

Fábio Janson Angelini

Estudo comparativo, em cadáveres, da  
determinação dos pontos isométricos para a  
reconstrução do ligamento cruzado anterior do  
joelho com e sem navegação

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da  
Universidade de São Paulo para obtenção do título  
de Mestre em Ciências

Área de concentração: Ortopedia e Traumatologia

Orientador: Dr. Roberto Freire da Mota e Albuquerque

São Paulo

2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Preparada pela Biblioteca da  
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Angelini, Fábio Janson

Estudo comparativo, em cadáveres, da determinação dos pontos isométricos para a reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho com e sem navegação / Fábio Janson Angelini. -- São Paulo, 2008.

Dissertação(mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Departamento de Ortopedia e Traumatologia.

Área de concentração: Ortopedia e Traumatologia.

Orientador: Roberto Freire da Mota e Albuquerque.

Descritores: 1.Cirurgia assistida por computador 2.Ligamento cruzado anterior/cirurgia 3.Estudo comparativo 4.Artroscopia 5.Cadáver 6.Joelho/cirurgia

USP/FM/SBD-454/08

Aos meus pais, Carlos Alberto e Alda, meus irmãos  
Alessandro e Marcelo e aos meus queridos filhos,  
Isadora e Andre.

# **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Roberto Freire da Mota e Albuquerque, pela amizade e orientação.

Aos Professores Doutores Arnaldo Valdir Zumiotti, Tarcisio Elói Pessoa de Barros Filho e Olavo Pires de Camargo, Professores Titulares de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pela oportunidade.

Ao Professor Doutor Gilberto Luis Camanho, pela liderança e apoio.

Ao Professor Doutor Arnaldo José Hernandez e aos Doutores André Pedrinelli e Marcos Hideo Sakaki, pelas críticas e sugestões na qualificação.

Ao Professor Doutor Marco Martins Amatuzzi, Professor Emérito de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pelos ensinamentos e incentivo.

À Doutora Sandra Uema Sasaki, pelo trabalho em conjunto e ajuda.

À Sra. Elisabete Beatriz Martins, técnica do Laboratório de Artroscopia do IOTHCFMUSP, pelo profissionalismo e ajuda incondicional.

Aos estagiários do Laboratório de Artroscopia do IOTHCFMUSP, pela contribuição nos ensaios desse projeto.

## Normas

- **Referências:** “*International Committee of Medical Journals Editors*” – ICMJE do grupo de Vancouver – Requisitos Uniformes para os manuscritos apresentados a revistas biomédicas, 1979.
- **Abreviaturas de Periódicos:** “*List of Journals Indexed in Index Medicus*”, 1992.
- **Estrutura e apresentação:** Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Cunha AC, Freddi MJAL, Crestana MF, Aragão MS, Cardoso SC e Vilhena V. 2ª ed. São Paulo: Serviço de Biblioteca e Documentação; 2005.
- **Terminologia anatômica:** NOMINA ANATÔMICA (1980) do XI Congresso Internacional de Anatomia, México, 1980.

# RESUMO

Angelini FJ. *Estudo comparativo, em cadáveres, da determinação dos pontos isométricos para a reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho com e sem navegação* [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2008.

**INTRODUÇÃO:** A precisão no posicionamento dos túneis ósseos na reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho (LCA) é considerado um dos fatores fundamentais para o bom resultado dessa cirurgia. A cirurgia ortopédica auxiliada por computador (*computer aided orthopedic surgery – CAOS*) é um avanço tecnológico que tem como um dos principais objetivos exatamente o aumento da precisão. **OBJETIVO:** comparar o posicionamento do centro dos túneis e a isometria do enxerto obtidos com o uso de um sistema de navegação computadorizada (Orthopilot) e com o uso de guias cirúrgicos convencionais. **MÉTODOS:** 36 joelhos pareados de cadáveres tiveram o LCA ressecado por artroscopia no Laboratório de Artroscopia do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Um joelho de cada par foi randomizado para o grupo 1 (guias cirúrgicos convencionais) e o outro para o grupo 2 (Orthopilot). Um fio de sutura inelástico foi passado pelo centro dos túneis tibial e femoral confeccionados para a reconstrução do LCA, sem que os túneis fossem finalmente brocados. Todos os joelhos foram então analisados quanto ao posicionamento do centro do túnel tibial (distância do LCP, distância da tubérculo intercondilar medial da tíbia e distância do corno anterior do menisco lateral), do centro do túnel femoral (distância da cortical posterior e angulação coronal na fossa

intercondilar do fêmur) e a variação da distância entre os pontos centrais do túnel femoral para o túnel tibial em flexão de 90° e em extensão (“isometria”). Os dados foram analisados segundo o teste de Wilcoxon para comparação de duas amostras pareadas. RESULTADOS: A variação da distância entre o túnel femoral e tibial em flexão e extensão (“isometria”) foi maior no grupo 1 – convencional, do que no grupo 2 – Orthopilot (grupo 1: média 4,2mm com intervalo de 1,1mm a 9,4mm versus grupo 2: média 2,8mm com intervalo de 0,3mm a 6,7mm;  $p < 0,05$ ). Os outros parâmetros analisados não tiveram diferença estatística entre os grupos e demonstraram que todos os túneis dos dois grupos estavam bem posicionados de acordo com os critérios adotados. CONCLUSÕES: O emprego de instrumental cirúrgico navegado pelo sistema Orthopilot permitiu o posicionamento dos túneis ósseos da reconstrução do LCA de maneira tão precisa quanto os guias cirúrgicos convencionais utilizados. Mais do que isso, proporcionou um posicionamento significativamente mais isométrico nessa série.

# **SUMMARY**

Angelini FJ. *Comparative cadaveric study on anterior cruciate ligament reconstruction : determining isometric points with and without navigation* [dissertation]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2008.

INTRODUCTION: Precise tunnel location has been considered to be very important to achieve good results in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery. Computer Aided Orthopedic Surgery (CAOS) is a technology improvement whose main objective is to enhance precision.

PURPOSE: To compare the accuracy of tunnel placement and graft isometry for ACL reconstruction performed with the use of a computer-assisted navigation system (Orthopilot) and with traditional instruments. METHODS: 36

matched-paired cadaveric knees had their intact ACL removed by arthroscopy at the Arthroscopy Laboratory – Orthopedic Department of University of São Paulo Medical School. One knee of each pair was randomized to group 1

(traditional instruments) or group 2 (Orthopilot). An inelastic suture was then passed through the center of where would be the tibial tunnel and then through the center of where would be the femoral tunnel. None of the tunnels were

actually drilled. All knees were then dissected and 6 parameters were obtained:

The distance from the tibial tunnel center to: 1) the PCL; 2) the lateral meniscus anterior horn; 3) the medial tibial spine. 4) The distance from the femoral tunnel center to the posterior femoral cortex. 5) The femoral tunnel coronal angle. 6)

The variation of the distance from the femoral to the tibial tunnels with the knee extended and in 90 degree flexion. The data were submitted to statistical

analysis and compared with the Wilcoxon Matched Pairs Test. RESULTS: The variation of the distance from the femoral to the tibial tunnels in flexion and extension was smaller in the Orthopilot group (better isometry): group 1: mean 4.2 mm (1.1-9.4 mm); group 2: mean 2.8 mm (0.3-6.7 mm)  $p < 0,05$ . All other parameters showed no statistical difference between the groups and all tunnels were considered to be in satisfactory positions. DISCUSSION: There was no difference in tunnel position between the groups. Better isometry was achieved in the Orthopilot group compared to conventional instruments.

# SUMÁRIO

Resumo

Summary

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3. MÉTODOS.....	21
3.1 Material.....	22
3.2 A retirada e o armazenamento das peças anatômicas.....	23
3.3 A preparação das peças.....	24
3.4 A formação dos grupos.....	24
3.5 A técnica cirúrgica.....	25
3.5.1 Grupo 1 – Guias convencionais.....	25
3.5.2 Grupo 2 – Cirurgia navegada por computador.....	30
3.6 A coleta dos dados.....	39
3.7 Metodologia estatística.....	43
4 RESULTADOS.....	44
4.1 Dados.....	45

4.1.1 Grupo 1 – Guias convencionais.....	45
4.1.2 Grupo 2 – Cirurgia navegada por computador.....	46
4.2 Análise estatística.....	47
4.2.1 Distância do centro do túnel tibial ao menisco lateral.....	47
4.2.2 Distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial da tíbia.....	48
4.2.3 Distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior	49
4.2.4 Distância do centro do túnel femoral à cortical do fêmur.....	50
4.2.5 Angulação coronal do túnel femoral.....	51
4.2.6 Isometria - variação da distância do centro do túnel femoral ao centro do túnel tibial em extensão e em 90 graus de flexão do joelho.....	52
5 DISCUSSÃO.....	53
6 CONCLUSÕES.....	63
7 REFERÊNCIAS.....	65

# 1 INTRODUÇÃO

A lesão traumática do Ligamento Cruzado Anterior do joelho (LCA) tem acontecido com uma frequência crescente e é um problema comum na população atleticamente ativa (Griffin *et al*, 2000).

Os pacientes que sofrem esse tipo de acidente muitas vezes desenvolvem instabilidade clínica do joelho, a despeito de tratamento conservador. A instabilidade clínica é caracterizada por episódios recorrentes de falseio, que não só acaba por privar esses indivíduos de todas as atividades físicas que envolvam movimentos rotacionais dos membros inferiores como também aumenta, no decorrer do tempo, a incidência de lesões intrínsecas do joelho, como a dos meniscos e a da cartilagem articular.

Apesar de existir indicação para o tratamento conservador (Amatuzzi *et al*, 2007), o tratamento cirúrgico está indicado em muitas situações, já que a evolução clínica dos pacientes não operados não é boa (Camanho *et al*, 1999).

Por esse motivo, o tratamento cirúrgico da lesão do LCA vem se impondo cada vez mais como o tratamento de escolha para esses pacientes por possibilitar o retorno aos esportes e por prevenir a sobreposição de outras lesões no joelho (Kurzweil e Jackson, 1994).

