

# O EFEITO DO EXERCÍCIO SOBRE A ESTABILIDADE ANTERIOR DO JOELHO

## *Exercise's effect on the anterior knee stability*

Alessandro Haupenthal<sup>a</sup>, André Luiz Almeida Pizzolatti<sup>b</sup>, Giuliano Mannrich<sup>c</sup>,  
Marcos Toshifumi Kimura<sup>d</sup>, Fábio Sprada de Menezes<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Fisioterapeuta do Figueirense Futebol Clube, Pesquisador do laboratório de pesquisas em Biomecânica Aquática da Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC - Brasil, e-mail: dedsnet@yahoo.com.br

<sup>b</sup> Fisioterapeuta, Mestrando em Ciências do Movimento Humano na Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC - Brasil, e-mail: rpizzolatti@terra.com.br

<sup>c</sup> Fisioterapeuta do Figueirense Futebol Clube, Professor da Estácio de Sá, Florianópolis, SC - Brasil, e-mail: gmannrich@gmail.com

<sup>d</sup> Fisioterapeuta do Figueirense Futebol Clube, Florianópolis, SC - Brasil, e-mail: marcos\_kimura@hotmail.com

<sup>e</sup> Professor da Estácio de Sá, Florianópolis, SC - Brasil, e-mail: fabio\_1711@yahoo.com.br

---

### Resumo

**OBJETIVO:** O objetivo do presente trabalho foi verificar na literatura os efeitos do exercício na estabilidade anterior do joelho. **MÉTODO:** Foi realizada busca no portal de periódicos da CAPES e pelo sistema comutação bibliográfica, sendo incluídos somente artigos em língua inglesa publicados no período de 1980 a 2007. **RESULTADO:** Os estudos analisados demonstraram que exercícios como corrida, cicloergômetro, voleibol, basquetebol, esqui, movimentos com mudanças bruscas de direção ou ziguezague são capazes de provocar um aumento momentâneo do deslocamento anterior da tibia. Contudo, este resultado não foi evidenciado após a natação, exercício de extensão do joelho, e agachamento. **CONCLUSÃO:** O exercício pode provocar aumento da incursão anterior do joelho. Este aumento na incursão anterior é relatado em alguns trabalhos como passageiro, uma vez que a estabilidade retorna ao normal após período de recuperação.

**Palavras-chave:** Exercício. Ligamento cruzado anterior. Reabilitação.

### Abstract

**OBJECTIVE:** The aim of this study was to verify in literature the exercise effects in anterior knee stability. **METHODS:** "Portal periódicos CAPES" and "COMUT" databases were searched for studies. Only English papers published from 1980 to 2007 were included. **RESULTS:** The analyzed studies had demonstrated that exercises as running, cycloergometer, volleyball,

*basketball, skiing, movements with rapidly changes of direction or zigzag are capable to provoke a momentary increase in tibia anterior displacement. However, this result was not evidenced in swimming, extension of the knee exercise and squat. CONCLUSION: The exercise can increase knee anterior incursion. This increase is written in some works as temporary, because the stability returns to normal after recovery period.*

**Keywords:** *Exercise. Anterior cruciate ligament. Rehabilitation.*

## INTRODUÇÃO

A estabilidade articular é essencial para a prática de atividades esportivas. Essa estabilidade é provida por ligamentos, cápsula articular e pelo estado de ativação muscular (1). O ligamento cruzado anterior (LCA) é relatado como o principal estabilizador anterior do joelho, sendo responsável por 75% a 85% da contenção do deslocamento anterior da tibia em relação ao fêmur (2). Além disso, esse ligamento apresenta relevante contribuição sensorial para o controle neuromuscular e para a estabilidade articular dinâmica (3, 4).

