**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO**

RODRIGO SALIM

**Estudo para validação de um referencial anatômico para
controle fluoroscópico na preparação do túnel tibial em
cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado posterior**

RIBEIRÃO PRETO

2015

RODRIGO SALIM

Estudo para validação de um referencial anatômico para controle fluoroscópico na preparação do túnel tibial em cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado posterior

Tese apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Ortopedia, Traumatologia e Reabilitação do Aparelho Locomotor.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Kfuri Junior

RIBEIRÃO PRETO

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desta dissertação, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Salim, Rodrigo

Estudo para validação de um referencial anatômico para controle fluoroscópico na preparação do túnel tibial em cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado posterior. Rodrigo Salim - Ribeirão Preto, 2015.

75p.: 14il. 30 cm

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Área de Concentração: Ortopedia, Traumatologia e Reabilitação do Aparelho Locomotor.

Orientador: Kfuri Junior, Mauricio

1. Ligamento Cruzado Posterior; 2. Túnel tibial; 3. Radiografia; 4. Fluoroscopia.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Rodrigo Salim

Título: Estudo para validação de um referencial anatômico para controle fluoroscópico na preparação do túnel tibial em cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado posterior.

Tese apresentada à Faculdade de Medicina de
Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Ortopedia,
Traumatologia e Reabilitação do Aparelho
Locomotor.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura	_____

Dedicatória

Dedico este estudo

Aos meus pais

Lurdes e Jaime (in memorian), pelo amor, carinho, suporte e exemplos que recebi por toda minha vida.

À minha esposa e filhos

Adélia, Ana Luiza e Vitor, pelo amor, inspiração e incentivo, em todos os momentos.

Agradecimento Especial

*Ao **Professor Mauricio Kfuri Junior**, pela supervisão nas atividades médicas e científicas. Com sinceridade e entusiasmo, reconheço a comunicação de experiência, os valores éticos e a sua constante busca pela melhora. Por ter 'aberto' muitas portas para eu poder entrar. Além disto, agradeço a amizade.*

*Ao **Professor Christopher Harner**, pela oportunidade de estagiar sob sua orientação, pela hospitalidade e por prover condições excelentes para o desenvolvimento deste projeto.*

Agradecimentos

Primeiramente, **familiares**, especialmente meus irmãos, **Paulo Rogério Salim e Luis Antonio Salim**, e meu tio **Salah Eldin Salim**, que proporcionaram as condições para eu alcançar esta etapa da minha vida.

Ao **Prof. Dr. Cleber A. J. Paccola (in memorian)**, pelo treinamento durante minha residência, pelo estímulo para participar de atividades acadêmicas e científicas.

Ao **Prof. Dr. José Bastista Volpon**, pelo ensinamento na minha residência médica, imensa colaboração na mudança de nível da minha pós-graduação.

Ao **Prof. Dr. Joaquim Coutinho Netto (in memorian)**, pela motivação e pelo projeto com o qual iniciei esta minha pós-graduação. Infelizmente, após seu falecimento, houve a necessidade de mudar o projeto.

À equipe do laboratório de Pittsburgh, **Prof. Xudong Zhang, Prof. Scott Tashman, Julia Twitchell Mathis, Verena Schreiber, Karl Bowman, Matthew J. Salzler, Liying Zheng, Snehal Shetye, Jon Bumstead, Paulo Henrique Araujo e Robert Carey**, pelo acolhimento, ensinamento e pela ajuda nos projetos de pesquisa, dos quais participei.

Aos amigos: **Prof. Dr. Carlos Fernando Pereira da Silva Herrero, Prof. Dr. Daniel Mendes Leal, Prof. Dr. Fabrício Fogagnolo, Ricardo Alberto L. Penno, Arthur T. Sugo, Marcello T. Castiglia, Nelson Fabrício Gava e Felipe P. P. de Almeida**, pela amizade e pelas sugestões no desenvolvimento do projeto.

Aos colegas de trabalho: **Rogério Carneiro Bittar, Ricardo A. Tavares e Vinicius Jorge Sugano**, pela colaboração e companhia nas discussões científicas.

À equipe de fisioterapia, especialmente à **Aline Miranda Ferreira e Amira Mohamed Hussein**, pela amizade e dedicação aos nossos pacientes e pelo suporte com as coletas de dados dos projetos de pesquisas.

Aos médicos residentes, pelos questionamentos que proporcionaram novas ideias para este estudo.

Ao **Prof. Dr. André Messias**, pela amizade e consultoria estatística.

Aos meus colegas de pós-graduação, pela convivência e amizade.

Ao **Prof. Dr. Marcelo Riberto e à Rita de Cássia Stela Cossalter**, pelas orientações e pela ajuda desde a minha matrícula neste programa de pós-graduação.

Aos Funcionários do Departamento de Biomêcanica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, **Maria de Fátima Feitosa de Lima, Elisângela Bernardi de Oliveira, Rosa Pereira Brittes Alves e Ivan Inácio Barboza.**

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo.

Resumo

SALIM, R. **Estudo para validação de um referencial anatômico para controle fluoroscópico na preparação do túnel tibial em cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado posterior.** 75f. 2015. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. 2015.

O objetivo primário deste estudo foi identificar parâmetros anatômicos que permitissem ao cirurgião, durante o ato cirúrgico, localizar com o auxílio de fluoroscopia o centro de inserção do ligamento cruzado posterior (LCP) na tíbia. O objetivo secundário foi propor ao cirurgião um método reprodutível e seguro para realizar a perfuração do túnel tibial na cirurgia de reconstrução do LCP. Vinte joelhos de cadáveres frescos congelados foram, inicialmente, submetidos à tomografia computadorizada de alta resolução (TC). Os joelhos foram, a seguir, dissecados e a inserção tibial do LCP digitalizada por um sistema de rastreamento óptico. A digitalização óptica da inserção do LCP resultou em modelos tridimensionais que permitiram localizar o centroide virtual dessa inserção. Paralelamente à análise virtual, inseriu-se um fio de Kirschner (FK) no centro anatômico da inserção tibial do LCP sob visualização direta. Foi realizado exame fluoroscópico no plano sagital desta tíbia e o ponto correspondente à inserção do FK foi registrado na imagem. Os locais definidos como o centro do LCP, nos dois métodos, foram plotados em uma linha imaginária paralela à faceta tibial de inserção do mesmo. Para fins de referência, essa linha foi dividida em uma escala centesimal, tendo o seu ponto zero correspondente à margem anterior/proximal da faceta e o ponto 100, correspondente à margem posterior/distal da faceta. O centro do LCP esteve situado em um ponto correspondente a 70% da distância, a partir da borda anterior/proximal da faceta do LCP, quando tomada como referência uma imagem de fluoroscopia em perfil do joelho (plano sagital). Essa medida mostrou ser reprodutível e pode ser um parâmetro útil para orientar a perfuração e inserção do fio guia tibial na confecção do túnel tibial nas cirurgias de reconstrução do LCP.

Descritores: Ligamento cruzado posterior, Túnel tibial, Radiografia, Fluoroscopia.

Abstract

SALIM, R. Validation of a fluoroscopic anatomical reference for the tibial tunnel drilling in posterior cruciate ligament reconstructions. 75f. Thesis (Doctoral) - Ribeirão Preto Medical School, University of São Paulo. Ribeirão Preto. 2015.

The primary objective of this study was to determine the center of the anatomical tibial insertion of the posterior cruciate ligament in cadaver knees and correlate this point to anatomical references as seen on fluoroscopic images of the same specimens. We aimed to describe a reproducible and safe method to place the tibial tunnel at the most anatomical position during posterior cruciate ligament reconstructions. Twenty fresh frozen cadaver knees were initially submitted to a high-resolution computadorized tomography (CT). Then, the knees were dissected and the PCL tibial insertion was digitalized with an optical tracking system. The optical digitalization of the PCL insertion resulted in tridimensional models that allowed the identification of the virtual centroid of this insertion. After the virtual analysis by CT scan, a Kirschner wire was inserted at the anatomical center of the PLC tibial insertion under direct visualization. Fluoroscopic views of the tibia on the sagittal plane were acquired and the correspondent point of the Kirschner wire insertion was registered. The points defined as the posterior cruciate ligament center by the two methods were plotted in an imaginary line parallel to the tibial facet of the PCL insertion. As a reference, this line was divided in a centesimal scale, with the zero point corresponding to the anterior/proximal margin of the facet and the 100-point, corresponding to the posterior/distal margin of the facet. The PCL center was found in one point corresponding to approximately 70% of the distance from the anterior/proximal border of the PCL facet when a lateral fluoroscopic image of the knee was utilized as a reference (sagittal plane). This measure was found to be consistently reproducible and may be a useful parameter to guide the positioning of the tibial guide wire during tibial tunnel drilling in posterior cruciate ligament reconstructions.

Keywords: Posterior cruciate ligament, Tibial tunnel, Radiography, Fluoroscopy.

Lista de Figuras

Figura 1:	Peça cadavérica - vista posterior do joelho - evidenciando o ligamento meniscofemoral de Wrisberg (seta) e sua relação com o LCP (estrela).....	21
Figura 2:	Peça cadavérica - vista posterior do joelho - evidenciando as duas bandas principais do LCP, banda PL (seta sem preenchimento) e banda AL (seta preta).....	22
Figura 3:	Peça cadavérica - vista anterior - Inserção do LCP em formato de elipse na face interna do côndilo femoral medial	23
Figura 4:	Foto de peça cadavérica evidenciando a faceta do LCP (área demarcada) com um fio de Kirschner posicionado na área mais central da inserção deste ligamento.....	24
Figura 5:	Radiografia de joelho na vista lateral evidenciando a faceta do LCP (linha pontilhada azul) e a cortical posterior da tíbia (seta vermelha)	25
Figura 6:	Peça cadavérica - vista posterior - Cápsula articular do joelho intacta (seta preta) e o músculo poplíteo (seta sem preenchimento)	27
Figura 7:	Imagem de vídeo artroscopia mostrando túnel femoral (círculo vermelho) confeccionado na origem da banda AL do LCP	33
Figura 8:	Capsulotomia percutânea com pinça do tipo “Mixter” na reconstrução do LCP pela técnica “On lay”	36
Figura 9:	Fixação “à cavaleira” do enxerto na reconstrução do LCP pela técnica “On lay”	37
Figura 10:	(A) Radiografia nas incidências anteroposterior e (B) lateral do joelho após reconstrução do LCP pela técnica “onlay”. Observa-se um parafuso de interferência para a fixação do enxerto no fêmur e um parafuso convencional de 6,5 mm associado à 37arruela dentada para a fixação do enxerto na tíbia	37
Figura 11:	Vista superior de uma tíbia cadavérica desarticulada com o LCP (identificado por um fio azul), cuidadosamente isolado.....	43
Figura 12:	(A) Vista superior de uma tíbia cadavérica com o FK no centro do LCP (B) vista lateral da fluoroscopia da mesma tíbia demonstrando o ponto de entrada do FK no centro do LCP	45
Figura 13:	(A) Vista posterior do modelo da tíbia em reconstrução 3D, com a inserção do LCP digitalizada e mapeada; (B) Vista lateral do	

fêmur e da tíbia com a inserção do LCP mostrado através do osso tibial translúcido.....47

Figura 14: Imagem em 3D ampliada do modelo tibial na vista lateral ilustrando a faceta do LCP (linha pontilhada em azul), inserção do LCP (fronteira pontilhada em vermelho) e o centro do LCP (diamante azul). O centroide do LCP foi medido ao longo da linha faceta.....48

Lista de Gráficos

Gráfico 1:	Distribuição da idade, massa corporal e altura na ocasião do óbito.....	50
Gráfico 2:	Dispersão da diferença entre localização do centro/centroide da inserção tibial, definida por fluoroscopia e pelo método computacional, pela média entre eles (Gráfico de Bland & Altman)	51
Gráfico 3:	Correlação entre duas variáveis: a distância do início da faceta ao centroide do LCP e a localização da inserção do LCP, em percentagem, na faceta.....	52
Gráfico 4:	Valores médios obtidos por cada examinador, utilizando-se o método de fluoroscopia	53

Lista de Símbolos e Abreviaturas

%-	Porcentagem
~-	Aproximadamente
<-	menor
>-	maior
3D-	Três dimensões
AL-	Banda anterolateral do ligamento cruzado posterior
AP-	Incidência radiográfica anteroposterior
cm-	centímetros
CORID-	Comitê de Pesquisa da Universidade de Pittsburgh
dp-	Desvio padrão
FK-	Fio de Kirschner
FMRP-USP-	Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo
HCFMRP-USP-	Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo
IC-	Intervalo de Confiança
LCA-	Ligamento cruzado anterior
LCP-	Ligamento cruzado posterior
mm-	Milímetros
nº-	Número
°-	Graus (medida de ângulo)
PM-	Banda posteromedial do ligamento cruzado posterior
TC-	Tomografia computadorizada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. Anatomia e biomecânica do ligamento cruzado posterior	21
1.2. Tratamento da lesão do ligamento cruzado posterior	28
1.2.1. Tratamento não cirúrgico	28
1.2.2. Tratamento cirúrgico	29
1.3. Aspectos controversos no tratamento cirúrgico	30
1.3.1. Enxerto	30
1.3.2. Quantidade de bandas	31
1.3.3. Túnel femoral	32
1.3.4. Fixação tibial	34
1.4. Medidas auxiliares na confecção do túnel tibial na reconstrução do LCP	38
1.4.1. O uso da navegação na reconstrução do LCP	38
1.4.2. Uso do intensificador de imagens na reconstrução do LCP	38
 2. OBJETIVOS.....	 40
 3. MATERIAIS E MÉTODOS	 42
3.1. Método da fluoroscopia	44
3.2. Método computacional tridimensional	45
3.3. Análise estatística	48
 4. RESULTADOS	 49
4.1. Comparação entre métodos	50
4.2. Comparação entre examinadores	52
 5. DISCUSSÃO	 54
 6. CONCLUSÕES	 59
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 61
 8. APÊNDICES	 71
 9. ANEXO	 74

ANEXO DE PUBLICAÇÃO

1- Introdução

1.1 Anatomia e biomecânica do ligamento cruzado posterior

O ligamento cruzado posterior (LCP) é o maior dos ligamentos intra-articulares do corpo humano. Ele se origina na face lateral do côndilo femoral medial, insere-se na região posterior da tíbia e está intimamente relacionado com os ligamentos meniscofemorais (ligamentos de Humphrey e Wrisberg), ligamento cruzado anterior (LCA), cápsula articular, meniscos e as principais estruturas neurovasculares da perna (Figura 1).