Desde Jones (1963), a reconstrução intra-articular do LCA tem se consolidado como a principal opção de tratamento cirúrgico. A reconstrução

intra-articular possibilita o retorno às atividades esportivas em níveis semelhantes aos da pré-lesão (Hernandez *et al*, 1996), o que motiva uma indicação crescente desse procedimento (Koh *et al*, 2006). Nos Estados Unidos atualmente são realizados aproximadamente 175.000 reconstruções por ano, a um custo de mais de 1 bilhão de dólares (Koh, 2005).

A técnica cirúrgica evoluiu no decorrer das últimas décadas, e atualmente a reconstrução intra-articular do LCA por via artroscópica com enxerto do ligamento patelar ou dos tendões dos músculos semitendíneo e grácil têm sido a mais utilizada.

Os principais fatores da técnica cirúrgica determinantes do resultado clínico final englobam a retirada, o preparo e a qualidade do enxerto tendíneo, a boa visualização dos pontos de referência intra-articulares para a confecção dos túneis, a determinação e perfuração dos túneis ósseos na posição planejada e a boa fixação do enxerto com tensão suficiente para conferir estabilidade articular bem como proporcionar arco de movimento de flexo-extensão fisiológica (Hoogland e Hillen, 1984; Khalfayan *et al*, 1996).

Com o aumento da indicação cirúrgica, tem se observado também aumento no número e na taxa de revisões, que é necessária em aproximadamente 10% a 40% dos casos (Sati *et al*, 2000 e Matava *et al*, 2005).

A principal causa de falha do enxerto, e por consequência da necessidade de revisão, é o posicionamento inadequado dos túneis ósseos (Getelman e Friedman, 1999; Gali *et al*, 2005).

O posicionamento ideal dos túneis ósseos é fonte de controvérsia. Não é possível reproduzir, com túneis cilíndricos como permite a técnica cirúrgica atual, a anatomia da origem e inserção do LCA, que é complexa (Odensten e Gillquist, 1985).

A partir dos anos 80, cresce o interesse em se determinar qual o melhor posicionamento desses túneis. A combinação do posicionamento dos túneis determina grandes mudanças no comportamento do enxerto durante o arco de movimento do joelho. Quanto menos isométricos, maior a variação de seu comprimento e, conseqüentemente, maior a variação de sua tensão (Hoogland *et al*, 1984). Túneis ideais deveriam, portanto, proporcionar a manutenção do mesmo comprimento do enxerto em todo o arco de movimento, ou seja, a isometria do enxerto, o que o manteria com tensão sempre constante. A partir de estudos anatômicos se determinou que, em média, a posição que proporciona enxertos mais próximos da isometria é no centro da inserção anatômica do LCA (Odensten e Gillquist, 1985; Penner *et al*, 1988; Schutzer *et al*, 1989 e Hefzy *et al*, 1989).

A correlação dessas informações com a prática clínica existe. Quanto mais próximos estejam os túneis daquele posicionamento considerado

anatômico do LCA, maior a incidência de bons resultados. Por outro lado, quanto mais distantes desses locais, piores os resultados (Khalfayan *et al*, 1996).

Um dos objetivos da cirurgia é, portanto, posicionar os túneis exatamente nos locais planejados, ou seja, com acurácia. E essa questão já merecia atenção. No início da década de 80 era prática comum a localização desses túneis a mão livre. Nessa época se passou a postular o uso de guias mecânicos específicos, que proporcionam acurácia superior (Hewson, 1983 e Good *et al*, 1987).

O problema, no entanto, é que mesmo cirurgiões experientes e que utilizam guias convencionais freqüentemente não posicionam os túneis nos locais desejados (Eriksson, 1997 e Sudhahar *et al*, 2004).

O interesse do uso da computação como instrumento de auxílio de cirurgias tem crescido progressivamente (Julliard *et al*, 1998; Klos *et al*, 1998; Burkart *et al*, 2001; Sati *et al*, 2002; Eichhorn, 2003; Müller-Alsbach e Staubli, 2004; Koh, 2005; Valentin *et al*, 2005).

Em ortopedia foi popularizado o termo cirurgia ortopédica auxiliada por computador (ou "CAOS", acrônimo do inglês, Computer Assisted Orthopedic Surgery) para o conjunto de técnicas que utilizam dispositivos controlados por computador para auxiliar os procedimentos cirúrgicos.

Na CAOS existem várias maneiras como o computador pode auxiliar as cirurgias. Cada sistema tem características próprias que o diferenciam dos demais. De uma maneira ampla podemos, entretanto, subdividir a CAOS em duas principais modalidades: a robótica e a navegação.

Na robótica, dispositivos mecânicos motorizados controlados por computador, ou robôs, atuam ativamente na cirurgia. Esse não é método empregado no presente estudo.

Na navegação uma câmera ligada a um computador rastreia e mostra em um monitor a posição de instrumentais utilizados pelo cirurgião relativamente a parâmetros que podem ser adquiridos durante a cirurgia ou por imagens realizadas antes do procedimento como, por exemplo, uma tomografia computadorizada.

Um dos principais objetivos da CAOS é o de aumentar a acurácia dos procedimentos.

Ora, como vimos, a acurácia do posicionamento dos túneis na reconstrução do LCA é muito importante e parece ser um dos principais fatores para o bom resultado dessa cirurgia. A aplicação da CAOS para esse fim é, portanto, uma tendência esperada.

Além do objetivo de aumentar a acurácia, a navegação pode também auxiliar a escolha de pontos para os túneis baseado em um critério novo,

que é a isometria. Até então não se dispõe de métodos que forneçam esse dado para o cirurgião intra-operatoriamente.

Vale lembrar que o posicionamento ideal atual leva em conta critérios anatômicos obtidos a partir de: 1) médias de isometria em cadáveres e 2) Correlação retrospectiva de qualidade de resultados com localização dos túneis.

Na navegação, o computador calcula em tempo real qual seria a variação máxima de comprimento do enxerto, durante o arco de movimento do joelho, para o ponto que se propõe utilizar como centro de túnel. Dessa maneira é possível modificar esse local até que se encontre a melhor isometria, antes de finalmente escolhê-lo definitivamente.

## **1.1 Objetivos**

Comparar a isometria do enxerto e o posicionamento dos túneis manufaturados com o auxílio de um sistema de navegação e com o uso de guias tradicionais.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Jones (1963) descreve pioneiramente a técnica de reconstrução intra-articular para as lesões do LCA utilizando o terço central do ligamento patelar.

Dejeour e Chambat (1978) padronizam a reconstrução intra-articular do LCA e a difundem amplamente.

Hewson (1983), preocupado em melhorar a acurácia do posicionamento dos túneis na cirurgia de reconstrução do LCA, propõe a utilização de guias específicos para essa finalidade.

Hoogland *et al* (1984) testam em quatro joelhos de cadáveres doze posições diferentes para a reconstrução intra-articular do LCA e constata que algumas posições levam a uma grande variação de tensão do enxerto que potencialmente causariam seu alongamento e possível falha subsequente.

Odensten e Gillquist (1985) fazem um estudo anatômico do LCA em 33 joelhos de cadáveres, observando que esse ligamento não é perfeitamente isométrico. Determinam que a posição mais próxima da isometria é exatamente o centro da origem e inserção do LCA. Baseado nesses achados propõe princípios para o posicionamento dos túneis ósseos na reconstrução do LCA.

Good *et al* (1987) comparam o posicionamento dos túneis ósseos da reconstrução do LCA em 2 grupos: o grupo 1 foi operado utilizando-se um guia para o posicionamento dos túneis e o grupo 2 foi operado a mão livre. Concluem que o uso do guia aumenta a precisão da cirurgia.

Penner *et al* (1988) testam em 15 joelhos de cadáveres quatro posições para o enxerto e estudam a variação da distância do enxerto com o joelho sendo estendido de 90° para extensão completa e também a tensão do enxerto durante esse arco de movimento. Determinam que o posicionamento do enxerto tem grande influência tanto na isometria quanto na variação de sua tensão e que a posição mais satisfatória é a que reproduz a origem e a inserção do LCA normal.

Schutzer *et al* (1989) testam em joelhos de cadáveres a média máxima da mudança de comprimento (MMLLC) do LCA usando um ligamento de 6mm de diâmetro em nove diferentes combinações. Concluem que a posição que proporciona a melhor isometria, portanto a mais satisfatória, é a anatômica. Além disso, observam que a secção da cápsula posterior e do ligamento arqueado determina um aumento do MMLLC mesmo quando os túneis estão posicionados anatomicamente. Sugerem que as instabilidades associadas podem ser um dos motivos que levam a variedade de resultados clínicos com esse procedimento.

Hefzy *et al* (1989) mensuram a mudança de comprimento de um enxerto substituto do LCA ao se variar o posicionamento de sua inserção femoral e tibial em um estudo com 8 joelhos de cadáveres. Observam que pequenas mudanças no posicionamento femoral produzem grandes alterações na isometria, o que não acontece de maneira tão importante para as variações de posição na tíbia. Nenhuma posição foi absolutamente isométrica. A posição que conseguiu obter a menor variação da distância fêmoro-tibial foi próxima ao centro da inserção anatômica do LCA.

Dessenne *et al* (1995) descrevem o uso de um sistema auxiliado por computador que utiliza um rastreador óptico e pretende permitir o

posicionamento do enxerto na posição menos anisométrica na cirurgia de reconstrução do LCA. Apresentam a validação da técnica em 8 cadáveres e em 12 pacientes.

Hernandez *et al* (1995) utilizam um método simples e fidedigno para a mensuração da isometria na reconstrução do ligamento cruzado anterior para avaliar um guia desenvolvido para o posicionamento dos túneis ósseos.

Khalfayan *et al* (1996) avaliam retrospectivamente 128 pacientes submetidos à reconstrução artroscópica do LCA e correlacionam o posicionamento dos túneis ósseos avaliados por radiografias com dois parâmetros clínicos: 1) a variação da translação anterior da tíbia entre o joelho operado e o contralateral mensurada com um artrômetro KT-1000; 2) o questionário para sintomas do joelho de Lysholm. Concluem que existe uma relação direta entre o posicionamento satisfatório dos túneis e o resultado clínico da cirurgia.