O termo estabilidade articular dinâmica define a habilidade da musculatura em torno do joelho em manter um alinhamento articular apropriado (5). Neste contexto, a musculatura isquiotibial apresenta uma importante função estabilizadora ao impedir o deslocamento anterior excessivo da tibia. Para isso, mecanorreceptores presentes no LCA disparam um *input* sensorial a medida em que aumenta a tensão no ligamento, obtendo como resposta uma ativação isquiotibial reflexa protetora (6-13) (Figura 1). Assim, o sinergismo LCA-isquiotibiais equilibra as forças anteriores no joelho, aumentando a congruência e a estabilidade articular (4,14-19).

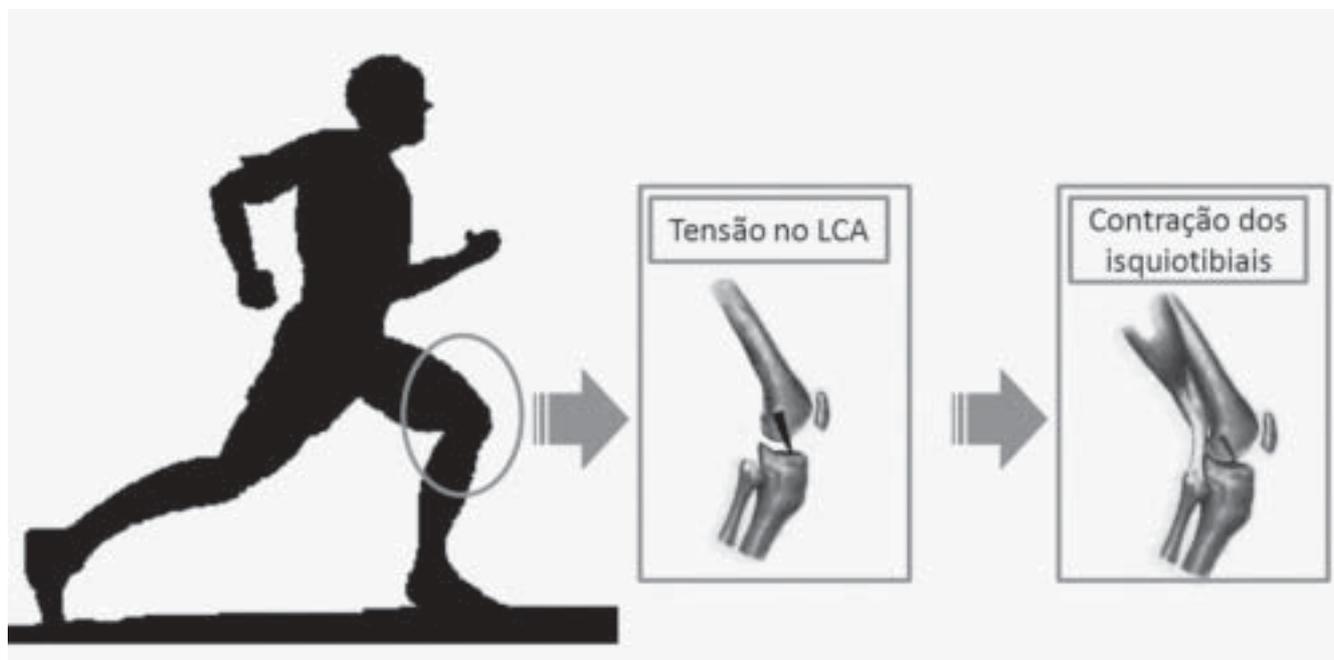


FIGURA 1 - Reflexo de proteção LCA – Isquiotibiais. A partir da tensão no LCA ocorre uma contração da musculatura para impedir que ocorra a anteriorização excessiva da tibia sobre o fêmur