Figura 1: Peça cadavérica - vista posterior do joelho - evidenciando o ligamento meniscofemoral de Wrisberg (seta) e sua relação com o LCP (estrela). (Fonte: Imagem cedida pelo Laboratório de Anatomia da FMRP-USP).

O colágeno é o principal componente estrutural do LCP. Quanto às suas dimensões, o comprimento médio é de 38 mm, enquanto o diâmetro de sua secção transversal é de 13 mm. Habitualmente, é dividido em duas bandas distintas: a banda anterolateral (AL) e a posteromedial (PM), que são indissociáveis (Figura 2) (GIRGIS; MARSHALL; MONAJEM, 1975). Os

parâmetros para a nomenclatura das bandas são a origem femoral (anterior ou posterior) e a inserção tibial (lateral ou medial). Segundo alguns autores, a divisão anatômica em duas bandas seria um equívoco, pois o ligamento seria composto por múltiplos feixes contínuos, divididos em mais do que duas bandas (MAKRIS et al., 2000; MEJIA; NOYES; GROOD, 2002).

Figura 2: Peça cadavérica - vista posterior do joelho - evidenciando as duas bandas principais do LCP, banda PL (seta sem preenchimento) e banda AL (seta preta). (Fonte: Imagem cedida, gentilmente, pelo Dr. Móises Cohen).

A origem femoral do LCP apresenta um formato circular na face interna do côndilo femoral medial, adjacente à cartilagem. Porém, devido a variações anatômicas, não raro são identificadas inserções femorais com formato elíptico (Figura 3). As bandas AL e PM originam-se em planos distintos, separadas por uma crista óssea (FORSYTHE et al., 2009).

Figura 3: Peça cadavérica - vista anterior - Inserção do LCP em formato de elipse na face interna do côndilo femoral medial. (Fonte: Imagem cedida pelo Laboratório de Anatomia da FMRP-USP).

Na tíbia, a inserção do LCP está localizada em uma fossa óssea situada entre os planaltos medial e lateral, em seu aspecto mais posterior. Esta área de depressão óssea, centralmente localizada entre os planaltos e com uma inclinação desde anterior até posterior, também é denominada de faceta do LCP, fóvea, ou fossa (Figura 4) (GIRGIS; MARSHALL; MONAJEM, 1975).

Figura 4: Peça cadavérica evidenciando a faceta do LCP (área demarcada) com um fio de Kirschner posicionado na área mais central da inserção deste ligamento. (Fonte: Imagem cedida, gentilmente, pelo Dr. C. Harner do Laboratório de Medicina Esportiva da Universidade de Pittsburgh).

O estudo morfológico, realizado por Dargel et al. (2006), mostrou que a inserção tibial apresenta uma configuração retangular. Segundo os autores, a forma de inserção anatômica do LCP na tíbia é mais consistente do que a forma como se origina no fêmur.

Anatomicamente, a faceta é distinta do córtex posterior vertical da tíbia e pode ser um marco radiográfico consistente para a confecção dos túneis na reconstrução do LCP (Figura 5). Essa fossa é de forma trapezoidal e torna-se mais larga inferiormente. Enquanto a banda AL está inserida na região superolateral da faceta, a banda PM ocupa a porção inferomedial da mesma (DARGEL et al., 2006; EDWARDS; BULL; AMIS, 2007; TAJIMA et al., 2009). Não há uma separação anatômica entre as bandas do LCP em sua inserção tibial, que ocorre, portanto, no aspecto posterior da tíbia, aproximadamente de 1 a 1,5 cm distalmente à linha articular. Considerando uma radiografia em AP do planalto

tibial, a inserção tibial do LCP se localiza em um ponto situado a 48% de toda a largura do planalto tibial, tomando como referência uma linha que se inicia no planalto medial e termina no planalto lateral (EDWARDS; BULL; AMIS, 2007).

Figura 5: Radiografia de joelho na vista lateral evidenciando a faceta do LCP (linha pontilhada azul) e a cortical posterior da tíbia (seta vermelha). (Fonte: Arquivos da Disciplina de Cirurgia do Joelho do HCFMRP-USP).

Moorman et al. (2008) descobriram que a distância média entre a borda anterior da inserção tibial do LCP e a cortical posterior da tíbia é de 15,6 mm (variando de 14 a 18 mm). O centro da inserção do LCP está, em média, 7 mm anterior à esta cortical, com a maior parte do ligamento localizado na metade posterior da faceta do LCP. Os autores recomendam que, durante a reconstrução do LCP, usando a técnica transtibial, o centro do túnel tibial deva ser colocado no 1/4 mais distal da faceta do LCP. A colocação do túnel mais posteriormente ou inferiormente vai deixar de reproduzir a anatomia do LCP e coloca em risco o

feixe neurovascular poplíteo. Além disso, a colocação do túnel mais anteriormente pode causar lesões iatrogênicas aos meniscos. O princípio da reconstrução ligamentar implica em reproduzir a anatomia. Portanto, o posicionamento de um neoligamento distante do sítio original de inserção do ligamento original compromete a função do enxerto.

Os ligamentos meniscafemorais de Humphry e Wisberg são duas estruturas distintas, que se inserem no corno posterior do menisco lateral e no côndilo femoral medial. O ligamento de Humphry situa-se anteriormente ao LCP e o de Wrisberg, posteriormente ao LCP (HELLER; LANGMAN, 1964). Há uma hipótese de que esses ligamentos auxiliam a função do LCP, no controle da posteriorização da tíbia em relação ao fêmur (GUPTE et al., 2002a). Os ligamentos meniscafemorais e o LCP, juntos, constituem o complexo do LCP. Os ligamentos meniscafemorais, estão presentes em aproximadamente 90% dos indivíduos (GUPTE et al., 2002b), e constituem aproximadamente 17,2% da área de secção do complexo do LCP (NAGASAKI et al., 2006). Estudos recentes com espécimes anatômicos indicaram que o ligamento meniscafemoral anterior é tenso em flexão e o posterior é tenso na extensão do joelho (MORAN et al., 2006). Gupta et al. (2002b) mostraram que esses ligamentos contribuem para 28% da resistência da translação tibial posterior com o joelho flexionado a 90°.

Apesar de sua aparente contribuição para a estabilização posterior do joelho, os métodos atuais de reconstrução do LCP não levam em consideração a reconstrução dos ligamentos meniscafemorais. A cápsula posterior da articulação do joelho origina-se na margem proximal dos côndilos femorais e se dirige caudalmente até abaixo da linha articular do planalto tibial. Tecidos musculares e fasciais, como os tendões dos músculos semimembranoso, plantar delgado, gastrocnêmios e poplíteo contribuem para dar consistência à cápsula posterior (Figura 6). Espessamentos distintos foram identificados dentro da cápsula, incluindo o ligamento poplíteo oblíquo, que se liga ao osso da fíbula. A cápsula é contínua medialmente com o ligamento colateral medial superficial e o oblíquo posterior (LAPRADE et al., 2007).

Figura 6: Peça cadavérica - vista posterior - Cápsula articular do joelho intacta (seta preta) e o músculo poplíteo (seta sem preenchimento). (Fonte: Imagem cedida pelo Laboratório de Anatomia da FMRP-USP).

A inserção tibial do LCP está situada de 1 a 2 mm anteriormente à cápsula articular, estando envolta por uma reflexão sinovial (RAMOS et al., 2008; TAKAHASHI et al., 2006). A parede anterior da artéria poplíteia situa-se a cerca de 7 a 10 mm a partir da borda posterior do LCP (MATAVA; SETHI; TOTTY, 2000). O LCP é o restritor primário para a translação posterior da tíbia em relação ao fêmur (BUTLER; NOYES; GROOD, 1980). A banda AL é a mais forte e a principal restritora da gaveta posterior. Estudos mostraram que a cinemática do joelho permanece quase normal em casos em que a banda PM foi seccionada e a AL, mantida íntegra (MARKOLF et al., 2006b). Por esse motivo, a restauração da banda AL é o principal objetivo da maioria das técnicas de reconstrução do LCP (HARNER et al., 1995; RACE; AMIS, 1998). Estudos biomecânicos mostraram também que o LCP é uma estrutura não isométrica com tensão desigual ao longo do arco de movimento do joelho (COVEY; SAPEGA; SHERMAN, 1996). Trata-se

de uma estrutura, portanto, cuja complexidade estrutural e biomecânica, torna difícil a definição do melhor método de reparação cirúrgica.

1.2 Tratamento da lesão do ligamento cruzado posterior

A lesão do LCP pode ocorrer de forma isolada ou em associação com outras lesões de partes moles do joelho, como comumente ocorre em relação ao complexo ligamentar posterolateral (GROOD; STOWERS; NOYES, 1988). A incidência desse tipo de lesão cresceu devido ao aumento do número de acidentes de trânsito e à crescente prática de esportes (BARRETT; SAVOIE, 1991), variando de 3,4 a 20% de todas as lesões de partes moles do joelho (CHEN et al., 2006). As lesões combinadas ocorrem, geralmente, envolvendo traumas de maior energia, como os acidentes de automóveis, sendo classificada de acordo com a posteriorização da tíbia em relação ao fêmur no exame físico, durante o teste da gaveta posterior, e tomando como referência o mesmo teste no joelho contralateral. Dessa forma, de acordo com a medida estimada de translação da tíbia em relação ao fêmur, as lesões se classificam em grau I, deslocamento entre 1 e 5 mm; grau II, deslocamento de 6 a 10 mm e grau III, em casos de deslocamentos superiores a 10 mm (SHELBOURNE; DAVIS; PATEL, 1999).

1.2.1 Tratamento não cirúrgico

O tratamento conservador nas lesões do LCP objetiva reduzir a inflamação, restaurar o movimento articular e fortalecer o mecanismo extensor. Está indicado, principalmente, nas lesões isoladas do LCP e naquelas com pouca instabilidade, como verificado nas lesões de graus I e II. Esse tratamento propicia o retorno gradual às atividades esportivas e ocupacionais (PAROLIE; BERGFELD, 1986; STROBEL et al., 2003). O joelho deve ficar imobilizado por um período de duas a quatro semanas em extensão completa, pois dessa maneira, a articulação está reduzida e sem posteriorização da tíbia, uma vez que a atividade dos músculos

flexores dos joelhos está inibida. Após esse período de imobilização, inicia-se o tratamento com fisioterapia para ganho da amplitude de movimento e fortalecimento muscular, com ênfase especial no mecanismo extensor do joelho, que é um importante estabilizador dinâmico da translação posterior da tíbia em relação ao fêmur. Os pacientes são aconselhados a retornar ao esporte quando recuperarem totalmente a amplitude de movimentos do joelho e alcançarem 90% da força medida no joelho contralateral (CAMPBELL; JORDAN; SEKIYA, 2007; COLVIN; MEISLIN, 2009; FOWLER; MESSIEH, 1987; HARNER; HOHER, 1998; JANOUSEK et al., 1999; JORDAN; CAMPBELL; SEKIYA, 2007).

A literatura sugere que o tratamento conservador proporciona boa função para o paciente. Esta conduta pode restaurar o nível de atividade funcional em alguns pacientes com uma lesão isolada, mas há cada vez mais evidências de que a ruptura do LCP tem consequências adversas, incluindo a doença degenerativa articular (GEISLER; WHIPPLE, 1993; MARGHERITINI et al., 2002; WILK, 1994; WILK et al., 1999).

1.2.2 Tratamento cirúrgico

As lesões do LCP, com maior instabilidade, geralmente se associam a *déficit* funcional, dor crônica e degeneração condral, evidenciada nos exames radiográficos (BOYNTON; TIETJENS, 1996; DANDY; PUSEY, 1982; HERMANS; CORTEN; BELLEMANS, 2009; KELLER et al., 1993; PAROLIE; BERGFELD, 1986; PATEL et al., 2007; SHELBOURNE; DAVIS; PATEL, 1999). A evidência, portanto, indica que o tratamento cirúrgico deve ser considerado em casos selecionados em que seja identificada instabilidade moderada, incapacidade funcional e limitação das atividades da vida cotidiana. No entanto, não há consenso na literatura sobre os critérios para indicação cirúrgica e sobre o melhor método para reconstrução do LCP, sendo difícil determinar uma técnica que possa ser caracterizada como padrão ouro no tratamento (MAY et al., 2010; OAKES et al., 2002).

1.3 Aspectos controversos no tratamento cirúrgico

O tratamento envolve inúmeras controvérsias, dentre as quais a seleção do tipo de enxerto, a quantidade de bandas a serem reconstruídas, a maneira de confeccionar o túnel femoral e, finalmente, o aspecto mais amplamente discutido e estudado, que seria a técnica de inserção e fixação do enxerto na tíbia.

1.3.1 Enxerto

O enxerto ideal para a reconstrução do LCP seria aquele que apresentasse as propriedades biomecânicas e a forma geométrica idênticas às do ligamento original. Além disso, seria aquele cuja técnica cirúrgica fosse a mais simples e o tempo de integração do enxerto o mais rápido. Enxertos autólogos e aloenxertos são frequentemente utilizados nas técnicas de reconstrução ligamentar. Os enxertos sintéticos não apresentaram resultados adequados, portanto, tiveram a sua utilização descontinuada (HOHER; SCHEFFLER; WEILER, 2003).

A lesão do LCP está, muitas vezes, associada a outras lesões ligamentares, como nos casos de luxação do joelho. Para tratar esses pacientes, frequentemente não se tem áreas doadoras em número suficiente para atender às necessidades dos mesmos. Nesses casos, a busca de aloenxertos em bancos de tecidos é bastante interessante. Outras vantagens dos aloenxertos são o menor tempo cirúrgico e a não agressão cirúrgica ao sítio doador. Por outro lado, o risco de transmissão de doenças infectocontagiosas, a limitada disponibilidade de bancos de tecido e os elevados custos são potenciais desvantagens de sua utilização. Os aloenxertos mais utilizados na reconstrução do LCP são os tendões de Aquiles, patelar, do quadríceps e dos isquitibiais. Se por um lado os enxertos que apresentam blocos ósseos em suas extremidades têm a vantagem teórica de mais rápida incorporação, o seu manuseio e sua passagem por meio de túneis ósseos são mais trabalhosos.

