

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Faculdade de Medicina**

**GUILHERME MOREIRA DE ABREU E SILVA**

**ESTUDO ANATÔMICO E TOMOGRÁFICO DO POSICIONAMENTO DOS  
TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NA RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO  
CRUZADO ANTERIOR DO JOELHO POR MEIO DAS TÉCNICAS  
TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL**

**Belo Horizonte**

**2014**

**GUILHERME MOREIRA DE ABREU E SILVA**

**ESTUDO ANATÔMICO E TOMOGRÁFICO DO POSICIONAMENTO DOS  
TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NA RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO  
CRUZADO ANTERIOR DO JOELHO POR MEIO DAS TÉCNICAS  
TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Tarcizo Afonso Nunes.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Percope de Andrade.

**Belo Horizonte**  
**Faculdade de Medicina da UFMG**

**2014**

S586e Silva, Guilherme Moreira de Abreu e.  
Estudo anatômico e tomográfico do posicionamento dos túneis femoral e tibial na reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho por meio das técnicas transportal e transtibial [manuscrito]. / Guilherme Moreira de Abreu e Silva. - - Belo Horizonte: 2014.  
55f.: il.  
Orientador: Tarcizo Afonso Nunes.  
Coorientador: Marco Antônio Percope de Andrade.  
Área de concentração: Ciências Aplicadas à Cirurgia e Oftalmologia.  
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.  
1. Instabilidade Articular. 2. Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. 3. Cirurgia Geral. 4. Tomografia. 5. Dissertações Acadêmicas. I. Nunes, Tarcizo Afonso. II. Andrade, Marco Antônio Percope de. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. IV. Título.  
NLM: WE 304

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

## REITORIA

**Reitor:** Prof. Jaime Arturo Ramirez

**Vice-Reitora:** Prof<sup>a</sup>. Sandra Regina Goulart Almeida

**Pró-Reitor de Pós-Graduação:** Prof. Rodrigo Antônio de Paiva Duarte

**Pró-Reitor de Pesquisa:** Prof<sup>a</sup>. Adelina Martha dos Reis

## FACULDADE DE MEDICINA

**Diretor:** Prof. Dr. Tarcizo Afonso Nunes

**Vice-Diretor:** Prof. Dr. Humberto José Alves

## CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE MEDICINA

**Coordenador:** Prof<sup>a</sup>. Sandhi Maria Barreto

**Subcoordenadora:** Prof<sup>a</sup>. Ana Cristina Cortes

## DEPARTAMENTO DE CIRURGIA

**Coordenador:** Prof. Dr. Renato Santiago Gomes

## DEPARTAMENTO DO APARELHO LOCOMOTOR

**Coordenador:** Prof. Dr. Marco Antônio Percope de Andrade

## COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIRURGIA E OFTALMOLOGIA

Prof. Dr. José Renan da Cunha Melo (**coordenador**)

Prof. Dr. Alcino Lázaro da Silva

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ivana Duval de Araújo (**subcoordenadora**)

Prof. Dr. Marcelo Dias Sanches

Prof. Dr. Márcio Bittar Nehemy

Prof. Dr. Maria Isabel T. D. Correa

Prof. Dr. Marco Aurélio Lana Peixoto

José Carlos Souza Vilela: representante discente

A minha família...  
dedico este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Tarcizo Afonso Nunes, por ter acreditado no projeto ainda na sua origem.

Ao Professor Marco Antônio Percope, pelo exemplo constante.

Aos colegas, preceptores e residentes do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais,.

Aos colegas do Hospital Felício Rocho, pelo apoio durante o projeto.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente à realização desta tese.

*“...Eu quase que nada não sei. Mas desconfio de muita coisa....”*

**João Guimarães Rosa.**

## RESUMO

**INTRODUÇÃO:** a cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho objetiva restabelecer a estabilidade e melhorar a função articular. Para isso, é fundamental conhecer a sua anatomia e o ponto anatômico que corresponda ao centro das suas inserções femoral e tibial para o correto posicionamento dos túneis durante a reconstrução cirúrgica. **OBJETIVOS:** descrever em peças anatômicas as coordenadas de localização que correspondam ao centro da origem ligamentar femoral e tibial do ligamento cruzado anterior; verificar qual das duas técnicas de reconstrução do ligamento cruzado anterior, transportal ou transtibial, que mais se aproxima desse marco anatômico. **MÉTODOS:** oito joelhos de cadáveres humanos foram dissecados e o centro da origem femoral e tibial identificados, marcados e analisados após reconstrução tridimensional por tomografia computadorizada. Em um segundo momento, 23 pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior, sendo 14 pacientes operados por meio da técnica transportal e nove por meio da técnica transtibial, foram analisados por imagens tomográficas tridimensionalmente reconstruídas. **RESULTADOS:** no estudo anatômico, as dimensões médias da origem femoral foram de  $9,4 \pm 0,8$  mm no eixo ventral-dorsal e de  $15,6 \pm 0,9$  mm no eixo cranial-caudal. Na origem tibial, as dimensões médias encontradas foram de  $18,5 \pm 1,9$  mm no eixo anterior-posterior e de  $15,5 \pm 1,0$  mm no eixo medial-lateral. As coordenadas tomográficas que representam o ponto médio central da origem femoral foram de  $35,3\% \pm 4,5\%$  no eixo ventral-dorsal e de  $30,0\% \pm 1,6\%$  no eixo cranial-caudal. Na origem tibial foram encontradas coordenadas médias de  $40,5\% \pm 5,3\%$  no eixo anterior-posterior e  $50,2\% \pm 1,3\%$  no eixo medial-lateral. Nos grupos transportal e transtibial, as coordenadas do centro do túnel femoral obtidas foram, respectivamente,  $30\% \pm 6,5\%$  e  $4,2\% \pm 6,4\%$  no eixo ventral-dorsal, e de  $30,9 \pm 5,9\%$  e  $33,2 \pm 4,6\%$  no eixo cranial-caudal. As coordenadas tibiais dos grupos transportal e transtibial foram, respectivamente,  $38 \pm 6,5\%$  e  $46,0\% \pm 6,8$  no eixo anterior-posterior e  $47,2\% \pm 2,5\%$  e de  $46,9\% \pm 2,1\%$  no eixo medial-lateral. **CONCLUSÃO:** no estudo anatômico pôde-se identificar o ponto central único da origem femoral e tibial do ligamento cruzado anterior. No estudo clínico, verificou-se que as coordenadas tomográficas dos pacientes no grupo transportal se aproximaram mais desse ponto anatômico em comparação aos pacientes no grupo transtibial.

Palavras-chave: Instabilidade articular. Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. Cirurgia. Tomografia.

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery aims to reestablish joint stability and improve knee function. Knowledge about ACL insertion-sites and ACL anatomy is crucial while positioning femoral and tibial tunnels. An anatomical landmark that represents a central position of femoral and tibial footprints has been studied. **OBJECTIVES:** Describe tomographic coordinates that represent a central position of femoral and tibial ACL footprints. Indeed, compare two ACL reconstruction techniques and their ability in achieving this central point in both sides (femur and tibia). **METHODS:** Eight cadaveric knees were dissected, and the central point of ACL femoral and tibial footprints were marked and analyzed using three-dimensional computed tomography. Moreover, 23 patients who presented with a reconstructed ACL – 14 patients with transportal technique and 9 patients with transtibial technique – were evaluated by the same method. **RESULTS:** In the cadaveric study, the means (and standard deviation) of ACL femoral footprint dimensions were in the ventral–dorsal axis and in the cranial–caudal axis  $9.4 \pm 0.8$  and  $15.6 \pm 0.9$  mm, respectively. In the tibial side, the means of ACL footprint dimensions were in the anterior–posterior and in the medial–lateral axis  $18.5\% \pm 1.9\%$  and  $15.5\% \pm 1.0\%$  mm, respectively. In the tomographic analyses, the means of femoral central location coordinates in the ventral–dorsal and in the cranial–caudal axes were  $35.3\% \pm 4.5\%$  and  $30.0\% \pm 1.6\%$ , respectively. The means of tibial central location coordinates were in the anterior–posterior and in the medial–lateral axes, respectively:  $40.5\% \pm 5.3\%$  and  $50.2\% \pm 1.3\%$ , respectively. Regarding evaluation of transportal and transtibial groups, the following femoral central tunnel location (as mean) were found:  $30.9\% \pm 5.9\%$  and  $33.2\% \pm 4.6\%$  in the cranial-caudal axis, and  $30\% \pm 6.5\%$  and  $4.2\% \pm 6.4\%$  in the ventral-dorsal axis. Values in the tibial side were, respectively:  $38\% \pm 6.5\%$  and  $46.0\% \pm 6.8\%$  in anterior-posterior axis; and  $47.2\% \pm 2.5\%$  and  $46.9\% \pm 2.1\%$  in the medial-lateral axis. **CONCLUSION:** In the anatomical study, coordinates that represent the central location of femoral and tibial ACL footprints were defined, moreover, in the clinical study, transportal group attained coordinates that better resembled that location.

Key words: Joint Instability, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Surgery, and Tomography Spiral Computed.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Peça anatômica do joelho esquerdo após a extirpação das estruturas periféricas, com preservação somente dos ligamentos cruzados: anterior (seta vermelha) e posterior (seta preta).....	20
FIGURA 2 – Área das origens femoral (A) e tibial (B) do LCA. Seus bordos foram demarcados para facilitar a mensuração.....	21
FIGURA 3 – Marcação anatômica do centro da origem femoral (A) e tibial (B) do ligamento cruzado anterior, representada pela interseção das medidas em dois eixos ortogonais.....	21
FIGURA 4 – Definição do centro da origem femoral (A) e tibial (B) do ligamento cruzado anterior durante a análise tomográfica .....	23
FIGURA 5 – Cálculo da amostragem, de acordo com diferença das médias das coordenadas (desfecho primário).....	24
FIGURA 6 – Organograma mostra os critérios de inclusão e exclusão na pesquisa clínica, com objetivo de comparar duas técnicas de reconstrução do ligamento cruzado anterior – técnica transportal e técnica transtibial.....	25
FIGURA 7 – Radiografia simples do joelho esquerdo mostra a análise da angulação no plano coronal do túnel tibial.....	27
FIGURA 8 – Imagens tridimensionais da tomografia computadorizada. (A): Imagem do fêmur direito com identificação do centro do túnel femoral (ponto vermelho). (B): Imagem superior do planalto tibial com o túnel tibial e centro do túnel tibial (ponto vermelho).....	29

FIGURA 9 – Modelo de análise femoral (A) e tibial (B) pelo método do quadrante, de acordo com Bernard <i>et al.</i> e Tsukada <i>et al.</i> .....	30
FIGURA 10 – Aspecto do túnel femoral no grupo transportal apresenta localização mais baixa (dorsal) (A) (ponto verde) em comparação ao grupo transtibial (B) (ponto verde).....	34
FIGURA 11 – Aspecto do túnel tibial no grupo transportal apresenta localização mais anterior (A) (ponto verde) em comparação ao grupo transtibial (B) (ponto verde).....	35

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Medida em milímetros dos diâmetros insercionais do LCA no fêmur e na tíbia.....	32
TABELA 2 – Média das coordenadas em porcentagem (%) nos grupos transportal e transtibial referentes ao centro dos túneis.....	34
TABELA 3 – Coeficiente de correlação intra-classe intra-observadores nas medidas realizadas nos dois grupos do estudo.....	36
TABELA 4 – Coeficiente de correlação intra-classe inter-observadores nas medidas realizadas nos dois grupos do estudo.....	37
TABELA 5 – Coordenadas encontradas referentes ao centro anatômico das origens femoral e tibial do LCA. Coordenadas descritas em estudos de dupla banda do LCA (AM e PL) .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LCA	Ligamento cruzado anterior
AM	Ântero-medial
PL	Pósterio-lateral
CCI	Coefficiente de Correlação Intra-classe
TC 3D	Tomografia computadorizada com reconstrução tridimensional
TC	Tomografia computadorizada
RM	Ressonância magnética
3D	Tridimensional
AP	Ântero-posterior
mSv	Milésimo de Sievert

