



**Universidade Federal de São Carlos**

**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**Efeitos dos exercícios de aquecimento e alongamento  
na flexibilidade de sujeitos idosos**

**José Jamacy de Almeida Ferreira**

**SÃO CARLOS**

**2008**

# **Efeitos dos exercícios de aquecimento e alongamento na flexibilidade de sujeitos idosos**

**José Jamacy de Almeida Ferreira**

**Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Fisioterapia.**

**Orientadora: Profa. Dra. Tânia de Fátima Salvini.**

**SÃO CARLOS**

**2008**

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

F383ee

Ferreira, José Jamacy de Almeida.

Efeitos dos exercícios de aquecimento e alongamento na flexibilidade de sujeitos idosos / José Jamacy de Almeida Ferreira. -- São Carlos : UFSCar, 2008.

95 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

1. Exercícios de alongamento. 2. Exercícios de aquecimento. 3. Exercícios – flexibilidade. 4. Idosos (Saúde). 5. Termografia por infravermelho. 6. Músculos. I. Título.

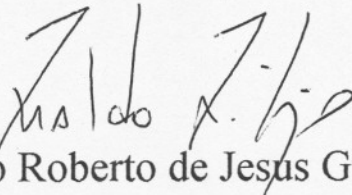
CDD: 615.82 (20<sup>a</sup>)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA PARA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE JOSÉ JAMACY DE ALMEIDA FERREIRA, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 14 DE MARÇO DE 2008.

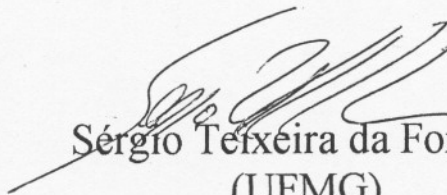
BANCA EXAMINADORA:



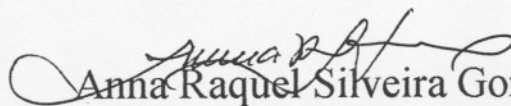
Tânia de Fátima Salvini  
(UFSCar)



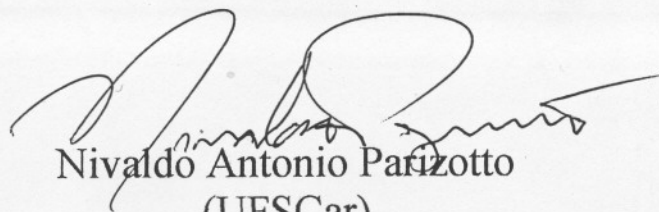
Rinaldo Roberto de Jesus Guirro  
(UNIMEP)



Sérgio Teixeira da Fonseca  
(UFMG)



Anna Raquel Silveira Gomes  
(UFPR)



Nivaldo Antonio Parizotto  
(UFSCar)

**Dedico este trabalho à minha esposa Elda e aos meus filhos Felipe, Gabriela e Júlia, como um marco da minha trajetória acadêmica, valorizada pelo apoio e o esforço de cada um deles.**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar o meu caminho e me permitir concluir mais uma etapa na minha evolução. Sem a minha fé eu não chegaria a lugar algum.

Aos meus Pais, Nanci e José Ferreira, pelo esforço em me proporcionar sempre as melhores condições para que eu pudesse me desenvolver integralmente.

À toda a minha família, irmãos, sobrinhos, primos, sogra, sôgro e cunhados, pelo incentivo e a energia positiva que sempre me destinaram.

À professora Tania Salvini, pelo exemplo de amor ao trabalho, ao fazer bem feito. Por muito além de orientadora, ser parceira, conselheira e amiga. Pela seriedade e competência com que orienta, buscando sempre o melhor caminho para os seus alunos. Pela visão abrangente, inclusiva e social, da pesquisa e da pós-graduação em Fisioterapia no Brasil.

Aos professores Fábio Serrão e José Angelo Barela, pela seriedade e competência com que encaram o ensino na pós-graduação.

Aos professores Nivaldo Parizzoto, Stella Mattiello Rosa e Jorge Oish, pelo aprendizado que me proporcionaram nas disciplinas lecionadas.

Ao professor Fausto Bérzin por congregar e estimular a todos no ensino da eletromiografia.

Ao Professor Luiz Antônio Nunes, por disponibilizar o Laboratório de Termografia da USP para realização da pesquisa.

Ao Professor José Rubens Rebelatto pela parceria e cooperação nos projetos desenvolvidos.

Às professoras Aparecida Catai e Paula Lobo da Costa pelo apoio, incentivo e o sorriso sempre amigo.

Ao amigo Jerônimo Alencar, pela amizade fraterna e o apoio incondicional nos momentos importantes da minha vida acadêmica.

Ao amigo Heleodório Honorato, pelo acolhimento fraterno e por me proporcionar o exercício da partilha e do respeito ao contraditório.

À amiga Catarina Oliveira, por sua ajuda nos testes dos procedimentos metodológicos e pelas demonstrações de amizade incondicional durante a nossa convivência em São Carlos.

Às amigas Lucia Batista e Eliane Coutinho, pela colaboração nos projetos e pelo apoio fraterno nos momentos difíceis.

Aos meus alunos de iniciação científica, Lorena, Roberta, Everton e Rafaella, pela inestimável colaboração nos projetos de pesquisa desenvolvidos e por me proporcionarem o exercício do Dom de ensinar.

Aos colegas de laboratório, Tiago, João, Sabrina, Paula, Christiane, Mariana, Gabriel, Carolina, Cristina, pelo apoio fraterno e a pronta colaboração nas atividades do Laboratório.

Aos voluntários participantes dos projetos, por sua dedicação, disponibilidade e colaboração como sujeitos das pesquisas.

Aos Funcionários Tereza, Leonília, Ana Paula e Ana Cláudia, pelo atendimento sempre gentil e prestimoso.

Aos demais colegas contemporâneos o meu agradecimento pela convivência harmoniosa e o espírito de colaboração mútua.

**“Aquele que acredita saber alguma coisa, não  
sabe ainda o que significa saber”  
(São Paulo, Coríntios, I, 8)**



## SUMÁRIO

	p
1 APRESENTAÇÃO.....	10
2 INTRODUÇÃO.....	11
3 REFERÊNCIAS.....	14
4 ESTUDO I.....	18
4.1 Resumo.....	19
4.2 Introdução.....	20
4.3 Material e Métodos.....	21
4.4 Resultados.....	24
4.5 Discussão e Conclusão.....	26
4.6 Referências.....	28
4.7 Tabelas.....	31
4.8 Figuras.....	33
5 ESTUDO II.....	36
5.1 Resumo.....	37
5.2 Introdução.....	38
5.3 Material e métodos.....	40
5.4 Resultados.....	46
5.5 Discussão.....	47
5.6 Conclusão.....	49
5.7 Referências.....	50
5.8 Figuras.....	54
5.9 Tabelas.....	56
6 Apêndice I - Manuscrito submetido ao <i>Annals of Biomedical Engineering</i> .....	58
7 Apêndice II - Manuscrito original submetido à <i>Physical Therapy</i> .....	75

## APRESENTAÇÃO

Os efeitos do alongamento muscular têm sido extensivamente estudados. Entretanto, alguns aspectos, ou não foram estudados detalhadamente, ou os estudos produziram resultados controversos. Dentre os aspectos mais polêmicos no estudo dos efeitos dos exercícios de alongamento muscular se destaca o da influência do aquecimento muscular prévio ao alongamento. Muitos trabalhos têm sido realizados sobre o tema, entretanto, uma grande diversidade metodológica e a utilização preferencial de sujeitos jovens nos estudos, têm dificultado a interpretação dos resultados e a extensão de sua aplicação para o segmento da população idosa.

Ao ingressar no programa de doutorado da UFSCar fui convidado a trabalhar na linha de pesquisa em alongamento muscular coordenada pela Profa. Tania Salvini. Analisando a literatura verificamos que existia uma lacuna importante no estudo dos efeitos da associação dos exercícios de aquecimento e alongamento. Surgiram algumas questões: a) Os sujeitos idosos e os jovens têm a mesma resposta termal ao exercício localizado utilizado como aquecimento? b) o exercício de aquecimento prévio ao alongamento potencializa seus efeitos? c) um programa regular de alongamento pode melhorar a força muscular de sujeitos idosos? d) Os possíveis efeitos dos exercícios de aquecimento e alongamento persistem, em sujeitos idosos, após o término do programa de alongamento? Para responder a estas questões elaboramos 2 estudos.

No primeiro estudo intitulado “Alterações termográficas associadas ao exercício em sujeitos jovens e idosos”, analisamos o perfil termográfico de sujeitos idosos e jovens em resposta a um exercício localizado, de baixa intensidade e curta duração, comumente utilizado em programas de condicionamento físico para ambas as faixas etárias. No segundo estudo, cujo título é “O Alongamento regular, independente do aquecimento muscular, melhora a flexibilidade e o torque em idosos”, estudamos o efeito dos exercícios de aquecimento e alongamento muscular sobre a flexibilidade e o torque isocinético ativo e passivo em sujeitos idosos.

Os resultados destes estudos, apresentados na seqüência, em forma de artigos científicos já submetidos à periódicos internacionais indexados, contribuem para um melhor entendimento sobre os efeitos da associação dos exercícios de aquecimento e alongamento em idosos. Na seqüência, faremos uma breve introdução sobre estes estudos.

## 2. INTRODUÇÃO

O aumento da expectativa de vida nos países desenvolvidos e em desenvolvimento tem acarretado um crescimento progressivo no número de indivíduos idosos na população mundial. No Brasil, esta tendência foi confirmada após o Censo IBGE-2000, quando se detectou que a parcela da população com idade acima de 60 anos, aumentou, e poderá dobrar nos próximos 20 anos. Este fato repercute diretamente sobre o sistema previdenciário, devido ao crescente número de aposentados. Além disso, sobrecarrega o sistema de saúde, aumentando o número de internações por enfermidades relacionadas à senilidade.

Alterações da flexibilidade, com encurtamento adaptativo musculotendíneo, ocorrem mais comumente nos músculos biarticulares, sendo os isquiotibiais o grupo muscular mais afetado (Safran et al., 1989). Estas alterações também estão associadas ao processo biológico do envelhecimento e afetam a mobilidade e o equilíbrio de maneira a modificar os padrões funcionais dos sujeitos idosos (Nonaka et al., 2002; Klein et al., 2002). Os músculos e tendões dos idosos são menos flexíveis e complacentes e apresentam uma maior proporção de tecido conectivo denso (Alter, 1996). No envelhecimento ocorre aumento da cristalinidade e do diâmetro da fibra colágena, da força das ligações intra e intermoleculares, diminuição da hidratação, e substituição de fibras elásticas por fibras colágenas, elevando a resistência das fibras à deformação (Alter, 1996). A diminuição da força e flexibilidade ocasionam também uma alteração na sobrecarga exercida sobre os ossos, o que acarreta desmineralização óssea e fragilidade do esqueleto, predispondo ao risco de fraturas (Goldspink & Harridge, 2004). Entretanto, há evidências de que um programa regular de alongamentos melhora a flexibilidade de sujeitos idosos (Feland et al., 2001).

Deformações plásticas e elásticas podem ocorrer quando o tecido conectivo é submetido a uma força de alongamento (Gdjosik, 2001). O alongamento muscular também acarreta em alterações morfológicas do tecido conectivo (Coutinho et al., 2006) e nas fibras musculares (Gomes et al., 2006; Peviani et al., 2007). A magnitude das deformações no tecido conectivo parece variar de acordo com a duração do alongamento (Feland et al. 2001; Roberts e Wilson, 1999). Por outro lado, o aumento da frequência do alongamento ao longo do dia, parece não influenciar nos resultados (Bandy et al., 1997). Desta forma, parece que a duração total do alongamento é o fator mais determinante de sua eficácia, independente do número de repetições realizadas em cada sessão (Zakas et al., 2005).

Um dos pontos mais controversos no estudo da flexibilidade está relacionado ao papel da temperatura tecidual no alongamento muscular. Para investigar esse aspecto, o aumento da temperatura tecidual foi induzido tanto de maneira ativa, por meio de exercícios físicos (Knight et al. 2001; Wenos e Konin, 2004; De Weijer *et al.*, 2003; Zakas et al., 2006), como de forma passiva, pela aplicação de fontes externas de calor (Taylor et al., 1995; Burke et al., 2001; Knight et al. 2001; Draper et al., 2004; Peres et al., 2002; Kubo et al., 2005; Brasileiro et al., 2007). Tem sido relatado que o aquecimento altera a viscosidade dos tecidos moles, diminuindo a resistência passiva de músculos e articulações, aumentando a disponibilidade de oxigênio, a velocidade das reações metabólicas e a condução nervosa, além de outros efeitos não-térmicos. (ver revisões de Shellock e Prentice, 1985; Hardy e Woodall, 1998; Bishop, 2003b).

Dentre os estudos que analisaram o efeito agudo do aquecimento ativo sobre a flexibilidade, Wenos e Konin (2004), verificaram efeitos positivos da associação do alongamento com o aquecimento, contrariamente ao observado por outros autores (De Weijer *et al.*, 2003; Zakas et al., 2006). Todavia, poucos estudos analisaram o efeito crônico da associação do aquecimento ativo com o alongamento sobre a flexibilidade muscular. Estudos similares não têm sido realizados em idosos e seria interessante uma análise dos efeitos crônicos do alongamento, associado ao aquecimento, nessa faixa etária, onde já ocorrem alterações do tecido conectivo e do músculo esquelético associadas ao envelhecimento.

Entretanto, apesar do aquecimento ativo fazer parte de programas gerais de condicionamento físico, poucos estudos examinaram as alterações da temperatura muscular após o exercício (Clark et al., 1977; Merla et al. 2002 e 2005; Wang e Toh, 2001; Vainer, 2005; Zontak et al., 1998) e nenhum deles avaliou as possíveis alterações do perfil termográfico associadas ao exercício localizado, em sujeitos idosos. Estudos prévios demonstraram que o envelhecimento está relacionado à perda de massa muscular e redução do metabolismo, os quais limitam a produção de calor e os ajustes termoregulatórios (Goldspink, 2004; Inbar et al., 2004; Kenney e Munce, 2003). Embora existam vários estudos sobre os efeitos do treinamento de força e *endurance* em idosos, as possíveis diferenças na resposta termogênica associada ao exercício localizado em sujeitos jovens e idosos, ainda não são bem conhecidas. Esta questão precisa ser estudada para validar a aplicação dos exercícios de aquecimento em sujeitos idosos.

A alteração da força muscular passiva e ativa após o alongamento representa um outro interessante aspecto do estudo da flexibilidade. O efeito do alongamento muscular na resistência passiva é polêmico na literatura. Alguns estudos têm verificado tanto o aumento

(LaRoche e Connolly, 2006; Gajdosik et al., 2005; Chan et al., 2001; Reid e Mcnair, 2004), a diminuição (Mahieu et al., 2007) como também a manutenção da resistência passiva (Chan et al., 2001; Mahieu et al., 2007), após a aplicação de um programa de alongamento regular. Adicionalmente, programas de alongamento muscular também têm sido associados ao aumento da força ativa em sujeitos jovens (Worrell *et al.*, 1994; Shrier, 2004; Kokkonen et al., 2007).

Considerando todos os aspectos apresentados, fica claro que há a necessidade de uma investigação mais detalhada dos efeitos crônicos de um programa regular de alongamento muscular sobre a flexibilidade e o torque passivo e ativo, em idosos. Há ainda a necessidade de se estudar o papel do aquecimento muscular, associado ao alongamento, em indivíduos nessa faixa etária. Entretanto, seria também necessário, um estudo prévio sobre as possíveis diferenças na resposta termal entre indivíduos jovens e idosos aos exercícios de aquecimento.

Assim, este estudo teve o objetivo de testar as seguintes hipóteses: a) existem diferenças entre sujeitos jovens e idosos no que diz respeito à magnitude da resposta termal associada ao exercício localizado; b) um programa regular de alongamento induz ao aumento da flexibilidade e dos torques passivo e ativo em sujeitos idosos; c) exercícios de aquecimento muscular localizado, realizados previamente ao alongamento, favorecem um maior ganho de flexibilidade em idosos. Foi também objetivo da investigação analisar as possíveis alterações de flexibilidade e torque após o término da intervenção.

## Referências

1. Alter MJ. *Science of Flexibility*. 2<sup>nd</sup> edition, Champaign, Human Kinetics, 1996.
2. Bandy W. D.; Irion J. M.; Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys. Ther.* v. 77, p. 1090–1096, 1997.
3. Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med.* v. 33, p. 483-98, 2003.
4. Brasileiro J. S.; Faria A. F.; Queiroz L. L. Influence of local cooling and warming on the flexibility of the hamstring muscles. *Braz. J. Phys. Ther.* v. 11, n.1, p. 57-61, 2007.
5. Burke D. G. et al. Effects of hot or cold water immersion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *J. Athlet. Train.* v. 36, p. 16–19, 2001.
6. Chan S. P.; Hong Y.; Robinson P. D. Flexibility and passive resistance of hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* v. 11, p. 81–86, 2001.
7. Clark, R. P., B. J. Mullan, L. G. C. E. Pugh. Skin temperature during running – a study using infra-red colour thermography. *J. Physiol.* v. 267, p. 53-62, 1977.
8. De Weijer V. C.; Gorniak G. C.; Shamus E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.* v. 33, p.727-33, 2003  
Et al.
9. Draper D. O. et al. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstring flexibility more than prolonged stretching alone. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* v. 34, p. 13-20, 2004.
10. Feland J. B. et al. The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Phys. Ther.* v. 81, p. 1100-1117, 2001.
11. Gajdosik R L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech.* v. 16, p. 87-101, 2001.
12. Goldspink, G., Harridge, S. D. R.. Growth factors and muscle ageing. *Exp. Gerontol.* v. 39, p. 1433-1438, 2004.
13. Gomes A. R. S. et al. Morphological effects of two protocols of passive stretch over the immobilized rat soleus muscle. *J. Anat.* v. 210, p. 328 –335, 2007.
14. Hardy M.; Woodall W. Therapeutic effects of heat, cold, and stretch on connective tissue. *J. Hand Ther.* v. 11, p. 148-56, 1998.
15. Inbar, O. et al. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp. Physiol.* v. 89, n. 6, p. 691-700, 2004.

16. Kenney, W. L.; Munce, T. A. Invited review: aging and human temperature regulation. *J. Appl. Physiol.* v. 95, p. 2598-2603, 2003.
- 17 Klein, D. A. et al. PNF training and physical function in assisted-living old adults. *Journal of Aging and Physical Activity.* v.10, p. 476-488, 2002.
18. Knight, C. A. et al. Effect of superficial heat, and active exercise warm-up on the extensibility of the plantar flexors. *Phys. Ther.* v. 81, p. 1206-1214, 2001
19. Kokkonen, J. et al. Chronic static stretching improves exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* v.39, p. 1825-1831, 2007.
20. Kubo, K.; Kanehisa H.; Fukunaga T. Effects of cold and hot water immersion on the mechanical properties of human muscle and tendon in vivo. *Clin. Biomech.* v. 20, p. 291-300, 2005.
21. LaRoche, D. P.; Connolly, D. A. J. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am. J. Sports Med.* v. 34, p. 1000-7, 2006.
22. Mahieu, N. N. et al. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 39, p. 494-501, 2007.
23. Merla, A.; Donato, L. D.; Romani, G. L. Infrared functional imaging: Analysis of skin temperature during exercise. Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES conference, Houston, TX, USA. Oct. 23-26, v. 2, p. 1141-1142, IEEE, 2002.
24. Merla, A. et al. Monitoring skin temperature in trained and untrained subjects throughout thermal video. Proceedings of the 27th Annual International Conference EMBS, Shanghai, China. Sep. 1-4, p. 1684-1686, IEEE, 2005.
25. Nonaka, H. et al. Age-related changes in the interactive mobility of the hip and knee joints: a geometrical analysis. *Gait Posture.* v. 15, p. 236-243, 2002.
26. Peres, S. E. et al. Pulsed shortwave diathermy and prolonged long-duration stretching increase dorsiflexion range of motion more than identical stretching without diathermy. *J Athlet Train.* v. 37, p. 43-50, 2002.
27. Peviani, S. M. et al. Short bouts of stretching increase myo-d, myostatin and atrogen-1 in rat soleus muscle. *Muscle Nerve.* v. 35, p. 363-370, 2007.
28. Reid, D. A.; Mcnair P. J. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 36, p. 1944-1948, 2004.
29. Roberts, J. M.; Wilson, K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br J Sports Med.* v. 33, p. 259-263, 1999.
30. Safran, M. R.; Seaber, A.V. Garrett, W. E. Warm-up and muscular injury prevention: An update. *Sports Med.* v. 8, p. 239-249, 1989.

31. Shellock, F. G.; Prentice, W. E. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.* v. 2, p. 267-78, 1985.
32. Shrier I. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med.* v. 14, p. 267-273, 2004.
33. Taylor, B. F.; Waring, C. A.; Brashear, T. A. The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static stretch on hamstring muscle length. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* v. 21, p. 283-6, 1995.
34. Vainer, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. *Phys. Med. Biol.* v.50, p. R63-R94, 2005.
35. Wang, J.; Toh, H. L. Visualizing skin temperature before, during and after exercise for dynamic area telethermometry. Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Instambul, Turkey. Oct. 25-28, p. 2831-2835, IEEE, 2001.
36. Wenos, D. L.; Konin, J. G. Controlled warm-up intensity enhances hip range of motion. *J Strength Cond. Res.* v.18, p. 529-533, 2004.
37. Worrell, T. W.; Smith, T. L.; Winegardner, J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orth. Phys. Ther.* v. 20, p. 154-159, 1994.
38. Zakas, A. et al. Acute effects of stretching duration on the range of motion of elderly women. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* v. 9, p. 270-276, 2005.
39. Zakas, A. et al. Acute effects of active warm-up and stretching on the flexibility of elderly women. *J. Sports. Med. Phys. Fitness.* v. 46, p. 617-22, 2006.
40. Zontak, A. et al. Dynamic thermography: analysis of hand temperature during exercise. *Ann. Biomed. Eng.* v.26, p. 988-993, 1998.