Os enxertos autólogos mais utilizados na reconstrução cirúrgica do LCP são os tendões patelar (com dois blocos ósseos), do quadríceps (um bloco ósseo e um extremidade com tendão) e os isquitibiais (sem blocos ósseos). A integração

dos enxertos com extremidades tendinosas é mais lenta e ocorre por cicatrização fibrosa (RODEO et al., 1993).

No caso do tendão patelar, que possui blocos ósseos nas extremidades, não é possível a reconstrução das duas bandas do LCP. O tendão do quadríceps permite dividir sua extremidade tendinosa em duas partes, reconstruindo o LCP com dupla banda a partir da confecção de dois túneis no fêmur.

A seleção do enxerto autólogo deve levar em consideração aspectos que vão muito além da preferência do cirurgião. O uso de enxertos derivados do mecanismo extensor do joelho deve levar em conta o fato de que é justamente este o estabilizador dinâmico que se opõe à translação posterior da tíbia. Alguns autores, portanto, recomendam que se evite enfraquecer o mecanismo extensor na reconstrução do LCP. Nesse mesmo raciocínio, deve-se evitar o uso do enxerto isquiotibial nas lesões do LCP associado ao canto posteromedial (HOHER; SCHEFFLER; WEILER, 2003).

O uso do tendão patelar está associado com algumas complicações como: dor crônica anterior no joelho, fratura de patela e falha óssea na região doadora. Lin et al. (2013) compararam a reconstrução do LCP com banda simples pela técnica “inlay”, usando o tendão patelar *versus* os tendões isquiotibiais e apesar dos resultados satisfatório em ambos, recomendam o uso dos isquiotibiais devidos às complicações da área doadora na reconstrução com o tendão patelar.

Não há nenhum estudo clínico, até o momento, apontando para evidências de superioridade funcional de um ou outro tipo de enxerto utilizado na reconstrução do LCP.

1.3.2 Quantidade de bandas

Embora esteja bem estabelecida a existência de duas bandas anatômicas no LCP, não há consenso se a reconstrução deve envolver enxertos contendo um ou dois feixes. Sabe-se que a banda AL é a principal estrutura estabilizadora no complexo LCP, tanto sob o ponto de vista de sua resistência mecânica quanto no controle que oferece à translação posterior da tíbia. Há uma tendência, portanto, de que a reconstrução do LCP busque restaurar especialmente esta banda.

Alguns autores defendem a reconstrução das duas bandas do LCP com a hipótese de melhorar o controle da translação posterior do joelho em toda a amplitude de movimentos dessa articulação. A reconstrução do LCP com dupla banda remonta aos anos de 1980, quando foi descrita uma técnica com dois túneis no côndilo femoral medial (WIRTH; JAGER, 1984).

Vários estudos comparativos entre as técnicas com banda simples e dupla procuram estabelecer qual seria a melhor alternativa na reconstrução do LCP. Harner et al. (2000), em estudo biomecânico, compararam a reconstrução da dupla banda *versus* banda única. Esse estudo foi realizado em cadáver e as medidas de translação foram obtidas a partir de testes aplicados por um sistema robótico. Nos dois grupos, utilizou-se enxerto de tendão de Aquiles para reconstruir a banda AL. No grupo de dupla banda, a PM foi reconstruída com enxerto de semitendinoso. Os autores aferiram que nos joelhos submetidos à reconstrução com dupla banda, os espécimes suportaram forças maiores, comparáveis àsquelas resistidas por joelhos normais, em que o LCP estava intacto e concluíram que a reconstrução em dupla banda do LCP reproduz melhor a cinemática e a biomecânica do LCP íntegro. Por outro lado, há relatos de outros estudos biomecânicos comparando a reconstrução de dupla banda *versus* banda simples e que não encontraram diferenças significativas (BERGFELD et al., 2005).

A superioridade teórica de reconstrução com dupla banda sobre a banda simples permanece obscura. Em estudos clínicos, ainda não foram evidenciadas diferenças quando comparada a reconstrução com banda simples e a com banda dupla (KOHEN; SEKIYA, 2009). Shon et al. (2010), por meio de análise de escores funcionais e de radiografias, consideraram que ambas as técnicas são satisfatórias e que não há necessidade de empregar uma técnica mais difícil e dispendiosa para a reconstrução das duas bandas do LCP.

1.3.3 Túnel femoral

O posicionamento do túnel femoral, durante a reconstrução do LCP com uso de enxerto de ligamento patelar, também foi objeto de estudo. A conclusão de

várias investigações foi que a confecção do túnel femoral no sítio da banda AL ou na região central de toda a inserção femoral do LCP proporcionou melhores resultados quando comparada a reconstruções que tomaram como referência a inserção femoral correspondente à banda PM (Figura 7) (MARKOLF et al., 2006a). Durante a reconstrução com dupla banda, foi observado que o posicionamento posterior do túnel femoral é menos efetivo no controle da posteriorização da tíbia (PETERSEN et al., 2006).

Figura 7: Imagem de videoartroscopia mostrando o túnel femoral (círculo vermelho) confeccionado na origem da banda AL do LCP. (Fonte: Arquivos da Disciplina de Cirurgia do Joelho do HCFMRP-USP).

Além do posicionamento adequado para a confecção do túnel femoral, deve-se observar o comprimento do mesmo e a curva à qual o enxerto será submetido após sua passagem por este túnel. O enxerto submetido a curvas agudas na passagem pelo túnel femoral pode falhar por fadiga devido à excessiva fricção do enxerto e concentração de estresse. São descritas duas formas de confeccionar o

túnel femoral, que podem ter influência sobre essa angulação. São as técnicas “inside-out” (perfuração de dentro para fora) e “outside-in” (perfuração de fora para dentro). Essas duas técnicas permitem confeccionar o túnel femoral em local desejável assegurando ao mesmo um comprimento adequado. Entretanto, a curva à qual o enxerto será submetido, com a técnica “inside-out” é mais gradual, podendo este ser um fator de vantagem mecânica para esta técnica. A “inside-out” proporciona, ainda, a confecção de um túnel mais vertical e anterior dificultando ocorrências de lesões iatrogênicas do ligamento colateral medial (TOMPKINS et al., 2013). Para confeccionar o túnel dessa maneira, é necessário aumentar a flexão do joelho no ato da perfuração. O uso de um portal acessório inferolateral foi descrito para melhorar a visualização da face interna do côndilo femoral medial e aumentar a precisão na confecção do túnel ósseo (LEE, et al., 2013).

1.3.4 Fixação tibial

Este é o assunto mais debatido e estudado nas técnicas de reconstrução do LCP. Nas técnicas artroscópicas transtibiais, a chamada “curva da morte” está associada com atrito e afrouxamento do enxerto em estudos biomecânicos (BERGFELD et al., 2005; MCALLISTER et al., 2002; MARKOLF; ZEMANOVIC; MCALLISTER, 2002; OAKES et al., 2002). Para solucionar esta desvantagem teórica, a técnica “inlay” foi desenvolvida, buscando melhor inserção tibial, diretamente aposta à face posterior da tíbia, evitando o problema da “curva da morte” e apresentando resultados clínicos satisfatórios (CHUANG et al., 2004; COOPER; STEWART, 2004; NOYES; BARBER-WESTIN, 2005). A técnica “inlay” permite a reconstrução anatômica do LCP, com a inserção da porção distal do enxerto em uma cavidade criada cirurgicamente sobre a superfície posterior da tíbia. Esta técnica requer artrotomia e ampla exposição cirúrgica da cápsula posterior. A abordagem para a região poplíteia deve ser cuidadosa para evitar lesões neurovasculares que possam resultar em graves sequelas. É uma técnica difícil, que exige experiência e também um cirurgião muito treinado. Além do risco de lesões iatrogênicas na abordagem posterior do joelho, a dissecação da cápsula

posterior e suas estruturas de reforço pode aumentar a instabilidade posterior em todos os ângulos de joelho flexão (PARK et al., 2004). Uma desvantagem adicional é que ela exige, potencialmente, a mudança de decúbito do paciente, aumentando o tempo de cirurgia e o risco de contaminação. Há também a necessidade de cuidados especiais anestésicos como a manutenção de uma via aérea definitiva durante todo o procedimento.

Muitos autores descreveram modificações técnicas para facilitar a exposição cirúrgica da região posterior da tíbia, buscando facilitar a aplicação da técnica “inlay” (BURKS; SCHAFFER, 1990). Em uma dessas técnicas, uma incisão posterior curva é realizada, a margem medial do gastrocnêmico medial é identificada e o intervalo entre ele e o tendão semimembranoso é desenvolvido. Nicandri et al. (2008) relataram uma abordagem posterior modificada para o tratamento da avulsão do LCP. Esse acesso cirúrgico é semelhante ao clássico acesso posterior desenvolvido no intervalo entre as cabeças medial e lateral do gastrocnêmico, e, por conseguinte, requer a identificação e proteção dos elementos neurovasculares poplíteos (TRICKEY, 1980). Essas abordagens são relativamente extensas ou exigem a exploração dos elementos neurovasculares da região poplíteia. Existem tentativas de encontrar uma abordagem mais simples e menos invasiva para fixação do LCP na tíbia. Jung et al. (2004) descreveram uma abordagem posterior modificada com flexão e abdução do quadril. Noyes, Medvecky e Bhargava (2003) também detalharam uma nova abordagem posterior para a reconstrução “inlay” do LCP, muito semelhante à técnica criada e utilizada no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP), para esse tipo de procedimento, a técnica “onlay” (SALIM; FOGAGNOLO; KFURI, 2014). Durante a realização dessa técnica, a artrotomia posterior é mínima, apenas suficiente para a passagem do enxerto, sendo realizada de maneira puntiforme com uma pinça tipo pedículo, sem a necessidade de visualização direta (Figura 8), não é necessária a mudança de decúbito do paciente e a abordagem cirúrgica é segura, uma vez que o plano de dissecação é anterior ao músculo poplíteo; protegendo, portanto, as estruturas neurovasculares, que sequer são visualizadas. O enxerto é fixado “à cavaleira” na tíbia por meio de um parafuso e arruela dentada (Figura 9) e a fixação femoral

ocorre com parafuso de interferência (Figura 10). A técnica “onlay” de reconstrução do LCP é um método simples, reproduzível e seguro, que evita a “curva da morte” da técnica transtibial e a morbidade adicional de exposição cirúrgica da técnica “inlay”. Esse procedimento pode representar uma alternativa cirúrgica porque reproduz os passos cruciais para a reconstrução do LCP.

Figura 8. Capsulotomia percutânea com pinça do tipo pedículo na reconstrução do LCP pela técnica “onlay”. (Fonte: Arquivos da Disciplina de Cirurgia do Joelho do HCFMRP-USP).

Figura 9: Fixação “à cavaleira” do enxerto na reconstrução do LCP pela técnica “onlay”.
(Fonte: Arquivos da Disciplina de Cirurgia do Joelho do HCFMRP-USP).

Figura 10. (A) Radiografia nas incidências anteroposterior e **(B)** lateral do joelho após a reconstrução do LCP pela técnica “onlay”. Observa-se um parafuso de interferência para a fixação do enxerto no fêmur e um parafuso convencional de 6,5 mm associado à arroela dentada para a fixação do enxerto na tíbia.
(Fonte: Arquivos da Disciplina de Cirurgia do Joelho do HCFMRP-USP).

Embora sejam muitas as argumentações biomecânicas em favor de uma ou outra técnica de reconstrução do LCP, os resultados dos estudos clínicos não confirmam a potencial desvantagem associada à técnica transtibial para esse procedimento. Testes clínicos e com avaliação radiográfica sob estresse de translação posterior da tíbia mostraram resultados satisfatório com as técnicas transtibial e “inlay” (SEON; SONG, 2006). Sabe-se que a técnica transtibial é realizada de forma artroscópica, com menor morbidade do sítio cirúrgico; sendo, atualmente, a mais difundida para a reconstrução do LCP e, portanto, estudos que levem ao aumento da sua precisão são de interesse (MATAVA; ELLIS; GRUBER, 2009).

1.4 Medidas auxiliares na confecção do túnel tibial na reconstrução do LCP

1.4.1 O uso da navegação na reconstrução do LCP

A navegação cirúrgica é um método que permite ao cirurgião, em tempo real, a precisa localização topográfica de regiões anatômicas e grande acurácia na confecção de túneis na reconstrução ligamentar do joelho. O seu uso está bem descrito nas cirurgias de reconstrução do LCA (BERNSMANN et al., 2001; JALLIARD; LAVALLEE; DESSENNE, 1998; KLOS et al., 1998). Em relação à reconstrução do LCP, atualmente, não existem estudos clínicos descrevendo o uso da navegação auxiliando na confecção dos túneis. Rosemberger et al. (2010), apontaram para o bom potencial da navegação na reconstrução do LCP, em estudo realizado em espécimes anatômicos humanos.

1.4.2 Uso do intensificador de imagens na reconstrução do LCP

A utilização de radioscopia intraoperatória (fluoroscopia) é atraente na medida em que permite excelente visualização de detalhes anatômicos, dos limites ósseos da tíbia e possibilita o acompanhamento da inserção de fios guias e brocas, diminuindo os riscos de lesão das estruturas neurovasculares da região poplíteia. A fluoroscopia é usada amplamente nas cirurgias de reconstrução do LCP para guiar a confecção do túnel tibial. A localização exata do melhor ponto

para perfuração do túnel tibial é objeto de pesquisa. Osti et al. (2012) descrevem a inserção tibial do LCP como uma porcentagem da largura do planalto tibial no aspecto frontal da tíbia. De acordo com os autores, o centro da banda AL está situado em um ponto localizado a 48% da borda medial do planalto e a banda PM localiza-se a 51%. Da mesma forma, Lorenz et al (2009) relataram que a posição da inserção tibial do LCP foi localizada a 51% da largura do planalto tibial, quando referenciada a partir da borda lateral da tíbia.