## SUMÁRIO<sup>1</sup>

<b>1) INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2) OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3) MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1) LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DAS INSERÇÕES FEMORAL E TIBIAL DO LCA EM JOELHOS DE CADÁVERES.....	19
3.1.1) Método anatômico.....	19
3.1.2) Análise tomográfica .....	22
3.2) AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NOS PACIENTES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO CIRÚRGICO DO LCA PELAS TÉCNICAS TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL.....	23
3.2.1) Cálculo da amostragem .....	23
3.2.2) Casuística .....	24
3.2.3) Composição dos grupos de pacientes.....	26
3.2.4) Radiografia do joelho .....	26
3.2.5) Tomografia computadorizada.....	28
3.3) VARIÁVEIS ESTUDADAS E MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....	31
<b>4) RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
4.1) LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DAS ORIGENS FEMORAL E TIBIAL DO LCA EM JOELHOS DE CADÁVERES.....	32
4.2) AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NOS PACIENTES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO CIRÚRGICO POR MEIO DAS TÉCNICAS TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL.....	33
<b>5) DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>6) CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>8) ANEXO.....</b>	<b>53</b>
8.1) APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA .....	53
<b>9) APÊNDICES.....</b>	<b>54</b>
9.1) TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	54
9.2) ARTIGOS PUBLICADOS.....	56

---

<sup>1</sup> Este trabalho foi revisado de acordo com as novas regras ortográficas aprovadas pelo Acordo Ortográfico assinado entre os países que integram a Comunidade de Países de Língua Portuguesa (CPLP), em vigor no Brasil desde 2009. E foi formatado de acordo com a ABNT NBR 14724 de 17.04.2011.

## 1) INTRODUÇÃO

A reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA) do joelho objetiva a restauração da estabilidade articular, o que possibilita retorno às atividades cotidianas e alto nível de satisfação da maioria dos pacientes<sup>1</sup>. Estima-se que 200.000 lesões e 100.000 reconstruções cirúrgicas do LCA ocorram anualmente nos Estados Unidos<sup>2</sup>.

Girgis *et al.*<sup>3</sup> estudaram a anatomia do LCA em peças cadavéricas e descreveram duas unidades funcionais distintas, denominadas bandas. A banda ântero-medial (AM) é a mais espessa, mais isométrica e apresenta maior tensão de suas fibras durante a flexão do joelho<sup>4</sup>. Ela é responsável pela estabilidade anterior, pois impede a translação anterior da tíbia em relação ao fêmur. A banda pósterolateral (PL) é a mais delgada e curta, apresenta maior tensão durante a extensão articular e propicia estabilidade rotacional ao joelho, impedindo o movimento de rotação tibial em relação ao fêmur<sup>4</sup>.

Duas técnicas operatórias utilizadas na reconstrução do LCA tem sido objeto de estudo. A técnica transtibial apresenta resultados funcionais excelentes em mais de 90% dos pacientes operados, no entanto, é necessário o uso de guia próprio para confecção do túnel femoral através do túnel tibial<sup>5,6</sup>. Sua maior vantagem é a reprodutibilidade, além de propiciar reconstrução isométrica<sup>6</sup>. O guia transtibial é introduzido no interior do túnel tibial, o que gera pouca liberdade no ajuste do mesmo na região intercondilar (contenção óssea), o que pode impedir o alcance do ponto anatômico do LCA<sup>7</sup>. Tal fato gera dificuldade em posicionar os túneis na origem exata do LCA<sup>8,9</sup>. Nesse caso, a orientação das fibras ligamentares e a obliquidade do enxerto podem não ser reconstituídas, criando assim um enxerto verticalizado em relação ao LCA nativo<sup>10,11</sup>. A técnica transportal permite criar o túnel femoral independentemente do túnel tibial, possibilitando liberdade para posicionar o enxerto no centro da origem femoral e tibial do LCA<sup>7</sup>. Porém, por não utilizar guia de posicionamento, é mais dependente da experiência do cirurgião, o que pode limitar sua reprodutibilidade.

A reconstrução anatômica do LCA se refere ao posicionamento do enxerto nas origens femoral e tibial do LCA, preenchendo o “*footprint*” na maior proporção possível de sua área<sup>12</sup>. Yasuda *et al.*<sup>13</sup> a definem como a técnica que posiciona os túneis no centro exato da origem ligamentar. Van Eck *et al.*<sup>14</sup> a conceituam como a técnica que refaz a dimensão e a orientação das fibras ligamentares. Fu *et al.*<sup>12</sup> a descrevem como aquela que preenche mais de 60% da área do “*footprint*” ligamentar tanto no fêmur quanto na tíbia. A reconstrução que não reconstitui a obliquidade ligamentar, a dimensão e a orientação das fibras ligamentares é definida como não-anatômica<sup>14</sup>.

Lohmander *et al.*<sup>15</sup> avaliaram pacientes operados por meio da técnica transtibial e encontraram incidência aumentada de degeneração articular após 10 anos de seguimento. Os autores concluíram que a instabilidade residual se associa a não restauração da anatomia, o que causaria osteoartrite a longo prazo<sup>15</sup>. A restauração da biomecânica e da cinemática do joelho são fundamentais na cirurgia do LCA, sendo que a falha na sua obtenção causaria dor, instabilidade e osteoartrite<sup>12,15,17</sup>. Brophy *et al.*<sup>8</sup> estudaram joelhos de cadáveres por meio de navegação computadorizada e observaram que a técnica transtibial falha em reproduzir a tensão natural sobre as fibras ligamentares.

Van Eck *et al.*<sup>14</sup> recomendaram a reconstrução anatômica do LCA por banda única ou por banda dupla. Embora a reconstrução por banda dupla apresente vantagens teóricas, ela é mais complexa, pois são confeccionados quatro túneis ao invés de dois, apresenta maior taxa de complicações operatórias (p.ex. comunicação entre os túneis) e gera maior custo ao sistema de saúde<sup>18</sup>. Tal fato explica o emprego mais frequente da reconstrução com banda única<sup>19</sup>.

Métodos de imagem permitem a classificação da reconstrução do LCA em anatômica ou em não-anatômica<sup>20</sup>. A radiografia simples do joelho apresenta vantagem por ser amplamente disponível além da versatilidade de seu uso no ato operatório. Sua desvantagem consiste no aspecto bidimensional, criando dificuldades de interpretação em locais de anatomia complexa, como a região intercondilar<sup>21</sup>. Amis *et al.*<sup>22</sup> e Aglietti *et al.*<sup>23</sup> descreveram parâmetros radiográficos na incidência em perfil para avaliar o posicionamento do túnel tibial. Khalfayan *et al.*<sup>24</sup> descreveram referências radiográficas para classificar o posicionamento do túnel femoral e tibial

em pacientes operados por meio da técnica transtibial. Bernard *et al.*<sup>25</sup> descreveram o método do quadrante para avaliar o posicionamento do túnel femoral por meio da radiografia simples do joelho.

A tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM) possibilitaram melhor visualização articular, pois construções de imagens tridimensionais (3D) foram desenvolvidas. Stäubli *et al.*<sup>26</sup> descreveram os parâmetros para avaliação dos túneis femoral e tibial utilizando a RM. Tsukada *et al.*<sup>27</sup>, Lorenz *et al.*<sup>28</sup> e Forsythe *et al.*<sup>21</sup> fizeram análises tomográficas em peças cadavéricas, descrevendo o posicionamento das bandas AM e PL para a reconstrução do LCA por técnica de banda dupla<sup>21,27</sup>. A tomografia computadorizada com reconstrução tridimensional (TC 3D) é considerada o melhor método para estudo da topografia óssea<sup>29</sup>.

Meuffels *et al.*<sup>30</sup> analisaram imagens de radiografia simples, TC e TC-3D de 50 joelhos cadavéricos reconstruídos com a técnica transtibial. Os autores concluíram que os túneis foram identificados em 50 a 82% das imagens por meio da radiografia simples e em 100% das imagens tomográficas com ou sem reconstrução tridimensional<sup>30</sup>. Ainda, o coeficiente de correlação intra-classe (ICC), valor que mede a concordância entre os examinadores, foi mais alto no método tridimensional<sup>30</sup>.

No contexto apresentado, dúvidas persistem sobre a avaliação da anatomia do LCA por métodos de imagem, pois o marco anatômico identificável por imagens tridimensionais que represente o centro anatômico do LCA das inserções femoral e tibial ainda não é bem definido.

Em estudo prévio, foram mostrados os resultados clínicos obtidos com o emprego das técnicas transportal e transtibial<sup>31</sup>. Embora a satisfação subjetiva dos pacientes tenha sido semelhante em ambos os grupos, melhor estabilidade articular e melhor mobilidade foram observados no grupo transportal<sup>31</sup>.

Dando continuidade à linha de pesquisa sobre lesões do LCA, será avaliada a restauração da anatomia ligamentar por meio de duas técnicas de reconstrução do LCA, analisando o posicionamento dos túneis por métodos de imagem, associando-o ao estudo anatômico realizado em peças de cadáveres humanos.

## **2) OBJETIVOS**

Descrever coordenadas de localização que correspondam ao centro da origem ligamentar femoral e tibial do ligamento cruzado anterior em imagens tridimensionais.

Verificar qual a capacidade das técnicas de reconstrução ligamentar, transtibial e transportal, em se aproximarem desse marco anatômico.

### 3) MÉTODOS

O projeto foi aprovado pelas Câmaras Departamentais dos Departamentos de Cirurgia, do Aparelho Locomotor e do comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, inscrição 0500.0.203.000-11. (ANEXO 8.1). Na fase clínica do estudo, foi realizada análise do banco de dados, identificando os pacientes elegíveis. Os pacientes incluídos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE 9.1).

#### 3.1) LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DAS INSERÇÕES FEMORAL E TIBIAL DO LCA EM JOELHOS DE CADÁVERES

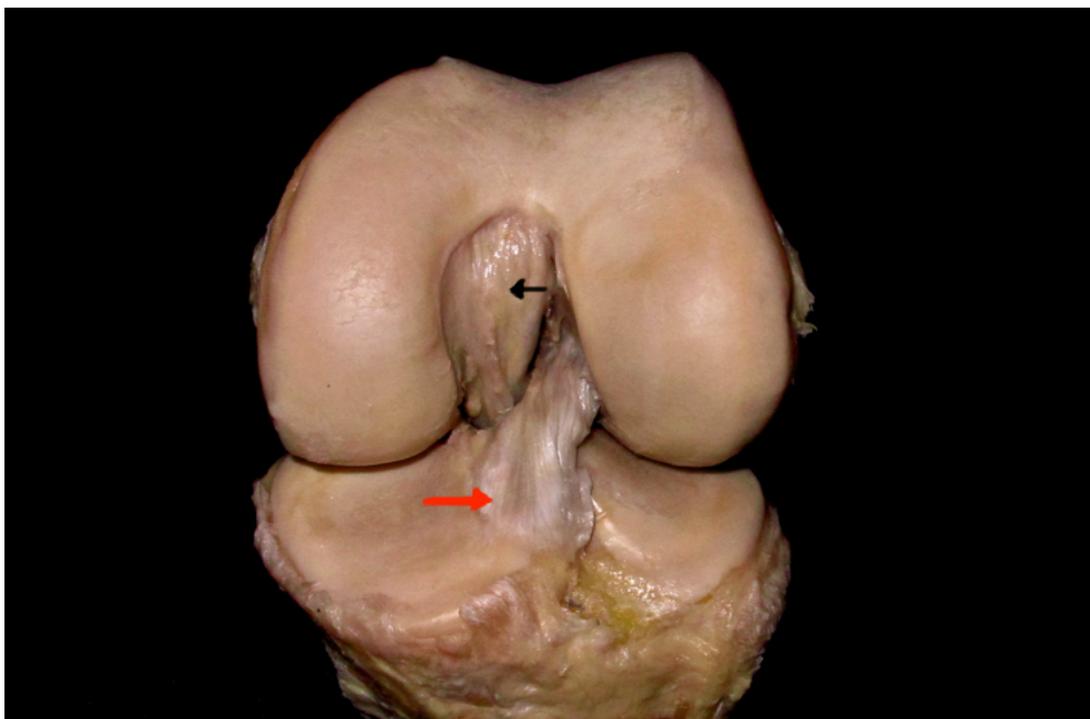
##### 3.1.1) MÉTODO ANATÔMICO

O estudo foi realizado no Departamento de Anatomia e Imagem (IMA) da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais.