O aumento da incursão anterior da tíbia sobre o fêmur pode causar prejuízos para as estruturas internas do joelho. Com isso, podem ser observadas lesões do próprio LCA, de um dos meniscos, da cartilagem, entre outros. A realização de exercícios físicos pode evitar o aumento da incursão anterior do joelho, otimizar o reflexo LCA-isquiotibiais e fortalecer o LCA, produzindo um aumento de cerca de 20 % da força tênsil dos ligamentos (19). No entanto, apesar desses benefícios, durante a prática de exercícios podem ocorrer alterações na função do LCA, resultando em lassidão no ligamento e conseqüente aumento do deslocamento anterior do joelho. Isso pode provocar uma condição favorável para lesões das estruturas internas do joelho. Por isso, a prescrição dessas atividades deve ser criteriosa, respeitando-se o nível de condicionamento dos sujeitos, a capacidade de realização da tarefa solicitada e um tempo de recuperação suficiente entre as sessões de exercício.

A ciência dos possíveis efeitos do exercício sobre a estabilidade do joelho é fundamental para a prescrição de atividades durante um programa de reabilitação. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo verificar na literatura os efeitos do exercício na estabilidade anterior do joelho.

## MÉTODOS

Os dados para a elaboração da presente pesquisa foram coletados no período de março de 2007 a março de 2008 no portal de periódicos da CAPES e pelo sistema comutação bibliográfica, uma vez que o portal de dados on-line apresenta limite de data. Foram selecionados artigos completos em língua inglesa publicados entre 1980 a 2007, a partir dos unitermos: *knee e exercise*, *ACL e exercise*, *knee e laxity*, *ACL e laxity e exercise e laxity*.

## RESULTADOS

Dos 15 artigos encontrados que analisaram o exercício e a estabilidade anterior do joelho, 11 observaram aumento significativo da incursão anterior da tíbia sobre o fêmur. Segue abaixo um resumo das atividades que desencadearam esse aumento, os exercícios que não geraram esta resposta e uma breve discussão sobre a estabilidade anterior do joelho.

Um dos primeiros estudos a avaliar o efeito do exercício sobre o LCA foi realizado por Steiner et al. (20). Os autores avaliaram o efeito do exercício de agachamento, do basquetebol e de 10 km de corrida e observaram aumentos significativos da lassidão ligamentar nos jogadores de basquetebol e nos corredores. Corroborando os achados de Steiner et al. (20), Sakai et al. (21) demonstraram aumento da lassidão anterior do joelho em jogadoras amadoras de basquetebol após 90 minutos de uma partida. Os resultados obtidos por esses autores indicam que os movimentos cíclicos realizados durante uma partida de basquetebol são estressantes para a estabilidade da articulação e capazes de alterá-la.

Ao avaliar a corrida, Nawata et al. (22), Johannsen et al. (23) e Kirkley et al. (24) também evidenciaram aumento significativo da incursão anterior da tíbia após esse exercício. Fica claro que a corrida parece ser outra atividade estressante para a estabilidade anterior do joelho; porém, a intensidade e a duração da corrida para gerar esta alteração variaram entre os estudos e deve ser melhor investigada. Por exemplo: Nawata et al. (21), utilizaram 42 km de corrida, já Kirkley et al. (24) usaram 20 minutos. Esta variação ou falta de estabelecimento de critérios precisos para o exercício como intensidade, carga e duração devem ser estabelecidas e os próximos estudos devem atentar-se a este detalhe para que se possa no futuro responder esta questão crucial: Qual a intensidade, carga e volume são necessários para desencadear o aumento da incursão anterior do joelho? Esta indagação vale não somente para a corrida, mas para todos os exercícios a serem investigados porque, apesar dos estudos anteriores, Sailors et al. (25) não observaram aumento significativo da incursão anterior do joelho após 30 minutos de um programa com corrida. Os exercícios foram realizados em uma intensidade média de 84% da frequência cardíaca máxima, e eram compostos de 9,1 m de caminhada, 27,4 m de trote, 27,4 m de pique, 13,7 m de trote, e 13,7 m de manobras com mudança de direção em zigzague.

