceps, proporcionado por estes treinamentos também pode interferir na excitabilidade do MNs do sóleus e no grau da IPS, uma vez que a facilitação das fibras aferentes do quadríceps sobre os MNs do sóleus, assim como a IPS sobre as fibras Ia do sóleus oriundas das aferentes do quadríceps são bem conhecidas (Hultborn *et al.* 1987b).

3.2) Estimulações e Captações

3.2.1) Reflexo H e Eletromiogramas (EMG)

Os indivíduos foram devidamente posicionados sobre uma poltrona, de forma que permanecessem com o quadril a 110°, joelho a 135° e tornozelo a 110°. O pé direito foi fixado no pedal de modo a impedir qualquer movimentação da articulação do tornozelo. Na

extremidade do pedal havia um transdutor de torque fixado (especificações) como mostra a Figura 3- 1.

Figura 3- 1 Cadeira, pedal e transdutor de força. Na figura a direita é possível verificar o pedal e o transdutor com mais detalhe.

Para a obtenção do reflexo H no sóleus foi realizada a estimulação bipolar do nervo tibial (NT), com eletrodos de superfície Dantec (Figura 3- 2), com contatos de 5mm de diâmetro compostos de feltros embebidos em solução salina, fixado na fossa poplíteia com fitas de velcro. Os pulsos de estimulação foram retangulares, com 1ms de duração.

Para a captação do reflexo H do sóleus foram utilizados 2 eletrodos de superfície de disco com 0,8 cm de diâmetro (Figura 3- 2). Eles foram fixados sobre o músculo sóleus 4 e 6 cm abaixo da união dos ventres dos músculos gastrocnêmio lateral e medial, na região postero-medial da perna (segundo sugestão de (HUGON 1973)). Os eletrodos de captação do EMG do TA foram fixados sobre o ventre muscular do mesmo. Para esta fixação, estabeleceu-se uma relação com o tamanho da fíbula de cada sujeito, o eletrodo foi fixado no final do primeiro quarto da fíbula, sobre o ventre muscular, e outro eletrodo 2 cm abaixo

(Figura 3- 3). Foram utilizados gel eletrolítico (Carbogel) para melhorar o contato com a pele e fitas adesivas (Micropore) para fixação. A taxa de aquisição de todos os sinais foi de 5kHz. Para o eletrodo terra estipulou-se a localização na lateral da tíbia (Figura 3- 3).

Após a fixação dos eletrodos de estimulação no NT, foram determinados os valores máximos do reflexo H (Hmax) e onda Mmax. A onda Mmax foi obtida com estímulos supra-máximos.

Figura 3- 2 Determinação do ponto de captação do EMG do músculo sóleus e do tibial anterior, com o eletrodo de superfície (foto inferior direita). Foto superior direita mostra o eletrodo de estimulação do nervo tibial, posicionado na fossa poplíteia, ilustrado na figura à esquerda.

3.2.2) Estímulo condicionante

O reflexo H e o EMG do sóleus foram condicionados pela estimulação das vias aferentes do TA. O NFC foi estimulado com pulso retangular de 1ms de duração, por meio de um eletrodo de superfície (Dantec –Figura 3- 3), fixado com velcro, cerca de 2 cm abaixo da cabeça da fíbula (Figura 3- 3). Seus contatos têm aproximadamente 1 cm de diâmetro, com

2 cm de distância entre si. Para a fixação do eletrodo, foi solicitada uma suave contração do TA para a obtenção do reflexo H no mesmo, desta forma garantindo-se a estimulação das fibras aferentes.

Figura 3- 3 À direita eletrodo de estimulação do nervo fibular comum, à esquerda posicionamento do eletrodos de captação do EMG do músculo tibial anterior e posição do eletrodo terra.

Um limiar motor (LM) na estimulação nervosa foi definido como o valor da corrente de estimulação (1ms de duração) que causa uma onda M no TA com valor em torno de 100uV. Este valor é suficiente para estimular as vias aferentes do TA que vão estimular as vias inibitórias (IR e IPS) sobre os sóleus, sem causar contrações vigorosas no músculo que possam interferir nos resultados. Para garantir boa eficácia da estimulação os valores da onda M do TA foram reavaliados ao fim de cada procedimento experimental.

O rígido controle do estímulo condicionante é de profunda importância neste caso, em que serão realizadas reavaliações ao longo do tempo, e qualquer alteração no condicionamento pode interferir na interpretação dos resultados. Para isto, uma análise instantânea da amplitude da onda M do TA foi realizada a cada estímulo condicionante, durante as reavaliações, para garantir a mesma amplitude obtida do primeiro teste. Em caso de grandes variações foram realizados ajustes na intensidade.

3.3) Paradigmas experimentais

3.3.1) Contração voluntária máxima - isométrica (CVM)

As contrações voluntárias máximas isométricas do TA e do sóleus foram obtidas para uma comparação posterior do torque máximo gerado, assim como do valor de EMG, antes e depois do treinamento físico. As CVMs foram verificadas no início de cada avaliação, os sujeitos eram instruídos a fazer uma contração isolada dos músculos separadamente para minimizar a atividade de sinergistas. O sujeito foi instruído a realizar a CVM do sóleus ou do TA durante um período aproximado de 10 segundos. Foi feita a captação de 10 segundos de EMG e torque, porém a contração máxima durou em torno de 5s.

Uma curva realizada por um dos sujeitos pode ser visualizada na Figura 3- 4. O valor médio do torque máximo foi calculado realizando a média do torque durante um trecho relativamente estável, neste caso determinado entre o 2º e o 4º segundo. A média foi feita com 2mil pontos, verificados para cada sujeito o melhor trecho. A Figura 3- 4b mostra o EMG (retificado) gerado durante a mesma CVM. O valor médio do EMG foi calculado no mesmo período utilizado para o cálculo do torque.

Figura 3- 4 a) torque gerado durante uma dorsiflexão máxima (N/m). A linha horizontal (vermelha) indica o valor médio do torque calculado entre o 2º e o 4º segundo de contração. b) EMG máximo do TA, retificado (mV). O contorno em vermelho indica o EMG filtrado e a linha azul ao fundo indica o valor médio do RMS do EMG calculado no mesmo período do torque.

Para a análise do EMG foi realizada inicialmente a retificação do sinal do EMG e filtragem com filtro digital *Butterworth* de 6º ordem (Figura 3- 4b – linha vermelha). Em seguida para a determinação do RMS dos EMG, calculou-se o desvio padrão do sinal retificado no mesmo trecho em que a média do torque máximo foi avaliada.

Além da análise dos valores absolutos, os valores de torque e do valor RMS do EMG do sóleus foram normalizados respectivamente pelo torque e pela amplitude pico a pico da onda Mmax. Esta normalização só pode ser realizada para o sóleus, uma vez que a onda Mmax do TA não foi verificada. Com esta relação é possível inferir sobre a melhora do recrutamento voluntário do sóleus, sendo a onda Mmax a referência como despolarização de 100% das UMs do sóleus.

Esta avaliação foi prejudicada na terceira coleta do grupo do exército por alterações no ganho do eletromiógrafo durante a CVM do sóleus e TA. Alterações foram verificadas após a coleta, o que prejudicou uma comparação longitudinal somente dos dados de EMG.

3.3.2) Ondas Hmax e Mmax

Com estímulo no NT obteve-se as ondas Hmax e Mmax, para as quais calculou-se a amplitude pico a pico e também os respectivos torques gerados por cada uma destas respostas. Para o cálculo do Hmax foram obtidos 5 respostas e promediados os 3 reflexos máximos. A onda Mmax foi obtida e promediada 3 vezes, pois sua variação foi mínima.

Para a análise da curva do torque gerado pelas contrações foram captados os sinais de EMG e torque durante 800ms após o estímulo elétrico. Com os sinais de torque foram determinados os picos máximos obtidos para todas as curvas, assim como as latências dos mesmos.

Figura 3- 5 (a) Ilustração da obtenção de uma onda Mmax (elipse), (b) visão aproximada da onda Mmax e o respectivo torque gerado por ela (c). Com a curva do torque foi calculado o pico e a latência do ponto máximo.

Ainda foi calculada uma relação proposta por (SCAGLIONI *et al.* 2002) entre o torque gerado pelas ondas Hmax e Mmax pela amplitude das mesmas. Esta é uma forma de estimar se houve mudança na capacidade de gerar força por uV gerado eletricamente. Para tanto calculou-se individualmente a relação $\frac{\text{Torque gerado pela Onda Hmax ou Mmax}}{\text{amplitude da onda}}$ (N.m/uV) (TQ/AMP) para posterior cálculo da média para cada grupo avaliado.

Para o grupo de treinamento de força foi possível fazer a re-avaliação destes dados, em 12 sujeitos, após 1 mês de destreino, sendo somente 5 sujeitos do grupo de força máxima.

3.3.3) Avaliação das circuitarias inibitórias

Para análise das circuitarias inibitórias, o reflexo H do sóleus, com 20% da onda Mmax, foi condicionado com 3 intervalos C-T. Foram analisadas 3 circuitarias inibitórias do TA para o sóleus: a inibição recíproca dissináptica, obtida com intervalo C-T de 0-4ms (CRONE *et al.* 1987), a inibição D1, obtida com intervalo C-T de 15-20ms, e a inibição D2 obtida com C-T de 100ms. Todas as avaliações foram verificadas em repouso, para que não houvesse influência descendente.

Para cada sujeito foi determinado o melhor intervalo de condicionamento, ou seja o intervalo C-T que causasse maior inibição sobre o reflexo H. Somente o intervalo C-T associado a inibição D2 foi pré-estipulado em 100ms para todos os sujeitos. Determinadas as intensidades adequadas de estimulação, foram obtidos 30 reflexos testes e 30 reflexos condicionados alternadamente para cada intervalo C-T.

Em todos os sujeitos a estimulação sobre o NT foi ajustada para a obtenção de um reflexo H com 20 % do valor da Mmax, valor este adequado para verificar efeitos facilitatórios e inibitórios (CRONE *et al.* 1990). O estímulo condicionante sobre o NFC também foi mantido controlado para permanecer o mesmo no primeiro e segundo teste.

O cálculo da porcentagem de inibição foi feito da seguinte maneira:

$$100 - \left(\frac{RH_{controle}}{RH_{condicionado}} \right) * 100,$$

onde RHcontrole é o reflexo H do sóleus sem condicionamento, e RHcondicionado, é o reflexo H do sóleus condicionado com os 3 diferentes intervalos C-T.

3.3.4) Condicionamento do EMG do sóleus

Foi realizado o condicionamento do EMG do sóleus com estímulos no NFC, durante uma contração de aproximadamente 20% da contração voluntária máxima (CVM) individual.

Inicialmente o sujeito foi instruído a realizar a CVM que foi mensurada pelo sistema Labview, em seguida 20% deste valor foi calculado e para que o sujeito realizasse a contração isométrica mantida durante 100 segundos. Para este controle, o sujeito tem uma informação visual do torque realizado. Durante a contração foram aplicados 100 estímulos no NFC de 1ms de duração a uma frequência de 1Hz, a captação foi de 250ms, sendo 50ms prévios ao estímulos para o cálculo do EMG basal (EMG_{basal}).

A sobreposição dos 100 trechos do EMG possibilita a verificação de dois períodos em que o EMG apresenta-se diminuído (Figura 3- 6a) causada pelo condicionamento por redução dos disparos das UMs,. Um mais evidente, com duração de 10ms, que se apresenta 45ms após o estímulo (Figura 3- 6a - elipse), outra inibição mais fraca e de maior duração que se apresenta 100ms após o estímulo condicionante (Figura 3- 6a- colchete).

Figura 3- 6. A) Sobreposição de cem trechos de EMG do sóleus condicionado por estímulos no nervo fibular comum. Seta vertical indica o momento do estímulo, seta inclinada indica a onda M do TA captada no sóleus, a elipse indica o período de inibição mais evidente de curta duração, e o colchete sinaliza uma inibição sobre o EMG mais suave e de maior duração. B) Promediação dos 100 trechos de EMG. Seta inclinada indica a onda M do TA captada no sóleus, e elipse mostra potencial de ação composto captado no sóleus. C) EMG retificado e promediado, a linha contínua indica o valor basal médio (EMG anterior ao instante zero). D) EMG retificado, promediado e filtrado, em que as inibições são salientadas em preto.

Com a promediação simples do EMG (Figura 3- 6b) é possível verificar o artefato de estímulo no instante zero, a presença da onda M do TA ‘vazada’ para o eletrodo do sóleus e ainda a presença de um potencial de ação composto por volta dos 40 ms. A origem do potencial de ação composto pode estar relacionada com a despolarização de alguns MNs do sóleus pela fibras aferentes Ia do músculo fibular comum, também innervado pelo NFC. Esta facilitação, descrita por Meunier *et al.*(1993), poderia causar um período silente nos MNs e causando a inibição. Para que efeitos como estes fossem eliminados, experimentos anteriores foram realizados com a obtenção de um reflexo H, com estímulo no NT, de mesma amplitude do potencial de ação composto (Figura 3- 7). Nenhuma inibição evidente foi verificada. Isto garante que a redução do EMG do sóleus é decorrente da estimulação do NFC e não resultado de um período silente. Condicionamento cutâneo, com o eletrodo deslocado, também foi realizado, sem qualquer efeito sobre o EMG do sóleus.

Figura 3- 7 Condicionamento do EMG do sóleus durante contração de 20% da CVM por estímulo no NT para obtenção de um reflexo H semelhante ao potencial de ação composto ao obtido na figura 3-6b. A) sobreposição dos 100 trechos de EMG sem qualquer indicio de inibição. B) Aproximação para visualização do reflexo H do sóleus. C) Sinal vermelho EMG promediado, sinal azul EMG retificado e promediado sem qualquer trecho de inibição.

Para eliminar o artefato de estímulo e atenuar a onda M do TA vazada e o potencial de ação composto, o EMG promediado (sem retificação) (Figura 3- 6b) foi subtraído de cada um dos 100 trechos de EMG. Este procedimento evidencia o início do período da inibição. Em seguida, a análise do EMG condicionado foi feita com a retificação e promediação dos 100 trechos do EMG (Figura 3- 6c).

Com o sinal filtrado com fase nula (Butterworth digital de 6º ordem Figura 3- 6d), determinou-se o instante de ocorrência da amplitude mínima do EMG no intervalo entre 40 e 60ms (Interv 1), e entre 100 e 180ms (Interv 2), com este valor mínimo calculou-se também a latência de aparecimento das inibições. Em torno dos valores mínimos e ao redor de 130ms tomou-se -2ms e +2ms para o cálculo do valor médio de EMG com uma janela de 4ms, para os 3 trechos de inibição. O trecho ao redor de 130ms foi escolhido para futura comparação com a inibição D2, obtida sobre o reflexo H, que tem intervalo C-T de 100ms. Para isto foi considerando o tempo de condução nervosa como sendo de 30ms nestas condições.

Todos estes valores de EMG foram comparados com o EMG_{basal}, determinado pela média de 40ms do EMG antes do estímulo condicionante. Calculou-se a inibição de cada trecho seguindo a formula:
$$\left(\frac{\text{EMG}_{\text{interv (1 ou 2 ou 130)}}}{\text{EMG}_{\text{basal}}} \right) * 100.$$

Além da verificação de adaptações nestas vias após os treinamentos, as inibições verificadas com o condicionamento do EMG serão comparadas com as inibições verificadas sobre o reflexo H.

3.4) Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi feita em partes, para poder responder os objetivos gerais e específicos do trabalho. Todas análises foram feitas no software estatístico SPSS, com nível de significância estabelecido em $p \leq 0,05$.

Para o grupo do exército, todos os dados da primeira e da segunda coleta foram comparados com teste *t-student* pareado. Para a comparação da terceira coleta uma nova média foi calculada para as condições pré-treino e após 12 semanas de treino para uma análise pareada com os 10 sujeitos avaliados na terceira coleta. Com isto foi feita análise com teste de variâncias ANOVA de uma via, para medidas repetidas, com teste pos-teste de Tukey para identificar possíveis diferenças entre as 3 avaliações.

Para os grupos força máxima e potência, foram feitas duas análises. A primeira delas foi semelhante ao grupo do exército. Com teste *t-student* pareado para comparar as duas médias, pré e pós-treino e Anova de uma via, para medidas repetidas, para comparar os dados de Mmax e Hmax após 1 mês de destreino. A comparação pré-treino e pós-treino com o teste *t-student* tem o objetivo de buscar por adaptações com a prática da atividade física, independente do tipo de treinamento.

Posteriormente analisou-se, com os dados do grupo controle, as médias obtidas pré e pós treino para os três grupos, para investigar e comparar a influência do tempo e do treino sobre os resultados. Para isto usou-se ANOVA de duas vias, para medidas repetidas, e teste Post-hoc de Bonferroni para identificar possíveis diferenças entre as avaliações.

As três inibições foram avaliadas em todos os sujeitos, no entanto nem todos apresentavam inibição significativa. Para a análise estatística só foram considerados os sujeitos que apresentavam valor significativo ($p < 0,05$) para cada uma das inibições, calculada

com teste *t-student* entre os valores dos reflexos H testes e condicionados. Com isto alguns sujeitos foram excluídos para avaliação da IR, que é mais difícil de ser obtida.

Além disto para inibição D2 só foram considerados os sujeitos que apresentaram inibições de até 40% na situação pré-treino. A inibição D2 acima destes valores é mais facilmente reduzida (Mattos, 2003), e pode não refletir efeito de treino. Com estes critérios de exclusão, alguns sujeitos ficaram fora da análise. O número de sujeitos analisados em cada grupo, para cada inibição, será descrito com os resultados. Para efeito de comparação valores acima de 40% de inibição foram excluídos para análise das inibições D1 e IR e foram ilustradas em uma tabela no ANEXO B.

4) RESULTADOS

4.1) Força máxima: voluntária e reflexa

Foi feita a avaliação da força máxima muscular obtida voluntariamente do sóleus e do TA, bem como a força máxima obtida reflexamente do músculo sóleus antes e depois dos diferentes treinamentos.

Os resultados de cada variável analisada serão apresentados primeiramente para o treinamento realizado pelos recrutas do exército. A seguir serão apresentados os resultados do treinamento de força máxima e potência dos alunos universitários.

4.1.1) Grupo do exército

Força máxima voluntária: torque e valor RMS do EMG

Dorsiflexão

A CVM dos músculos responsáveis pela dorsiflexão foi avaliada pela média do torque máximo e pelo valor RMS do EMG. Os resultados apontaram para um aumento da força com aumento do sinal de EMG. O torque máximo durante a dorsiflexão foi de $27,88 \pm 5,90 \text{ N.m}$ na primeira coleta e de $35,30 \pm 6,76 \text{ N.m}$ após 12 semanas de treino. Este aumento de 21% foi significativo ($p=0,0002$) e pode ser comparado na Figura 4- 1(a). O valor RMS do TA foi $176,5 \pm 82,31 \mu\text{V}$ na primeira coleta e $252,6 \pm 99,03 \mu\text{V}$ na segunda coleta, o aumento de 43% foi significativo ($p=0,0147$) Figura 4- 1(b).

Figura 4- 1 CVM do TA para o grupo do exército pré-treino (1) e após o treinamento militar (2). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do EMG doTA. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$

A reavaliação de 10 sujeitos após 6 meses de continuidade do treinamento, treino este menos intenso que os 3 primeiros meses, mostraram continuidade no ganho de força máxima voluntária. Uma nova média foi calculada para os valores pré-treino para a análise pareada, e primeira coleta, agora com 10 sujeitos, para uma comparação mais adequada. Com este número menor de sujeitos a média do torque pré-treino foi de $27,49 \pm 6,59$ N.m, subindo significativamente ($p < 0,05$) para $33,63 \pm 7,24$ N.m e subindo um pouco mais na terceira coleta $37,63 \pm 5,29$ N.m. Este terceiro valor foi estatisticamente diferente do valor pré treino ($p < 0,001$), porém não se diferenciou do valor da segunda coleta, mas mostra uma tendência de manutenção do aumento de força com o treino. Estes valores podem ser comparados na Figura 4- 2.

Figura 4- 2 Valor do torque máximo obtido na CVM do TA para o grupo do exército para as três coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino). As barras representam o erro padrão. Análise ANOVA *One way* * $p < 0,05$ e *** $p < 0,001$

Flexão plantar

O ganho de força para a flexão plantar foi mais evidente, com aumento significativo de 55% ($p = 0,0002$). O torque passou de $29,82 \pm 10,11$ N.m para $45,97 \pm 19,43$ N.m com o treinamento militar. O valor do RMS do EMG sofreu aumento não significativo ($p = 0,16$) de 20%, mudando de $59,67 \pm 29,82$ μ V para $71,82 \pm 31,42$ μ V. Estes valores podem ser comparados na Figura 4- 3.