Nove joelhos de indivíduos adultos formolizados foram avaliados quanto à integridade da superfície articular e dos ligamentos cruzados anterior e posterior. Um joelho foi excluído devido ao não preenchimento desses critérios. Portanto, oito joelhos foram incluídos, sendo cinco de cadáveres masculinos e três de cadáveres femininos, com idade máxima de 65 anos e mínima de 22 anos, média de  $52 \pm 13,4$  anos.

Os joelhos foram dissecados sendo preservados apenas os ligamentos cruzados anterior e posterior (FIG. 1).

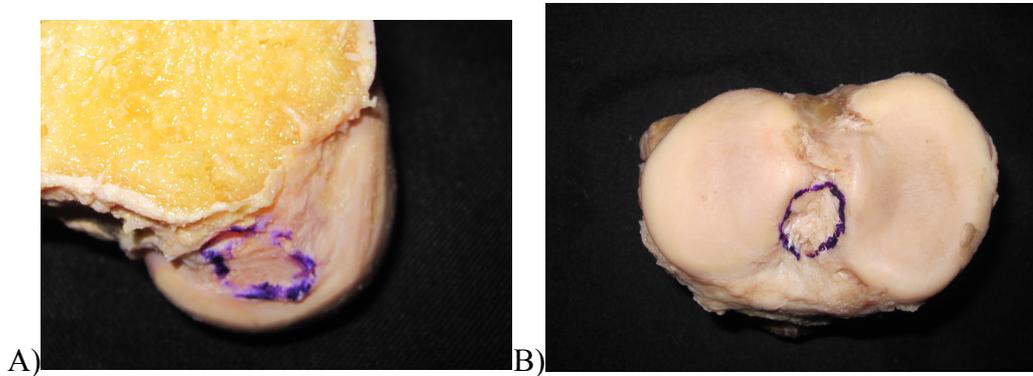
FIGURA 1 – Peça anatômica do joelho esquerdo após a extirpação das estruturas periféricas, com preservação somente dos ligamentos cruzados: anterior (seta vermelha) e posterior (seta preta).



O LCA foi seccionado em sua substância, preservando-se a área insercional femoral e tibial. A dissecação das origens femoral e tibial do LCA foi realizada após separação do fêmur e da tíbia com tesoura cirúrgica tipo Metzembaum. Ainda no fêmur, o côndilo femoral medial foi retirado com serra oscilatória, com intuito de melhorar a identificação da parede medial do côndilo femoral lateral, conforme descrito por Zantop *et. al.*<sup>32</sup>. As bandas AM e PL do LCA não foram individualizadas intencionalmente.

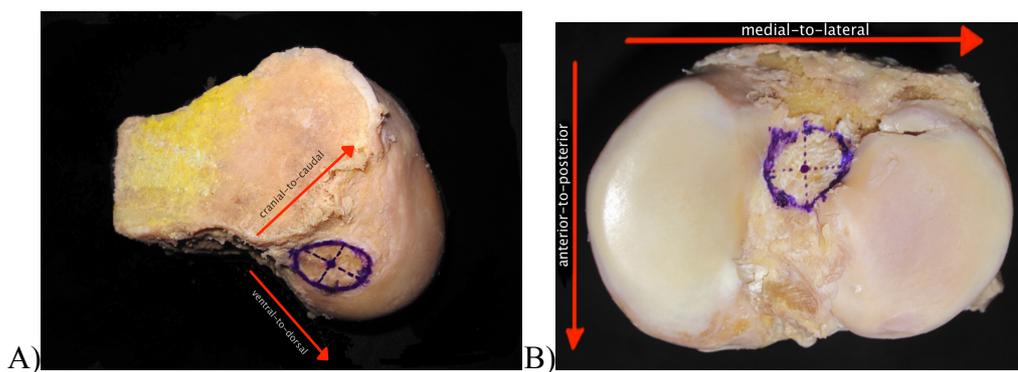
Em seguida, as margens do “*footprint*” femoral (FIG. 2 A) e tibial (FIG. 2 B) foram demarcadas com caneta cirúrgica (Kendall DEVON Surgical Skin Markers®)<sup>4</sup>.

FIGURA 2 – Área das origens femoral (A) e tibial (B) do LCA. Seus bordos foram demarcados para facilitar a mensuração.



Após a demarcação, os diâmetros foram aferidos nos eixos horizontal e vertical por meio de régua cirúrgica (“*Helix Professional Stainless Steel Ruler 18-inch*”) para mensurá-los em dois eixos ortogonais. A intersecção dos eixos horizontal e vertical determinou o ponto central do “*footprint*” femoral (FIG. 3 A) e tibial (FIG. 3 B)<sup>25, 33</sup>.

FIGURA 3 – Marcação anatômica do centro da origem femoral (A) e tibial (B) do ligamento cruzado anterior, representada pela intersecção das medidas em dois eixos ortogonais.



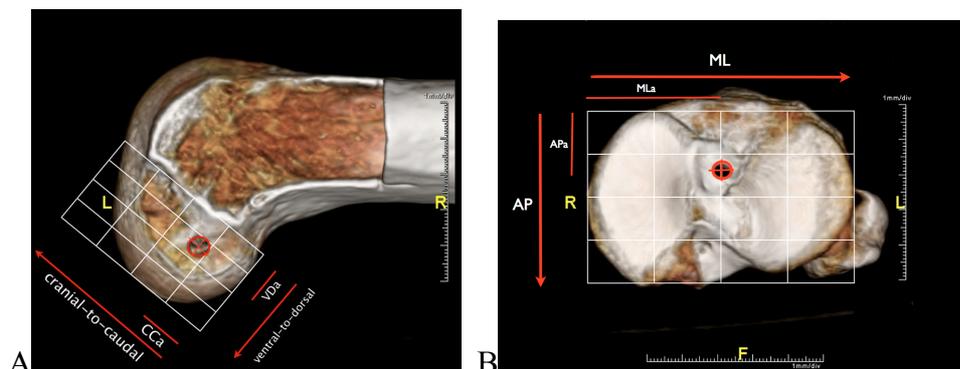
Duas aferições foram realizadas em dias distintos, por três examinadores diferentes. Então, o ponto central foi perfurado com broca óssea (2,5 mm) até a profundidade de 10 mm para identificação do orifício por meio do estudo tomográfico subsequente. O ângulo de entrada da broca para perfuração foi estabelecido em 90 graus em relação a superfície óssea a ser perfurada.

### 3.1.2) ANÁLISE TOMOGRÁFICA

Todos os joelhos foram submetidos à tomografia computadorizada, empregando-se tecnologia “*multislice*” (Aquilion – Toshiba Medical Systems<sup>®</sup>) com cortes de 1,25 mm, “*pitch*” de 3,0 mm e espaçamento de 0,6 mm. Trezentos cortes foram realizados em cada espécime, sendo as imagens processadas para obter o modelo tridimensional da região intercondilar (Aquarius Workstation<sup>®</sup> software – Teracon, Inc.).

O estudo do ponto central foi realizado por meio do método de análise espacial dos quadrantes<sup>25,27</sup>. O centro da origem femoral foi calculado utilizando a posição VDa (ventral-dorsal) no eixo vertical e a posição CCa (cranial-caudal) no eixo horizontal, o que representa a interseção entre os dois eixos (FIG. 4 A). Na avaliação tibial, o centro da origem do LCA foi definido como a coordenada APa (anterior-posterior) no eixo vertical e MLa (medial-lateral) no eixo horizontal (FIG. 4 B). O cálculo da localização femoral e tibial foi realizado por programa computadorizado específico (OsiriX<sup>®</sup> v.4.0 32 bit<sup>34</sup>).

FIGURA 4 – Definição do centro da origem femoral (A) e tibial (B) do LCA durante a análise tomográfica.



### 3.2) AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NOS PACIENTES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO CIRÚRGICO DO LCA PELAS TÉCNICAS TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL

Trata-se de estudo comparativo transversal, no qual foram avaliadas imagens radiográficas e tomográficas em dois grupos de pacientes submetidos ao tratamento cirúrgico do LCA por meio das técnicas transportal e transtibial entre janeiro de 2006 e fevereiro de 2011.

#### 3.2.1) CÁLCULO DA AMOSTRAGEM

O objetivo primário foi mostrar diferença no posicionamento dos centros dos túneis de  $10\% \pm 7\%$  entre os grupos, tanto no eixo vertical quanto no horizontal, o que representaria diferença topográfica significativa<sup>35</sup>. Por meio de teste mono-caudal de comparação entre duas médias, poder do teste de 90% e nível de significância de 5%, foi encontrado o valor mínimo para cada grupo de oito pacientes. Para aumentar a confiabilidade da comparação entre os grupos, foi considerado margem de perda de 10% em cada grupo (FIG. 5).

FIGURA 5 – Cálculo da amostragem, de acordo com diferença das médias das coordenadas (desfecho primário).

Valores calculados com os dados de entrada		
Desvio padrão: 7.0000		
Diferença a ser detectada: 10.0000		
Nível de significância: 5%		
Poder do teste: 90%		
Teste de hipótese: monocaudal		
Tamanho da amostra calculado para cada grupo: 8		
Para outros valores do nível de significância e poder do teste temos:		
Nív. de signif.	Poder do teste	Tam. amostra p/ grupo
5%	65%	4
5%	70%	5
5%	75%	5
5%	80%	6
5%	85%	7
5%	95%	11
0.1%	90%	19
1%	90%	13
10%	90%	6

Fonte: [http://www.lee.dante.br/cgi-bin/uncgi/calculo\\_amostra](http://www.lee.dante.br/cgi-bin/uncgi/calculo_amostra).

### 3.2.2) CASUÍSTICA

Foram identificados 76 pacientes submetidos a reconstruções isoladas do LCA. A amostragem para realização do estudo tomográfico foi calculada no intuito de avaliar a menor quantidade possível de pacientes, por se tratar de exame com radiação ionizante. Foram incluídos no estudo os pacientes que, durante a avaliação clínica, manifestaram interesse em realizar os exames de imagem e concordaram em participar da pesquisa.

Critérios de inclusão:

- Pacientes submetidos à reconstrução por banda única do LCA ou pela técnica transtibial ou pela técnica transportal.
- Pacientes que após avaliação clínica de rotina, aceitavam em participar desta fase do estudo.