O voleibol também parece ser outro esporte que pode desencadear o aumento da incursão anterior do joelho (26); assim como o esqui, que embora pouco praticado no Brasil, também responde com um aumento significativo da incursão anterior do joelho (27).

Uma rotina comum durante o treinamento dos diferentes esportes e também durante a reabilitação do LCA é a combinação de exercícios durante uma sessão de treino. Sumen et al. (28) para analisar este fato utilizaram um programa de uma hora de duração. Durante esta hora os sujeitos realizavam dois quilômetros de corrida, cinco minutos de saltos, seis repetições de descida e subida de dez degraus, oito tiros de corrida de 30 m e 20 segundos de saltos laterais. Os resultados evidenciaram um aumento significativo do deslocamento anterior da tibia. Pollard et al. (29) utilizaram 15 minutos de corrida (sendo nove em ritmo forte), dois minutos de movimentos de ziguezague, dois minutos de movimentos com mudança brusca de direção para esquerda e para direita e 25 saltos de um degrau de 46 cm. O resultado foi de um aumento significativo da lassidão do joelho após os exercícios. Já Tagesson et al. (30) avaliaram um programa geralmente utilizado nos protocolos de reabilitação do LCA e obtiveram o mesmo resultado na translação anterior máxima antes e após o exercício. Em média o tempo de duração total do programa de exercícios foi de 30 minutos e consistia de 20 minutos de bicicleta, exercícios de extensão do joelho com o máximo de repetições conseguidas pelo indivíduo com carga leve e exercícios de plantiflexão e dorsiflexão do tornozelo unipodal até o número máximo de repetições conseguidas.

O pedalar, no ciclismo ou na bicicleta estacionária, é uma atividade em que os estudos são contraditórios. Nawata et al. (22) e Grana e Muse (31) obtiveram um aumento da incursão anterior do joelho após ciclismo e bicicleta estacionária, respectivamente. Já, Steele et al. (32), Belanger et al. (33) e Pollard et al. (29) não obtiveram um aumento da incursão anterior do joelho após a bicicleta estacionária. Supõe-se que para pedalar também exista um limiar de intensidade, carga e tempo de duração que deve ser analisado para que se possa aperfeiçoar a prescrição e orientação desta atividade em relação à estabilidade anterior do joelho.

Os exercícios que não causaram aumento da incursão, além da bicicleta estacionária, foram a natação (26), o agachamento (20) e a extensão do joelho em isocinético (34). Nesse último estudo foi realizado um aquecimento de dez minutos de caminhada e quatro repetições de extensão do joelho adaptativas e quatro máximas nas velocidades de 60 e 150 graus por segundo e quatro repetições adaptativas e 20 máximas a 240 graus por segundo.

O aumento do deslocamento anterior do joelho pós-exercício observado por alguns autores pode ser atribuído ao aumento transitório da lassidão do LCA. Isso ocorre por consequência de um aumento da extensibilidade das fibras colágenas ocasionado pelo aumento da temperatura (19) e pela resposta viscoelástica do ligamento à tensão (35-39). Estudos realizados por Noyes et al. (37) observaram que o ligamento sofre microrupturas durante a realização das atividades diárias, sofrendo também um processo inflamatório agudo pós-exercício (4, 27, 28, 40, 41). Estas microrupturas podem tornar o ligamento laxo e serem suficientes para resultar em instabilidade articular (42), além de gerar menor resistência tênsil durante o processo de reparação tecidual (43).

Esse aumento da lassidão do LCA, além de permitir maior deslocamento anterior da tibia, pode provocar prejuízos neuromusculares. O aumento da lassidão pode diminuir a tensão no ligamento (44) e com isso alterar a sensibilidade dos mecanorreceptores (25, 45, 46) e aumentar seu limiar de disparo (4). Essas modificações resultam, então, em atraso da ativação muscular reflexa protetora e déficit na cinestesia (4, 45, 47, 48). Existem indícios de que estas alterações neuromusculares estejam relacionadas ao processo inflamatório e persistam durante algum tempo após o exercício (41).