**MANUSCRITO I**

Alterações Termográficas Associadas ao Exercício em Sujeitos Jovens e Idosos

José J. A. Ferreira PhD.<sup>1</sup>; Lorena C. S. Mendonça<sup>2</sup>; Luiz A. Nunes PhD.<sup>3</sup>; Antônio C. C. Andrade Filho MD.<sup>4</sup>; José R. Rebelatto PhD.<sup>2</sup>; Tânia F. Salvini PhD.<sup>2</sup>;

<sup>1</sup> Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal da Paraíba-Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos-Brasil

<sup>3</sup> Instituto de Física de São Carlos-Universidade de São Paulo-Brasil

<sup>4</sup> Serviço de Termografia do Hospital Amaral Carvalho/ Jaú-Brasil

Título resumido: Termografia e Exercício

Autor correspondente: José Jamacy de Almeida Ferreira

Endereço: Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos. Rodovia Washington Luis, Km. 235, caixa postal: 676, CEP: 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Fone: (16) 3351-8345, Fax: (16) 3351-2081

email: [jamacy@gmail.com](mailto:jamacy@gmail.com)

## RESUMO

Este estudo teve o propósito de avaliar as alterações termográficas associadas ao exercício localizado em sujeitos idosos e jovens. Um protocolo de exercícios utilizando carga de 1 Kg foi aplicado durante 3 minutos aos flexores do joelho de 14 sujeitos idosos ( $67\pm 5$  anos) e 15 jovens ( $23\pm 2$  anos) saudáveis. A temperatura do membro exercitado e contralateral foi medida por meio de termografia por infravermelho em condições pré-exercício, imediatamente pós-exercício e durante o período de 10 minutos pós-exercício. Foi observada uma diferença ( $p<0,01$ ) na temperatura pré-exercício entre os sujeitos idosos e jovens. Embora não tenha sido observada diferença entre a temperatura pré-exercício e imediatamente pós-exercício no membro exercitado, o perfil termográfico mostrou uma concentração de calor nas áreas exercitadas, para ambos os grupos. Apenas para os sujeitos jovens houve diminuição da temperatura do membro exercitado ( $p<0,05$ ) aos 10 min pós-exercício (de  $30,7\pm 1,7$  para  $30,3\pm 1,5$  ° C). Em contraste, houve uma redução da temperatura pós-exercício no membro contralateral ( $p<0,01$ ), para ambos os grupos. Estes resultados apontam para novas evidências de que sujeitos jovens e idosos apresentam capacidade similar de produção de calor; entretanto, os sujeitos idosos apresentaram uma menor temperatura de repouso e uma dissipação de calor mais lenta. Este trabalho contribui para melhorar o entendimento sobre as alterações de temperatura em sujeitos idosos e pode apresentar implicações na prática esportiva e para os programas de reabilitação.

Palavras-chaves: aquecimento, temperatura da pele, termografia por infravermelho, envelhecimento.

## INTRODUÇÃO

A demanda de sangue para os músculos no início do exercício é acompanhada por vasoconstrição na pele, enquanto uma resposta vasodilatadora termoregulatória ocorre, quando a temperatura do corpo aumenta, determinando perda de calor por intermédio da superfície<sup>28</sup>. Segundo Keny et al<sup>13</sup>, a temperatura do tecido em um dado momento é determinada pela taxa relativa de produção e perda de calor. Assim, a temperatura muscular regional em um dado ponto é o resultado das diferenças nas taxas metabólicas, perda de calor para o tecido adjacente e por intermédio da circulação sanguínea profunda e periférica.

Estudos prévios mostraram alterações da temperatura associadas ao exercício tanto no músculo<sup>1, 6, 13, 15, 16, 25</sup> como na pele<sup>19, 23</sup>, por meio de medidas diretas. Este tipo de medida presume que a produção de calor nos músculos ocorre de maneira uniforme. Entretanto, as características específicas individuais da vascularização superficial e o posicionamento assimétrico de veias dilatadas podem causar distorções nos resultados obtidos quando se utiliza sensores de contato na vizinhança destas veias<sup>27</sup>. Desta forma, presume-se que as medidas de temperatura realizadas diretamente sobre a pele ou músculo, podem levar a interpretações equivocadas devido a localização dos sensores na vizinhança de vasos quentes e também porque o aquecimento não ocorre de maneira uniforme ao longo do músculo<sup>14, 27</sup>.

Por outro lado, a termografia por infravermelho é um procedimento não-invasivo que registra a distribuição da temperatura por meio de uma câmera termal que recebe e processa a radiação infravermelha emitida pela superfície do corpo<sup>27</sup>. Este processo tem sido amplamente utilizado para caracterizar o padrão de temperatura da superfície corporal no diagnóstico de diversas doenças e pode representar um instrumento valioso para a análise de tecidos biológicos e pesquisa em fisiologia, no que diz respeito ao estudo da produção e dissipação do calor durante e após o exercício<sup>7, 8, 27</sup>. A termografia por infravermelho supera limitações de outros métodos que necessitam do contato para realização das medidas de temperatura<sup>27, 28</sup>, e pode provê informações indiretas do recrutamento hemodinâmico na massa muscular durante o processo de ajuste termal relacionado com o exercício<sup>17</sup>. Estas alterações térmicas que ocorrem em regiões profundas do corpo são transferidas para os tecidos superficiais pela circulação sanguínea<sup>8, 27</sup>.

Poucos estudos examinaram as alterações da temperatura muscular após o exercício<sup>2, 17, 18, 26, 27, 28</sup> e nenhum deles avaliou as possíveis alterações do perfil termográfico associadas ao exercício localizado, em sujeitos idosos. Estudos prévios demonstraram que o

envelhecimento está relacionado à perda de massa muscular e redução do metabolismo, os quais limitam a produção de calor e os ajustes termoregulatórios<sup>5, 10, 12</sup>. Embora existam vários estudos sobre os efeitos do treinamento de força e *endurance* em idosos, as possíveis diferenças na resposta termogênica associada ao exercício localizado em sujeitos jovens e idosos, ainda não são bem conhecidas.

A hipótese deste estudo é que os sujeitos jovens apresentam uma resposta termal maior do que os idosos, após o exercício localizado. Para isso, as possíveis alterações de temperatura associadas ao exercício localizado em sujeitos jovens e idosos foram avaliadas por meio de termografia por infravermelho.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Sujeitos

Foram recrutados para este estudo 29 voluntários (14 sujeitos idosos e 15 jovens). O grupo de idosos foi composto por 12 mulheres e 2 homens [67 ± 5 anos; 158 ± 7,6 cm; 67,4 ± 7,9 Kg; e 26,8 ± 2,5 Kg/m<sup>2</sup> de índice de massa corporal (IMC)]. O grupo de jovens foi composto por 10 mulheres e 5 homens (23 ± 2 anos; 168 ± 10,5 cm; 63,3 ± 13 Kg; e 22,1 ± 2,3 Kg/m<sup>2</sup> de IMC). Em decorrência da diferença de faixa etária, houve dificuldades de se formar grupos pareados quanto ao IMC e ao gênero. Entretanto, uma análise estatística intragrupos (teste *t* de *Student* independente) para subgrupos com diferença de 4 Kg/m<sup>2</sup> de IMC, não detectou diferenças significativas da temperatura ( $p > 0,05$ ). O critério de inclusão foi o seguinte: os sujeitos deveriam estar na faixa etária entre 60-80 anos (Idosos) e 18-30 anos (Jovens). Todos os sujeitos foram considerados ativos e saudáveis, e apresentarem um documento médico confirmando que seu estado de saúde era compatível com o nível de esforço físico previsto no protocolo de exercícios. Os sujeitos foram definidos como ativos por indicarem praticar atividade física de leve a moderada com duração de uma hora por dia, três vezes por semana, há pelo menos um ano. Como critério de exclusão os seguintes aspectos foram considerados: a presença de distúrbios músculo-esqueléticos; cirurgia prévia e sintomatologia dolorosa nos membros inferiores; afecções cardiovasculares ou qualquer outra doença que pudesse alterar a temperatura corporal. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade em concordância com a declaração de Helsinki para pesquisa com humanos.

## Medidas da temperatura

Os sujeitos foram orientados a se alimentar em até 2 horas antes do experimento e, não fumar, ingerir bebidas alcoólicas ou praticar qualquer atividade física extenuante nas 24 horas que antecederam a avaliação. Além disso, eles foram recomendados a não aplicar cremes hidratantes ou qualquer produto similar nos membros inferiores.

A temperatura da superfície posterior da coxa foi avaliada por meio do procedimento de teletermografia por infravermelho, em conformidade com os critérios para aquisição de imagens termais descritos por Ring e Ammer<sup>24</sup>. Foi utilizada uma câmera termográfica que opera próximo a região de 5  $\mu\text{m}$  e utiliza um detector monocanal de infravermelho (Hg-Cd-Te) refrigerado a nitrogênio líquido. A câmera permite a captura de 20 imagens termográficas por minuto, com resolução espacial de 5 mm e sensibilidade de 0,1° C, sob condições controladas de temperatura (22° - 24° C) e umidade relativa do ar (< 50%). Para o procedimento de calibração foi construído um corpo negro com temperatura controlada com precisão de 0,02 ° C utilizando um termistor PT-100 (Telemeter Electronic, Donauworth, Alemanha). A câmera possui um sistema de remoção automática de *drift* (*drift* < 0,1 ° C) em função da variação da temperatura da sala de exame. Como o sujeito foi mantido estável em posição ortostática durante a aquisição das imagens, não houve necessidade da correção de efeitos *drift-shift*. A câmera e o respectivo software para processamento das imagens, ambos, foram desenvolvidos pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP, SP, Brasil).

Para a realização das termografias, os sujeitos vestiram *shorts* leves que permitiam a exposição completa da região posterior do membro inferior. Antes do início do registro da temperatura os sujeitos permaneceram em pé por 10 minutos, na sala de exame, com o objetivo de adaptação à temperatura ambiente (termalização).

A câmera foi posicionada a uma distância de 2,34 m dos sujeitos e a uma altura de 36 cm do solo. Este posicionamento da câmera permitiu o enquadramento adequado do membro inferior de todos os sujeitos, apesar da diferença de comprimento dos membros inferiores existente entre eles. A primeira medida foi realizada após 10 minutos de termalização (medida pré-exercício). Na seqüência, os sujeitos foram submetidos ao protocolo de exercícios. O membro dominante foi definido como sendo o membro inferior

preferencialmente utilizado para chutar uma bola. Todos os sujeitos foram definidos como destros e foram solicitados a realizar o exercício com o membro inferior direito.

Seis imagens termográficas foram obtidas após o exercício, com o sujeito e a câmera posicionados como previamente descrito. Estas imagens foram capturadas com um intervalo de dois minutos entre elas: A primeira foi obtida imediatamente pós-exercício (0'), e as demais, aos 2, 4, 6, 8 e 10 minutos, subsequentemente. O intervalo entre as medidas foi definido em estudo piloto prévio quando se identificou que este era o período mínimo para detecção de alterações da temperatura pós-exercício.

A temperatura média foi calculada pelo software de processamento utilizando uma área retangular (36 x 36 pixels) posicionada no centro da região posterior da coxa. Esta área foi identificada por inspeção visual da imagem exibida na tela do monitor, numa localização equidistante entre o joelho e o limite superior da coxa, e entre os limites lateral e medial da coxa de cada sujeito (figura 1C). Optou-se por não colocar qualquer material marcador nas proximidades da região de interesse, para evitar o desvio de temperatura por condução ou outras interferências. Ainda assim, a utilização da média de temperatura calculada sobre a área de interesse minimiza erros de posicionamento. A localização da área de interesse e a leitura das respectivas medidas foram realizadas por dois examinadores independentes e não mostrou diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Para a análise da variação da temperatura em função do tempo, foi calculada a diferença de temperatura de cada medida em relação ao período imediatamente precedente.

### **Protocolo de exercícios**

Os sujeitos foram orientados previamente quanto aos procedimentos do exercício. Durante os exercícios, os sujeitos foram posicionados de pé com a coluna vertebral alinhada e a pelve retrovertida para retificar a lordose lombar. Foram utilizados dois apoios fixos laterais para as mãos, os quais serviram para descarga de peso no momento do apoio unipodal. Os exercícios foram realizados com o membro inferior direito e consistiram de exercícios isotônicos de flexo-extensão do joelho com resistência de 1 Kg fixada à perna por meio de uma caneleira com velcro, logo acima do tornozelo. Os sujeitos foram orientados a realizar os exercícios continuamente, durante três minutos, em toda a amplitude de movimento (ADM), num ritmo de 20 repetições por minuto, cadenciado com auxílio de um metrônomo digital (Quick Time QT-5, Quartz Metronome, China). A frequência cardíaca

(FC) foi monitorada com auxílio de um frequencímetro digital (POLAR, modelo A1, Finlândia). A aplicação do protocolo deveria ser interrompida se o sujeito apresentasse dor, câibras, incapacidade de completar os movimentos ou se a frequência cardíaca durante o exercício ultrapassasse  $[FC_{rep} + 0,5 (FC_{reserva})]$ , onde  $[FC_{rep} = FC$  de repouso, 0,5 corresponde ao percentual de 50% e  $FC_{reserva} = FC_{max} - FC_{rep}$ , sendo  $FC_{max} = 220 - idade$ , onde 220 é uma constante]<sup>3, 11</sup>. Este critério de interrupção foi criado para garantir uma baixa intensidade do exercício e não precisou ser utilizado já que nenhum dos sujeitos ultrapassou a frequência cardíaca limite.

### **Análise dos resultados**

Os resultados foram testados quanto a normalidade (*Shapiro-Wilk test*) e homogeneidade das variâncias (*Levene's test*). Uma ANOVA Two Way ( 2 membros x 2 condições) com medidas repetidas foi utilizada para comparação entre as temperaturas do membro exercitado e não exercitado, dentro de cada grupo, pré e pós-exercício. Uma ANOVA Three-Way (2 grupos X 2 membros X 2 condições) com medidas repetidas foi utilizada para comparação da temperatura de cada membro dos idosos com o dos jovens (intergrupo), pré e pós-exercício. Quando um valor significativo de F foi observado, procedeu-se a aplicação do teste *post hoc* de Tukey/Kramer para identificar as diferenças. O teste *t* de *Student* independente foi utilizado para análise dos grupos quanto ao IMC e para comparação das medidas de temperatura inter-examinadores. Para todos os cálculos e análises estatísticas, foi utilizado o Software *GB-Stat Pack School*, versão 1997, e adotado um nível de significância de 5 % ( $p < 0,05$ ).

## **RESULTADOS**

### **Intensidade do exercício**

A intensidade do exercício foi muito baixa considerando-se o percentual da  $FC_{reserva}$  alcançado pelos sujeitos após o exercício. Ainda assim, o percentual da  $FC_{reserva}$  alcançado pelos sujeitos idosos ( $23,4 \pm 10,3\%$ ) foi maior ( $p < 0,01$ ) do que o verificado para os jovens ( $14,8 \pm 7,6\%$ ). Entretanto, como se pode observar na Tabela 1, a variação da frequência



cardíaca entre as medidas realizadas em repouso e na interrupção do exercício foi semelhante para ambos os grupos ( $p>0,05$ ).

*Inserir Tabela 1*

### **Temperatura pré-exercício**

Não foi verificada diferença na temperatura pré-exercício entre o membro direito e o esquerdo, tanto nos sujeitos idosos quanto nos jovens. Todavia, a temperatura de ambos os membros dos sujeitos jovens foi mais alta ( $p<0,01$ ) comparada com a dos sujeitos idosos (Tabela 2).

*Inserir Tabela 2*

### **Temperatura pós-exercício**

#### **Membro exercitado**

Não houve diferença entre as medidas da temperatura do membro exercitado obtidas após o exercício, tanto para os sujeitos jovens como para os idosos, quando comparada à temperatura medida pré-exercício ( $p>0,05$ ). Entretanto, a temperatura pós-exercício foi maior no membro exercitado ( $p<0,01$ ) quando comparado ao contralateral, para ambos os grupos (Tabela 2). Além disso, foi verificado um padrão similar com concentração de altas temperaturas no membro exercitado após o exercício (Figura 1). Apenas o membro exercitado dos sujeitos jovens apresentou uma diminuição da temperatura ( $p<0,05$ ) aos 10 minutos após o exercício (Tabela 2).

*Inserir Figura 1*

#### **Membro contralateral**

A temperatura do membro contralateral diminuiu ( $p<0,01$ ), tanto para os sujeitos jovens como para os idosos, quando comparada ao nível pré-exercício (tabela 2). O resfriamento do membro contralateral também pode ser observado nos termogramas de um dos sujeitos jovens apresentados na Figura 1.

### **Variação da temperatura**

O membro exercitado dos sujeitos idosos e jovens apresentou diferenças na variação da temperatura (Figura 2). Os sujeitos jovens apresentaram uma variação positiva da temperatura no membro exercitado, imediatamente após o exercício, a qual foi seguida por uma variação negativa até o quarto minuto pós-exercício, alcançando uma relativa estabilidade após isto. O membro exercitado dos sujeitos idosos também apresentou uma variação positiva inicial, imediatamente após o exercício; entretanto, a variação negativa se prolongou até os seis minutos pós-exercício, alcançando relativa estabilidade após isto. Assim, a variação da temperatura no membro exercitado parece ser menor e mais lenta nos sujeitos idosos comparativamente ao grupo de jovens (Figura 2A). Em relação ao membro contralateral para ambos os grupos, foi verificada uma variação negativa acentuada da temperatura, imediatamente após o exercício, a qual se estabilizou aos dois minutos pós-exercício (Figura 2B).

*Inserir Figura 2*

### **DISCUSSÃO E CONCLUSÃO**

Este estudo apresenta evidências de que a dissipação de calor após o exercício localizado é mais lenta nos sujeitos idosos quando comparados aos sujeitos jovens. Os nossos resultados mostraram que apenas o grupo de sujeitos jovens apresentou diminuição da temperatura da pele no membro exercitado, após o exercício. Este achado encontra apoio nos estudos de Petrofsky et al.<sup>20</sup> e Inbar et al.<sup>10</sup>, onde os autores verificaram uma maior dificuldade dos sujeitos idosos em dissipar o calor através da pele. Estas alterações foram atribuídas a limitações do fluxo sanguíneo<sup>9, 20, 22</sup> associadas a um processo mais lento de recrutamento e enchimento dos microvasos da pele observados em sujeitos idosos<sup>21</sup>.

Os nossos resultados também indicam que a termografia por infravermelho é capaz de detectar respostas termais diferentes associadas ao exercício localizado de baixa intensidade. Uma concentração de temperaturas mais altas na área exercitada é, provavelmente, uma conseqüência da transferência de calor dos músculos exercitados para a pele. Estes dados estão em concordância com os resultados de outros estudos realizados com sujeitos jovens<sup>1, 26, 27</sup>. Em contraste, uma diminuição da temperatura da pele no membro exercitado seguida por um período de recuperação e estabilização tem sido reportada na

literatura<sup>17, 18, 28</sup>. Zontak et al.<sup>28</sup> sugeriram que o aumento do recrutamento hemodinâmico, tal como ocorre em um exercício com carga progressiva, representa um estímulo vasoconstrictor dominante capaz de suprimir a termoregulação. Entretanto, o tipo e a carga do exercício empregados nesses estudos foram bastante diferentes dos utilizados no estudo aqui apresentado.

Por outro lado, a diminuição de temperatura identificada no membro contralateral está possivelmente relacionada ao mecanismo descrito por Vainer, no qual a vasoconstrição da pele permite desviar um maior aporte sanguíneo para a massa muscular metabolicamente ativa<sup>27</sup>. Interessantemente, foi verificado no presente estudo, um padrão termográfico similar para os sujeitos jovens e idosos. Considerando as condições experimentais utilizadas aqui, presume-se que os mecanismos de produção de calor e o recrutamento hemodinâmico em resposta ao exercício localizado de baixa intensidade, não são alterados com o envelhecimento. Entretanto, os resultados obtidos neste estudo também sugerem que a superfície da área específica onde a temperatura é medida representa um fator crítico para a análise do perfil termográfico após o exercício. Esta informação deve ser considerada em futuros estudos.

Outro achado interessante deste estudo foi a verificação de uma temperatura de repouso mais alta nos membros inferiores dos sujeitos jovens quando comparados aos idosos. Entretanto, diferenças na temperatura corporal entre sujeitos idosos e jovens têm sido um achado controverso devido as dificuldades em se formar grupos etários diferentes com condições de saúde semelhantes<sup>4, 12</sup>.

Em conclusão, este estudo apresenta evidências de que sujeitos jovens e idosos exibem uma capacidade similar para a produção de calor quando submetidos ao exercício localizado de baixa intensidade. Entretanto, os sujeitos idosos apresentaram temperatura de repouso inferior e uma dissipação de calor mais lenta, quando comparados aos sujeitos jovens. Estes resultados contribuem para melhorar o entendimento sobre as alterações de temperatura nos sujeitos idosos que podem apresentar implicações nos programas de esportes e reabilitação.

**AGRADECIMENTOS:**

À Eliane Coutinho e Josimar Sartori por sua assistência técnica.

