

**DIEGO DA COSTA ASTUR**

**USO DA TECNOLOGIA TRIDIMENSIONAL  
PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS  
ANATÔMICAS DO JOELHO HUMANO**

**Tese apresentada à Universidade Federal  
de São Paulo, para obtenção do Título de  
Doutor em Ciências**

**SÃO PAULO**

**2014**

**DIEGO DA COSTA ASTUR**

**USO DA TECNOLOGIA TRIDIMENSIONAL  
PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS  
ANATÔMICAS DO JOELHO HUMANO**

**Tese apresentada à Universidade Federal  
de São Paulo, para obtenção do Título de  
Doutor em Ciências**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Moises Cohen**

**CO-ORIENTADORES: Prof. Benno Ejnisman**

**Prof. Mario Ferretti Filho**

**SÃO PAULO**

**2014**

Astur Diego da Costa.

**Uso da tecnologia tridimensional para visualização de imagens anatômicas do joelho humano.**/ Diego da Costa Astur.- São Paulo, 2014.  
**xix, 156p**

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional.

Título em inglês: 3-Dimensional stereoscopic imaging to visualize the anatomy of the human knee

1. Anatomia. 2. Imagem Tridimensional. 3. Joelho

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIRURGIA  
TRANSLACIONAL**

**COORDENADOR: Prof. Dr. MIGUEL SABINO NETO**

## DEDICATÓRIA

*Ao meu pai, **Nelson**, quem me ensinou o valor e respeito às pessoas e à profissão. Aquele que sempre tem a resposta certa para as dúvidas mais difíceis, o conselho que vira dogma. Obrigado por sempre estar ao nosso lado.*

*À minha mãe, **Elisa**, pessoa capaz de suportar todas as pressões familiares com um sorriso no rosto, como se tudo fosse muito fácil. Essa leveza se tornou um dos principais alicerces para suportar as dificuldades do dia a dia.*

*Aos meus irmãos, **Nelson** e **Flavio**, companheiros e conselheiros para todas as horas. Pessoas capazes de sanar as dúvidas que ficam, os problemas que não se resolvem. Obrigado pela parceria.*

*À minha esposa, **Máira**, sempre ao meu lado, obrigado pelo amor e compreensão de todos os dias. A pessoa que faz todo o esforço valer a pena. Exemplo de respeito, humanidade e dedicação.*

*À minha filha, **Lais**, que, com tão pouco tempo de vida, já virou a peça chave deste quebra-cabeça. Àquela que faz de nós apenas coadjuvantes de uma história tão bonita.*

## AGRADECIMENTOS

À **ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO (EPM-UNIFESP)**, escola em que ingressei em 2001, minha segunda casa, que sempre admirei e procurei representar da melhor forma possível.

Ao **DEPARTAMENTO DE ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA** da Universidade Federal de São Paulo (**EPM-UNIFESP**), local da minha formação como especialista, e que forneceu todas as ferramentas necessárias para à execução deste trabalho.

Ao **DEPARTAMENTO DE ANATOMIA** da Universidade Federal de São Paulo (**EPM-UNIFESP**), que forneceu os meios indispensáveis à execução deste trabalho.

Ao meu orientador, **PROFESSOR DOUTOR MOISES COHEN**, professor titular do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Universidade Federal de São Paulo (**EPM-UNIFESP**), pelas orientações, ensinamentos, apoio e confiança durante toda a minha formação profissional. Muito mais que um professor, meu grande mestre desde o primeiro dia de aula nesta instituição.

Ao **PROFESSOR DOUTOR MIGUEL SABINO NETO**, professor adjunto livre-docente da Disciplina de Cirurgia Plástica, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da Universidade Federal de São Paulo (**EPM-UNIFESP**), pela atenção, auxílio, e esforço admirável em sempre manter este Programa de Pós-Graduação em perfeita ordem.

Aos **DOCENTES** do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional (**EPM-UNIFESP**), pelas inúmeras sugestões e amparo nas horas mais difíceis.

Ao **PROFESSOR PAU GOLANÓ**, Professor Assistente de Embriologia e Anatomia Humana da Universidade de Barcelona, que me ensinou a enxergar a anatomia como arte e não apenas ciência.

