

## Revisão

# Adaptações biomecânicas na marcha após reconstrução do ligamento cruzado anterior

## *Biomechanical gait adaptations after anterior cruciate ligament reconstruction*

Cleilda Ribeiro Tótola

.....

Fisioterapeuta, Centro de Reabilitação Física do Estado do Espírito Santo - CREFES

### Palavras-chave:

Adaptações biomecânicas, ligamento cruzado anterior, marcha.

### Key-words:

Biomechanical adaptations, anterior cruciate ligament, gait.

### Resumo

A incidência da lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) do joelho tem crescido progressivamente ao longo dos anos. Atualmente é uma das lesões ortopédicas mais freqüentes. A cirurgia de LCA produz claras alterações na cinética e atividade funcional de toda a extremidade inferior durante a marcha. O objetivo deste trabalho foi, através da revisão de literatura, analisar as principais adaptações biomecânicas da marcha e suas causas em indivíduos que se submeteram à reconstrução do LCA, e desta forma contribuir para que programas de reabilitação fisioterápica sejam mais adequados ao pós-operatório deste tipo de lesão.

### Abstract

The incidence of lesions of anterior cruciate ligament (ACL) in knee progressively increased during the last years. Nowadays, this is one of the most common orthopedic lesions. The ACL surgery cause notorious modifications on kinetics and functional activities of the whole inferior extremity during gait. The aim of this work was, through literature review, to analyze the main biomechanical adaptations of gait and their causes in individuals submitted to ACL reconstruction surgery, and to contribute to adapt physical therapy programs after this kind of surgery.

---

Artigo recebido em 6 de novembro de 2002; aceito em 28 de maio de 2003.

Endereço para correspondência: Rua Venceslau Brás Machado, 39 Glória 29122-430 Vila Velha ES, Tel:(27)3239-9396,

E-mail: cleilda@hotmail.com

---

## Introdução

Poucos estudos têm fornecido avaliações compreensivas da biomecânica de toda a extremidade inferior durante movimentos humanos diários ainda quando uma lesão a um simples ligamento do joelho causa adaptações biomecânicas por todo o membro inferior.

Adaptações no modo de andar, correr, subir e descer escadas têm sido observadas em pacientes com lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) [1]. As causas exatas dessas adaptações na marcha não têm sido identificadas [2].

Segundo Hurwitz *et al.* [3] e de Vita *et al.* [4] os pacientes em fase recente de reconstrução de LCA não estão ainda adaptados à lesão. De Vita *et al.* [5] em outro estudo, acrescentam que as adaptações clássicas, como resultado de aprendizagem automática ou de treinamento, ainda não aparecem em um período de 2 semanas após lesão e 3 a 5 semanas após cirurgia. A fase para instalação das adaptações finais leva 1 ano ou mais após lesão [6].

Resultados indicam que após cirurgia de reconstrução e reabilitação acelerada de lesão de LCA, humanos caminham com padrões cinemáticos normais, mas continuam com o uso alterado do torque e padrões de força da articulação. Apesar das medidas aceitáveis dessas variáveis ao fim de 6 meses de reabilitação, a articulação do joelho não tem função normal durante as ações complexas da marcha [7]. Rudolph *et al.* [8] concordam com a maioria dos autores que relatam que distúrbios mensuráveis em cinéticas, cinemáticas e padrões de ativação muscular existam durante atividades de maior estresse; contudo, não há consenso acerca do que constitui uma resposta típica para as atividades de grande estresse na presença de deficiência de LCA.

O desenvolvimento gradual de adaptações funcionais durante o tempo suportada a hipótese de que há uma reprogramação subconsciente do processo de locomoção que protege o joelho de instabilidade. As alterações de intervalo em marcha mostram que o processo de reprogramação é adaptável e lento. Assim sendo, a mecânica da marcha parece ser anormal ao término de programas de reabilitação fisioterápica [4].

### Alterações cinemáticas durante a marcha

A análise da marcha em indivíduos que se submeteram à reconstrução cirúrgica do LCA tem revelado alterações importantes na cinemática da articulação do joelho. Para Mittlmeier *et al.* [9], os graus de assimetria intra-individual de parâmetros da marcha após reconstrução de LCA podem representar uma medida útil para compensação funcional de déficits residuais. A maioria das diferenças ocorre em velocidades normais da marcha durante as transições de balanço para apoio e apoio para balanço [3].