**REFERÊNCIAS**

1. Booth, J. D. et al. Intramuscular temperature during exercise in the heat following pre-cooling and pre-heating. *J. Jtherbio*. v. 29, p. 709-715, 2004.
2. Clark, R. P.; Mullan, B. J.; Pugh, L. G. C. E. Skin temperature during running – a study using infra-red colour thermography. *J. Physiol*. v. 267, p. 53-62, 1977.
3. Fletcher, G. F. et al. Exercise standard for testing and training: a statement for healthcare professionals from de american heart association. *Circulation*. v. 104, p. 1694-1740, 2001.
4. Florez-Duquet, M.; McDonald, R. B. Cold-induced thermoregulation and biological aging. *Physiol. Rev*. v. 78, p. 339-358, 1998.
5. Goldspink, G.; Harridge, S. D. R. Growth factors and muscle ageing. *Exp. Gerontol*. v. 39, p. 1433-1438, 2004.
6. Gray, S. C.; Devito, G.; Nimmo, M. A. Effect of active warm-up on metabolism prior to and during intense dynamic exercise. *Med. Sci. Sports Exerc*. v. 34, n. 12, p. 2091-6D, 2002.
7. Gulyaev, Y. V. et al. Dynamical infrared thermography in humans. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag*. v.14, p. 766-770, 1995.
8. Harding, J. R. Investigating deep venous thrombosis with infrared imaging. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag*. v. 17, p. 43-46, 1998.
9. Ho, C. W. et al. Age, fitness, and regional blood flow during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol*. v. 82, n. 4, p. 1126-1135, 1997.
10. Inbar, O. et al. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp. Physiol*. v. 89, n. 6, p. 691-700, 2004.
11. Karvonen M. J.; Kentala, E.; Mustala, O. The effects of training on heart rate. a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn*. v. 35, n. 3, p. 307-15, 1957.
12. Kenney, W. L.; Munce, T. A. Invited review: aging and human temperature regulation. *J. Appl. Physiol*. v. 95, p. 2598-2603, 2003.

13. Kenny, G. P. et al. Muscle temperature transients before, during, and after exercise measured using an intramuscular multisensor probe. *J. Appl. Physiol.* v. 94, p. 2350-2357, 2003.
14. Kobayashi, T.; Shimo, M.; Sugi, H. Infrared thermography of bullfrog skeletal muscle at rest and during an isometric tetanus. *Jpn. J. Physiol.* v. 48, p. 477-482, 1998.
15. Koppo, K. et al. Effect of prior exercise on  $VO_2$  slow component is not related to muscle temperature. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 34, n. 10, p. 1600-1604, 2002.
16. Krustup, P. et al. Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. *J. Physiol.* v. 536, n. 3, p. 947-956, 2001.
17. Merla, A.; Donato, L. D.; Romani, G. L. Infrared functional imaging: Analysis of skin temperature during exercise. Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES conference, Houston, TX, USA. Oct. 23-26, v. 2, p. 1141-1142, IEEE, 2002.
18. Merla, A. et al. Monitoring skin temperature in trained and untrained subjects throughout thermal video. Proceedings of the 27th Annual International Conference EMBS, Shanghai, China. Sep. 1-4, p. 1684-1686, IEEE, 2005.
19. Okasaki, K. et al. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J. Appl. Physiol.* v. 93, p. 1630-1637, 2002.
20. Petrofsky, J. S. et al. The effect of aging on conductive heat exchange in the skin at two environmental temperatures. *Med. Sci. Monit.* v. 12, n. 10, p. CR400-408, 2006.
21. Pierzga, J. M.; Frymoyer, A.; Kenney, W. L. Delayed distribution of active vasodilation and altered vascular conductance in aged skin. *J. Appl. Physiol.* v. 94, p. 1045-1053, 2003.
22. Poole, J. G. et al. Vascular and metabolic response to cycle exercise in sedentary humans: effect of age. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* v. 284, p. H1251-H1259, 2003.
23. Racinais, S.; Blanc, S.; Hue, O. Effects of active warm-up and diurnal increase in temperature on muscular power. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 37, n. 12, p. 2134-2139, 2005.
24. Ring, E. F. J.; Ammer, K. The technique of infra red imaging in medicine. *Thermology International.* v. 10, n. 1, p. 7-14, 2000.
25. Stewart, D.; Macaluso, A.; Vito, G. D. The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in health humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* v. 89, p. 509-513, 2003.

26. Wang, J.; Toh, H. L. Visualizing skin temperature before, during and after exercise for dynamic area telethermometry. Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Instambul, Turkey. Oct. 25-28, p. 2831-2835, IEEE, 2001.
27. Vainer, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. *Phys. Med. Biol.* v. 50, p. R63-R94, 2005.
28. Zontak, A. et al. Dynamic thermography: analysis of hand temperature during exercise. *Ann. Biomed. Eng.* v. 26, p. 988-993, 1998.

**Tabela 1** – Idade (anos), FC (bpm) pre and pós-exercício para sujeitos idosos e jovens

IDOSOS				JOVENS			
Sujeitos	Idade	FC-pre	FC-pós	Sujeitos	Idade	FC-pre	FC-pós
<b>1</b>	65	70	79	<b>1</b>	25	79	104
<b>2</b>	70	75	88	<b>2</b>	24	99	107
<b>3</b>	70	88	110	<b>3</b>	20	86	102
<b>4</b>	68	93	110	<b>4</b>	23	82	98
<b>5</b>	62	82	93	<b>5</b>	23	77	98
<b>6</b>	72	74	107	<b>6</b>	23	85	86
<b>7</b>	67	77	89	<b>7</b>	18	84	90
<b>8</b>	64	87	103	<b>8</b>	22	77	110
<b>9</b>	61	74	79	<b>9</b>	24	90	100
<b>10</b>	66	110	124	<b>10</b>	26	77	94
<b>11</b>	61	87	102	<b>11</b>	22	85	116
<b>12</b>	60	71	97	<b>12</b>	24	84	99
<b>13</b>	71	86	102	<b>13</b>	25	80	107
<b>14</b>	78	74	90	<b>14</b>	24	74	88
				<b>15</b>	27	82	97
<b>Media±DP</b>	66.8±5.1	82±10.9	98,1±12,7		23.3±2.2	82.7±6.2	99.7±8.3

FC-pre = Frequência cardíaca pré-exercício

FC-pós = Frequência cardíaca pós-exercício

bpm = batimentos por minuto

**Tabela 2** – Temperatura pré e pós-exercício (°C) para sujeitos idosos e jovens

Membro	Pre exercício	Pós-Exercício					
		0'	2'	4'	6'	8'	10'
<b>IDOSOS (n=14)</b>							
<b>Exercitado</b>	28.9±1.8*	28.9±1.9 **	29±1.8 **	29±1.8 **	28.9±1.7 **	28.9±1.7 **	28.8±1.6 **
<b>Contralateral</b>	28.8±1.8*	28.3±1.9†	28.2±1.8†	28.1±1.7†	28.0±1.7†	27.9±1.7†	27.8±1.6†
<b>JOVENS (n=15)</b>							
<b>Exercitado</b>	30.4±1.5*	30.7±1.7 **	30.8±1.5 **	30.6±1.5 **	30.5±1.5 **	30.5±1.5 **	30.3±1.5‡**
<b>Contralateral</b>	30.5±1.6*	30.0±1.7†	29.8±1.6†	29.7±1.5†	29.6±1.5†	29.5±1.5†	29.4±1.4†

0', 2', 4', 6', 8' and 10' = minutos pós-exercício, valores são média ± desvio padrão;

\* Diferença intergrupos ( $p < 0.01$ );

\*\* Diferença intermembros ( $p < 0.01$ );

† Diferença intragrupo comparada à pre-exercício ( $p < 0.01$ );

‡ Diferença intragrupo comparada à 0' ( $p < 0.05$ );



Figura 1, J. J. A., Ferreira, ABME

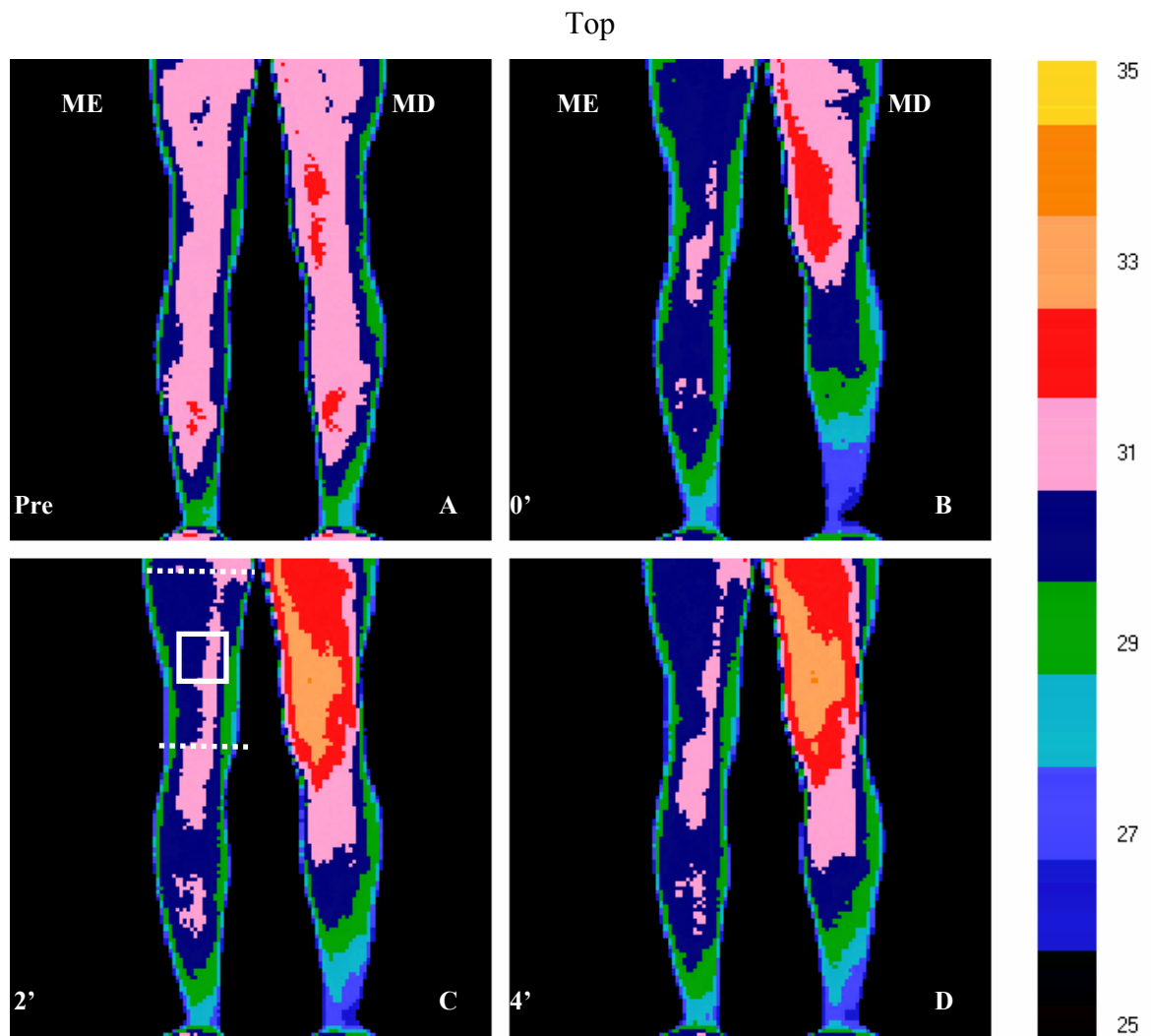


Figura 1 – Vista posterior dos membros. Termogramas de um sujeito jovem (A, B, C, D). O membro exercitado foi o direito; A = pré-exercício; B (0') = imediatamente pós-exercício; C = 2 minutos Pós-exercício; linhas pontilhadas demarcam o joelho e o limite superior da coxa; retângulo = área de medida da temperatura; D = 4 minutos Pós-exercício. MD = membro direito e ME = membro esquerdo.

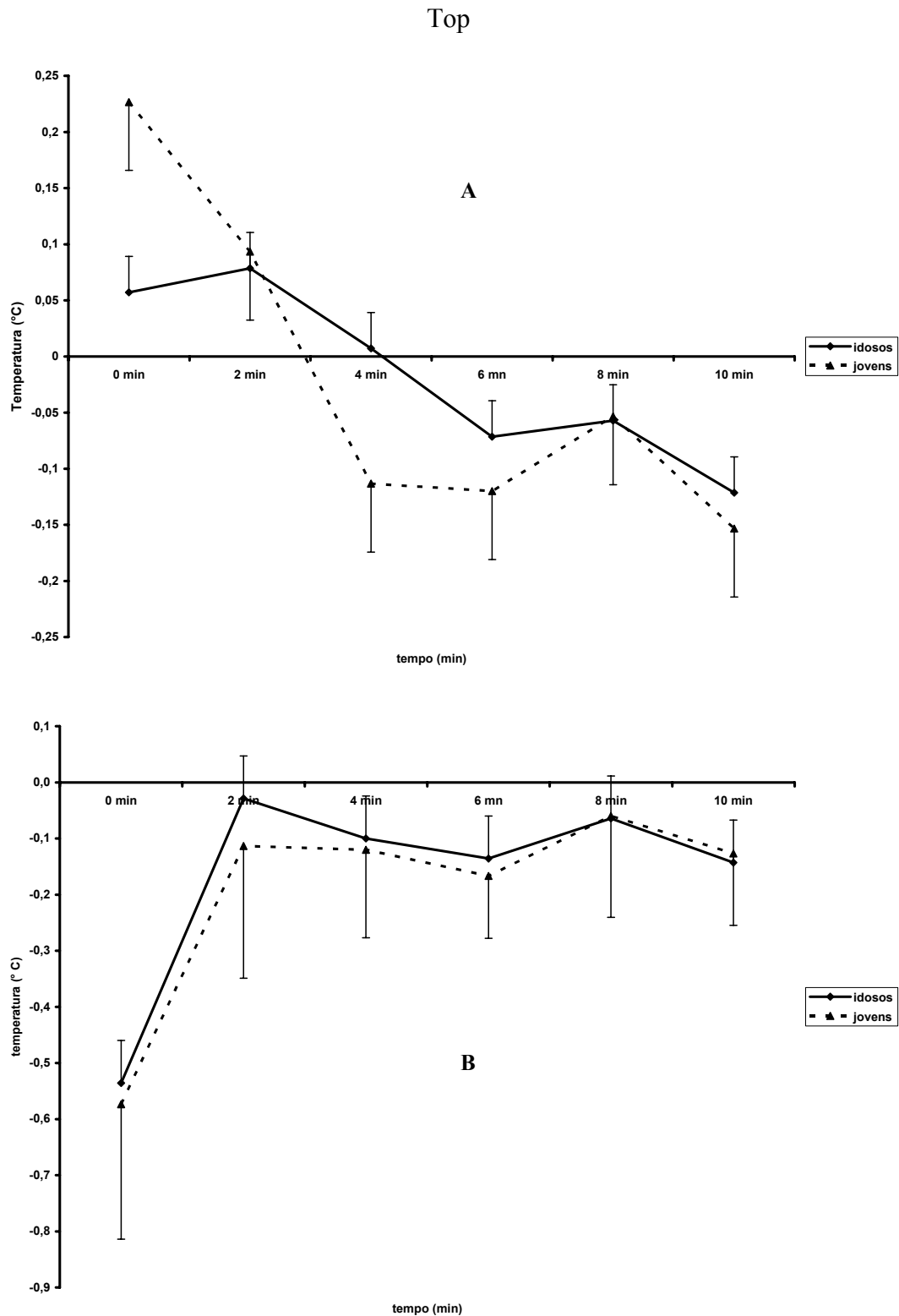


Figura 2 – Variação da temperatura dos sujeitos jovens e idosos após o exercício. **A.** Membro exercitado. **B.** Membro contralateral. Cada ponto no gráfico representa a diferença de temperatura em relação ao instante imediatamente precedente. No instante 0, a diferença foi calculada em relação a temperatura pré-exercício. Valores são média  $\pm$  desvio padrão.

**MANUSCRITO II**

O ALONGAMENTO REGULAR, INDEPENDENTE DO AQUECIMENTO MUSCULAR,  
MELHORA A FLEXIBILIDADE E O TORQUE EM IDOSOS.

José J. A. Ferreira, Ms<sup>1</sup>; Rafaella N. Silva<sup>1</sup>; Lucia H. Batista, Ms<sup>2</sup>; José R. Rebelatto, PhD<sup>2</sup>;  
Tania F. Salvini, PhD<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB;

<sup>2</sup> Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP;

Autor correspondente: José Jamacy de Almeida Ferreira

Endereço: Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia  
Washington Luis, Km. 235, Cx Postal: 676, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil.

Tel: (16) 3351-8345,

Fax: (16) 3351-2081

E-mail: [jamacy@gmail.com](mailto:jamacy@gmail.com)

Running Title:

Aquecimento e alongamento regular no idoso

Palavras-chave: flexibilidade, aquecimento muscular, isquiotibiais, envelhecimento, torque,  
alongamento muscular.

## RESUMO

**Introdução:** Os efeitos crônicos de um programa regular de exercícios de alongamento e aquecimento muscular sobre a flexibilidade e o torque isocinético de sujeitos idosos, ainda não foram investigados. **Objetivos:** este estudo analisou duas hipóteses: a) o alongamento regular melhora a flexibilidade e o torque em idosos e, b) o aquecimento muscular prévio potencializa os efeitos do alongamento. **Método:** idosos ativos, com déficit de extensão do joelho  $\geq 20^\circ$ , foram submetidos a um programa de alongamento dos flexores do joelho (grupo alongamento, n=14), ou à exercícios de aquecimento previamente às sessões de alongamento (grupo aquecimento +alongamento, n=14). As sessões de alongamento (6 x 30s, 30s rest in between) foram realizadas 3 dias/semana, durante 4 semanas. Para avaliação do efeito da intervenção nos sujeitos, foi utilizado o sistema A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub> onde as fases A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> são controle (sem intervenção), e a fase B, o período de intervenção. As avaliações foram realizadas antes e após cada uma das fases. Cada fase teve a duração de 4 semanas. Para avaliação da flexibilidade foram mensurados o ângulo de extensão do joelho e o alcance no banco de Wells. A avaliação isocinética analisou o ângulo e o pico de torque flexor (excêntrico e concêntrico) ativo a  $60^\circ.s^{-1}$ , assim como o torque flexor passivo a  $2^\circ.s^{-1}$ . **Resultados:** Após a intervenção (fase B) houve ganho de flexibilidade (p=0,001) e aumento do torque flexor ativo excêntrico (p=0,003) e concêntrico (p=0,015), sem diferença intergrupos. Os ganhos obtidos na flexibilidade e avaliação isocinética persistiram após a intervenção (fase A<sub>2</sub>). Não houve alteração no torque passivo (p>0,05). **Conclusão:** O alongamento regular causou adaptações músculo-esqueléticas em longo prazo aumentando a flexibilidade e o torque ativo em idosos. O aquecimento prévio não acarretou em ganhos adicionais.

## INTRODUÇÃO

A flexibilidade possibilita ao músculo alongar-se permitindo que as articulações movam-se através de sua amplitude de movimento normal (Nelson & Bandy, 2004). Os exercícios de alongamento melhoram a flexibilidade e são apontados como um fator importante para a melhoria da função muscular (Gajdosik et al., 2005), tratamento (Malliaropoulos et al., 2004) e prevenção de lesões (Hartig e Henderson, 1999). Embora o alongamento aplicado imediatamente antes da atividade física não previna lesões, quando realizado de forma regular, ele pode diminuir o risco de lesões (Shrier, 2005). O mecanismo pelo qual o alongamento regular previne lesões ainda não é bem conhecido. Entretanto, como a diminuição da flexibilidade muscular é considerada um fator de risco para as lesões musculares, o alongamento regular pode minimizar esse risco mantendo o comprimento muscular mais próximo do normal (Witvrouw et al., 2003).

Alterações da flexibilidade com encurtamento adaptativo musculotendíneo ocorrem mais comumente nos músculos biarticulares, sendo os isquiotibiais o grupo muscular mais afetado (Safran et al., 1989). Estas alterações também estão associadas ao processo biológico do envelhecimento e afetam a mobilidade e o equilíbrio de maneira a modificar os padrões funcionais dos sujeitos idosos (Nonaka et al., 2002; Klein et al., 2002). Os músculos e tendões dos idosos são menos flexíveis e complacentes e apresentam uma maior proporção de tecido conectivo denso, aumentando a resistência das fibras à deformação (Alter, 1996). Entretanto, há evidências de que um programa regular de alongamento melhora a flexibilidade de sujeitos idosos (Feland et al., 2001).

Deformações plásticas e elásticas podem ocorrer quando o tecido conectivo é submetido a uma força de alongamento (Gdjosik, 2001). O alongamento muscular também acarreta em alterações morfológicas do tecido conectivo (Coutinho et al., 2006) e nas fibras musculares (Gomes et al., 2006; Peviani et al., 2007). A magnitude das deformações no tecido conectivo parece variar de acordo com a duração do alongamento (Feland et al. 2001; Roberts e Wilson, 1999). Por outro lado, o aumento da frequência do alongamento ao longo do dia, parece não influenciar nos resultados (Bandy et al., 1997). Desta forma, parece que a duração total do alongamento é o fator mais determinante de sua eficácia, independente do número de repetições realizadas em cada sessão (Zakas et al., 2005).

O alongamento balístico, estático e a associação com a facilitação neuromuscular proprioceptiva estão entre as técnicas de alongamento mais estudadas (Zakas et al., 2005; Nelson & Bandy, 2004). O alongamento estático de baixa intensidade e longa

duração tem sido preferido por sua eficácia, simplicidade de execução e baixo risco de trauma (Feland *et al.*, 2001; Davis *et al.*, 2005; Knight *et al.*, 2001), sendo conseqüentemente, mais recomendado para indivíduos idosos (Zakas *et al.*, 2005).