Ao meu amigo **GUSTAVO GONÇALVES ARLIANI**, médico ortopedista, pós-graduando deste mesmo programa, grande amigo e companheiro de faculdade, residência médica, especialização e pós-graduação.

Aos amigos **RODRIGO CASTELO BRANCO, RICARDO DE SOUZA CAMPOS FERNANDES, WAHY JALIKJIAN, SAULO GOMES OLIVEIRA, RICARDO BADRA, EDUARDO RAMALHO DE MORAES** e **CAMILA COHEN KALEKA**. Sem a parte de cada um de vocês não seria possível chegarmos até aqui. O conhecimento e dedicação de cada um tornou este projeto possível e os artigos publicados, realidade.

Aos meus chefes e amigos do **CENTRO DE TRAUMATOLOGIA DO ESPORTE** da Universidade Federal de São Paulo (**EPM-UNIFESP**) pelo apoio sempre presente.

À **SANDRA DA SILVA, MARTA REJANE, E ROSELI PEREIRA PASCHOA**, secretárias da Disciplina de Cirurgia Plástica (**EPM-UNIFESP**) e do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional, pela gentileza no atendimento, presteza nas comunicações importantes e pelo carinho que sempre dispensaram a mim.

À **FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP)**, pelo fomento à pesquisa, o que facilitou a obtenção do material de pesquisa e pelo grande aprendizado em relação a relatórios científicos.

À **COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES)**, pelo auxílio na bolsa de estudo, o que possibilitou que eu tivesse mais tempo disponível para a pesquisa.



*“Onde quer que esteja aprendendo anatomia, não se esqueça de prestar especial atenção, porque a ortopedia é toda anatomia e o restante, um pouco de bom senso”*

*Jack C. Hughston (1917-2004)*

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b> .....	<b>xxii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xxiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
<b>4. MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>80</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>97</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>99</b>
<b>NORMAS ADOTADAS</b> .....	<b>110</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>112</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>124</b>
<b>FONTES CONSULTADAS</b> .....	<b>154</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Exemplo de joelho dissecado para realização de imagens tridimensionais.....16
- Figura 2. Desenho representativo das cinco regiões definidas para o estudo das principais estruturas do joelho humano. Em verde, o ligamento cruzado anterior; em azul, o ligamento cruzado posterior; em roxo, o mecanismo extensor do joelho; em amarelo, o compartimento póstero-lateral do joelho; e em vermelho, o compartimento póstero-medial do joelho .....18
- Figura 3. Desenho ilustrativo da vascularização do joelho. Pode-se identificar a artéria poplítea (1) e seus principais ramos: artéria superior lateral (2), artéria inferior lateral (3), artéria superior medial (4), artéria inferior medial (5) e artéria média do joelho (6). A linha na cor preta representa a oclusão da extremidade distal desses ramos, e a seringa, na extremidade proximal da artéria poplítea, representa a inserção do silicone com corante vermelho para preenchimento do espaço arterial.....20
- Figura 4. Silicone líquido não transparente na cor branca utilizada para preencher o canal arterial do joelho .....21

Figura 5.	Instrumental eletrônico para fotografar e aplicar a técnica anaglífica nas estruturas dissecadas do joelho: barra deslizante (A), tripé fotográfico (B), câmera fotográfica acoplada à barra deslizante e ao tripé fotográfico (C), câmera fotográfica acoplada ao flash circular utilizado para iluminação necessária de pequenas estruturas (D).....	22
Figura 6.	Óculos com lentes polarizantes azul e vermelha utilizado para se obter o efeito tridimensional da estrutura dissecada .....	25
Figura 7.	Imagem tridimensional frontal do joelho humano em flexão sem as estruturas musculares, valorizando o contorno ósseo dos côndilos femorais e, principalmente, os ligamentos cruzados anterior e posterior .....	29
Figura 8.	Imagem tridimensional aproximada do intercôndilo femoral do joelho em flexão com ressecção do ligamento cruzado posterior. É possível avaliar o trajeto do ligamento cruzado anterior .....	30
Figura 9.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur com a preservação do ligamento mucoso, estrutura localizada anterior aos ligamentos cruzados, também descrita como uma prega sinovial infrapatelar .....	31