Julliard *et al* (1998) utilizam um sistema de navegação auxiliado por computador em 23 pacientes. Nessa série o cirurgião não utilizou os dados fornecidos pelo sistema para tomar qualquer decisão; o sistema apenas

monitorou virtualmente a escolha dos túneis e calculou a variação da distância do enxerto durante a flexo-extensão do joelho, que variou de 1mm a 13mm. Em todos os casos o cirurgião escolheu os túneis, portanto, baseado em sua experiência pessoal. Relatam que o sistema é seguro, não causando dor, hematoma ou fratura nos locais de fixação dos corpos rígidos que orientavam o sistema, mas promove um incremento no tempo cirúrgico entre 15 e 30 minutos. A grande variação da distância do enxerto entre os casos mostra que obter túneis que proporcionem comportamento próximo ao isométrico dificilmente é reproduzível, mesmo para cirurgiões experientes.

Klos *et al* (1998) comparam o posicionamento dos túneis ósseos obtidos com auxílio de um sistema de navegação acoplado à radioscopia, com auxílio apenas de radioscopia e com o uso de guias convencionais sem auxílio extra. Concluem que a navegação consegue posicionar os túneis com mais precisão.

Cole *et al* (2000) avaliam a acurácia da avaliação por radiografias simples do posicionamento do túnel femoral da reconstrução do LCA. Realizam em cada um de nove fêmures de cadáveres seis túneis em diferentes posições, avaliando cada uma das possibilidades com radiografias simples. Demonstram que esse método de avaliação não consegue

identificar adequadamente os túneis que foram propositalmente mal-posicionados.

Picard *et al* (2001) realizam um estudo prospectivo randomizado em modelos de joelhos de espuma comparando o posicionamento dos túneis ósseos da reconstrução do LCA com o sistema de navegação KneeNav™ ACL e com o uso de guias convencionais. Concluem que a navegação consegue posicionar os túneis mais próximos aos pontos previamente planejados com uma acurácia estatisticamente superior aos guias artroscópicos tradicionais.

Musahl *et al* (2002) comparam a utilização de parâmetros de radiografias simples com parâmetros de tomografia computadorizada em um sistema de navegação baseado em imagem em 8 joelhos de cadáveres. Concluem que ambos os métodos proporcionam posicionamento acurado dos túneis com o sistema de navegação utilizado, sem diferença estatística entre eles.

Sati *et al* (2002) descrevem o desenvolvimento de um sistema de navegação para o planejamento e posicionamento dos túneis ósseos na

cirurgia de reconstrução do LCA no Instituto de Biomecânica M. E. Muller na Suíça. Nesse estudo não se comparam benefícios nem resultados obtidos em relação à técnica convencional.

Sudhahar *et al* (2004) realizam um estudo para determinar se os túneis ósseos na reconstrução do LCA com guias convencionais estão posicionados realmente onde os cirurgiões acreditavam tê-lo feito. Para tanto, analisam retrospectivamente 32 cirurgias convencionais, comparando a posição dos túneis mensurada em radiografias realizadas no pós-operatório com a descrição do posicionamento desses túneis pelos cirurgiões, baseada em suas impressões unicamente intra-operatórias. O posicionamento dos túneis femorais mostra boa correlação, mas em 4 pacientes os túneis tibiais estavam localizados muito diferentemente do que se acreditava.

Müller-Alsbach e Staubli (2004) descrevem a utilização clínica do sistema de navegação Praxim Medivision, demonstrando o interesse de vários grupos em desenvolver sistemas para auxiliar na reconstrução do LCA. Nesse estudo, mais uma vez, o principal objetivo da CAOS na reconstrução do LCA é reconhecido como o potencial de se evitar o mal-posicionamento dos túneis ósseos, sem que tal assertiva seja posta à prova.

Koh (2005) relata sua experiência pessoal com a utilização do sistema de navegação Orthopilot em 30 cirurgias de reconstrução do LCA. O tempo adicional necessário para a navegação é entre 5 e 10 minutos. Todos os túneis foram locados na posição desejada.

Gali *et al* (2005) relatam uma série retrospectiva de revisão da reconstrução do LCA de 31 pacientes. Desses, 61% apresentavam túneis ósseos mal posicionados que foram apontados como responsáveis pela falha do procedimento primário.

Hoser *et al* (2005) comparam a utilização de radiografias simples com de tomografia computadorizada para a avaliação do posicionamento do túnel femoral da reconstrução do LCA. Avaliam retrospectivamente 50 pacientes entre 24 e 60 meses de pós-operatório de reconstrução do LCA com enxerto autólogo do terço central do tendão patelar fixado no fêmur com endobutton. Concluem que existe diferença entre os métodos e recomendam a utilização da tomografia computadorizada quando há necessidade de mensurações precisas.

Schep *et al* (2005) comparam o posicionamento dos túneis ósseos da cirurgia de reconstrução do LCA em 12 joelhos de cadáveres realizados por 3 cirurgiões com um sistema de navegação e com guias convencionais. Concluem que a variação do posicionamento dos túneis entre os cirurgiões pode ser menor quando se utiliza a navegação, comparado com a utilização de guias convencionais, embora não haja diferença significativa.

Valentin *et al* (2005) relatam sua experiência inicial em 235 casos operados com o auxílio do sistema de navegação Orthopilot para a reconstrução do LCA. O posicionamento dos túneis foi considerado correto em todos os casos.

Wiwattanawarang e Rujiwetpongstorn (2005) dissecam 37 joelhos de cadáveres em que foi realizado o túnel femoral com o auxílio de um guia convencional e concluem que existe uma tendência de que os túneis estejam mais posteriores do que o planejado.

Koh *et al* (2006) comparam radiograficamente o posicionamento dos túneis ósseos da cirurgia de reconstrução do LCA em 41 casos consecutivos utilizando guias convencionais com 42 casos consecutivos subseqüentes

utilizando o sistema de navegação Orthopilot. Todos os túneis dos dois grupos foram considerados em posição adequada, mas os túneis tibiais realizados com o Orthopilot estavam significativamente mais anteriores, sem que houvesse impacto do enxerto com a fossa intercondilar do fêmur.

Panisset *et al* (2006) estudam a fidedignidade do sistema Orthopilot em 50 cirurgias de reconstrução do LCA. Analisam os dados de posicionamento dos túneis ósseos gravados pelo computador durante a cirurgia e os comparam com os dados mensurados em radiografias no pós-operatório. Concluem que existe grande fidedignidade da localização do ponto de emergência na articulação do túnel tibial e femoral tanto no plano coronal como no sagital. Encontraram diferenças, entretanto, nas angulações do túnel tibial em ambos os planos, mas acreditam que tal achado se justifica pela dificuldade em se medir tais ângulos de maneira acurada com radiografias simples.

Mauch *et al* (2007) comparam prospectivamente o posicionamento radiográfico do túnel tibial da reconstrução do LCA entre um grupo de 24 atletas em que se utilizou o sistema de navegação Orthopilot e outro grupo de 29 atletas em que guias convencionais foram utilizados. Todos os túneis

foram considerados bem posicionados e não houve diferença estatística entre os grupos.

Hart *et al* (2008) comparam prospectivamente o posicionamento radiográfico dos túneis, a frouxidão anterior com um artrômetro KT-1000 e resultados funcionais em 40 pacientes submetidos à reconstrução do LCA com o auxílio do sistema de navegação Orthopilot e 40 pacientes em que guias convencionais foram utilizados. Todos os parâmetros avaliados não demonstraram diferenças, com exceção de melhor acurácia do posicionamento dos túneis femorais no grupo navegado, muito embora reconheçam a dificuldade de se valorizar esse dado pela limitação do método radiográfico de avaliação.

Pinczewski *et al* (2008) avaliam radiograficamente o posicionamento dos túneis ósseos de 200 pacientes submetidos à reconstrução do LCA com guias convencionais e associam o posicionamento posterior do túnel tibial à maior tendência de ruptura do enxerto e a verticalização do túnel femoral à maior instabilidade rotacional e pior progressão de sinais de degeneração articular.

## **3 MÉTODOS**

### 3.1 Material

Foram utilizados 18 cadáveres do Serviço de Verificação de Óbitos da Capital (SVO), sendo avaliados 36 joelhos pareados. Os cadáveres eram adultos, 4 do sexo feminino e 14 do masculino, de idade entre 38 e 76 anos (média 51,9; desvio padrão 11,9) e preencheram os seguintes critérios de inclusão:

- morte por causa não traumática e não infecto-contagiosa;
- ausência de sinais que pudessem indicar trauma ou doença degenerativa pregressos, como cicatriz, hematoma ou deformidade.

Os critérios de exclusão foram:

- peça em que houve lesão ligamentar ou meniscal prévia, bem como doença degenerativa, diagnosticadas durante a artroscopia.

Nenhuma peça foi excluída do estudo, por não preencher tais critérios.

### 3.2 A retirada e o armazenamento das peças anatômicas

A utilização de peças anatômicas de cadáveres foi aprovada pela Comissão Científica do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

A retirada foi realizada através de incisão longitudinal anterior mediana da pele do terço médio da coxa até o terço médio da perna, seguida de dissecação roma do tecido subcutâneo circunferencialmente. Para a extração, a musculatura foi seccionada transversalmente no terço médio da coxa e da perna, o fêmur serrado a aproximadamente 20 cm proximal e a tibia e fíbula a 30 cm distais à interlinha articular. Dessa maneira os joelhos mantiveram todo o invólucro muscular, tendíneo e capsular, sendo apenas desnudo da pele e subcutâneo. As peças foram acondicionadas em sacos plásticos duplos e transportadas ao Laboratório de Artroscopia do IOT-HC-FMUSP, onde foram congeladas e armazenadas à  $-12^{\circ}$  C.

Com cerca de 12 horas de antecedência aos testes, cada peça foi descongelada, retirando-as do congelador e mantendo-as submersas em água corrente a temperatura ambiente.

### **3.3 A preparação das peças**

Para se iniciar o ensaio, a peça foi fixada à bancada de artroscopia através do fêmur, onde foram então submetidos à cirurgia.