Um dos pontos mais controversos no estudo da flexibilidade está relacionado ao papel da temperatura tecidual no alongamento muscular. Para investigar esse aspecto, o aumento da temperatura tecidual foi induzido tanto de maneira ativa, por meio de exercícios físicos (Knight *et al.* 2001; Wenos e Konin, 2004; De Weijer *et al.*, 2003; Zakas *et al.*, 2006), como de forma passiva, pela aplicação de fontes externas de calor (Taylor *et al.*, 1995; Burke *et al.*, 2001; Knight *et al.* 2001; Draper *et al.*, 2004; Peres *et al.*, 2002; Kubo *et al.*, 2005; Brasileiro *et al.*, 2007). Tem sido relatado que o aquecimento altera a viscosidade dos tecidos moles, diminuindo a resistência passiva de músculos e articulações, aumentando a disponibilidade de oxigênio, a velocidade das reações metabólicas, a condução nervosa, além de outros efeitos não-térmicos. (ver revisões de Shellock e Prentice, 1985; Hardy e Woodall, 1998; Bishop, 2003b).

Alguns estudos não observaram vantagem na aplicação do calor e do frio superficial associados ao alongamento (Taylor *et al.*, 1995; Burke *et al.*, 2001), ou do calor, isoladamente (Kubo *et al.*, 2005), para melhora da extensibilidade músculo-tendínea. Por outro lado, outros trabalhos relatam melhora na flexibilidade com a aplicação do ultra-som (Knight *et al.* 2001) e da diatermia por ondas curtas (Draper *et al.*, 2004; Peres *et al.*, 2002), associados ao alongamento. Dentre os estudos que analisaram o efeito agudo do aquecimento ativo sobre a flexibilidade, Wenos e Konin (2004), verificaram efeitos positivos da associação do alongamento com o aquecimento, contrariamente ao observado por outros autores (De Weijer *et al.*, 2003; Zakas *et al.*, 2006). Entretanto, poucos estudos têm analisado o efeito crônico da associação do aquecimento ativo com o alongamento sobre a flexibilidade muscular. Nesse sentido, Knight *et al.* (2001), analisando a aplicação de um protocolo de aquecimento ativo associado ao alongamento por 6 semanas, não verificaram efeito adicional do aquecimento sobre a flexibilidade dos flexores plantares de sujeitos jovens. Estudos similares não têm sido realizados em idosos e seria interessante uma análise dos efeitos crônicos do alongamento, associado ao aquecimento, nessa faixa etária, onde já ocorrem alterações do tecido conectivo e do músculo esquelético associadas ao envelhecimento.

A alteração da força muscular passiva e ativa após o alongamento representa um outro aspecto importante do estudo da flexibilidade. A força muscular total é o resultado da soma das forças passivas e ativas produzidas pelo músculo (Gajdosik, 2001). Segundo esse autor, a força passiva é representada pela resistência passiva do tecido conectivo que envolve

os músculos, somada à tensão filamentar de repouso das pontes cruzadas de actina e miosina e à tensão produzida pelos componentes elásticos em série (titina e desmina), enquanto que a força ativa é gerada pelo deslizamento e interação entre os filamentos de actina e miosina, durante a contração muscular.

O efeito do alongamento muscular na resistência passiva é polêmico na literatura. Alguns estudos têm verificado tanto o aumento (LaRoche e Connolly, 2006; Gajdosik et al., 2005; Chan et al., 2001; Reid e Mcnair, 2004), a diminuição (Mahieu et al., 2007) como também a manutenção da resistência passiva (Chan et al., 2001; Mahieu et al., 2007), após a aplicação de um programa de alongamento regular. Adicionalmente, programas de alongamento muscular também têm sido associados ao aumento da força ativa em sujeitos jovens (Worrell *et al.*, 1994; Shrier, 2004; Kokkonen et al., 2007).

Considerando todos os aspectos apresentados, observa-se que há a necessidade de uma investigação mais detalhada dos efeitos crônicos de um programa regular de alongamento muscular sobre a flexibilidade e o torque passivo e ativo, em idosos. Há ainda a necessidade de se estudar o papel do aquecimento muscular, associado ao alongamento, em indivíduos nessa faixa etária.

Este estudo testou duas hipóteses: a) um programa regular de alongamento induz ao aumento da flexibilidade e dos torques passivo e ativo em sujeitos idosos; b) exercícios de aquecimento muscular, realizados previamente ao alongamento, favorecem um maior ganho de flexibilidade em idosos. Foi também objetivo da investigação analisar as possíveis alterações de flexibilidade e torque após o término da intervenção.

Assim, o objetivo deste estudo foi examinar o efeito de um programa de alongamento muscular, precedido de exercícios de aquecimento, na flexibilidade e nos torques ativo e passivo de sujeitos idosos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Seleção dos sujeitos**

Os sujeitos foram selecionados dentre os participantes de um programa de revitalização geriátrica onde realizavam, regularmente, há pelo menos 12 meses, exercícios leves de força, flexibilidade geral e resistência cardiovascular, em sessões de 50 minutos, três vezes por semana, em dias alternados. Foram excluídos aqueles que na avaliação



fisioterapêutica apresentaram distúrbios vasculares, inflamatórios e músculo-esqueléticos do membro inferior. Foram considerados como critérios de inclusão: o déficit de flexibilidade dos flexores do joelho  $>20^\circ$ , idade entre 60-80 anos, e a apresentação de um atestado médico declarando condições de saúde compatíveis com as atividades físicas a serem realizadas no estudo proposto.

Foram avaliados 52 voluntários idosos (60-80 anos), de ambos os sexos, saudáveis e ativos. Trinta sujeitos foram inicialmente incluídos no estudo e 2 excluídos ao longo do mesmo, por abandono das atividades previstas. Assim, 28 sujeitos foram aleatoriamente divididos em 2 grupos: a) o grupo stretch (n=14, 9:5 M/H,  $67\pm 7$  anos,  $72,7\pm 11,6$  kg,  $1,61\pm 0,08$  m) submetido a um protocolo de alongamento dos flexores do joelho; b) o grupo warm-up+stretch (n=14, 10:4 M/H,  $65\pm 5$  anos,  $74,1\pm 11,6$  Kg e  $1,62\pm 0,08$  m), submetido a um protocolo de exercícios de aquecimento, previamente à realização dos exercícios de alongamento dos flexores dos joelhos. Não houve diferença intergrupo quanto às variáveis idade, peso e altura ( $p>0,05$ ). Antes de iniciar o experimento, todos os voluntários assinaram um termo de consentimento, e foi obtida a aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade, os quais foram conduzidos em concordância com a declaração de Helsinki.

### **Fases da avaliação**

O desenho experimental  $A_1$ -B- $A_2$  foi aplicado da seguinte forma: fases  $A_1$  e  $A_2$ , período sem intervenção; fase B- período com intervenção. Cada fase teve a duração de 4 semanas, como previamente descrito por Lindquist et al., (2007). Todos os sujeitos foram submetidos às 3 fases ( $A_1$ -B- $A_2$ ), exceto 2 sujeitos que não completaram a fase  $A_2$ . Neste tipo de estudo, os períodos sem intervenção (fases  $A_1$  e  $A_2$ ) servem de *follow-up* para comparação com o período de intervenção (fase  $B_1$ ).

Em ambos os grupos, os 2 membros inferiores foram submetidos ao protocolo de intervenção, durante 4 semanas. Entretanto, apenas o membro dominante foi submetido às avaliações (Tabela 1); a 1ª avaliação foi realizada na seleção dos sujeitos, antes do início da fase  $A_1$ ; a 2ª avaliação foi realizada após 4 semanas (final da fase  $A_1$ ), antes da 1ª sessão de alongamento muscular; a 3ª avaliação foi realizada imediatamente após o período de intervenção (fase B); a 4ª avaliação foi realizada 4 semanas após o término da intervenção (fase  $A_2$ ). Durante as 12 semanas do estudo, os sujeitos mantiveram suas atividades no

programa de revitalização geriátrica, mas foram orientados a não realizar exercícios de alongamento dos músculos flexores do joelho nesse período.

## **Avaliação da flexibilidade**

### **Goniometria**

Para determinação do déficit de extensão do joelho foram utilizados um goniômetro universal, uma mesa de exame e um dispositivo de madeira especialmente construído para posicionamento e fixação do sujeito na mesa de exame, adaptado do modelo proposto por Chan et al. (2001). Este dispositivo era composto de duas barras verticais laterais para fixação à mesa de exame e uma barra horizontal alcochoada, com altura regulável de acordo com o comprimento da coxa do sujeito. O sujeito foi posicionado em decúbito dorsal com os membros superiores ao longo do corpo, quadris e joelhos flexionados a 90° (Figura 1). Foi utilizada uma cinta de estabilização sobre a pelve e outra fixando a coxa à barra horizontal do dispositivo. Um examinador movimentava de modo passivo a perna de teste em direção à extensão do joelho, enquanto o membro contralateral, com o quadril e joelho flexionados a 90°, permanecia em repouso sobre a barra horizontal. Os sujeitos foram orientados a relatar o início da tensão dolorosa nos músculos flexores do joelho, quando então o movimento era interrompido caracterizando a amplitude final do movimento. Quando esta amplitude era alcançada, um segundo examinador posicionava o goniômetro na face lateral do joelho, com o eixo coincidindo com o epicôndilo lateral do fêmur, a haste proximal em direção ao trocânter maior do fêmur e a haste distal em direção ao maléolo lateral. O ângulo de extensão do joelho era mensurado em 3 tentativas e a média destas, registrada. O déficit de extensão do joelho foi calculado como a diferença entre o ângulo de extensão do joelho mensurado, e o ângulo de 180°, considerado o ângulo de extensão máxima normal dessa articulação.

### ***Sit and reach test***

Imediatamente após a avaliação goniométrica, os sujeitos foram avaliados no banco de Wells da seguinte forma, conforme Cardoso et al. (2007): 1) os sujeitos foram posicionados sentados em um colchonete fino, de frente para o banco de Wells; 2) Os

membros inferiores se posicionavam com os joelhos estendidos, o quadril e o tornozelo a 90°, e a face plantar dos pés completamente apoiados no banco; 3) os membros superiores foram posicionados em extensão de dedos, punhos e cotovelos e os ombros flexionados e aduzidos, mantendo uma mão sobre a outra; 4) os sujeitos foram solicitados a inclinar o tronco para frente, expirando lentamente, sem flexionar os joelhos, deslocando a régua do banco de Wells, o máximo possível. Foram realizadas 2 repetições para familiarização dos sujeitos. na seqüência, 3 repetições para o teste foram registradas com intervalo de 30 s entre elas. A média das 3 repetições do teste foi considerada a medida do alcance para cada sujeito.

### **Avaliação isocinética:**

O sujeito foi posicionado sentado na cadeira do dinamômetro isocinético (*Biodex Multi-Joint System 3, Biodex Biomedical. System Inc, New York*) com o quadril flexionado a 90°, tronco recostado e fixo com os cintos de estabilização cruzados e as mãos segurando os suportes laterais. Para manutenção do posicionamento do tronco e quadril foi utilizado um acessório em forma de cunha, especialmente confeccionado para este fim. Para prevenir possíveis alterações do torque passivo, não foi realizada qualquer atividade de aquecimento ou alongamento muscular antes dos testes. Uma sessão de familiarização foi realizada dois minutos antes de cada teste passivo e ativo. Para o teste passivo a  $2^{\circ}.s^{-1}$ , a familiarização constou de 1 repetição, enquanto para os testes dos torques passivo e ativo a  $60^{\circ}.s^{-1}$ , a familiarização foi de 3 repetições para cada um.

### **Torque Passivo**

A articulação do joelho foi estendida passivamente a partir de 90° de flexão à velocidade de  $2^{\circ}.s^{-1}$ . Os sujeitos foram orientados a acionar o dispositivo de parada do dinamômetro no momento em que identificassem o início da tensão dolorosa. Foi realizada uma única repetição para esse teste. Para garantir o mínimo de contração muscular durante essa avaliação, a atividade eletromiográfica (EMG) do músculo bíceps femoral foi monitorada. Para ser considerado válido o teste passivo não deve ter a amplitude EMG maior do que 5% do root mean square (RMS) calculado para uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM), conforme preconizado por Gajdosik et al., 2005. Para o cálculo do torque passivo foi feita a correção da gravidade e do peso do membro.

### **Torque ativo**

Para a determinação do torque ativo utilizou-se o posicionamento já mencionado para o torque passivo a  $2^\circ \cdot s^{-1}$ . Foram utilizados 2 procedimentos: a) o registro do torque isocinético flexor excêntrico e concêntrico passivo a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  (2 séries de 5 repetições) e; b) o registro do torque isocinético flexor excêntrico e concêntrico total a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  (2 séries de 5 repetições). Foi utilizado um intervalo de 2 minutos entre cada série e entre cada teste. O torque isocinético passivo e ativo do joelho a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  foi registrado numa faixa de amplitude de  $90^\circ$  a  $20^\circ$  de flexão.

Para o cálculo do torque flexor ativo do joelho foi desenvolvida uma rotina em MatLab 7.0. Inicialmente, foi feita a correção da gravidade e o peso do membro na determinação do torque flexor passivo excêntrico e concêntrico a  $60^\circ \cdot s^{-1}$ . Na seqüência, o valor do torque flexor passivo a  $60^\circ \cdot s^{-1}$ , no ângulo do pico de torque total, foi subtraído dos valores dos picos de torque flexor excêntrico e concêntrico total a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  (pico de torque ativo = pico de torque total a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  – torque passivo no ângulo do pico de torque total a  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ). Adaptado de Aquino et al. (2007).

### **Avaliação eletromiográfica**

A captação do EMG foi realizada de acordo com os critérios preconizados pela *surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles* (SENIAM). Foram utilizados eletrodos de superfície e um módulo condicionador de sinal (Lynx Electronics Technologies). O eletrodo diferencial simples consistiu de duas barras paralelas retangulares de Ag/AgCl (1 cm de comprimento, 0,2 cm de largura, com 1 cm de distância entre as barras). Estas barras eram acopladas a uma cápsula retangular de resina acrílica com 2,2 cm de comprimento, 1,9 cm de largura e 0,6 cm de altura. Adicionalmente, os eletrodos apresentavam uma razão de rejeição de modo comum (RRMC)  $> 100$  dB, ganho interno de 20 vezes e impedância de entrada  $> 10$  M $\Omega$ . O módulo condicionador de sinal possuía um conversor analógico-digital A/D com uma resolução de 12 bits, frequência de amostragem de 1000 Hz por canal e o software de aquisição de dados Aqdados versão 4.6 (Lynx Electronics Technologies). Este equipamento também apresentava um filtro tipo Butterworth com banda passante de 20 a 500 Hz e ganho de 50 vezes.

Após limpeza da pele, um eletrodo foi fixado sobre o ventre do músculo bíceps femoral. A amplitude do EMG captado durante uma CIVM e no teste do torque flexor passivo

a  $2^{\circ} \cdot s^{-1}$  foi estimada pela média do RMS calculado em janelas de 0,25 ms. 2 CIVMs com duração de 6 s e 30 s de repouso entre as contrações foram captadas após a sessão de testes do torque ativo. Utilizou-se a média da melhor CIVM para efeito de comparação do torque passivo a  $2^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Para garantir a eliminação de possível ruído de repouso, a atividade EMG foi coletada durante um período de 10 s com o sujeito em repouso. A média do *root mean square* (RMS) da atividade EMG num trecho de 5 s dentro do período de 10 s do repouso foi calculada, e o ruído da atividade EMG de repouso foi deduzido da atividade EMG registrada durante o torque passivo, similar ao procedimento realizado por Gajdosik et al. (2005).

### **Protocolo de aquecimento**

O protocolo de aquecimento utilizado foi, previamente, testado e validado em sujeitos jovens e idosos, sob avaliação termográfica da região posterior da coxa (Ferreira et al., 2008; manuscrito submetido). Os sujeitos foram posicionados de pé com as mãos apoiadas em suportes laterais fixos, com a coluna vertebral alinhada e o membro não-dominante em apoio unipodal. O membro dominante realizou exercícios isotônicos de flexão do joelho com resistência de 1 Kg fixada acima do tornozelo, com velcro (Figura 2). Os exercícios de flexão do joelho foram realizados, continuamente, em toda a amplitude de movimento, num ritmo de 20 repetições por minuto (fases concêntrica e excêntrica), durante 3 minutos, cadenciados com auxílio de um metrônomo. Os sujeitos foram orientados a interromper os exercícios se apresentassem dor, câibras, ou incapacidade de completar a amplitude de movimento (ADM) do joelho. Nenhum dos sujeitos precisou interromper os exercícios, provavelmente pela sua baixa intensidade.

### **Protocolo de alongamento**

O protocolo de alongamento (Figura 3), adaptado de Chan *et al* (2001) foi aplicado em dias alternados, três vezes por semana, durante quatro semanas consecutivas obedecendo aos seguintes procedimentos: 1) O sujeito era posicionado sentado sobre um colchonete, com a coluna alinhada verticalmente; 2) em seguida, o membro contralateral era mantido levemente abduzido e em flexão de joelho e quadril, com o pé apoiado no solo; 3) na seqüência, o sujeito utilizava uma faixa de tecido não-elástico de 10 cm de largura e 1 m de comprimento que era passada pela superfície plantar do pé do membro a ser alongado, segurando-a, firmemente, com ambas as mãos; 4) em seguida, o sujeito estendia o joelho ao máximo possível inclinando

o tronco anteriormente, no limite de sua tolerância, mantendo essa posição por 30 segundos; 5) em seguida, o sujeito era instruído a relaxar e retornar a posição inicial, permanecendo em repouso por 30 segundos; Em cada sessão, o protocolo de alongamento/relaxamento foi repetido seis vezes consecutivas, sob a supervisão de 2 fisioterapeutas previamente treinados;

No grupo alongamento+aquecimento, os sujeitos foram submetidos às sessões de alongamento, imediatamente após o término dos exercícios de aquecimento.

### **Análise dos dados:**

As variáveis dependentes aferidas nas quatro avaliações foram: o déficit de extensão do joelho aferido na goniometria ( $^{\circ}$ ); o alcance no banco de Wells (mm); o ângulo ( $^{\circ}$ ) e o pico de torque flexor ativo excêntrico/concêntrico a  $60^{\circ}.s^{-1}$  ( $Nm.s^{-1}$ ); e o pico de torque flexor passivo a  $2^{\circ}.s^{-1}$  (excêntrico) do joelho ( $Nm.s^{-1}$ ). Uma ANOVA two-way (2 grupos x 4 avaliações) com medidas repetidas foi aplicada para testar as diferenças das médias de cada variável dependente intra e intergrupos. Quando foi detectada diferença entre as médias, utilizou-se o contraste de Bonferroni para localização das diferenças. Um teste t de Student independente foi utilizado para comparar os grupos quanto a variável idade, peso e altura. O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5% ( $p < 0,05$ ). O software SPSS 13.0 for windows foi utilizado para todos os cálculos estatísticos.

## **RESULTADOS**

Houve ganho de flexibilidade após a intervenção (fase B) em ambos os grupos, identificado tanto pela goniometria ( $p=0,001$ ) como pelo alcance no banco de Wells ( $p=0,001$ ), Tabela 2. A melhora na flexibilidade foi mantida nas 4 semanas após o término da intervenção (fase A<sub>2</sub>). Não houve diferença entre os grupos.

Após a intervenção (fase B), houve também aumento do pico de torque flexor total excêntrico ( $p=0,002$ ) e concêntrico ( $p=0,004$ ) em ambos os grupos, sem diferença intergrupos (Tabela 2). Resultados similares foram observados para o torque flexor ativo excêntrico e concêntrico ( $p=0,005$ ) (Tabela 2). Os ganhos do pico de torque flexor total e ativo foram mantidos na fase A<sub>2</sub> (Tabela 2).

O torque flexor passivo não apresentou diferenças entre as avaliações, em ambos os grupos ( $p > 0,05$ ), Tabela 2.

Apenas o ângulo do pico de torque flexor excêntrico apresentou pequena, mas significativa diminuição ( $p=0,046$ ) após a intervenção (fase B), em ambos os grupos, sem diferença intergrupos. Essa diminuição foi mantida na fase A<sub>2</sub>.

## DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo apresentam novas evidências de que um programa regular de alongamento estático dos músculos flexores do joelho pode melhorar a flexibilidade e o torque ativo em idosos. Foi interessante observar que estes efeitos foram mantidos por quatro semanas, indicando que a adaptação músculo-esquelética proporcionada foi persistente. Entretanto, a associação dos exercícios de aquecimento, não acarretou em ganhos adicionais às sessões de alongamento, para qualquer das variáveis analisadas.

Diversos estudos têm mostrado que um programa regular de alongamento dos isquiotibiais melhora a flexibilidade em jovens (Roberts & Wilson, 1999; Chan *et al.*, 2001; Reid e McNair, 2004; Nelson e Bandy, 2004; Davis *et al.*, 2005; LaRoche e Connolly, 2006) e idosos (Feland *et al.*, 2001). Esse resultado tem sido atribuído a diversos fatores, tais como a adaptação neural do órgão tendinoso de golgi (OTG) e fuso muscular (Roberts e Wilson, 1999; Davis *et al.*, 2005; Nelson e Bandy, 2004), alterações viscoelásticas do tecido conectivo (Gajdosik *et al.*, 2005), aumento da tolerância ao alongamento pelos sujeitos (LaRoche e Connolly, 2006) e, uma possível adição de sarcômeros em série nas fibras musculares (Peviani *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2006; Coutinho *et al.*, 2004; Gajdosik, 2001; Deyne, 2001). O ganho de flexibilidade observado no presente estudo, que se manteve após o período de intervenção, indica adaptações persistentes no grupo muscular submetido à intervenção. Também é possível que o aumento do torque ativo tenha contribuído para o ganho e manutenção da flexibilidade. Estudos futuros complementares seriam interessantes, como por exemplo, avaliar uma possível resposta hipertrófica dos músculos submetidos a protocolos de alongamento em idosos, uma vez que o ganho de massa muscular também pode estar associado ao aumento do torque.