Figura 4- 3 CVM do sóleus para o grupo do exército pré-treino (1) e após o treinamento militar (2). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do EMG do sóleus. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$

A análise dos dados da flexão plantar na terceira coleta, em 10 sujeitos, apresentou resultados muito semelhantes ao dos músculos dorsiflexores. O torque inicial para estes sujeitos foi de $29,68 \pm 10,01$ N.m, aumentando para $45,49 \pm 17,18$ após 3 meses de treinamento. Entre a segunda e a terceira coleta a diferença foi pequena, aumentou para $49,69 \pm 17,75$. Os valores da 2ª e 3ª coletas se diferenciaram significativamente dos valores pré-treino ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, ver Figura 4- 4)

Figura 4- 4 CVM do sóleus para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino). A) Valor do torque máximo B) valor do RMS do sóleus . As barras representam o erro padrão. ANOVA one-way post-hoc Bonferroni * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Avaliação da força máxima obtidas com as ondas Hmax e Mmax

A avaliação da força reflexa foi feita pela análise do torque gerado ondas Mmax e Hmax, bem como pela comparação da amplitude pico a pico das mesmas. Neste caso não havia qualquer influência voluntária, uma vez que estes dados foram testados com os sujeitos em repouso.

O torque gerado pela onda Mmax foi de $7,70 \pm 3,35$ N.m na primeira coleta e de $8,66 \pm 2,63$ N.m na segunda coleta. Este aumento de 23% foi significativo ($p < 0,0001$), e foi acompanhado por um aumento significativo (0,017) de 14% no torque gerado pela Hmax como pode ser visto na Figura 4- 5.

Figura 4- 5 Torque máximo obtido com a onda Mmax e Hmax antes (1) e depois (2) do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$, * $p < 0,0001$)**

O ganho de força gerada pelas ondas Mmax e Hmax não foi acompanhado por aumento significativo nas amplitudes pico a pico destas ondas (Tabela 3). A onda Mmax aumentou 12% e a onda Hmax aumentou 31% em sua amplitude (Figura 4- 6).

Figura 4- 6 Amplitude pico a pico das ondas Mmax e Hmax (mV) antes (1) e depois (2) do treinamento militar. As barras representam o erro padrão.

Tabela 3 Valores médios e desvio padrão (DP) da amplitude pico a pico e do torque gerado pelas ondas Mmax e Hmax do grupo do exército, verificadas pré-treino (1) e pós treino (2), com as respectivas relações Hmax/Mmax elétrica e mecânica

Amplitude pico a pico das ondas M e H máximas						
	Mmax 1	Mmax 2	Hmax 1	Hmax 2	Relação elétrica H/M 1	Relação elétrica H/M 2
Média±DP (μV)	7,70±3,35	8,66±2,63	3,85±1,68	5,01±2,95	0,54±0,21	0,57±0,22
Análise teste t-student	p>0,05		p>0,05 (p=0,11)		p>0,05	
Torques gerados pelas ondas M e H máximas						
	Mmax 1	Mmax 2	Hmax 1	Hmax 2	Relação mecânica H/M 1	Relação mecânica H/M 2
Média±DP (N.m)	5,96±1,67	7,37±1,90	4,22±1,39	4,81±1,48	0,71±0,14	0,66±0,15
Análise teste t-student	* p<0,0001		* p<0,05		p>0,05	

Com a obtenção das ondas Mmax e Hmax foi possível estabelecer uma relação elétrica e mecânica entre Hmax/Mmax. Com os torques gerados pelas ondas, a relação mecânica Hmax/Mmax foi de 0,71±0,15 na primeira coleta, reduzindo para 0,66±0,15, sem diferença significativa (p>0,05).

Assim como os valores elétricos absolutos não mostraram diferenças estatisticamente significativas, as relações elétricas Hmax/Mmax se mantiveram semelhantes

nas duas coletas, apresentando o valor de $0,54 \pm 0,22$ e de $0,57 \pm 0,22$ respectivamente para primeira e segunda avaliação (Tabela 3).

Para estimar a quantidade de torque gerado por uV estabeleceu-se a relação TQ/AMP. Neste grupo nenhuma relação apresentou diferenças ($p > 0,05$). O valor pré-treino para onda Mmax foi de $0,90 \pm 0,40$ N.m/uV e após o treino foi de $0,95 \pm 0,44$ N.m/uV. Para a onda Hmax os valores também se mantiveram semelhantes, $1,24 \pm 0,57$ e $1,22 \pm 0,66$ respectivamente para pré e pós-treino.

Latência do pico de torque

Com a análise do torque máximo gerado pelas ondas Hmax e Mmax, analisou-se também a latência até o pico máximo, como forma de avaliar o tempo de contração muscular. Para este grupo, a latência do pico máximo de torque verificada na primeira avaliação para a onda Mmax foi de $112,8 \pm 12,70$ ms e de $138,4 \pm 14,39$ ms para Hmax. Já na segunda avaliação a latência do torque da Mmax foi de $121,0 \pm 10,87$ ms e de $147,8 \pm 16,64$ ms para o torque da onda Hmax. Estas diferenças de 8 e 10ms respectivamente foram estatisticamente significantes ($p < 0,01$ e $p < 0,006$ respectivamente), e podem ser comparadas na Figura 4- 7.

Figura 4- 7 Latência para o pico de torque da onda Mmax e Hmax para o grupo do exército antes (1) e depois do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$ ** $p < 0,006$

Análise das três coletas do grupo do exército

Os mesmos dados foram analisados em 13 sujeitos para que as 3 coletas ao longo do tempo pudessem ser comparadas. A análise das variáveis mecânicas em 13 sujeitos foi coerente com os dados apresentados previamente, com o acréscimo do fato de que a terceira coleta demonstra manutenção das alterações obtidas com o treino. O torque gerado pela Mmax aumentou significativamente ($p < 0,05$) 21% na segunda coleta, mantendo o aumento de 24% ($p < 0,01$) na terceira coleta (Figura 4- 8). O torque gerado pela onda Hmax só apresentou aumento significativo de 28% entre a primeira e a terceira coleta ($p < 0,01$). O aumento de 9% na segunda coleta não foi significativo ($p > 0,05$ - Tabela 4).

Figura 4- 8 Torque máximo obtido com a onda Mmax e Hmax para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino) As barras representam o erro padrão. ANOVA *one-way* post-hoc *Bonferroni* * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$

Estes efeitos de treino foram proporcionais para as ondas Hmax e Mmax e mantiveram a relação mecânica Hmax/Mmax constante ao longo das coletas, variando de 0,66 a 0,75 sem diferenças significativas (Tabela 4).

Tabela 4 Valores médios e desvio padrão (DP) do torque gerado pelas ondas Mmax e Hmax do grupo do exército, verificadas pré-treino (1) e pós treino (2) e após 6 meses da segunda coleta (3), com as respectivas latências para o pico da onda Mmax e relação mecânica Hmax/Mmax.

TORQUE MÁXIMO (N.m)									
	Mmax			Hmax			Relação mecânica H/M		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Média± DP	5,86± 1,54	7,06± 1,67	7,28± 1,79	4,27± 1,39	4,67± 1,70	5,49± 1,74	0,72± 0,16	0,66± 0,18	0,75± 0,13
Análise ANOVA one-way	p>0,05	* p<0,01	* p<0,05	p>0,05	p>0,05	* p<0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05
Obs: resultado da análise ANOVA em comparação com a coleta pré-treino									
LATÊNCIA PARA O TORQUE MÁXIMO (ms)									
	Mmax			Hmax					
	1	2	3	1	2	3			
Média± DP	111,7 ±5,99	122,1 ±11,2	117,0 ±11,8	137,5 ±16,1	145,1 ±19,2	139,2 ±15,4			
Análise ANOVA one-way	p>0,05	* p<0,01	p>0,05	p>0,05					

Assim como na análise com 21 sujeitos, a latência para o pico máximo de torque da onda Mmax em 13 sujeitos, aumentou significativamente ($p<0,05$) em 10ms na segunda coleta. Porém a diferença entre a primeira e terceira coleta foi menor, com diferença de apenas 5ms. Este aumento da latência na segunda coleta, com redução na terceira, foi acompanhada por alterações na latência do pico de torque da onda Hmax (Tabela 4 e Figura 4- 9), porém estas não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$).

Figura 4- 9 Latência para o pico de torque da onda Mmax e Hmax para o grupo do exército nas 3 coletas (1 – pré treino, 2 -após 2 meses de treino, 3 – após 9 meses de treino) As barras representam o erro padrão. Anova *one-way* post-hoc Bonfferroni * $p < 0,05$

4

4.1

4.1.1

4.1.2) Grupo de força máxima (GFM) e grupo de potência (GP)

Força máxima voluntária: torque e RMS do EMG

Dorsiflexão

Foram analisados os grupos controle, grupo que treinou força máxima e grupo que treinou potência. Na avaliação da força voluntária máxima para dorsiflexão, nenhum dos grupos apresentou diferenças no torque máximo voluntário. Os valores oscilaram entre 36 e 39 N.m, sem variarem mais de 3N.m entre a primeira e segunda coleta. Para facilitar a comparação os dados foram apresentados em tabelas e figuras (Tabela 5 e na Figura 4-10).

Figura 4- 10 Torque máximo obtido na contração voluntária máxima do tibial anterior para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.

Os valores de RMS do EMG do TA variaram um pouco com o treinamento, mas sem nenhuma significância ($p > 0,05$). O grupo controle apresentou redução de 2%, o GFM reduziu 9% e o GP apresentou aumento de 12% (Figura 4- 11).

Figura 4- 11 RMS do EMG do TA obtido na contração voluntária máxima do mesmo para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e grupo potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.

Tabela 5 Valores de torque máximo (e desvio padrão) durante a CVM do TA, juntamente com os valores RMS, para os grupos: controle, força máxima e potência, na situação pré-treino (1) e após o treino (2)

CONTRAÇÃO VOLUNTÁRIA MÁXIMA DORSIFLEXÃO						
Torque máximo						
Grupo	Controle		Força Máxima		Potência	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	38,69±7,49	36,32±7,59	37,96±9,65	37,70±6,08	39,52±6,94	39,68±7,00
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA <i>two-way</i>	p>0,05					
RMS do EMG do TA						
Grupo	Controle		Força Máxima		Potência	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	226,0±120,5	222,2±93,08	201,3±77,98	183,8±48,04	169,7±112,9	190,1±84,06
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA <i>two-way</i>	p>0,05					

A análise ANOVA para verificação da interação entre tempo e treino não apresentou qualquer diferença significativa para os dados de torque e RMS do EMG do TA (p>0,05).

Flexão plantar

Apesar dos treinamentos possibilitarem o ganho de força dos músculos extensores de tornozelo, somente o GP apresentou aumento da força significativo (p<0,01). Este aumento foi de 34%, após 8 semanas de treino, e pode ser visualizado na Figura 4- 12. O grupo controle e GFM mantiveram o torque máximo ao redor de 51 e 52 N.m respectivamente nas duas coletas (Tabela 6 e Figura 4- 12).

Figura 4- 12 Torque máximo obtido a flexão plantar máxima para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão. Teste *t-student* individual * $p < 0,05$

Apesar do GP apresentar menor torque durante a CVM da flexão plantar pré-treino, comparado ao GFM e controle, esta diferença entre grupos não foi significativa ($p > 0,05$)

Tabela 6 Valores de torque máximo (e desvio padrão) durante a CVM do sóleus, juntamente com os valores RMS, para os grupos: controle, força máxima e potência, na situação pré-treino (1) e após o treino (2)

CONTRAÇÃO VOLUNTÁRIA MÁXIMA FLEXÃO PLANTAR						
Torque máximo						
Grupo	Controle		Força Máxima		Potência	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	50,80±30,83	51,03±25,99	52,67±21,55	52,14±18,61	43,64±21,27	57,97±19,61
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		* p<0,05	
Análise ANOVA <i>two-way</i>	Interação tempo*treino p<0,05					
RMS do EMG do sóleus						
Grupo	Controle		Força Máxima		Potência	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	90,00±78,20	89,71±61,78	107,5±91,26	88,69±77,61	85,58±53,21	94,13±57,23
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA <i>two-way</i>	p>0,05					

A análise ANOVA corrobora com as análises individuais com teste *t-student*. A análise de variância mostrou interação entre os fatores tempo e treino ($p < 0,04$), visto na Figura 4- 13, evidenciando um ganho de força diferenciado do GP em relação ao grupo controle e GFM.

Figura 4- 13 O gráfico ilustra as médias do torque obtido durante a flexão plantar máxima, para os grupos controle, força máxima (força) e potência, no tempo 1 (pré-treino) e 2 (pós-treino). Eixo Y indica torque em N.m A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores, com aumento mais evidente no GP.

Os valores RMS oscilaram para os grupos GFM e GP na segunda coleta (Tabela 6 e Figura 4- 14). O GFM reduziu 17% e o GP aumentou 10%. Nenhuma destas mudanças foi significativa ($p > 0,05$). A análise ANOVA para verificação da interação entre tempo e treino também não apresentou qualquer diferença significativa ($p > 0,05$).

Figura 4- 14 RMS médio do sóleus obtido na contração voluntária máxima para o grupo controle (C), grupo força máxima (F), e potência (P) na avaliação pré-treino (1) e pós treino (2). As barras representam o erro padrão.

Avaliação da amplitude das ondas Hmax e Mmax e sua relação Hmax/Mmax

Os valores pico a pico das ondas Mmax e Hmax estão apresentados na Tabela 7, em que é possível verificar que não houve mudanças significativas entre a primeira e a segunda coleta para nenhum dos 3 grupos. A maior mudança foi no GFM, que apresentou um aumento de 16% na onda Hmax. Este valor aponta para uma tendência ao aumento da onda Hmax com o GFM ($p=0,08$). Esta diferença não foi verificada na análise ANOVA ($p>0,05$), nenhum grupo se diferenciou quando ao tempo ou ao treino. Com a grande variação inter-indivíduos nos valores de Mmax e Hmax, a análise da relação Hmax/Mmax será mais fidedigna.

Tabela 7 Amplitude em (mV) das ondas Hmax e Mmax pré-treino e pós-treino no grupo controle e nos grupos de GFM e GP

Mmax (mV)						
	Controle		GFM		GP	
Sujeitos	8	8	9	9	11	11
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média± Desvio Padrão	7,65± 2,07	7,85± 2,74	7,60± 1,96	7,71± 1,91	9,13± 2,56	8,21± 1,64
Análise t-student	p>0,05					
Análise ANOVA Two-way	p>0,05					
Hmax (mV)						
	Controle		GFM		GP	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média± Desvio Padrão	4,76± 1,92	4,91± 1,61	4,38± 1,02	5,12± 1,28	5,14± 2,14	5,24± 1,67
Análise t-student	p>0,05		* p=0,08		p>0,05	
Análise ANOVA Two-way	p>0,05					

Calculou-se a relação Hmax/Mmax para cada sujeito para então estabelecer o valor médio para cada grupo. O treinamento no GFM proporcionou um aumento de 15% na relação, no GP o aumento foi de 12,5%. O grupo controle aumentou 6% entre as duas coletas. Inicialmente fez-se a estatística individual para cada grupo, para posterior comparação entre os grupos. Nesta análise com teste *t-student* somente o GFM apresentou aumento significativo na relação elétrica Hmax/Mmax (p=0,002) (Figura 4- 15 e Tabela 8)

Figura 4- 15 Valores da relação elétrica Hmax/Mmax antes (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de força máxima (GFM) e potência (GP). As barras representam o erro padrão. * aponta para diferença entre pré e pós treino, valor de $p=0,0021$ com o teste *t-student*

Após verificar efeito de tempo e treino e/ou interação entre os fatores, aplicou-se o teste ANOVA *two-way*, o qual apontou para efeito do fator tempo (Tabela 8). Porém o *post-test Bonferroni* não foi sensível para identificar em quais grupos este efeito foi predominante. Isto indica que os três grupos apresentaram tendência de aumento da relação Hmax/Mmax, sem haver diferenças entre grupos. Os valores de Hmax/Mmax antes e depois do treino podem ser comparados na Tabela 8 e Figura 4- 17.

Tabela 8 Relação elétrica Hmax/Mmax pré-treino e pós-treino no grupo controle e nos grupos de GFM e GP

Relação elétrica Hmax/Mmax						
	Controle		GFM		GP	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média± Desvio Padrão	0,61± 0,13	0,64± 0,18	0,58± 0,07	0,67± 0,07	0,56± 0,19	0,63± 0,17
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		*p=0,002		p>0,05	
Análise ANOVA <i>Two-way</i>	p<0,05 para fator tempo

Figura 4- 16 Valores da relação elétrica H_{max}/M_{max} (eixo Y) antes (1) e após 8 semanas (2) no grupo controle e para os grupos de força máxima (força) e potência. Na análise ANOVA *two-way* houve efeito de tempo sobre os resultados $p < 0,05$, em que é possível dizer que os 3 grupos apresentaram o mesmo comportamento.

Avaliação da força máxima obtidas com as ondas H_{max} e M_{max}

A análise do pico máximo de torque gerado pela M_{max} não mostrou diferenças significativas entre as 2 coletas nos três grupos analisados. No entanto o GFM apresentou um aumento de 13% e o GP de 10%, enquanto que o grupo controle apresentou queda de 4% no torque máximo (Tabela 9 e Figura 4- 17).

Figura 4- 17 Valores do pico de torque gerado pela onda M_{max} e H_{max} , (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de treino de força e potência. As barras representam o erro padrão.

Já a análise do pico máximo de torque gerado pela onda Hmax mostrou diferenças entre os grupos. O grupo controle apresentou redução de 3%, o GFM apresentou um aumento de 5,6%, ambos não significativos. Já o GP apresentou um aumento significativo de 35% após o treino com o teste *t-student* pareado (Tabela 9 e Figura 4- 18).

Tabela 9 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, antes e após 8 semanas no grupo controle e para os grupos de GFM e GP. * diferença significativa $p<0,05$

Torque da Mmax (N.m)						
	Controle		GFM		GP	
	Antes	Depois	Antes	Antes	Depois	Antes
Média± Desvio Padrão (N.m)	9,60± 4,11	9,31± 3,20	8,99± 2,63	10,21± 3,07	9,55± 2,02	10,56± 2,61
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA <i>Two-way</i>	p>0,05					
Torque da Hmax (N.m)						
	Controle		GFM		GP	
	Antes	Depois	Antes	Antes	Depois	Antes
Média± Desvio Padrão (N.m)	7,34± 2,17	7,14± 2,87	6,95± 3,02	7,33± 2,53	6,16± 1,49	8,37± 2,84
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		* p<0,05	
Análise ANOVA <i>Two-way</i>	* p<0,006					

Pico de torque com a Hmax

Figura 4- 18 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, (barra branca) e após 8 semanas (barra hachurada) no grupo controle e para os grupos de treino de força e potência. As barras representam o erro padrão. Teste *t-student* * $p<0,05$

Já a análise ANOVA apontou para interação ($p < 0,006$) entre tempo e treino para efeito de tempo apontando para um aumento significativo no ganho de força com o treinamento de maneira diferenciada entre os diferentes treinos. O post-test *Bonferroni* não apontou quais grupos se diferenciaram do controle, porém pelos dados analisados, o GP apresentou grande aumento no torque obtido com a onda Hmax que deve ser atribuído ao tipo de treinamento (Figura 4- 19).

Figura 4- 19 O gráfico ilustra o pico de torque gerado com a onda Hmax, para os grupos controle, força máxima (força) e potência, no tempo 1 (pré-treino) e 2 (pós-treino). Eixo Y indica torque em N.m. A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores, em que o GP mostra um aumento mais claro no pico de torque quando comparado aos outros grupos.

Efeito de destreino

Sendo a diferença no torque Hmax no GP estatisticamente significante, resolvemos verificar este efeito após o destreino. Somente 7 sujeitos foram avaliados 3 vezes, e a análise estatística foi ANOVA *one-way*, para comparação de 3 medidas. Foi possível confirmar o aumento de torque (40%) gerado durante a Hmax após 8 semanas de treino, este valor se diferenciou significativamente do resultado pré-treino ($p < 0,01$). A diferença do torque da primeira coleta para o torque após o destreino foi de 0,5N.m, apenas 5% a mais,

sem diferença estatística. Já a diferença entre a 2 e a 3 ° foi significativa ($p<0,05$). Estas mudanças podem ser visualizadas na Figura 4- 20 e Tabela 10, e sugerem o efeito de treino, uma vez que os valores após o destreino são semelhantes aos valores pré-treino. O torque gerado pela Mmax apresentou comportamento parecido, mas sem diferenças significativas.

Figura 4- 20 Torque máximo obtido com as ondas Mmax e Hmax do sóleus para o grupo potência na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão. ANOVA *one-way* post-hoc *Bonferroni* * $p<0,05$, ** $p<0,01$

Tabela 10 Valores do pico de torque gerado pela onda Mmax e Hmax, pré-treino, pós-treino e destreino para os grupos de GFM e GP.