A associação entre desordem neuromuscular e aumento da lassidão do ligamento pode provocar um ciclo vicioso capaz de conduzir o joelho à instabilidade e ruptura do LCA. Teoricamente, se o aumento da lassidão (45, 47) e a fadiga neuromuscular em exercícios extenuantes (49-51) alteram o controle neuromuscular, haverá prejuízo nos mecanismos de estabilização articular dinâmico. Dessa forma, a estabilidade dependerá em uma maior proporção dos estabilizadores estáticos, produzindo sobrecarga ao LCA. Isso provavelmente levará a mais microrupturas, lassidão ligamentar e déficits no controle neuromuscular (Figura 2).

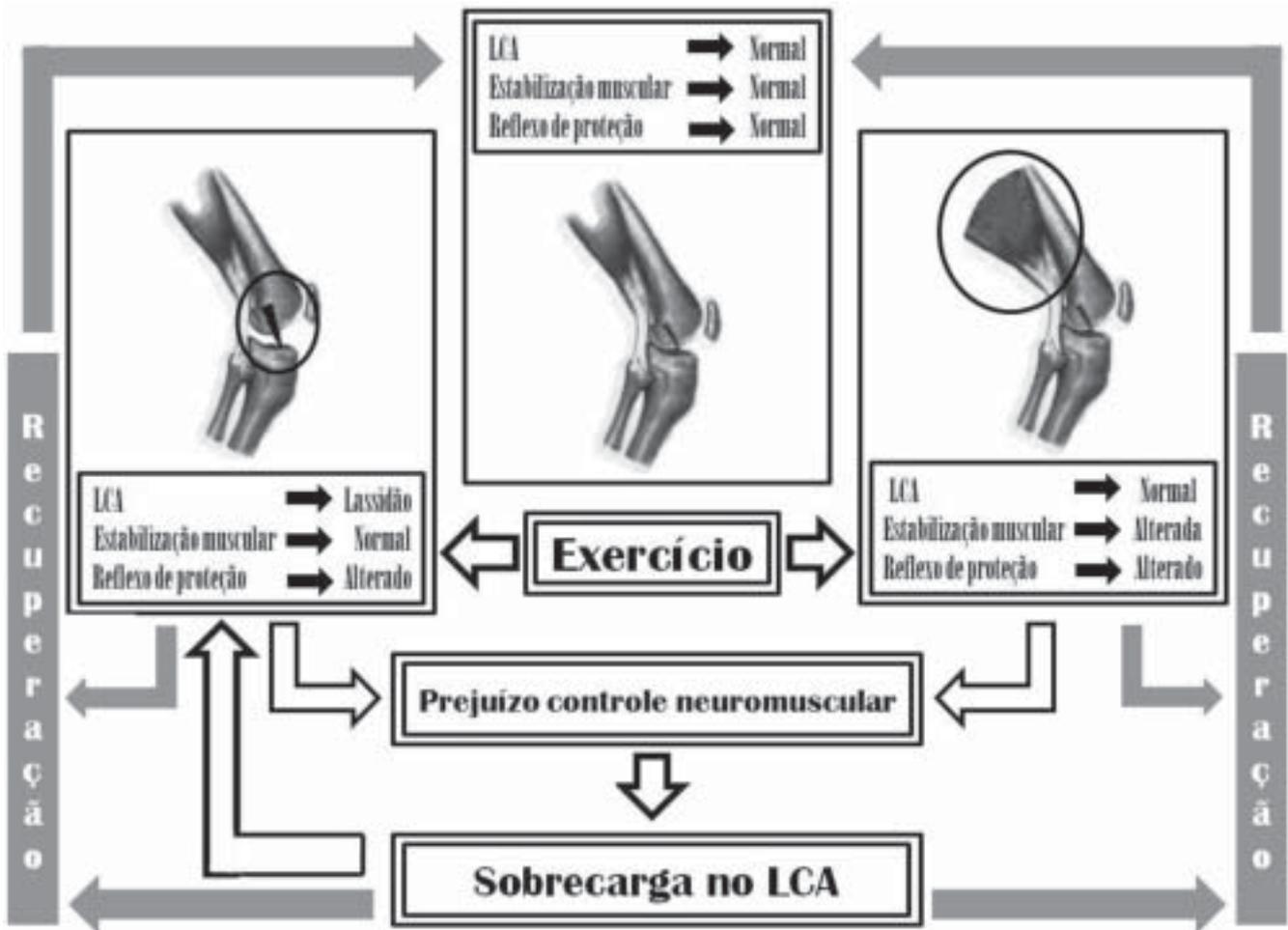


FIGURA 2 - Esquema da relação entre estabilidade anterior do joelho e o exercício

Diante dos efeitos observados sobre os estabilizadores estáticos e dinâmicos, somados à diminuição da cinestesia, aos erros de precisão dos movimentos e à alta velocidade de execução destes durante a prática de exercícios (39, 42, 52, 53), há, possivelmente, maior chance de falha do tecido ligamentar com aumento considerável do risco de lesão do LCA (4, 26, 29, 45, 47, 54). Todavia, deve-se destacar que esses efeitos são transitórios, o que torna o tempo de recuperação dado ao ligamento um fator extremamente relevante, tanto para a prescrição de treinamento físico como durante um programa de reabilitação.

O tempo de descanso adequado pode evitar que o processo inflamatório agudo torne-se crônico (4, 41), bem como permitir a recuperação proprioceptiva, da lassidão do LCA e da estabilidade do joelho. Porém, o tempo necessário permanece incerto e pode estar relacionado ao volume e intensidade de exercício realizado. Conforme Johannsen et al. (23), a lassidão permaneceu aumentada após 30 minutos de repouso, já Nawata et al. (22) demonstraram que a lassidão retornou aos níveis pré-exercício uma hora após a corrida. Sakai et al. (21) observaram esse comportamento cinco horas após partida de basquetebol e para Hoops et al. (55), o tempo adequado para articulações sinoviais deve ser o dobro do tempo de exercício.

## CONCLUSÃO

Com base nos artigos analisados observou-se que existem exercícios que desencadeiam um aumento da incursão anterior da tibia sobre o fêmur. Este aumento da instabilidade anterior é relatado como decorrente de microrupturas ao LCA e de alterações na coordenação neuromuscular. Essas alterações podem aumentar o risco de lesão neste ligamento. No entanto, como os estudos apontam que essas alterações são transitórias, faz-se necessário um tempo de recuperação entre a aplicação do próximo exercício.