Foi interessante notar que, apesar da melhora da flexibilidade, não houve qualquer alteração do torque passivo dos flexores do joelho submetidos ao programa de alongamento. Uma hipótese para a ausência de alteração do torque passivo pode ser que a ocorrência de adaptações viscoelásticas do tecido conectivo tenha sido compensada por mudanças estruturais do tecido muscular, como previamente proposto por alguns autores (Gajdosik *et al.*, 2001; Coutinho *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2006; Peviani *et al.*, 2007).

Segundo Gajdosik (2001), as adaptações de comprimento e extensibilidade podem ocorrer sem alterações nas propriedades viscoelásticas mensuradas no comprimento normal do músculo. Além disso, há indicações de que as propriedades de flexibilidade e rigidez passiva são diferentes e devem ser analisadas de forma independente (Aquino *et al.*, 2006).

Diferente dos resultados do presente estudo, onde não se observou alterações do torque passivo, alguns autores verificaram o seu aumento (Gajdosik *et al.*, 2005; LaRoche e Connolly, 2006; Reid e Macnair, 2004; Chan et al, 2001) ou diminuição (Mahieu *et al.*, 2007), após um programa regular de alongamento. Entretanto, a maioria desses trabalhos analisou sujeitos jovens (LaRoche e Connolly, 2006; Reid e Macnair, 2004; Chan et al, 2001; Mahieu *et al.*, 2007), dificultando a comparação com os resultados do presente estudo em idosos. Apenas Gajdosik *et al.* (2005) analisou o efeito crônico do alongamento no torque passivo em idosos, identificando um aumento nessa variável. Porém, eles avaliaram um outro grupo muscular (flexores plantares do tornozelo), submetidos a um período de intervenção maior (8 semanas) do que o utilizado no presente estudo (4 semanas), dificultando também a comparação entre os resultados. Segundo Chan *et al.* (2005), a duração do programa de alongamento é também um fator crítico para a indução de alterações do torque passivo.

Um resultado interessante apresentado em nosso estudo foi o aumento do torque total e do torque ativo flexor excêntrico e concêntrico. Considerando que o torque passivo não se alterou, o aumento do torque total foi, provavelmente, decorrente do aumento do torque ativo. O aumento do torque ativo pode ser conseqüente às alterações mecânicas e/ou morfológicas do tecido contrátil, assim como às adaptações neurais em resposta ao alongamento. Quanto às adaptações neurais, uma redução da coativação e da função inibitória do OTG (inibição autogênica) decorrente do treinamento, poderia facilitar um maior recrutamento de unidades motoras pelo músculo agonista e contribuir para o aumento de força (Wilmore e Costill, 1999). É possível que as sessões regulares de alongamento realizadas neste estudo possam ter acarretado em adaptações no OTG e contribuído para o aumento do torque ativo.

O aumento no torque ativo após um programa regular de alongamento também foi reportado por Worrell *et al.*, (1994) e, mais recentemente, por Kokonen *et al.*, (2007), em estudos com sujeitos jovens. O presente estudo traz nova contribuição à literatura, indicando que esse comportamento adaptativo também ocorre em idosos.

Ainda a respeito do aumento da força como efeito crônico do alongamento, Lardner (2001) afirma que a melhora do desempenho no levantamento de cargas está diretamente relacionado a uma melhor utilização da energia elástica como resultado da



diminuição da rigidez dos elementos elásticos em série. Recente revisão (Shrier, 2004), indica que o alongamento regular, mas não o agudo, pode aumentar a força e a potência muscular isométrica e isocinética, corroborando com os resultados aqui apresentados.

Uma outra possibilidade para o aumento do torque ativo, seria a ocorrência de sobrecarga muscular, com maior recrutamento de unidades motoras, durante as sessões do alongamento. No entanto, em estudo piloto realizado previamente (resultados não publicados), identificamos que durante os exercícios de alongamento, somente uma pequena atividade eletromiográfica dos flexores do joelho foi registrada (15% da CIVM) nível de sobrecarga considerado insuficiente para o fortalecimento muscular (Wilmore e Costill, 1999; Komi, 1986).

Adicionalmente, a diminuição do ângulo do pico de torque flexor, também verificada neste estudo, aponta para possíveis alterações na relação comprimento/tensão após o alongamento. Este resultado encontra suporte no estudo de Brockett *et al.*, (2001) que verificaram um deslocamento do ângulo do pico de torque na direção de um maior comprimento muscular, após um protocolo de treinamento excêntrico dos isquiotibiais. No entanto, os resultados do presente estudo se apresentaram no limite da significância estatística e trabalhos subsequentes são necessários para avaliar melhor a relação comprimento/tensão e suas possíveis adaptações relacionadas ao alongamento em sujeitos idosos.

Foi também interessante observar que o aquecimento muscular prévio às sessões de alongamento não induziu nenhum efeito adicional nas variáveis examinadas no presente estudo em idosos. A ausência de efeito do aquecimento observada pode estar associada a 2 fatores: a) o grupo estudado era de sujeitos idosos ativos, que realizavam regularmente exercícios físicos e aquecimento muscular, e b) o exercício de aquecimento utilizado foi localizado, de baixa intensidade e curta duração. Talvez o protocolo utilizado não tenha sido suficiente para induzir alterações viscoelásticas musculares. Assim, há a necessidade de estudos futuros que analisem com mais detalhes estes fatores e contribuam para o entendimento dos mecanismos do aquecimento muscular em idosos. Esses resultados trazem nova contribuição à literatura, considerando a carência de estudos similares com indivíduos nesta faixa etária.

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta novas evidências de que um programa regular de alongamento estático dos músculos flexores do joelho pode melhorar a flexibilidade e o torque ativo em

idosos. Os efeitos são persistentes, indicando adaptação muscular, e não parecem influenciados pelo aquecimento muscular prévio.

## REFERÊNCIAS

1. Alter, M. J. *Science of Flexibility*. 2a edição, Champaign, Human Kinetics, 1996.
2. Aquino, C. F. et al. Análise da relação entre flexibilidade e rigidez passiva dos isquiotibiais. *Rev. Bras. Med. Esporte*, v. 12, p. 195-200, 2006.
3. Aquino, C. F. et al. Análise da confiabilidade de um método de mensuração do ângulo do pico de torque ativo dos isquiossurais. *Rev. bras. Fisioter.* v. 11, n. 2, p. 169-175, 2007.
4. Bandy, W. D.; Irion, J. M.; Briggler, M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys. Ther.* v. 77, p. 1090–1096, 1997.
5. Bishop, D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med.* v. 33, p. 483-98, 2003.
6. Brasileiro, J. S.; Faria, A. F.; Queiroz, L. L. Influência do resfriamento e do aquecimento local na flexibilidade dos músculos isquiotibiais. *Rev. Bras. Fisioter.* v. 11, n. 1, p. 57-61, 2007.
7. Brockett, C. L.; Morgan, D. L.; Proske, U. Human hamstring muscle adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 33, p. 783-790, 2001.
8. Burke, D. G. et al. Effects of hot or cold water immersion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *J. Athlet. Train.* v. 36, p. 16–19, 2001.
9. Cardoso, J. R. et al. Intra and interobserver reliability of angular kinematic analysis of the hip joint during the sit-and-reach test to measure hamstring length in university students. *Rev. Braz Fisioter.* v. 11, p. 133-138, 2007.
10. Chan, S. P.; Hong, Y.; Robinson, P. D. Flexibility and passive resistance of hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* v. 11, p. 81–86, 2001.

11. Coutinho, E. L. et al. Effect of passive stretching on the immobilized soleus muscle fiber morphology. *Braz. J. Med. Biol. Res.* v. 37, p. 1853-1861, 2004.
12. Davis, D. S. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstrings flexibility using consistent stretching parameters. *J. Strength Cond. Res.* v. 19, p. 27-32, 2005.
13. Deyne, P. G. D. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys Ther.* v. 81, p. 819-827, 2001.
14. De Weijer, V. C.; Gorniak, G. C.; Shamus, E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J Orthop Sports Phys Ther.* v. 33, p. 727-33, 2003.
15. Draper, D. O. et al. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstring flexibility more than prolonged stretching alone. *J Orthop Sports Phys Ther.* v. 34, p. 13-20, 2004.
16. Feland, J. B. et al. The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Phys. Ther.* v. 81, p. 1100-1117, 2001.
17. Gajdosik, R. L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin. Biomech.* v. 16, p. 87-101, 2001.
18. Gajdosik, R. L. et al. Effects of an eight-week stretching program on the passive-elastic properties and function of the calf muscles of older women. *Clin Biomech.* v. 20, p. 973–983, 2005.
19. Gomes, A. R. S. et al. Morphological effects of two protocols of passive stretch over the immobilized rat soleus muscle. *J. Anat.* v. 210, p. 328–335, 2007.
20. Hardy, M.; Woodall, W. Therapeutic effects of heat, cold, and stretch on connective tissue. *J Hand Ther.* v. 11, p. 148-56, 1998.
21. Hartig, D. E.; Henderson, J. M. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med.* v. 27, p. 173-176, 1999.
22. Klein, D. A. PNF training and physical function in assisted-living old adults. *Journal of Aging and Physical Activity.* v.10, p. 476-488, 2002.
23. Knight, C. A. et al. Effect of superficial heat, and active exercise warm-up on the extensibility of the plantar flexors. *Phys Ther.* v. 81, p. 1206-1214, 2001.

24. Kokkonen, J. et al. Chronic static stretching improves exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 39, p. 1825-1831, 2007.
25. Komi, P. V. How important is neural drive for strength and power development in human skeletal muscle? In: *Biochemical Exercise VI*, edited by Saltin B. Champaign, IL: Human Kinetics, 1986.
26. Kubo, K.; Kanehisa, H.; Fukunaga, T. Effects of cold and hot water immersion on the mechanical properties of human muscle and tendon in vivo. *Clin Biomech.* v. 20, p. 291-300, 2005.
27. Lardner, R. Stretching and flexibility: its importance in rehabilitation. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* v. 5, p. 254-263, 2001.
28. LaRoche, D. P.; Connolly, D. A. J. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am J Sport Med.* v. 34, p. 1000-7, 2006.
29. Lindquist, A. R. R. et al. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation effects on poststroke gait. *Phys. Ther.* v. 87, p. 1144-1154, 2007.
30. Mahieu, N. N. et al. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 39, p. 494-501, 2007.
31. Malliaropoulos, N. et al. The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 36, p. 756-759, 2004.
32. Nelson, R. T. Bandy, W. D. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athlet Train.* v. 39, p. 254-258, 2004.
33. Nonaka, H. et al. Age-related changes in the interactive mobility of the hip and knee joints: a geometrical analysis. *Gait Posture.* v.15, p. 236-243, 2002.
34. Peres, S. E. et al. Pulsed shortwave diathermy and prolonged long-duration stretching increase dorsiflexion range of motion more than identical stretching without diathermy. *J. Athlet. Train.* v. 37, p. 43-50, 2002.
35. Peviani, S. M. et al. Short bouts of stretching increase myo-d, myostatin and atrogin-1 in rat soleus muscle. *Muscle Nerve.* v. 35, p. 363-370, 2007.
36. Reid, D. A.; McNair, P. J. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* v. 36, p. 1944-1948, 2004.

37. Roberts, JM.; Wilson, K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br. J. Sport Med.* v. 33, p. 259-263, 1999.
38. Safran, M. R.; Seaber, A.V.; Garrett, W. E. Warm-up and muscular injury prevention: An update. *Sports Med.* v. 8, p. 239-249, 1989.
39. Shrier, I. Does stretching improve performance? a systematic and critical review of the literature. *Clin. J. Sport Med.* v. 14, 267–273, 2004.
40. Shrier, I. When and whom to stretch? *The Physician and Sportsmedicine.* v. 33, 2005.
41. Shellock, F. G.; Prentice, W. E. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.* v. 2, 267-78, 1985.
42. Taylor, B. F.; Waring, C. A.; Brashear, T. A. The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static stretch on hamstring muscle length. *J. Orthop. Sports Phys Ther.* v. 21, p. 283-6, 1995.
43. Wenos, D. L.; Konin, J. G. Controlled warm-up intensity enhances hip range of motion. *J. Strength Cond. Res.* v. 18, p. 529-533, 2004.
44. Wilmore, J. H.; Costill, D. L. *Physiology of sport and exercise.* Second edition, Champaign, Human Kinetics, 1999.
45. Witvrouw, E. et al. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am. J. Sports Med.* v. 31, p. 41-46, 2003.
46. Worrell, T. W.; Smith, T. L.; Winegardner, J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orth. Phys. Ther.* v. 20, p. 154-159, 1994.
47. Zakas, A. et al. Acute effects of stretching duration on the range of motion of elderly women. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* v. 9, p. 270-276, 2005.
48. Zakas, A. et al. Acute effects of active warm-up and stretching on the flexibility of elderly women. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* v. 46, p. 617-22, 2006.



Figura 1 – Posicionamento do sujeito para avaliação goniométrica.



Figura 2 = Exercício de aquecimento para os flexores de joelho com a carga de 1 Kg.



Figura 3 – Postura adotada para o protocolo de alongamento.

Tabela 1. Desenho experimental.

<b>Fases</b>	<b>A<sub>1</sub></b>				<b>B</b>				<b>A<sub>2</sub></b>				
<b>Avaliações</b>	<b>1<sup>a</sup></b>				<b>2<sup>a</sup></b>				<b>3<sup>a</sup></b>				<b>4<sup>a</sup></b>
<b>Semanas</b>	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>	<b>6<sup>a</sup></b>	<b>7<sup>a</sup></b>	<b>8<sup>a</sup></b>	<b>9<sup>a</sup></b>	<b>10<sup>a</sup></b>	<b>11<sup>a</sup></b>	<b>12<sup>a</sup></b>	

Fases A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, período sem intervenção; Fase B, período com intervenção.



Tabela 2 – Avaliação da flexibilidade e do torque isocinético em idosos submetidos ao alongamento muscular regular nas 4 avaliações (X±DP)

Fases Avaliações	A <sub>1</sub>	B	A <sub>2</sub>	
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
<b>Grupo alongamento (n=14)</b>				
Déficit extensão joelho (°)	26,6±4.9	27.2±5.5	9.7±3.7 *	9.3±3.8 *
<i>Sit and reach test</i> (mm)	197.5±74.4	206.3±77.4	238.4±72.7 *	238.8±74.2 *
PT/Flexor/ECC/ total (Nm.s <sup>-1</sup> )	114.2±37.3	111.3±37.6	117.8±40.3 *	119.0±42.3 *
PT/Flexor/Conc/total (Nm.s <sup>-1</sup> )	94.9±35.7	95.6±36.3	102.8±36.5 *	103.7±39.8 *
PT/Flexor/ECC/ativo (Nm.s <sup>-1</sup> )	94.4±31.5	91.5±32.3	98.7±33.9 *	99.7±37.3 *
PT/Flexor/Conc/ativo (Nm.s <sup>-1</sup> )	74.9±31.4	74.7±32.4	82.7±31.9 *	84.3±35.2 *
Angulo/PT/Flexor/ECC (°)	27.1±13.8	28.4±11.4	24.1±5.9 **	24.9±6 **
Angulo/PT/Flexor/Conc (°)	20.1±4.9	20.1±4.7	20.1±4.4	20.2±4.3
PT/Flexor/ECC/Passivo-2° (Nm.s <sup>-1</sup> )	17.9±6.4	16.4±5.7	16.5±4.9	15.1±6.2
<b>Grupo aquecimento+alongamento (n=14)</b>				
Déficit extensão joelho (°)	23.7±3.6	24.9±2.0	9.3±3.7 *	9.5±2.8 *
<i>Sit and reach test</i> (mm)	182.7±71.2	187.2±71.4	223.2±61.2 *	214.4±71.3 *
PT/Flexor/ECC/total (Nm.s <sup>-1</sup> )	119.5±44.4	124.5±47.8	128.9±47.6 *	130.2±49.1 *
PT/Flexor/Conc/total (Nm.s <sup>-1</sup> )	97.5±42.1	103.7±44.9	108.3±43.1 *	111.4±47.8 *
PT/Flexor/ECC/ativo (Nm.s <sup>-1</sup> )	103.7±39.2	106.5±41	110.4±42.2 *	112±42.9 *
PT/Flexor/Conc/ativo (Nm.s <sup>-1</sup> )	81.2±37.5	85.9±39.9	89.5±38.1 *	92.9±42.5 *
Angulo/PT/Flexor/ECC (°)	28.4±9.4	28.6±11.1	25.6±6.3 **	25.2±7.4 **
Angulo/PT/Flexor/Conc (°)	20.1±5	20.4±4.8	20.1±4.4	20.1±4.3
PT/Flexor/ECC/Passivo-2° (Nm.s <sup>-1</sup> )	15.1±6.7	15.8±3.8	14.6±5.1	15±3.4

PT = pico de torque. PT total e ativo foram avaliados em 60°s<sup>-1</sup>. PT passivo foi avaliado em 2°s<sup>-1</sup>. ECC = excêntrico; Conc = concêntrico; \* = p<0.01 comparado à 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> avaliações; \*\* = p<0,05 comparado à 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> avaliações.

**APENDICE I:** Manuscrito submetido ao *Annals of Biomedical Engineering*

Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects

José J. A. Ferreira, Lorena C. S. Mendonça, Luiz A.O. Nunes, Antônio C. C. Andrade Filho, José R. Rebelatto, and Tania F. Salvini.

Department of Physical Therapy - Federal University of São Carlos, and Physics Institute of São Carlos - University of São Paulo, São Carlos, SP, Brazil.

Abbreviated Title: Thermography and Exercise

Correspondent author: José J. A. Ferreira

Department of Physical Therapy, Federal University of São Carlos. Rodovia Washington Luis, Km. 235, Mail Box: 676, ZIP CODE: 13565-905, São Carlos, SP, Brazil.

Phone: (16) 3351-8345, Fax: (16) 3351-2081

email: [jamacy@gmail.com](mailto:jamacy@gmail.com)

## Abstract

This study aimed at evaluating the thermographic changes associated with localized exercise in young and elderly subjects. An exercise protocol using 1 kg load was applied during 3 min to the knee flexors of 14 elderly ( $67\pm 5$  years) and 15 young ( $23\pm 2$  years) healthy subjects. The posterior thigh's skin temperature of the exercised limb and contralateral limb were measured by infrared thermography on pre-exercise, immediately post-exercise, and during the 10-min period post-exercise. Difference ( $p<0.01$ ) between elderly and young subjects was observed on pre-exercise temperature. Although differences were not observed between pre-exercise and immediately post-exercise temperature in the exercised limb, thermographic profile displayed heat concentration in exercised areas for both groups. Temperature reduction was only observed for the young group on the 10-minute post-exercise ( $p<0.05$ ) in the exercised limb ( $30.7\pm 1.7$  to  $30.3\pm 1.5^\circ\text{C}$ ). In contrast, there was a temperature reduction post-exercise ( $p<0.01$ ) in the contralateral limb for both groups. These results present new evidences that elderly and young subjects display similar capacity of heat production; however, the elderly subjects presented a lower resting temperature and slower heat dissipation. This work contributes to improve the understanding about temperature changes in elderly subjects and may present implications to the sports and rehabilitation programs.

Key Terms: Warm-up, Skin Temperature, Infrared Thermography, Aging.

## INTRODUCTION

The blood supply for the muscles during the initial part of exercise is accompanied by vasoconstriction in the skin while a vasodilator thermoregulatory response occurs when the body temperature rises, determining the heat loss through the surface of skin<sup>28</sup>. According to Kenny et al<sup>13</sup>, the tissue temperature at any given time is determined by the relative rate of heat production and loss. Thus, the localized muscle temperature at any given point is the result of metabolic rate differences, heat exchange rate to the neighbouring tissue and by peripheral and deeper blood circulation.

Previous reports showed exercise-related temperature changes in both muscle<sup>1, 6, 13, 15, 16, 25</sup> and skin<sup>19, 23</sup> by direct measurements. This type of measure presumes that heat production in the muscles occurs uniformly. However, the individually specific characteristics of superficial vascularization and asymmetrical positioning of dilated veins may cause misinterpretations in the results when one uses contact sensors in the region of these veins<sup>27</sup>. Then, temperature measured directly on the skin or muscle could induce to equivocal interpretations due to the positioning of the sensors near neighbouring warm blood vessels and also because warming up does not occur in a uniform manner throughout the entire muscle<sup>14, 27</sup>.

On the other hand, infrared thermography is a non-invasive procedure that registers the temperature distribution with a thermal camera that receives and processes the infrared radiation emitted from the surface of the body<sup>27</sup>. This process has been widely used to characterize temperature patterns of the body surface in the diagnosis of several diseases, and it could represent a valuable instrument for the analysis of biological tissues and physiological researches concerning the study of production and dissipation of heat during and after exercise<sup>7, 8, 27</sup>. Infrared thermography overcomes limitations observed in other methods that require physical contact to measure the temperature<sup>27, 28</sup>, and it could offer indirect hemodynamic recruitment information of muscle masses during the process of exercise-related thermal adjustment<sup>17</sup>. The thermal changes that occurred in deep areas of the body are transferred to the superficial tissue by the blood circulation<sup>8, 27</sup>.

Few studies have examined the alterations of thermographic patterns after exercise<sup>2, 17, 18, 26, 27, 28</sup> and none of them assessed the possible thermographic profile changes associated to localized exercise in elderly subjects. It is well known that aging is related to muscle mass loss and metabolism reduction, which limits heat production and thermoregulatory adjustments<sup>5, 10, 12</sup>. Although there are several studies about the effect of strength training and

endurance in the elderly, possible differences in the thermogenic response associated to localized exercises in young and elderly subjects are still not clarified.

The hypothesis of this study is that differences exist in the magnitude of the thermal response associated to exercise between young and elderly subjects. Furthermore, the thermographic changes associated to the localized exercise were assessed by infrared thermography in both young and elderly subjects.