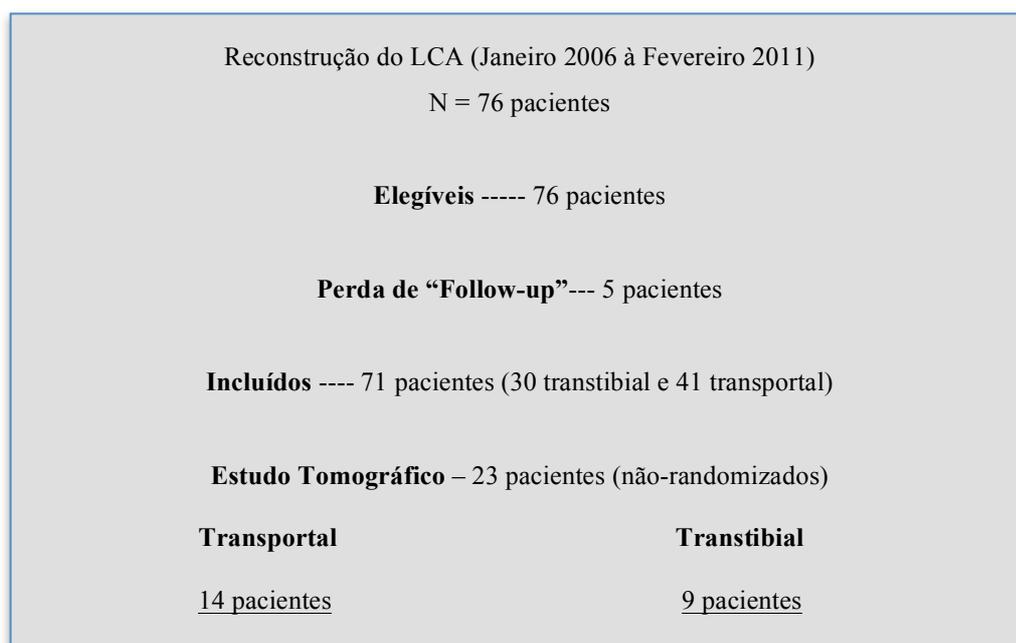
Critérios de não-inclusão:

- Pacientes que não foram avaliados por apresentarem lesões associadas à lesão do LCA, como lesão meniscal e lesão condral.
- Pacientes que não apresentavam interesse em participar desta fase do estudo.

Critérios de exclusão:

- Pacientes que apresentavam alterações degenerativas da articulação (FIG. 6).

FIGURA 6 – Organograma mostra os critérios de inclusão e exclusão na pesquisa clínica, com objetivo de comparar duas técnicas de reconstrução do LCA – técnica transportal e técnica transtibial.



### 3.2.3) COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS DE PACIENTES

Os grupos foram formados de acordo com a técnica operatória utilizada da seguinte forma:

- **Grupo transportal** – quatorze pacientes ( $n = 14$ ), sendo sete pacientes do gênero masculino, com média de idade de  $33,9 \pm 10,2$  anos (mínimo de 19,2 anos e máximo de 51,9 anos).
- **Grupo transtibial** – nove pacientes ( $n = 9$ ), sendo cinco pacientes do gênero masculino, com média de idade de  $29,0 \pm 5,4$  anos (mínimo de 21,8 anos e máximo de 28,4 anos).

### 3.2.4) RADIOGRAFIA DO JOELHO

Todos os pacientes eram avaliados por radiografia do joelho realizada de rotina no pós-operatório. No presente estudo, esse exame foi empregado para avaliar a inclinação coronal do túnel tibial na incidência em ântero-posterior (AP). O estudo avaliou possíveis variações na angulação do túnel tibial, o que poderia refletir diferença técnica na construção do túnel femoral no grupo transtibial. Angulação do túnel tibial maior que 70 graus reflete tendência a verticalização do túnel femoral no grupo transtibial, o que poderia gerar viés de comparação com o grupo transportal (FIG. 7).

FIGURA 7 – Radiografia simples do joelho esquerdo mostra a análise da angulação no plano coronal do túnel tibial.



### 3.2.5) TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

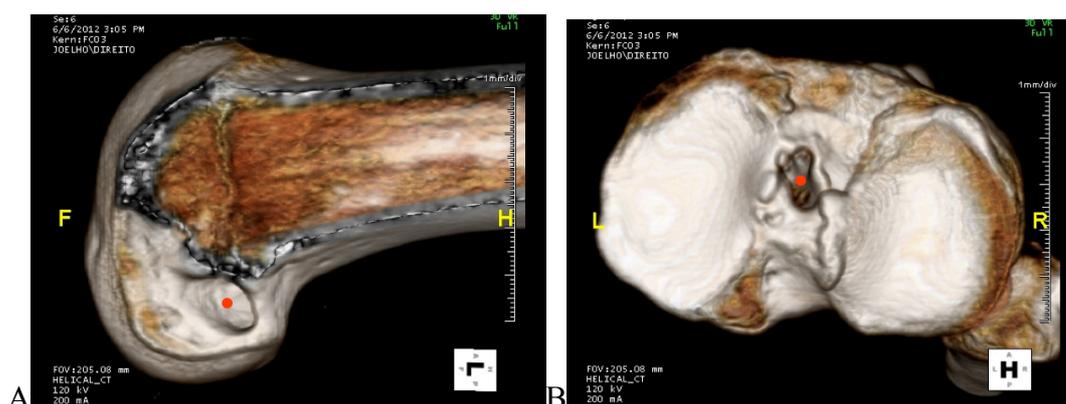
Os pacientes foram submetidos a exame de tomografia computadorizada unilateral do joelho, sem uso de solução contrastante, em aparelho Aquilion com 64 fileiras de detectores (Toshiba Medical Systems<sup>®</sup>). Os dados disponíveis na literatura sobre a dose efetiva de radiação em exames de tomografia de joelho são escassos e variam de acordo com o protocolo e aparelho utilizado, sendo estimados entre 0,16 mSv e 0,5 mSv<sup>36,37</sup>. A dosagem de radiação utilizada foi calculada automaticamente por ferramenta de modulação de dose de acordo com a anatomia do paciente. Todos os pacientes receberam aventais com 10 mm de chumbo ou chumbo-equivalente para proteção de tórax, abdome e pelve.

Uma vez obtidas as imagens (300 cortes), procedeu-se às reconstruções 3D com técnicas de “*Volume Rendering*” por meio do software Aquarius Workstation (TeraRecon, Inc.) para criar imagens axiais do platô tibial e sagitais do fêmur distal.

A imagem femoral foi estudada na região do túnel femoral mais próxima da articulação. Esse ponto foi obtido mediante a subtração digital do côndilo femoral medial, o que possibilitou melhor identificação do túnel femoral. O fêmur foi posicionado a 90 graus de flexão, posição que simula o posicionamento do joelho durante reconstrução cirúrgica do LCA.

Para a avaliação tibial, foi utilizada imagem superior do planalto tibial, também reconstruída tridimensionalmente, conforme item 3.1.2 (FIG.8).

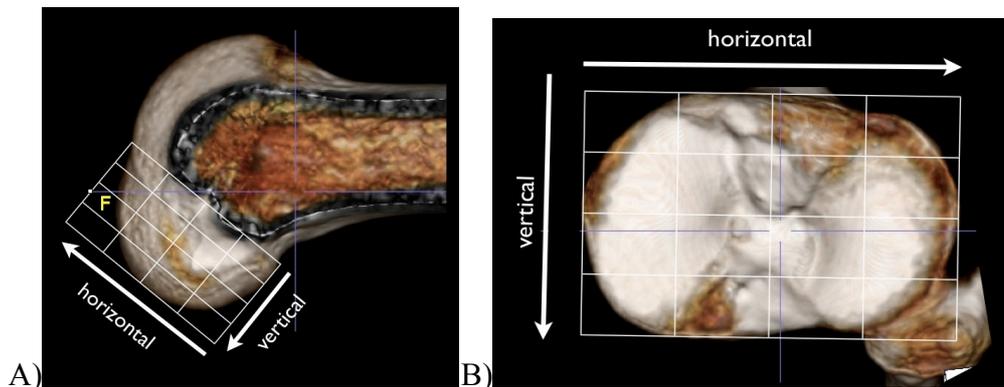
FIGURA 8 – Imagens tridimensionais da tomografia computadorizada. (A): Imagem do fêmur direito com identificação do centro do túnel femoral (ponto vermelho). (B): Imagem superior do planalto tibial com o túnel tibial e centro do túnel tibial (ponto vermelho).



Empregou-se o método de análise das coordenadas do quadrante, descrito por Bernard *et al.*<sup>25</sup> e adaptada para análise tomográfica por Lorenz *et al.*<sup>28</sup>. Encontraram-se coordenadas do ponto central do túnel femoral no eixo horizontal (x) e no eixo vertical (y). Os valores foram expressos em porcentagens, seguindo a orientação de ventral-caudal no eixo vertical e cranial-caudal no eixo horizontal. Anatomicamente, definem-se os limites do quadrante como a linha de Blumensaat (ponto mais ventral), a superfície articular mais distal (dorsal), a superfície articular mais posterior (cranial) e a superfície articular mais anterior (caudal)<sup>21</sup> (FIG. 9 A).

A análise tibial seguiu princípios semelhantes, utilizando também o método do quadrante<sup>27</sup>. Anatomicamente, definem-se os limites tibiais do quadrante pelo ponto mais anterior do planalto anteriormente, pelo ponto mais medial do côndilo tibial medialmente, pelo ponto mais lateral do côndilo tibial lateralmente e pelo ponto mais posterior do planalto tibial posteriormente. Os valores das coordenadas foram expressas no sentido medial para lateral no eixo horizontal e no eixo vertical de anterior para posterior (FIG. 9 B).

FIGURA 9 – Modelo de análise femoral (A) e tibial (B) pelo método do quadrante, de acordo com Bernard *et al.*<sup>25</sup> e Tsukada *et al.*<sup>27</sup>.



Vertical = ventral para dorsal

Horizontal = cranial para caudal

O centro dos túneis foi calculado por programa específico de análise de imagem (OsiriX<sup>®</sup> v.4.0 32 bit)<sup>34</sup>. Definiu-se como o centro do túnel o ponto de interseção da linha que representa o maior diâmetro do túnel no plano horizontal e da linha que representa o maior diâmetro no plano vertical, tanto no fêmur quanto na tíbia. Duas aferições foram realizadas em dias distintos, por dois examinadores diferentes.

### 3.3) VARIÁVEIS ESTUDADAS E MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Para avaliar o grau de concordância entre os examinadores, empregou-se o Coeficiente de Correlação Intra-classe (CCI), com 95% de intervalo de confiança. O CCI representa a concordância entre os examinadores (intra e inter-observador) na análise das medidas das origens femoral e tibial (estudo anatômico) e nas medidas do centro dos túneis femoral e tibial (estudo clínico) do LCA. Este método apresenta vantagens sobre o coeficiente de Pearson, por se tratar de concordância entre mais de dois indivíduos (análise das inserções femoral e tibial em cadáveres).

Para a correlação entre o ponto médio das coordenadas e para a avaliação do valor médio dos diâmetros da origem do LCA no estudo anatômico empregou-se o teste não-paramétrico de *Mann-Whitney* devido a distribuição irregular das variáveis. A normalidade das variáveis foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Nível de significância menor que 0,05 foi utilizado para todas as análises, que foram realizadas por meio do programa “*PASW software*” (Version 18, Inc., Chicago, IL)<sup>38</sup>.

#### 4) RESULTADOS

##### 4.1) LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DAS ORIGENS FEMORAL E TIBIAL DO LCA EM JOELHOS DE CADÁVERES

O formato macroscópico da origem femoral do LCA foi classificado como oval em todos os espécimes. A origem tibial foi classificada como oval em sete joelhos (87,5%) dos espécimes analisados, sendo uma origem classificada como triangular.

O CCI referente à medida insercional do LCA mostrou boa concordância em todas as análises, sendo a menor observada na medida do diâmetro ventral-dorsal do fêmur (0,80) (TAB. 1).