Figura 10.	Imagem tridimensional da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar a inserção femoral do ligamento cruzado anterior e a inserção tibial do ligamento cruzado posterior .....	32
Figura 11.	Imagem tridimensional da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão, com ressecção do ligamento cruzado posterior. É possível identificar a inserção femoral do ligamento cruzado anterior e a direção de suas fibras .....	33
Figura 12.	Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em extensão com ressecção do côndilo femoral lateral. Desta forma, é possível identificar todo o trajeto do ligamento cruzado anterior de perfil .....	34
Figura 13.	Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em flexão com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar a direção do ligamento cruzado anterior e a mudança de comportamento na tensão de suas fibras, quando comparada à imagem anterior, onde o joelho se encontra em extensão .....	35
Figura 14.	Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em flexão com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar os dois feixes que compõem o ligamento cruzado anterior: o feixe anteromedial e o feixe posterolateral.....	36

Figura 15.	Imagem tridimensional oblíqua de um joelho humano com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar toda a área de inserção femoral do ligamento cruzado anterior .....	37
Figura 16.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão. É possível identificar os ligamentos cruzados anterior e posterior .....	40
Figura 17.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar a inserção femoral e o trajeto do ligamento cruzado posterior.....	41
Figura 18.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em extensão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento cruzado posterior com pouca visibilidade em decorrência da diminuição da área intercondilar do fêmur livre .....	42
Figura 19.	Imagem tridimensional do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar os feixes ligamentares do ligamento cruzado posterior: feixe anterolateral e feixe posteromedial.....	43

Figura 20.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, anterior ao ligamento cruzado posterior.....	44
Figura 21.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar as inserções femoral do ligamento cruzado anterior e tibial do ligamento cruzado posterior .....	45
Figura 22.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento cruzado posterior isolado .....	46
Figura 23.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em flexão. É possível identificar o afrouxamento do ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, posterior ao ligamento cruzado posterior .....	47
Figura 24.	Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar o tensionamento do ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, posterior ao ligamento cruzado posterior.....	48

Figura 25.	Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o septo posterior do joelho e os ramos da artéria poplítea .....	49
Figura 26.	Imagem tridimensional oblíqua da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o septo posterior do joelho e os ramos da artéria poplítea, com especial atenção à penetração da artéria média do joelho no septo posterior do joelho .....	50
Figura 27.	Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão com ressecção do septo posterior. É possível identificar o trajeto da artéria média do joelho na área intercondilar posterior do fêmur.....	51
Figura 28.	Imagem tridimensional oblíqua da região posterior do joelho humano em extensão com ressecção do septo posterior. É possível identificar o trajeto das artérias do joelho oriundas da artéria poplítea: artéria média, artéria superior lateral, artéria superior medial, artéria inferior lateral, artéria inferior medial .....	52
Figura 29.	Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o trajeto das artérias geniculares oriundas da artéria poplítea: artéria média, artéria superior lateral, artéria superior medial, artéria inferior lateral, artéria inferior medial .....	53



Figura 30.	Imagem tridimensional frontal do joelho humano em extensão com a preservação das estruturas musculoesqueléticas mais superficiais do aparelho extensor desta articulação .....	55
Figura 31.	Imagem tridimensional frontal do joelho humano em extensão com a preservação das estruturas musculoesqueléticas mais superficiais do aparelho extensor. É possível visualizar os vasos arteriais que envolvem a patela .....	56
Figura 32.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-femoral medial dissecado.....	57
Figura 33.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-tibial medial dissecado.....	58
Figura 34.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-femoral lateral dissecado.....	59
Figura 35.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ramo descendente da artéria femoral .....	60