Os efeitos iniciais da cirurgia incluem diminuição da cadência e comprimento do passo por 13% comparado aos

indivíduos sãos, com diminuição da velocidade da marcha. Na 3ª semana de reparo cirúrgico, indivíduos reduzem suas velocidades articulares, caminham mais lentamente do que antes da cirurgia e principalmente empregam contração muscular em menor velocidade e baixa potência para andar. Em adição a esse relato feito por de Vita *et al.* [5], Rudolph *et al.* [8] afirmam não haver diferenças estatisticamente significativas entre os dois membros nas velocidades de marcha. Redução da fase de transição do choque de calcanhar observada também por outros autores após cirurgia de LCA corresponde a uma significativa diminuição da carga ao calcanhar observada durante os estágios precoces após reconstrução. Isso tem sido interpretado como a mais cuidadosa maneira de andar para evitar súbito estresse da articulação do joelho que sofreu cirurgia, conclui Mittlmeier *et al.* [9].

Intervenção cirúrgica causou aos indivíduos uma maior posição de flexão do joelho na fase de pós-operatório recente, particularmente no choque de calcanhar e no médio-apoio da marcha. A flexão das articulações do quadril e do tornozelo também foi aumentada após cirurgia [2]. No estudo desenvolvido por de Vita *et al.* [5], observou-se que em 3 semanas após cirurgia, a cinemática do joelho operado estava ainda alterada e em 5 semanas mostrava um retorno parcial aos valores pré-cirúrgicos. Os sujeitos continuavam a usar padrões de marcha de flexão, porém particularmente na fase de médio-apoio para apoio terminal. A cinemática das articulações do quadril e do tornozelo afetadas pelo processo cirúrgico também é recuperada aos valores pré-cirúrgicos após 5 semanas de cirurgia.

Para Beard *et al.* [10] o aumento do ângulo de flexão do joelho durante extensão terminal pode ter facilitado os músculos isquiotibiais em prevenir a subluxação anterior da tibia sobre o fêmur, como mecanismo desenvolvido quando a lesão estava presente. Seu estudo verificou uma aumentada duração em atividade elétrica de isquiotibiais, porém, sem alteração em duração na atividade elétrica do quadríceps. Contudo, nesses ângulos de extensão do joelho os isquiotibiais não são eficientes sinergistas ao LCA em prevenir a translação anterior.

Na opinião de Smillie [11], perda da extensão completa do joelho durante o apoio na marcha comporta não somente a incapacidade de atuação do quadríceps em níveis normais, com perda conseqüente da segurança e estabilidade, mas também uma marcha anormal que leva a microtraumas e a pequenos derrames recidivantes.

O estudo dirigido por Snyder-Mackle *et al.* [7] divide as anormalidades cinemáticas do pós-operatório em dois problemas que são fortemente correlacionados com a força do músculo quadríceps femoral e um que aparentemente não se correlaciona a este fator. Primeiro, há uma tendência para pacientes que têm um músculo quadríceps fraco de segurar o joelho em pequena flexão no choque de calcanhar. Segundo, eles não demonstram um retorno dinâmico até uma posição

estendida durante o médio-apoio; o joelho é segurado em pequena flexão por todo o período de suporte unipodal. A fraqueza do quadríceps pode diminuir a habilidade do joelho para contrariar a semiflexão no apoio. Co-contracção ou co-ativação dos músculos antagonistas, quadríceps e isquiotibiais, pode resultar num joelho semifletido na marcha, que é demonstrado por pacientes que têm um quadríceps fraco. Esses pacientes compensam com um ângulo fixado do joelho durante o apoio ou uma diminuição no tempo de apoio. A terceira anormalidade cinemática é a falta de extensão completa do joelho envolvido após reconstrução durante a fase de apoio da marcha mesmo quando a amplitude de movimento (ADM) completa é atingida e quando o músculo quadríceps femoral é forte. Esta pode representar uma adaptação que foi aprendida antes da cirurgia quando o joelho era instável. Para Wexler *et al.* [12] a perda da função do LCA do joelho altera o rolamento e o deslizamento femoral e tibial. Furia *et al.* [13] fundamenta ser pouco provável que as cinemáticas (rolamento/deslizamento) precisas da articulação com um LCA intacto e multifilamentoso podem restaurar-se pela introdução de um ligamento substituto de eixo único. Isto sugere mais uma vez que reconstrução de LCA melhora, mas não completamente restabelece as cinemáticas normais do joelho.