TABELA 1 – Medida em milímetros dos diâmetros insercionais do LCA no fêmur e na tibia.

		CCI		Intervalo de Confiança (95%)	
		Intra-observador	Intra-observador	Inter-observador	Inter-observador
	Diâmetro Insercional (mm)				
<b>Fêmur</b>					
Ventral-dorsal	9,4 ± 0,8 mm	0,80	0,50 – 0,95	0,83	0,70 – 0,95
Cranial-caudal	15,6 ± 0,9 mm	0,95	0,85 – 0,99	0,95	0,93 – 0,96
<b>Tibia</b>					
Anterior-posterior	18,5 ± 1,9 mm	0,95	0,83 – 0,99	0,98	0,97 – 0,98
Medial-lateral	15,5 ± 1,0 mm	0,91	0,75 – 0,98	0,91	0,85 – 0,96

As coordenadas médias do centro femoral do LCA foram de  $30,0\% \pm 1,6\%$  no eixo cranial-caudal e de  $35,3\% \pm 4,5\%$  no eixo ventral-dorsal. As coordenadas médias tibiais do LCA foram de  $50,2\% \pm 1,3\%$  no eixo medial-lateral e de  $40,5\% \pm 5,3\%$  no eixo anterior-posterior.

#### 4.2) AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS TÚNEIS FEMORAL E TIBIAL NOS PACIENTES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO CIRÚRGICO POR MEIO DAS TÉCNICAS TRANSPORTAL E TRANSTIBIAL

Radiografias em AP da tíbia mostraram ângulo coronal médio de  $63,7 \pm 4,2$  graus no grupo transportal e de  $62 \pm 4,2$  graus no grupo transtibial ( $p = 0,39$ ).

As coordenadas tomográficas para o túnel femoral e tibial nos dois grupos foram as seguintes: no fêmur, o grupo transportal apresentou posicionamento mais baixo (dorsal) no eixo ventral-dorsal do que o grupo transtibial ( $p = 0,001$ ) e no eixo cranial-caudal não houve diferença entre os grupos ( $p = 0,57$ ). Na tíbia, o grupo transportal apresentou posicionamento mais anterior quando comparado ao grupo transtibial ( $p = 0,01$ ), mas no eixo medial-lateral não houve diferença ( $p = 0,72$ ) (TAB. 2) (FIG. 10 e 11).

TABELA 2 – Média das coordenadas em porcentagem (%) nos grupos transportal e transtibial referentes ao centro dos túneis

	Transportal			Transtibial			valor de <i>p</i>
	N	Média	DP	N	Média	DP	
<b>Cranial-Caudal</b> fêmur	14	30,9	5,9	9	33,2	4,6	0,57
<b>Ventral-Dorsal</b> fêmur	14	30	6,5	9	4,2	6,4	<b>&lt;0,01</b>
<b>Horizontal</b> tibia <sup>α</sup>	14	47,2	2,5	9	46,9	2,1	0,72
<b>Vertical</b> tibia <sup>β</sup>	14	38	6,4	9	46	6,8	<b>0,01</b>

Valor de *p* calculado pelo teste de *Mann-Whitney*

<sup>α</sup> horizontal significa orientação medial-lateral

<sup>β</sup> vertical significa orientação anterior-posterior

FIGURA 10 – Aspecto do túnel femoral no grupo transportal apresenta localização mais baixa (dorsal) (A) (ponto verde) em comparação ao grupo transtibial (B) (ponto verde).

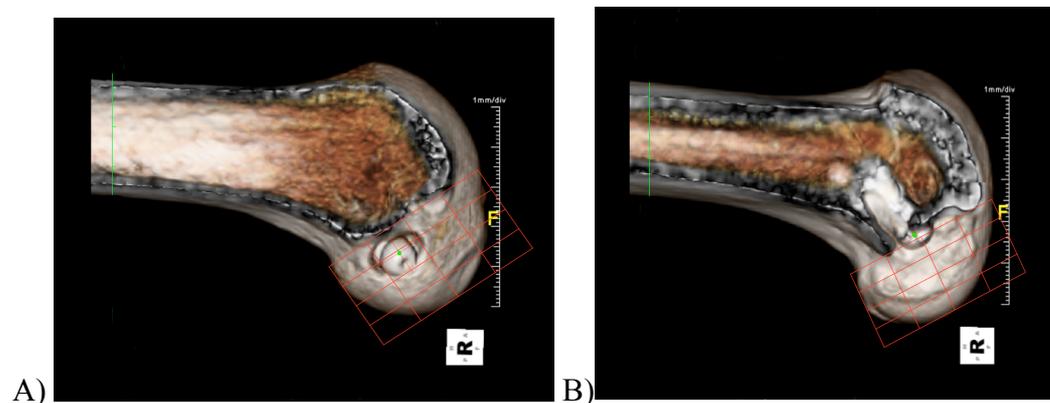
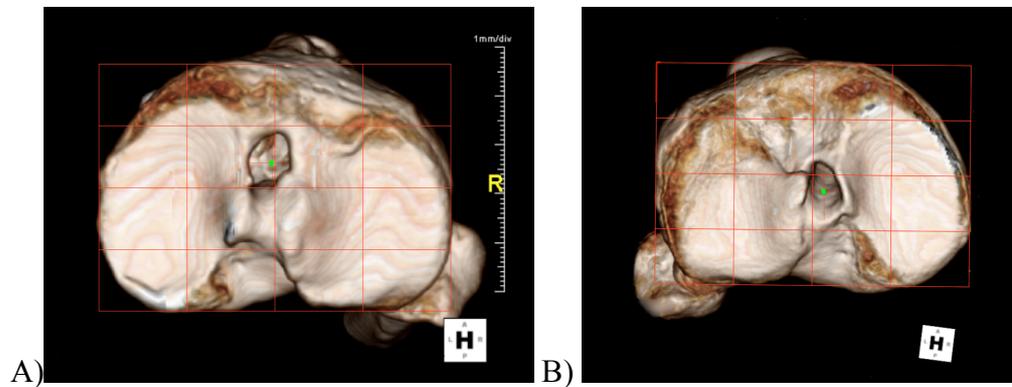


FIGURA 11 – Aspecto do túnel tibial no grupo transportal apresenta localização mais anterior (A) (ponto verde) em comparação ao grupo transtibial (B) (ponto verde).



O coeficiente de correlação intra-classe, intra e inter-observadores, referentes a mensurações das coordenadas do centro dos túneis femoral e tibial do LCA por dois observadores em dois momentos diferentes mostrou boa concordância (TAB. 3 e 4).

TABELA 3 – Coeficiente de correlação intra-classe intra-observadores nas medidas realizadas nos dois grupos do estudo.

		CCI	Intervalo de Confiança (95%)
<b>Transportal</b>			
<b>Cranial-caudal</b>	Examinador 1	0,997	0,990 – 0,999
	Examinador 2	0,995	0,985 – 0,998
<b>Ventral-dorsal</b>	Examinador 1	0,998	0,993 – 0,999
	Examinador 2	0,999	0,997 – 1,000
<b>Medial-lateral</b>	Examinador 1	0,991	0,972 – 0,997
	Examinador 2	0,995	0,984 – 0,998
<b>Anterior-posterior</b>	Examinador 1	0,998	0,993 – 0,999
	Examinador 2	0,999	0,996 – 1,000
<b>Transtibial</b>			
<b>Cranial-caudal</b>	Examinador 1	0,878	0,552 – 0,971
	Examinador 2	0,991	0,961 – 0,998
<b>Ventral-dorsal</b>	Examinador 1	0,995	0,978 – 0,999
	Examinador 2	0,998	0,989 – 0,999
<b>Medial-lateral</b>	Examinador 1	0,806	0,354 – 0,953
	Examinador 2	0,707	0,136 – 0,925
<b>Anterior-posterior</b>	Examinador 1	0,994	0,974 – 0,999
	Examinador 2	0,994	0,973 – 0,999

TABELA 4 – Coeficiente de correlação intra-classe inter-observadores nas medidas realizadas nos dois grupos do estudo

		CCI	Intervalo de Confiança (95%)
<b>Transportal</b>			
<b>Cranial-caudal</b>	Avaliação 1	0,998	0,996 – 0,999
	Avaliação 2	0,996	0,988 – 0,998
<b>Ventral-dorsal</b>	Avaliação 1	0,999	0,998 – 0,999
	Avaliação 2	0,998	0,996 – 0,999
<b>Medial-lateral</b>	Avaliação 1	0,998	0,995 – 0,999
	Avaliação 2	0,995	0,983 – 0,998
<b>Anterior-posterior</b>	Avaliação 1	0,999	0,996 – 1,000
	Avaliação 2	1,000	0,999 – 1,000
<b>Transtibial</b>			
<b>Cranial-caudal</b>	Avaliação 1	0,988	0,943 – 0,997
	Avaliação 2	0,917	0,647 – 0,982
<b>Ventral-dorsal</b>	Avaliação 1	0,997	0,985 – 0,999
	Avaliação 2	0,998	0,993 – 0,999
<b>Medial-lateral</b>	Avaliação 1	0,941	0,737 – 0,987
	Avaliação 2	0,992	0,963 – 0,998
<b>Anterior-posterior</b>	Avaliação 1	0,998	0,994 – 0,999
	Avaliação 2	0,999	0,996 – 1,000

## 5) DISCUSSÃO

A realização da pesquisa em peças anatômicas foi fundamental para que fosse possível a localização do ponto central do ligamento cruzado anterior, por meio de tomografia computadorizada tridimensional. Essa pesquisa é inviável em pacientes, uma vez que a dissecação e transecção do ligamento cruzado anterior foi necessária. Embora estudos anatômicos anteriores descrevessem o ponto central femoral e tibial do LCA, o emprego do método tridimensional para obtenção dessas coordenadas não é ainda bem estabelecido na literatura.

A partir do conhecimento do ponto central femoral e tibial desse ligamento, foi possível comparar duas técnicas cirúrgicas, transportal e transtibial, quanto à melhor localização anatômica obtida por elas após a reconstrução cirúrgica. A localização obtida por meio da técnica transportal mostrou maior capacidade desta técnica em se aproximar das coordenadas anatômicas encontradas nos cadáveres humanos.

O LCA é separado anatomicamente e funcionalmente em duas bandas: a ântero-medial e a póstero-lateral<sup>3</sup>. Entretanto, Odensten e Gillquist<sup>39</sup> não conseguiram identificar duas bandas ligamentares com funções distintas. Ao mesmo tempo, Amis e Dawkins<sup>40</sup> descreveram uma terceira banda, denominada intermédia, além da AM e da PL. Apesar de opiniões divergentes sobre a sua composição anatômica, acredita-se na existência de duas bandas, conforme descrito por Palmer em 1938<sup>41,42,43</sup>.

No presente estudo anatômico, as médias das dimensões da origem femoral do LCA foram de 9,4 mm  $\pm$  0,8 mm no eixo ventral-dorsal e de 15,6 mm  $\pm$  0,9 mm no eixo cranial-caudal. Kopf *et al.*<sup>44</sup> mostraram que as dimensões podem variar de 7 mm a 13 mm no eixo ventral-dorsal e de 12 mm a 23 mm no eixo cranial-caudal. Maak *et al.*<sup>45</sup> encontraram valor médio no eixo ventral-dorsal de 19,4 mm  $\pm$  1,7 mm (máximo de 23 mm e mínimo de 15 mm) e no eixo cranial-caudal de 13,9 mm  $\pm$  2 mm (máximo de 18 mm e mínimo de 11 mm). No presente estudo, diâmetro médio no eixo ventral-dorsal foi menor do que o descrito por Maak *et al.*<sup>45</sup>. Entretanto, diferenças no diâmetro da origem do LCA podem ser explicadas pelo gênero, etnia e tamanho dos joelhos<sup>35</sup>.