- Figura 36. Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar a primeira camada do compartimento pósterolateral do joelho: músculo bíceps femoral, trato iliotibial, cabeça lateral do músculo gastrocnêmio .....62
- Figura 37. Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar a primeira camada do compartimento pósterolateral do joelho. Com a dissecação do músculo bíceps femoral, é possível identificar o trajeto do nervo fibular comum .....63
- Figura 38. Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 90°. É possível identificar a segunda camada do compartimento pósterolateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular .....64
- Figura 39. Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento pósterolateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular .....65
- Figura 40. Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento pósterolateral do joelho:

	músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular .....	66
Figura 41.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento póstero-lateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular e vascularização da artéria inferior lateral do joelho através de sua relação com as estruturas citadas e o menisco lateral .....	67
Figura 42.	Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o trajeto da artéria inferior lateral do joelho sob o músculo poplíteo. O vaso segue trajeto margeando o menisco lateral e passando entre a tíbia e o ligamento colateral fibular.....	68
Figura 43.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a trama vascular formada pelos ramos oriundos da artéria superior lateral do joelho sob o côndilo femoral lateral .....	69
Figura 44.	Imagem tridimensional oblíqua do joelho humano em extensão. É possível identificar a trama vascular formada pelos ramos oriundos da artéria superior lateral do joelho sob o côndilo femoral lateral .....	70

Figura 45.	Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar os dois principais vasos arteriais responsáveis pela nutrição do compartimento póstero-lateral: a artéria superior e inferior lateral do joelhos .....	71
Figura 46.	Imagem tridimensional da região póstero-medial do joelho humano em extensão. É possível identificar as inserções proximal da cabeça medial do músculo gastrocnêmio e distal do músculo semimembráceo .....	73
Figura 47.	Imagem tridimensional oblíqua do compartimento póstero-medial do joelho humano em extensão. É possível identificar as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial, além do ligamento oblíquo posterior do joelho .....	74
Figura 48.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar o ligamento oblíquo posterior e as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial .....	75
Figura 49.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar o ligamento oblíquo posterior e as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial .....	76

Figura 50.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial.....	77
Figura 51.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial.....	78
Figura 52.	Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar os ramos da artéria inferior medial do joelho e sua relação com o ligamento colateral tibial do joelho .....	79
Figura 53.	Imagem lateral de uma cânula artroscópica.....	116
Figura 54.	Imagem tridimensional oblíqua de uma cânula utilizada em procedimento artroscópico no ombro .....	117
Figura 55.	Imagem tridimensional oblíqua de uma óptica utilizada para visualização artroscópica do joelho .....	118
Figura 56.	Imagem tridimensional da barra deslizante utilizada para realizar os dois registros fotográficos capazes de simular a visão humana. Ao se fixar a máquina fotográfica a esta barra, é possível deslizá-la, mensurando o seu deslocamento .....	119

- Figura 57. Imagem tridimensional de um corte sagital do tornozelo humano com 90° de flexão. É possível visualizar os tendões e ligamentos presentes e a riqueza de detalhes na transição destas estruturas com os ossos do pé.....120
- Figura 58. Imagem tridimensional de um corte sagital do tornozelo humano em extensão. É possível identificar as mesmas estruturas da figura anterior, porém com a articulação em uma posição diferente, permitindo correlacionar as características da estrutura com a posição em que a articulação se encontra.....121
- Figura 59. Imagem tridimensional de um corte coronal da região proximal e diafisária do fêmur humano. É possível identificar o efeito tridimensional no osso sem nenhuma outra estrutura musculoesquelética presente.....122
- Figura 60. Imagem tridimensional do osso da pelve humana. Os espaços vazios criados pela própria estrutura óssea de ísquio e púbis favorecem a sensação de profundidade ao se aplicar a técnica anaglífica .....123

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### ACRÔNIMOS CIENTÍFICOS, SÍMBOLOS E UNIDADES DE MEDIDA

<b>3D</b>	Tridimensional
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CEP</b>	Comitê de Ética em Pesquisa
<b>CPM</b>	Compartimento póstero-medial
<b>CPL</b>	Compartimento póstero-lateral
<i>et al.</i>	<i>et alii</i> (e colaboradores)
<b>FAPESP</b>	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
<b>LCA</b>	Ligamento cruzado anterior
<b>LCF</b>	Ligamento colateral fibular
<b>LCP</b>	Ligamento cruzado posterior
<b>LCT</b>	Ligamento colateral tibial
<b>LILACS</b>	Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde
<b>LOP</b>	Ligamento oblíquo posterior
<b>MEDLINE</b>	<i>Medical Literature Analysis and Retrieval System Online</i>
®	Marca registrada
<b>RF</b>	Músculo reto femoral
<b>SLR</b>	Single Lens Reflex
<b>UNIFESP</b>	Universidade Federal de São Paulo
<b>VI</b>	Músculo vasto intermédio
<b>VL</b>	Músculo vasto lateral
<b>VM</b>	Músculo vasto medial