Todos os joelhos foram submetidos à artroscopia. Foram confeccionados com um bisturi de lâmina 11 um portal ântero-lateral e um ântero-medial, ambos ao nível da interlinha articular, distando aproximadamente 1 cm da borda do tendão patelar. Através do portal ântero-lateral foi introduzido o trocater de artroscopia de 4,5 mm de diâmetro, onde se conectou um tubo plástico para infusão de água, e por onde se introduziu a ótica de artroscopia de 30<sup>0</sup>. O portal ântero-medial foi a via de acesso dos outros instrumentos, como pinças e guias. O LCA foi retirado em sua origem, na fossa intercondilar do fêmur, e em sua inserção, na tíbia, mantendo-se íntegro o LCP. Não foi feita intercondiloplastia.

### **3.4 A formação dos grupos**

Para cada par de joelhos um dos lados foi designado por sorteio por moeda para o grupo 1 (guias convencionais) e o outro para o grupo 2

(Orthopilot). Obtiveram-se dois grupos com 18 joelhos em cada um, sendo 8 joelhos direitos e 10 esquerdos no grupo 1 e 10 direitos e 8 esquerdos no 2.

### **3.5 A técnica cirúrgica**

#### **3.5.1 Grupo 1 – Guias Convencionais**

Os joelhos do grupo 1 (guias convencionais) foram submetidos à passagem dos fios-guia para o preparo dos túneis ósseos para a reconstrução do LCA com instrumental cirúrgico convencional.

Para o túnel tibial, foi usado um guia tibial Acufex Director (Smith & Nephew, Inc., EUA) (figura 1) com angulação de 55°, que foi locado com o objetivo de preencher os seguintes parâmetros:

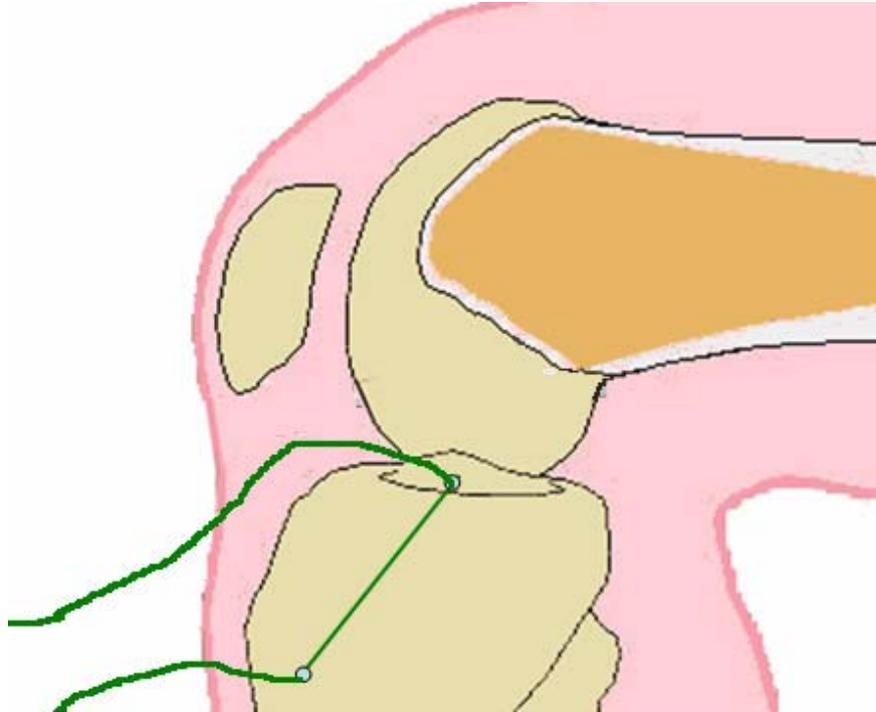
- a) inclinação no plano axial de 15°;
- b) ponta do guia direcionada para a região da eminência intercondilar da tíbia, à meia distância entre a borda medial do corno anterior do menisco lateral e o tubérculo intercondilar medial;



**Figura 1:** Guia tibial Acufex Director

Nessa posição foi passado o fio guia metálico de 4 furos com auxílio de um perfurador elétrico, da borda ântero-medial da tíbia até a ponta do guia dentro da articulação. O posicionamento do fio guia foi avaliado pelo cirurgião através do artroscópio.

Um fio de sutura de poliéster (Ethibond® 5) foi puxado pelo fio guia metálico da borda ântero-medial da tíbia para dentro da articulação, permanecendo então locado através do centro do que seria o túnel tibial, que não foi brocado (figura 2).

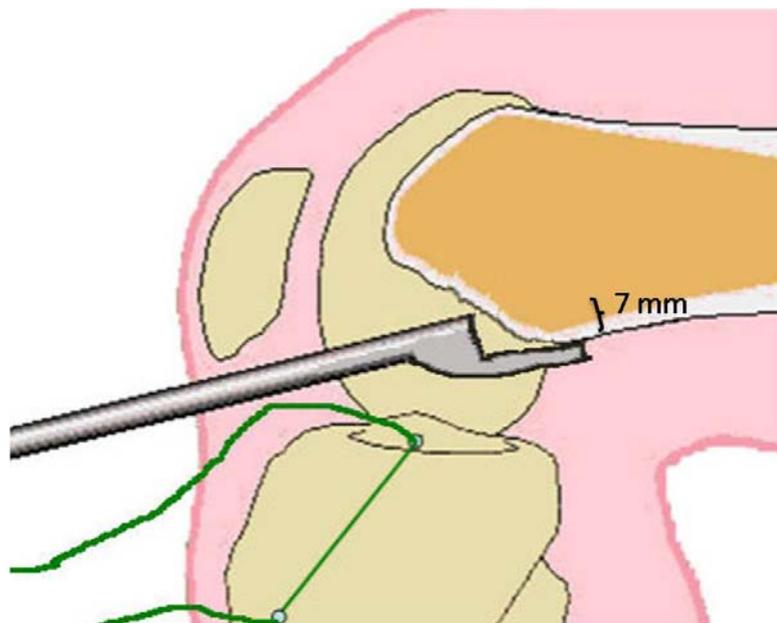


**Figura 2:** Fio Ethibond® 5 passado pelo trajeto do fio guia tibial.

Para o túnel femoral foi introduzido através do portal ântero-medial (figura 3) um guia femoral Acufex com off-set de 7 mm que foi locado na fossa intercondilar do fêmur seguindo os parâmetros:

- a) apoio do guia na cortical posterior do fêmur;

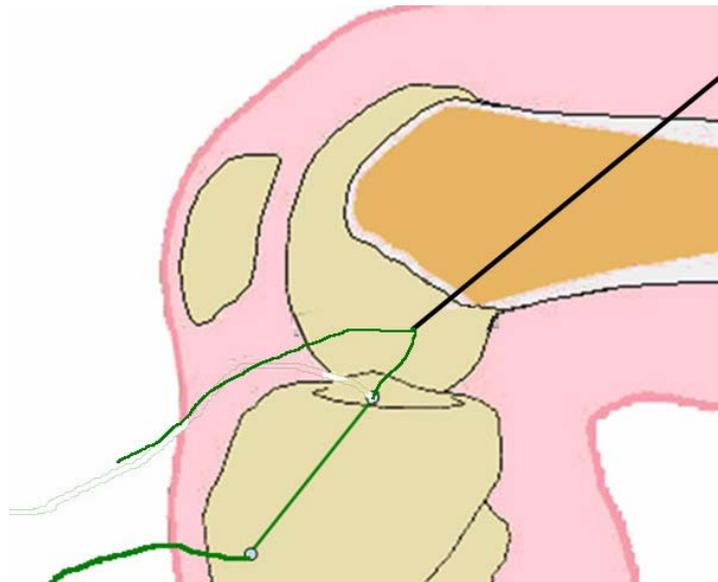
- b) angulação coronal suficiente para locar a ponta do guia com angulação coronal que corresponda às 11h para os joelhos direitos e à 1h para os esquerdos.



**Figura 3:** Guia femoral Acufex de 7 mm através do portal ântero-medial

Nessa posição foi passado o fio guia de 4 furos com auxílio de um perfurador elétrico, da face medial do côndilo lateral do fêmur até que despontou na face ântero-lateral da coxa da peça.

O fio Ethibond<sup>®</sup> 5 teve a sua extremidade que fora deixada livre dentro da articulação exposta pelo portal ântero-medial para, então, ser puxada pelo fio guia de 4 furos através do fêmur (figura 4). Dessa maneira, o fio ficou locado no centro do que seria o túnel femoral, que também não foi brocado.



**Figura 4:** Fio Ethibond<sup>®</sup> 5 tracionado pelo centro do túnel femoral.

### 3.5.2 Grupo 2 – Cirurgia navegada por computador

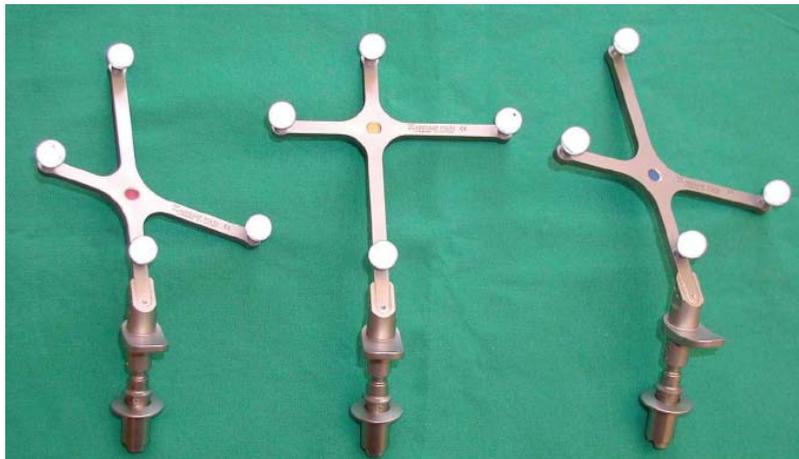
Os joelhos do grupo 2 foram submetidos à passagem dos fios-guia para o preparo dos túneis ósseos para a reconstrução do LCA com o auxílio do sistema de navegação Orthopilot.