Na imagem lateral, a inserção é orientada posteroinferiormente com a banda AL inserida em um ponto correspondente a 83% do diâmetro anteroposterior do planalto e a banda PM localizada em um ponto correspondente a 92% do diâmetro do planalto (LORENZ et al., 2009; OSTI et al., 2012). Dois estudos recentes descreveram os marcos radiográficos reprodutíveis para localizar o centro da inserção do LCP na radiografia lateral do joelho. Johannsen et al. (2013) observaram que, na vista fluoroscópica lateral do joelho, a inserção do LCP estaria situada entre 2,2 e 12,3 mm distalmente à linha articular do planalto. Lee et al. (2011) identificaram o ponto de inserção tibial, como estando situado 1,6 mm distalmente à linha articular. Esses autores também determinaram que o centro do LCP pode ser encontrado a 5,5 mm cranial ao término da faceta do LCP. Embora essas medidas sejam muito precisas e reprodutíveis em um ambiente de laboratório, a sua tradução na prática clínica para o posicionamento do túnel transtibial na reconstrução do LCP com o auxílio da fluoroscopia é difícil. Além disso, esses valores de referência não foram submetidos a estudos clínicos que demonstrem a sua validade e reprodutibilidade.

2- Objetivos

O objetivo primário do presente estudo foi desenvolver, experimentalmente, um método reprodutível que permita ao cirurgião identificar, com o auxílio de um fluoroscópio, o sítio de inserção anatômica do LCP.

O objetivo secundário foi transferir este conhecimento para a prática clínica, na qual durante a reconstrução artroscópica do LCP auxiliada por fluoroscopia, seria possível localizar o sítio ideal para a confecção do túnel tibial.

3. Materiais e Métodos

Esta investigação foi desenvolvida em parceria com o Departamento de Medicina Esportiva da Universidade de Pittsburgh, com a colaboração do Prof. Chistopher Harner. O estudo foi aprovado pelo Comitê para Supervisão de Pesquisa (CORID) daquela Universidade (CORID n. 305).

Foram utilizados vinte joelhos de cadáveres humanos congelados, sendo 10 joelhos direitos e 10 esquerdos, com idade média de 61 ± 5 anos. Cada joelho foi cuidadosamente dissecado, de tal forma, que os tecidos da pele e do subcutâneo fossem removidos e a cápsula articular mantida intacta. Seis marcadores fiduciais esféricos (esferas de náilon com raio de 9,525 milímetros) foram fixados rigidamente ao fêmur e à tíbia (três em cada osso). As peças cadavéricas foram submetidas à tomografia computadorizada (TC) de alta resolução (com cortes de 0,625 mm de espessura). Os joelhos, após o exame de imagem, foram desarticulados, as tíbias dissecadas e livres de todos os tecidos moles, exceto os meniscos. A maior parte da substância do LCP foi removida, deixando como remanescente um coto de aproximadamente 10 mm de comprimento inserido na tíbia (Figura 11).

Figura 11: Vista superior de uma tíbia cadavérica desarticulada com o LCP (identificado por um fio azul) cuidadosamente isolado.

Dois métodos foram empregados para localizar o centro da inserção do LCP na tíbia. Um deles utilizou a fluoroscopia e o outro um modelo computacional ósseo tridimensional. Nos dois métodos, o centro da inserção do LCP foi definido como um ponto localizado na faceta posterior da tíbia. A localização desse ponto correspondente ao centro do LCP foi descrita em termos de percentagem do comprimento de uma linha traçada sobre a faceta do LCP. Para fins de referência, definiu-se como ponto zero da linha, a região mais proximal da faceta, margeando o planalto tibial e, como ponto final, aquele situado na região distal da faceta, próximo à cortical metafisária da tíbia. As imagens da fluoroscopia e do modelo computacional foram criadas a partir da mesma peça cadavérica.

No modelo computacional, os resultados foram obtidos pela avaliação de um examinador - o autor da tese, que determinou na imagem o início e o fim da faceta. Os dados referentes à localização do centroide do LCP e à distância do início da faceta a este ponto central do ligamento foram gerados por um programa computacional, conforme será descrito mais adiante. Em relação ao modelo da fluoroscopia, o centro do LCP foi determinado por uma série de quatro observadores (um residente de ortopedia, o autor da tese, um especialista em medicina esportiva e um cirurgião ortopédico geral). As imagens foram analisadas de maneira randomizada em duas ocasiões distintas, com intervalo mínimo de uma semana entre a primeira e a segunda análise.

3.1 Método da fluoroscopia

Um fio de Kirschner (FK) foi inserido no centro da inserção do LCP em cada peça cadavérica mediante visualização direta do plano axial da tíbia (Figura 12A). O FK foi inserido de posterior para anterior à mão livre, pois foi considerada a maneira mais fácil para determinar com mais precisão o centro do coto do LCP. Com o FK em posição, foi obtida uma radiografia da tíbia na incidência lateral. (Figura 12B). A faceta do LCP foi identificada na imagem como uma linha contínua, direcionada obliquamente entre os planaltos da tíbia, com inclinação posterior (Figura 12B). Como já descrito acima, o aspecto anterior e proximal da

faceta do LCP foi definido como 0% e o aspecto distal e inferior da faceta como 100% (Figura 12B). Uma vez inserido o fio no ponto considerado central, foi realizada análise radiográfica na incidência lateral registrando na imagem a posição do fio metálico como um percentual da faceta posterior da faceta. Nota-se que a inclinação do FK em relação à faceta não foi considerada, pois o interesse do estudo era o ponto de intersecção do FK com a fosseta do LCP, que por sua vez foi determinado sob visão direta do centro do ligamento.

Figura 12: (A) Vista superior de uma tíbia cadavérica com o FK no centro do LCP (B) vista lateral da fluoroscopia da mesma tíbia demonstrando o ponto de entrada do FK no centro do LCP.

3.2 Método computacional tridimensional

Foi empregado o método, já descrito, para mapear com precisão os locais de inserção dos ligamentos em superfícies ósseas em joelhos de cadáveres pela correlação dos registros de dados de digitalização em 3D de locais de inserção e TC (LI et al., 2009). Um sistema de rastreamento óptico Polaris Spectra, (Northern Digital Inc., Ontário, Canadá) com precisão relatada de 0,25 mm foi utilizado para digitalizar pontos de referência na peça anatômica. O princípio da geração do

modelo virtual tridimensional é localizar na peça anatômica os mesmos pontos de referência previamente definidos em mapa tomográfico, no caso, as esferas fiduciais. Assim, é possível a fusão entre a anatomia real e a tomográfica e todos os pontos demarcados na inserção do LCP na peça anatômica são definidos com precisão no modelo virtual criado através da TC. Dessa forma, é possível criar mapas tridimensionais de áreas anatômicas, por meio de instrumentos rastreáveis. Para digitalizar a periferia do LCP e registrar os marcadores fiduciais como elementos localizadores foi utilizado um micromarcador (Imersão Corp., CA). O *software* Mimics (Materialise Inc., Bélgica) foi usado para segmentar os ossos e os marcadores esféricos, separadamente das TCs. Como resultado, os modelos de superfície 3D do fêmur, tibia e marcadores esféricos foram gerados.

Por meio de sistemas de coordenadas, aplicando avaliações e fórmulas matemáticas, esse método é capaz de mapear o local da inserção do LCP sobre superfícies ósseas, usando um *software* chamado Matlab, personalizado para esse intuito (The MathWorks, Inc., Natick, MA) (Figura 13A) (LI et al., 2009).

Os erros residuais desse método foram inferiores a 0,25 mm e as diferenças entre as distâncias, inferiores a 2%; demonstrando ser pequeno o erro nos registros das marcações (FITZPATRICK; WEST; MAURER, 1998).

O corte sagital, visão lateral verdadeira dos joelhos, foi determinado pela rotação do fêmur até que houvesse sobreposição perfeita entre os côndilos femorais lateral e medial na imagem (Figura 13B). A localização centroide de cada LCP era a posição média de todos os pontos digitalizados no limite da inserção tibial do LCP. Isto foi calculado pelo programa computacional, pois a inserção do LCP não possui uma forma regular circunferencial para se obter um único ponto como centro. A transparência do modelo de osso tibial foi ajustada (0,4 ~ 0,7 “alpha” valor em Matlab) para fazer os centroides do LCP e suas facetas identificáveis na visão sagital (Figuras 13B e 14). A localização do centroide do LCP foi quantificada ao longo da faceta no plano sagital (tanto em percentagem, como em comprimento real da distância da borda anterior da faceta ao centroide do LCP), em que 0% foi definido como a face anterior e proximal da faceta e 100% como o aspecto distal e inferior da mesma (Figura 14). Assim, esse

método gerou a localização do centroide do LCP na faceta, em percentagem desta, e gerou também a distância do ponto inicial da faceta ao centroide do LCP.

Figura 13: **(A)** Vista posterior do modelo da tíbia em reconstrução 3D, com a inserção do LCP digitalizada e mapeada; **(B)** Vista lateral do fêmur e da tíbia com a inserção do LCP mostrado através do osso tibial translúcido.

Figura 14: Imagem em 3D ampliada do modelo tibial na vista lateral ilustrando a faceta do LCP (linha pontilhada em azul), inserção do LCP (fronteira pontilhada em vermelho) e o centro do LCP (quadrado azul). A distância do início da faceta ao centroide do LCP (linha tracejada em amarelo) foi determinada em mm e a localização do centroide do LCP foi medido ao longo da linha da faceta em percentagem.

3.3 Análise estatística

Foram realizadas comparações entre as medidas obtidas com os dois métodos pelo mesmo examinador com o teste t pareado, e essas diferenças foram ilustradas com o gráfico de Bland & Altman (BLAND; ALTMAN, 1986). O coeficiente de Pearson em conjunto com o valor de p foi mostrado para correlações entre duas variáveis contínuas. Na comparação entre os quatro examinadores, foi utilizada análise de variância seguida por teste *post-hoc* Tukey-Kramer HSD para comparação pareada de todos os examinadores entre eles. Se não houver outra indicação no texto, os dados serão representados pela média $\pm$ erro padrão da média.

4. Resultados

Foram utilizados 20 joelhos (10 lado direito) de cadáveres de nove mulheres e 11 homens. A idade média $\pm$ desvio padrão dos doadores ao óbito era de 61 ± 5 anos (mínima: 48, e máxima: 67 anos), a massa corporal média foi 62 ± 11 kg (mínima: 45, e máxima: 85 kg), e a altura 170 ± 8 cm (mínima: 157, e máxima: 183 cm). As distribuições da idade, do peso e da altura desses pacientes ao óbito estão representadas nos Gráficos 1-A, 1-B e 1-C, respectivamente.

Gráfico 1: Distribuição da idade, massa corporal e altura na ocasião do óbito.

4.1 Comparação entre métodos

A localização do centro/centroide da inserção tibial do LCP, ao longo da faceta, foi calculada utilizando-se os dois modelos descritos anteriormente. Computando-se os dados obtidos em diferentes métodos, por um mesmo examinador, não se observou diferença significativa entre a média do centro do LCP encontrada com a fluoroscopia: $69,7 \pm 4,9\%$, e a do modelo computacional 3D: $71,7 \pm 5,6\%$ (diferença intraindividual média = $2,0 \pm 1,2\%$; $p=0.1210$). O Gráfico 2 mostra a diferença entre as medidas encontradas com os dois métodos em função de suas médias, para cada indivíduo (Gráfico de Bland & Altman). A linha tracejada central representa a média das diferenças e as duas linhas com traços menores os limites do intervalo de confiança (IC) de 95%. Com essas

linhas é possível observar que o valor 0 (ZERO) está compreendido no IC das diferenças, o que evidencia que não há diferença significativa entre os métodos. Todavia, a elipse é baseada nos IC de 95% para a variabilidade das diferenças em função das médias para os dois eixos do gráfico, e sua inclinação indica que há correlação entre as variáveis (coeficiente de Pearson, $r > 0,5$). Houve, ainda, diferença estatisticamente significativa entre a média dos dois métodos e a diferença entre eles ($r = 0,51$; $p = 0,0215$). Estes achados sugerem que, quanto maior a medida encontrada por um dos métodos, maior será a diferença (erro) entre os valores obtidos com o método computacional e a fluoroscopia.

Gráfico 2: Dispersão da diferença entre a localização do centro/centroide da inserção tibial encontrados com a fluoroscopia e o método computacional, pela média entre eles (Gráfico de Bland & Altman).

Usando o método do modelo computacional, foi possível determinar a distância absoluta dos centroides do LCP aos inícios da faceta do LCP (marcação 0%). Essa distância apresentou média de $14,4 \pm 1,9$ mm, variando de 11,2 milímetros para 17,7 mm. Em relação à porcentagem encontrada no

centro/centroide do LCP, essa medida corresponde a $71,7 \pm 0,9\%$ (variando entre 62,4% a 82,8%). Deve-se salientar que existe correlação significativa entre a distância absoluta da inserção do LCP, e a sua porcentagem da faceta determinada pelo mesmo método ($r=0,70$; $p<0.001$), indicando que quanto maior o joelho, maior será a porcentagem correspondente na faceta do centroide do LCP (Gráfico 3).

Gráfico 3: Correlação entre duas variáveis: a distância do início da faceta ao centroide do LCP e a localização da inserção do LCP, em porcentagem, na faceta.

4.2 Comparação entre examinadores

Cada um dos quatro examinadores que avaliaram as facetas dos 20 cadáveres, no modelo da fluoroscopia, realizaram duas medidas independentes, com pelo menos uma semana de intervalo entre elas. Houve apenas pequena variação entre as duas medidas, e essa não foi estatisticamente significativa para

nenhum dos observadores. As médias das diferenças entre as medidas foram: $2,20 \pm 1,46 \%$ ($p=0,0744$); $0,02 \pm 0,94 \%$ ($p=0,4927$); $0,05 \pm 0,67 \%$ ($p=0,2539$); e $0,06 \pm 0,47$ ($p=0,4542$), para examinadores 1, 2, 3, e 4 (um residente de ortopedia, um cirurgião de joelho, um especialista em medicina esportiva e um cirurgião ortopédico geral), respectivamente. As médias das medidas dos examinadores 1, 2, 3 e 4 foram: $55.5 \pm 1.64 \%$; $69.69 \pm 0.77 \%$; $70.34 \pm 0.81\%$; $70.38 \pm 1.07\%$ (Gráfico 4), mostrando que, salvo o examinador 1, todos os outros obtiveram medidas muito próximas de 70%. Criando-se, hipoteticamente, um examinador que encontrasse sempre 70% para todas as medidas (linha tracejada no gráfico), os valores encontrados para os examinadores 2, 3, e 4 não seriam significativamente diferentes desse (Gráfico 4).