<b>VML</b>	Músculo vasto médio lateral
<b>VMO</b>	Músculo vasto médio obliquo



## RESUMO

**Introdução:** A possibilidade de vivenciar os registros impressos com as mesmas características que visualizamos no dia a dia fez com que técnicas de construção de imagens com efeito tridimensional fossem desenvolvidas ao longo dos anos. Poucos estudos referentes à aplicação dessas técnicas na área da saúde foram citados na literatura. Entre eles, nenhum utiliza a técnica para o estudo da anatomia musculoesquelética. **Objetivo:** Aplicar a técnica anaglífica de construção e visualização tridimensional das principais estruturas musculoesqueléticas dissecadas do joelho humano. **Métodos:** Foram dissecados 20 joelhos humanos de cadáver para identificação das principais estruturas desta articulação. O joelho foi dividido em cinco regiões para facilitar a compreensão anatômica. Com auxílio de máquina fotográfica fixada a uma barra deslizante, foram realizados dois registros fotográficos da mesma estrutura por ângulos diferentes com o intuito de simular a visão dos olhos direito e esquerdo humanos. Com auxílio de *software*, as imagens foram polarizadas e sobrepostas. É necessário utilizar óculos polarizados próprios para visualizar a estrutura anatômica com o efeito tridimensional. **Resultados:** Após dissecação e aplicação da técnica anaglífica, foi obtida uma coleção de imagens tridimensionais das principais estruturas do joelho. As imagens foram agrupadas em cinco grupos: ligamento cruzado anterior, ligamento cruzado posterior, mecanismo extensor, compartimento póstero-lateral e compartimento póstero-medial do joelho. **Conclusão:** As imagens anatômicas dissecadas das principais estruturas musculoesqueléticas e vasculares do joelho humano podem ser visualizadas com efeito tridimensional quando aplicada a elas a técnica anaglífica.

## **1. INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

Vivemos em um mundo tridimensional com documentação de dados e imagem em duas dimensões. Existe uma discrepância entre o que enxergamos e a abstração mental necessária para compreender o que armazenamos. A possibilidade de vivenciar os registros impressos com as mesmas características e impressão daquela visualizada no dia a dia fez com que técnicas de visualização de imagens com efeito tridimensional fossem desenvolvidas ao longo dos anos. A técnica de visualização de imagens impressas ou projetadas com efeito tridimensional é denominada estereoscópica. Esta parece ser uma opção para um entendimento com maior grau de definição daquilo que documentamos e registramos no papel ou computador (RIBAS *et al.*, 2001; LEHMANN *et al.*, 2008).

A técnica de imagem estereoscópica é antiga. Durante os momentos de maior euforia do seu uso, esbarrou-se nas limitações tecnológicas que tornavam sua produção difícil e com recursos limitados. Com o advento da informática, de novas máquinas fotográficas e de filmagem com recursos digitais e das lentes de maior alcance, a melhora da confecção tridimensional proporcionou aumento exponencial em seu uso (FERWERDA, 1990; FRASER *et al.*, 2009).

Poucos estudos referentes à aplicação dessa técnica na área médica são citados na literatura (TRELEASE, 1996; TRELEASE, 1998; RIBAS *et al.*, 2000; BENTO *et al.*, 2000; SENNES *et al.*, 2000; RIBAS *et al.*, 2001; MENESES *et al.*, 2002; RIBAS *et al.*, 2006; LEHMANN *et al.*, 2008). Entre eles, nenhum utiliza a técnica para o estudo da anatomia musculoesquelética. Compreender mais claramente as estruturas anatômicas, propiciando maior

didática favorece seu uso para o ensino médico. Com o conhecimento da técnica de confecção de uma imagem estereoscópica, é possível que novos estudos sejam realizados e diferentes especialidades ortopédicas consigam esclarecer detalhes que ainda não foram elucidadas a respeito da anatomia musculoesquelética do ser humano.