Pico de torque da onda Mmax						
	GP			GFM		
	Pré-treino	Pós-treino	Destreino	Pré-treino	Pós-treino	Destreino
Sujeitos	7	7	7	5	5	5
Média± Desvio Padrão (N.m)	10,01± 1,52	11,01± 2,65	10,5± 2,68	7,74± 1,39	9,05± 2,94	8,04± 2,10
ANOVA <i>One-way</i>		$p>0,05$	$p>0,05$		$p>0,05$	$p>0,05$
Pico de torque da onda Hmax						
	GP			GFM		
	Pré-treino	Pós-treino	Destreino	Pré-treino	Pós-treino	Destreino
Média± Desvio Padrão (N.m)	6,38± 1,10	9,02± 2,62	6,95± 1,98	5,37± 0,95	6,06± 1,89	6,06± 1,65
ANOVA <i>One-way</i>		** $p<0,01$	* $p<0,05$		$p>0,05$	$p>0,05$

A análise dos efeitos do destreino em 5 sujeitos no GFM, mostrou um aumento de 17% no pico de torque gerado pela Mmax após o treino. Os valores do torque após 4 semanas de destreino foram somente 3,8% maiores que os valores pré-treino. Infelizmente o número de sujeitos é baixo e a análise estatística ficou prejudicada. Os valores de torque gerados pela Hmax não mostraram diferenças com o treino ou destreino (Tabela 10 e Figura 4- 21).

Figura 4- 21 Torque máximo obtido com as ondas Mmax e Hmax do sóleus para o grupo força máxima na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta) As barras representam o erro padrão.

Relação mecânica Hmax/Mmax

Com os torques gerados pelas ondas Hmax e Mmax, foi possível estabelecer uma relação mecânica Hmax/Mmax (Tabela 11). No grupo controle, que não apresentou diferenças nos torques gerados por nenhuma onda, a relação também não se alterou significativamente, reduzindo em 3,7%. Como o GFM apresentou maior ganho de força com a onda Mmax, não acompanhada pelo torque da onda Hmax, a relação mecânica ficou reduzida

em 5,6%. Já o GP apresentou um aumento significativo no teste *t-student* de 18% nesta relação mecânica, tendo em vista o grande aumento no torque gerado pela Hmax (Tabela 11).

Tabela 11 Relação mecânica Hmax/Mmax obtidas para os grupos controle, GFM e GP. * $p < 0,05$

Relação mecânica Hmax/Mmax						
	Controle		GFM		GP	
Sujeitos	8	8	9	9	11	11
Avaliação	Pré-treino	Pós-treino	Pré-treino	Pós-treino	Pré-treino	Pós-treino
Média± Desvio Padrão	0,79 ± 0,10	0,76± 0,12	0,75± 0,09	0,71± 0,06	0,65± * 0,14	0,77± * 0,12
Análise <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		*p<0,05	
Análise ANOVA <i>Two-way</i>	Interação tempo*treino p<0,05					

A análise estatística ANOVA mostrou interação entre os fatores tempo e treino ($p < 0,05$), sugerindo efeito diferenciado dos treinos na variável analisada. O *post-test* não foi sensível para identificar as diferenças entre os grupos, mas o GP foi o grupo que mais contribuiu para as diferenças (Figura 4- 22).

Figura 4- 22 Relação mecânica Hmax/Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA *two-way* apontou para interação entre os fatores tempo e treino, em que o grupo potência tem comportamento oposto aos demais grupos ($p < 0,05$)

O efeito do destreino também pode ser visto nesta relação mecânica H_{max}/M_{max} no GP, em que o aumento foi mais evidente. Seis sujeitos apresentaram um aumento de 16% entre a primeira e a segunda coleta, já entre os valores pré-treino e destreino, a diferença foi apenas de 4% (Figura 4- 23). Estas diferenças não foram significativas ($p>0,05$).

Figura 4- 23 Relação mecânica H_{max}/M_{max} do grupo potência na avaliação pré-treino (barra branca), pós treino (barra hachurada) e destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão.

Latência do pico de torque

A latência inicial do pico máximo do torque da onda M_{max} do grupo controle foi de $124,3 \pm 18,65$ ms, na segunda coleta a latência foi $120,2 \pm 12,36$ ms. Esta diferença de 4ms, não foi significativa. A diferença no GFM também foi pequena, de 3ms, com latência inicial de $122,1 \pm 18,48$ ms e latência de $119,2 \pm 14,09$ ms após o treino. Já no GP a latência inicial foi de $126 \pm 16,69$ ms, reduzindo em 11%, para $113,3 \pm 8,48$ ms. Esta redução de 13ms foi significativa ($p<0,01$). Estes valores podem ser comparados na Figura 4- 24.

Figura 4- 24 Latência do pico de torque da onda Mmax para os grupos controle, força máxima e potência. As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

A comparação entre os grupos com a análise ANOVA mostrou efeito significativo do fator tempo ($p < 0,05$), indicado que as médias analisadas pós treino são diferentes da média pré-treino, com tendência a redução nos três grupos (Figura 4- 25). Como a diferença pré e pós dos grupos controle e GFM foram pequenos, o GP foi o que mais contribuiu com os achados significativos ($p = 0,01$ no teste *t-student*) neste caso.

Figura 4- 25 Latência do pico de torque da onda Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência na condição pré-treino (1) e pós-treino (2). Análise ANOVA *two-way* mostrou efeito de tempo sobre a variável, com os três grupos mostrando tendência de redução da latência.

Como estes dados apresentaram diferenças estatísticas, os achados na latência do pico para o GP foram comparados após o destreino. Em 7 sujeitos, o treino fez com quem houvesse redução em 14ms na latência após o treino ($p < 0,05$ – ANOVA *One-way*). Esta diferença reduziu para apenas 5ms após 4 semanas de destreino. Sendo esta diferença pré-treino e destreino não significativa (Figura 4- 26). O GFM não apresentou mudanças significativas entre as 3 coletas.

Figura 4- 26 Latência do pico de torque da onda Mmax do grupo potência antes (barra branca), após o treinamento (barra hachurada) e após o destreino (barra preta). As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$

4.1.3) Ganho de força relativa do sóleus para todos os grupos analisados

CVM normalizada pela Mmax (torque e RMS do EMG)

Para melhor análise dos dados, os valores do torque da CVM do sóleus foram normalizados pelo torque gerado pela onda Mmax. Os valores pré e pós treino podem ser comparados na Tabela 12. Somente o GP apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) de 28%. O grupo do exército, controle e o GFM não apresentaram qualquer alteração na relação ($p > 0,05$).

A análise ANOVA apontou para interação entre os fatores tempo e treino, ilustrada na Figura 4- 27. Esta interação sugere efeitos opostos após os diferentes treinos nas 2 avaliações; Os valores RMS do EMG do sóleus durante a CVM também foram normalizados pelo pico a pico da Mmax (Tabela 12), porém nenhum grupo apresentou qualquer diferença.

Figura 4- 27 Relação entre a força máxima obtida voluntariamente pelo torque obtido com a onda Mmax (eixo Y) para os grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores tempo e treino, em que o grupo potência mostra tendência diferente dos demais grupos.

Tabela 12 Valor do torque durante a CVM normalizados pelo torque obtido com a onda Mmax, para os grupos do exército, controle, força máxima e potência antes e depois do treinamento.

Torque da CVM do sóleus normalizada								
	Exército		Controle		Força máxima		Potência	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média±	5,52	6,45	5,37	5,36	6,08	5,34	4,63	5,94
Desvio	±	±	±	±	±	±	±	±
Padrão	2,41	2,96	2,44	2,28	2,89	2,43	1,82	1,89
Análise teste <i>t-student</i>	(p>0,05)		(p>0,05)		(p>0,05)		* (p<0,05)	
Anova <i>Two-way</i>	-		Interação tempo*treino p=0,10					
RMS do EMG da CVM do sóleus normalizada								
	Exército		Controle		Força máxima		Potência	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média±	8,84	9,35	14,69	12,68	17,30	12,13	9,22	12,09
Desvio	±	±	±	±	±	±	±	±
Padrão	4,46	6,35	13,38	7,94	20,52	10,37	4,523	7,82
Análise teste <i>t-student</i>	(p>0,05)		(p>0,05)		(p>0,05)		(p>0,05)	
Anova <i>Two-way</i>	-		p>0,05					

Os dados do torque máximo voluntário do sóleus obtidos durante a terceira coleta no grupo do exército mostrou que a tendência de aumento do torque normalizado pelo torque da onda Mmax se mantém após 9 meses de treinamento (Figura 4- 28).

Figura 4- 28 Torque da flexão plantar máxima normalizada pelo torque da onda Mmax para o grupo do exército, avaliadas no pré-treino (barra branca), após 2 meses de treino (barra hachurada) e após 9 meses de treinamento militar (barra preta). As barras representam o erro padrão.

Torque normalizado pela amplitude (para ondas Mmax e Hmax)

Na relação proposta por (Scaglioni *et al* 2003) entre os torques, em N.m, e as amplitudes das respectivas ondas Mmax e Hmax, em uV, (TQ/AMP), os resultados dos grupos GFM e GP também se diferenciaram entre si (Figura 4- 29). O GFM apresentou relação de $1,32 \pm 0,69$ N.m/uV para onda Mmax e de $1,72 \pm 0,97$ N.m/uV para Hmax no pré-treino. Já no pós treino, a relação da onda Mmax aumentou para $1,46 \pm 0,81$ N.m/uV e a onda Hmax reduziu para $1,54 \pm 0,81$ N.m/uV após o treino. Estas mudanças na Hmax não foram significativas ($p > 0,05$), mas a mudança da onda Mmax do GFM apresentou tendência a aumento ($p = 0,08$).

Figura 4- 29 Relação TQ/AMP para onda Mmax (barras brancas) e Hmax (barras hachuradas) do grupo de força máxima (GFM), avaliados antes (1) e depois (2) do treino. Os resultados da onda Mmax apresentaram tendência a aumento após o treino ($p = 0,08$).

No GP a relação da onda Mmax foi de $1,11 \pm 0,34$ N.m/uV e passou para $1,31 \pm 0,54$ N.m/uV (Figura 4- 30). Esta diferença não foi significativa ($p > 0,05$). Para a onda Hmax a diferença também não foi significativa ($p > 0,05$), apesar da maior diferença, passou de $1,46 \pm 0,94$ N.m/uV para $1,80 \pm 0,94$ N.m/uV. Neste caso, dos 11 sujeitos somente 3 não apresentaram aumento na relação.

Figura 4- 30 Relação TQ/AMP para onda Mmax (barras brancas) e Hmax (barras hachuradas) do grupo potência (GP), avaliados antes (1) e depois (2) do treino.

O grupo do exército e controle não apresentaram diferenças significativas relação TQ/AMP. Os valores pré-treino para as ondas Mmax e Hmax foram $0,90 \pm 0,40$ N.m/uV e $1,24 \pm 0,56$ N.m/uV respectivamente. Mantendo-se em $0,94 \pm 0,44$ N.m/uV e $1,22 \pm 0,65$ N.m/uV para onda Mmax e Hmax no grupo do exército. Já o grupo controle apresentou suave redução na relação para ambas as ondas, de $1,42 \pm 1$ N.m/uV. Para $1,29 \pm 0,57$ N.m/uV para onda Mmax e $1,78 \pm 0,92$ N.m/uV para $1,52 \pm 0,55$ N.m/uV para onda Hmax.

4.2) Avaliação da circuitaria inibitória

4.2.1) Grupo do exército

Para o grupo do exército, o número de sujeitos total foi de 23. Foram considerados para análise somente os sujeitos que tiveram inibição significativa na situação pré-treino. Para comparação dos resultados entre as 3 coletas somente 12 sujeitos participaram das três avaliações e portanto o número de sujeitos ficou reduzido.

A análise da inibição IR, realizada com apenas 18 sujeitos apresentou uma redução de 13%, que não foi significativa. A inibição inicial foi de $22,96 \pm 15,65\%$, reduzindo para $19,64 \pm 10,75\%$, conforme pode ser visto na Figura 4- 31.

Figura 4- 31 Inibições IR, D1 e D2 obtidas para o grupo do exército antes (barra branca) e depois (barra hachurada) do treinamento militar. As barras representam o erro padrão. Teste *t-student* *** $p < 0,0001$

A inibição D1 também apresentou redução após o treinamento, porém mais evidente, de 30 %, variando de $32,80 \pm 11,47\%$ para $25,42 \pm 10,69\%$ (Figura 4- 31). Conforme pode ser visto na Figura 4- 32 , estas alterações foram consistentes em 20 dos 21 sujeitos avaliados. A diferença foi estatisticamente significativa com teste *t-student* ($p = 0,0001$).

Figura 4- 32 Comportamento da inibição D1, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo do exército, antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.

A inibição D2 apresentou redução de 11% após o primeiro período de treinamento, mas sem atingir significância. A inibição inicial foi de $40,61 \pm 21,84\%$, reduzindo para $36,31 \pm 20,05\%$ após o treino (Figura 4- 31). Para a inibição D2, os sujeitos que apresentaram inibição maior que 40% foram desconsiderados, uma vez que em níveis elevados a inibição D2 apresenta maior tendência de redução. Com este critério, foram comparados somente 10 sujeitos, e a média pré-treino foi de $25,91 \pm 10,02\%$, valor este mais semelhante com as outras duas inibições avaliadas. Após o treino a inibição foi de $31,06 \pm 10,51\%$. O teste *t-student* mostrou tendência de significância para o aumento de 24% (Figura 4- 33).

Figura 4- 33 Inibição D2 obtidas antes (1) e depois (2) o treinamento do exército. A comparação mostra tendência de aumento da mesma (Teste *t-student* $p=0,09$).

Terceira coleta

Destes 23 sujeitos, foi possível reavaliar 13 sujeitos pela terceira vez, e com estes realizados uma análise em três períodos de tempo. Fez se então uma nova média para os valores pré e pós-treino, para que a análise fique pareada. Os dados estão descritos na Tabela 13. Os mesmos critérios para análise das inibições foram aplicados e portanto houve redução do número de sujeitos, principalmente para inibição D2, que prejudicou a análise e as diferenças não foram significativas entre as três coletas, para nenhuma das inibições avaliadas.

Os valores podem ser comparados na Tabela 13. Todas as mudanças verificadas com 21 sujeitos foram confirmadas com a análise com um número menor de sujeitos e também se mantiveram mesmo após 9 meses da primeira coleta. A inibição D1 continuou mostrando redução significativa com o treinamento ($p < 0,05$). Para a inibição D2 não foi possível fazer a análise estatística, e a IR não mostrou diferenças significativas.

Tabela 13 Comparação das inibições IR, D1 e D2 nas três avaliações (1 pré treino, 2 após 12 semanas de treinamento, e 6 meses após a 2ª coleta) no grupo do exército.

	IR			D1			D2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sujeitos	10			13			5 suj com inibição até 40%		
Média±DP	21,08± 8,293	16,61± 11,15	16,99± 11,77	33,27± 12,06	24,50± 10,35	26,32± 14,24	32,27± 6,63	37,86± 9,07	40,47± 21,71
Diferença da inibição em relação ao pré-treino		-23%	-20%		-27%	-22%		+17%	+25%
Análise ANOVA one-way					* p<0,05	p>0,05		-	-

A avaliação mais longa permite que a manutenção das alterações seja verificada, Apesar da pouca diferença estatística, a análise qualitativa (Figura 4- 34) mostra que as alterações verificadas após o treino, se mantiveram por 6 meses com a manutenção de atividade de menor intensidade.

Figura 4- 34 Comparação do comportamento das inibições IR, D1 e D2 ao longo das três avaliações realizadas no grupo do exército. Praticamente as alterações visualizadas na segunda coleta se mantém após 6 meses de atividade menos intensa.

4.2.2) Treinamento de força: força máxima e potência

O grupo que passou pelo treinamento de força, subdividido em força máxima e potência vai ser analisado separadamente para se verificar se houve algum tipo de adaptação com o treinamento físico. Posteriormente os dados serão comparados com um grupo controle para ver se o efeito se diferencia entre os grupos (efeito de treino) e se existe efeito de tempo e ou interação destes fatores.

No **grupo força máxima** a IR inicial em 9 sujeitos foi de $29,05 \pm 18,06\%$, reduzindo para $13,46 \pm 10,81\%$. Esta redução de 55% foi significativa ao teste *t-student* ($p=0,04$). Dentre os sujeitos avaliados, somente 1 não apresentou redução. Esta coerência entre os sujeitos pode ser visualizada na Figura 4- 35.

Figura 4- 35 Comportamento da IR, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.

Para a inibição D1, também em 9 sujeitos, a inibição inicial foi de $30,26 \pm 10,01\%$, permanecendo em $30,47 \pm 12,71\%$ após o treino ($p=0,95$). Esta ausência de mudança está relacionada à falta de coerência entre os sujeitos avaliados, alguns apresentaram aumento, outros diminuição, não alterando a média total (Figura 4- 36).

Figura 4- 36 Comportamento da inibição D1, analisados individualmente para verificação da falta de homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2).

A média da inibição D2 foi de $36,95 \pm 16,49\%$, subindo para $46,68 \pm 24,34\%$. Este aumento de 20% não foi significativo ($p=0,20$), porém dos 9 sujeitos apenas 2 apresentaram redução da inibição (Figura 4- 37).

Figura 4- 37 Comportamento da inibição D2, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo força máxima (F), antes (1) e após o treinamento (2). Setas indicam os sujeitos com comportamento diferenciado dos demais.

Na análise dos sujeitos do GFM que apresentaram até 40% de inibição, somente 5 sujeitos foram avaliados, mas sem alterações nos resultados, como inibição pré-treino de $28,24 \pm 10,93\%$ e de $42,10 \pm 16,48\%$ após o treinamento. Pelo baixo número de sujeitos (6), este aumento de 50% não foi significativo.

Sendo assim o GFM só apresentou redução significativa da IR, sem qualquer tendência na inibição D1, e um aumento da inibição D2 não significante porém presentes em praticamente todos os sujeitos avaliados.

No **grupo de potência** a IR em 8 sujeitos mostrou uma redução de 36% entre o valor inicial ($22,67 \pm 8,31\%$) e o final ($14,46 \pm 6,51\%$). Na Figura 4- 38 nota-se que houve em todos os sujeitos uma redução expressiva no grau de inibição, exceto para um que apresentou um aumento da inibição após o treino. Os outros 7 sujeitos apresentaram comportamento

coerente entre si. Analisando somente os sujeitos que apresentaram inibição acima de 10% na condição pré-treino, a média da IR para o GP seria de $25,16 \pm 4,75$, reduzindo para $12,74 \pm 4,66\%$ com o treino. Esta diferença de 50% é altamente significativa ($p=0,0013$).

Figura 4- 38 Comportamento da IR, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo potência (GP), antes (1) e após o treinamento (2). Seta indica o único sujeito com comportamento diferenciado dos demais.

A inibição D1 foi avaliada em 12 sujeitos e não apresentou diferenças com o treinamento. A inibição inicial foi de $24,94 \pm 11,31\%$, reduzindo para $22,31 \pm 9,40\%$.

A inibição D2 foi de $29,38 \pm 14,76\%$ pré-treino, reduzindo para $20,27 \pm 15,42$. Esta redução de 30%, verificada em 11 sujeitos foi significativa ($p=0,03$). Somente 2 sujeitos não apresentaram o mesmo comportamento, esta coerência pode ser visualizada na Figura 4-39.

Figura 4- 39 Comportamento da inibição D2, analisados individualmente para verificação da homogeneidade inter-sujeitos do grupo potência (GP), antes (1) e após o treinamento (2). Setas indicam os sujeitos com comportamento diferenciado dos demais.

Retirando os sujeitos que apresentaram inibição maior que 40% para inibição D2, 8 sujeitos apresentaram inibição de $21,96 \pm 6,76$ pré-treino e após o treino a inibição foi de $14,04 \pm 11,58$. Esta diferença de 34% não foi significativa ao teste *t-student* ($p > 0,05$).

Todos as inibições descritas acima, mais as inibições do grupo controle estão sumarizadas na Tabela 14, onde estão apresentados os valores que serão considerados para a discussão (com análise da inibição D2 com até 40% de inibição na situação pré-treino).

Como as inibições D1 e IR também apresentaram alguns valores acima de 40% na situação pré-treino, as mesmas análises foram feitas, desconsiderando estes valores. Apesar da redução de sujeitos por grupo, as tendências às alterações continuam as mesmas. O teste *t-student* ficou menos sensível pela redução do número de sujeitos, no entanto a análise ANOVA *Two-way* para comparação dos 3 grupos não sofreu qualquer alteração nos resultados (ANEXO B).

Tabela 14 Média e desvio padrão das inibições IR, D1 e D2 para os grupos controle (C), força máxima (GFM) e potência (GP), antes (1) e depois (2) do treinamento. *p<0,05.