Na origem tibial do LCA, a dimensão encontrada no eixo anterior-posterior foi de  $18,5 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$  e de  $15,5 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$  no eixo medial-lateral. Esses dados estão em conformidade com outras publicações. Ferretti *et al.*<sup>17</sup> numa análise de escaneamento à laser do planalto tibial encontraram valores de  $18,1 \text{ mm} \pm 2,8 \text{ mm}$  e de  $10,7 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$  nos eixos anterior-posterior e medial-lateral, respectivamente, em oito joelhos analisados. Tállay *et al.*<sup>46</sup> encontraram valores no eixo anterior-posterior de  $19,5 \text{ mm} \pm 2,6 \text{ mm}$  e no eixo medial-lateral de  $10,3 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ . Colombet *et al.*<sup>33</sup> acharam valores similares no eixo anterior-posterior ( $17,6 \text{ mm} \pm 2,1 \text{ mm}$ ) e no eixo medial-lateral ( $12,7 \text{ mm} \pm 2,7 \text{ mm}$ ).

A forma anatômica da origem tibial do LCA foi classificada como oval em sete (87,5%) espécimes analisados. Entretanto, Ferretti *et al.*<sup>16</sup> encontraram tal formato em apenas 50% dos espécimes, sendo as demais classificadas como triangular.

Referências anatômicas como o remanescente ligamentar, a crista intercondilar lateral e a crista bifurcada passaram a ser utilizados como marcos artroscópicos para reconstrução do LCA, auxiliando o correto posicionamento dos túneis<sup>47</sup>. Entretanto, a avaliação intra-operatória por métodos de imagem é também descrita<sup>20</sup>. Bernard *et al.*<sup>25</sup> descreveram na incidência radiográfica lateral do joelho, coordenadas do centro femoral de 28,5% no eixo ventral-dorsal e de 24,8% no eixo cranial-caudal<sup>25</sup>. Porém, questionamentos foram levantados sobre a validade das referências descritas para análise do posicionamento do túnel obtido por meio da técnica transportal<sup>24, 39, 48, 49</sup>.

Estudos sobre a reconstrução do LCA por dupla banda identificaram pontos centrais que representavam o centro da banda AM e da banda PL. Isto limita seu emprego na técnica de reconstrução do LCA por banda única. No entanto, os pontos centrais calculados indiretamente (média entre o ponto central da banda AM e da banda PL) apresentaram similaridade com o ponto central descrito pelo presente estudo<sup>21,27,28,32,33</sup>. Tsukada *et al.*<sup>27</sup> encontraram coordenadas médias em 36 joelhos de cadáveres humanos que se mostraram semelhantes. Lorenz *et al.*<sup>28</sup> descreveram resultados também similares, exceto pela posição mais posterior do ponto tibial no eixo anterior-posterior (TAB. 5).

TABELA 5 – Coordenadas encontradas referentes ao centro anatômico das origens femoral e tibial do LCA. Coordenadas descritas em estudos de dupla banda do LCA (AM e PL)

Autor	Tipo do Estudo	Fêmur				Tíbia			
		AM(x) <sup>α</sup>	PL(x) <sup>α</sup>	AM(y) <sup>β</sup>	PL(y) <sup>β</sup>	AM(x) <sup>ε</sup>	PL(x) <sup>ε</sup>	AM(y) <sup>κ</sup>	PL(y) <sup>κ</sup>
<b>Presente Estudo</b>	<b>Banda Única</b>	<b>30.0 ± 1.6</b>		<b>35.3 ± 4.5</b>		<b>50.2 ± 1.3</b>		<b>40.5 ± 5.3</b>	
Tsukada <sup>27</sup>	Dupla Banda	25,9	34,8	17,8	42,1	46,5	51,2	37,6	50,1
Lorenz <sup>28</sup>	Dupla Banda	21	27	22	45	48	50	41	52
Colombet <sup>33</sup>	Dupla Banda	26,4	32,3	25,3	47,6	-----	-----	-----	-----
Forsythe <sup>21</sup>	Dupla Banda	21,7	35,1	33,2	55,3	-----	-----	-----	-----
Zantop <sup>32</sup>	Dupla Banda	18,5	29,3	22,3	53,6	-----	-----	-----	-----

**α**: referente à orientação cranial-caudal

**β**: referente à orientação ventral-dorsal

**ε**: referente à orientação medial-lateral

**κ**: referente à orientação anterior-posterior

A avaliação do posicionamento dos túneis na reconstrução do LCA possibilita classificar a reconstrução em anatômica ou em não-anatômica. Piores resultados funcionais são esperados nas reconstruções não-anatômicas<sup>10</sup>. Na reconstrução centralizada nas inserções femoral e tibial do LCA, Ho *et al.*<sup>50</sup> mostraram retorno da estabilidade articular e do comportamento rotacional do joelho, quando cargas eram aplicadas a 30 e 60 graus de flexão articular. A reconstrução do LCA de maneira anatômica por banda única ou por banda dupla mostrou-se superior à técnica não-anatômica quanto à restauração da estabilidade articular<sup>51</sup>.

Embora a reconstrução do LCA por banda dupla apresente vantagem teórica relacionada à restauração da anatomia e da cinemática, dúvidas sobre sua superioridade clínica ainda persistem<sup>52,53</sup>. Czamara *et al.*<sup>54</sup> analisaram 15 pacientes operados com a técnica de dupla banda e 15 pacientes operados com a técnica de banda única e não encontraram diferenças quanto ao desempenho de corrida ou em

atividades que exigiam mudança de direção, após 24 semanas de seguimento. A reconstrução por banda dupla poderia estar associada à maior espessura do enxerto e, conseqüentemente a menor taxa de falha devido ao maior preenchimento do “*footprint*” ligamentar. Porém, em mais de 13.000 procedimentos cirúrgicos do LCA realizados na Suécia não houve diferença na chance de ruptura do enxerto quando comparadas as técnicas de banda única e de banda dupla<sup>55</sup>. Em revisão sistemática, o controle da translação anterior da tibia em relação ao fêmur (avaliada por meio do artrômetro) e o controle rotacional (avaliado por meio do teste do ressalto) não foram superiores nos pacientes operados com a técnica da dupla banda, quando comparados aos pacientes operados com a técnica de banda única<sup>56</sup>. Maior complexidade, maior necessidade de medicações analgésicas, além de maior dificuldade operatória em casos de revisão cirúrgica são associados à técnica de dupla banda<sup>57,58</sup>.

A descrição de um ponto único que represente o centro do “*footprint*” do LCA apresenta relevância já que devido a reconstrução por banda única é a técnica mais utilizada<sup>18,53</sup>. No Brasil, apenas 10% dos ortopedistas utilizam a técnica de banda dupla na reconstrução do LCA e as publicações sobre o posicionamento do “*footprint*” femoral e tibial são escassas<sup>59,60</sup>.

Musahl *et al.*<sup>61</sup> estudaram oito joelhos de cadáveres humanos. Compararam o posicionamento do LCA por meio da radiografia simples e imagens tomográficas bidimensionais obtidas em cortes sagitais e encontraram concordância entre estes dois métodos bidimensionais. O centro da origem femoral do LCA foi definido pelas coordenadas de  $26,6\% \pm 1,9\%$  no eixo cranial-caudal e de  $27,5\% \pm 3,2\%$  no eixo ventral-dorsal, enquanto o centro tibial no eixo anterior-posterior foi definido pela coordenada de  $46,2\% \pm 2,8\%$ <sup>61</sup>. Ao mesmo tempo, os resultados tomográficos mostraram coordenadas referentes ao centro da origem femoral do LCA de  $26,3\% \pm 2,4\%$  no eixo cranial-caudal e de  $26,6\% \pm 1,9\%$  no eixo ventral-dorsal, enquanto o centro tibial no eixo anterior-posterior foi definido pelas coordenadas de  $45,4\% \pm 2,1\%$ <sup>61</sup>. O presente estudo adiciona a aquisição de imagens tridimensionais aos achados prévios, o que pode aumentar a precisão da localização anatômica. Em revisão da literatura, não foram encontrados estudos sobre coordenadas que representassem o ponto único central das inserções femoral e tibial do LCA por método de imagem tridimensional.

A acurácia das coordenadas obtidas por métodos bidimensionais de imagem pode ser questionada, uma vez que ocorre influência da rotação e angulação nas imagens radiográficas simples<sup>62</sup>. Por outro lado, a imagem reconstruída tridimensionalmente elimina esse viés nos estudos da geometria do intercôndilo e dos seus componentes<sup>30</sup>. Van Eck *et al.*<sup>63</sup> analisaram a influência da rotação do fêmur na estimativa do posicionamento do túnel femoral na incidência radiográfica em perfil. Esses autores encontraram erros de rotação acima de 10 graus, que afetaram significativamente a acuidade da verificação do posicionamento do túnel em joelhos reconstruídos por dupla ou única banda. A variação de rotação e de angulação podem justificar as diferenças encontradas nas coordenadas entre os estudos radiográficos de Bernard *et al.*<sup>25</sup>, o estudo tomográfico bidimensional de Musahl *et al.*<sup>61</sup> e o presente estudo tomográfico tridimensional. Como perspectiva futura, estudo analisando a concordância entre a análise radiográfica simples, tomográfica bidimensional e tomográfica tridimensional nas mesmas peças anatômicas poderia dirimir o real efeito de fatores intervenientes na análise do posicionamento, como a rotação e angulação do joelho no momento da aquisição da imagem.

No Brasil, estima-se que 68% dos ortopedistas da rede pública e 61,6% da rede privada utilizem rotineiramente a técnica transtibial na reconstrução do LCA<sup>59</sup>. Pesquisa com objetivo de encontrar padrões diferentes produzidos pelas duas técnicas analisadas é relevante, uma vez que contribui para o aprimoramento do tratamento do LCA. A técnica transtibial foi associada com padrão do túnel femoral mais anterior (cranial) no fêmur e mais posterior na tíbia. Tal combinação cria um enxerto “verticalizado”, o que gera dificuldades no controle da estabilidade do joelho<sup>7,11</sup>. Dargel *et al.*<sup>64</sup> observaram que a técnica transtibial posiciona o túnel femoral em direção ao teto do intercôndilo em posição muito cranial (alta) e ventral (anterior) em relação a origem femoral do LCA, posição denominada “*over the top*”. Em estudo de reconstrução do LCA por meio da banda única, a técnica transtibial não restaurou a anatomia quando analisada por métodos tomográficos<sup>65</sup>. Em estudo recente, Yang *et al.*<sup>66</sup> descreveram valores encontrados em pacientes operados por meio da técnica transtibial de  $35,0\% \pm 5,3\%$  no eixo cranial-caudal e de  $16,6\% \pm 4,9\%$  no eixo ventral-dorsal. Embora o valor no eixo cranial-caudal seja semelhante ao valor encontrado no presente estudo, o posicionamento alto do túnel no eixo ventral-dorsal também reflete padrão não-anatômico de reconstrução. Steiner *et al.*<sup>67</sup> relataram que a

banda PL é raramente reproduzida quando utilizada a técnica transtibial. A localização mais anterior (ventral) no fêmur foi associada ao déficit de flexão e à instabilidade residual segundo Zantop *et al.*<sup>41</sup>. Webster *et al.*<sup>68</sup> estudaram 87 pacientes submetidos à reconstrução do LCA por banda única transtibial e encontraram associação entre a posição verticalizada do enxerto e maior rotação tibial durante o teste de recepção do salto (“*single leg hop-test*”). O posicionamento do enxerto no centro insercional do LCA pode evitar impacto do enxerto durante o movimento articular, diminuindo a chance de falha da reconstrução<sup>45</sup>. Pacientes reconstruídos com enxertos verticalizados apresentaram 10 vezes mais chance de falha cirúrgica do que pacientes com enxertos não verticalizados, após 15 anos de acompanhamento<sup>69</sup>.