O estudo da anatomia musculoesquelética é essencial para o entendimento das patologias ortopédicas. Por meio do correto conhecimento e compreensão da estrutura básica que compõe as diferentes articulações do corpo humano, é que podemos tratá-la. Entender a anatomia fisiológica é fundamental para a aplicação de uma determinada técnica cirúrgica designada para o tratamento de determinada patologia. Muitas vezes, a dificuldade do cirurgião se dá por falta de conhecimento anatômico, e a aplicação de técnicas tridimensionais para a visualização dessas estruturas pode favorecer o seu melhor conhecimento e planejamento cirúrgico. Com o advento e popularização das técnicas de visualização tridimensional, as dificuldades na compreensão anatômica e cirúrgica de diversas regiões do corpo humano como o joelho devem diminuir, à medida que essa ferramenta, tão bem explorada por diversos meios de comunicações, avance no campo médico (RIBAS *et al.*, 2001; MENESES *et al.*, 2002).

O joelho é uma articulação sinovial do tipo gínglimo, mas que permite seis graus de movimento diferentes e é formado pelos ossos fêmur, patela e tíbia. O ligamento cruzado anterior (LCA), o ligamento cruzado posterior (LCP), o ligamento colateral fibular (LCF) e o ligamento colateral tibial (LCT) são importantes estruturas estabilizadoras do joelho. Os meniscos são responsáveis por algumas importantes funções do joelho: lubrificação, estabilidade articular, nutrição e absorção do impacto ósseo sobre a

cartilagem. Os músculos da coxa e perna são diretamente responsáveis pelos movimentos realizados pelo joelho. Todas essas estruturas atuam juntas para o correto funcionamento do mesmo. Desta forma, optou-se por estudar a aplicação da técnica anaglífica para visualização tridimensional da anatomia musculoesquelética do joelho (COHEN *et al.*, 2011a; COHEN *et al.*, 2011b; ASTUR *et al.*, 2011; ASTUR *et al.*, 2012; ARLIANI *et al.*, 2012).

## **2. OBJETIVO**

## **2. OBJETIVO**

Aplicar a técnica anaglífica de construção e visualização tridimensional das principais estruturas musculoesqueléticas e vasculares dissecadas do joelho humano.

### **3. LITERATURA**



### 3. LITERATURA

TRELEASE (1996) relatou, em seu estudo, os benefícios obtidos com o avanço da informática para o desenvolvimento de programas de realidade virtual que permitam aos usuários perceber e interagir com objetos em um ambiente artificialmente tridimensional (3D). Os autores utilizaram-se dessa tecnologia para estudar o esqueleto humano, cada vez mais difícil e custoso para o estudo anatômico. Imagens do esqueleto humano foram registradas sob diferentes perspectivas (visão humana) e sobrepostas para a obtenção de um efeito estereoscópico. O resultado foi a obtenção de uma base de imagens tridimensionais do esqueleto humano que deu origem a um programa de interatividade multimídia 3D.

TRELEASE (1998), em estudo subsequente, aplicou a mesma técnica de visualização 3D de imagens anatômicas para estudo do tórax, abdômen, pelve, membro superior e membro inferior do corpo humano. A sobreposição das imagens permitiu a aplicação do efeito 3D com auxílio de programas de computador. Foi realizada narração com áudio de cada estrutura anatômica dissecada e mostrada nas imagens estereoscópicas, favorecendo a utilização da técnica para ensino e pesquisa.

RIBAS *et al.* (2000) apresentaram as noções básicas e os principais métodos de reprodução de imagens 3D. O método mais simples e mais bem difundido é denominado anaglífico, que consiste na sobreposição de duas imagens de uma mesma estrutura, simulando a visão do olho direito e esquerdo, polarizadas com auxílio de programa de computador. Com auxílio de óculos com lentes polarizadas, é possível visualizar imagens 3D. Os autores concluíram que o campo de aplicação de imagens

estereoscópicas é enorme em diversas áreas da comunicação e a sua produção em larga escala pode ser uma ferramenta de ensino que auxilie na nossa capacidade de lidar com a tridimensionalidade de maneira geral.