## **MATERIAL AND METHODS**

### **Subjects**

Twenty nine volunteers were recruited (14 elderly and 15 young subjects). The elderly group was composed of 12 women and 2 men [ $67 \pm 5$  years;  $158 \pm 7.6$  cm;  $67.4 \pm 7.9$  Kg; and  $26.8 \pm 2.5$  Kg/m<sup>2</sup> of body mass index (BMI)]. The young group was composed of 10 women and 5 men ( $23 \pm 2$  years;  $168 \pm 10.5$  cm;  $63.3 \pm 13$  Kg; and  $22.1 \pm 2.3$  Kg/m<sup>2</sup> of BMI). A difficulty was encountered when attempting to form paired groups as regards to BMI and gender due to the volunteers' age level difference. However, an intragroup statistical analysis (independent Student's t Test) to subgroups with BMI difference of 4 Kg/m<sup>2</sup> did not detect temperature significant differences ( $p > 0,05$ ). The inclusion criteria were as followed: subjects should be 60 to 80 years of age (elderly group) and 18 to 30 years of age (young group). All subjects were considered active and healthy, and presented a medical statement confirming that their physical health was appropriate to the physical activity level of the exercise protocol they would enrol. Subjects were also classified as active by indicating their involvement in light to moderate physical activities with the duration of one hour, three times per week, for at least one year. As exclusion criteria the following aspects were considered for both groups: smokers; the presence of musculoskeletal disorders; prior surgery and pain symptom in the lower limbs; cardiac and vascular detriment or any other disease that could alter body temperature. This study was approved by the University Ethics Committee in accordance with Helsinki Declaration for Human Research.

### **Temperature Measurements**

The subjects were instructed to eat 2 hours before the assessment and to refrain from drinking alcohol nor practice any kind of vigorous physical exercise 24 hours prior to the

evaluation. Also, they were recommended not to apply hydrating lotion or any similar product on the lower limbs.

The temperature of the posterior surface of the thighs was assessed by means of the infrared thermography procedure, according to the thermal image acquisition criteria described by Ring e Ammer<sup>24</sup>. A thermographic camera was used operating near 5  $\mu\text{m}$  region with an one-channel infrared detector (Hg-Cd-Te) cooled with liquid nitrogen. The camera allowed the capture of 20 thermographic images/min with a spatial resolution of 5 mm and sensibility of 0.1°C under controlled conditions of temperature (22-24 °C) and air humidity (<50%). As regards to the calibration procedure, a black body was created with controlled temperature and precision of 0,02° C by means of a thermistor PT-100 (Telemeter Electronic, Donauworth, Germany). The camera presented an automatic drift removing system (drift < 0,1° C) in accordance with the temperature variation of the exam room. As the subject was maintained in a steady orthostatic position during the image acquisitions, a drift-shift effect correction was not necessary. Both the camera and the respective image processing software were developed by the São Carlos Physics Institute of the University of São Paulo (USP), SP, Brazil.

Regarding the application of the thermography, the subjects were dressed in shorts, which allowed the complete exposure of the posterior region of the lower limbs. Prior to starting the temperature recordings, the subjects remained in the standing position during 10 minutes in the examination room with the purpose of acclimatizing to the room temperature (thermalization).

The camera was maintained at a distance of 2.34 m from de subject and at a height of 36 cm from the floor. This camera distance and height allowed adequate capture of all subjects' lower limbs, despite of limb length differences. The first measurement was performed after 10 min of thermalization, on the pre-exercise condition. Only then the subjects were submitted to the exercises. Dominant lower limb was defined as the limb preferentially utilized to kick a ball. All subjects were right-limb dominant and they were then asked to perform the exercise with their right lower limb.

Six thermographic images were taken immediately post-exercise with the subject and the camera positioned as previously described. The post-exercise images were captured with an interval of two minutes between them: the first one was obtained immediately post-exercise (0') and then 2, 4, 6, 8 and 10 minutes subsequently. Interval between measures was defined in a prior pilot study where the minimum period needed to detect post-exercise temperature changes was identified.

The temperature average was calculated with the processing software utilizing a rectangular area (36 x 36 pixels) positioned in the center of the posterior thigh. This area was identified by visual inspection of the image exhibited in the monitor screen in an equidistant position between the knee and superior limits of the thigh and between lateral and medial limits of the thigh from each subject (Figure 1C). It was decided not to place any marker around the area of interest to avoid temperature shift by conduction or any other interference. Moreover, the utilization of the calculated temperature average upon the area in study minimizes positioning errors. The localization of the area and the reading of the respective measures were performed by two independent examiners presenting no significant differences (t de Student,  $p > 0,05$ ).

### **Warm-Up Exercise**

The subjects were previously oriented about the exercise procedures. During the exercises, the subjects were maintained in a standing position with their vertebral column aligned and the pelvis retroverted in order to rectify the lumbar lordosis. Two fixed lateral supports were used to support the hands, providing weight bearing during one-leg body-weight stand. The warm-up exercise was performed by the right lower limb and consisted of isotonic exercises of knee extension and flexion with a 1 Kg weight resistance placed just above the ankle with a shin pad with Velcro straps. The subjects were instructed to exercise continually during three minutes within their full range of motion of knee extension and flexion. Exercises were performed at a rate of 20 repetitions per minute, timed with a digital metronome (Quick Time QT-5, Quartz Metronome, China). The heart rate (HR) was monitored by a digital heart rate monitor (POLAR, model A1, Finland). The exercises would be interrupted if the subject reported pain, cramp, incapacity to complete the movements or if HR during exercise was greater than  $[HR_{rest} + 0,5 (HR_{reserve})]$ , where  $[HR_{rest} = HR$  during rest, 0.5 corresponds to the percentage of 50%, and  $HR_{reserve} = HR_{max} - HR_{rest}$ , in which  $HR_{max} = 220 - age$ , with 220 being a constant]<sup>3,11</sup>. The interruption criterion was created to guarantee a low-intensity exercise and it was not utilized during the study once the subjects did not exceed  $HR_{rest} + 0.5 HR_{reserve}$ .

### **Results Analysis**

The results were tested for normality (Shapiro-Wilk test) and homogeneity of the variances (Levene's test). ANOVA Two Way was used to compare temperature between exercised and contralateral limbs within each group for pre and post-exercise. ANOVA

Three-Way was used to compare the temperature of each limb of the elderly with that of the young subjects (inter-group) pre and post-exercise (2 groups X 2 limbs X 2 conditions) with repeated measurements. When a significant F-value was observed, a *post hoc* Tukey/Kramer's test was applied to identify the differences. The independent Student's t Test was utilized to analyze BMI and to compare the inter-examiner temperature measures. The 1997 version of *GB-Stat Pack Scool* Software was used for all calculations and statistical analysis, and a 5% significance level ( $p < 0.05$ ) was considered. To analyse the variation of temperature in function of time, the difference of temperature was calculated from each measurement relative to the period immediately beforehand.

## RESULTS

### Intensity of Exercise

The exercise intensity was very low considering the percentage of  $HR_{\text{reserve}}$  reached by the subjects after the exercise. Even so, the percentage of  $HR_{\text{reserve}}$  reached by the elderly ( $23.4 \pm 10.3\%$ ) was greater ( $p < 0.01$ ) than the percentage reached by the young adults ( $14.8 \pm 7.6\%$ ). However, as observed in Table 1, the heart rate variation between the performed measures during rest and by the end of the exercise was similar to both groups ( $p > 0,05$ ).

*Insert Table 1*

### Temperature Pre-Exercise

There was no difference in temperature between the right and left limbs for both elderly and young groups before the exercise. However, the young subjects limb's temperature was higher compared to the elderly subjects limbs (Table 2).

*Insert Table 2*

### Temperature Post-Exercise

#### Exercised Limb

There was no difference between the temperature measurements of the exercised limb after exercise for both elderly and young subjects when compared to the pre-exercise temperature. However, post-exercise temperature was greater in the exercised limb ( $p < 0.01$ ) when compared to the contralateral limb for both groups (Table 2). Moreover, there was a similar pattern of higher temperature concentration on the exercised limbs after exercise



(Figure 1). It was interesting to note that only the exercised limb of the young subjects displayed a decreased ( $p<0.05$ ) temperature on the 10-minute post-exercise period (Table 2).

### **Contralateral Limb**

The temperature of the contralateral limbs decreased ( $p<0.01$ ) for both young and elderly subjects compared to pre-exercise levels (Table 1). The cooling of the contralateral limb can also be observed in the thermograms of young subjects (Figure 1).

*Insert Figure 1*

### **Temperature variation**

The exercised limbs of elderly and young subjects displayed temperature variation differences (Figure 2). The young subjects presented a positive temperature variation in the exercised limb immediately post-exercise (0 min), which was followed by a negative variation until the 4<sup>th</sup> min post-exercise, reaching a relative stability after that. The exercised limb of the elderly subjects also presented an initial positive variation in the immediately post-exercise period (0' min); however, the negative variation presented a longer delay (6 minutes), reaching a relative stability after that. Thus, the temperature variation in the exercised limb seems to be smaller and slower in the elderly subjects compared to the young group (Figure 2A). As regards to the contralateral limbs of both groups, an intensive negative temperature variation occurred immediately post-exercise (0' min), which stabilized at the 2 minutes post-exercise (Figure 2B).

*Insert Figure 2*

## **DISCUSSION**

This study presents new evidences that heat dissipation after localized exercise is slower in the elderly compared to the young subjects. Our results showed that only the young subject group presented a decreased skin temperature in the exercised limb after exercise. This finding is supported by the studies accomplished by Petrofsky et al. and Inbar et al.<sup>10</sup>, where the authors verified a greater difficulty presented by the elderly subjects in dissipate heat through the skin. Such alterations were attributed to blood flow limitations<sup>9, 20, 22</sup> associated to the skin microvessels' slower recruitment and filling process observed in elderly subjects<sup>21</sup>.

Our results also indicate that infrared thermography is capable of detecting different thermal responses associated to localized low-intensity exercise. The higher temperature concentration on the exercised area is probably a consequence of the heat transfer from the exercised muscles to the thigh skin. This data is in agreement with the results of other studies performed with young subjects <sup>1, 26, 27</sup>. In contrast, a decreased skin temperature on the exercised limb followed by recovery and stabilization period has been reported elsewhere <sup>17, 18, 28</sup>. Zontak et al.<sup>28</sup> suggested that increasing hemodynamic requirements, such as an exercise with progressive load, presents a dominant skin vasoconstrictor stimulus capable of suppressing the thermoregulation. However, the type and exercise load observed in these mentioned studies were fairly different from the ones utilized in the study here presented.

On the other hand, the decreased temperature identified in the contralateral limb is possibly related to the mechanism described by Vainer, in which skin vasoconstriction allowed to address a larger blood flow to the metabolically active muscle mass <sup>27</sup>. It was interesting to verify in the present study a similar thermographic pattern in both young and elderly subjects. Based on the experimental conditions used here, it indicates that heat production and hemodynamic recruitment mechanisms are not altered with aging when localized low-intensity exercises are performed. However, the results obtained in this study also suggest that the specific surface area where the temperature is measured becomes a critical factor for the analysis of thermographic profile after exercise. This information should be considered in further studies.

Another interesting finding of this study was the verification of a higher resting temperature of the lowers limbs of young subjects when compared to the elderly subjects. However, differences in the body temperature between elderly and young subjects have been controversial due the difficulties in matching groups with similar health condition <sup>4, 12</sup>. In conclusion, this study presented new evidences that elderly and young subjects display similar capacity of heat production when submitted to localized low-intensity exercises. However, the elderly subjects presented lower resting temperature and slower heat dissipation compared to the young subjects. These results contribute to improve the understanding about temperature changes in elderly subjects and may present implications to the sports and rehabilitation programs.

## ACKNOWLEDGMENTS:

To Eliane Coutinho and Josimar Sartori for their technical assistance.

## REFERENCES

1. Booth, J. D., B. R. Wilmore, A. D. MacDonald, A. Zeyl, L. H. Storlien, N. A. S. Taylor. Intramuscular temperature during exercise in the heat following pre-cooling and pre-heating. *J. Therbio.* 29:709-715, 2004.
2. Clark, R. P., B. J. Mullan, L. G. C. E. Pugh. Skin temperature during running – a study using infra-red colour thermography. *J. Physiol.* 267:53-62, 1977.
3. Fletcher, G. F., G. J. Balady, E. A. Amsterdam, B. Chaitman, R. Eckel, J. Fleg, V. F. Froelicher, A. S. Leon, I. L. Piña, R. Rodney, D. A. Simons-Morton, M. A. Williams, T. Bazzarre. Exercise standard for testing and training: a statement for healthcare professionals from de american heart association. *Circulation.* 104:1694-1740, 2001.
4. Florez-Duquet, M., R. B. McDonald. Cold-induced thermoregulation and biological aging. *Physiol. Rev.* 78:339-358, 1998.
5. Goldspink, G., S. D. R. Harridge. Growth factors and muscle ageing. *Exp. Gerontol.* 39:1433-1438, 2004.
6. Gray, S. C., G. Devito, M. A. Nimmo. Effect of active warm-up on metabolism prior to and during intense dynamic exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(12):2091-6D, 2002.
7. Gulyaev, Y. V., A. G. Markov, L. G. Koreneva, P. V. Zakharov. Dynamical infrared thermography in humans. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 14:766-770, 1995.
8. Harding, J. R. Investigating deep venous thrombosis with infrared imaging. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 17: 43-46, 1998.
9. Ho, C. W., J. L. Beard, P. A. Farrel, C. T. Minson, W. L. Kenney. Age, fitness, and regional blood flow during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 82(4):1126-1135, 1997.
10. Inbar, O., N. Morris, Y. Epstein, G. Gass. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp. Physiol.* 89(6):691-700, 2004.

11. Karvonen M. J., E. Kentala, O. Mustala. The effects of training on heart rate. a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* 35(3):307-15, 1957.
12. Kenney, W. L., T. A. Munce. Invited review: aging and human temperature regulation. *J. Appl. Physiol.* 95:2598-2603, 2003.
13. Kenny, G. P., F. D. Reardon, W. Zaleski, M. L. Reardon, F. Haman, M. B. Ducharme. Muscle temperature transients before, during, and after exercise measured using an intramuscular multisensor probe. *J. Appl. Physiol.* 94:2350-2357, 2003.
14. Kobayashi, T., M. Shimo, H. Sugi. Infrared thermography of bullfrog skeletal muscle at rest and during an isometric tetanus. *Jpn. J. Physiol.* 48:477-482, 1998.
15. Koppo, K., A. M. Jones, L. V. Bossche, J. Bouckaert. Effect of prior exercise on  $VO_2$  slow component is not related to muscle temperature. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(10): 1600-1604, 2002.
16. Krustup, P., J. González-Alonso, B. Quistorff, J. Bangsbo. Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. *J. Physiol.* 536(3):947-956, 2001.
17. Merla, A., L. D. Donato, G. L. Romani. Infrared functional imaging: Analysis of skin temperature during exercise. Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES conference, Houston, TX, USA. Oct. 23-26, 2:1141-1142, IEEE 2002.
18. Merla, A., P. Iodice, A. Tangherlini, G. D. Michele, S. D. Romualdo, R. Saggini, G. L. Romani. Monitoring skin temperature in trained and untrained subjects throughout thermal video. Proceedings of the 27th Annual International Conference EMBS, Shanghai, China. Sep. 1-4, pp. 1684-1686, IEEE 2005.
19. Okasaki, K., Y. Kamijo, Y. Takeno, T. Okumoto, S. Masuki, H. Nose. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J. Appl. Physiol.* 93:1630-1637, 2002.
20. Petrofsky, J. S., E. Lohman III, H. J. Suh, J. Garcia, A. Anders, C. Sutterfield, C. Khandge. The effect of aging on conductive heat exchange in the skin at two environmental temperatures. *Med. Sci. Monit.* 12(10):CR400-408, 2006.
21. Pierzga, J. M., A. Frymoyer, W. L. Kenney. Delayed distribution of active vasodilation and altered vascular conductance in aged skin. *J. Appl. Physiol.* 94:1045-1053, 2003.

22. Poole, J. G., L. Lawrenson, J. Kim, C. Brown, R. S. Richardson. Vascular and metabolic response to cycle exercise in sedentary humans: effect of age. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 284:H1251-H1259, 2003.
23. Racinais, S., S. Blanc, O. Hue. Effects of active warm-up and diurnal increase in temperature on muscular power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(12):2134-2139, 2005.
24. Ring, E. F. J., K. Ammer. The technique of infra red imaging in medicine. *Thermology International.* 10(1):7-14, 2000.
25. Stewart, D., A. Macaluso, G. D. Vito. The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in health humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89:509-513, 2003.
26. Wang, J., H. L. Toh. Visualizing skin temperature before, during and after exercise for dynamic area telethermometry. *Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Instambul, Turkey.* Oct. 25-28, pp. 2831-2835, IEEE 2001.
27. Vainer, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. *Phys. Med. Biol.* 50:R63-R94, 2005.
28. Zontak, A., S. Sideman, O. Verbitsky, R. Beyar. Dynamic thermography: analysis of hand temperature during exercise. *Ann. Biomed. Eng.* 26:988-993, 1998.

**Table 1** – Age (years), HR (bpm) pre and post-exercise for elderly and young subjects

ELDERLY				YOUNG			
Subjects	Age	HR-pre	HR-post	Subjects	Age	HR-pre	HR-post
1	65	70	79	1	25	79	104
2	70	75	88	2	24	99	107
3	70	88	110	3	20	86	102
4	68	93	110	4	23	82	98
5	62	82	93	5	23	77	98
6	72	74	107	6	23	85	86
7	67	77	89	7	18	84	90
8	64	87	103	8	22	77	110
9	61	74	79	9	24	90	100
10	66	110	124	10	26	77	94
11	61	87	102	11	22	85	116
12	60	71	97	12	24	84	99
13	71	86	102	13	25	80	107
14	78	74	90	14	24	74	88
				15	27	82	97
<b>Mean±SD</b>	66.8±5.1	82±10.9	98,1±12,7		23.3±2.2	82.7±6.2	99.7±8.3

HR-pre = heart rate pre-exercise

HR-post = heart rate post-exercise

bpm = beating per minute

**Table 2** – Pre and post-exercise thigh temperature (°C) for elderly and young subjects.

Limbs	Pre exercise	Post-Exercise					
		0'	2'	4'	6'	8'	10'
<b>ELDERLY (n=14)</b>							
<b>Exercised</b>	28.9±1.8*	28.9±1.9 **	29±1.8 **	29±1.8 **	28.9±1.7 **	28.9±1.7 **	28.8±1.6 **
<b>contralateral</b>	28.8±1.8*	28.3±1.9†	28.2±1.8†	28.1±1.7†	28.0±1.7†	27.9±1.7†	27.8±1.6†
<b>YOUNG (n=15)</b>							
<b>Exercised</b>	30.4±1.5*	30.7±1.7 **	30.8±1.5 **	30.6±1.5 **	30.5±1.5 **	30.5±1.5 **	30.3±1.5‡**
<b>contralateral</b>	30.5±1.6*	30.0±1.7†	29.8±1.6†	29.7±1.5†	29.6±1.5†	29.5±1.5†	29.4±1.4†

0', 2', 4', 6', 8' and 10' = minutes post-exercise, values are mean ± stand deviation;

\* Difference intergroups (p<0.01);

\*\* Difference interlimbs (p<0.01);

† Difference intragroup compared to pre-exercise (p<0.01);

‡ Difference intragroup compared to 0' (p<0.05);

## FIGURE LEGENDS

Figure 1 – Posterior view of the limbs. Thermograms of a young subject (**A**, **B**, **C**, **D**). The right limb was the exercised one; **A** = pre-exercise; **B** (0') = immediately after exercise; **C** = 2 minutes Post-exercise; dashed lines demark the knee and superior limit of the thigh; rectangle = area of the temperature measurement; **D** = 4 minutes Post-exercise. R = Right and L = Left.

Figure 2 – Temperature variation of young and elderly subjects after knee flexion exercise. **A**. Exercised limb. **B**. Contralateral limb. Each point in the graph is the temperature difference in relation to the instance immediately before. At instance 0, the difference was calculated in relation to pre-exercise temperature.