Ao mesmo tempo, o posicionamento dos túneis no grupo operado por meio da técnica transportal se aproximou mais das coordenadas do LCA encontradas no estudo *ex-vivo*<sup>60</sup>. No estudo prévio do autor da presente pesquisa, referente à dissertação de mestrado, dados clínicos de estabilidade articular e de mobilidade foram melhor observados no grupo transportal<sup>31</sup>. Tal fato sugere associação entre o melhor posicionamento anatômico obtido por meio da técnica transportal e os melhores resultados clínicos. Entretanto, houve similaridade dos resultados quanto à percepção subjetiva dos pacientes, representados pelos excelentes resultados nos escores funcionais da “*International Knee Documentation Committee form - IKDC*” e de Lysholm nos dois grupos<sup>31</sup>.

Embora a obtenção de imagens tridimensionais no ato operatório seja possível por meio da navegação computadorizada, seu uso ainda é limitado devido ao alto custo e baixa disponibilidade<sup>30,71</sup>. Taketomi *et al.*<sup>72</sup> verificaram que o sistema de navegação com obtenção de imagens tridimensionais auxilia o posicionamento dos túneis em operação de revisão do LCA, pois reduz as possibilidades de erros e melhora o resultado cirúrgico. Embora o uso de aparelhos de fluoroscopia com tecnologia tridimensional (“*cone-beam three-dimensional computed tomography*”) tenha sido aplicado em cirurgias neurológicas e da coluna espinhal, seu emprego ainda é limitado na reconstrução ligamentar do joelho<sup>73,74</sup>.

No pré-operatório, a avaliação do posicionamento do túnel femoral e tibial pela TC 3D pode ser útil no planejamento da revisão da reconstrução do LCA, pois possibilita classificar a abordagem cirúrgica anterior em anatômica ou não-anatômica, além de contribuir para a programação do procedimento (um tempo ou dois tempos). Além disso, a TC 3D se aplica na avaliação de pacientes com sintomas residuais após cirurgia de reconstrução do LCA, no intuito de associar a presença de sintomas com o padrão de reconstrução, se anatômico ou não.

Como limitações do estudo anatômico, o número de oito joelhos pode ser considerado pequeno. Entretanto, estudos anteriores que avaliaram as coordenadas das duas bandas do LCA apresentaram número de peças cadavéricas semelhantes<sup>17,21,22,28</sup>. Ainda, os estudos anteriores utilizaram espécimes frescos, enquanto no presente estudo foram utilizadas peças conservadas em formol. A diferença no processo de conservação, no entanto, não afetou a identificação dos marcos anatômicos ligamentares. Considerou-se que o processo de conservação poderia ser preocupação em estudos biomecânicos, mas não no estudo realizado<sup>75</sup>.

Como limitações do estudo clínico-tomográfico, a superfície articular do côndilo femoral e do planalto tibial podem apresentar irregularidades topográficas na saída articular dos túneis, diminuindo assim a precisão da mensuração. Tal fato poderia gerar imprecisão no cálculo do centro dos túneis, mas a boa concordância inter e intra-observadores provavelmente minimizou o impacto nos dados mostrados.

As características físicas do enxerto, bem como sua obliquidade não puderam ser avaliadas devido às características inerentes aos métodos de imagens utilizados. O melhor posicionamento dos túneis no grupo transportal pode estar associado à melhor restauração da obliquidade do enxerto, o que pode contribuir para menor impacto e menor risco à falha. Entretanto, não foi objetivo do presente estudo avaliar a incidência de falhas cirúrgicas entre os grupos, bem como avaliar características biológicas e físicas do enxerto.

Na realização desta pesquisa foi necessário submeter os pacientes a exames com irradiação ionizante. A irradiação emitida pela TC do joelho equivaleu aproximadamente a 0,5 mSv, considerada aquém do limiar de segurança para os pacientes<sup>37</sup>. Comparativamente, radiografia de joelho apresenta dose efetiva de cerca

de 0,05 mSv, radiografia da coluna lombar de 1,5 mSv e radiografia do quadril de 0,7 mSv<sup>37</sup>. Com o objetivo de reduzir a dose de radiação sobre os pacientes, foram obtidas imagens no joelho operado estendendo-se desde 10 cm proximalmente à extremidade distal do fêmur até 10 cm distalmente à extremidade proximal da tíbia. Não foram realizados exames do joelho contralateral para efeitos de comparação. Além disso, em todos os pacientes houve preocupação em proteger as áreas não examinadas com aventais de chumbo.

Estudos futuros utilizando métodos intra-operatórios de obtenção de imagens tridimensionais poderão dirimir possíveis dúvidas sobre o posicionamento dos túneis femoral e tibial na reconstrução do LCA, bem como quantificar erros durante a avaliação do seu posicionamento por métodos bidimensionais. O mesmo método poderia ser também aplicado à reconstrução do ligamento cruzado posterior do joelho. Cohen *et al.*<sup>76</sup> mostraram associação entre a lesão do ligamento cruzado anterior e o surgimento de osteoartrite do joelho após 10 anos de evolução, principalmente quando associada à lesão meniscal. Como perspectiva futura, o acompanhamento à longo prazo dos pacientes submetidos à reconstrução ligamentar seria interessante para tentar correlacionar a maior restauração da anatomia obtida por meio técnica portal ao menor risco de osteoartrite após 10 anos de acompanhamento.

## 6) CONCLUSÕES

Diante dos resultados destas pesquisas, pode afirmar que:

- A análise tomográfica tridimensional do ponto central da origem femoral e tibial do ligamento cruzado anterior do joelho de cadáveres possibilitou a descrição das coordenadas anatômicas que representam o ponto central único deste ligamento.
- A análise tomográfica dos pacientes operados identificou maior proximidade do túnel femoral e tibial ao centro anatômico do LCA no grupo operado por meio da técnica portal, em comparação à técnica transtibial.

## 7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Larson RL, Tailon M. Anterior Cruciate Ligament Insufficiency: Principles of Treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 1994;2(1):26-35.
2. Scuderi GM, Scott WN. Anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone autograft: indications, technique, complications and management. Philadelphia: Churchill Livingstone Elsevier; 2006.
3. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1975(106):216-31.
4. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy.* 1999;15(7):741-9.
5. Bach BR, Tradonsky S, Bojchuk J, Levy ME, Bush-Joseph CA, Khan NH. Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Five- to nine-year follow-up evaluation. *Am J Sports Med.* 1998;26(1):20-9.
6. Howell SM. Principles for placing the tibial tunnel and avoiding roof impingement during reconstruction of a torn anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6 Suppl 1:S49-55.
7. Heming JF, Rand J, Steiner ME. Anatomical limitations of transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2007;35(10):1708-15.
8. Brophy RH, Voos JE, Shannon FJ, Granchi CC, Wickiewicz TL, Warren RF, et al. Changes in the length of virtual anterior cruciate ligament fibers during stability testing: a comparison of conventional single-bundle reconstruction and native anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2008;36(11):2196-203.
9. Pearle AD, Shannon FJ, Granchi C, Wickiewicz TL, Warren RF. Comparison of 3-dimensional obliquity and anisometric characteristics of anterior cruciate ligament graft positions using surgical navigation. *Am J Sports Med.* 2008;36(8):1534-41.
10. Bedi A, Altchek DW. The "footprint" anterior cruciate ligament technique: an anatomic approach to anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2009;25(10):1128-38.
11. Lee MC, Seong SC, Lee S, Chang CB, Park YK, Jo H, et al. Vertical femoral tunnel placement results in rotational knee laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2007;23(7):771-8.
12. Fu FH, Araujo PH, Lin A. Double-bundle ACL reconstruction with use of a single tibial tunnel: a technique or an anatomic concept? *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(20):e121(1)-(2).

13. Yasuda K, van Eck CF, Hoshino Y, Fu FH, Tashman S. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction, part 1: basic science. *Am J Sports Med.* 2011;39(8):1789-99.
14. van Eck CF, Lesniak BP, Schreiber VM, Fu FH. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction flowchart. *Arthroscopy.* 2010;26(2):258-68.
15. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum.* 2004;50(10):3145-52.
16. Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P, Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004;32(4):975-83.
17. Ferretti M, Doca D, Ingham SM, Cohen M, Fu FH. Bony and soft tissue landmarks of the ACL tibial insertion site: an anatomical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(1):62-8.
18. Núñez M, Sastre S, Núñez E, Lozano L, Nicodemo C, Segur JM. Health-related quality of life and direct costs in patients with anterior cruciate ligament injury: single-bundle versus double-bundle reconstruction in a low-demand cohort--a randomized trial with 2 years of follow-up. *Arthroscopy.* 2012;28(7):929-35.
19. Erickson BJ, Harris JD, Fillingham YA, Frank RM, Bush-Joseph CA, Bach BR, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction practice patterns by NFL and NCAA football team physicians. *Arthroscopy.* 2014;30(6):731-8.
20. Hughes AW, Dwyer AJ, Govindaswamy R, Lankester B. The use of intra-operative fluoroscopy for tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Bone Joint Res.* 2012;1(10):234-7.
21. Forsythe B, Kopf S, Wong AK, Martins CA, Anderst W, Tashman S, et al. The location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(6):1418-26.
22. Amis AA, Beynon B, Blankevoort L, Chambat P, Christel P, Durselen L, et al. Proceedings of the ESSKA Scientific Workshop on Reconstruction of the Anterior and Posterior Cruciate Ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(3):124-32.
23. Aglietti P, Zaccherotti G, Menchetti PP, De Biase P. A comparison of clinical and radiological parameters with two arthroscopic techniques for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1995;3(1):2-8.
24. Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB. The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1996;24(3):335-41.
25. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg.* 1997;10(1):14-21.

26. Stäubli HU, Rauschnig W. Tibial attachment area of the anterior cruciate ligament in the extended knee position. Anatomy and cryosections in vitro complemented by magnetic resonance arthrography in vivo. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(3):138-46.
27. Tsukada H, Ishibashi Y, Tsuda E, Fukuda A, Toh S. Anatomical analysis of the anterior cruciate ligament femoral and tibial footprints. *J Orthop Sci.* 2008;13(2):122-9.
28. Lorenz S, Elser F, Mitterer M, Obst T, Imhoff AB. Radiologic evaluation of the insertion sites of the 2 functional bundles of the anterior cruciate ligament using 3-dimensional computed tomography. *Am J Sports Med.* 2009;37(12):2368-76.
29. Kopf S, Forsythe B, Wong AK, Tashman S, Irrgang JJ, Fu FH. Transtibial ACL reconstruction technique fails to position drill tunnels anatomically in vivo 3D CT study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(11):2200-7.
30. Meuffels DE, Potters JW, Koning AH, Brown CH, Verhaar JA, Reijman M. Visualization of postoperative anterior cruciate ligament reconstruction bone tunnels: reliability of standard radiographs, CT scans, and 3D virtual reality images. *Acta Orthop.* 2011;82(6):699-703.
31. Silva GMA. Comparação entre os resultados funcionais e da estabilidade articular da reconstrução do ligamento cruzado anterior pelas técnicas transportal e transtibial. Faculdade de Medicina: Universidade Federal de Minas Gerais; 2013, 82f.
32. Zantop T, Wellmann M, Fu FH, Petersen W. Tunnel positioning of anteromedial and posterolateral bundles in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: anatomic and radiographic findings. *Am J Sports Med.* 2008;36(1):65-72.
33. Colombet P, Robinson J, Christel P, Franceschi JP, Djian P, Bellier G, et al. Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy.* 2006;22(9):984-92.
34. Rosset A, Spadola L, Pysher L, Ratib O. Informatics in radiology (infoRAD): navigating the fifth dimension: innovative interface for multidimensional multimodality image navigation. *Radiographics.* 2006;26(1):299-308.
35. Kopf S, Pombo MW, Szczodry M, Irrgang JJ, Fu FH. Size variability of the human anterior cruciate ligament insertion sites. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):108-13.
36. Biswas D, Bible JE, Bohan M, Simpson AK, Whang PG, Grauer JN. Radiation exposure from musculoskeletal computerized tomographic scans. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(8):1882-9.
37. Cross TM, Smart RC, Thomson JE. Exposure to diagnostic ionizing radiation in sports medicine: assessing and monitoring the risk. *Clin J Sport Med.* 2003;13(3):164-70.
38. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33(1):159-74.