BENTO *et al.* (2000) descreveram a anatomia cirúrgica do osso temporal por meio de imagens 3D obtidas pela aplicação de técnica anaglífica. Os autores concluíram que o osso temporal humano, por sua complexidade cirúrgica inerente, é uma das estruturas cujo ensino específico da anatomia mais se beneficiou com o desenvolvimento da técnica de imagens 3D.

SENNES *et al.* (2000) descreveram a anatomia da laringe através de imagens 3D obtidas pela aplicação de técnica anaglífica. Os autores concluíram que esse órgão é pouco conhecido anatomicamente por ter seu estudo limitado ao cadáver, dificultando o aprendizado do aluno da área da saúde e até mesmo do especialista. Desta forma, a possibilidade de registrar esse órgão tridimensionalmente favoreceu o ensino e sua documentação.

RIBAS *et al.* (2001) descreveram o método anaglífico de aquisição de imagens anatômicas 3D do cérebro humano para impressão e ensinamento cirúrgico utilizando máquinas fotográficas de uso comum e programas de computador de fácil acesso. Através do uso de uma barra deslizante, foi possível a aquisição de duas imagens da mesma estrutura sob a perspectiva da visão obtida pelo olho direito e pelo olho esquerdo com uma única máquina fotográfica. As imagens obtidas mostram: a possibilidade de uso da técnica para obtenção de imagens macroscópicas do cérebro humano e a relação entre as estruturas identificadas, imagens microscópicas aplicando a mesma técnica na lente do aparelho de microscopia, o registro passo a passo de um procedimento cirúrgico com aspecto 3D e a possibilidade de aplicar a técnica com duas câmeras iguais, posicionadas corretamente, a fim de

simular a visão humana. Desta forma, as duas imagens são obtidas sem a necessidade de manipular a câmera fotográfica. Os autores concluem que, além de fornecer imagens atrativas e elegantes, a impressão de imagens 3D permitem um senso de realismo para o ensino médico, principalmente para cirurgiões e radiologistas. Isso porque as imagens enfatizam a distribuição espacial que caracteriza a real anatomia.

MENESES *et al.* (2002) estudaram a utilização de imagens 3D da anatomia do sistema nervoso do ser humano. Destacaram a importância de se obter uma variedade maior de material didático no ensino médico. A dificuldade na obtenção de peças anatômicas e a toxicidade causada pelos conservantes, como o formol, estimula o aparecimento de novos meios de demonstração da anatomia humana. Os autores apresentaram a utilização de imagens 3D como solução para a maior acessibilidade ao aprendizado da anatomia humana. No estudo, compararam duas técnicas que podem ser aplicadas para a obtenção de imagens estereoscópicas: o método anaglífico e o de luz polarizada. As duas técnicas necessitam de duas imagens de cada objeto, uma que corresponde à visão do olho direito e a outra, do esquerdo. A técnica anaglífica utiliza como meio de codificação cores básicas, na maioria das vezes o vermelho e o azul. Cada uma das imagens é polarizada com um filtro dessas cores e, com auxílio de óculos especiais com lentes dessas mesmas cores, obtém-se a imagem 3D. Na técnica de polarização, uma das imagens é polarizada na vertical (90°) e a outra na horizontal (0°). O aspecto final também é obtido com auxílio de óculos polarizantes. Foram avaliados encéfalos completos e medulas espinhais de humanos adultos segundo a nitidez e o efeito 3D. O estudo concluiu que as duas técnicas são capazes de gerar efeito 3D, porém, a melhor técnica em termos de

qualidade final da imagem foi a de polarização, que não altera a coloração natural da peça anatômica, e mantém os traços nítidos.

SHIMIZU *et al.* (2006) descreveram o processo de confecção de imagens 3D de estruturas dissecadas do crânio. Foi injetado silicone colorido nos vasos principais para avaliação da vascularização cerebral. Os autores concluíram que a aplicação do método é benéfica como ferramenta de ensino e para aprimoramento dos conhecimentos anatômicos.

RIBAS *et al.* (2006) descreveram os mecanismos oculares e neurais envolvidos com a visão 3D e suas diferentes técnicas de aplicação, impressão, projeção e visualização em monitores próprios para imagens estereoscópicas. Através da aplicação das técnicas anaglífica para impressão e técnica polarizada para projeção, foi desenvolvido material didático estereoscópico da anatomia do sistema nervoso humano.