Figure 1, J. J. A., Ferreira, ABME

Top

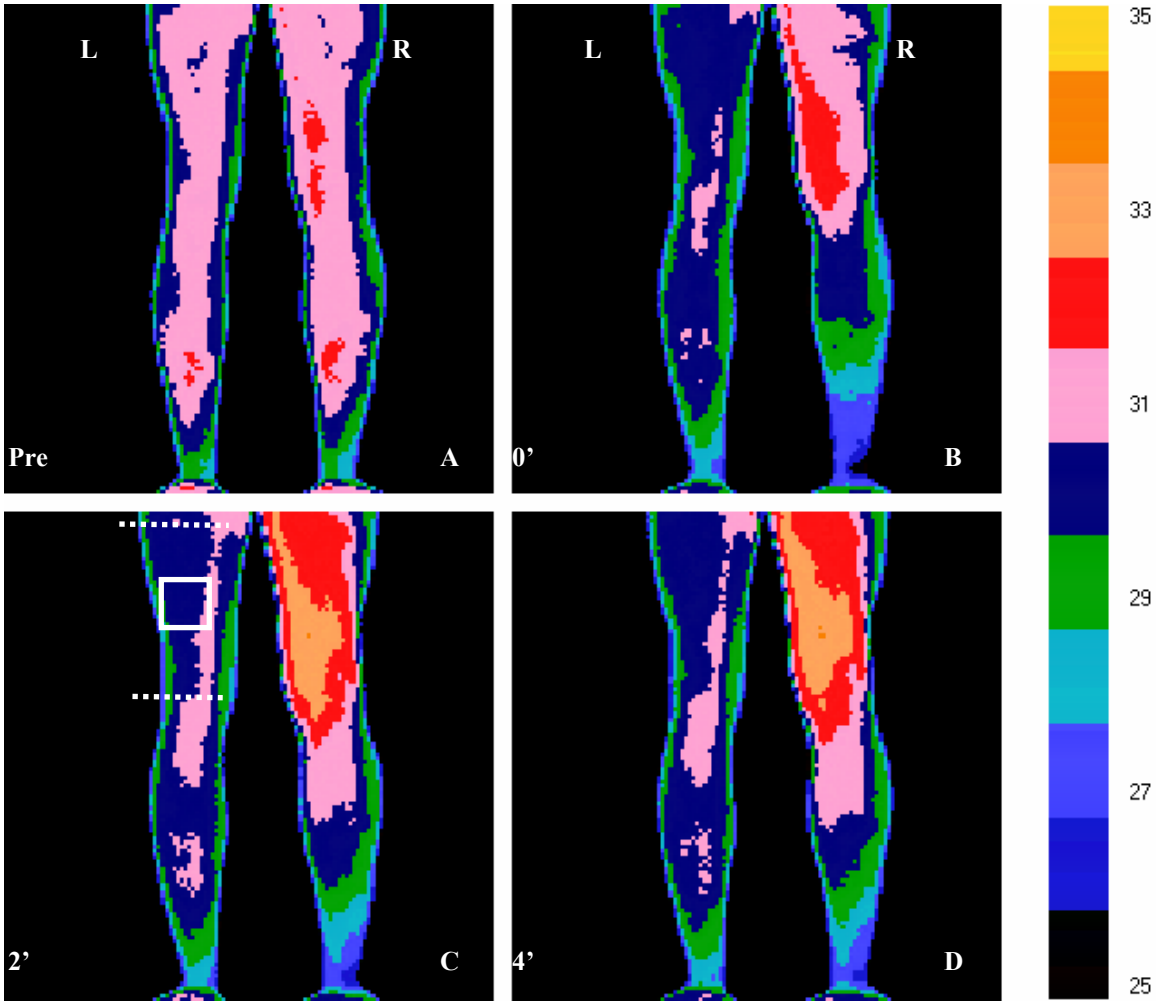
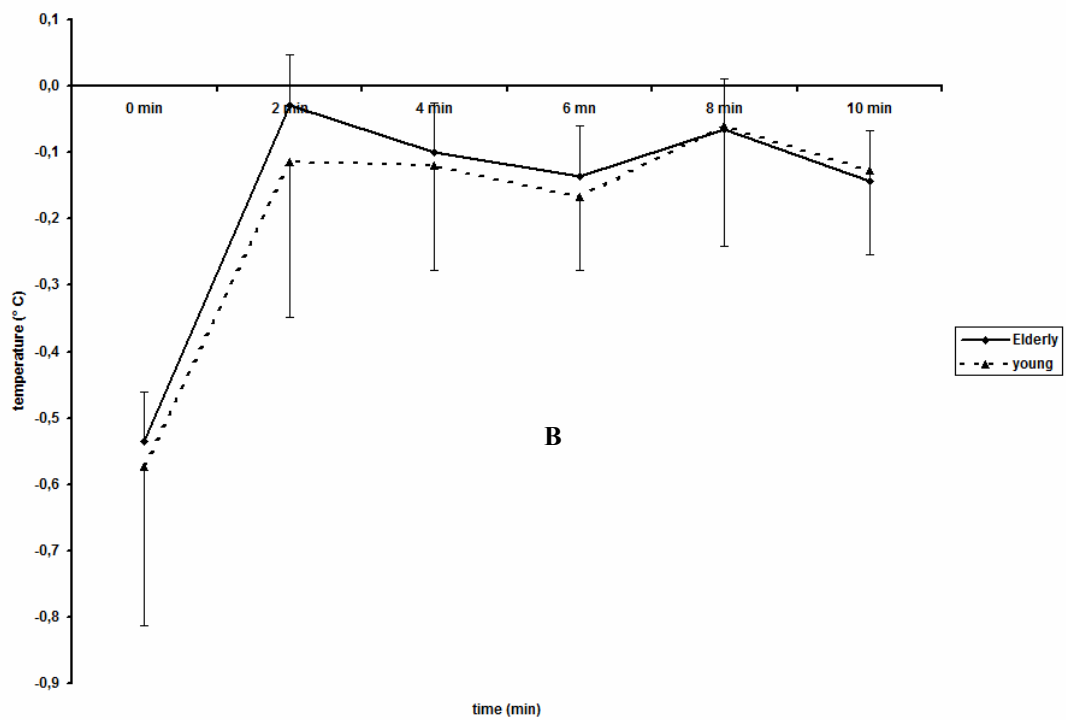
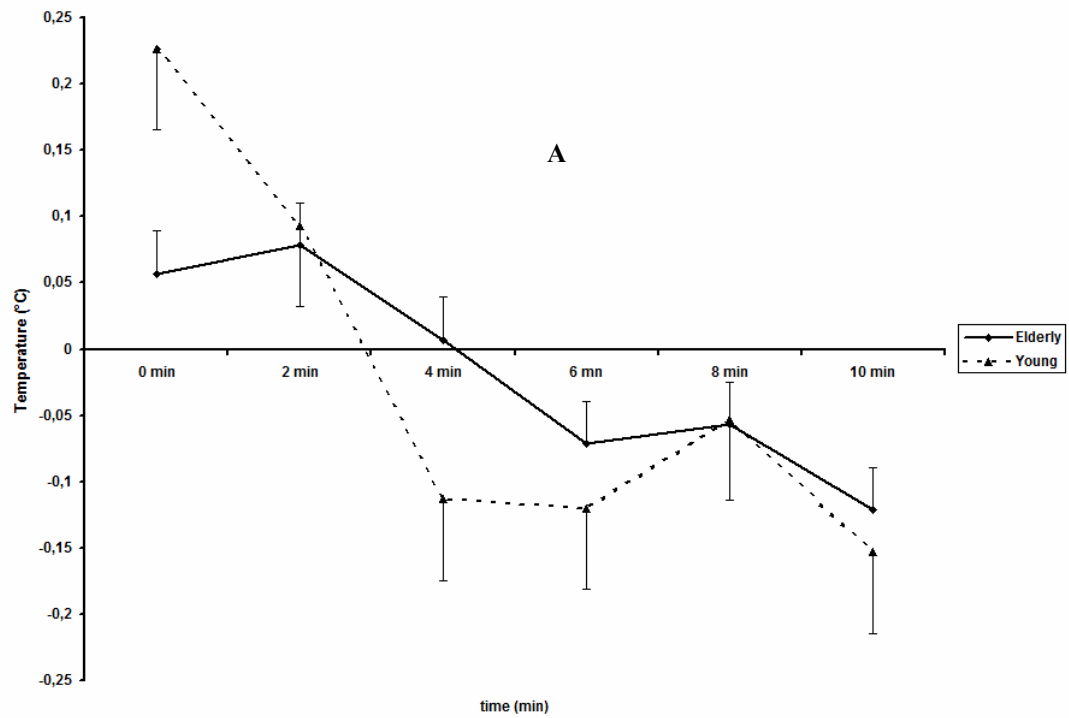


Figure 2, J. J. A., Ferreira, ABME

Top



**APÊNDICE II:** Manuscrito original submetido à *Physical Therapy*

REGULAR STRETCHING, REGARDLESS OF MUSCLE WARM-UP, IMPROVES  
FLEXIBILITY AND TORQUE IN THE ELDERLY.

José J. A. Ferreira, PhD<sup>1</sup>; Rafaella N. Silva<sup>1</sup>; Lucia H. Batista, PhD<sup>2</sup>; José R. Rebelatto, PhD<sup>2</sup>;  
Tania F. Salvini, PhD<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Department of Physical Therapy, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB;

<sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP;

Author for correspondence: José Jamacy de Almeida Ferreira

Address: Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia

Washington Luis, Km. 235, Cx Postal: 676, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil.

Phone: (16) 3351-8345,

Fax: (16) 3351-2081

E-mail: [jamacy@gmail.com](mailto:jamacy@gmail.com)

Running Title:

REGULAR WARM-UP AND STRETCHING IN THE ELDERLY

Keywords: muscle, active heat, hamstring, ageing, force, stretch, exercise.

## Abstract

**Background:** The long-term effects of regular stretching and warm-up exercise on the flexibility and isokinetic torque of elderly subjects have yet to be investigated. **Objectives:** this study analyzed two hypotheses: a) whether regular stretching improves flexibility and torque in the elderly and b) whether prior warm-up increases the effects of stretching. **Method:** active elderly participants, with knee extension deficit  $\geq 20^\circ$ , were submitted to either a knee flexor stretching program (stretch group, n=14) or warm-up exercise prior to stretching (warm-up+stretch group, n=14). Stretch sessions (6 x 30s, 30s rest intervals) were conducted 3 days a week for 4 weeks. In order to assess the effect of intervention, we used the A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub> system with phases A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub> being control (without intervention), and phase B, intervention. Assessments took place before and after each of the phases. Each phase lasted 4 weeks. To assess flexibility, we measured the knee extension angle and the reach measure on the sit-and-reach test. An isokinetic assessment analyzed the active (eccentric and concentric) flexor peak torque at  $60^\circ \cdot s^{-1}$ , and the passive flexor torque at  $2^\circ \cdot s^{-1}$ . **Results:** After the intervention, there was a gain in flexibility ( $p=0.001$ ) and an increase in active eccentric ( $p=0.001$ ) and concentric ( $p=0.005$ ) flexor torque, with no intergroup difference. Gains obtained in flexibility and active torque continued after intervention (phase A<sub>2</sub>). There was no alteration in passive torque ( $p>0.05$ ). **Conclusion:** Regular stretching caused long-term musculoskeletal adaptations which improved flexibility and active torque in the elderly subjects. Prior warm-up did not produce additional gains.

## INTRODUCTION

Flexibility enables the muscle to stretch, allowing the joints to go through their normal range of motion (ROM).<sup>1</sup> Stretching exercises promote flexibility and are referred to as an important factor in muscle function improvement,<sup>2</sup> treatment<sup>3</sup> and injury prevention.<sup>4</sup> Although stretching immediately prior to physical activity does not prevent injury, it can reduce the risk of injury when done regularly.<sup>5</sup> The mechanism by which regular stretching prevents injuries is still not well known. However, as muscle flexibility reduction is considered a risk factor for muscle injury, regular stretching can minimize this risk by keeping muscle length closer to normal.<sup>6</sup>

Changes in flexibility with muscle-tendon adaptative shortening occur most often in biarticular muscles, the hamstrings being the most affected muscle group.<sup>7</sup> These alterations are also associated with the biological process of aging and affect mobility and balance in a way that modifies the functional patterns of elderly subjects.<sup>8, 9</sup> The muscles and tendons of the elderly are less flexible and compliant and display a greater proportion of dense connective tissue, increasing fiber resistance to deformity.<sup>10</sup> However, there is evidence that a regular stretching program improves flexibility in elderly individuals.<sup>11</sup>

Plastic and elastic deformities can occur when connective tissue is subjected to a stretching force.<sup>12</sup> Muscle stretching also causes morphological alteration in connective tissue<sup>13</sup> and in muscle fibers.<sup>14,15</sup> The magnitude of the connective tissue deformities seems to vary according to the duration of stretching<sup>11,16</sup>. On the other hand, the increase in stretching frequency during the day does not seem to influence results.<sup>17</sup> Therefore, total stretching duration appears to be the determining factor of its efficacy, regardless of the number of repetitions performed in each session.<sup>18</sup>

Ballistic and static stretching and the association with proprioceptive neuromuscular facilitation are among the most studied stretching techniques.<sup>18,1</sup> Low-intensity, long-duration static stretching is preferred due to its efficacy, simple execution and low risk of trauma,<sup>11,19,20</sup> thus being the most recommended for elderly individuals.<sup>18</sup>

One of the most controversial points in the study of flexibility is related to the role of tissue temperature in muscle stretching. In order to investigate this aspect, tissue temperature increase was induced both actively, through physical exercise,<sup>20,21,22,23</sup> and passively, through application of external heat sources.<sup>20,24,25,26,27,28,29</sup> It has been reported that heat alters the viscosity of soft tissues, reducing the passive resistance of muscles and joints, increasing

oxygen availability, the rate of metabolic reactions, nervous conduction, as well as other non-thermal effects (see review).<sup>30,31,32</sup>

Some studies found that the application of superficial heat and cold associated with stretching,<sup>24,25</sup> or the application of isolated heat,<sup>28</sup> does not improve muscle-tendon extensibility. However, different studies reported improvement in flexibility with ultra-sound application<sup>20</sup> and short-wave diathermy,<sup>26,27</sup> associated with stretching. Among the studies that analyzed the acute effect of active heat on flexibility, Wenos and Konin<sup>21</sup> found positive effects in the association of stretching with heat, unlike the findings of other authors.<sup>22,23</sup> However, few studies have analyzed the long-term effect of the association of active heat with stretching on muscle flexibility. In this sense, Knight et al.<sup>20</sup>, when analyzing the application of active heat associated with stretching for 6 weeks, did not find additional effects of heat on plantar flexor flexibility in young subjects. Similar studies have not been conducted in the elderly and it would be useful to analyze the long-term effects of stretching associated with heat on this age group, which suffers alterations in connective and musculoskeletal tissue due to the aging process.

The alteration of passive and active muscle strength after stretching is another interesting aspect related to flexibility. Total muscle strength is the result of the sum of passive and active forces produced by the muscle.<sup>12</sup> According to this author, passive force is represented by the passive resistance of the connective tissue that involves the muscles, added to the filament tension of actin-myosin crossbridges at rest and to the tension produced by the series elastic components (titin and desmin), while active force is generated by the sliding and the interaction between actin and myosin filaments during muscle contraction.

The effect of muscle stretching on passive resistance is controversial in the literature. Studies have found increase,<sup>2,33,34,35</sup> reduction<sup>36</sup> or passive resistance maintenance<sup>34,36</sup> after the application of a regular stretching program. In addition to that, muscle stretch programs have also been linked to an increase in the active strength of young subjects.<sup>37,38,39</sup>

Taking into account the aspects that have been presented, there is clearly a need for further investigation into the long-term effects of a regular muscle stretching program on flexibility and passive and active torque in the elderly. There is also a need to study the role of muscle warm-up associated with stretching in individuals of this age group.

The present study tests two main hypotheses: first, whether a regular stretching program causes an increase in flexibility and passive and active torque in elderly subjects; second, whether warm-up exercises prior to stretching help achieve greater flexibility gains in

the elderly. Another objective of the investigation was to verify whether the possible alterations in flexibility and torque would continue after the end of the intervention.

Thus, the aim of this study was to examine the effect of a muscle stretching program, preceded by warm-up exercises, on the flexibility and active and passive torques of elderly subjects.

## **METHODS**

### **Subject selection**

Subjects were selected among the participants of a geriatric revitalization program in which they had done, regularly for at least 12 months, light strength, general flexibility and cardiovascular resistance exercises, in 50-minute sessions, three times a week on alternate days. Subjects were excluded if their physical therapy assessment found vascular, inflammatory and lower-limb musculoskeletal disorders. Inclusion criteria were: flexibility deficit of the knee flexor  $> 20^\circ$ , age between 60 and 80 years and a doctor's certificate stating that health conditions were compatible with the physical exercise to be performed in the proposed study.

We assessed 52 healthy and active elderly volunteers (aged 60 to 80) of both genders. Thirty subjects were initially included in the study and 2 were excluded during the study due to abandonment of foreseen activities. Therefore, 28 subjects were randomly divided in 2 groups: a) the stretch group (n=14, 9:5 F/M,  $67\pm 7$  years,  $72.7\pm 11.6$  kg,  $1.61\pm 0.08$  m) submitted to a knee flexor stretching protocol; b) the warm-up+stretch group (n=14, 10:4 F/M,  $65\pm 5$  years,  $74.1\pm 11.6$  Kg and  $1.62\pm 0.08$  m), submitted to a warm-up exercise protocol prior to performance of knee flexor stretching exercises. There was no difference between groups as to variable age, weight and height ( $p>0.05$ ). Prior to beginning the experiment, all volunteers signed a consent form, and approval was obtained from the University Human Research Ethics Committee, which was conducted in accordance with the Helsinki Declaration.

### **Assessment phases**

The A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub> study was applied as follows: Phases A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub> – period without intervention; Phase B – period with intervention (Table 1). Each of the phases lasted 4 weeks, as previously described.<sup>40</sup> All subjects were submitted to the 3 phases (A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub>), except two subjects, who did not participate in the third phase (A<sub>2</sub>). In this type of study, the periods

without intervention (phases A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>) serve as control for comparison with the intervention period (phase B<sub>1</sub>).

In both groups, the lower limbs were submitted to the intervention protocol for 4 weeks. However, only the dominant limb was submitted to assessments (Table 1); the first assessment was conducted during the subject selection, before the beginning of phase A<sub>1</sub>; the second assessment was conducted after 4 weeks (end of phase A<sub>1</sub>), before the first muscle stretching session; the third assessment was conducted immediately after the intervention period (phase B); the fourth assessment was conducted 4 weeks after the end of the intervention (phase A<sub>2</sub>). Subjects continued their activities in the geriatric revitalization program during the 12 weeks of the study, but were advised not to do knee flexor muscle stretching exercises for the duration of that period.

*Insert Table. 1*

## **Flexibility assessment**

### **Goniometry**

To determine the deficit of knee extension, we used a universal goniometer, an examination table, and a wooden device specially designed for positioning and stabilizing the subject on the examination table and adapted from the model proposed by Chan et al.<sup>34</sup> This device consisted of two vertical lateral bars attached to the examination table and a padded horizontal bar, with adjustable height according to the length of the thigh. Subjects were placed in dorsal decubitus with upper limbs to the side of the body, with hip and knees flexed at a 90° angle (Figure 1). A stabilizing belt was fastened over the pelvis and another held the thigh to the horizontal bar. A physical therapist passively moved the leg being tested toward knee extension, while the contralateral limb, with hip and knee flexed at a 90° angle, rested on the horizontal bar. Subjects were advised to report the onset of painful tension in the flexor muscles of the knee, at which point the movement was interrupted, determining the final range of motion. When this range was reached, a second physical therapist positioned the goniometer on the side of the knee, with the axis coinciding with the lateral epicondyle of the femur, the proximal arm toward the greater trochanter of the femur and the distal arm toward the lateral malleolus. The knee extension angle was measured three times and the mean was recorded. The knee extension deficit was calculated as the difference between the measured knee extension angle and the 180° angle, considered to be the greatest angle of normal extension for this joint. *Insert Figure. 1*



### **Sit-and-reach test**

Immediately following the goniometric assessment, subjects were assessed on the sit-and-reach test as follows, according to Cardoso et al.<sup>41</sup>: 1) subjects were seated on a thin foam mattress facing the sit-and-reach box; 2) the lower limbs were positioned with extended knees, hips and ankles at 90°, and soles of the feet against the box; 3) the upper limbs were positioned with extended fingers, wrists and elbows, and shoulders flexed forward, keeping one hand over the other; 4) subjects were asked to bend the trunk forward, breathing out slowly, without flexing the knees and moving the sliding ruler as far as possible. Two repetitions were performed to familiarize the subjects. After that, three repetitions for the test were recorded with 30s intervals. The mean of the three repetitions was considered the reach measure for each subject.

### **Isokinetic assessment:**

The subject was seated on the isokinetic dynamometer chair (*Biodex Multi-Joint System 3*)<sup>\*</sup> with hip flexed at 90°, trunk leaning back and held by a cross-over shoulder harness, and hands on the lateral support handles. To maintain the position of the trunk and hip, a wedge-shaped accessory designed especially for this purpose was used. To prevent possible alterations in passive torque, there was no muscle warm-up or stretching activity before the tests. A familiarization session was conducted two minutes before each passive and active test. For the passive test at 2°.s<sup>-1</sup>, familiarization consisted of 1 repetition, while for the passive and active torque tests at 60°.s<sup>-1</sup>, familiarization consisted of 3 repetitions each.

### **Passive Torque**

The knee joint was passively extended from 90° flexion at a velocity of 2°.s<sup>-1</sup>. Subjects were told to press the dynamometer stop button at the onset of painful tension. Only one repetition was conducted for this test. In order to guarantee the least muscle contraction during this assessment, the electromyographic (EMG) activity of the femoral biceps was monitored. A valid passive test must not have an EMG amplitude higher than 5% of the root mean square (RMS) calculated for a maximum voluntary isometric contraction (MVIC), as advocated by Gajdosik et al.<sup>2</sup> From the passive torque was deducted the limb weight and gravitational influence.

---

\* Biodex Medical System – Brookhaven R&D Plaza, Box 702, Shirkey, NY 11967

## EMG Assessment

EMG was collected according to criteria recommended by SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles). Surface electrodes and an eight-channel signal-conditioning module (Lynx Electronics Technologies)<sup>#</sup> were used. The simple active differential surface electrode consisted of two rectangular parallel bars of Ag/AgCl (1 cm in length, 0.2 cm in width, 1 cm apart from each other). These bars were coupled to a rectangular acrylic resin capsule 2.2 cm in length, 1.9 cm in width and 0.6 cm in height. In addition, the electrodes had a common mode rejection ratio > 100 dB, internal gain of 20 times and input impedance higher than 10 MΩ. The signal-conditioning module had a digital analogue A/D converter with a resolution of 12 bits, acquisition frequency of 1000 Hz per channel and the Aqdados data acquisition program version 4.6 (Lynx Electronics Technologies). This equipment also presented a Butterworth type filter with a 20 to 500 Hz bandpass and a gain of 50 times.