O Orthopilot® (Aesculap, Tuttlingen, Alemanha) é um sistema computadorizado que tem como princípio o rastreamento tridimensional em tempo real de instrumentos cirúrgicos específicos no momento da cirurgia, sem a necessidade de planejamento adicional pré-operatório ou de fornecimento de imagens, como tomografia computadorizada. É composto por um micro computador ao qual se conecta um par de sensores ópticos de raio infravermelho (câmeras). Além disso, também são conectados ao computador teclado, mouse e monitor de vídeo convencionais e uma pedaleira com dois pedais para serem acionados pela equipe cirúrgica durante o procedimento (figura 5). Foi utilizado o programa *anterior cruciate ligament replacement version 1.1, 2002*, e seu instrumental cirúrgico específico.



**Figura 5:** Orthopilot. No detalhe, o par de câmeras.

Para obter o rastreamento, dois corpos rígidos passivos com quatro esferas refletoras (figura 6) foram fixados com dois fios de Kirschner, um ao fêmur e um à tíbia (figura 7). Os raios infravermelhos foram emitidos por uma fonte ao lado das câmeras. As câmeras conectadas detectaram os sinais refletidos por essas peças, determinando seu posicionamento espacial. Um terceiro corpo rígido passivo foi acoplado a instrumentais específicos para cada passo da cirurgia.



**Figura 6:** Os corpos rígidos passivos: o vermelho foi posicionado no fêmur, o azul na tíbia e o amarelo foi acoplado a um instrumental próprio para cada etapa da cirurgia.



**Figura 7:** Corpos rígidos fixados na tíbia e no fêmur de modelo plástico.

O processo se iniciou com a execução do programa no micro-computador. Os passos seguintes foram determinados em ordem pelo programa. Digitamos dados relativos ao procedimento, como nome do cirurgião, do paciente, o lado a ser operado e o diâmetro do enxerto. Foi considerado para todos os casos o diâmetro do enxerto de 10 mm. A partir desse momento, a operação do programa pôde ser conduzida apenas pela equipe cirúrgica com o uso do pedal.

Foi realizada a avaliação da cinemática do joelho, com captação do movimento de flexo-extensão pelo computador que, ao rastrear a posição relativa entre os rastreadores fixos entre si, e, portanto, a posição relativa entre o fêmur e a tíbia, determinou o centro da articulação.

A seguir foram transmitidas as coordenadas de referências anatômicas ao computador, por meio da palpação com um apontador (Figura 8) acoplado ao corpo passivo móvel e o acionamento subsequente de um pedal.



**Figura 8:** Apontador acoplado ao corpo passivo amarelo.

Em ordem, se posicionou o apontador na tuberosidade da tíbia, margem anterior da tíbia, borda medial da interlinha articular e borda lateral da interlinha articular. Os pontos intra-articulares foram visualizados pelo artroscópio e palpados por meio do portal ântero-medial: margem anterior do ligamento cruzado posterior na tíbia (LCP), tubérculo intercondilar medial, borda posterior medial do corno anterior do menisco lateral, pelo menos cinco pontos da margem anterior da fossa intercondilar do fêmur femoral na sua transição com a cartilagem articular e pelo menos cinco pontos na face medial do côndilo lateral do fêmur.

A palpação subsequente da borda posterior da fossa intercondilar do fêmur na sua transição com a cortical posterior do fêmur em duas posições, ao meio-dia e às 11h para o joelho direito e à 1h para o esquerdo foi realizada com um apontador tipo gancho (figura 9).



**Figura 9:** Apontador tipo gancho acoplado ao corpo passivo móvel.

Após essa primeira fase, se iniciou a fase de navegação cirúrgica propriamente dita.

O primeiro passo foi a determinação do posicionamento do túnel tibial. Um guia tibial específico do instrumental de navegação acoplado ao corpo passivo móvel (figura 10) foi rastreado e em tempo real se pôde observar na

tela do computador seu posicionamento. Os parâmetros que buscaremos foram os mesmos do grupo 1.



**Figura 10:** Guia tibial acoplado ao corpo passivo móvel.

Assim que se posicionou o guia tibial, foi passado o fio guia metálico com auxílio de um perfurador elétrico, da borda ântero-medial da tibia até a ponta do guia dentro da articulação.

Um fio de sutura de poliéster (Ethibond<sup>®</sup> 5) foi puxado pelo fio guia metálico da borda ântero-medial da tibia para dentro da articulação, permanecendo então locado através do centro do que seria o túnel tibial, que não foi brocado, da mesma maneira que no grupo 1.

As coordenadas que definiram o túnel tibial foram armazenadas pelo computador, que utilizou esse parâmetro para calcular o melhor ponto de entrada do túnel femoral para aquele túnel tibial.

Um guia femoral específico do instrumental introduzido pelo portal ântero-medial, foi rastreado em tempo real. O guia pôde ser locado em qualquer posição da parede medial do côndilo lateral do fêmur enquanto o cirurgião acompanhou na tela do computador vários parâmetros simultaneamente, quais sejam:

- a) angulação coronal;
- b) distância da cortical posterior do fêmur;
- c) isometria do enxerto.

O ponto escolhido para o centro do túnel femoral foi aquele que respeitou os parâmetros previamente definidos e obteve a melhor isometria.

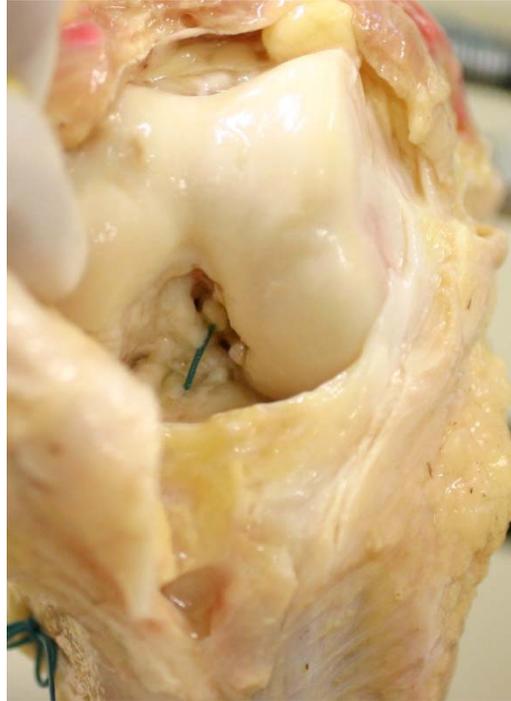
Nessa posição foi passado o fio guia de 4 furos com auxílio de um perfurador elétrico, da face medial do côndilo lateral do fêmur até que despontou na face ântero-lateral da coxa da peça.

A extremidade do fio Ethibond<sup>®</sup> 5 que estava intra-articular foi tracionada pelo portal ântero-medial para, então, ser puxada pelo fio guia de 4 furos através do fêmur. Dessa maneira, o fio ficou locado no centro do que seria o túnel femoral, que também não foi brocado.

Dessa maneira, nenhum túnel foi brocado, mas o fio Ethibond<sup>®</sup> 5 estava locado dentro dos joelhos, passando pelo centro do que seria o túnel femoral a partir da cortical ântero-lateral da diáfise femoral e pelo centro do que seria o túnel tibial até a cortical ântero-medial da tíbia (Figura 11 e 12).



**Figura 11:** Visão externa do Ethibond<sup>®</sup> 5 em peça montada na bancada.



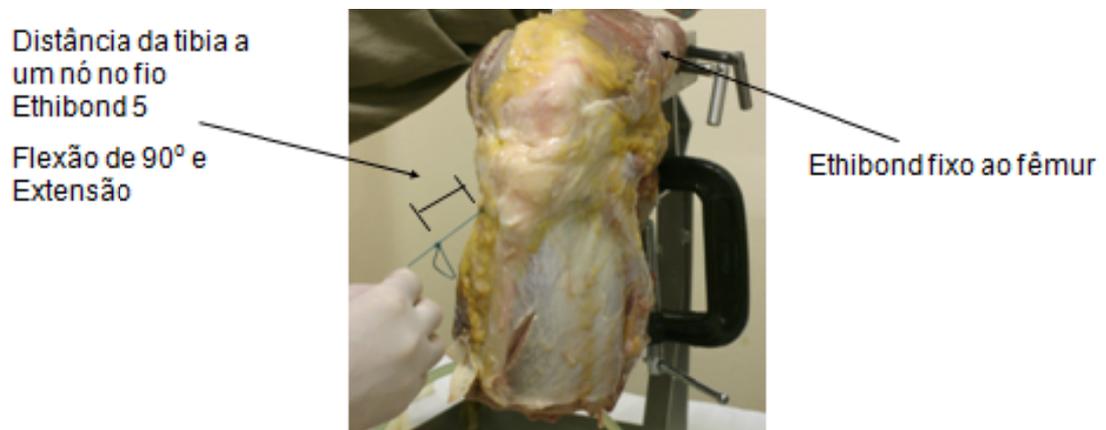
**Figura 12:** Visão da localização do Ethibond® 5 intra-articular.

### 3.6 A coleta de dados

A metodologia de determinação da isometria foi baseada em Hernandez *et al* (1995).

Foi feito um nó no fio de Ethibond® 5 na sua extremidade proximal ao fêmur. Esse nó tinha diâmetro maior que 2,5 mm e, portanto, ao se tracionar

a outra extremidade do fio pela borda livre emergindo da tíbia, não era possível que migrasse para além da diáfise femoral. Um segundo nó foi feito na outra extremidade livre do fio a uma distância arbitrária a partir de sua emergência da tíbia. Tracionando tal extremidade, foi aferido com um paquímetro o comprimento da borda da tíbia até o nó do fio com o joelho em flexão de  $90^\circ$  e em extensão (figura 13). A diferença entre essas medidas corresponde à diferença de distância entre os túneis femoral e tibial nessas posições, o que foi chamado de isometria. Seria considerado isométrico o enxerto cuja variação de comprimento fosse zero. Logo, quanto menor essa variação, mais próximo dessa situação ideal.