Gráfico 4: Média de cada examinador, obtida pelo método de fluoroscopia.

5. Discussão

O presente estudo objetivou identificar o ponto central da inserção do LCP. A hipótese foi a de que a definição exata desse ponto seria útil para os procedimentos cirúrgicos reconstrutivos desse ligamento. Embora se discuta na literatura o uso de banda simples ou dupla na reconstrução do LCP, a pesquisa se concentrou na definição de um único sítio insercional na tíbia. Isto é corroborado por outros autores que, mesmo no caso do uso da dupla banda ligamentar, utilizam um único sítio tibial de inserção. (LAPRADE et al., 2007). A localização do túnel tibial pode variar de acordo com a técnica cirúrgica, e o seu posicionamento mais comum situa-se na inserção anatômica do LCP ou ligeiramente distal e medial à mesma. Uma preocupação importante é a de evitar que o enxerto forme um ângulo agudo com o túnel tibial, o que pode levar ao enfraquecimento do enxerto por atrito contra a borda óssea na entrada do túnel tibial. Esse ângulo foi descrito como a “killer turn”. Estudos biomecânicos atribuem à esse ângulo agudo uma possível causa da frouxidão do enxerto ou falha da reconstrução ligamentar pela técnica transtibial (BERGFELD et al., 2005; MCALLISTER et al., 2002; MARKOLF; ZEMANOVIC; MCALLISTER, 2002; OAKES et al., 2002). Apesar de não ter sido incluída neste estudo a angulação à qual que o enxerto seria submetido, acredita-se que a inserção mais anatômica do túnel tibial diminuiria os risco da “killer turn”. Embora várias técnicas alternativas tenham sido descritas com o intuito de se evitar este risco ao enxerto, visando manter a estabilidade obtida na ocasião da cirurgia, a técnica artroscópica transtibial é comumente empregada e difundida, por ser minimamente invasiva e evitar a mudança de decúbito durante o procedimento (MATAVA; ELLIS; GRUBER, 2009). Assim, a localização anatômica do LCP na sua correta inserção é o marco fundamental sobre o qual se baseia a perfuração do túnel tibial. As técnicas atuais para identificação da inserção tibial do LCP e posicionamento do túnel tibial dependem da localização de sua inserção. Isto ocorre por visualização direta durante procedimentos abertos, por visualização da região posterior da tíbia pela via artroscópica e execução de um portal acessório (ANDERSON et al., 2012; CAMPBELL; JORDAN; SEKIYA, 2007; JORDAN; CAMPBELL; SEKIYA, 2007), ou ainda utilizando-se um acesso cirúrgico posterior limitado que permita a palpação digital da inserção do LCP, controlando-se o

posicionamento do fio guia e a perfuração pela broca (BURKS; SCHAFFER, 1990).

A utilização de radioscopia intraoperatória é atraente na medida em que permite uma excelente visualização de detalhes anatômicos e localização da inserção do LCP; evitando, ao mesmo tempo, acessos cirúrgicos adicionais ou procedimentos artroscópicos de maior complexidade, com menor risco de lesão das estruturas neurovasculares delicadas na face posterior do joelho.

Dois estudos recentes descreveram marcos radiográficos reproduzíveis para localizar o centro da inserção do LCP na radiografia lateral (JOHANNSEN et al., 2013; LEE et al., 2011). A inserção do LCP em uma radiografia lateral foi determinada entre 2,2 e 12,3 mm distais à linha da articulação no estudo de Johannsen et al. (2013), e o centro do LCP foi encontrado para ser de 1,6 mm distais à linha da articulação no de Lee et al. (2011). O último estudo também determinou que o centro do LCP pode ser encontrado a 5,5 mm cranial ao término da faceta deste. Entretanto, para que tais medidas tenham utilidade no intraoperatório, as distâncias reproduzíveis nesses estudos requerem vistas laterais de fluoroscopia com idêntica ampliação e podem ainda sofrer algumas variações individuais. Se a ampliação for desconhecida, como muitas vezes ocorre em imagens de fluoroscopia intraoperatória, esses valores podem ser superestimados ou subestimados, provocando a confecção equivocada do túnel tibial na reconstrução do LCP. Tais valores absolutos podem ainda variar de acordo com a população estudada, na qual estatura e dimensões dos joelhos podem ser diferentes.

A determinação de uma percentagem do comprimento da faceta, independentemente do tamanho do paciente ou da largura total do planalto tibial nos planos sagital e frontal, revelou-se uma grande vantagem do método descrito no presente estudo. Os espécimes de cadáveres demonstraram acentuada variabilidade de tamanho e comprimento da faceta do LCP. A distância do centro do LCP, ao início da sua faceta (borda anteroproximal), variou de 11 a 17 mm. Apesar dessa variação, o centro da inserção do ligamento foi consistentemente encontrado e localizado a 70% (intervalo de 62-82%), a partir da extremidade proximal e anterior da faceta (Figura 13B). Estes achados radiológicos foram

corroborados por um modelo 3D computacional de tíbia com registro do mapeamento digital da inserção do LCP usando as mesmas peças cadavéricas (LI et al., 2009). A faceta do LCP é uma estrutura muito menor do que o total da largura do planalto e acredita-se que isso facilita a avaliação fluoroscópica, diminuindo erros.

As limitações deste estudo podem estar relacionadas com os espécimes e o conhecimento dos limites da faceta do LCP. A idade de espécimes de cadáveres é, provavelmente, superior à idade da maioria dos pacientes submetidos à reconstrução do LCP, mas não se crê que esse fato possa ter interferido nas relações anatômicas do LCP. Uma limitação adicional é que os fêmures foram desarticulados, e o verdadeiro perfil nas radiografias de joelho exige a sobreposição dos côndilos femurais. Considerou-se a imagem lateral ideal como sendo obtida perpendicularmente à tuberosidade da tíbia. Estudos recentes não encontraram nenhuma diferença na localização do centro do LCA quando as imagens tinham até 10 graus de varo ou valgo e até 10 graus de rotação interna ou externa nos joelhos estudados (VAN ECK et al., 2012). Além disso, a localização central do LCP nas imagens de fluoroscopia laterais não foi significativamente diferente da localização do centro do LCP observada no modelo computacional 3D criado com marcação digital da inserção tibial do LCP. Outra condição evidenciada neste estudo é que, para que estes resultados tornem-se úteis para o médico, este deve ser capaz de identificar a faceta do LCP em imagens de fluoroscopia intraoperatória. Tentou-se mostrar a possibilidade disto, demonstrando a confiabilidade do estudo, correlacionando as imagens de quatro médicos diferentes com duas medições feitas independentemente com intervalo de pelo menos uma semana. Notou-se, ainda, que o médico em formação, o residente, apresentou medidas menores que os demais. Entende-se que isto foi ocasionado por menor experiência para determinar o comprimento real da faceta. Uma limitação final deste estudo é que ele não ajuda o cirurgião a localizar a inserção tibial do LCP no plano coronal na direção medial para a lateral. Por outro lado, a constatação mais importante é que o ponto de inserção tibial do LCP pode ser identificado de forma reprodutível e confiável numa imagem fluoroscópica lateral, a 70% de distância, em uma linha traçada a partir

da borda anterior e proximal em direção à extremidade posterior e distal da faceta do LCP. Se desconsideradas as medições realizadas pelo médico residente, profissional ainda em treinamento e formação, o marco de 70% da faceta foi próximo da média dos demais examinadores, incluindo sempre no IC. Assim, a determinação do centro do LCP na tíbia, a partir de imagens laterais, obtidas por fluoroscopia, constitui-se em uma técnica potencialmente útil e não envolve números absolutos, permitindo seu uso sem que a amplificação da imagem obtida tenha que ser levada em consideração. Estudos futuros avaliando os resultados clínicos para a aplicação destes valores de referência e a validação do seu impacto funcional para a reconstrução do LCP deverão ser desenhados.

6. Conclusões

Após análise dos resultados, concluiu-se que:

1. Referenciais anatômicos, que se correlacionam com o centro da inserção do LCP na tíbia, são passíveis de determinação por fluoroscopia;
2. A faceta posterior da tíbia, onde se insere o LCP, é representada na fluoroscopia por meio de uma linha oblíqua, com inclinação posterior, iniciando-se no planalto tibial e terminando na cortical metafisária da tíbia;
3. O centro da inserção do LCP está situado em um ponto imaginário sobre esta linha. O ponto é plotado na posição correspondente a 70% do comprimento da linha, estando mais próximo da cortical posterior da tíbia.

7. Referências Bibliográficas

ANDERSON, C. J.; ZIEGLER, C. G.; WIJDICKS, C. A.; ENGBRETSSEN, L.; LAPRADE, R. F. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. **J Bone Joint Surg Am**, v. 94, n. 21, p. 1936-45, 2012.

BARRETT, G. R.; SAVOIE, F. H. Operative management of acute PCL injuries with associated pathology: long-term results. **Orthopedics**, v. 14, n. 6, p. 687-92, 1991.

BERGFELD, J. A.; GRAHAM, S. M.; PARKER, R. D.; VALDEVIT, A. D.; KAMBIC, H. E. A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstructions using single- and double-bundle tibial inlay techniques. **Am J Sports Med**, v. 33, n. 7, p. 976-81, 2005.

BERNSMANN, K.; ROSENTHAL, A.; SATI, M.; ANSARI, B.; WIESE, M. [Using the CAS (computer-assisted surgery) system in arthroscopic cruciate ligament surgery--adaptation and application in clinical practice]. **Z Orthop Ihre Grenzgeb**, v. 139, n. 4, p. 346-51, 2001.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 1, n. 8476, p. 307-10, 1986.

BOYNTON, M. D.; TIETJENS, B. R. Long-term followup of the untreated isolated posterior cruciate ligament-deficient knee. **Am J Sports Med**, v. 24, n. 3, p. 306-10, 1996.

BURKS, R. T.; SCHAFFER, J. J. A simplified approach to the tibial attachment of the posterior cruciate ligament. **Clin Orthop Relat Res**, v., n. 254, p. 216-19, 1990.

BUTLER, D. L.; NOYES, F. R.; GROOD, E. S. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. **J Bone Joint Surg Am**, v. 62, n. 2, p. 259-70, 1980.

CAMPBELL, R. B.; JORDAN, S. S.; SEKIYA, J. K. Arthroscopic tibial inlay for posterior cruciate ligament reconstruction. **Arthroscopy**, v. 23, n. 12, p. 1356 e1351-4, 2007.

CHEN, C. H.; CHUANG, T. Y.; WANG, K. C.; CHEN, W. J.; SHIH, C. H. Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: results with a minimum 4-year follow-up. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 14, n. 11, p. 1045-54, 2006.

CHUANG, T. Y.; HO, W. P.; CHEN, C. H.; LIAO, Y. S.; CHEN, W. J. Double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using inlay technique with quadriceps tendon-bone autograft. **Arthroscopy**, v. 20, n. 4, p. e23-8, 2004.

COLVIN, A. C.; MEISLIN, R. J. Posterior cruciate ligament injuries in the athlete: diagnosis and treatment. **Bull NYU Hosp Jt Dis**, v. 67, n. 1, p. 45-51, 2009.

COOPER, D. E.; STEWART, D. Posterior cruciate ligament reconstruction using single-bundle patella tendon graft with tibial inlay fixation: 2- to 10-year follow-up. **Am J Sports Med**, v. 32, n. 2, p. 346-60, 2004.

COVEY, D. C.; SAPEGA, A. A.; SHERMAN, G. M. Testing for isometry during reconstruction of the posterior cruciate ligament. Anatomic and biomechanical considerations. **Am J Sports Med**, v. 24, n. 6, p. 740-6, 1996.

DANDY, D. J.; PUSEY, R. J. The long-term results of unrepaired tears of the posterior cruciate ligament. **J Bone Joint Surg Br**, v. 64, n. 1, p. 92-4, 1982.

DARGEL, J.; POHL, P.; TZIKARAS, P.; KOEBKE, J. Morphometric side-to-side differences in human cruciate ligament insertions. **Surg Radiol Anat**, v. 28, n. 4, p. 398-402, 2006.

EDWARDS, A.; BULL, A. M.; AMIS, A. A. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. **Arthroscopy**, v. 23, n. 3, p. 284-90, 2007.

FITZPATRICK, J. M.; WEST, J. B.; MAURER, C. R., JR. Predicting error in rigid-body point-based registration. **IEEE Trans Med Imaging**, v. 17, n. 5, p. 694-702, 1998.

FORSYTHE, B.; HARNER, C.; MARTINS, C. A.; SHEN, W.; LOPES, O. V., JR.; FU, F. H. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. Surgical technique. **J Bone Joint Surg Am**, v. 91 Suppl 2 Pt 1, n., p. 89-100, 2009.

FOWLER, P. J.; MESSIEH, S. S. Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes. **Am J Sports Med**, v. 15, n. 6, p. 553-7, 1987.

GEISLER, W. B.; WHIPPLE, T. L. Intraarticular abnormalities in association with posterior cruciate ligament injuries. **Am J Sports Med**, v. 21, n. 6, p. 846-9, 1993.

GIRGIS, F. G.; MARSHALL, J. L.; MONAJEM, A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. **Clin Orthop Relat Res**, v., n. 106, p. 216-31, 1975.

GROOD, E. S.; STOWERS, S. F.; NOYES, F. R. Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. **J Bone Joint Surg Am**, v. 70, n. 1, p. 88-97, 1988.

GUPTE, C. M.; SMITH, A.; JAMIESON, N.; BULL, A. M.; THOMAS, R. D.; AMIS, A. A. Meniscomfemoral ligaments--structural and material properties. **J Biomech**, v. 35, n. 12, p. 1623-9, 2002a.

GUPTE, C. M.; SMITH, A.; MCDERMOTT, I. D.; BULL, A. M.; THOMAS, R. D.; AMIS, A. A. Meniscomfemoral ligaments revisited. Anatomical study, age correlation and clinical implications. **J Bone Joint Surg Br**, v. 84, n. 6, p. 846-51, 2002b.

HARNER, C. D.; XEROGEANES, J. W.; LIVESAY, G. A.; CARLIN, G. J.; SMITH, B. A.; KUSAYAMA, T.; KASHIWAGUCHI, S.; WOO, S. L. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. **Am J Sports Med**, v. 23, n. 6, p. 736-45, 1995.