39. Good L, Odensten M, Gillquist J. Precision in reconstruction of the anterior cruciate ligament. A new positioning device compared with hand drilling. *Acta Orthop Scand*. 1987;58(6):658-61.
40. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(2):260-7.
41. Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(10):982-92.
42. Palmer I. On the injuries to the ligaments of the knee joint: a clinical study. *Acta Chir Scand*. 1938. p. 1-282.
43. Palmer I. On the injuries to the ligaments of the knee joint: a clinical study. 1938. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:17-22.
44. Kopf S, Musahl V, Tashman S, Szczodry M, Shen W, Fu FH. A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(3):213-9.
45. Maak TG, Bedi A, Raphael BS, Citak M, Suero EM, Wickiewicz T, et al. Effect of femoral socket position on graft impingement after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2011;39(5):1018-23.
46. Tállay A, Lim MH, Bartlett J. Anatomical study of the human anterior cruciate ligament stump's tibial insertion footprint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16(8):741-6.
47. Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23(11):1218-25.
48. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM. Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 1995;11(3):275-88.
49. Pinczewski LA, Salmon LJ, Jackson WF, von Bormann RB, Haslam PG, Tashiro S. Radiological landmarks for placement of the tunnels in single-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90(2):172-9.
50. Ho JY, Gardiner A, Shah V, Steiner ME. Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy*. 2009;25(5):464-72.
51. Kondo E, Merican AM, Yasuda K, Amis AA. Biomechanical comparison of anatomic double-bundle, anatomic single-bundle, and nonanatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med*. 2011;39(2):279-88.
52. Brophy RH, Wright RW, Matava MJ. Cost analysis of converting from single-bundle to double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2009;37(4):683-7.

53. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Laopaiboon M. Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;11:CD008413.
54. Czamara A, Królikowska A, Szuba L, Widuchowski W, Kentel M. Single-versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a new aspect of knee assessment during activities involving dynamic knee rotation. *J Strength Cond Res.* 2014.
55. Andernord D, Björnsson H, Petzold M, Eriksson BI, Forssblad M, Karlsson J, et al. Surgical Predictors of Early Revision Surgery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results From the Swedish National Knee Ligament Register on 13,102 Patients. *Am J Sports Med.* 2014;42(7):1574-82.
56. Meredith RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2008;36(7):1414-21.
57. Macdonald SA, Heard SM, Hiemstra LA, Buchko GM, Kerslake S, Sasyniuk TM. A comparison of pain scores and medication use in patients undergoing single-bundle or double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Can J Surg.* 2014;57(3):e98-104.
58. Harner CD, Poehling GG. Double bundle or double trouble? *Arthroscopy.* 2004;20(10):1013-4.
59. Astur DC, Batista RF, Gustavo A, Cohen M. Tendências de tratamento das lesões do ligamento cruzado anterior do joelho nos sistemas de saúde pública e privada do Brasil. *Sao Paulo Med J.* 2013;131(4):257-63.
60. Abreu-e-Silva GM, Oliveira MH, Maranhão GS, Deligne LD, Pfeilsticker RM, Novais EN, et al. Three-dimensional computed tomography evaluation of anterior cruciate ligament footprint for anatomic single-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013.
61. Musahl V, Burkart A, Debski RE, Van Scyoc A, Fu FH, Woo SL. Anterior cruciate ligament tunnel placement: Comparison of insertion site anatomy with the guidelines of a computer-assisted surgical system. *Arthroscopy.* 2003;19(2):154-60.
62. Ireland ML, Ballantyne BT, Little K, McClay IS. A radiographic analysis of the relationship between the size and shape of the intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9(4):200-5.
63. 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):979-85.
64. Dargel J, Schmidt-Wiethoff R, Fischer S, Mader K, Koebke J, Schneider T. Femoral bone tunnel placement using the transtibial tunnel or the anteromedial portal in ACL reconstruction: a radiographic evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(3):220-7.
65. Kopf S, Forsythe B, Wong AK, Tashman S, Anderst W, Irrgang JJ, et al. Nonanatomic tunnel position in traditional transtibial single-bundle anterior

- cruciate ligament reconstruction evaluated by three-dimensional computed tomography. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(6):1427-31.
66. Yang JH, Chang M, Kwak DS, Jang KM, Wang JH. In vivo three-dimensional imaging analysis of femoral and tibial tunnel locations in single and double bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Clin Orthop Surg.* 2014;6(1):32-42.
  67. Steiner ME, Battaglia TC, Heming JF, Rand JD, Festa A, Baria M. Independent drilling outperforms conventional transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):1912-9.
  68. Webster KE, Wotherspoon S, Feller JA, McClelland JA. The effect of anterior cruciate ligament graft orientation on rotational knee kinematics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(9):2113-20.
  69. Hui C, Salmon LJ, Kok A, Maeno S, Linklater J, Pinczewski LA. Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):89-98.
  70. Musahl V, Plakseychuk A, VanScyoc A, Sasaki T, Debski RE, McMahon PJ, et al. Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee. *Am J Sports Med.* 2005;33(5):712-8.
  71. Meuffels DE, Reijman M, Scholten RJ, Verhaar JA. Computer assisted surgery for knee ligament reconstruction. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011(6):CD007601.
  72. Taketomi S, Inui H, Nakamura K, Hirota J, Takei S, Takeda H, et al. Three-dimensional fluoroscopic navigation guidance for femoral tunnel creation in revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc Tech.* 2012;1(1):e95-9.
  73. Schafer S, Nithianathan S, Mirota DJ, Uneri A, Stayman JW, Zbijewski W, et al. Mobile C-arm cone-beam CT for guidance of spine surgery: image quality, radiation dose, and integration with interventional guidance. *Med Phys.* 2011;38(8):4563-74.
  74. Zbijewski W, De Jean P, Prakash P, Ding Y, Stayman JW, Packard N, et al. A dedicated cone-beam CT system for musculoskeletal extremities imaging: design, optimization, and initial performance characterization. *Med Phys.* 2011;38(8):4700-13.
  75. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med.* 1991;19(3):217-25.
  76. Cohen M, Amaro JT, Ejnisman B, Carvalho RT, Nakano KK, Peccin MS, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction after 10 to 15 years: association between meniscectomy and osteoarthritis. *Arthroscopy.* 2007;23(6):629-34.

**8) ANEXO****8.1) APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

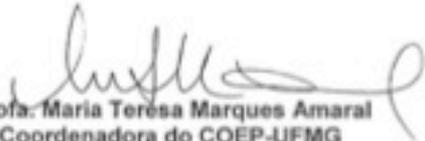
Projeto: CAAE – 0500.0.203.000-11

Interessado(a): Prof. Marco Antônio Percope de Andrade  
Departamento de Aparelho Locomotor  
Faculdade de Medicina - UFMG

**DECISÃO**

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 29 de novembro de 2011, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "Reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho: comparação dos resultados pós-operatórios entre a técnica transtibial e transportal medial" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.



Prof. Maria Teresa Marques Amaral  
Coordenadora do COEP-UFMG

Av. Pres. Antônio Carlos, 6527 - Unidade Administrativa II - 2º andar - Sala 2005 - Cep:31270-901 - BH-MG  
Telefax: (031) 3409-4592 - e-mail: coep@proq.ufmg.br

## 9) APÊNDICES

### 9.1) TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado \_\_\_\_\_ Sro \_\_\_\_\_ ou Sra: \_\_\_\_\_, carteira de identidade no \_\_\_\_\_; Através deste termo o convido a participar do estudo: “Estudo da reconstrução do ligamento cruzado anterior: comparação pós-operatória nos grupos com reconstrução por técnica transtibial e transportal medial.” conduzido pelos médicos: Doutor Guilherme Moreira de Abreu e Silva, Professor Marco Antônio Percope de Andrade e Professor Tarcizo Afonso Nunes. Tais técnicas cirúrgicas são consagradas pela literatura mundial, sendo o objetivo desta pesquisa descrever e comparar o resultado funcional obtido por meio delas. Tal informação é de extrema relevância para o meio científico e visa aumentar o conhecimento e segurança sobre a cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior, podendo beneficiar os pacientes através das informações obtidas. Informo que a concordância em participar ou não do estudo, não afetará o tratamento e acompanhamento da doença. Coleta de dados relativos à cirurgia e ao curso natural da doença serão realizados, bem como a obtenção de dados técnico-científicos sobre o estado atual do seu joelho por meio de exame médico. Estes dados serão cuidados de forma anônima em todas as fases da pesquisa. Após análise dos mesmos, estes serão publicados em revista médica especializada a ser definida pelos pesquisadores **a posteriori**. Nenhum ônus haverá decorrente da pesquisa, podendo a exclusão ser solicitada pelo pesquisado em qualquer momento. Após esclarecimentos, informo sobre a necessidade da realização de exame radiológico tomográfico (Tomografia Computadorizada), para avaliação do posicionamento do enxerto ligamentar. A dose baixa de radiação ionizante envolvida no exame é semelhante a dosagem envolvida na radiografia padrão que é realizado de rotina no controle pós-operatório de reconstrução ligamentar do joelho. Tal exame substituirá a radiografia padrão por fornecer maiores informações, com o mesmo risco envolvido. Informo que não haverá riscos adicionais relacionados ao estudo, sendo a conduta médica empregada em toda a pesquisa embasada na literatura mundial. Caso haja dúvidas sobre a pesquisa, o pesquisado poderá contatar os pesquisador através dos contatos abaixo ou com o COEP : Av. Presidente Antonio Carlos, 6627- Unidade Administrativa II- Segundo andar-sala 2005 (telefone 31-34094592):

Nome: Guilherme Moreira de Abreu e Silva  
 Endereço: Avenida do Contorno 5351 sala 205 CEP 30110923  
 Belo Horizonte Minas Gerais  
 Correspondência: Avenida do Contorno 5351 sala 205 30110923  
 Belo Horizonte Minas Gerais  
 Telefone: 33180517 Fax: 35147007  
 Correio eletrônico:  
 guilhermeorto@gmail.com

Nome: Tarcizo Afonso Nunes  
 Endereço: Faculdade de Medicina da UFMG  
 Correspondência: Avenida Alfredo Balena 190 CEP 30130-100  
 Telefone: 3409-9753 Fax:  
 Correio eletrônico: tan@medicina.ufmg.br

Nome: Marco Antônio Percope de Andrade  
Rua Maranhão 1567 Apto 701 CEP: 30150  
Correspondência: Rua Maranhão 1567 Apto 701 CEP: 30150  
Telefone: 31 32735800 Fax: 35147007  
Correio eletrônico: mapa.bhz@terra.com.br

Após esclarecimento de todas as dúvidas e interpretação deste termo, o  
pesquisado assinará este termo se assim o desejar;

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

TESTEMUNHA: \_\_\_\_\_

TESTEMUNHA: \_\_\_\_\_

## 9.2) ARTIGOS PUBLICADOS