**Figura 13:** Medida da isometria.

As peças foram então retiradas da bancada de artroscopia e foi feita uma artrotomia ampla para mensuração direta com paquímetro de:

A) em relação ao Túnel tibial:

A1) distância do centro do túnel tibial na superfície cranial da tíbia ao ligamento cruzado posterior;

A2) distância do centro do túnel tibial na superfície cranial da tíbia ao tubérculo intercondilar medial;

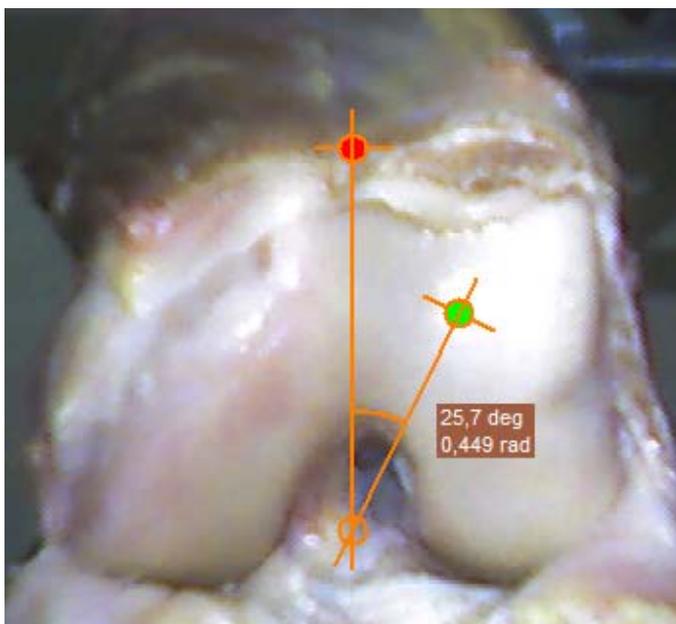
A3) distância do centro do túnel tibial na superfície cranial da tíbia à borda do corno anterior do menisco lateral.

B) em relação ao Túnel femoral:

B1) espessura da cortical posterior.

Uma fotografia digital foi feita com o joelho fletido a 90° com visão frontal da fossa intercondilar do fêmur. Foi traçada uma reta perpendicular à superfície articular da tíbia no terço médio do intercôndilo (12h). A intersecção dessa reta com a imagem da borda cranial da tíbia determinou um ponto que foi considerado o vértice angular. A partir desse ponto foi traçada a segunda reta, que passava pelo centro do túnel femoral. O ângulo

formado por essas duas retas foi mensurado em um computador com o programa VistaMetrix (figura 14).



**Figura 14:** Medida da angulação coronal do centro do túnel femoral.

### **3.7 Metodologia estatística**

Os dados foram analisados com o teste de Wilcoxon para comparação de duas amostras pareadas. Adotou-se um nível de significância de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ) e níveis descritivos ( $p$ ) inferiores ou iguais a esse valor foram considerados estatisticamente significantes.

## **4 RESULTADOS**

## 4.1 Dados

### 4.1.1 Grupo 1 – Guias convencionais

**Tabela 1:** Dados obtidos em cada joelho do grupo em que foram utilizados guias convencionais.

Par #	Lado	Tib-LCP (mm)	Tib-Mlat (mm)	Tib-Emed (mm)	Fem-Cort (mm)	Angul túnel Femoral (°)	Isometria (mm)
1	D	11,6	4,6	9,1	5,6	22,4	3,1
2	E	9,4	12,6	8,9	3,9	20,2	5,8
3	E	6,7	11,7	10,8	0,0	18,5	3,4
4	E	12,0	6,8	6,3	6,0	7,7	3,5
5	E	13,9	5,8	10,4	4,5	18,8	2,0
6	D	13,9	4,2	11,2	1,6	18,7	9,4
7	D	9,2	7,9	9,5	0,0	23,4	1,1
8	D	10,5	4,8	6,9	4,9	13,8	2,8
9	D	9,9	6,8	7,3	5,0	14,2	2,2
10	D	7,7	5,4	4,2	3,7	23,9	4,6
11	D	16,8	9,4	7,5	6,9	18,4	4,0
12	E	7,4	7,2	7,5	4,7	25,7	3,6
13	E	11,1	8,9	5,8	5,7	21,7	5,7
14	E	8,4	5,3	4,2	3,9	24,5	1,7
15	E	5,9	6,2	4,6	5,3	13,6	2,0
16	E	13,2	6,1	3,6	2,2	10,7	7,4
17	E	9,1	8,4	6,4	8,6	11,5	8,1
18	D	7,6	8,2	4,5	9,6	27,2	5,2

Angul túnel Femoral: angulação coronal do centro do túnel femoral.

Fem-Cort: distância do centro do túnel femoral à cortical posterior do fêmur.

Tib-Emed: distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial.

Tib-LCP: distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior.

Tib-Mlat: distância do centro do túnel tibial ao menisco lateral.

#### 4.1.2 Grupo 2 – Cirurgia navegada por computador

**Tabela 2:** Dados obtidos em cada joelho do grupo em que foi utilizada a cirurgia navegada por computador.

Par #	Lado	Tib-LCP (mm)	Tib-Mlat (mm)	Tib-Emed (mm)	Fem-Cort (mm)	Angul túnel Femoral (°)	Isometria (mm)
1	E	19,9	3	9,4	7,5	17,9	2,9
2	D	9,1	8,8	3,7	4,9	30,7	4,7
3	D	8,9	9,3	10,3	8,1	7,64	5,1
4	D	10,6	13	8,5	6,1	8,1	5,5
5	D	9,5	7,5	6,6	7,2	25,3	2,2
6	E	13,8	6,8	9,6	5,3	9,58	1,4
7	E	7,9	9,7	8,5	0	8,2	0,6
8	E	14,3	6,2	7,2	8,2	25,7	3,5
9	E	13,2	4,4	8,4	7,5	9,88	0,3
10	E	10,2	4,1	2,4	6,8	14,1	0,8
11	E	6,3	9,1	7,8	0	36,4	3,5
12	D	8,3	8,2	6,9	7,8	6,97	2,4
13	D	11,8	6,2	6,3	0	8,54	3,5
14	D	10,5	5,9	4,3	0	14,5	1,9
15	D	3,7	10,3	5,3	0	10,6	0,4
16	D	8,9	9,4	3,8	0	8,42	6,7
17	D	7,2	5,3	3,5	0	9,88	2,4
18	E	8,7	8,9	6	7,2	9,78	3,4

Angul túnel Femoral: angulação coronal do centro do túnel femoral.

Fem-Cort: distância do centro do túnel femoral à cortical posterior do fêmur.

Tib-Emed: distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial.

Tib-LCP: distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior.

Tib-Mlat: distância do centro do túnel tibial ao menisco lateral.

## 4.2 Análise estatística

### 4.2.1 Distância do centro do túnel tibial ao menisco lateral.

**Tabela 3** - Avaliação estatística dos dados de distância do centro do túnel Tiba ao menisco lateral (mm) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	7,24	7,56
Desvio padrão	2,34	2,53

Wilcoxon    p= 0,711

A análise da distância do centro do túnel tibial ao menisco lateral mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2.

**4.2.2 Distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial da tíbia.**

**Tabela 4** - Avaliação estatística dos dados de distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial (mm) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	7,15	6,58
Desvio padrão	2,42	2,35

Wilcoxon    p= 0,459

A análise da distância do centro do túnel tibial ao tubérculo intercondilar medial mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2.

**4.2.3 Distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior.**

**Tabela 5** - Avaliação estatística dos dados de distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior (mm) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	10,24	10,16
Desvio padrão	2,91	3,58

Wilcoxon    p= 0,931

A análise da distância do centro do túnel tibial ao ligamento cruzado posterior mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2.

#### 4.2.4 Distância do centro do túnel femoral à cortical posterior do fêmur.

**Tabela 6** - Avaliação estatística dos dados de distância do centro do túnel femoral à cortical posterior do fêmur (mm) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	4,56	4,26
Desvio padrão	2,54	3,59

Wilcoxon    p= 0,868

A análise da distância do centro do túnel femoral à cortical posterior do fêmur mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2.

#### 4.2.5 Angulação coronal do túnel femoral

**Tabela 7** - Avaliação estatística dos dados de angulação coronal do túnel femoral (graus) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	19,18	14,16
Desvio padrão	5,70	8,98

Wilcoxon    p= 0,063

A análise da distância da angulação coronal do túnel femoral mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2.

**4.2.6 Isometria - variação da distância do centro do túnel femoral ao centro do túnel tibial em extensão e em 90 graus de flexão do joelho**

**Tabela 8** - Avaliação estatística da variação da distância do centro do túnel femoral ao centro do túnel tibial em extensão e em 90 graus de flexão do joelho (mm) de 36 joelhos realizados através de duas técnicas cirúrgicas.

	Grupo 1	Grupo 2
Média	4,2	2,84
Desvio padrão	5,45	3,38

Wilcoxon     $p= 0,028^*$

A análise da variação da distância do centro do túnel femoral ao centro do túnel tibial em extensão e em 90 graus de flexão do joelho mostrou que o grupo 2 obteve valores significativamente menores que o grupo 1.

## **5 DISCUSSÃO**

Vários sistemas de navegação auxiliada por computador foram desenvolvidos para a reconstrução do LCA, como Dessenne *et al* (1995), Julliard *et al* (1998), Sati *et al* (2002), Müller-Alsbach e Staubli (2004) e Schep *et al* (2005). Nenhum deles conseguiu demonstrar, entretanto, em estudo clínico comparativo, superioridade clara em relação aos guias convencionais. Por outro lado Picard *et al* (2001) demonstra inequivocamente a superioridade de acurácia utilizando a navegação.

O desenho desse presente estudo visa comparar de maneira simples e com mensuração direta a localização dos túneis realizados com o Orthopilot e com guias convencionais. Além disso, e talvez de uma maneira mais importante, qual a isometria proporcionada.

A coleta, armazenamento e preparo das peças anatômicas desse estudo seguiu a metodologia empregada em vários trabalhos do Laboratório de Artroscopia do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo. (Albuquerque, 1994; Hernandez, 1994; Albuquerque, 1999; Górios, 2000; Kokron, 2000; Sasaki, 2003; Maradei, 2004; Albuquerque *et al*, 2007).