HARNER, C. D.; HOHER, J. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. **Am J Sports Med**, v. 26, n. 3, p. 471-82, 1998.

HARNER, C. D.; JANAUSHEK, M. A.; KANAMORI, A.; YAGI, M.; VOGRIN, T. M.; WOO, S. L. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. **Am J Sports Med**, v. 28, n. 2, p. 144-151, 2000.
HELLER, L.; LANGMAN, J. The Menisco-Femoral Ligaments of the Human Knee. **J Bone Joint Surg Br**, v. 46, n., p. 307-13, 1964.

HERMANS, S.; CORTEN, K.; BELLEMANS, J. Long-term results of isolated anterolateral bundle reconstructions of the posterior cruciate ligament: a 6- to 12-year follow-up study. **Am J Sports Med**, v. 37, n. 8, p. 1499-507, 2009.

HOHER, J.; SCHEFFLER, S.; WEILER, A. Graft choice and graft fixation in PCL reconstruction. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 11, n. 5, p. 297-306, 2003.

JALLIARD, R.; LAVALLEE, S.; DESSENNE, V. Computer assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. **Clin Orthop Relat Res**, v., n. 354, p. 57-64, 1998.

JANOUSEK, A. T.; JONES, D. G.; CLATWORTHY, M.; HIGGINS, L. D.; FU, F. H. Posterior cruciate ligament injuries of the knee joint. **Sports Med**, v. 28, n. 6, p. 429-41, 1999.

JOHANNSEN, A. M.; ANDERSON, C. J.; WIJDICKS, C. A.; ENGBRETSSEN, L.; LAPRADE, R. F. Radiographic landmarks for tunnel positioning in posterior cruciate ligament reconstructions. **Am J Sports Med**, v. 41, n. 1, p. 35-42, 2013.

JORDAN, S. S.; CAMPBELL, R. B.; SEKIYA, J. K. Posterior cruciate ligament reconstruction using a new arthroscopic tibial inlay double-bundle technique. **Sports Med Arthrosc**, v. 15, n. 4, p. 176-83, 2007.

JUNG, Y. B.; TAE, S. K.; JUNG, H. J.; LEE, K. H. Replacement of the torn posterior cruciate ligament with a mid-third patellar tendon graft with use of a modified tibial inlay method. **J Bone Joint Surg Am**, v. 86-A, n. 9, p. 1878-83, 2004.

KELLER, P. M.; SHELBOURNE, K. D.; MCCARROLL, J. R.; RETTIG, A. C. Nonoperatively treated isolated posterior cruciate ligament injuries. **Am J Sports Med**, v. 21, n. 1, p. 132-6, 1993.

KLOS, T. V.; HABETS, R. J.; BANKS, A. Z.; BANKS, S. A.; DEVILEE, R. J.; COOK, F. F. Computer assistance in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. **Clin Orthop Relat Res**, v., n. 354, p. 65-9, 1998.

KOHEN, R. B.; SEKIYA, J. K. Single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. **Arthroscopy**, v. 25, n. 12, p. 1470-7, 2009.

LAPRADE, R. F.; MORGAN, P. M.; WENTORF, F. A.; JOHANSEN, S.; ENGBRETSSEN, L. The anatomy of the posterior aspect of the knee. An anatomic study. **J Bone Joint Surg Am**, v. 89, n. 4, p. 758-64, 2007.

LEE, G. W.; JANG, S. J.; CHOI, Y.; SON, J. H. Accessory anterolateral portal in arthroscopic PCL reconstruction. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 21, n. 5, p. 1043-9, 2013.

LEE, Y. S.; RA, H. J.; AHN, J. H.; HA, J. K.; KIM, J. G. Posterior cruciate ligament tibial insertion anatomy and implications for tibial tunnel placement. **Arthroscopy**, v. 27, n. 2, p. 182-7, 2011.

LI, K.; O'FARRELL, M.; MARTIN, D.; KOPF, S.; HARNER, C.; ZHANG, X. Mapping ligament insertion sites onto bone surfaces in knee by co-registration of CT and digitization data. **J Biomech**, v. 42, n. 15, p. 2624-6, 2009.

LIN, Y. C.; CHEN, S. K.; LIU, T. H.; CHENG, Y. M.; CHOU, P. P. Arthroscopic transtibial single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft compared with hamstring tendon graft. **Arch Orthop Trauma Surg**, v. 133, n. 4, p. 523-30, 2013.

LORENZ, S.; ELSE, F.; BRUCKER, P. U.; OBST, T.; IMHOFF, A. B. Radiological evaluation of the anterolateral and posteromedial bundle insertion sites of the posterior cruciate ligament. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 17, n. 6, p. 683-90, 2009.

MAKRIS, C. A.; GEORGOULIS, A. D.; PAPAGEORGIOU, C. D.; MOEBIUS, U. G.; SOUCACOS, P. N. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under microsurgical dissection. **Arthroscopy**, v. 16, n. 6, p. 627-32, 2000.

MARGHERITINI, F.; RIHN, J.; MUSAHL, V.; MARIANI, P. P.; HARNER, C. Posterior cruciate ligament injuries in the athlete: an anatomical, biomechanical and clinical review. **Sports Med**, v. 32, n. 6, p. 393-408, 2002.

MARKOLF, K. L.; ZEMANOVIC, J. R.; MCALLISTER, D. R. Cyclic loading of posterior cruciate ligament replacements fixed with tibial tunnel and tibial inlay methods. **J Bone Joint Surg Am**, v. 84-A, n. 4, p. 518-24, 2002.

MARKOLF, K. L.; FEELEY, B. T.; JACKSON, S. R.; MCALLISTER, D. R. Where should the femoral tunnel of a posterior cruciate ligament reconstruction be placed to best restore anteroposterior laxity and ligament forces? **Am J Sports Med**, v. 34, n. 4, p. 604-11, 2006a.

MARKOLF, K. L.; FEELEY, B. T.; TEJWANI, S. G.; MARTIN, D. E.; MCALLISTER, D. R. Changes in knee laxity and ligament force after sectioning the posteromedial bundle of the posterior cruciate ligament. **Arthroscopy**, v. 22, n. 10, p. 1100-6, 2006b.

MATAVA, M. J.; SETHI, N. S.; TOTTY, W. G. Proximity of the posterior cruciate ligament insertion to the popliteal artery as a function of the knee flexion angle: implications for posterior cruciate ligament reconstruction. **Arthroscopy**, v. 16, n. 8, p. 796-804, 2000.

MATAVA, M. J.; ELLIS, E.; GRUBER, B. Surgical treatment of posterior cruciate ligament tears: an evolving technique. **J Am Acad Orthop Surg**, v. 17, n. 7, p. 435-46, 2009.

MAY, J. H.; GILLETTE, B. P.; MORGAN, J. A.; KRYCH, A. J.; STUART, M. J.; LEVY, B. A. Transtibial versus inlay posterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based systematic review. **J Knee Surg**, v. 23, n. 2, p. 73-9, 2010.

MCALLISTER, D. R.; MARKOLF, K. L.; OAKES, D. A.; YOUNG, C. R.; MCWILLIAMS, J. A biomechanical comparison of tibial inlay and tibial tunnel posterior cruciate ligament reconstruction techniques: graft pretension and knee laxity. **Am J Sports Med**, v. 30, n. 3, p. 312-7, 2002.

MEJIA, E. A.; NOYES, F. R.; GROOD, E. S. Posterior cruciate ligament femoral insertion site characteristics. Importance for reconstructive procedures. **Am J Sports Med**, v. 30, n. 5, p. 643-51, 2002.

MOORMAN, C. T., 3RD; MURPHY ZANE, M. S.; BANSAL, S.; CINA, S. J.; WICKIEWICZ, T. L.; WARREN, R. F.; KASETA, M. K. Tibial insertion of the posterior cruciate ligament: a sagittal plane analysis using gross, histologic, and radiographic methods. **Arthroscopy**, v. 24, n. 3, p. 269-75, 2008.

MORAN, C. J.; POYNTON, A. R.; MORAN, R.; BRIEN, M. O. Analysis of menisiofemoral ligament tension during knee motion. **Arthroscopy**, v. 22, n. 4, p. 362-6, 2006.

NAGASAKI, S.; OHKOSHI, Y.; YAMAMOTO, K.; EBATA, W.; IMABUCHI, R.; NISHIIKE, J. The incidence and cross-sectional area of the menisiofemoral ligament. **Am J Sports Med**, v. 34, n. 8, p. 1345-50, 2006.

NICANDRI, G. T.; KLINEBERG, E. O.; WAHL, C. J.; MILLS, W. J. Treatment of posterior cruciate ligament tibial avulsion fractures through a modified open posterior approach: operative technique and 12- to 48-month outcomes. **J Orthop Trauma**, v. 22, n. 5, p. 317-24, 2008.

NOYES, F. R.; MEDVECKY, M. J.; BHARGAVA, M. Arthroscopically assisted quadriceps double-bundle tibial inlay posterior cruciate ligament reconstruction: An analysis of techniques and a safe operative approach to the popliteal fossa. **Arthroscopy**, v. 19, n. 8, p. 894-905, 2003.

NOYES, F. R.; BARBER-WESTIN, S. Posterior cruciate ligament replacement with a two-strand quadriceps tendon-patellar bone autograft and a tibial inlay technique. **J Bone Joint Surg Am**, v. 87, n. 6, p. 1241-52, 2005.

OAKES, D. A.; MARKOLF, K. L.; MCWILLIAMS, J.; YOUNG, C. R.; MCALLISTER, D. R. Biomechanical comparison of tibial inlay and tibial tunnel techniques for reconstruction of the posterior cruciate ligament. Analysis of graft forces. **J Bone Joint Surg Am**, v. 84-A, n. 6, p. 938-44, 2002.

OSTI, M.; TSCHANN, P.; KUNZEL, K. H.; BENEDETTO, K. P. Anatomic characteristics and radiographic references of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. **Am J Sports Med**, v. 40, n. 7, p. 1558-63, 2012.

PARK, S. E.; STAMOS, B. D.; DEFRATE, L. E.; GILL, T. J.; LI, G. The effect of posterior knee capsulotomy on posterior tibial translation during posterior cruciate ligament tibial inlay reconstruction. **Am J Sports Med**, v. 32, n. 6, p. 1514-9, 2004.

PAROLIE, J. M.; BERGFELD, J. A. Long-term results of nonoperative treatment of isolated posterior cruciate ligament injuries in the athlete. **Am J Sports Med**, v. 14, n. 1, p. 35-8, 1986.

PATEL, D. V.; ALLEN, A. A.; WARREN, R. F.; WICKIEWICZ, T. L.; SIMONIAN, P. T. The nonoperative treatment of acute, isolated (partial or complete) posterior cruciate ligament-deficient knees: an intermediate-term follow-up study. **HSS J**, v. 3, n. 2, p. 137-46, 2007.

PETERSEN, W.; LENSCHOW, S.; WEIMANN, A.; STROBEL, M. J.; RASCHKE, M. J.; ZANTOP, T. Importance of femoral tunnel placement in double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: biomechanical analysis using a robotic/universal force-moment sensor testing system. **Am J Sports Med**, v. 34, n. 3, p. 456-63, 2006.

RACE, A.; AMIS, A. A. PCL reconstruction. In vitro biomechanical comparison of 'isometric' versus single and double-bundled 'anatomic' grafts. **J Bone Joint Surg Br**, v. 80, n. 1, p. 173-9, 1998.

RAMOS, L. A.; DE CARVALHO, R. T.; COHEN, M.; ABDALLA, R. J. Anatomic relation between the posterior cruciate ligament and the joint capsule. **Arthroscopy**, v. 24, n. 12, p. 1367-72, 2008.

RODEO, S. A.; ARNOCZKY, S. P.; TORZILLI, P. A.; HIDAKA, C.; WARREN, R. F. Tendon-healing in a bone tunnel. A biomechanical and histological study in the dog. **J Bone Joint Surg Am**, v. 75, n. 12, p. 1795-803, 1993.

ROSENBERGER, R. E.; BALE, R. J.; KNEISL, C.; KRAPPINGER, D.; KNOFLACH, M.; ATTAL, R. Two-dimensional fluoroscopic navigation in posterior cruciate ligament reconstruction: a preclinical cadaver study. **Arch Orthop Trauma Surg**, v. 130, n. 8, p. 971-6, 2010.

SALIM, R.; FOGAGNOLO, F.; KFURI, M., JR. A new simplified onlay technique for posterior cruciate ligament reconstruction. **J Knee Surg**, v. 27, n. 4, p. 289-93, 2014.

SEON, J. K.; SONG, E. K. Reconstruction of isolated posterior cruciate ligament injuries: a clinical comparison of the transtibial and tibial inlay techniques. **Arthroscopy**, v. 22, n. 1, p. 27-32, 2006.

SHELBOURNE, K. D.; DAVIS, T. J.; PATEL, D. V. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. **Am J Sports Med**, v. 27, n. 3, p. 276-83, 1999.

SHON, O. J.; LEE, D. C.; PARK, C. H.; KIM, W. H.; JUNG, K. A. A comparison of arthroscopically assisted single and double bundle tibial inlay reconstruction for isolated posterior cruciate ligament injury. **Clin Orthop Surg**, v. 2, n. 2, p. 76-84, 2010.

STROBEL, M. J.; WEILER, A.; SCHULZ, M. S.; RUSSE, K.; EICHHORN, H. J. Arthroscopic evaluation of articular cartilage lesions in posterior-cruciate-ligament-deficient knees. **Arthroscopy**, v. 19, n. 3, p. 262-8, 2003.

TAJIMA, G.; NOZAKI, M.; IRIUCHISHIMA, T.; INGHAM, S. J.; SHEN, W.; SMOLINSKI, P.; FU, F. H. Morphology of the tibial insertion of the posterior cruciate ligament. **J Bone Joint Surg Am**, v. 91, n. 4, p. 859-66, 2009.

TAKAHASHI, M.; MATSUBARA, T.; DOI, M.; SUZUKI, D.; NAGANO, A. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anterolateral and posteromedial bundles of human posterior cruciate ligament. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 14, n. 11, p. 1055-9, 2006.