IR						
	C1	C2	GFM1	GFM2	GP1	GP2
Média ±DP	15,33± 9,53	12,08± 10,97	29,05± 18,06	13,46± 10,81	22,67± 8,311	14,46± 6,510
Diferença	-3,25		-15,59		*-8,2 ** sem 1 sujeito -12,42	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		* p<0,05		* p>0,05 e **p<0,001	
Análise ANOVA	Efeito de tempo (p<0,05)					
Inibição D1						
	C1	C2	GFM1	GFM2	GP1	GP2
Média ±DP	24,32± 7,490	19,26± 4,725	30,26± 10,01	30,47± 12,71	24,94± 11,32	22,31± 9,402
Diferença	-5		0,21		2,63	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA	p>0,05					
Inibição D2						
	C1	C2	GFM1	GFM2	GP1	GP2
Média ±DP	25,54± 9,74	27,55± 15,89	28,42± 10,93	42,09± 16,48	21,95± 6,76	14,04± 11,58
Diferença	+2,04		+13,67		-7,91	
Diferença em %	↑7%		↑48%		↓ 36%	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA	Interação tempo*treino p<0,05 GFM se diferenciou do GP

Figura 4- 40 Comparação do comportamento das inibições IR (a), inibição D1 (b) e inibição D2 (c) para os grupos controle, grupo força máxima (GFM) e grupo potência (GP), antes e após o treinamento . As barras representam o erro padrão.

De posse do conhecimento que a atividade física causa uma adaptação neural, fez-se a comparação entre os 2 grupos de treinamento de força com o grupo controle, que não passou por qualquer treinamento. As inibições do grupo controle (Tabela 14) apresentaram algumas diferenças, mas nenhuma estatisticamente significativa. Esta análise estatística envolve 2 fatores: treino e tempo, verificando a influência de um sobre o outro nas 3 diferentes inibições.

A análise ANOVA da IR apresentou efeito de tempo (Figura 4- 41), o que mostra que todos os grupos apresentaram redução na segunda avaliação. Comparando as médias, a contribuição para esta redução foi pequena por parte do grupo controle, sendo mais evidente no GFM e GP.

Figura 4- 41 Porcentagem de IR (eixo Y) obtida nos grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA *two-way* mostrou efeito de tempo, ou seja os três grupos apresentam redução na segunda coleta. A redução da IR é mais evidente nos grupos GFM e GP.

Para inibição D1 não houve qualquer diferença entre os grupos, nem efeito de treino ou tempo (Tabela 14) .

Para inibição D2 houve interação dos fatores, mostrando claramente o efeito em direções opostas quanto aos treinos de força e potência (Figura 4- 42). O *post-test* de

Bonferroni mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as tendências de adaptação dos grupos GFM e GP.

Figura 4- 42 Porcentagem de inibição D2 (eixo Y), obtida nos grupos controle, força máxima (força) e potência, antes (1) e após o treinamento (2). A análise ANOVA *two-way* mostrou interação entre os fatores que fica evidenciado com o comportamento diferente entre o GFM e GP.

4.3) EMG condicionado

4.3.1) Grupo do exército

O condicionamento do EMG é utilizado na literatura como uma das formas de avaliar a IR. Estes resultados foram comparados com os efeitos encontrados com condicionamento do reflexo H.

As inibições sobre o EMG condicionado foram verificadas em 3 trechos diferentes: Interv1 e Interv2 em que se calculou individualmente o ponto de maior inibição, nos intervalos entre 40 e 60ms e entre 100 e 180ms após o estímulo, respectivamente. E também calculou-se a inibição aos 130ms após o estímulo para todos os sujeitos. A latência da inibição no Interv1 foi de $47,06 \pm 9,18$ ms e para o Interv2 foi de $141,3 \pm 16,21$ ms. Como a

latência de aparecimento da inibição no Interv2 é próxima ao trecho avaliado em 130ms, estas inibições serão analisadas em conjunto.

A porcentagem de inibição verificada no Interv1, foi significativa nas duas coletas ($p < 0,001$), porém não se diferenciaram no período pré-treino e pós-treino. A inibição no Interv1 foi de $35,52 \pm 13,96\%$ na primeira coleta e de $35,59 \pm 15,89\%$ na segunda coleta (Figura 4- 43).

Figura 4- 43 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, no intervalo 1 (de latência 45ms) antes (1) e após o treinamento militar (2). As barras representam o erro padrão.

Os valores de EMG verificados exatamente em 130ms após o estímulo, não demonstraram inibição significativa ($p > 0,05$), quando comparados aos valores basais. Esta ausência de inibição significativa se manteve na segunda coleta. A porcentagem de inibição foi de $4,34 \pm 11,05\%$ no pré-treino e de $4,97 \pm 19,25\%$ no pós-treino (Figura 4- 44). Os desvios padrão neste caso foram bem elevados mostrando uma variação grande de inibição neste trecho avaliado. Alguns sujeitos apresentaram facilitação de 13%, assim como outros apresentaram inibição de até 25%. Porém 75% dos sujeitos apresentaram até 10% de inibição, o que não demonstrou diferença significativa.

A inibição no Interv2 também foi significativa nas duas coletas ($p < 0,001$), não apresentando diferenças estatísticas com o treinamento ($p > 0,05$). O valor da inibição na

primeira coleta foi de $22,63 \pm 14\%$ e $22,06 \pm 12\%$ na segunda coleta. A comparação dos achados das inibições aos 130ms e no Interv2 pode ser feita na Figura 4- 44.

Figura 4- 44 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, 130ms após o estímulos e no intervalo 2 (de latência 140ms) antes (1) e após o treinamento militar (2). As barras representam o erro padrão.

Como dito anteriormente, as inibições verificadas no Interv 1 e 2 apresentaram latências de $47,06 \pm 9,18\text{ms}$ e $141,3 \pm 16,21\text{ms}$ respectivamente na primeira coleta (Figura 4- 45). Na coleta pós-treino, a latência do Interv1 não se alterou ($p > 0,05$ teste *t-student*), permanecendo em $46,44 \pm 9,79\text{ms}$. Já a inibição do Interv2 apresentou latência de $153 \pm 22,02\text{ms}$ após o treino (Figura 4- 45). Este aumento de 12ms foi significativa ($p = 0,02$).

Figura 4- 45 Latência de aparecimento da maior inibição nos trechos do intervalo 1 e 2 para o grupo do exército, antes (1) e depois do treinamento (2). As barras representam o erro padrão. * $p < 0,05$

Grupo do exercício: análise das 3 coletas

Quando os mesmos dados foram comparados com a terceira análise de dados realizadas 6 meses depois, o número de sujeitos caiu para 13, porém os resultados não diferem dos apresentados anteriormente. Os valores das inibições nas três coletas podem ser comparados na Tabela 15.

Tabela 15 Inibição obtida nos três trechos analisados do EMG do sóleus condicionado pelo estímulo no NFC, nas três coletas (1 – pré treino, 2- com 3 meses de treino, 3 – com 9 meses de treino). * $p < 0,05$

	Intervalo 1			130ms			Intervalo 2		
Coleta	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Média $\pm$ DP (ms)	31,87 $\pm$ 12,20	30,05 $\pm$ 12,79	34,01 $\pm$ 18,42	1,00 $\pm$ 9,58	1,64 $\pm$ 18,10	5,99 $\pm$ 9,42	18,29 $\pm$ 5,99	20,80 $\pm$ 6,89	18,93 $\pm$ 10,91
Teste <i>t-student</i> (entre <i>basal</i> e trecho de inibição)	*	*	*			*	*	*	*
ANOVA entre as 3 avaliações	$p > 0,05$			$p > 0,05$			$p > 0,05$		

A análise com teste *t-student*, somente para verificar a presença de inibição significativa nos três trechos analisados, mostrou significância para o Interv1 e Interv2 nas três avaliações. Já o trecho em 130ms apresentou inibição significativa ($p = 0,0256$) somente na terceira coleta, com 6% de inibição. Apesar desta inibição mais evidente a análise ANOVA *one-way* não mostrou diferenças significativas entre as três avaliações.

A análise das latências nas três avaliações, com 13 sujeitos, não mostrou alterações significativas na latência do Interv1 nas três coletas, com variação de do máximo 3ms (Tabela 16). A latência do Interv2 aumentou 15ms na segunda coleta, e na terceira coleta, após o segundo período de treinamento – menos intenso- a latência reduziu um pouco, mas ainda se manteve 8ms mais lento que o período pré-treino (Tabela 16). Estas diferenças confirmam os achados com 21 sujeitos, mas infelizmente não se mostraram diferentes na análise estatística.

Tabela 16 Latência de aparecimento do maior ponto de inibição nos dois trechos de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulo no NFC. Verificados nos períodos 1 – pré treino, 2- com 3 meses de treino, 3 – com 9 meses de treinamento militar.

Latência para Inibição						
	Intervalo 1			Intervalo 2		
	1	2	3	1	2	3
Média ±DP (ms)	48,92±11,06	46,44±9,79	49,90±9,91	141,8±15,47	156,7±25,38	149,6±19,31
ANOVA One-way	p>0,05			p>0,05		

4.3.2) Treinamento de força: força máxima e potência

Assim como no grupo do exército, as 2 inibições Interv1 e 2 foram estatisticamente significantes e a inibição aos 130ms não ultrapassaram os 10% (em média), quando comparados ao basal (Tabela 17).

A inibição obtida no Interv1 apresentou redução de 5% no grupo controle, aumento de 19% no GFM e aumento de 3% no GP. A inibição avaliada em 130ms após o estímulo condicionante apresentou redução de 5% na segunda coleta no grupo controle, aumento de 6,4% no GFM e aumento de 20% no GP. No Interv2 a inibição avaliada apresentou aumento 11% no grupo controle, 40% no GFM e 0,5 no GP. Nenhuma destas diferenças foram estatisticamente significativa na análise ANOVA *Two-way* (Tabela 17) Mas o aumento de 40% na interv2, no GFM, foi significativo para o teste *t-student*.

Tabela 17 Inibição obtida nos três trechos analisados do EMG do sóleus condicionado pelo estímulo no NFC, nos grupos controle, força máxima (GFM) e potência (GP), na condição pré-treino (1) e pós treino (2). As diferenças entre as coletas também estão expressas, onde valores negativos mostram redução, e valores positivos mostram aumento da inibição. * $p < 0,05$

Controle						
	Interv 1		130ms		Interv2	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	36,83±16,73	35,05±14,90	8,69±10,54	8,99±16,19	25,55±1	28,74±11,23
Diferença em %	-5		-5		11	
Análise teste t-student	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
GFM						
	Interv 1		130ms		Interv2	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	31,28±14,71	37,30±15,44	-1,06±9,15	5,46±11,24	16,70±8,55	23,46±9,71
Diferença em %	19,25		6,4		40	
Análise teste t-student	p>0,05		p>0,05		* p<0,05	
GP						
	Interv 1		130ms		Interv2	
	1	2	1	2	1	2
Média±DP	25,74±13,08	26,90±16,94	8,54±10,87	10,22±17,51	23,88±9,60	23,79±10,40
Diferença em %	5		20		-0,5	
Análise teste t-student	p>0,05		p>0,05		p>0,05	

Apesar da ausência de diferenças é interessante analisar que as mudanças verificadas nas três inibições não foram lineares, por exemplo, o GP apresentou aumento de 20% para a inibição aos 130ms, não acompanhados pelas inibições obtidas com o intervalo 1 e 2. Isto sugere um efeito diferenciado sobre as circuitarias avaliadas nas diferentes latências, e não efeito de mudanças do condicionamento. Fato semelhante aconteceu com o grupo controle mas de forma mais atenuada. Os valores podem ser comparados na Figura 4- 46.

Figura 4- 46 Porcentagem de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulos no NFC, no intervalo 1 (45ms), aos 130ms após o estímulos e no intervalo 2 (140ms). Verificados antes (barra branca) e após o treinamento (barra hachurada), para os grupos controle (A), força máxima (B) e potência (C). As barras representam o erro padrão.

A verificação da latência da inibição do Interv1 mostrou que os três grupos apresentaram a média de 46ms com alterações não significativas na segunda avaliação. Os valores podem ser comparados na Tabela 18 e Figura 4- 47.

Tabela 18 Latência de aparecimento do maior ponto de inibição nos dois trechos de inibição do EMG do sóleus condicionado por estímulo no NFC, nos grupos controle, força máxima e potência, na condição pré-treino (1) e pós treino (2). As diferenças entre as coletas também estão expressas, onde valores negativos mostram redução, e valores positivos mostram aumento da inibição.

Controle				
	Interv1_1	Interv1_2	Interv2_1	Interv2_2
Média±DP	46,17±3,34	43,19±9,30	148,5±22,95	145,2±24,16
Diferença em ms	-2,9		-3,1	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05	
GFM				
	Interv1_1	Interv1_2	Interv2_1	Interv2_2
Média±DP	45,57±2,962	43,91±2,266	137,4±27,73	154,7±23,51
Diferença em ms	-1,656		17,22	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05	
GP				
	Interv1_1	Interv1_2	Interv2_1	Interv2_2
Média±DP	46,08±10,60	49,22±9,146	146,4±17,41	138,1±19,98
Diferença em ms	3,25		-8,39	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05	

Já a latência da inibição do Interv2 apresentou algumas variações entre os grupos e após o treino (Tabela 18, Figura 4- 46 e Figura 4- 47). O grupo controle apresentou a inibição com latência ao redor de 148ms, reduzindo este valor em 3ms na segunda coleta. Já no GFM a inibição foi mais evidente em 137ms, porém após o treinamento a latência foi de 155ms após. Este aumento na latência em 17ms não foi acompanhado pelo outro trecho de inibição, possivelmente por ser um efeito específico a esta latência. O GP apresentou aumento de 3ms na latência do Interv1 e redução de 8ms na inibição do Interv2.

Figura 4- 47 Diferença na latência de aparecimento das inibições no intervalo 1 e 2, entre a primeira e a segunda coleta nos grupos controle (C), força máxima (F) e potência (P).

As mudanças nas latências no grupo controle foram iguais para as duas inibições. Já nos grupos treinados, as duas inibições apresentaram mudanças diferenciadas, que podem sugerir efeito de treino. A análise ANOVA não mostrou diferenças para estes achados ($p > 0,05$ para todas comparações), porém possíveis relações destes achados com os resultados obtidos do condicionamento do reflexo H serão discutidas posteriormente.

5) DISCUSSÃO

5.1) CVM - torque

A proposta inicial era de avaliar pessoas sedentárias que passariam a fazer alguma prática física que pudesse causar adaptações neuro-musculares. Uma das maneiras mais fáceis de verificar as mudanças funcionais da prática de atividade física é a mensuração da força muscular. O ganho de força pode sugerir adaptações tanto neurais como musculares. Estudos em humanos tem sugerido que as adaptações neurais tem início antes das adaptações musculares (ENOKA 2008) Figura 5- 1. Portanto, a presença de aumento de força já é um indicio da existência de adaptação neural, restando saber onde ela ocorre e seus mecanismos. No entanto, a ausência de ganho de força não implica em ausência de processo adaptativo, que pode ocorrer por melhora na coordenação e desempenho.

Figura 5- 1 Figura modificada de (KOMI 2003) que ilustra as adaptações musculares (linha azul) e neurais (linha vermelha), relacionadas ao ganho de força (linha preta) durante um treinamento com sobrecarga.

Para início da avaliação, a força máxima isométrica foi obtida de forma voluntária durante a dorsiflexão e a flexão plantar. Neste caso, ambos os movimentos

envolvem os músculos envolvidos nas circuitarias analisadas (tibial anterior e sóleus) e os respectivos sinergistas.

No caso do grupo militar, os treinos que eram inespecíficos a um determinado grupo muscular, envolveram principalmente marcha, corrida e postura bípede prolongada, bem como atividades militares com movimentos diversos. Este grupo apresentou aumento de força nos dois grupos musculares avaliados, sendo o ganho de força mais evidente para a flexão plantar (55%), do que para os dorsiflexores (21%). Já os outros 3 grupos avaliados (controle, GFM e GP) não apresentaram grandes diferenças. Apesar dos dois treinamentos serem considerados de força, somente o GP apresentou aumento significativo de 34% no torque máximo de flexão plantar gerado voluntariamente. Com exceção do grupo do exército, nenhum outro grupo apresentou mudanças na dorsiflexão.

O aumento da força máxima voluntária é comum após semanas de treinamento (HAKKINEN *et al.* 1985; PLOUTZ *et al.* 1994; HAKKINEN *et al.* 1998; HAKKINEN *et al.* 2001a; TRAPPE *et al.* 2001; SCAGLIONI *et al.* 2002; HAKKINEN *et al.* 2003; JENSEN *et al.* 2005). Porém a especificidade do treino pode ser determinante na capacidade de geração de força e conseqüentemente pode alterar a avaliação pré e pós-treino. Se na avaliação a posição e o tipo contração do músculo forem diferentes dos exercícios treinados, os resultados podem não mostrar os ganhos expressivos do treino (HAKKINEN *et al.* 1985; JENSEN *et al.* 2005).

O treinamento militar envolveu diversos movimentos que exigiam dos músculos flexores plantares a atividade repetida. Não houve implementações de sobrecargas específicas, mas a marcha, corrida e postura bípede prolongada exigiram uma maior resistência muscular e conseqüente aumento de força do sóleus. Além disto, somente no grupo do exército a musculatura do tibial anterior apresentou ganho de força máxima voluntária, provavelmente decorrente ao volume elevado de marcha e corrida. Este resultado sugere

modificações neuro-musculares também neste grupo muscular. Adaptações neurais específicas a este músculo não foram aqui investigadas diretamente, mas este ganho de força deve ser considerado, uma vez que isto pode influenciar nas adaptações sobre o sóleus futuramente discutidas.

Apesar do GFM ser um tipo de treinamento cujo objetivo principal é o aumento de força, este grupo não apresentou diferenças significativas no ganho de força máxima voluntária. Uma possível explicação pode estar relacionada ao tipo de movimento treinado, que favorece preferencialmente o fortalecimento dos extensores de joelho. Como o GP apresentou aumento da força na flexão plantar, e o movimento treinado foi o mesmo do GFM, a sobrecarga e a velocidade de execução devem ser determinantes para explicar as diferenças entre os grupos. A menor sobrecarga possibilita a execução do movimento de maneira mais rápida e completa com extensão completa de tornozelo; ou a maior velocidade do movimento contribui mais para adaptações no músculo sóleus no GP, comparado ao grupo submetido a grandes sobrecargas.

Além disto, a avaliação da CVM em nosso laboratório foi feita em isometria em uma posição fixa de joelho e tornozelo. Estes fatores podem interferir na avaliação de ganho de força devido à especificidade do treinamento, tanto de posição quanto de tipo de contração. O treino de potência para um músculo aumenta a força do mesmo para este tipo de contração, mas não garante o aumento de força isométrica (HÄKKINEN *et al* 1985).

Portanto a ausência de ganho de força isométrica na posição aqui verificada não implica na ausência de ganho de força muscular quando esta é avaliada de forma diferente, por exemplo durante o agachamento livre. Deste modo é válida a possibilidade de ter havido aumento de força, não verificado nesta avaliação, que sugira adaptações neurais. Adaptações estas que melhoram o desempenho e coordenação do movimento (RIBEIRO 2007).

Durante a avaliação da CVM, é necessário que haja recrutamento de 100% das UMs. Uma das formas de estimar este recrutamento é com a técnica de interpolação, em que durante uma CVM é aplicado um estímulo elétrico ao nervo correspondente para obter a onda Mmax. Se houver uma geração ainda maior de torque isto significa que nem todos os MNs foram recrutados voluntariamente (SCAGLIONI *et al.* 2002). A capacidade de melhorar o recrutamento pode ser uma das formas de adaptação com treinamento, sem que haja mudanças musculares (KNIGHT and KAMEN 2001).

Como neste trabalho a técnica de interpolação não foi realizada, normalizou-se o torque máximo obtido voluntariamente (CVM) pelo torque obtido pela onda Mmax. Com a estimulação elétrica, todos os MNs são ativados e portanto se obtém a contração máxima dos mesmos. Assim um aumento desta relação após treino sugere melhora no recrutamento dos MNs por comandos descendentes.

Esta relação foi avaliada só para o músculo sóleus dos quatro grupos, uma vez que não foi obtida a onda Mmax do TA. Somente o GP apresentou mudanças significativas (ao teste *t-student*), com aumento de 28% após o treinamento. Já os grupos exército e o GFM apresentaram mudanças não significativas de 10%, sendo para o primeiro aumento e segundo redução da CVM normalizada. O grupo controle não apresentou diferença. A análise ANOVA para comparação entre os grupos controle, GFM e GP também mostrou tendência à interação dos fatores evidenciando o maior efeito de treino no GP, quando comparado aos demais grupos.

Portanto, o GP apresentou aumento no torque da CVM absoluta e normalizada pelo torque da Mmax. Este grupo apresentou um aumento de 10% no torque obtido pela onda Mmax, porém não foi significativo uma vez que nem todos os sujeitos apresentaram mudanças. Sendo assim probabilidade de hipertrofia muscular não é significativa. Que leva a

concluir que o ganho de força voluntário deve ser atribuído à melhora no recrutamento voluntário dos MNs do sóleus.