As vantagens da utilização de cadáveres sobre o estudo em pacientes incluem a possibilidade de mensuração de distâncias diretamente. Além disso, o uso de testes comparativos pareados nos permite aplicar as duas

técnicas no mesmo indivíduo, minimizando efeitos que variações anatômicas possam ter.

O tamanho da nossa amostra foi determinado após análise estatística dos dados obtidos nos primeiros 9 pares. Essa análise preliminar indicou que potencialmente encontraríamos diferença na isometria se tivéssemos um número de pares de pelo menos 20. Essa análise foi repetida com os resultados de 18 pares. Como esse tamanho de amostra foi suficiente para demonstrar aquela diferença e não havia tendência de encontrarmos outras diferenças no restante dos dados com mais ensaios, foi optado por encerrá-los com o tamanho definitivo da amostra de 18 pares.

Os guias convencionais utilizados nesse estudo são amplamente utilizados na prática clínica. A escolha desses modelos em particular se deveu ao fato de estarem disponíveis no Laboratório de Artroscopia e por entendermos que a escolha eventual de outros guias não teria impacto nos resultados, além de não existir evidência que demonstre superioridade inequívoca de guias de diferentes fabricantes sobre outros.

Os joelhos utilizados nesse estudo não apresentavam lesão do LCA, que foi retirado durante a artroscopia em que foi realizado o ensaio. A retirada deixa, invariavelmente, sinais claros da origem e inserção anatômicas desse ligamento, diferentemente do que acontece na prática clínica. Esses sinais podem ter auxiliado, ainda que não intencionalmente,

no posicionamento dos guias. Isso potencialmente pode ter melhorado os resultados obtidos, nos dois grupos.

O posicionamento dos guias convencionais e a aquisição de dados para a navegação dependem da avaliação e identificação visual de pontos de referência pelo cirurgião. Nas duas técnicas, portanto, o cirurgião depende de sua habilidade e julgamento para a execução do procedimento. Por depender desse fator inexato, os dados obtidos nesse estudo podem não ser necessariamente extrapolados para todos os pacientes.

A reconstrução intra-articular do LCA com um feixe único, da maneira como foi estudada, tem sido utilizada com sucesso há muitos anos e é o “padrão ouro” para o tratamento cirúrgico da lesão do LCA. A reconstrução com um único feixe reproduz aproximadamente o feixe anatômico ântero-medial do LCA, que tem comportamento mais próximo da isometria, ao contrário do feixe póstero-lateral, que tem comportamento menos isométrico (Hefzy *et al*, 1989). Apesar de potencialmente existirem benefícios teóricos na reconstrução de dois feixes, até o presente tais benefícios não proporcionaram resultados clínicos superiores que puderam ser demonstrados inequivocamente. Além disso, o sistema de navegação disponível para esse estudo não contemplava essa opção. Nesse trabalho a técnica de reconstrução do LCA escolhida foi, portanto, com um túnel femoral único, à semelhança de Julliard *et al* (1998), Klos *et al* (1998),

Valentin *et al* (2005), Koh *et al* (2006), Panisset *et al* (2006) e Mauch *et al* (2007).

A técnica tradicionalmente utilizada para avaliar os túneis ósseos da reconstrução do LCA é radiográfica, como por exemplo, em Khalfayan *et al* (1996), Musahl *et al* (2002) e Sudhahar *et al* (2004). Nesses estudos radiográficos o posicionamento do túnel tibial é representado pela relação do túnel com a distância total da tíbia em incidência de frente e perfil. Entretanto, Cole *et al* (2000) e Hoser *et al* (2005) demonstram que o uso de radiografias simples pode ser um método pouco acurado para esse fim. A mensuração direta com paquímetro traz a vantagem de ser precisa, simples e reprodutível, principalmente quando realizada por uma pessoa exclusivamente, muito embora não seja um método utilizado em outros estudos. Não se pode comparar, portanto, nossos dados com os obtidos por mensuração radiográfica como, por exemplo, Koh *et al* (2006) e Panisset *et al* (2006).

Os resultados das medidas da distância do túnel tibial ao LCP com o paquímetro mostraram médias ao redor de 10,2 mm nos dois grupos. É importante notar que os valores obtidos demonstraram não existir diferença entre os dois grupos. Nenhum outro estudo mensura a anteriorização do túnel tibial no plano sagital com essa metodologia. Vale notar, entretanto, que em ambos os grupos os valores alcançados foram maiores do que 7

mm, valor que é utilizado como parâmetro para alguns autores, como Eichhorn (2003).

O posicionamento preconizado do túnel tibial é a meia distância entre o tubérculo intercondilar medial e a borda anterior do menisco lateral (Kurzweil *et al*, 1994 e Eichhorn, 2003). Como o túnel não necessariamente está localizado exatamente sobre essa reta, para avaliar o posicionamento do túnel tibial no plano coronal optamos por desmembrar essa análise em duas medidas, a distância do túnel a cada uma dessas estruturas. E, mais uma vez, a comparação desses dados demonstrou que não houve diferença de posicionamento do túnel tibial entre os dois grupos.

A medida da espessura da cortical posterior do túnel femoral trouxe resultados surpreendentes. Apesar das peculiaridades do método utilizado tornarem difícil a comparação com dados radiográficos, houve uma tendência nos dois grupos de túneis mais posteriorizados, com média obtida por volta de 4 mm, do que esperados, de 7 mm. Wiwattanawarang e Rujiwetpongstorn (2005) encontram tendência semelhante com o uso de guias convencionais. Túneis mais posteriorizados podem, hipoteticamente, comprometer a fixação do enxerto quando se utiliza métodos que dependam da integridade da cortical posterior do túnel femoral. Não há, por outro lado, qualquer outro inconveniente biomecânico quando isso acontece, já que a isometricidade é comprometida pela anteriorização do túnel mas não por sua posteriorização, como demonstra Khalfayan *et al* (1996) e Cole *et al* (2000).

Consideramos, portanto, que por não encontrarmos nenhum túnel femoral anteriorizado, houve um posicionamento adequado em todos os joelhos, além de não haver diferença entre os grupos.

A mensuração em graus com fotografia digital da angulação coronal do túnel femoral não está descrita previamente na literatura. A opção por essa medida se baseou na reprodutibilidade e exatidão da medida e na facilidade de sua execução. Apesar de pequenos desvios de rotação do joelho no momento da fotografia poderem determinar variações do ângulo medido, consideramos que essa potencial inexatidão não é importante, já que todas as fotografias foram realizadas pela mesma pessoa com a mesma técnica e com visualização direta do intercôndilo. Vale ressaltar que um resultado de  $0^\circ$  equivaleria a um túnel exatamente vertical, ou às 12h. Um resultado hipotético de  $90^\circ$  seria, por essa metodologia, impossível, já que significaria que o túnel estaria exatamente na altura da interlinha articular.

Consolidando esses cinco parâmetros avaliados e levando em conta as peculiaridades citadas, todos os túneis estavam posicionados adequadamente. A comparação dos dados entre os dois grupos não conseguiu demonstrar qualquer diferença em nenhuma das medidas testadas.

Do ponto de vista estatístico, portanto, não houve diferença no posicionamento dos túneis entre os dois grupos.

Esses achados se contrapõem aos resultados de Klos *et al* (1998), Picard *et al* (2001) e Hart *et al* (2008) que sugerem maior precisão no posicionamento dos túneis com o uso da navegação. Por outro lado, vão de encontro ao observado por Koh *et al* (2006) e Mauch *et al* (2007), que não conseguem demonstrar diferença significativa no posicionamento desses túneis com o auxílio dessa nova ferramenta.

Nenhum desses estudos avalia, entretanto, a variação do comprimento do enxerto durante o arco de movimento, ou a sua isometria, ao comparar as duas técnicas. O estudo desse parâmetro para comparar a cirurgia de reconstrução do LCA com e sem navegação que foi realizado é inédito.

Os resultados obtidos nessa avaliação foram de certo modo surpreendentes. Uma vez que não há diferença estatisticamente significativa no posicionamento dos túneis entre os grupos, seria esperado que o comportamento de comportamento de isometria também fosse semelhante. Mas o grupo navegado conseguiu não só uma média menor, como menor intervalo e menores valores mínimos e máximos, o que é muito consistente.

Nossa interpretação para esse fato é que existe uma área aceitável para o posicionamento do centro dos túneis tanto na tíbia quanto no fêmur. A escolha do centro do túnel em qualquer um dos infinitos pontos dentro dessas áreas vai ser considerada adequada. Existem, portanto, infinitas combinações possíveis de túnel tibial adequado com túnel femoral adequado

para cada joelho. Cada uma dessas combinações vai determinar um comportamento diferente do enxerto e, portanto uma isometria diferente.

Parece que o sistema de navegação, uma vez escolhido o posicionamento do túnel da tibia, nos navegou para um ponto no fêmur, dentro da área aceitável, que proporcionou uma menor variação de comprimento de enxerto, ou melhor, isometria.

Vale lembrar que os parâmetros atualmente consagrados para esses túneis derivam de estudos que buscavam um comportamento de enxerto mais isométrico, como Penner *et al* (1988), Hefzy *et al* (1989) e Schutzer *et al* (1989) em laboratório e foram validados por estudos que demonstraram que quando esses parâmetros são alcançados o índice de bons resultados é maior, como Khalfayan *et al* (1996) e Pinczewski *et al* (2008).

Não se sabe ao certo porque isso acontece. Uma possibilidade de inferência lógica é acreditar que esses bons resultados são determinados preponderantemente pela boa isometria alcançada.

No momento somos compelidos a acreditar que a isometria realmente é um fator muito importante, à semelhança de Penner *et al* (1988), Hefzy *et al* (1989) e Schutzer *et al* (1989). Dessa maneira, esperamos que os pacientes operados com o auxílio desse sistema, ao receberem túneis que proporcionem um comportamento mais isométrico de seus enxertos, como

sugere esse trabalho, tenham um índice de bons resultados e de sobrevida da cirurgia superior aos atualmente encontrados na literatura.