## REFERÊNCIAS

1. Markolf KL, Bargar WL, Shoemaker ED. The role of joint load in knee stability. *J Bone Joint Surg Am.* 1981;63(4):570-85.
2. Grood ES, Noyes FR, Burns CBB. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg Am.* 1981;63(8):1257-69.
3. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37(1):80-4.
4. Solomonow M. Sensory – Motor control of ligaments and associated neuromuscular disorders. *J Electromyogr Kinesiol.* 2006;16(6):549-67.
5. Cohen M, Abdalla RJ. Lesões no esporte: diagnóstico, prevenção e tratamento. Rio de Janeiro: Revinter; 2003.
6. Beard DJ, Dodd CAF, Trundle HR, Simpson AHRW. Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency: a prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76(4):654-9.
7. Dyhre-Poulsen P, Krogsgaard MR. Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2191-5.
8. Friemert B, Faist M, Spengler C, Gerngross H, Claes L, Melnyk M. Intraoperative direct mechanical stimulation of the anterior cruciate ligament elicits short- and medium-latency hamstring reflexes. *J Neurophysiol.* 2005;94(6):3996-4001.
9. Jennings AG, Seedhom BB. Proprioception in the knee and reflex hamstring contraction latency. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76(3):491-4.
10. Krogsgaard M, Dyhre-Poulsen P. Cruciate ligament reflexes. *J Electromyogr Kinesiol.* 2002;12(3):177-182.
11. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* 1987;15(3):207-13.
12. Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Komatsu T, Tokuya S. Direct evidence of the anterior cruciate ligament – hamstring reflex arc in humans. *Am J Sports Med.* 2001; 29(1):83-7.
13. Tsuda E, Ishibashi Y, Okamura Y, Toh S. Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(2):63-7.
14. Imran A, O'Connor JJ. Control of knee stability after ACL injury or repair: Interaction between hamstring contraction and tibial translation. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1998;13(3):153-162.
15. Johansson H, Sjölander P, Sojka P. Actions on y-motoneurons elicited by electrical stimulation of joint afferent fibres in the hind limb of the cat. *J Physiol.* 1986;375:137-52.
16. Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;268:161-78.

17. O'Connor JJ. Can muscle co-contraction protect knee ligaments after injury or repair? *J Bone Joint Surg (Br)*. 1993;75(1):41-8.
18. Sjölander P, Johansson H, Djupsjöbacka M. Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12(3):167-76.
19. Woo SLY, Debski RE, Withrow JD, Janaushek MA. Biomechanics of knee ligaments. *Am J Sports Med*. 1999;27(4):533-43.
20. Steiner ME, Grana WA, Chillag K, Schelberg-Karnes E. The effect of exercise on anterior-posterior knee laxity. *Am J Sports Med*. 1986;14(1):24-9.
21. Sakai H, Tanaka S, Kurosawa H, Masujima A. The effect of exercise on anterior cruciate ligament in female basketball players. *Int J Sports Med*. 1992;13(7):552-4.
22. Nawata K, Teshima R, Morio Y, Hagino H, Enokida M, Yamamoto K. Anterior-posterior knee laxity increased by exercise. *Acta Orthop Scand*. 1999;70(3):261-4.
23. Johannsen HV, Lind T, Jakobsen BW, Kroner K. Exercise-induced knee joint laxity in distance runners. *Br J Sports Med*. 1989;23(3):165-8.
24. Kirkley A, Mohtadi N, Ogilvie R. Deficient or reconstructed anterior cruciate ligaments the effect of exercise on anterior-posterior translation of the normal knee and knees with deficient or reconstructed anterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med*. 2001;29(3):311-4.
25. Sailors ME, Keskula DR, Perrin DH. Effect of running on anterior knee laxity in collegiate-level female athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995;21(4):233-9.
26. Kvist J, Cunningham D, Tigerstrand-Wejlemark H. Gender differences in post-exercise sagittal knee translation: a comparison between elite volleyball players and swimmers. *Knee*. 2006;13(2):132-6.
27. Yamagishi T, Fujii K. Anterior knee laxity in skiers before and after racing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1998;6(3):169-72.
28. Sumen, Y, Ochi M, Adachi N, Urabe Y, Ikuta Y. Anterior laxity and MR signals of the knee after exercise. *Acta Orthop Scand*. 1999;70(3):256-60.
29. Pollard CD, Braun B, Hamill J. Influence of gender, estrogen and exercise on anterior knee laxity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006;21(10):1060-6.
30. Tagesson S, Öberg B, Kvist J. Passive and dynamic translation in the knee is not influenced by knee exercises in healthy individuals. *Scand J Med Sci Sports*. 2005;15(3):139-47.
31. Grana WA, Muse G. The effect of exercise on laxity in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Am J Sports Med*. 1988;16(6):586-8.
32. Steele JR, Milburn PD, Roger GJ. Warm-up effect on active and passive arthrometric assessment of knee laxity. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(7):829-36.
33. Belanger MJ, Moore DC, Crisco III JJ, Fadale PD, Hulstyn MJ, Ehrlich MG. Knee laxity does not vary with the menstrual cycle, before or after exercise. *Am J Sports Med*. 2004;32(5):1150-7.
34. Maitland ME, Ron Lowe PT, Stewart S, Tak Fung PT, Bell GD. Does cybex testing increase knee laxity after anterior cruciate ligament reconstructions? *Am J Sports Med*. 1993;21(5):690-5.
35. Nigg BM, Herzog W. Biomechanics of the musculo-skeletal system. New York: Wiley; 1994.
36. Nordin M, Frankel VH. Biomecânica básica do sistema musculoesquelético. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003.
37. Noyes FR, Grood ES. The strength of anterior cruciate ligament in humans and Rhesus monkeys. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(8):1074-82.