5.2) CVM - RMS do EMG

Após a avaliação mecânica, foi feita a análise dos valores RMS dos sinais do EMG correspondentes à CVM do sóleus e TA. No grupo do exército, os valores do RMS do EMG de ambos os músculos apresentaram aumento, mas somente durante a dorsiflexão este aumento foi significativo. Já os grupos controle, GFM e GP não tiveram grandes alterações nos valores do RMS do EMG dos músculos avaliados na flexão plantar e dorsiflexão.

Os resultados no ganho de força e do aumento do EMG após treinamento ainda é controverso na literatura. Carolan e Cafarelli (1992) também não encontraram mudanças no RMS dos músculos treinados em isometria máxima, apesar do ganho de 32% na CVM. Alguns trabalhos com idosos submetidos a diferentes tipos de treinamentos investigaram as adaptações no torque e do EMG (HAKKINEN *et al.* 2000; HAKKINEN *et al.* 2001a; FERRI *et al.* 2003). Ferri *et al.* 2003 submeteram idosos a treinos de força, obtiveram somente aumento da força, e não do EMG. Já nos trabalhos do grupo de Hakkinen *et al.* (2000; 2001a; 2001b), o treinamento de força máxima isométrica proporcionou aumento no torque e no EMG. Em adultos jovens o treinamento balístico dos músculos dorsiflexores também aumentou o torque máximo e o EMG (VAN CUTSEM *et al.* 1998).

Estas diferenças podem ser relacionadas ao tipo de treinamento. Segundo Ferri *et al.* 2003 e Van Cutsem *et al.* 1998, o treino explosivo (potência) proporcionaria maiores adaptações neurais, o que realmente foi verificado em idosos (HAKKINEN *et al.* 2001a) e em adultos jovens (VAN CUTSEM *et al.* 1998). A análise dos nossos dados sem normalização não apontou para diferenças no GP. No entanto com a normalização dos valores do RMS do EMG (do sóleus) pelo valor pico a pico da onda Mmax, o GP (excetuando-se um sujeito)

apresentou tendência ($p < 0,06$) de aumento após o treino. Como os demais grupos não apresentaram diferenças significativas, estes achados corroboram com os achados de que o treino de potência gera mais adaptações neurais.

Na literatura (CAROLAN and CAFARELLI 1992; HAKKINEN *et al.* 1996; HAKKINEN *et al.* 2003) o aumento do EMG é atribuído a um aumento na capacidade de recrutar as UMs maiores, bem como mudanças na frequência de disparo (VAN CUTSEM *et al.* 1998), aumento da massa muscular (SUETTA *et al.* 2004), mas sem mudanças significativas no sincronismo (DUCHATEAU *et al.* 2006). Porém muito cuidado deve ser tomado no uso desta variável para esta análise. Segundo a maioria dos autores (FERRI *et al.* 2003, HAKKINEN *et al.* 2003, VAN CUSTEM *et al.* 1998, CAROLAN and CAFARELLI 1992) o aumento do EMG sem alterações nos valores da onda Mmax devem ser consideradas como tendo origens somente neurais.

Porém a ausência de mudanças no EMG não implica na falta de adaptação neural. Keenan *et al.* (2005) em simulações com recrutamento de UMs, verificaram o aumento de 50% no número de UMs recrutadas, ocasiona aumento de apenas 15% no EMG. Isto se deve ao fato da existência de sobreposição de fases positivas e negativas dos potenciais das UMs que se anulam durante a ativação voluntária. Sendo assim a possibilidade de cancelamento dos picos causa um grande impedimento na utilização do EMG como forma de inferir sobre a capacidade de recrutamento e ainda sobre mudanças no *drive* descendente para este recrutamento.

Além disto, treinamento de força pode causar uma maior ativação entre sinergistas (DUCHATEAU *et al.* 2006), bem como redução da ativação dos antagonistas (CAROLAN and CAFARELLI 1992; HAKKINEN *et al.* 1998). Estas alterações podem contribuir para mudanças na força voluntária e na coordenação motora sem que haja mudança no EMG. No caso de uma melhora no recrutamento dos sinergistas, estes conseguiriam gerar

mais força, o que se verificou mecanicamente no GP e grupo do exército, sem necessariamente haver aumento de ativação elétrica do sóleus, músculo avaliado.

Segundo Aimonetti *et al* (1999) a co-contração entre antagonistas é comum durante a fase de aprendizado, e pode, portanto, reduzir com o treino levando a melhora no desempenho. A redução da co-contração dos isquiotibiais foi de 20% durante a CVM do quadríceps, após treino de força para extensores de joelho (CAROLAN and CAFARELLI 1992). Esta redução de atividade nos músculos antagonistas pode estar relacionada a uma melhoria da eficácia de circuitarias inibitórias conforme verificadas neste trabalho, principalmente a IR. No trabalho de Carolan e Cafarelli (1992), a redução de atividade dos isquiotibiais pode ter ocorrido por aumento da IR do quadríceps sobre os isquiotibiais, bem como a IR sobre o quadríceps diminuiu com a redução da ativação dos isquiotibiais, facilitando o movimento do quadríceps.

O mesmo pode ter acontecido no presente trabalho, com redução da ativação do TA durante a flexão plantar no caso do GP e exército. Apesar do presente trabalho não avaliar as co-contrações durante a CVM, as verificações das inibições que podem modular a ativação dos músculos antagonistas foi feita e será melhor discutida mais adiante.

Sendo assim, a ausência de mudanças no EMG não deve ser considerada como ausência de plasticidade neural. Além disto, esta variável deve ser utilizado com maior cuidado para as análises e interpretações das adaptações neurais.

5.3) Reflexo H

Uma outra forma de averiguar as adaptações neurais é por meio do reflexo H. Além de ser uma ferramenta de acesso à circuitaria medular, registros de adaptação desta via já foram documentados em animais e humanos.

Estudos com animais mostram a capacidade do sistema reflexo em se adaptar (aumentando ou diminuindo) sua amplitude, sem qualquer mudança no EMG dos agonistas, sinergistas ou antagonistas e sem alterações no comprimento do músculo testado. Estas adaptações ocorrem em 2 fases. A primeira é imediata (com início em até 6 horas) e mais evidente com mudanças em até 8% na amplitude do reflexo. A segunda fase é mais lenta e discreta que pode durar indeterminadamente, mas tem seu declínio por volta de 2 meses (WOLPAW and O'KEEFE 1984).

Os mecanismos responsáveis pela primeira fase de adaptação, segundo os autores são segmentares, no próprio arco reflexo Wolpaw and O'Keefe (1984). A modulação do reflexo deve estar relacionada com o nível da IPS sobre as fibras aferentes, ou ainda com mudanças sobre os MNs gama, que controlariam a maior ou menor sensibilidade do reflexo de estiramento. Esta fase não é necessariamente persistente e portanto não é chamada de plasticidade pelos autores, somente de adaptações ou modulações. Wolpaw and O'Keefe (1984) só denotam o termo plasticidade se há alguma mudança estrutural ou bioquímica.

Já a segunda fase de adaptação envolve mudanças funcionais do reflexo e podem refletir mudanças na atividade tônica descendente. Esta fase está associada a alterações em todo arco reflexo e é dependente de uma taxa de exercícios constantes. Segundo Wolpaw and O'Keefe (1984), a fase II depende da fase I e ambas dependem de um comando descendenteônico para causar mudanças estruturais. Essas mudanças podem ser nos níveis cortical, cerebelar, ou medular e são os substratos para o aprendizado e memória.

Alguns indícios apontam para as adaptações ocorrendo na medula como já foi discutido. O treinamento unilateral proporciona a educação cruzada, e pode ser uma das maneiras de verificar as adaptações neurais, uma vez que o membro não treinado sofre algumas alterações no controle motor (YUE and COLE 1992; HAKKINEN *et al.* 1996; LAGERQUIST *et al.* 2006). A origem destas adaptações pode ser atribuída ao comando descendente (AAGAARD *et al.* 2002), bem como a existência de circuitarias entre membros (SABATINO *et al.* 1994).

No entanto, para que ocorram adaptações medulares, as informações aferentes são fundamentais, o que justifica as adaptações neurais mais claras registradas no membro treinado (YUE and COLE 1992; HAKKINEN *et al.* 1996; LAGERQUIST *et al.* 2006). Ou seja, as mudanças medulares são decorrentes de inputs combinados. Segundo Lagerquist *et al.* (2006) o treinamento físico proporciona aumento dos estímulos somatosensoriais que em conjunto com os comandos descendentes potencializam as vias medulares, conseqüentemente maior adaptação medular, contribuindo para a maior geração de força.

Sendo assim fica claro que pode haver adaptações nas circuitarias medulares reflexas com certos tipos de treinamento. Em humanos, a variável mais freqüentemente analisada tem sido a relação elétrica e mecânica entre as ondas Hmax e Mmax, porém, apesar da grande quantidade de trabalhos, os resultados são contraditórios.

5.3.1 Amplitude das ondas Hmax Mmax

Em nosso trabalho, as mudanças nos valores da amplitude pico a pico das ondas Mmax e Hmax no grupo do exército não foram significativas. Com isto a relação Hmax/Mmax pré e pós-treino também se mantiveram inalteradas. Os grupos controle, GFM e GP também não apresentaram mudanças significativas nos valores absolutos de Hmax e

Mmax. Já a relação Hmax/Mmax foi significativamente maior somente no GFM (ao teste *t-student*), apresentando um aumento de 15% após o treinamento, passando de 0,58 para 0,67. Na comparação dos GFM e GP com o grupo controle, não houve diferença entre os grupos, mas houve efeito de tempo, mostrando que os 3 grupos apresentaram a mesma tendência de aumento da relação elétrica na segunda coleta em relação à primeira. Para a comparação de efeito de treino isto não é proveitoso, uma vez que o grupo controle também apresentou variações equiparadas aos demais grupos (não houve interação entre os fatores), no entanto o aumento no grupo controle foi de 6% e dos grupos GFM e GP o aumento foi maior que 10%.

A tendência de aumento na relação elétrica Hmax/Mmax com o treinamento, independente do tipo de treino, confirma os achados de (NIELSEN *et al.* 1993). Nielsen *et al* (1993) compararam praticantes de atividade física, de diferentes categorias, sendo classificados somente quanto à carga horária de atividade semanal. Os autores mostraram que a relação aumentava quanto maior era a carga horária de treino. No entanto a análise separada por tipo de treino, mostra alguns resultados contraditórios para os atletas de potência, descritas mais a diante.

No trabalho de Perot *et al* (1991), atletas de resistência apresentaram maior relação elétrica Hmax/Mmax quando comparados a sedentários. No presente trabalho o grupo do exército não mostrou diferenças após 3 meses de treinamento. No entanto a ausência de diferença na relação Hmax/Mmax no grupo do exército corrobora com os achados de Capaday e Stein (1987) que não verificaram aumento do reflexo H com o aumento da velocidade da corrida, descrita por Simonsen and Dyhre-Poulsen (1999).

Os sujeitos deste trabalho submetidos a 8 semanas treino de potência também não apresentaram os mesmos resultados descritos na literatura. Sabe-se que atletas submetidos a longos períodos de treino de potência apresentam menor relação elétrica Hmax/Mmax quando comparados a sedentários (CASABONA *et al.* 1990, MAFFIULETTI *et al* 2001 e

ROCHCONGAR *et al* 1979). Já os resultados desta pesquisa apontam para aumento na relação Hmax/Mmax. A causa desta diferença pode estar relacionada ao tempo e ao tipo de treino. O presente estudo foi longitudinal, com duração de 8 semanas, que envolve o período de aprendizagem do movimento e menor tempo de exposição ao estímulo. O processo adaptativo de aprendizagem pode se diferenciar das adaptações crônicas, pois a prática da atividade de maneira contínua desencadeia plasticidades compensatórias (WOLPAW 1997).

Além disto, a comparação de resultados de trabalhos realizados com atletas de explosão (potência), ou sujeitos submetidos a treinos de potência deve ser feita com cuidados. Sabe-se que a relação Hmax/Mmax é diferente para atletas de explosão que praticam de esportes diferentes (AVELA *et al.* 2006).

A menor relação Hmax/Mmax encontrada entre atletas de explosão após exposição prolongada pode estar relacionada com a redução de ativação dos MNs alfa pelas aferentes, com a composição dos tipos de fibras musculares destes atletas, ou com mudanças nos próprios MNs. Segundo Casabona *et al.* (1990), o treino de potência deve reduzir a eficiência das sinapses entre as fibras aferentes Ia e os MNs pequenos e médios. Além disto, as características de treino podem levar a outras alterações, como no tipo de fibras musculares. A redução da relação elétrica pode ser fruto de uma mudança de MNs intermediários (FR) para tipo FF (CASABONA *et al.* 1990; LAGERQUIST *et al.* 2006), o que aumentaria a rapidez da contração, porém com menor contribuição sobre o reflexo H.

No entanto o presente trabalho mostrou que o período de 8 semanas de treino de potência tende a elevar a relação Hmax/Mmax. Isto pode refletir maior excitabilidade auxiliando o movimento treinado. A falta de significância (ao teste *t-student*) para mostrar o aumento na relação Hmax/Mmax para o GP pode estar relacionada à necessidade de atividade descendente para evidenciar as alterações nas vias envolvidas. Voit *et al.* 1998 verificaram aumento do reflexo H durante o salto, quando comparado ao repouso prévio ao salto, após 4

semanas de treino com saltos. Uma avaliação das vias medulares, feita durante o movimento treinado pode evidenciar as adaptações ao exercício. No presente trabalho e no trabalho de Voit *et al.* 1998 o treino de potência levou ao aumento do reflexo, que pode indicar maior utilização da via reflexa para potencializar a força.

Os trabalhos longitudinais na literatura geralmente envolvem treinos de força máxima, em que os resultados são semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, com aumento do reflexo H após um período de atividade física (AAGAARD *et al.* 2002; SCAGLIONI *et al.* 2002; LAGERQUIST *et al.* 2006; HOLTERMANN *et al.* 2007). No entanto estes autores não conseguiram verificar alterações na relação Hmax/Mmax em repouso, as mudanças só foram registradas sobre o reflexo H, quando este era de amplitude menor que o reflexo Hmax, e durante alguma atividade voluntária.

Estudos com grupos submetidos a treinamento de força só encontraram modificações no reflexo H quando este foi mensurado sob contração (AAGAARD *et al.* 2002, HOLTERMANN *et al.* 2007) ou com amplitudes menores que a Hmax (HOLTERMANN *et al.* 2007, LAGERQUIST *et al.* 2006). Aagaard *et al.* (2002) avaliaram o reflexo H do sóleus após 14 semanas de treino de força dos extensores de tornozelo, e só verificaram aumento de 20% na relação Hmax/Mmax durante ativação voluntária dos músculos treinados. Holtermann *et al.* (2007) e Lagerquist *et al.* (2006) não verificaram qualquer mudança na relação Hmax/Mmax, no entanto o reflexo H (menor que o Hmax) apresentou-se significativamente maior após treinamento de força (com 3 e 5 semanas de treino respectivamente)

A comparação dos resultados obtidos com o reflexo Hmax e reflexo H de menor amplitude não é equivalente. O reflexo Hmax recruta UMs maiores, com maior limiar de disparo (LAGERQUIST *et al.* 2006 e HOLTERMANN *et al.* 2007), enquanto que o reflexo H de menor amplitude é composto preferencialmente de UMs menores ainda na fase ascendente da curva de recrutamento. No caso do treino de força máxima as UMs maiores

são altamente exigidas, portanto podem ser alvo de adaptações e podem não estar sendo avaliadas pelo reflexo H de menor amplitude.

Para Lagerquist *et al.* (2006) é pouco provável que adaptações verificadas durante o repouso reflitam as adaptações neurais durante a atividade. Como os resultados aqui apresentados foram obtidos em repouso, após 8 semanas de treino, estas diferenças aqui verificadas podem refletir adaptações mais duradouras, decorrentes de mudanças estruturais, ou bioquímicas em nível medular, que podem ser diferentes das adaptações durante o movimento. As adaptações durante ativação voluntária sugerem que exista uma plasticidade dependente da tarefa (HOLTERMANN *et al.* 2007), mas, devido ao envolvimento de várias vias diferentes (aférentes e eférentes), a identificação do local que sofreu adaptação, causando alteração sobre o reflexo H é mais difícil.

Apesar das diferenças metodológicas entre este trabalho e os dados da literatura, todos os resultados mostram aumento no reflexo H após o treinamento de força, que pode ser atribuído a aumento no *drive* descendente, como sugerido por Aagaard *et al.* (2002) que verificaram aumento concomitante do reflexo H e onda V¹ (definição em lista de abreviaturas). Já a constatação do aumento na relação Hmax/Mmax no repouso neste trabalho reforça que a medula espinal sofre modificações duradouras na excitabilidade de suas vias. A excitabilidade das vias medulares pode, por exemplo, estar associada a alterações nos MNs ou na IPS.

Além da IPS, alterações na facilitação ou inibição pós-sinápticas sobre os MNs também podem influenciar a amplitude do reflexo Hmax (LAGERQUIST *et al.* 2006). A

¹ **Onda V (no sóleus):** Obtida com uma estimulação elétrica supramáxima (Mmax) sobre o nervo tibial durante uma CVM do sóleus. É resultado de sinapses entre Ia-MN que só podem ser visualizadas porque ocorre uma colisão antidrômica nas vias eférentes entre os potenciais de ação descendentes e do estímulo elétrico. Esta onda não pode ser verificada no repouso, sendo então utilizada como forma de avaliar o nível de ativação descendente durante uma CVM. Alterações sobre a mesma são avaliadas como alterações corticais.

redução da relação Hmax/Mmax pode estar associada, por exemplo, ao aumento da IPS, bem como aumento da IR (NIELSEN *et al.* 1993).

Uma maior excitabilidade da via reflexa possibilita um recrutamento de um número maior de UMs de forma mais precoce e mudanças na frequência de disparo (HOLTERMANN *et al.* 2007). Tudo isto contribui para melhoria da geração de força (LAGERQUIST *et al.* 2006) e velocidade de contração (HOLTERMANN *et al.* 2007).

O aumento da relação Hmax/Mmax em 15% somente no GFM (GP aumentou 12,5%) pode estar relacionado com mudanças de origem heterônima. O exercício treinado era preferencialmente para o músculo quadríceps. Por sua vez as fibras aferentes do quadríceps facilitam diretamente os motoneurônios no sóleo (HULTBORN *et al.* 1987a). Durante uma exposição mais prolongada com cargas altas sobre o quadríceps, as influências sobre os MNs maiores do sóleo podem ter sido mais efetivas, mudando o limiar de disparo ou elevando os potenciais de membrana no repouso (talvez via correntes dendríticas persistentes responsáveis pelos potenciais platô), o que permitiu um melhor recrutamento destes MNs durante as estimulações elétricas, acarretando em aumento da onda Hmax principalmente nos GFM e GP, quando comparado ao grupo controle e grupo de exercício.

De modo geral, o aumento do reflexo H, com o conseqüente aumento da contribuição dos disparos das aferentes Ia para a atividade dos MNs, causa um incremento no “*stiffness*” muscular que possivelmente aumenta a eficiência mecânica durante a contração (SIMONSEN e DYHRE-POULSEN 1999). Isto pode exercer influências sobre a capacidade mecânica de produzir força e será analisada no próximo item.

5.3.2 Torque das ondas Hmax e Mmax

Apesar da ausência de diferença na amplitude pico a pico das ondas Mmax e Hmax, houve diferenças significativas no torque gerado pelas mesmas para o grupo do exército. A estimulação da onda Mmax, ocasionando recrutamento de todas UMs, mostrou ganho significativo de força entre a avaliação pré e pós-treino de 23% no grupo militar. Os grupos controle, GFM e GP não apresentaram ganho em torque obtido com a onda Mmax. Apesar da ausência de diferença estatística, o grupo controle apresentou leve queda no torque (4%), enquanto os grupos treinados aumentaram ligeiramente o torque gerado durante a onda Mmax (10%).

Embora o início do aumento de massa muscular ocorra somente após 12 semanas de treino (STARON *et al.* 1994b; TRAPPE *et al.* 2001), a possibilidade de adaptações musculares terem ocorrido no presente trabalho não deve ser descartada. Como a onda Mmax é uma resposta à estimulação elétrica, as adaptações associadas a ela devem ter origem muscular sugerindo mudanças no volume de massa muscular. Alterações na placa mio-neural (DESAULNIERS *et al.* 2005) ou no trajeto do axônio (GARDINER *et al.* 2006) também podem ocorrer com treinamento físico, mas os resultados funcionais destas adaptações ainda não é esclarecido em humanos.

Somente o grupo do exército apresentou aumento significativo no torque gerado pela onda Mmax, sugerindo fortemente a ocorrência de adaptações musculares. A diferença significativa no grupo do exército pode ser decorrente do maior tempo de treino, pelo maior número de sujeitos avaliados. Ou, a ausência de mudanças nos grupos GFM e GP pode ser pela inespecificidade dos treinos aos músculos extensores de tornozelo. Os grupos GFM e GP treinaram agachamento com final do movimento em flexão plantar. Este exercício envolve a ativação dos músculos avaliados aqui, porém o treino não foi específico, uma vez

que os músculos mais ativados neste exercício são os extensores de joelho. Já o grupo do exército não passou por treinamento controlado, mas as atividades por eles desenvolvidas envolvem diretamente o tríceps sural: marcha, corrida e postura de pé prolongada.