O uso da navegação, entretanto, tem potenciais inconvenientes, como o aumento do tempo do procedimento, de acordo com Koh (2005), e a possível morbidade relacionada à fixação dos rastreadores aos ossos. Esse estudo não avaliou nenhum desses fatores.

Por fim, a experiência acumulada nos encoraja a continuar estudando o uso da computação como método de aprimoramento da cirurgia ortopédica. A avaliação clínica da navegação da reconstrução do LCA em pacientes é, sem dúvida, projeto que naturalmente se impõe ao término desse estudo.

## **6 CONCLUSÕES**

- Não houve diferença de posicionamento dos túneis ósseos da reconstrução do LCA entre o grupo que utilizou guias convencionais e o grupo do sistema de navegação Orthopilot. Todos os túneis foram considerados acuradamente posicionados.
- Esse sistema de navegação proporcionou túneis com média de variação de comprimento de enxerto no arco de movimento de 0 a 90° significativamente menor que o alcançado com guias convencionais.

## **7 REFERÊNCIAS**

1. Albuquerque RFM. Estudo biomecânico da fixação do enxerto de tendão patelar na reconstrução do ligamento cruzado anterior [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 1994.
2. Albuquerque RFM. Análise experimental de estabilidade anterior do joelho submetido à reconstrução intra-articular do ligamento cruzado anterior com tendão do músculo quadríceps da coxa através de túnel femoral único e duplo [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 1999.
3. Albuquerque RF, Amatuzzi MM, Pacheco AP, Angelini FJ, Campos O Jr. Positioning of the femoral tunnel for arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament: comparative study of 2 techniques. *Clinics*. 2007, 62:613-8.
4. Amatuzzi MM, Albuquerque RFM, Amatuzzi ML, Sasaki SU. O tratamento cirúrgico é imperativo na lesão do ligamento cruzado anterior? Há lugar para o tratamento conservador? *Rev Bras Ortop*. 2007, 42(8): 231-236.
5. Camanho GL, Pires GMA, Cobra HAAB. Evolução clínica da instabilidade anterior do joelho não tratada. *Rev Bras Ortop*. 1999, 34: 69-72.
6. Cole J, Drand JC Jr, Caborn DN, Johnson DL. Radiographic analysis of femoral tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Knee Surg*. 2000, 13: 218-222.
7. Dejour H, Chambat P. La chirurgie ligamentaire du genou. in *Encycl. Med. Chir*. Techniques chirurgicales orthopédie. Paris, Ed. Techniques, 1978, 727.

8. Dessenne V, Lavallée S, Julliard R, Orti R, Martelli S, Cinquin P. Computer-assisted knee anterior cruciate ligament reconstruction: first clinical tests. *J Image Guid Surg*. 1995, 1:59-64.
9. Eichhorn HJ. Image-Free Navigation in ACL Replacement with the OrthoPilot System in Stiehl JB, Konermann WH, Haaker RG., *Navigation and robotics in total joint and spine surgery: with 460 figures, 355 in colors and 31 tables*. 1a ed. SpringerVerlag, 2003, 387-396.
10. Eriksson E. How good are the results of ACL reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1997; 5:137.
11. Gali JC, Adad MAH, Mod MSB. Causas potenciais de recidiva da instabilidade após reconstrução do ligamento cruzado anterior. *Rev Bras Ortop*. 2005; 40: 52-59.
12. Good L, Odentein M, Gillquist J. Precision in reconstruction of the anterior cruciate ligament. A new positioning device compared with hand drilling. *Acta Orthop. Scand*. 1987, 58: 658-661.
13. Górios C. Estudo do relaxamento à tensão e da rigidez do ligamento cruzado anterior do joelho e dos enxertos para sua reconstrução com o ligamento patelar e com os tendões dos músculos flexores semitendíneo grácil [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2000.
14. Harner CD, Giffin JR, Duntleman RC, Annunziata CC, Friedman MJ. Evaluation and treatment of recurrent instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg [Am]* 2000, 82: 1652-1664.

15. Hart R, Krejzla J, Sváb P, Kocis J, Stipčák V. Outcomes after conventional versus computer-navigated anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008, 24: 569-78.
16. Hefzy MS, Grood ES, Noyes FR. Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. *Am. J. Sports Med.* 1989, 17: 208-216.
17. Hernandez AJ. Correlação das propriedades biomecânicas dos ligamentos do joelho com seus parâmetros antropométricos [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 1994.
18. Hernandez AJ, Rezende MU, Kokron AEV, Leivas TP, SottoGilberto AR, Camanho GL. Avaliação da isometricidade nas reconstruções do ligamento cruzado anterior e o valor de um guia para sua obtenção. *Acta Ortop Bras* 1995, 3: 30-34.
19. Hewson G. Drill guides for improving accuracy in anterior cruciate ligament repair and reconstruction. *Clin. Orthop.* 1983, 172: 119-124.
20. Hoogland T, Hillen B. Intra-articular reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. An experimental study of length changes in different ligament reconstructions. *Clin. Orthop.* 1984, 185: 197-202.
21. Hoser C, Tecklenburg K, Kuenzel KH, Fink C. Postoperative evaluation of femoral tunnel position in ACL reconstruction: plain radiography versus computed tomography. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005, 13: 256-62.

22. Jones KG. Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. A technique using the central one-third of the patellar ligament. *J. Bone Joint Surg [A]* 1963, 45: 925-932.
23. Julliard R, Lavallee S, Dessenne V. Computer assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop.* 1998, 354: 57–64.
24. Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB. The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1996, 24: 335–341.
25. Klos TV, Habets RJ, Banks AZ, Banks SA, Devilee RJ, Cook FF. Computer assistance in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop.* 1998, 354: 65–69.
26. Koh J, Koo SS, Leonard J, Kodali P. Anterior cruciate ligament (ACL) tunnel placement: a radiographic comparison between navigated versus manual ACL reconstruction. *Orthopedics.* 2006, 29: S122-4.
27. Koh J. Computer-assisted navigation and anterior cruciate ligament reconstruction: accuracy and outcomes. *Orthopedics.* 2005, 28: S1283-7.
28. Kokron AEV. Avaliação biomecânica da estabilidade da reconstrução na lesão isolada do ligamento cruzado posterior com um e dois feixes de enxerto [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2000.
29. Kurzweil PR, Jackson DW. Chronic anterior cruciate ligament injuries. In Fu FH, Harner CD, Vince KG. *Knee Surgery*, Baltimore, Williams & Wilkins, 1994, 731-747.

30. Maradei JAR. Estudo biomecânico da influência da espessura do enxerto e da técnica de dois feixes na reconstrução do ligamento cruzado posterior [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2004.
31. Mauch F, Apic G, Becker U, Bauer G. Differences in the placement of the tibial tunnel during reconstruction of the anterior cruciate ligament with and without computer-assisted navigation. *Am J Sports Med.* 2007, 35: 1824-32.
32. Müller-Alsbach UW, Staubli AE. Computer aided ACL reconstruction. *Injury.* 2004, 35: S-A65-67.
33. Musahl V, Burkart A, Debski RE, Van Scyoc A, Fu FH, Woo SL. Anterior cruciate ligament tunnel placement: comparison of insertion site anatomy with the guidelines of a computer-assisted surgical system. *Arthroscopy.* 2002, 19: 154–160.
34. Odensten M, Gillquist J. Function anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J. Bone Joint Surg [A]* 1985, 67: 257-262.
35. Panisset JC, Boux De Casson F. Navigated anterior cruciate ligament reconstruction: correlation between computer data and radiographic measurements. *Orthopedics.* 2006, 29: S133-6.
36. Penner DA, Daniel DM, Wood, P, Mishira, D. An in vitro study of anterior cruciate ligament and isometry. *Am. J. Sports Med.* 1988, 16: 238-243.

37. Picard F, DiGioia AM, Moody J, Martinek V, Fu FH, Rytel M, Nikou C, LaBarca RS, Jaramaz B. Accuracy in tunnel placement for ACL reconstruction. Comparison of traditional arthroscopic and computer-assisted navigation techniques. *Comput Aided Surg.* 2001, 6: 279-89.
38. Pinczewski LA, Salmon LJ, Jackson WF, von Bormann RB, Haslam PG, Tashiro S. Radiological landmarks for placement of the tunnels in single-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2008, 90: 172-9.
39. Rezende MU, Mello Filho GB, Saragiotto M, Kokron AEV, Sotto AR, Camanho GL, Hernandez AJ. Comportamento isométrico na reconstrução do ligamento cruzado anterior após a confecção dos túneis ósseos femoral e tibial. *Rev Bras Ortop.* 1995, 30: 269-273.
40. Sasaki SU. Estudo comparativo entre dois tipos de fixação da fratura por avulsão do ligamento cruzado posterior na tíbia: via aberta versus via artroscópica [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2003.
41. Sasaki SU. Estudo biomecânico comparativo, em cadáveres, da reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho com técnica convencional e com túneis duplos tibiais e femorais [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2007.
42. Sati M, Staubli H, Bourquin Y, Kunz M, Nolte LP. Realtime computerized in situ guidance system for ACL graft placement. *Comput Aided Surg.* 2002, 7: 25–40.

43. Schep NWL, Stavenuiter HJ, Diekerhof CH, Martens EP, van Haeff CM, Broeders IA, Saris DB. Intersurgeon variance in computer-assisted planning of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2005, 21: 942-947.
44. Schutzer S.F, Christen S, Jakob RP. Further observations on the isometricity of the anterior cruciate ligament. *Clin. Orthop*. 1989, 242: 247-255.
45. Sudhahar TA, Glasgow MMS and Donell ST. Comparison of expected vs. actual tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee* 2004, 11:15-18.
46. Valentin P, Hofbauer M, Aldrian S. Clinical results of computer-navigated anterior cruciate ligament reconstructions. *Orthopedics*. 2005, 28:s1289-91.
47. Wiwattanawarang N, Rujiwetpongstorn V. Positioning of femoral tunnel in anterior cruciate ligament reconstruction using femoral aimer guide. *J Med Assoc Thai* 2005, 88: 1545-50.