After the skin was cleansed, an electrode was attached to the belly of the femoral biceps. The EMG amplitude, captured during the MVIC and in the passive flexor torque test at  $2^{\circ} \cdot s^{-1}$ , was estimated by the RMS mean calculated in 0.25 ms windows. Two MVIC of the knee flexors was obtained after the active torque test. In order to guarantee the elimination of any rest noise, background EMG noise activity was collected over a 10s period with the subject resting quietly. The mean of the RMS EMG activity within the middle 5s window of 10s was calculated, and this background noise activity was deducted from the RMS EMG activity during the passive torque trial, similarly to the procedure followed by Gajdosik et al.<sup>2</sup>

### Active torque

The aforementioned positioning for passive torque at  $2^{\circ} \cdot s^{-1}$  was used to determine active torque. Two procedures were followed: a) the recording of passive eccentric and concentric flexor isokinetic torque at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  (2 series of 5 repetitions) and; b) the recording of total eccentric and concentric flexor isokinetic torque at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  (2 series of 5 repetitions). There was a two-minute interval between each series and each test. Passive and active isokinetic torque of the knee at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  was registered in range of motion of  $90^{\circ}$  to  $20^{\circ}$  of flexion.

---

<sup>#</sup> Lynx Electronics Technologies - Sales Júnior Street, 476 – São Paulo - Brazil

A routine was developed in MatLab version 7.0<sup>‡</sup> to calculate the active flexor torque for the knee. First, gravity and limb weight were corrected to determine the eccentric and concentric passive flexor torque at 60 °/s<sup>-1</sup>. Next, the value of the passive flexor torque at 60 °/s<sup>-1</sup>, at the corresponding angle, was subtracted from the values of the total eccentric and concentric flexor peak torques at 60 °/s<sup>-1</sup> (active peak torque = total peak torque at 60 °/s<sup>-1</sup> – passive torque at the angle of total peak torque at 60 °/s<sup>-1</sup>).

### **Warm-up protocol**

The warm-up protocol used was previously tested and validated in young and elderly subjects under thermographic assessment of the posterior part of the thigh (Ferreira et al., 2008; submitted). The subjects were placed in a standing position with the hands on stationary lateral support handles, aligned spine and one leg stance on the non-dominant limb. The dominant limb performed isotonic knee flexion exercises with a 1 kg weight strapped with velcro above the ankle (Figure 2). The knee flexion exercises were performed continually for the entire range of motion at a rate of 20 repetitions per minute (eccentric and concentric phases) for 3 minutes, with the help of a metronome. Subjects were told to stop the exercises if they experienced pain, cramping or inability to complete the knee ROM. None of the subjects had to interrupt the exercises.

*Insert Figure.2*

### **Stretching protocol**

The stretching protocol (Figure 3), adapted from Chan et al.<sup>34</sup>, was followed on alternate days, three times a week, for four consecutive weeks according to the following procedures: 1) The subject was placed in a seated position on a mattress with the back vertically aligned; 2) next, the contralateral limb was kept slightly abducted and flexed at the knee and hip, with the foot resting on the ground; 3) after that, the subject put a non-elastic strip of fabric, 10 cm in width by 1 m in length, across the sole of the foot of the limb to be stretched, and held the ends firmly with both hands; 4) the subject then extended the knee as far as possible, bending the trunk forward as far as possible, and maintained that position for 30 seconds; 5) finally, the subject was instructed to relax and return to the initial position for a

---

<sup>‡</sup> The MathWorks, Inc. 24 Prime Park Way, Natick, MA 01760, USA.

30-second rest. In each session, the stretch/relaxation protocol was repeated six consecutive times under the supervision of two previously trained physical therapists.

In the warm-up+stretch group, subjects were submitted to stretching sessions immediately after the end of the warm-up exercises.

*Insert Figure 3*

### **Data analysis:**

The dependent variables measured in the four assessments were: knee extension deficit measured with the goniometer ( $^{\circ}$ ); reach measure on the sit-and-reach test (mm); the angle ( $^{\circ}$ ) and eccentric/concentric active flexor peak torque at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  ( $Nm \cdot s^{-1}$ ); and (eccentric) passive flexor peak torque at  $2^{\circ} \cdot s^{-1}$  of the knee ( $Nm \cdot s^{-1}$ ). A two-way ANOVA (2 groups x 4 assessments) with repeated measures was applied to test the intragroup and intergroup differences between the means of each dependent variable. Once the difference between means was detected, the Bonferroni's contrast test was used to locate the differences. An independent Student t-test was used to compare the groups as to variable age, weight and height. The significance level for all analyses was 5% ( $p < 0.05$ ). SPSS 13.0 for Windows<sup>o</sup> was used for all statistical calculations.

### **Results**

There was gain in flexibility after intervention (phase B) in both groups, identified by goniometry ( $p = 0.001$ ) and by the reach measure on the sit-and-reach test ( $p = 0.001$ ), Table 2. The improvement in flexibility was maintained for the 4 weeks following the end of intervention (phase A<sub>2</sub>). There was no difference between groups.

*Insert Table.2*

After the intervention (phase B), there was also an increase in total eccentric ( $p = 0.002$ ) and concentric ( $p = 0.004$ ) flexor peak torque in both groups with no difference between groups (Table 2). Similar results were observed for the eccentric ( $p = 0.001$ ) and concentric ( $p = 0.005$ ) active flexor torque (Table 2). Gains for total and active flexor peak torque were maintained in phase A<sub>2</sub> (Table 2).

There was no difference in passive flexor torque between assessments for both groups ( $p > 0.05$ ), Table 2.

---

<sup>o</sup> SPSS Inc. 233 South Wacker Drive. Chicago IL 60606. United States.

There was a small but significant reduction ( $p=0.046$ ) in the eccentric flexor peak torque angle after the intervention (phase B), for both groups, with no difference between groups. This reduction was maintained in phase A<sub>2</sub>.

## DISCUSSION

The results of this study showed new evidence that a regular static stretching program for knee flexor muscles can improve flexibility and active torque in the elderly. It was interesting to note that these effects were maintained for four weeks, which indicates that the musculoskeletal adaptation was persistent. However, the association with warm-up exercises did not cause additional gains to the stretching sessions, for any of the analyzed variables.

Various studies have shown that a regular hamstring stretching program improves flexibility in young subjects<sup>1,16,19,33,34,35</sup> and elderly subjects.<sup>11</sup> This result has been attributed to various factors, such as neural adaptation of the Golgi tendon organ (GTO) and muscle spindle,<sup>1,16,19</sup> viscoelastic alterations to the connective tissue,<sup>2</sup> increase in stretching tolerance,<sup>33</sup> and a possible increase in sarcomeres in series in the muscle fibers.<sup>12,13,14,15,42</sup> The flexibility gain observed in the present study, which continued after the intervention period, indicated persistent adaptations in the muscle group submitted to intervention. It is also possible that the increase in active torque contributed to the gain and maintenance of flexibility. Future complementary studies would be useful, e.g., to assess a possible hypertrophic response of the muscles of elderly subjects submitted to stretching protocols, as the gain in muscle mass can also be associated with increase in torque.

Interestingly, despite improvement in flexibility, there was no change in passive torque in the knee flexors submitted to the stretching program. A hypothesis for the lack of alteration in passive torque may be that the occurrence of viscoelastic adaptations of the connective tissue was compensated by structural changes in the muscle tissue, as previously suggested by some authors.<sup>12,13,14,15</sup> According to Gajdosik<sup>12</sup>, adaptations in length and extensibility may occur without changes in measured viscoelastic properties in the normal muscle length. Furthermore, there are indications that flexibility and passive stiffness are different properties and should be analyzed independently.<sup>43</sup>

Unlike the results of this present study, which did not find changes in passive torque, some authors found an increase<sup>2,33,34,35</sup> or decrease<sup>36</sup> after a regular stretching program. Nevertheless, most of these studies were conducted with young subjects,<sup>33,34,35,36</sup> making it difficult to compare them to the results of the present study on the elderly subjects. Only Gajdosik et al.<sup>2</sup> analyzed the long-term effect of stretching on passive torque in the elderly and identified an increase in this variable. However, they assessed another muscle group (ankle plantar flexors), submitted to a greater period of intervention (8 weeks) than the present study (4 weeks), hampering the comparison between results. According to Chan et al.,<sup>34</sup> the duration of the stretching program is also a critical factor in the investigation into alterations in passive torque.

An interesting result found in our study was the increase in total torque and eccentric and concentric active flexor torque. Taking into account the fact that passive torque did not change, the increase in total torque was probably due to the increase in active torque. This increase can be the consequence of mechanical and/or morphological adaptations of the contractile tissue as well as neural adaptations in response to stretching. In regard to neural adaptations, a reduction in co-activation and inhibitory function of the GTO (autogenic inhibition), due to training, may favor greater recruitment of motor units by the agonist muscle and contribute to increase in strength.<sup>44</sup> It is possible that the regular stretching sessions performed in the present study caused adaptation in the GTO and contributed to the increase in active torque.

The increase in active torque after a regular stretching program was also reported by Worrell et al.<sup>37</sup> and, more recently, by Kokonen et al.<sup>39</sup> in studies on young subjects. The present study makes a new contribution to the literature by indication that this adaptative behavior also occurs in the elderly.

Still in regard to strength increase as a long-term effect of stretching, Lardner<sup>45</sup> states that an improvement in weight lifting is directly related to a better usage of elastic energy as a result of a decrease in the stiffness of series elastic elements. A recent review<sup>38</sup> indicated that regular, but not acute, stretching may increase strength and isometric and isokinetic muscle power, confirming the results presented here.

Another possibility for the increase in active torque would be the occurrence of muscle overload, with greater motor unit recruitment, during the stretching sessions. However, in a recent pilot study (non-published results), we verified that during stretching exercises little EMG activity of the knee flexors was recorded (15% of MVIC), an overload level considered insufficient for muscle strengthening.<sup>43,46</sup>

Additionally, a decrease in the flexor peak torque angle, also verified in the present study, indicated possible changes in the length/tension relationship after stretching. These findings are supported by Brockett et al.<sup>47</sup> who found a shift in the peak torque angle toward the greater muscle length after an eccentric hamstring training protocol. However, the results of the present study are preliminary and subsequent studies are necessary to better assess the length/tension relationship and its possible adaptations regarding stretching in the elderly.

It was also interesting to note that muscle warm-up prior to the stretching sessions did not cause additional effects on the variables analyzed in the present study. The lack of warm-up effects may be associated with two factors: a) the group studied consisted of active elderly subjects who did regular physical exercise and warm-up, and b) the warm-up exercise was localized, of low intensity and short duration. It may be that the protocol used was insufficient to promote viscoelastic muscle alterations. Thus, further studies are needed to analyze these factors in more detail and contribute to the understanding of muscle warm-up mechanisms in the elderly. These results bring a new contribution to the literature, given the lack of similar studies on individuals of this age group.

## **CONCLUSION**

The present study introduces new evidence that a regular static stretching program of knee flexor muscles can improve flexibility and active torque in the elderly. The effects are persistent, indicating muscle adaptation, and do not appear to be influenced by prior muscle warm-up.

**ACKNOWLEDGMENTS:** To Jerônimo Farias de Alencar for your technical assistance.

## **REFERENCES**

1. Nelson R T, Bandy W D. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athlet Train.* 2004; 39:254–258.
2. Gajdosik RL, Vander Linden DW, McNair PJ, Williams AK, Riggin TJ. Effects of an eight-week stretching program on the passive-elastic properties and function of the calf muscles of older women. 2005; *Clin Biomech.* 20:973–983.

3. Malliaropoulos N, Papalexandris S, Papalada A, Papacostas E. The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004; 36:756–759.
4. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am. J. Sports Med.* 1999;27:173-176.
5. Shrier I. When and whom to stretch? *The Physician and Sportsmedicine.* 2005; 33.
6. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D’Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am. J. Sports. Med.* 2003;31:41-46.
7. Safran MR, Seaber AV, Garrett WE. Warm-up and muscular injury prevention: An update. *Sports Med.* 1989;8: 239-249.
8. Nonaka H, Mita K, Watakabe M, Akataki K, Suzuki N, Okuwa T, Yabe K. Age-related changes in the interactive mobility of the hip and knee joints: a geometrical analysis. *Gait Posture.* 2002; 15:236–243.
9. Klein DA, Stone WJ, Phillips WT, Gangi J, Hartman S. PNF training and physical function in assisted-living old adults. *Journal of Aging and Physical Activity.* 2002; 10:476-488.
10. Alter MJ. *Science of Flexibility.* 2<sup>nd</sup> edition, Champaign, Human Kinetics, 1996.
11. Feland JB, Myrer JW, Schulthies SS, Fellingham GW, Measom GW. The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Phys Ther.* 2001; 81:1100-1117.
12. Gajdosik R L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech.* 2001;16:87-101.
13. Coutinho EL, Gomes AR, Franca CN, Oishi J, Salvini TF. Effect of passive stretching on the immobilized soleus muscle fiber morphology. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2004; 37:1853-1861.
14. Gomes ARS, Cornachione A, Salvini TF, Mattiello-Sverzut AC. Morphological effects of two protocols of passive stretch over the immobilized rat soleus muscle. *J. Anat.* 2007; 210:328 –335.



15. Peviani SM, Gomes ARS, Moreira RFC, Moriscot AS, Salvini TF. Short bouts of stretching increase myo-d, myostatin and atrogin-1 in rat soleus muscle. *Muscle Nerve*. 2007;35:363–370.
16. Roberts JM, Wilson K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br J Sports Med*. 1999; 33:259-263.
17. Bandy WD, Irion JM., Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther*. 1997;77:1090–1096.
18. Zakas A, Balaska P, Grammatikopoulou MG, Zakas N, Vergou A. Acute effects of stretching duration on the range of motion of elderly women. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2005;9:270-276.
19. Davis DS, Ashby PE, Mccale KL, Mcquain JA, Wine JM. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *J Strength Cond Res*. 2005; 19:27-32.
20. Knight CA, Rutledge CR, Cox ME, Acosta M, Hall SJ. Effect of superficial heat, and active exercise warm-up on the extensibility of the plantar flexors. *Phys Ther*. 2001; 81:1206-1214.
21. Wenos DL, Konin JG. Controlled warm-up intensity enhances hip range of motion. *J Strength Cond Res*. 2004; 18:529-533.
22. De Weijer VC, Gorniak GC, Shamus E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther*. 2003; 33:727-
23. Zakas A, Doganis G, Zakas N, Vergou A. Acute effects of active warm-up and stretching on the flexibility of elderly women. *J. Sports. Med. Phys. Fitness*. 2006; 46:617-22.
24. Taylor BF, Waring CA, Brashear TA. The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static stretch on hamstring muscle length. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*. 1995; 21:283-6.
25. Burke DG, Holt LE, Rasmussen R, MacKinnon NC, Vossen JF, Pelham TW. Effects of hot or cold water immersion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *J Athlet Train*. 2001; 36:16–19.

26. Draper DO, Castro JL, Feland B, Schulthies S, Eggett D. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstring flexibility more than prolonged stretching alone. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.* 2004; 34:13-20.
27. Peres SE, Draper DO, Knight KL, Ricard MD. Pulsed shortwave diathermy and prolonged long-duration stretching increase dorsiflexion range of motion more than identical stretching without diathermy. *J Athlet Train.* 2002;37:43–50.
28. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of cold and hot water immersion on the mechanical properties of human muscle and tendon in vivo. *Clin Biomech.* 2005;20:291-300.
29. Brasileiro JS, Faria AF, Queiroz LL. Influence of local cooling and warming on the flexibility of the hamstring muscles. *Braz. J. Phys. Ther.* 2007;11:57-61.
30. Shellock FG, Prentice WE. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.* 1985; 2:267-78.
31. Hardy M, Woodall W. Therapeutic effects of heat, cold, and stretch on connective tissue. *J Hand Ther.* 1998;11:148-56.
32. Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med.* 2003;33:483-98.
33. LaRoche DP, Connolly DAJ. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am J Sports Med,* 2006;34:1000-7.
34. Chan SP, Hong Y, Robinson PD. Flexibility and passive resistance of hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2001; 11:81–86.
35. Reid D A, McNair P J. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004;36:1944-1948.
36. Mahieu NN, McNair P, Muynck MD, Stevens V, Blanckaert I, Smits N, Witvrouw E. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007; 39:494-501.
37. Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orth. Phys. Ther.* 1994; 20:154-159.
38. Shrier I. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med.* 2004;14:267–273.

39. Kokkonen J, Nelson AG, Eldredge C, Winchester J. Chronic static stretching improves exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007;39:1825-1831.
40. Lindquist AR, Prado CL, Barros RML, Mattioli R, Lobo da Costa PH, Salvini TF. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation effects on poststroke gait. *Phys Ther.* 2007; 87:1144-1154.
41. Cardoso JR, Azevedo NCT, Cassano CS, Kawano MM, Âmbar G. Intra and interobserver reliability of angular kinematic analysis of the hip joint during the sit-and-reach test to measure hamstring length in university students. *Rev Braz Fisioter.* 2007; 11:133-138.
42. Deyne PGD. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys Ther.* 2001;81:819-27.
43. Aquino CF, Gonçalves GGP, Fonseca ST, Mancini MC. Analysis of the relation between flexibility and passive stiffness of the hamstrings. *Braz. J. Sport Med.* 2006;12:195-200.
44. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. 2<sup>nd</sup> edition, Champaign, Human Kinetics, 1999.
45. Lardner R. Stretching and flexibility: its importance in rehabilitation. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 2001; 5:254-263.
46. Komi PV. How important is neural drive for strength and power development in human skeletal muscle? In: *Biochemical Exercise VI*. Champaign, Human Kinetics, 1986.
47. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscle adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001;33:783-790.

Table 1. Experimental Design.

<b>Phases</b>	<b>A<sub>1</sub></b>				<b>B</b>				<b>A<sub>2</sub></b>				
<b>Assessments</b>	<b>1<sup>st</sup></b>				<b>2<sup>nd</sup></b>				<b>3<sup>rd</sup></b>				<b>4<sup>th</sup></b>
<b>Weeks</b>	<b>1<sup>st</sup></b>	<b>2<sup>nd</sup></b>	<b>3<sup>rd</sup></b>	<b>4<sup>th</sup></b>	<b>5<sup>th</sup></b>	<b>6<sup>th</sup></b>	<b>7<sup>th</sup></b>	<b>8<sup>th</sup></b>	<b>9<sup>th</sup></b>	<b>10<sup>th</sup></b>	<b>11<sup>th</sup></b>	<b>12<sup>th</sup></b>	

Phases A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>, period without intervention; Phase B, period with intervention.

Table 2 – Assessment of flexibility and isokinetic torque in elderly subjects submitted to regular muscle stretching in the 4 assessments (mean (SD)).

Phase Assessment	A <sub>1</sub>	B	A <sub>2</sub>	
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>
	<b>Stretch group</b>			
	<b>n=14</b>	<b>n=14</b>	<b>n=14</b>	<b>n=13</b>
<b>Knee extension deficit (°)</b>	26.6±4.9	27.2±5.5	9.7±3.7 *	9.3±3.8 *
<b>Sit-and-reach test (mm)</b>	197.5±74.4	206.3±77.4	238.4±72.7 *	238.8±74.2 *
<b>Total/ECC/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	114.2±37.3	111.3±37.6	117.8±40.3 *	119.0±42.3 *
<b>Total/Conc/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	94.9±35.7	95.6±36.3	102.8±36.5 *	103.7±39.8 *
<b>Active/ECC/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	94.4±31.5	91.5±32.3	98.7±33.9 *	99.7±37.3 *
<b>Active/Conc/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	74.9±31.4	74.7±32.4	82.7±31.9 *	84.3±35.2 *
<b>ECC/Flexor/PT/Angle (°)</b>	27.1±13.8	28.4±11.4	24.1±5.9 **	24.9±6 **
<b>Conc/Flexor/PT/Angle (°)</b>	20.1±4.9	20.1±4.7	20.1±4.4	20.2±4.3
<b>Passive/ECC/Flexor/PT-2° (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	17.9±6.4	16.4±5.7	16.5±4.9	15.1±6.2
	<b>Warm-up+stretch group (n=14)</b>			
	<b>n=14</b>	<b>n=14</b>	<b>n=14</b>	<b>n=13</b>
<b>Knee extension deficit (°)</b>	23.7±3.6	24.9±2.0	9.3±3.7 *	9.5±2.8 *
<b>Sit-and-reach test (mm)</b>	182.7±71.2	187.2±71.4	223.2±61.2 *	214.4±71.3 *
<b>Total/ECC/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	119.5±44.4	124.5±47.8	128.9±47.6 *	130.2±49.1 *
<b>Total/Conc/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	97.5±42.1	103.7±44.9	108.3±43.1 *	111.4±47.8 *
<b>Active/ECC/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	103.7±39.2	106.5±41	110.4±42.2 *	112±42.9 *
<b>Active/Conc/Flexor/PT (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	81.2±37.5	85.9±39.9	89.5±38.1 *	92.9±42.5 *
<b>ECC/Flexor/PT/Angle (°)</b>	28.4±9.4	28.6±11.1	25.6±6.3 **	25.2±7.4 **
<b>Conc/Flexor/PT/Angle (°)</b>	20.1±5	20.4±4.8	20.1±4.4	20.1±4.3
<b>Passive/ECC/Flexor/PT-2° (Nm.s<sup>-1</sup>)</b>	15.1±6.7	15.8±3.8	14.6±5.1	15±3.4

Total and active peak torques (PT) were assessed at 60°s<sup>-1</sup>. Passive PT was assessed at 2°s<sup>-1</sup>. ECC = eccentric; Conc = concentric; \* = p<0.01 compared to 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> assessment; \*\* = p<0.05 compared to 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> assessment;

**FIGURE LEGENDS**

Figure 1 – Positioning of the subject for goniometric assessment.

Figure 2 – Warm-up exercise for knee flexors with a 1 kg weight.

Figure 3 – Posture used for the stretching protocol

**FIGURE 1**

**FIGURE 2****FIGURE 3**