Na avaliação da força gerada pela onda Hmax o resultado foi diferenciado. Os grupos do exército e GP apresentaram aumento significativo de 14% e 35%, respectivamente, enquanto o GFM aumentou 5,6% e grupo controle reduziu 3% de forma não significativa em ambos aos casos.

A análise do torque gerado pela Hmax sugere não só efeitos musculares como efeitos na circuitaria medular, e estes resultados foram diferentes dos resultados obtidos pela Mmax. Este aumento visível do torque gerado pela Hmax, não pode ser atribuído somente à maior força gerada pelas UMs uma vez que este resultado não aparece com a onda Mmax. Pelo contrário, o aumento do torque gerado pela Mmax no GP foi o menor dos 3 grupos analisados. Este resultado não foi acompanhado pelo aumento significativo em mV da onda Hmax, possivelmente porque a captação do EMG foi feita somente sobre o músculo sóleus, e os músculos gastrocnêmios também podem contribuir na geração do torque pela Hmax ou Mmax (CRESSWELL *et al.* 1995), uma vez que os 3 músculos são inervados pelo mesmo nervo e são agonistas.

A capacidade do GP em gerar maior torque pelas vias reflexas é maior do que do grupo controle, GFM ou exército. Estes resultados podem estar relacionados com o maior recrutamento de unidades motoras maiores, que geraram mais força, que não contribuem para o reflexo Hmax.

O aumento significativo do torque gerado pela Hmax no GP refletiu na relação mecânica Hmax/Mmax, que se apresentou elevada somente neste grupo em 18%. O grupo controle, GFM e grupo militar apresentaram redução de 3,5, 1,5 e 5%, respectivamente,

Este aumento na relação mecânica especialmente na ativação reflexa das UMs no GP reflete adaptação específica do tipo de treino, relacionado à melhoria na eficiência do reflexo. A análise estatística mostrou interação entre os fatores ($p < 0,05$) possivelmente por maior contribuição dos resultados do GP, que apresentou maior diferença e ainda em direção oposta aos demais grupos.

Esta maior relação mecânica H_{max}/M_{max} em grupos submetidos a treino de potência também foi verificado em um estudo transversal (MAFFIULITTI *et al.* 2001) entre atletas de resistência (corredores) e de potência (jogadores de vôlei e basquete). Os atletas tinham histórico de 10hs de atividades semanais, por no mínimo 5 anos. Além de corroborar com os achados de Maffiuleti *et al* (2001), o presente trabalho também mostra que esta adaptação é rápida, acontecendo com 8 semanas de treinamento e desaparece com apenas 4 semanas de destreino.

Este resultado aponta para uma melhoria na geração de torque quando as UMs responsáveis pelo reflexo H_{max} são recrutadas pelas Ia, potencializando a via reflexa para melhora funcional.

Uma outra relação que foi utilizada inferir sobre a eficiência reflexa foi estabelecida por Scaglioni *et al.* (2003). Estes pesquisadores, durante a análise das características mecânicas dos músculos entre idosos e adultos jovem, avaliaram a relação entre torque gerado pelas ondas M_{max} e H_{max} do sóleus, pelos valores pico a pico do EMG (TQ/AMP). Aumento nesta relação indica que foi gerada mais força para a mesma amplitude em uV. A relação TQ/AMP da onda H_{max} foi maior em idosos quando comparado ao grupo de adultos jovens. Nesta avaliação a eficácia reflexa nos idosos foi considerada maior que nos adultos jovens, como forma compensatória para preservar a eficiência das UMs sobreviventes (SCAGLIONI *et al.* 2003).

Em nosso trabalho, fizemos esta mesma relação, para ser comparada após o treino. Nenhum dos grupos apresentou mudanças significativas, com o fato que o GP e o GFM apresentaram direções opostas às adaptações. Um dado interessante é que no GP apesar do aumento de 23% não ter sido significativo, dos 11 sujeitos somente 3 reduziram esta relação, e os demais apresentaram aumento claro. Enquanto que o GFM reduziu 10%. Sendo assim, o GP apresentou características semelhantes às encontradas durante o envelhecimento, porém neste caso a adaptação não seria compensatória, e sim reflexo das exigências do treino. Neste treino o arco reflexo é mais utilizado para potencializar a força muscular.

5.3.3 Efeitos do destreino

Para os grupos GFM e GP que passaram por um período de 1 mês de destreino, foi feita uma terceira análise, mas somente da avaliação das variáveis obtidas com as ondas Mmax e Hmax. Esta avaliação tem como objetivo relacionar as mudanças significativas como consequências do treino, uma vez que a suspensão da atividade treinada e a ausência de outra atividade física fazem com que as variáveis tendam a voltar a valores pré-treino. Um mês após cessar os treinos, já foi possível visualizar a tendência ao retorno dos valores basais no torque máximo gerado pelas ondas Hmax e Mmax, para os dois grupos treinados. Somente no GP para onda Hmax este comportamento foi significativo, em que o torque gerado pela onda Hmax após o treino foi significativamente maior que o pré-treino e o destreino. Os efeitos de destreino no grupo de força foram prejudicados pelo baixo número de sujeitos (5) e pela pouca alteração após o treinamento, mesmo assim os valores de torque com a Mmax tendem a voltar a valores pré-treino após o destreino. O torque gerado pela Hmax não apresentou diferenças com treino ou destreino para o GFM. Apesar da ausência de significância e todas as curvas, estes resultados mostram que as alterações verificadas neste trabalho devem ser

atribuídas ao efeito de treinamento e não a efeitos do tempo ou de alterações na avaliação. Isto colabora para a atribuição dos demais achados aos efeitos do treino, evidenciando a ocorrência de adaptação neuromuscular.

5.3.4 Latência

Além da análise de valor do pico máximo de torque das ondas Mmax e Hmax, as latências para o pico Mmax também foram medidas e comparadas antes e após o treino. Verificaram-se mudanças significativas para o grupo do exército que ficou mais lento em 10 ms e para o grupo GP que ficou mais rápido em 13ms.

Scaglioni *et al.* (2003), em uma avaliação em idosos discutiram a lentificação das características mecânicas do sóleus com o envelhecimento. Estas são algumas das características encontradas pelo grupo treinado pelo exército. Apesar do processo de plasticidade ser diferente para o envelhecimento e para o treino de resistência, uma característica deve ser semelhante: redução das UMs rápidas e conseqüente aumento na proporção de fibras lentas. Estas mudanças são benéficas para o grupo do exército que precisa de UMs com mais resistência, sem necessidade de gerar grande força.

Van Custem *et al.* (1998) que treinou movimentos balísticos dos músculos dorsiflexores verificaram uma redução significativa de 21ms no recrutamento voluntário máximo. Apesar dos músculos treinados apresentarem características diferentes (o sóleus tem mais UMs lentas que o TA), e os treinos serem diferentes, ambos trabalhos mostraram a mesma tendência de melhoria na velocidade de contração com treinos balísticos. No entanto, neste trabalho a mudança na velocidade de contração deve estar relacionada à mudanças musculares, uma vez que a diferença foi encontrada no torque da onda Mmax. Mudanças estas que podem estar relacionadas a mudança no tipo de fibras como sugerida em trabalhos com treinos (STARON *et al.* 1994b) e com idosos (BALAGOPAL *et al.* 2001).

Como o GFM não necessita de mais fibras lentas, nem de movimento rápido, o treino não alterou a velocidade de contração. Vale salientar que esta é uma contração não voluntária. O presente trabalho não avaliou a taxa de desenvolvimento de força (voluntária) que muda com o treino (HOLTERMANN *et al.* 2007), mas que envolve necessariamente recrutamento voluntário sob comandos descendentes.

5.4) Circuitaria

A IR tem sua origem pós sináptica sobre os MN, com um único interneurônio entre as fibras Ia de um músculo antagonista e os MNs. Alguns autores atribuem à IR dois ou mais interneurônios, principalmente durante atividade voluntária (CRONE 1993). Para o presente trabalho a IR é considerada como sendo dissináptica, tendo sua origem nas fibras aferentes Ia do músculo TA agindo sobre os MNs do sóleus. As outras 2 inibições, D1 e D2, são atribuídas na literatura por autores diferentes como sendo IPS (CAPADAY *et al.* 1990; ILES 1996; LEONARD *et al.* 1999; AYMARD *et al.* 2001; MORIRA *et al.* 2001). No presente trabalho a inibição D2 é considerada como IPS e a D1 como sofrendo influências pós sinápticas. As origens destas inibições serão discutidas posteriormente.

5.4.1) Grupo do exército

No grupo do exército a IR apresentou redução de 13% com o treinamento, mas esta diferença não foi significativa. A ausência de significância neste caso pode ser atribuída às variações das inibições, uma vez que, de 18 sujeitos avaliados, 8 apresentaram aumento da inibição e 10 apresentaram redução da mesma. Com esta disparidade não foi possível estabelecer um comportamento homogêneo para uma análise. Pode ter havido nos 2 grupos diferenças em padrões motores que levaram a uma plasticidade diferenciada, mas nossa análise não enveredou por essa hipótese. Em um trabalho que houve imobilização do sóleus e TA durante 2 semanas também não houve variação nos níveis de IR (LUNDBYE-JENSEN and NIELSEN 2008). Por outro lado os experimentos desta tese mostraram que o

treinamento de força máxima e potência reduziram significativamente a IR, o que será discutido mais adiante.

A inibição D1, verificada com intervalo C-T entre 15-25ms, foi a única que apresentou diferenças significativas no grupo do exército. A redução da inibição após o treino foi de 30% e foi verificada em 19 dos 21 sujeitos avaliados. Esta homogeneidade deve ser atribuída ao treinamento a que todos foram expostos. Vale salientar que a obtenção das 3 inibições foi feita com o mesmo estímulo condicionante e portanto, qualquer influência metodológica de condicionamento (aumento de intensidade de condicionamento, posicionamento do eletrodo) deveria ser visto nas 3 inibições. Como isto não foi verificado, podemos atribuir ao efeito de treinamento, específico a esta via.

É sabido que a inibição D1 é modulada durante a atividade voluntária. A ativação do sóleus faz com que haja redução da IR do TA sobre o sóleus, assim como um aumento é verificado com a atividade preferencial do TA (MATTOS 2003). A redução significativa encontrada nesta tese faz com que a inibição basal, verificada no repouso, seja 30% menor após o treinamento.

Sendo esta inibição pós-sináptica, a redução da mesma vai possibilitar maior facilidade para ativação dos MNs. Esta seria uma adaptação muito interessante para o tipo de exercício treinado, uma vez que a manutenção da postura quieta e a marcha exigem ativação contínua do músculo sóleus. A facilidade em recrutar MNs do sóleus justificaria uma resposta mais rápida nos ajustes posturais (MATTOS *et al.* 2007), bem como na melhora do recrutamento justificando o ganho de força voluntário verificado no presente trabalho.

A via D1, que tem latência central de aproximadamente 15ms, sofreu adaptação somente no grupo do exército, cujas características (p. exemplo: contrações mais lentas e o único grupo com ganho de força do TA) podem ter contribuído para este resultado. Vias mais longas podem ser mais utilizadas neste grupo para modular o reflexo H.

A inibição D2 também apresentou redução, porém mais discreta e não significativa de 11%. Esta inibição é considerada aqui e por vários autores (CAPADAY 1997; LEONARD *et al.* 1999; ZEHR and STEIN 1999) como sendo uma inibição pré-sináptica, ou seja, inibição dos terminais dos axônios Ia do soles causada pela ativação de uma série de aferentes (RUDOMIN and SCHMIDT 1999). De 17 sujeitos, 9 apresentaram aumento da inibição e 8 apresentaram redução ou valores semelhantes ao pré-treino. Estas diferenças nas possíveis adaptações é que fizeram com que não houvesse diferença significativa.

Esta é uma inibição muito fácil de ser verificada, geralmente apresentando valores altos de inibição na condição controle. Neste mesmo laboratório, em outra pesquisa (MATTOS 2003), percebeu-se que a inibição D2 apresenta tendências diferentes (para aumentar ou reduzir) quando o nível de inibição ultrapassa 40%. Com a avaliação dos sujeitos com inibição até 40%, dez sujeitos foram avaliados e o aumento foi de 24 após o treino. A comparação estatística destes dados mostra tendência a aumento $p=0,09$. Destes 10, apenas 2 apresentaram redução da inibição, os demais apresentaram aumento da mesma.

Sendo assim o grupo do exército apresentou tendência de aumento da IPS após 3 meses de treino. O aumento momentâneo da IPS durante a corrida já havia sido verificada por (ZEHR 2002). Já mudanças pré-sinápticas crônicas foram sugeridas por (EARLES *et al.* 2002) em corredores (atletas de *endurance*, semelhante ao grupo militar) que apresentaram depressão homossináptica mais acentuada quando comparada à resultados obtidos em atletas de potência ou força. Segundo os autores, este efeito seria decorrente da alta taxa de disparo das fibras aferentes durante a corrida, que faria com que houvesse necessidade de aumento da IPS, para reduzir a influência das fibras Ia para que o comando descendente predominasse.

5.4.2 Grupo Força Máxima e Grupo Potência

Diferente do grupo do exército, a **IR** apresentou redução significativa de aproximadamente 50% nos 2 grupos de força (GFM e GP). Como o grupo controle também apresentou redução de 20%, a análise mostrou efeito de tempo, evidentemente por maior contribuição por parte dos grupos GFM e GP.

A redução da IR sobre os MNs do sóleus propicia melhor ativação dos mesmos, o que pode resultar em melhoria do desempenho e da força. A redução da IR durante o início da ativação do sóleus já havia sido descrita (PETERSEN *et al.* 1998; MORITA *et al.* 2001), no entanto este trabalho demonstra que a redução da IR se torna crônica, com o treinamento, podendo ser verificada durante o repouso. Esta adaptação propicia aumento da ativação do sóleus, e facilita a co-contração com o músculo TA. A co-ativação entre sóleus e TA é necessária para manutenção do equilíbrio durante o agachamento com peso. Se a IR se mantivesse forte a cada contração do TA, o sóleus perderia a ativação, fazendo com que houvesse falha durante o movimento.

O comportamento da **inibição D1** também foi semelhante nos grupos GFM e GP, não se encontrando qualquer mudança significativa. Este resultado é claramente diferente dos achados no grupo do exército, e portanto o tipo de treino é fundamental para determinar as diferentes adaptações. A inibição D1 provavelmente têm origem pós sináptica (ILES and PISINI 1992; ILES 1998), possivelmente com mais de um interneurônio em suas vias. Sendo assim, esta via pode não ter sido a mais relevante para execução dos movimentos treinados nos GFM e GP. Uma via mais longa pode ser mais utilizada por movimentos característicos do treinamento militar, contrações mais lentas, com mais tempo para re-ajustes.

O que é possível concluir com os achados aqui apresentados é que as inibições D1 e a IR provavelmente não compartilham do mesmo InIa que realiza a inibição sobre os MNs do sóleus. No grupo do exército somente a inibição D1 apresentou alteração, já nos

grupos de força, somente a IR apresentou redução. Caso a via final das inibições fosse a mesma, as adaptações deveriam seguir o mesmo padrão. Além disto, estes resultados também descartam possíveis efeitos metodológicos sobre os achados. A Figura 5- 2 ilustra as 2 vias de inibição pós-sinápticas mediadas por interneurônios diferentes.

Figura 5- 2 Ilustração das possíveis vias para a IR (via 2) e a inibição D1 (via 1), mediadas por interneurônios diferentes. A Ir seria mediada pelo InIa vermelho e a inibição D1 seria uma via mais longa, mediada por um interneurônio final diferente (azul). TA: tibial anterior, SO: sóleus. Ponta de seta amarela: estímulos elétricos teste e condicionante nos respectivos nervos. MN: motoneurônios. Ia: fibras aferentes

A **inibição D2**, considerada neste trabalho como sendo IPS, apresentou adaptações opostas no GFM e GP, e por isto os resultados serão discutidos separadamente. O grupo controle apresentou aumento de 11%, e a análise ANOVA mostrou interação entre os fatores tempo e treino, caracterizando o efeito de treinamento.

A inibição D2 no **GFM**, apresentou aumento com o treinamento. O aumento de 20% não foi significativo, mas entre 9 sujeitos avaliados, somente 2 apresentaram redução, e sendo que destes, um único sujeito apresentou mais que 70%, o que alterou fortemente a média. Considerando este sujeito como “outlier”, o aumento médio da inibição D2 após o treino para estes 8 sujeitos foi de 48%, com significância estatística ($p=0,02$).

Além disto, se for feita a análise deste grupo retirando-se os sujeitos que apresentaram inibição pré-treino acima de 40%, os resultados continuam a apontar para um acréscimo na IPS com o treino. Com a redução do número de sujeitos a análise estatística ficou prejudicada ($p=0,12$), porém mostrou maior homogeneidade. Os 3 sujeitos com inibição acima de 40%, mantiveram suas médias antes e após o treino em torno de 55%.

O aumento da IPS sobre as aferentes Ia do sóleus poderia ter causado uma diminuição na relação elétrica Hmax/Mmax, caso esta dependesse apenas da IPS, mas os dados sugeriram inalteração na relação Hmax/Mmax ou até aumento da mesma no caso do GFM.

Mesmo com aumento da IPS, outros fatores podem ter agido de modo a aumentar o Hmax. De fato, a redução da IR de 55% faz com que aumente a excitabilidade dos MNs, porém o aumento da IPS reduziria a excitabilidade da via reflexa. Neste caso talvez o efeito da redução da IR tenha se sobreposto aos efeitos do aumento da IPS na relação Hmax/Mmax. A ocorrência simultânea de ambas faz com que haja maior controle descendente sobre os MNs do sóleus, propiciando melhor controle motor, sem grandes alterações na Hmax/Mmax. Este efeito foi verificado em bailarinas, que demonstraram menor índice de IR com possível aumento da IPS (inferida pela relação Hmax/Mmax -(NIELSEN *et al.* 1993)).

Já no **GP**, a inibição D2 apresentou redução em média de 30% para os 11 sujeitos avaliados. Em caso de análise dos dados da inibição D2, apenas com os sujeitos com até 40% de inibição, o resultado não se alterou com redução de 33%. Neste grupo, os 3 sujeitos com inibição acima de 40% também apresentaram o mesmo comportamento do restante do grupo, apresentando redução após o treino. Ou seja, a retirada de valores acima de 40% de inibição inicial não altera os resultados para o grupo de potência, o que demonstra grande coerência dos dados analisados. Este resultado mostra então uma redução da IPS com

o treino de potência. Esta redução da inibição possibilita que haja maior contribuição das fibras aferentes Ia do próprio sóleus sobre os MNs do mesmo. Esta maior contribuição pode ser vista como uma forma de potencializar a força, fazendo uso de reflexo de estiramento para ganho de potência.

Nos achados corroboram com os resultados de Earles *et al.* (2002) que verificaram que atletas submetidos a treino de potência apresentam menor nível de depressão homossináptica quando comparado a atletas submetidos a treino de força ou resistência. A menor depressão homossináptica permite aumento na eficácia do arco reflexo, utilizado pelo grupo como forma de potencializar a força gerada.

Por outro lado, um trabalho recente (LUNDBYE-JENSEN and NIELSEN 2008), mostrou que duas semanas de imobilização também levaram a redução da IPS sobre o músculo sóleus e aumento da relação Hmax/Mmax, sendo interpretada pelos autores como aumento da excitabilidade da via reflexa. Esta adaptação seria uma forma de compensar a perda de força voluntária máxima, uma vez que o maior uso do reflexo poderia auxiliar na geração de força. Estas mudanças podem não estar diretamente relacionadas com a ausência de comandos descendentes, mas sim com o desuso das vias periféricas - MNs e aferentes – Hultborn e Nielsen (1998) (apud MEUNIER *et al.* 2007). Isto pode ser visto nos pacientes com hemiplegia que a depressão homossináptica não se reduz imediatamente no lado afetado, e nem se altera no membro contralateral - Hultborn e Nielsen (1998) (apud MEUNIER *et al.* 2007)). Os resultados aqui verificados com os grupos de treino de força reforçam a importância da aferência no controle do movimento uma vez que elas são moduladas e sofrem adaptações para ajustar o movimento

5.5) Análise da Terceira coleta dos militares

No grupo do exército foi feita uma terceira coleta, em 10 soldados no final do período do serviço militar obrigatório. Portanto para estes 10 sujeitos foram feitas comparações entre três períodos: pré-treino, com 3 e 9 meses de atividades militares. Entre o terceiro e o nono mês de treinamento as atividades eram menos intensas porém foram mantidas por um período maior de tempo. O intuito neste caso era de verificar se houve manutenção dos resultados verificados na primeira coleta após o treinamento.