TOMPKINS, M.; KELLER, T. C.; MILEWSKI, M. D.; GASKIN, C. M.; BROCKMEIER, S. F.; HART, J. M.; MILLER, M. D. Anatomic femoral tunnels in posterior cruciate ligament reconstruction: inside-out versus outside-in drilling. **Am J Sports Med**, v. 41, n. 1, p. 43-50, 2013.

TRICKEY, E. L. Injuries to the posterior cruciate ligament: diagnosis and treatment of early injuries and reconstruction of late instability. **Clin Orthop Relat Res**, v., n. 147, p. 76-81, 1980.

VAN ECK, C. F.; WONG, A. K.; IRRGANG, J. J.; FU, F. H.; TASHMAN, S. The effects of limb alignment on anterior cruciate ligament graft tunnel positions estimated from plain radiographs. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**, v. 20, n. 5, p. 979-85, 2012.

WILK, K. E. Rehabilitation of isolated and combined posterior cruciate ligament injuries. **Clin Sports Med**, v. 13, n. 3, p. 649-77, 1994.

WILK, K. E.; ARRIGO, C.; ANDREWS, J. R.; CLANCY, W. G. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction in the female athlete. **J Athl Train**, v. 34, n. 2, p. 177-93, 1999.

WIRTH, C. J.; JAGER, M. Dynamic double tendon replacement of the posterior cruciate ligament. **Am J Sports Med**, v. 12, n. 1, p. 39-43, 1984.

8. Apêndices

APÊNDICE A

**TABELA COM AS DUAS MEDIDAS DOS QUATRO EXAMINADORES,
RESULTADOS DO MÉTODO COMPUTACIONAL E DISTÂNCIA ABSOLUTA
DO INÍCIO DA FACETA AO CENTROIDE DO LCP**

Identificação	Medida	#1	#2	#3	#4	Comp.	Faceta
1	1	59.80	72.96	71.40	74.10	72.27	16.74
2	1	63.20	68.58	67.00	73.50	71.07	14.02
3	1	53.60	64.27	73.00	62.50	73.66	15.08
4	1	48.60	72.80	71.00	74.00	75.81	16.07
5	1	35.00	61.85	66.00	66.20	67.51	12.75
6	1	48.80	71.38	72.00	69.10	65.97	12.58
7	1	54.30	75.92	74.00	73.80	72.41	11.69
8	1	66.70	78.43	77.00	80.00	79.51	14.73
9	1	56.40	70.97	67.00	68.40	82.77	16.92
10	1	66.70	75.49	67.00	80.00	71.36	15.75
11	1	47.10	70.22	68.40	70.00	68.96	15.22
12	1	45.20	62.53	63.40	62.80	63.75	11.44
13	1	50.00	65.97	70.00	67.50	66.00	11.22
14	1	58.10	72.98	71.80	71.90	78.35	13.92
15	1	42.90	62.97	65.00	60.20	63.20	12.70
16	1	52.20	70.86	72.90	67.50	62.44	12.74
17	1	63.90	62.80	68.40	71.40	76.54	15.20
18	1	55.60	74.56	69.00	75.60	73.58	15.81
19	1	56.10	67.57	75.60	68.90	69.75	15.43
20	1	64.10	70.48	72.70	69.70	79.29	17.69
1	2	53.60	71.23	70.00	73.30	72.27	16.74
2	2	59.20	68.91	69.00	74.50	71.07	14.02
3	2	52.30	68.41	74.00	64.00	73.66	15.08
4	2	65.90	74.24	70.00	71.70	75.81	16.07
5	2	52.30	66.63	64.80	66.20	67.51	12.75
6	2	50.60	70.09	70.50	69.10	65.97	12.58
7	2	51.90	70.62	74.00	73.80	72.41	11.69
8	2	71.40	67.52	76.70	77.30	79.51	14.73
9	2	52.60	72.87	67.00	68.90	82.77	16.92
10	2	69.70	69.51	77.00	76.70	71.36	15.75
11	2	50.00	72.46	71.00	72.00	68.96	15.22
12	2	45.90	64.76	62.00	67.00	63.75	11.44
13	2	55.30	69.00	75.00	66.20	66.00	11.22
14	2	61.20	72.80	71.80	70.80	78.35	13.92
15	2	50.00	66.18	62.50	62.90	63.20	12.70
16	2	44.20	74.43	72.90	67.80	62.44	12.74
17	2	62.30	65.86	67.60	71.60	76.54	15.20
18	2	61.00	70.30	72.50	78.10	73.58	15.81
19	2	58.80	71.70	72.90	64.90	69.75	15.43
20	2	64.10	66.42	70.50	71.40	79.29	17.69

APÊNDICE B

TABELA COM A ANÁLISE DE VARIÂNCIA SEGUIDA POR TESTE *POST-HOC* TUKEY-KRAMER HSD PARA COMPARAÇÃO PAREADA DE TODOS OS EXAMINADORES ENTRE ELES.

Examinador	Examinador	Média da diferença	Erro padrão da diferença	Valor do p
4	1	14.86750	1.123461	<.0001*
3	1	14.84250	1.123461	<.0001*
70	1	14.48500	1.123461	<.0001*
2	1	14.17325	1.123461	<.0001*
4	2	0.69425	1.123461	0.9718
3	2	0.66925	1.123461	0.9753
4	70	0.38250	1.123461	0.9970
3	70	0.35750	1.123461	0.9977
70	2	0.31175	1.123461	0.9987
4	3	0.02500	1.123461	1.0000

COMPROVANTE DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA **University of Pittsburgh***Committee for Oversight of Research
Involving the Dead*

Office for Oversight of Anatomic Specimens
Suite 400-A, Iroquois Building
3600 Meyran Avenue
Pittsburgh, PA 15261
412-802-8280
Fax: 412-647-1920
E-mail: matusaksa@upmc.edu

MEMORANDUM

TO: Christopher D. Harner, MD

FROM: Barbara E. Barnes, MD
Co-Chair

DATE: August 16, 2010

RE: CORID No. 305: *Validation of a Fluoroscopic Imaging Grid System for Intra-Operative Identification of Cruciate Ligament Insertion Sites*

The Committee for Oversight of Research and Clinical Training Involving Decedents has reviewed and approved the above-referenced study.

A Renewal Report is required annually, with the first due on or before the date indicated below. When your study has been completed, a Final Report will be required.

Approval Date: 8/16/2010
Renewal Date: 8/15/2011

Should you have any questions, please contact Shoshana Matusak, CORID Administrator, at 412-802-8280, or via email at matusaksa@upmc.edu.

Thank you.

c: Shoshana A. Matusak

Anexo de Publicação

Fluoroscopic Determination of the Tibial Insertion of the Posterior Cruciate Ligament in the Sagittal Plane

Rodrigo Salim,^{*} MD, Matthew J. Salzler,[†] MD, Mark A. Bergin,[‡] MD, Liying Zheng,[§] PhD, Robert E. Carey,^{||} MS, Mauricio Kfuri Jr,^{*} MD, PhD, Xudong Zhang,^{||¶} PhD, and Christopher D. Harner,^{‡#} MD

Investigation performed at the University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA

Background: Currently, placement of the tibial tunnel for arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament (PCL) reconstruction relies on a limited arthroscopic view of the native insertion or the use of intraoperative imaging. No widely accepted method exists for intraoperative determination of PCL tibial tunnel placement, and current descriptions are cumbersome.

Purpose: To identify the center of the PCL's anatomic tibial insertion site as a percentage of the PCL facet length on a lateral radiograph of the knee so that it may be reliably located in the sagittal plane during surgical reconstruction.

Study Design: Descriptive laboratory study.

Methods: Twenty fresh-frozen cadaveric knees were dissected and the tibial insertions of the PCL were digitized with an optical tracing system. The digitized PCL footprints were mapped onto 3-dimensional computed tomography-acquired tibial models, and their center points were determined. A K-wire was then inserted into the center of the PCL's tibial insertion under direct visualization, a direct lateral radiograph was obtained, and the center point was measured. The center locations for both methods were defined as a percentage of PCL facet length from anterior and proximal to posterior and distal, and intraobserver and interobserver reliability was tested with 4 different observers.

Results: The average location of the PCL center on the 3-dimensional bone model method was $71.7\% \pm 5.6\%$ along the PCL facet from anterior/proximal to posterior/distal. In the lateral radiographic method, the center of the PCL was at an average of $69.7\% \pm 4.9\%$ of the facet length. There was no significant difference between the percentage measurements of the 2 methods ($P = .13$). Interobserver reliability ($\kappa = 0.57$) and intraobserver reliability ($\kappa = 0.71$) were moderate to strong.

Conclusion: Locating the center of the tibial PCL insertion with fluoroscopy at a point that is 70% of the PCL tibial facet length on a true lateral radiograph is a reliable method for locating the PCL tibial insertion.

Clinical Relevance: The method described in this study enables clinicians to identify the tibial location of the PCL insertion, which must be accurately determined during PCL reconstruction.

Keywords: PCL; tibial tunnel; anatomic; radiographic; fluoroscopic

^{*}Address correspondence to Christopher D. Harner, MD, UPMC Center for Sports Medicine, 3200 S. Water Street, Pittsburgh, PA 15203 USA (email: harnercd@upmc.edu).

^{*}Ribeirão Preto Medical School, University of São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil.

[†]Department of Orthopaedic Surgery, Tufts Medical Center, Boston, Massachusetts, USA.

[‡]Department of Orthopaedic Surgery, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

[§]Department of Mechanical Engineering and Materials Science, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

^{||}Department of Bioengineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

One or more of the authors has declared the following potential conflict of interest or source of funding: C.D.H. has received funds for research from ConMed Linvatec, Smith & Nephew, and DePuy Mitek.

The American Journal of Sports Medicine, Vol. XX, No. X
DOI: 10.1177/0363546514568277
© 2015 The Author(s)

The posterior cruciate ligament (PCL) is an important stabilizer to posterior translation and rotation of the knee.⁹⁻¹¹ Injury to the PCL and related structures produces a predictable pattern of instability that can be improved with PCL reconstruction in grade III injuries.³⁰ When reconstructing the PCL, accurate placement of the PCL tibial tunnel is needed to reproduce its anatomic insertion while avoiding damage to important structures near the tibial insertion site, such as the posterior meniscal root insertions. Contemporary reconstruction procedures have focused on reproducing the anatomy of the PCL as closely as possible. Single-bundle transtibial reconstructions focus on reconstruction of the larger anterolateral (AL) bundle of the PCL due to its greater biomechanical properties and contribution to knee stability compared with the smaller posteromedial (PM) bundle.^{10,13,14,29} To accurately place the tibial tunnel

Figure 1. The disarticulated cadaveric tibia with the PCL (pulled by a blue string) carefully identified and preserved.

in a transtibial single-bundle reconstruction, detailed knowledge of the tibial insertion site is imperative. One commonly used method for tibial tunnel placement relies on arthroscopic visualization of the tibial insertion. However, due to its location, posterior and below the joint line, and the nearby meniscal insertions, synovium, and capsule, it can be difficult, even for the experienced surgeon, to identify the correct location for the tunnel.

A series of radiographic studies have evaluated methods to determine the location of the PCL tibial insertion, but they have not come to a unified conclusion.^{15,25} To aid in establishing radiographic criteria, it has been demonstrated that the PCL tibial insertion lies in the posterior half of the PCL facet, is approximately 10 mm inferior to the tibial plateau, and is approximately 7 mm anterior to the posterior border of the tibia.^{24,28} Recently, an overlay grid system was developed that can aid in determining the tibial insertion of the PCL as a percentage of the tibial plateau width on anteroposterior (AP) and lateral radiographic imaging, but intraoperative utilization of a grid system can be challenging.²⁷ Furthermore, despite a number of attempts to determine the location of the PCL tibial insertion for transtibial drilling, only 2 possible locations have been tested for their reliability.^{15,19}

The previously described and currently used radiographic methods of determining the location of the tibial insertion of the PCL rely on grid systems or intraoperative distances, both of which are difficult to use with fluoroscopy. There is no known reliable method that uses a percentage of the PCL facet, which can be performed with simple fluoroscopy, to determine the tibial insertion of the PCL. Clinically, this knowledge could potentially enhance the surgeon's ability to recognize reliable radiographic landmarks to facilitate anatomic placement of the tibial tunnel during transtibial drilling for PCL reconstruction.

The purpose of this study is to identify the center of the PCL anatomic tibial insertion site as a percentage of the PCL facet length on a lateral radiograph. It was hypothesized that this method would be reliable and reproducible.

Figure 2. (A) Axial view of the tibia with the K-wire in the center of the PCL; (B) lateral radiograph view of the tibia demonstrating the K-wire's entry point (the center of the PCL) on the PCL facet.

METHODS

Our institution's Committee for Oversight of Research and Clinical Training Involving Decedents (CORID) approved this study. Twenty fresh-frozen cadaveric knees were used (10 left and 10 right knees; mean age, 61 ± 5 years). Each specimen was carefully dissected by an orthopaedic fellow such that skin and soft tissues were removed while the joint capsule remained intact. Six spherical fiducial markers (precision Nylon spheres; radius, 9.525 mm) were rigidly affixed to the femur and tibia, 3 on each bone. For purposes of creating 3-dimensional (3D) bone models, high-resolution computed tomography (CT) scans were collected with slice spacing of 0.625 mm. The tibias were then disarticulated and dissected free of all soft tissue other than the menisci, and most of the substance of the PCL was removed, leaving a remnant "stump" approximately 10 mm in length (Figure 1). A Polaris Spectra optical tracing system (Northern Digital, Inc), which has a reported accuracy of ± 0.25 mm, was used to digitize the periphery of the PCL and the 3D outline of the fiducial markers under direct visualization using a freehanded probe.

The location of the center/centroid of the PCL footprint on the PCL facet was characterized using 2 methods: a radiographic method on the cadaveric tibias and a method using a 3D computational bone model. The center of the PCL as a percentage of PCL facet length was determined by a series of 4 observers (a sports medicine specialist, general orthopaedic surgeon, sports medicine fellow, and orthopaedic resident) at 2 points in time longer than 1 week apart.