38. Pioletti DP. Viscoelastic properties of soft tissues: application to knee ligaments and tendons. [these]. Lausanne: Departement de Physique Ecole Polytechnique Federale de Lausanne; 1997.
39. Noyes FR, Delucas, JL, Torvik, PJ. Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: an analysis of strain-rate sensitivity and mechanisms of failure in primates. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(2):236-53.
40. Provenzano PP, Heisey D, Hayashi K, Lakes R, Vanderby Jr R. Subfailure damage in ligament: a structural and cellular evaluation. *J Appl Physiol.* 2002;92(1):362-71.
41. Solomonow M, Baratta RV, Zhou BH, Burger E, Zieske A, Gedalia A. Muscular dysfunction elicited by creep of lumbar viscoelastic tissue. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):381-96.
42. Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD. Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(3):350-5.
43. Thornton GM, Shrive NG, Frank CB. Healing ligaments have decreased cyclic modulus compared to normal ligaments and immobilization further compromises healing ligament response to cyclic loading. *J Orthop Res.* 2003;21(4):716-2.
44. Arnold MP, Lie DTT, Verdonchot N, Graaf R de, Amis AA, Kampen A van. The remains of anterior cruciate ligament graft tension after cyclic knee motion. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):536-42.
45. Sbriccoli P, Solomonow M, Bing-He Zhou EE, Lu Y, Sellards R. Neuromuscular response to cyclic loading of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):543-51.
46. Shultz S, Carcia CD, Perrin DH. Knee joint laxity affects muscle activation patterns in the healthy knee. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(4):475-83.
47. Chu D, LeBlanc R, D'Ambrosia P, D'Ambrosia R, Baratta RV, Solomonow M. Neuromuscular disorder associated with anterior cruciate ligament creep. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(3):222-30.
48. Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports.* 2001;11(2):64-80.
49. Lepers R, Hausswirth C, Maffiuletti N, Brisswalter J, Hoecke JV. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(11):1880-6.
50. Rozzi SL, Lephart SM, Fu FH. Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. *J Athl Train.* 1999;34(2): 106-14.
51. Wojtys ED, Wylie BB, Huston LJ. The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knee. *Am J Sports Med.* 1996;24(5):615-21.
52. Lee M, Hyman W. Modeling of failure mode in knee ligament depending on the strain rate. *BMC Musculoskelet Disord.* 2002;3(3):1-8.
53. Pioletti DP, Rakotomanana LR, Leyvraz PF. Strain rate effect on the mechanical behavior of the anterior cruciate ligament-bone complex. *Med Eng Phys.* 1999;21(2):95-100.
54. Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am J Sports Med.* 1999;27(3):312-9.
55. Hoops H, Zhou B, Solomonow M, Patel V. Short rest between cyclic flexion period is a risk factor for a lumbar disorder. *Clin Biomech.* 2007;22(7):745-57.

Recebido: 20/06/2008

*Received:* 06/20/2008

Aprovado: 25/11/2008

*Approved:* 11/25/2008