Força

A terceira análise de força obtida voluntariamente ou reflexamente mostrou manutenção dos ganhos apresentados após o primeiro período de treinamento. Isto ocorreu para as CVM do sóleus e TA, bem como para o torque gerado pelas ondas Hmax e Mmax. A análise do torque voluntário do sóleus normalizados pelo torque da onda Mmax também evidenciou manutenção do ganho de recrutamento inicial.

Latência

A latência do pico máximo da onda Mmax, que havia apresentado aumento de 10ms entre as 2 primeiras coletas, apresentou uma diferença menor (de 5 ms) entre a primeira e a última avaliação. Esta redução deve estar relacionada com a mudança na intensidade de treinamento nos últimos 6 meses de treinamento militar.

Vias inibitórias

Os níveis das inibições (IR, D1 e D2) não sofreram modificações após os 6 meses de treinamento. Ou seja, da segunda para a terceira coleta as modificações nas circuitarias, verificadas após 3 meses, se mantiveram. A inibição D1, que foi a única que apresentou redução significativa na segunda coleta, apresentou leve aumento, não

significativo, na terceira avaliação. Esta manutenção das alterações reforça a interpretação de ter ocorrido uma adaptação medular relacionada ao treino, e confirmando que é uma adaptação duradoura, provavelmente com mudanças crônicas na medula.

5.6) EMG condicionado

A técnica de condicionamento do EMG foi amplamente utilizada para a verificação dos efeitos inibitórios sobre os MNs, com pouca influência das inibições pré-sinápticas (FAIST *et al.* 1994; NIELSEN *et al.* 1995b). O condicionamento proporciona uma inibição evidente, ao redor de 45ms após o estímulo, que foi atribuída a inibição recíproca dissináptica por alguns autores, porém há discussões sobre a origem desta inibição. Além desta inibição, existe uma de maior duração e menor intensidade, a qual não foi discutida na literatura, mas foi analisada no presente trabalho.

O primeiro trecho de inibição (**Interv1**), não apresentou mudanças em nenhum grupo analisado. A latência foi constante por volta de 46ms, e o grau de inibição para o grupo do exército, se mantendo ao redor de 35% nas três coletas analisadas.

Esta mesma ausência de diferenças foi verificada nos grupos controle, GFM e GP. A latência de aparecimento da inibição também foi de 46ms e a inibição variou entre 25 e 36%, sem variações intra grupo ou pré e pós-treino.

Sendo esta inibição atribuída a IR dissináptica (CAPADAY 1997), esperou-se mensurar variações compatíveis com os resultados obtidos com o condicionamento do reflexo H. Porém, como visto antes, a IR obtida com o condicionamento do reflexo H, para os grupos que fizeram treinamento de força, apresentou uma redução significativa, o que não condiz com os resultados obtidos utilizando o EMG condicionado. A diferença nos resultados pode sugerir origens diferentes para a Interv1 verificada com o condicionamento do EMG.

A IR obtida com o reflexo H, tem duração breve e é obtida com o condicionamento do reflexo com intervalos C-T da ordem de 2ms. Já a inibição verificada

com o condicionamento do EMG, ocorre 46ms após o estímulo. Considerando o tempo de condução nervosa, o tempo de processamento medular seria em torno de 15ms, tempo este muito além do atraso associado a uma única sinapse. Segundo discutido pelos autores (MIZUNO *et al.* 1971; CRONE *et al.* 1985; ILES 1986; CAPADAY *et al.* 1990; MORITA *et al.* 2001; KIDO *et al.* 2004), a inibição Interv1 sobre o EMG voluntário é diferente, podendo ocorrer em uma latência maior e com maior duração, por ser diretamente sobre as atividades dos MNs, e não de ser o efeito inibitório sobre um potencial de ação composto, em que as unidades disparam de forma síncrona. Porém alguma semelhança seria esperada caso as duas formas de avaliação refletissem a mesma inibição. Um fato relevante é que no EMG condicionado, os MNs são ativados voluntariamente, só com o condicionamento sendo com estímulo elétrico. Já na avaliação com reflexo H os MNs são despolarizados de forma reflexa e em repouso. A atividade descendente pode influenciar na modulação, uma vez que além de ativar os MN, ela pode agir sobre interneurônios podendo inibir uma via e facilitar outra.

O intervalo da segunda inibição, **130ms**, foi determinado considerando 30ms de tempo de condução e 100ms como sendo o intervalo C-T utilizado para condicionar o reflexo H para obtenção da inibição D2. Nenhum dos grupos apresentou inibição significativa no EMG condicionado comparado com o basal na condição pré e pós treino. Somente o grupo do exército apresentou inibição significativa de 6% do EMG condicionado neste período. No entanto este valor não se diferenciou das demais coletas deste grupo.

A inibição do **Interv2** ocorreu em média após 140ms do estímulo condicionante, para o grupo do exército. Neste ponto a inibição foi significativa, ficando em torno de 20% pré e pós-treino. Neste grupo, a inibição apresentou aumento significativo na latência de aparecimento, que aumentou 12ms. Este aumento na latência da inibição está relacionado com o tipo de treinamento físico ao qual os recrutas são submetidos. Se esta mudança tivesse ocorrido em estruturas que envolvessem velocidade de condução dos MNs

e/ou das fibras aferentes Ia, o efeito teria sido visualizado na inibição no Interv1. Mas a latência da inibição Interv1 foi de $47,06 \pm 9,18$ ms e de $46,44 \pm 9,79$ na segunda coleta. Logo, o aumento estatisticamente significativo da latência pode estar relacionado com adaptações medulares, em circuitarias que diferem das vias responsáveis pela inibição do Interv1. Este resultado é coerente com os demais resultados do grupo do exército, que de modo geral apresenta aumento nas latências (para atingir o pico de torque da onda Mmax). Estas adaptações são coerentes com o tipo de treinamento que envolve contrações mais lentas.

Este mesmo trecho de inibição também sofreu adaptações diferentes com os grupos de treinamento de força. O GFM apresentou aumento significativo da inibição no Interv2 após o treino. Este aumento só foi verificado neste período. Com isto estabeleceu-se um paralelo com os resultados obtidos com o condicionamento do reflexo H com os 3 intervalos C-T. O GFM só apresentou aumento da inibição D2 obtida com intervalo C-T de 100ms. Isto leva a crer que a origem das duas inibições deve estar relacionada. Além das duas inibições sofrerem aumento, a latência de aparecimento de ambas é semelhantes. Uma inibição observada com latência de 100ms no reflexo H, só poderia ser visualizada sobre o EMG voluntário após 130ms do estímulo. Para o GFM a latência da inibição do Interv2 foi de $137 \pm 27,73$ ms.

Além da inibição do Interv2 ter sofrido aumento de 40% com o treino, a inibição também aumentou a latência de aparecimento em 17ms. Este aumento não foi significativo, mas é interessante para comparar com os demais grupos, como com o grupo controle que não apresentou mudanças e o GP que mostrou tendência de redução em 8ms na latência de aparecimento da Interv2.

Logo, apesar da ausência de significância estatística, a análise qualitativa aponta para uma adaptação na inibição do Interv2 específica ao treinamento, podendo reduzir a latência no caso de treinos que exijam alta velocidade, bem como aumento da latência em

casos de treinos mais lentos, como foi o caso do grupo do exército e do GFM, em que os movimentos são mais lentos em decorrência a alta sobrecarga a ser vencida.

5.7) Funcionalidade clínica

Os sítios de adaptações neurais são variados, mas podemos dividi-los em supraespinhais e no nível medular. Nos níveis supraespinhais, as mudanças podem envolver os neurônios corticais, subcorticais e interneurônios intracorticais. Existem sugestões de aumento da área de representação cortical após o treino, bem como aumento da excitabilidade das vias corticais (revisado por DUCHATEAU *et al* 2006). Já na medula, as mudanças podem acontecer nos MNs (MIZUNO *et al.* 1971; PETERSEN *et al.* 1998) ou nas vias facilitatórias e inibitórias que envolvem diversos interneurônios (GARDINER *et al.* 2006). Diversos estudos mostram a modulação destas vias inibitórias durante contração. A IR tende a aumentar, bem como as inibições D1 e D2, durante o início da ativação isométrica do TA (NIELSEN *et al.* 1993; MAFFIULETTI *et al.* 2001; AAGAARD *et al.* 2002; LUNDBYE-JENSEN and NIELSEN 2008). Por outro lado, estas inibições diminuem com o início da atividade isométrica do sóleus (ILES 1986; MEUNIER and MORIN 1989; NIELSEN and KAGAMIHARA 1993; LEONARD *et al.* 1999). Estas modulações também ocorrem durante atividade funcional, como por exemplo, apresentando-se reduzida durante a marcha quando comparada ao repouso (CAPADAY *et al.* 1995a).

Um passo adiante em relação a esses dados da literatura envolve mostrar que estas modulações podem se tornar crônicas com o treinamento. A maioria dos estudos que tentam mostrar adaptações nas vias supra espinhais tem mostrado resultados conflitantes. O treino de força máxima do bíceps em humanos, mostrou aumento da excitabilidade cortical durante o processo de aprendizado (JENSEN *et al.* 2005). Já Carroll *et al* (2002) verificaram redução da excitabilidade cortical após treinamento de força dos músculos intrínsecos da mão.

Para Carroll *et al.* (2002), estes resultados sugerem adaptações medulares, como mudanças nos MNs ou nas vias que nele influenciam.

É importante ressaltar que apesar da grande influência dos comandos corticais na adaptação medular, a informação sensorial tem fundamental importância na contribuição às adaptações medulares responsável pela interação sensório-motora. Mazzocchio *et al.* (2002) mostraram como a modulação do reflexo H é dependente da tarefa executada durante o treinamento. A amplitude do reflexo H foi comparada após uma única sessão de ciclismo com aplicação de cargas variáveis e cargas constantes. O reflexo H apresentou-se mais deprimido após as sessões com variações inesperadas de carga, que alteravam o input sensorial exigindo maiores ajustes do controle motor, e portanto da medula, o que favorece às medulares. Os resultados com treinamento físico (2006), com lesados medulares (CAROLAN and CAFARELLI 1992; YUE and COLE 1992; PLOUTZ *et al.* 1994; STARON *et al.* 1994b; AAGAARD *et al.* 2000; KNIGHT and KAMEN 2001; MAFFIULETTI *et al.* 2001; CARROLL *et al.* 2002; FERRI *et al.* 2003; HAKKINEN *et al.* 2003; ADKINS *et al.* 2006; LAGERQUIST *et al.* 2006), tem mostrado que a estimulação sensorial tem fundamental importância nas adaptações neurais verificadas.

A importância do tipo de tarefa para ocorrência de plasticidade em uma via neural fica clara durante a avaliação da excitabilidade do reflexo H do sóleus durante uma série de saltos (em uma única sessão) entre corredores e saltadores (HARKEMA *et al.* 1997; PEREZ and FIELD-FOTE 2003; ROSSIGNOL 2006). Os atletas saltadores, que já estavam acostumados com o movimento, não apresentaram qualquer mudança medular verificada com a relação Hmax/Mmax durante em repouso. Já o grupo dos corredores apresentou redução significativa na relação Hmax/Mmax, segundo os autores com a função de melhorar o controle para que o movimento pudesse ser executado da melhor forma possível.

Este tipo de informação é fundamental para o melhor entendimento da complexidade do controle motor humano, em especial durante o processo de reabilitação. A variabilidade de exercícios pode ser decisiva para o sucesso no desenvolvimento e/ou reestabelecimento de uma tarefa motora.

Os processos medulares responsáveis por estas adaptações acima citadas geralmente envolvem as vias medulares inibitórias. A espasticidade de extensores de tornozelo está associada a redução da IR sobre o sóleus (OKUMA *et al.* 2002). A imobilização do mesmo grupo muscular leva a redução a IPS (CRONE *et al.* 1994; 2002; AVELA *et al.* 2006). No entanto, nestes trabalhos a ausência de comandos descendentes foi determinante para causar adaptações nas vias inibitórias medulares. Já o presente trabalho mostrou que a prática de exercícios levou a alterações significativas nas vias medulares.

O conhecimento sobre as alterações neurais na medula com a prática contínua de movimentos repetidos contribui para a compreensão tanto de processos adaptativos danosos, quanto de processos benéficos para a reabilitação do movimento.

5.8) Propostas futuras

A análise aqui realizada foi suficiente para responder ao objetivo principal do trabalho, mostrando que medula espinal sofre adaptações com treinamento físico. Perguntas adicionais que podem ser respondidas a partir dos dados obtidos dos três grupos treinados são: a) verificação de mudanças na latência e duração do reflexo H, b) realização da análise espectral do EMG das CVM do TA e sóleus, c) verificação de possível co-contração entre TA-sóleus durante o movimento de agachamento com sobrecarga de 40% da 1RM e com 80% da 1RM para comparação entre os dois treinos. Estas e outras perguntas adicionais serão alvo análises em futuro próximo, com possibilidade de projetos envolvendo processos patológicos e de reabilitação.

6) CONCLUSÕES

Conclusões gerais

As circuitarias medulares responsáveis pela IR, inibição D1 e D2 sofreram plasticidade em um período menor ou igual a 3 meses. Como as adaptações se diferenciaram conforme os treinos, fica claro que a plasticidade medular é específica às exigências do movimento treinado.

As inibições D1 e D2, que são aceitas na literatura como forma de expressão da IPS, sofreram processos adaptativos diferentes. Desta forma não devem ser consideradas como a mesma via inibitória.

Conclusões específicas aos treinos

Com os resultados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que o grupo submetido ao **treinamento militar** apresentou aumento na força voluntária máxima do sóleus e do TA, com aumento significativo no RMS do EMG somente do TA. Este aumento na força possivelmente é decorrente de alterações neuro-musculares. A hipertrofia muscular do sóleus foi sugerida pelo aumento no torque da onda Mmax. Outra alteração muscular foi a lentificação na contração do sóleus após o treinamento militar. A clara redução da inibição D1 evidencia que o treinamento militar é capaz de alterar significativamente as circuitarias medulares. A redução da inibição D1 (via inibitória pós-sináptica) sobre os MNs do sóleus viabiliza a melhor contração do mesmo, acarretando em maior força e melhor desempenho. Além disto, também houve indício de aumento da IPS também como forma adaptativa de modulação da informação sensorial. Não foram encontradas diferenças significativas nas relações Hmax/Mmax ou nas inibições verificadas com o condicionamento do EMG do

sóleos. Praticamente todos os resultados obtidos com 3 meses de treino, foram observados após 9 meses de treinamento, evidenciando uma adaptação persistente.

O treinamento do **GFM** não gerou aumento da força máxima isométrica dos músculos sóleos e TA, assim como não causou alterações no torque gerado pelas ondas Mmax e Hmax. No entanto a relação Hmax/Mmax foi maior após o treino sugerindo aumento da excitabilidade da via reflexa. O treinamento não alterou a velocidade de contração, nem mostrou tendências a aumento no recrutamento voluntário. No entanto foi possível verificar redução da IR e aumento da IPS, uma adaptação medular evidente e relacionada ao tipo de treinamento.

O treino do **GP** não gerou aumento de força no músculo TA, mas aumentou a força isométrica máxima do sóleo, com concomitante aumento no RMS do EMG do mesmo. Este aumento na força e no EMG foi relacionado ao aumento na capacidade de recrutamento dos MNs com a análise da CVM normalizada pela Mmax. O treino de potência ainda melhorou a geração de torque pelas vias reflexas, resultado este vantajoso para aproveitar do arco reflexo na geração de mais força. Apesar desta melhora a relação elétrica Hmax/Mmax não se alterou significativamente. Adaptações musculares neste grupo foram verificadas quanto a redução na velocidade para atingir o torque máximo obtido com a onda Mmax. As adaptações neurais neste grupo também estão presentes com redução da IR e da IPS. Estas mudanças permitem controlar melhor a co-ativação entre TA-sóleo (diminuindo a influência dos “feedbacks” associados às aferentes dos músculos antagonistas), bem como potencializa a contribuição do o arco reflexo na geração de força.

7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAGAARD, P. *et al.* (2002). "Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses." J Appl Physiol **92**: 2309-2318.
- AAGAARD, P. *et al.* (2000). "Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training." J Appl Physiol **89**(6): 2249-57.
- ADKINS, D.L. *et al.* (2006). "Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord." J Appl Physiol **101**(6): 1776-82.
- AIMONETTI, J.M. *et al.* (1999). "In presynaptic inhibition in human wrist extensor muscles : effects of motor task and cutaneous afferent activity." J Physiology **93**: 395 - 401.
- ALLEMEIER, C.A. *et al.* (1994). "Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle." J Appl Physiol **77**(5): 2385-2390.
- ANDERSEN, L.L. *et al.* (2005). "Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects." Eur J Appl Physiol **93**(5-6): 511-8.
- ASHBY, P.M. WIENS (1989). "Reciprocal Inhibition Following Lesions of the Spinal-Cord in Man." Journal of Physiology-London **414**: 145-157.
- AVELA, J. *et al.* (2006). "Excitability of the soleus reflex arc during intensive stretch-shortening cycle exercise in two power-trained athlete groups." Eur J Appl Physiol **97**: 486-493.
- AYMARD, C. *et al.* (2001). "Modulation of presynaptic inhibition of Ia afferents during voluntary wrist flexion and extension in man." Exp Brain Res **137**(1): 127-31.
- AYMARD, C. *et al.* (2000). "Presynaptic inhibition and homosynaptic depression. A comparison between lower and upper limbs in normal human subjects and patients with hemiplegia." Brain **123**: 1688-1702.
- BALAGOPAL, P. *et al.* (2001). "Age effect on transcript levels and synthesis rate of muscle MHC and response to resistance exercise." Am J Physiol Endocrinol Metab **280**(2): E203-8.
- BAWA, P. (2002). "Neural Control of Motor Output: Can Training Change It?" Exerc. Sport Sci. Rev. **30**(2): 59-63.
- BAWA, P.T. SINKJAER (1999). "Reduced short and long latency reflexes during voluntary tracking movement of the human wrist joint." Acta Physiol Scand **167**(3): 241-6.
- BEAUMONT, E.P.F. GARDINER (2003). "Endurance training alters the biophysical properties of hindlimb motoneurons in rats." Muscle Nerve **27**(2): 228-36.

- BONNET, M. *et al.* (1997). "Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man." Brain Res Cogn Brain Res **5**(3): 221-8.
- BURKE, R.E. (1980). "The Concept of Muscle-Fiber and Motor Unit Types." Muscle & Nerve **3**(3): 266-266.
- CAPADAY, C. (1997). "Neurophysiological methods for studies of the motor system in freely moving human subjects." Journal of Neuroscience Methods **74**: 201-218.
- CAPADAY, C. *et al.* (1990). "Reciprocal inhibition of soleus motor output in humans during walking and voluntary tonic activity." Journal of Neurophysiology **64**: 607-16.
- CAPADAY, C. *et al.* (1995a). "Differential effects of a flexor nerve input on the human soleus H-reflex during standing versus walking." Canadian Journal of Physiology and Pharmacology **73**(4): 436-449.
- CAPADAY, C. *et al.* (1995b). Cortical and segmental control during voluntary and postural activities in the human and the cat. Conferência IEEE.
- CAPADAY, C.R.B. STEIN (1987). "A method for stimulation the reflex output of a motoneuron pool." Journal of Neuroscience Methods **21**: 91-104.
- CAROLAN, B.E. CAFARELLI (1992). "Adaptations in coactivation after isometric resistance training." J Appl Physiol **73**(3): 911-7.
- CARP, J.S. *et al.* (2001). "Operant conditioning of rat H-reflex affects motoneuron axonal conduction velocity." Exp Brain Res **136**: 269-273.
- CARROLL, T. *et al.* (2002). "The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans." J Physiol **544**(2): 641-652.
- CASABONA, A. *et al.* (1990). "Differences in H-reflex between athletes trained for explosive contractions and non-trained subjects." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **61**: 26-32.
- CATAI, A.M. *et al.* (2002). "Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men." Braz J Med Biol Res **35**(6): 741-52.
- CRESSWELL, A.G. *et al.* (1995). "Influence of gastrocnemius muscle length on triceps surae torque development and electromyographic activity in man." Exp Brain Res **105**(2): 283-90.
- CRONE, C. (1993). "Reciprocal inhibition in man." Dan Med Bull **40**(5): 571-81.
- CRONE, C. *et al.* (1985). "Reciprocal Ia inhibition from the peroneal nerve to soleus motoneurons with special reference to the size of the test reflex." Experimental Brain Research **59**(2): 418-422.
- CRONE, C. *et al.* (1987). "Reciprocal Ia inhibition between ankle flexors and extensors in man." Journal of Physiology **389**: 163-185.