Outro dado importante fundamentado por Hsieh *et al.* [14] é que alterações cinemáticas na articulação tíbio-femoral resultando de deficiência de LCA podem afetar as cinemáticas da articulação patelo-femoral, que por sua vez podem afetar o balanço mecânico normal do mecanismo extensor. Cinemáticas anormais da articulação patelo-femoral secundárias à deficiência de LCA podem ser uma razão para a hipotrofia do quadríceps, porque as duas articulações são unidas. Mas os autores acrescentam que reconstrução cirúrgica de LCA retorna às cinemáticas normais da articulação patelo-femoral, mesmo depois da retirada do terço central do tendão patela. Porém, restam ainda dúvidas quanto à razão porque alguns indivíduos com LCA reconstruído desenvolvem crepitação patelar, dor ou artrose patelo-femoral como complicações tardias da cirurgia, tais quais citadas por Cohen *et al.* [15].

Para a maioria dos autores, a performance da marcha 6 meses após reconstrução cirúrgica e reabilitação acelerada tende a ser inferior aos valores pré-operatórios e pós-operatórios tardios. Contudo, durante o período de reabilitação, há uma significativa diminuição na assimetria da marcha observada em 12 semanas de pós-operatório [9]. Em

3 meses após cirurgia, indivíduos caminham com aproximadamente 10° a mais de flexão em cada articulação do membro envolvido particularmente durante a fase de apoio da marcha, comparados com aquelas em 6 meses após cirurgia [16]. As cinemáticas angulares do joelho mostraram uma excelente recuperação em 6 meses após cirurgia e reabilitação e eram quase idênticas àquelas dos indivíduos sãos [4]. A laxidão anterior do joelho também melhora significativamente de valores pré-operatórios para pós-operatórios, relata Mittlmeier *et al.* [9].

De Vita *et al.* [4], em seu estudo sobre a persistência de anormalidades biomecânicas na marcha, descreveram que a ADM durante a fase de balanço era 10% menor no quadril, 39% aumentada no joelho, e 32% aumentada no tornozelo em 6 meses após cirurgia comparada com 3 semanas após cirurgia. Cinemáticas da fase de apoio foram também melhoradas sobre o período de reabilitação. A posição média das articulações do quadril, joelho e tornozelo eram 48, 35 e 63% menos fletidas durante o apoio em 6 meses se comparada com 3 semanas após cirurgia, respectivamente.

### Alterações cinéticas durante a marcha

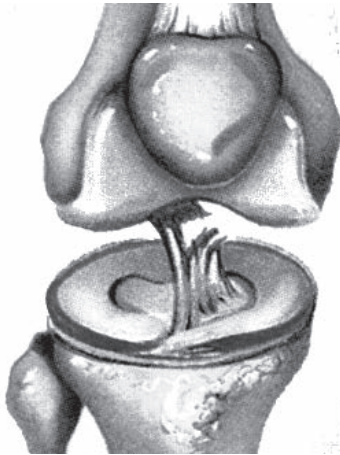
Lesão de LCA produz claras alterações na cinética e atividades funcionais da extremidade inferior durante a marcha. A análise biomecânica de indivíduos reabilitados com LCA deficiente e reconstrução têm demonstrado que estas pessoas caminham com diferentes torques articulares de membros inferiores se comparados com indivíduos sadios [6]. O aumento do torque extensor do joelho pré e pós-cirúrgico recente durante a maior parte do apoio diminui o risco de nova lesão, segundo de Vita *et al.* [5].

Considerando que indivíduos sãos caminham com um torque extensor no joelho entre 10 e 45% da fase de apoio, indivíduos com deficiência ou recentemente reconstruídos de LCA caminham com um torque extensor permanente quase toda a fase de apoio da marcha e não foram ainda adaptados à lesão. Com a reabilitação, e sobre vários anos depois, o torque extensor no joelho toma-se reduzido em indivíduos reconstruídos de LCA e em muitos casos torna-se um torque flexor em indivíduos que não se submeteram à cirurgia de reconstrução [4]. Indivíduos com LCA deficiente após reabilitação aumentam o torque extensor do quadril e diminuem o torque extensor do joelho durante a fase de apoio da marcha e corrida, provavelmente como um resultado de adaptações em produção de força pelo quadríceps e isquiotibiais [5]. Como descrito por Kowalk *et al.* [1] é razoável observar o reduzido torque extensor do joelho em 6 meses após cirurgia, visto que o procedimento retira o terço central do tendão patelar. Rudolph *et al.* [8] analisaram estudos que têm relacionado força do músculo

**Fig. 1** - Da esquerda para direita: redução da carga do calcanhar; maior posição de flexão; semiflexão de joelho; hipotrofia e fraqueza do



Fig. 2 - Ruptura LCA.



quadríceps com a importância de torques flexor e extensor de joelho em sujeitos seguite à reconstrução cirúrgica de LCA.