Radiographic Method

A Kirschner wire (K-wire) was inserted in the center of each PCL footprint under direct visualization of the tibia (Figure 2A). With the K-wire in place, the tibia was oriented for a lateral radiograph. The lateral radiograph was taken perpendicular to the sagittal alignment of the tibia through the tibial tubercle, with the entire PCL facet visible (Figure 2B). The PCL facet was identified on the image as a cortical line obliquely oriented to the tibial plateaus, with a posterior

Figure 3. (A) Posterior view of the tibial computed tomography (CT) bone model with the digitized PCL footprint mapped; (B) lateral view of the femur and tibia CT bone model with the PCL footprint shown through the translucent tibial bone.

slope (Figure 2B). The anterior and proximal aspect of the PCL facet was defined as 0% and the posterior/distal aspect of the PCL facet was 100% (Figure 2B). The center of the PCL tibial insertion site was measured and recorded as a percentage of the total PCL facet length.

3D Bone Model Method

The 3D bone models of the articulated tibia and femur pairs were developed in Mimics (Materialise, Inc). The digitized PCL tibial footprints were mapped onto the 3D tibia models with a fiducial registration error $<2\%$ using a customized MATLAB (MathWorks, Inc) algorithm²⁰ (Figure 3A). The sagittal views of the knees were determined by rotating the bone models of the femur and tibia until the medial and lateral femoral condyles overlapped with each other in the sagittal plane (Figure 3B). The location of each PCL footprint's centroid was the average location of all the digitized points on the PCL footprint boundary. The transparency of the tibial bone model was adjusted (0.4-0.7 "alpha" value in MATLAB) to make the PCL centroids and the tibial facets identifiable in the sagittal view (Figures 3B and 4). The location of the PCL footprint's centroid was quantified along the PCL facet in the sagittal view (in both percentage and actual length), where 0% was defined as the anterior and proximal aspect of the PCL facet and 100% was the posterior/distal aspect of the PCL facet (Figure 4).

Statistical Analysis

The mean, standard deviation, and range of the measurements for the locations of the PCL footprint centers were calculated. The percentage measurements from the 2 methods were compared using a paired Student *t* test.

Figure 4. A close-up view of the tibial computed tomography bone model in the lateral view with the PCL facet (dashed line), PCL footprint (dotted boundary) and the centroid of the PCL footprint (square) shown. The PCL centroid was measured along the PCL facet line.

Data on the location of the PCL center as a percentage of the PCL facet length were tested for interobserver and intraobserver reliability using a kappa (κ) statistic.

RESULTS

In the radiographic method, the location of the PCL center was at $69.7\% \pm 4.9\%$ of the PCL facet length, ranging from 61.8% to 78.4%. In the 3D bone model method, the mean percentage location of the PCL footprint centroids was $71.7\% \pm 5.6\%$ of the PCL facet length, ranging from 62.5% to 88%. Using the 3D bone model approach, the mean actual distance of the PCL centroids to the 0% points was 14.4 ± 1.9 mm, ranging from 11.2 to 17.7 mm.

There was no significant difference ($P = .13$) between the percentage measurements derived from the radiographic method and those derived from the 3D bone model method. Intraobserver reliability was moderate to strong ($\kappa = 0.71$; range, 0.53-0.90), and interobserver reliability was moderate to strong ($\kappa = 0.57$; range, 0.40-0.75) (Table 1).

DISCUSSION

The most important finding of our study is that the tibial insertion point of the PCL can be reliably identified on a lateral fluoroscopic image at 70% of the distance from the anterior/proximal to the posterior/distal border of the PCL facet. This technique is potentially useful as many

TABLE 1
Complete Intraobserver and Interobserver
Reliability κ Values

	Reviewer 1	Reviewer 2	Reviewer 3	Reviewer 4
Intraobserver	0.71	0.90	0.53	0.67
Interobserver		0.45	0.67	0.40
			0.64	0.51
				0.75
Mean intraobserver				0.71
Mean interobserver				0.57

authors now advocate performing anatomic PCL reconstruction using a single tibial tunnel and either 1 or 2 femoral tunnels. Double-tunnel reconstructions are generally avoided at the tibial insertion due to the small dimensions of the tibial footprint and the proximity of neurovascular structures and the joint capsule.¹⁷ Tibial tunnel location varies according to surgical technique, with the most commonly attempted placement either through the anatomic tibial PCL footprint or slightly distal and medial to the footprint to avoid the increased stresses due to the sharp angle required to pass the graft to the femoral tunnel. Coined the “killer curve,” this angle has been identified as a possible cause of graft laxity or failure after transtibial PCL reconstruction.^{5,22,23,26}

Regardless of technique selected during reconstruction, the anatomic location of the native PCL is the key landmark on which tunnel placement is based. The tibial PCL insertion is located on a posteriorly sloped facet on the posterior tibia, centered between the medial and lateral tibial plateaus. This facet is trapezoidal in shape, widening distally as the insertion slopes posteriorly away from the articular surface. The PM and AL bundles are oriented medial to lateral, with the AL bundle predominantly occupying the superolateral portion and the PM bundle occupying the inferomedial aspect of the facet. The distal extent of the PCL tibial insertion resides inferior to the tibial plateau and is in close proximity to the posterior-inferior attachment of the synovial capsule.^{31,32} Current intraoperative localization techniques for the tibial footprint of the PCL include direct visualization during open procedures, arthroscopic examination through a posterior viewing portal during arthroscopic techniques,^{4,7,16} palpation through a limited posteromedial “safety incision,”³⁶ arthroscopic visualization through a safe transseptal portal,^{1-3,18} and fluoroscopic imaging.

Use of intraoperative fluoroscopy is attractive in that it allows excellent visualization of anatomic detail without placing at risk the delicate neurovascular structures in the posterior aspect of the knee. The location of the PCL tibial insertion has been previously studied by multiple authors.^{8,12,27,28,32} With respect to the total medial-lateral width of the tibial plateau, Osti et al²⁷ reported that the center of the AL bundle is located 48% from the medial plateau border and the PM bundle is located 51% from the medial tibial plateau. Similarly, Lorenz et al²¹ reported that the

average location of the center of the tibial PCL footprint was located at 51% of the tibial plateau width when referenced from the lateral border of the tibia. On lateral imaging, the insertion is posterior-inferiorly oriented with the AL bundle inserting at 83%, the PM bundle at 92%, and the PCL center at 87% of the total AP plateau width.^{13,21,27} Using these percentages to determine PCL tunnel positioning on fluoroscopic images has not been studied in terms of reliability. The reproducibility of these values during surgical reconstruction of the PCL would likely be challenging for 2 reasons: these values are clustered tightly in the posterior portion of the tibial plateau, and it can be difficult to accurately identify the exact anterior and posterior borders of the tibial plateau on lateral fluoroscopy.

Two recent cadaveric studies have found reproducible radiographic measurements for the center of the PCL tibial insertion on lateral radiographs.^{15,19} The PCL insertion on a lateral radiograph was between 2.2 and 12.3 mm distal to the joint line in one study, and the PCL center was 1.6 mm distal to the joint line in another.^{15,19} The latter study also found the center of the PCL to be 5.5 mm superior to the champagne glass drop-off of the posterior tibia, which corresponds with the end of the PCL facet. To be useful intraoperatively, the reproducible distances in these studies require lateral fluoroscopic views to have 100% magnification or to be converted with a known magnification. If the magnification is unknown, as it often is with intraoperative fluoroscopy, relying on these values may over- or underestimate the distance from the tibial plateau to the PCL center.

The results of our study demonstrate the ability to reproducibly determine the center of the tibial PCL insertion using the easily identifiable PCL facet on lateral fluoroscopy. This is achieved by determining a percentage of the PCL facet length, regardless of patient size or total tibial plateau AP and medial-lateral widths. The cadaveric specimens in our study demonstrated marked variability in size and length of the PCL facet, with the PCL center ranging from 11 to 17 mm from the anterior/proximal border of the PCL facet. Despite this variability, the center of the ligament insertion was consistently found to be located at a median of 70% (range, 62%-82%) from the anterior/proximal edge of the facet (Figure 2B). These radiographic findings were validated by a CT-based 3D model of each cadaveric tibia coregistered with digital mapping of the PCL footprint.²⁰ The PCL facet is a much smaller structure than the total AP and medial-lateral plateau widths, and we believe that it is much easier to evaluate on fluoroscopic images and to determine lengths and percentages intraoperatively.

The limitations of this study are that it is a cadaveric study, and the age of cadaveric specimens is likely older than the age of most patients undergoing PCL reconstruction. One additional limitation is that the femurs had been disarticulated, which required the true lateral radiograph to be obtained perpendicular to the tibial tubercle. Recent studies by our group (unpublished results) and others on the anterior cruciate ligament centroid found no difference in the location of the centroid with up to 10° of varus/valgus and up to 10° of internal/external rotation.³³ Furthermore, our finding that the central location of the PCL on our lateral fluoroscopic images was not significantly

different than the center of the PCL on a 3D CT bone model addresses this limitation. Another limitation of this study is that in order for our findings to be useful to the clinician, he or she must be able to identify the PCL facet on intra-operative fluoroscopy, which we have attempted to address with the reliability portion of the study. A final limitation of this study is that it does not help the surgeon locate the PCL tibial insertion in the coronal plane in a medial to lateral direction.

CONCLUSION

The center of the tibial insertion of the PCL was found to be approximately 70% of the distance from the anterior/proximal to the posterior/distal PCL facet, as measured on a true lateral radiograph, and ranged from approximately 60% to 80%. These measurements demonstrated moderate to strong reliability and may be useful in arthroscopic transtibial PCL reconstruction.

REFERENCES

- Ahn JH, Ha CW. Posterior trans-septal portal for arthroscopic surgery of the knee joint. *Arthroscopy*. 2000;16(7):774-779.
- Ahn JH, Wang JH, Lee SH, Yoo JC, Jeon WJ. Increasing the distance between the posterior cruciate ligament and the popliteal neurovascular bundle by a limited posterior capsular release during arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric angiographic study. *Am J Sports Med*. 2007;35(5):787-792.
- Ahn JH, Yang HS, Jeong WK, Koh KH. Arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction with preservation of posterior cruciate ligament fibers: clinical results of minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2006;34(2):194-204.
- Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(21):1936-1945.
- Bergfeld JA, McAllister DR, Parker RD, Valdevit AD, Kambic HE. A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstruction techniques. *Am J Sports Med*. 2001;29(2):129-136.
- Burks RT, Schaffer JJ. A simplified approach to the tibial attachment of the posterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;254:216-219.
- Campbell RB, Jordan SS, Sekiya JK. Arthroscopic tibial inlay for posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2007;23(12):1356.e1-4.
- Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23(3):284-290.
- Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF. An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee: tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(2):258-264.
- Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint: anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;106:216-231.
- Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee: a biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(2):233-242.
- Greiner P, Magnussen RA, Lustig S, Demey G, Neyret P, Servien E. Computed tomography evaluation of the femoral and tibial attachments of the posterior cruciate ligament in vitro. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(11):1876-1883.
- Harner CD, Hoher J. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*. 1998;26(3):471-482.
- Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med*. 1995;23(6):736-745.
- Johannsen AM, Anderson CJ, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Radiographic landmarks for tunnel positioning in posterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med*. 2013;41(1):35-42.
- Jordan SS, Campbell RB, Sekiya JK. Posterior cruciate ligament reconstruction using a new arthroscopic tibial inlay double-bundle technique. *Sports Med Arthrosc*. 2007;15(4):176-183.
- LaPrade RF, Morgan PM, Wentorf FA, Johansen S, Engebretsen L. The anatomy of the posterior aspect of the knee: an anatomic study. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(4):758-764.
- Lee DW, Jang HW, Lee YS, et al. Clinical, functional, and morphological evaluations of posterior cruciate ligament reconstruction with remnant preservation: minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2014;42(8):1822-1831.
- Lee YS, Ra HJ, Ahn JH, Ha JK, Kim JG. Posterior cruciate ligament tibial insertion anatomy and implications for tibial tunnel placement. *Arthroscopy*. 2011;27(2):182-187.
- Li K, O'Farrell M, Martin D, Kopf S, Harner C, Zhang X. Mapping ligament insertion sites onto bone surfaces in knee by co-registration of CT and digitization data. *J Biomech*. 2009;42(15):2624-2626.
- Lorenz S, Elser F, Brucker PU, Obst T, Imhoff AB. Radiological evaluation of the anterolateral and posteromedial bundle insertion sites of the posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(6):683-690.
- Markolf KL, Zemanovic JR, McAllister DR. Cyclic loading of posterior cruciate ligament replacements fixed with tibial tunnel and tibial inlay methods. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84(4):518-524.
- McAllister DR, Markolf KL, Oakes DA, Young CR, McWilliams J. A biomechanical comparison of tibial inlay and tibial tunnel posterior cruciate ligament reconstruction techniques: graft pretension and knee laxity. *Am J Sports Med*. 2002;30(3):312-317.
- Moorman CT III, Murphy Zane MS, Bansai S, et al. Tibial insertion of the posterior cruciate ligament: a sagittal plane analysis using gross, histologic, and radiographic methods. *Arthroscopy*. 2008;24(3):269-275.
- Nicodeme JD, Locherbach C, Jolles BM. Tibial tunnel placement in posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(7):1556-1562.
- Oakes DA, Markolf KL, McWilliams J, Young CR, McAllister DR. Biomechanical comparison of tibial inlay and tibial tunnel techniques for reconstruction of the posterior cruciate ligament: analysis of graft forces. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84(6):938-944.
- Osti M, Tschann P, Kunzel KH, Benedetto KP. Anatomic characteristics and radiographic references of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 2012;40(7):1558-1563.
- Racanelli JA, Drez D Jr. Posterior cruciate ligament tibial attachment anatomy and radiographic landmarks for tibial tunnel placement in PCL reconstruction. *Arthroscopy*. 1994;10(5):546-549.
- Race A, Amis AA. The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. *J Biomech*. 1994;27(1):13-24.
- Sekiya JK, West RV, Ong BC, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Clinical outcomes after isolated arthroscopic single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2005;21(9):1042-1050.
- Tajima G, Nozaki M, Iriuchishima T, et al. Morphology of the tibial insertion of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(4):859-866.
- Takahashi M, Matsubara T, Doi M, Suzuki D, Nagano A. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anterolateral and posteromedial bundles of human posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(11):1055-1059.
- van Eck CF, Wong AK, Irrgang JJ, Fu FH, Tashman S. The effects of limb alignment on anterior cruciate ligament graft tunnel positions estimated from plain radiographs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(5):979-985.