- CRONE, C. *et al.* (1990). "Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat." Experimental Brain Research **81**: 35-45.
- CRONE, C.J. NIELSEN (1989). "Spinal mechanisms in man contributing to reciprocal inhibition during voluntary dorsiflexion of the foot." Journal of Physiology **416**: 255-272.
- CRONE, C. *et al.* (1994). "Disynaptic reciprocal inhibition of ankle extensors in spastic patients." Brain **117**: 1161-1168.
- DELWAIDE, P.J. *et al.* (1981). "Cutaneous nerve stimulation and motoneuronal excitability: I. Soleus and tibialis anterior excitability after ipsilateral and contralateral sural nerve stimulation." Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry **44**: 669-707.
- DESAULNIERS, P. *et al.* (2005). "Effect of rat soleus muscle overload on neuromuscular transmission efficacy during continuous and intermittent activation." Exp Physiol **90**(3): 330-340.
- DESAULNIERS, P. *et al.* (2001). "Habitual exercise enhances neuromuscular transmission efficacy of rat soleus muscle in situ." J Appl Physiol **90**(3): 1041-8.
- DUCHATEAU, J. *et al.* (2006). "Training adaptations in the behavior of human motor units." J Appl Physiol **101**(6): 1766-75.
- EARLES, D.R. *et al.* (2002). "Pre- and post-synaptic control of motoneuron excitability in athletes." Med Sci Sports Exerc **34**(11): 1766-72.
- ELLIOTT, B.C. *et al.* (1989). "A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press." Med Sci Sports Exerc **21**(4): 450-62.
- ENOKA, R. (2008). Neuromechanics of Human Movement.
- ENOKA, R.M. (1988). "Muscle strength and its development. New perspectives." Sports Med **6**(3): 146-68.
- ENOKA, R.M. (1997). "Neural adaptations with chronic physical activity." Journal of Biomechanics **30**(5): 447-455.
- ENRIQUEZ-DENTON, M. *et al.* (2000). "Presynaptic control of transmission along the pathway mediating disynaptic reciprocal inhibition in the cat." J Physiol **526**(Pt 3): 623-37.
- FAIST, M. *et al.* (1996). "Modulation, probably presynaptic in origin, of monosynaptic Ia Excitation during human gait." Experimental Brain Research **109**: 441-449.
- FAIST, M. *et al.* (1994). "A quantitative assessment of presynaptic inhibition of Ia afferents in spastics . Difference in hemiplegics and paraplegics." Brain **117**: 1449-1455.

- FERRI, A. *et al.* (2003). "Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age." Acta Physiol Scand **177**(1): 69-78.
- GARDINER, P. *et al.* (2006). "Effects of exercise training on alpha-motoneurons." J Appl Physiol **101**(4): 1228-1236.
- GOTTLIEB, G.L. *et al.* (1982). "Reciprocal excitation of muscle antagonists by the primary afferent pathway." Exp Brain Res **46**(3): 454-6.
- GRUBER, M. *et al.* (2007). "Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle." J Mot Behav **39**(1): 68-78.
- HAKKINEN, K. *et al.* (2000). "Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people." Eur J Appl Physiol **83**(1): 51-62.
- HAKKINEN, K. *et al.* (2003). "Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training." Eur J Appl Physiol **89**(1): 42-52.
- HAKKINEN, K. *et al.* (1998). "Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people." J Appl Physiol **84**(4): 1341-9.
- HAKKINEN, K. *et al.* (1996). "Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women." Acta Physiol Scand **158**(1): 77-88.
- HÄKKINEN, K.P.V. KOMI (1986). "Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **55**: 147-155.
- HAKKINEN, K. *et al.* (1985). "Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles." Acta Physiol Scand **125**(4): 587-600.
- HAKKINEN, K. *et al.* (2001a). "Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women." Acta Physiol Scand **171**(1): 51-62.
- HAKKINEN, K. *et al.* (2001b). "Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women." J Appl Physiol **91**(2): 569-80.
- HARKEMA, S.J. *et al.* (1997). "Human lumbosacral spinal cord interprets loading during stepping." J Neurophysiol **77**(2): 797-811.
- HOLTERMANN, A. *et al.* (2007). "Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development." Eur J Appl Physiol **101**(3): 301-12.

- HUGON, M. (1973). Methodology of the Hoffmann reflex in man. New Developments in Electromyography and Chemical Neurophysiology. J. E. Desmedt. Basel, Karger. **3m**: 277-293.
- HULTBORN, H. *et al.* (1987a). "Assessing changes in presynaptic inhibition of Ia fibres: a study in man and the cat." Journal of Physiology **389**: 729-756.
- HULTBORN, H. *et al.* (1987b). "Changes in presynaptic inhibition of Ia fibres at the onset of voluntary contraction in man." Journal of Physiology **389**: 757-772.
- ILES, J.F. (1986). "Reciprocal inhibition during agonist and antagonist contraction." Exp Brain Res **62**: 212-214.
- ILES, J.F. (1996). "Evidence for cutaneous and corticospinal modulations of presynaptic inhibition of Ia afferents from the human lower limb." Journal of Physiology **491**: 197-207.
- ILES, J.F. (1998). "Reciprocal inhibition between ankle muscles in man: how many processes are there?" Journal of Physiology-London **509P**: 173p-174p.
- ILES, J.F.J.V. PISINI (1992). "Cortical modulation of transmission in spinal reflex pathways of man." Journal of Physiology **455**: 425-446.
- ILES, J.F.R.C. ROBERTS (1987). "Inhibition of monosynaptic reflexes in the human lower limb." Journal Physiology **385**: 69-87.
- ISHIHARA, A. *et al.* (2004). "Effects of running exercise during recovery from hindlimb unloading on soleus muscle fibers and their spinal motoneurons in rats." Neurosci Res **48**(2): 119-27.
- JAKOBSSON, F. *et al.* (1991). "Disuse of anterior tibial muscle during locomotion and increased proportion of type II fibres in hemiplegia." J Neurol Sci **105**(1): 49-56.
- JENSEN, J.L. *et al.* (2005). "Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system." J Appl Physiol **99**(4): 1558-68.
- KANDEL, E.R. *et al.* (2000). Principles of Neural Science. New York, McGraw-Hill.
- KEENAN, K.G. *et al.* (2005). "Influence of amplitude cancellation on the simulated surface electromyogram." J Appl Physiol **98**(1): 120-31.
- KELLIS, E. *et al.* (2005). "Effects of load on ground reaction force and lower limb kinematics during concentric squats." J Sports Sci **23**(10): 1045-55.
- KIDO, A. *et al.* (2004). "Spinal reciprocal inhibition in human locomotion." J Appl Physiol **96**(5): 1969-1977.
- KLEIM, J.A. *et al.* (2002). "Exercise induces angiogenesis but does not alter movement representations within rat motor cortex." Brain Res **934**(1): 1-6.

- KNIGHT, C.A.G. KAMEN (2001). "Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults." J Electromyogr Kinesiol **11**(6): 405-12.
- KOCEJA, D.M.G. KAMEN (1992). "Segmental reflex organization in endurance-trained athletes and untrained subjects." Medicine and Science in Sports and Exercise **24**(2): 235-241.
- KOMI, P.V. (2003). Strength and Power in sport, Blackwell.
- KRAEMER, W.J.N.A. RATAMESS (2004a). "Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription." Medicine and Science in Sports and Exercise **36**(4): 674-688.
- KRAEMER, W.J.N.A. RATAMESS (2004b). "Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription." Med Sci Sports Exerc **36**(4): 674-88.
- LAGERQUIST, O. *et al.* (2006). "Increased spinal reflex excitability is not associated with neural plasticity underlying the cross-education effect." J Appl Physiol **100**(1): 83-90.
- LEONARD, C.T. *et al.* (1999). "Long-latency contributions to reciprocal inhibition during various levels of muscle contraction." Brain Research Interactive **817**: 1-12.
- LINNAMO, V. *et al.* (2000). "Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading." J Electromyogr Kinesiol **10**(6): 417-24.
- LUNDBYE-JENSEN, J.J.B. NIELSEN (2008). "Immobilization induces changes in presynaptic control of group Ia afferents in healthy humans." J Physiol **586**(Pt 17): 4121-35.
- MAFFIULETTI, N.A. *et al.* (2001). "Electrical and mechanical H(max)-to-M(max) ratio in power- and endurance-trained athletes." J Appl Physiol **90**(1): 3-9.
- MAGLADERY, J.W.D.B. MCDUGAL, JR. (1950). "Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. I. Identification of certain reflexes in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibres." Johns Hopkins Medicine Journal **86**: 265-290.
- MATTOS, E. *et al.* (2007). Controlling human upright posture: stabilogram differences in subjects submitted to army training. Progress of Motor Control, Santos - Brazil.
- MATTOS, E.C.T. (2003). Metodologia para quantificação da inibição pré-sináptica no músculo sóleus em humanos em repouso e durante contração. Neurociência e comportamento. São Paulo, Universidade de São Paulo. **Mestrado**: 109.
- MAZZOCCHIO, R. *et al.* (2006). "Plastic changes in the human H-reflex pathway at rest following skillful cycling training." Clin Neurophysiol **117**(8): 1682-91.
- MEUNIER, S. (1999). "Modulation by corticospinal volleys of presynaptic inhibition to Ia afferents in man." J Physiol Paris **93**(4): 387-94.

- MEUNIER, S. *et al.* (2007). "Spinal use-dependent plasticity of synaptic transmission in humans after a single cycling session." J Physiol **579**(Pt 2): 375-88.
- MEUNIER, S.C. MORIN (1989). "Changes in presynaptic inhibition of Ia fibres to soleus motoneurons during voluntary dorsiflexion of the foot." Experimental Brain Research **76**: 510-518.
- MEUNIER, S. *et al.* (1993). "Pattern of monosynaptic heteronymous Ia connections in the human limb." Experimental Brain Research **96**: 534-544.
- MIZUNO, Y. *et al.* (1971). "Reciprocal group I inhibition on triceps surae motoneurons in man." Journal of Neurophysiology **34**: 1010-1017.
- MORIRA, H. *et al.* (2001). "Modulation of presynaptic inhibition and disynaptic reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in spasticity." Brain **124**: 826-837.
- MORITA, H. *et al.* (2001). "Modulation of presynaptic inhibition and disynaptic reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in spasticity." Brain **124**(Pt 4): 826-37.
- MYNARK, R.G.D.M. KOCEJA (1997). "Comparison of soleus H-reflex gain from prone to standing in dancers and controls." Electroencephalography and Clinical Neurophysiology **105**: 135-140.
- NIELSEN, J. *et al.* (1993). "H-reflexes are smaller in dancers from The Royal Danish Ballet than in well-trained athletes." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **66**: 116-121.
- NIELSEN, J. *et al.* (1995a). "Central control of reciprocal inhibition during fictive dorsiflexion in man." Experimental Brain Research **104**: 99-106.
- NIELSEN, J.Y. KAGAMIHARA (1992). "The regulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man." Journal of Physiology **456**: 373-391.
- NIELSEN, J.Y. KAGAMIHARA (1993). "The regulation of presynaptic inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man." Journal of Physiology **464**: 575-593.
- NIELSEN, J.N. PETERSEN (1994). "Is presynaptic inhibition distributed to corticospinal fibres in man." Journal of Physiology **477**: 47-58.
- NIELSEN, J. *et al.* (1995b). "Changes in transmission across synapses of Ia afferents in spastic patients." Brain **118**: 995-1004.
- OKUMA, Y. *et al.* (2002). "Reciprocal Ia inhibition in patients with asymmetric spinal spasticity." Clin Neurophysiol **113**(2): 292-7.
- OZMERDIVENLI, R. *et al.* (2002). "The H- and T-reflex response parameters of long- and short-distance athletes." Physiol Res **51**(4): 395-400.

- PEREZ, M. *et al.* (2004). "Short-term adaptations in spinal cord circuits evoked by repetitive transcranial magnetic stimulation: possible underlying mechanisms." Exp Brain Res **162**(2): 202-212.
- PEREZ, M.A.E.C. FIELD-FOTE (2003). "Impaired posture-dependent modulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition in individuals with incomplete spinal cord injury." Neuroscience Letters **341**(3): 225-8.
- PEREZ, M.A. *et al.* (2003). "Patterned sensory stimulation induces plasticity in reciprocal Ia inhibition in humans." J Neurosci **23**(6): 2014-8.
- PEROT, C. *et al.* (1991). "Quantification of T- and H-responses before and after a period of endurance training." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **63**(5).
- PETERSEN, N. *et al.* (1998). "Evaluation of reciprocal inhibition of the soleus H-reflex during tonic plantar flexion in man." Journal of Neuroscience Methods **84**: 1-8.
- PIERROT-DESEILLIGNY, E.D. BURKE (2005). The circuitry of the human spinal cord: Its role in motor control and movement disorders. New York, Cambridge University Press.
- PLAUTZ, E.J. *et al.* (2000). "Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning." Neurobiol Learn Mem **74**(1): 27-55.
- PLOUTZ, L.L. *et al.* (1994). "Effect of resistance training on muscle use during exercise." J Appl Physiol **76**(4): 1675-1681.
- REMPLE, M.S. *et al.* (2001). "Sensitivity of cortical movement representations to motor experience: evidence that skill learning but not strength training induces cortical reorganization." Behav Brain Res **123**(2): 133-41.
- RIBEIRO, L.L.L. (2007). Treinamento de Força Máxima e Potência: Adaptações Neurais, Coordenativas e Desempenho no Salto Vertical. ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE. São Paulo, Universidade de São Paulo. **Mestrado**: 76.
- ROCHCONGAR, P. *et al.* (1979). "Modification of the Hoffmann reflex in function of athletic training." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **40**(2): 165-170.
- ROSSIGNOL, S. (2006). "Plasticity of connections underlying locomotor recovery after central and/or peripheral lesions in the adult mammals." Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci **361**(1473): 1647-71.
- RUDOMIN, P. (1999). "Presynaptic selection of afferent inflow in the spinal cord." J Physiol Paris **93**(4): 329-47.
- RUDOMIN, P. *et al.* (1993). "Presynaptic modulation of spinal reflexes." Curr Opin Neurobiol **3**(6): 997-1004.

- RUDOMIN, P.R.F. SCHMIDT (1999). "Presynaptic inhibition in the vertebrate spinal cord revisited." Exp Brain Res **129**(1): 1-37.
- SABATINO, M. *et al.* (1994). "Bilateral reciprocal organisation in man: focus on IA interneurone." J Neural Transm Gen Sect **96**: 31-39.
- SCAGLIONI, G. *et al.* (2002). "Plantar flexor activation capacity and H reflex in older adults: adaptations to strength training." J Appl Physiol **92**(6): 2292-302.
- SCAGLIONI, G. *et al.* (2003). "Effect of ageing on the electrical and mechanical properties of human soleus motor units activated by the H reflex and M wave." J Physiol **548**(Pt 2): 649-61.
- SCHIEPPATI, M. (1987). "The Hoffmann reflex: a means of assessing spinal reflex excitability and its descending control in man." Progress in Neurobiology **28**: 345-376.
- SCHNEIDER, C.C. CAPADAY (2003). "Progressive adaptation of the soleus H-reflex with daily training at walking backward." J Neurophysiol **89**(2): 648-56.
- SIMONSEN, E.B.P. DYHRE-POULSEN (1999). "Amplitude of the human soleus H reflex during walking and running." J Physiol **515** (Pt 3): 929-39.
- SOLOMONOW, M. *et al.* (1990). "Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies." J Appl Physiol **68**: 1177-1185.
- STARON, R.S. *et al.* (1994a). "Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women." J Appl Physiol **76**(3): 1247-1255.
- STARON, R.S. *et al.* (1994b). "Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women." J Appl Physiol **76**(3): 1247-55.
- STEIN, R.B. (1995). "Presynaptic inhibition in humans." Progress in Neurobiology **47**: 533-544.
- STENGEL, S.V. *et al.* (2005). "Power training is more effective than strength training for maintaining bone mineral density in postmenopausal women." J Appl Physiol **99**(1): 181-8.
- SUETTA, C. *et al.* (2004). "Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse." J Appl Physiol **97**(5): 1954-61.
- TIHANYI, J. *et al.* (1982). "Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **48**(3): 331-43.
- TRAPPE, S. *et al.* (2001). "Resistance training improves single muscle fiber contractile function in older women." Am J Physiol Cell Physiol **281**(2): C398-406.

- VAN CUTSEM, M. *et al.* (1998). "Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans." Journal of Physiology **513** (Pt 1): 295-305.
- VOIGT, M. *et al.* (1998). "Changes in the excitability of soleus muscle short latency stretch reflexes during human hopping after 4 weeks of hopping training." Eur J Appl Physiol Occup Physiol.
- WILSON, G.J. *et al.* (1993). "The optimal training load for the development of dynamic athletic performance." Med Sci Sports Exerc **25**(11): 1279-86.
- WINTERS, J.M.P.E. CRAGO (2000). Biomechanics and Neural Control of Posture and Movement. New York, Springer.
- WOLPAW, J.J. O'KEEFE (1984). "Adaptive plasticity in the primate spinal stretch reflex: evidence for a two-phase process." J Neurosci **4**(11): 2718-2724.
- WOLPAW, J.R. (1997). "The complex structure of a simple memory." Trends in Neurosciences **20**(12): 588-594.
- WOLPAW, J.R.X.-Y. CHEN (2001). "Operant conditioning of rat H-reflex: effects on mean latency and duration." Exp Brain Res **136**: 274-279.
- WOLPAW, J.R.A.M. TENNISSEN (2001). "Activity-dependent spinal cord plasticity in health and disease." Annu Rev Neurosci **24**: 807-43.
- YUE, G.K.J. COLE (1992). "Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions." J Neurophysiol **67**(5): 1114-23.
- ZEHR, E.P. (2006). "Training-induced adaptive plasticity in human somatosensory reflex pathways." J Appl Physiol **101**(6): 1783-94.
- ZEHR, E.P.R.B. STEIN (1999). "Interaction of the Jendrassik maneuver with segmental presynaptic inhibition." Experimental Brain Research **124**: 474-480.
- ZEHR, P.E. (2002). "Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies." European J Appl Physiol **86**(6): 455-468.

ANEXO A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) Sr (a):

Você está sendo convidado para participar de uma pesquisa sobre a modulação dos reflexos medulares durante diferentes contrações. A pesquisa está sendo desenvolvida pela fisioterapeuta Eugênia Casella T. de Mattos, do Laboratório de Engenharia Biomédica da Universidade de São Paulo. A sua participação é voluntária. Caso não deseje participar você pode não assinar este termo. Só vão participar desta pesquisa os que assinarem este documento.

A pesquisa começa com a colocação de alguns eletrodos afixados à pele da sua perna por meio de fita tipo esparadrapo, sendo os eletrodos pequenos discos metálicos ligados a fios. Posteriormente o você sentará em uma cadeira especial para os experimentos e tem seu pé direito será fixado à um pedal, que vai medir a força dos movimentos do pé, movimentos estes que poderão ser: empurrar o pé para baixo ou puxar para cima. Durante estes movimentos haverá esporadicamente uma pequena e breve estimulação elétrica na parte de trás da perna direita, cuja sensação parecerá de uma beliscada. As instruções serão explicadas pelo pesquisador. Cada experimento poderá demorar até 2 horas, dependendo de cada caso.

Os resultados desta pesquisa serão anônimos, ou seja, a publicação dos resultados não vai incluir os nomes de nenhum dos participantes. Não vai ser então possível devolver resultados individuais para ninguém.

Se você tiver alguma dúvida, a equipe de pesquisadores estará à sua disposição para qualquer esclarecimento. Você pode solicitar maiores informações pelo telefone 3091-5541 ou por e mail – eugenia@leb.usp.br (com Eugenia Casella T. de Mattos) ou andfkohn@leb.usp.br (com André Fabio Kohn) ou pelo telefone 3091-5535 (com André Fabio Kohn).

Eu, fui informado dos objetivos da pesquisa acima de maneira clara e detalhada. Recebi informação a respeito dos procedimentos e esclareci quaisquer dúvidas que tivesse. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão se assim eu o desejar. Certificaram-me de que todos os dados desta pesquisa serão confidenciais e terei liberdade de retirar meu consentimento de participação na pesquisa em qualquer momento da pesquisa.

Assinatura

____/____/_____
Data

ANEXO B

Tabela anexo B Os valores aqui apresentados representam a análise da inibição IR e inibição D1 com os sujeitos que apresentaram inibição pré-treino de 10 e 40%. Esta análise foi feita para a inibição D2 e está apresentada no texto (tabela 14) A mesma análise foi feita com as demais inibições.

IR						
	C1	C2	GFM1	GFM2	GP1	GP2
Média ±DP	17,62± 8,60	14,64± 10,08	23,08± 6,03	12,39± 11,37	25,16± 4,75	12,73± 4,66
Sujeitos	5		5		7	
Diferença	-2,98		-10,69		-12,43	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		+ p=0,06		p=0,11	
Análise ANOVA	Efeito de tempo (p<0,05)					
Inibição D1						
	C1	C2	GFM1	GFM2	GP1	GP2
Média ±DP	24,32± 7,49	18,23± 5,39	26,54± 7,82	29,12± 13,92	20,94± 7,46	21,52± 10,19
Sujeitos	8		7		10	
Diferença	-6,09		-2,58		0,58	
Análise teste <i>t-student</i>	p>0,05		p>0,05		p>0,05	
Análise ANOVA	p>0,05					