Maitland *et al.* [2] concordam que as adaptações da marcha observadas nos pacientes são diminuição do torque extensor do joelho, diminuição na força anterior de reação ao

solo, e aumento na flexão de joelho, tudo causando uma diminuição na força de translação anterior da tíbia sobre o fêmur.

O torque suporte total (torque combinado produzido em todas as 3 articulações) e impulso angular altamente extensores logo após cirurgia eram necessários para suportar os indivíduos lesados que eram mais fletidos que os indivíduos sãos. Após 6 meses de reabilitação seus valores diminuíram 49% e o torque suporte era estatisticamente idêntico ao torque suporte nos indivíduos sãos pelas alterações combinadas nos torques articulares do quadril e joelho. Esses achados foram suportados pelos relatos de de Vita *et al.* e, em dois estudos diferentes.

No entanto na análise de de Vita *et al.* [4] em seus estudos, embora pareça que indivíduos com reconstrução de LCA possam considerar máximo torque normal no joelho entre 10 e 22 meses após cirurgia, não há evidência mostrando que a força e o trabalho produzidos pelos músculos do joelho e o torque, força e trabalho pelos músculos do quadril e tornozelo também retornam para o normal durante a marcha. Os resultados apontam que mesmo completo o programa de reabilitação acelerada e retorno para competição atlética, indivíduos não fazem uso das cinéticas e energéticas normais durante a marcha.

Segundo Kowalk *et al.* [1], houve também alterações significantes em alguns parâmetros para o membro do lado intacto na articulação do tornozelo, após cirurgia. Houve um aumento significativo na força da articulação do tornozelo. Embora não significante estatisticamente, amplitude de movimento e torque articular do tornozelo aumentaram pós-operatoriamente. O tornozelo intacto, portanto, assistia o joelho lesado nessa fase crítica entre o recebimento de peso e o impulso.

## Discussão

A análise da marcha proporciona um meio para detectar as alterações sutis na função do joelho que pode ter um papel em predizer os resultados de intervenção terapêutica e ajudar

a identificar pacientes com deficiência de LCA que estão em maior risco de ter um joelho instável ou desenvolver subseqüentes alterações degenerativas. Portanto, a análise da marcha poderia representar uma ferramenta apropriada para monitoramento funcional seguinte à reconstrução de LCA com implicações clínicas voltadas à reabilitação. Em um estudo realizado por Yamanaka *et al.* [17] foi observado que forças submáximas e alongamentos são repetidamente aplicados ao complexo do joelho durante reabilitação. Conforme de Vita *et al.* [4] afirmam que as cargas sobre o LCA são diretamente relacionadas ao torque extensor no joelho e uma redução nesse torque poderia, portanto, reduzir a tensão sobre o ligamento recentemente reconstruído. Programas de reabilitação que promovam fortalecimento dos músculos isquiotibiais poderiam levar às adaptações observadas de torque extensor aumentado no quadril e diminuído no joelho, promovendo uma melhor estabilização na marcha. A capacidade da intervenção fisioterápica para aumentar a produção de força muscular nos indivíduos com instabilidade do joelho continua controversa. Supõe-se que o fortalecimento muscular de todo o membro inferior possa efetivar uma melhor estabilização na articulação do joelho, porém, em contraste, Maitland *et al.* [2] e Rudolph *et al.* [8] observaram que fortalecimento muscular generalizado da articulação é uma das mais grosseiras táticas de compensação que seria incapaz de estabilizar o joelho sob todas as condições, particularmente em resposta a perturbações súbitas e ainda estaria em risco de promover dano articular. Alguns pesquisadores têm questionado a eficácia dos exercícios de fortalecimento em pacientes com inibição muscular, supondo que a inibição muscular não seja potencialmente modificável. Essa observação leva-nos a acreditar que o melhor efeito de estabilização foi conseguido pelo início prévio da atividade dos isquiotibiais ao começo da atividade do músculo quadríceps femoral no choque de calcanhar durante a fase de apoio da marcha.

A persistente fraqueza do quadríceps femoral que tem sido vista após reabilitação completa em muitos pacientes, leva à preocupação para questões se exercícios em cadeia cinética fechada, durante a qual vários músculos (tal como gastrocnêmio, quadríceps, isquiotibiais e glúteos) são ativos imediatamente, proporcionam um adequado treinamento de estímulos para o quadríceps, relata Snyder-Mackler *et al.* [7]. Os exercícios em cadeia cinética fechada são mais funcionais porque resultam de contrações concêntricas e excêntricas que ocorrem simultaneamente nas extremidades opostas do mesmo músculo, produzindo uma contração que Palmitier *et al.* [18] nomeou pseudoisométrica (um quadro de “isometricidade com movimento”). Esse é o tipo de contração que se usa durante as atividades funcionais da vida diária e nos esportes, impossível de ser reproduzida por exercícios isolados de flexão e extensão do joelho em cadeia cinética aberta. Alguns autores observaram que co-contracção pode aumentar a carga articular interna, com conseqüente aumento da dor e implicação no início e progressão de osteoartrite [2].

## Conclusão

Conclui-se que o retorno da biomecânica normal da marcha leva muito mais tempo que 6 meses se ela retorna em todo. O tempo adequado à reabilitação permanece ainda como uma variável a esclarecer, assim como outras. As adaptações, apesar de lentas, são benéficas para o paciente com reconstrução de LCA porque permitirão a realização de atividades com maior êxito. Apesar das adaptações instaladas os pacientes podem ainda apresentar instabilidade. As cinéticas alteradas usadas durante a marcha podem contribuir para a proporção aumentada de sintomas do joelho observada em tardios anos nessa população.

## Referências

1. Kowalk DL, Duncan JA, Mccue FC, Vaughan CL. Anterior cruciate ligament reconstruction and joint dynamics during stair climbing. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:1406-1413.
2. Maitland ME, Ajemian SV, Suter E. Quadriceps femoris and hamstring muscle function in a person with an unstable knee. *Phys Ther* 1999;79(1):66-75.
3. Hurwitz DE, Andriacchi TP, Bush J, Charles A, Bach JR, Bernard R. Functional adaptations in patients with ACL – deficient knees. *Exercise Sports Sci Res* 1997;25:1-20.
4. De Vita P, Lassiter T, Kortobagyi T, Torry M. Functional knee brace effects during walking in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1988;26(6):778-784.
5. De Vita P, Hortobagyi T, Barrier J, Torry M, Glover KL, Speroni DL, Money J, Mahar MT. Gait adaptations before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:853-859.
6. Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Neri MP, Petitto A. Early versus late reconstruction for anterior cruciate ligament rupture results after five years of follow-up. *Am J Sports Med* 1995;23(6):690-694.
7. Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, Stralka SW. Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg* 1995;77-A(8):1166-1173.
8. Rudolph KS, Eastlack ME, Axe MJ, Snyder-mackler L. Movement patterns after anterior cruciate ligament injury: a comparison of patents who compensate well for the injury and those who require operative stabilization. *J Electromyogr Kinesiol* 1998;8:349-362.
9. Mittlmeier T, Weiler S, Kleinhans L, Mollbach S, Duda G, Südkamp NP. Functional monitoring during rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech* 1999;14:576-584.
10. Beard DJ, Soundarapandian RS, O'Connor JJ, Dodd CAF. Gait and electromyographic analysis of anterior cruciate ligament deficient subjects. *Gait Posture* 1996; 4:83-88.
11. Smillie IS. Traumatismos da articulação do joelho. São Paulo: Manole; 1980.
12. Wexler G, Hurwitz DE, Bush-Joseph CA, Andriacchi TP, Bach Jr BR. Functional gait adaptations in patients with anterior cruciate ligament deficiency over time. *Clin Orthop* 1998;(348):166-175.
13. Furia JP, Lintner DM, Saiz P, Kohl HW, Noble P. Isometry measurements in the knee with the anterior cruciate ligament intact, sectioned, and reconstructed. *Am J Sports Med* 1997;25(3):346-352.
14. Hsieh YF, Draganich LF, Ho S, Reider B. The effects of removal and reconstruction of the anterior cruciate ligament on patellofemoral kinematics. *Am J Sports Med* 1998;26(2):201-209.
15. Cohen M, Abdalla RJ, Carneiro Filho M, Queiroz AAB, Francisco SF. Complicações da reconstrução intra-articular com tendão patelar: relato preliminar. *Rev Bras Ortop* 1992;27(4):19-23.
16. Dufek JS. et al. Dynamic lower extremity evaluation of males and females during walking and running. *Journal of Human Movement Studies* 1990;18.
17. Manaka M, Yasuda K, Tohyama H, Nakano H, Wada T. The effect of cyc/ic displacement on the biomechanical characteristics of anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med* 1999;27(6):772-777.
18. Palmitier RA, An KN, Scott SG, Chao EYS. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med* 1991;11:402-413. ■