LEHMANN *et al.* (2008) utilizaram a técnica estereoscópica para auxiliar no diagnóstico de patologias oftalmológicas. Os autores compararam imagens em duas dimensões e em três dimensões do nervo óptico. O exame clínico do nervo óptico é uma das principais maneiras de diagnosticar o glaucoma. Vinte e dois médicos oftalmologistas compararam e avaliaram de forma qualitativa e semiquantitativa as imagens obtidas. A imagem 3D foi confeccionada utilizando-se a técnica de luz polarizada. A técnica baseia-se na sobreposição de duas imagens da mesma estrutura com auxílio de um *software* capaz de simular a imagem correspondente ao olho direito e a imagem correspondente ao olho esquerdo. Todos os observadores foram capazes de identificar melhor as alterações no nervo óptico visualizando as imagens 3D quando comparadas às imagens bidimensionais. Além disso, as mensurações obtidas em imagens 3D foram mais próximas dos valores considerados normais quando comparadas às

imagens bidimensionais. O estudo concluiu que o uso da imagem 3D pode favorecer o melhor diagnóstico do glaucoma nos pacientes avaliados.

COHEN *et al.* (2011b) descreveram, em seu estudo, a técnica anaglífica de visualização de imagens 3D para a aplicação em peças anatômicas musculoesqueléticas. É possível observar o resultado obtido com o uso da técnica no joelho, tornozelo e bacia humana. Como conclusão, enfatizam o poder de uso da técnica como uma nova ferramenta de ensino, principalmente quando da produção em larga escala.

COHEN *et al.* (2011a) descreveram, a partir da descrição da técnica anaglífica para obtenção de imagens 3D musculoesqueléticas, as principais estruturas do compartimento póstero-medial do joelho humano. Dissecaram e identificaram os principais músculos e ligamentos dessa região. Através do preenchimento do canal arterial com silicone e corante nas cores vermelha e preta, aplicaram a mesma técnica 3D para estudo da vascularização do compartimento póstero-medial do joelho. Concluíram que a visualização 3D dessa região do joelho pode favorecer o entendimento da anatomia cirúrgica, já que a região é pouco abordada e ainda pouco esclarecida pela literatura.

ASTUR *et al.* (2011) utilizaram a mesma técnica anaglífica para aquisição de imagens 3D do aparelho extensor do joelho humano. O aparelho extensor é complexo e formado principalmente pelo músculo quadríceps femoral, patela e ligamento da patela. A dissecação anatômica e aplicação da técnica anaglífica dessas estruturas permitiram a realização de imagens 3D específicas dessa região. Como conclusão, os autores destacaram o potencial uso da técnica em treinamento de procedimentos cirúrgicos e realização de imagens ainda mais reais em exames diagnósticos.

ASTUR *et al.* (2012) descreveram a anatomia do compartimento póstero-lateral do joelho humano através de fotografias 3D de suas principais estruturas. Optaram pela técnica anaglífica para tal propósito. Descreveram e identificaram as principais camadas do compartimento póstero-lateral do joelho, a relação entre estas estruturas e a anatomia vascular desta região. Como conclusão, os autores enfatizam a possibilidade de correlacionar duas estruturas de uma mesma região de maneira mais realista e rica em detalhes quando vistas tridimensionalmente.

ARLIANI *et al.* (2012) descreveram as características do ligamento cruzado anterior sob a perspectiva de uma imagem 3D. Com a utilização da técnica anaglífica, dissecaram o joelho humano e observaram as diferentes características do ligamento. A conclusão do estudo destacou a utilidade da técnica no maior entendimento da anatomia ligamentar, sugerindo ainda a possibilidade de avanços cirúrgicos na reconstrução do ligamento com o seu uso.

## **4. MÉTODOS**

## 4. MÉTODOS

O estudo foi realizado no Departamento de Ortopedia e Traumatologia e Departamento de Anatomia da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) com participação do Departamento de Anatomia da Universidade de Barcelona.

### 4.1. Desenho de pesquisa

Este foi um estudo multicêntrico, primário, de pesquisa experimental em joelhos de cadáver.

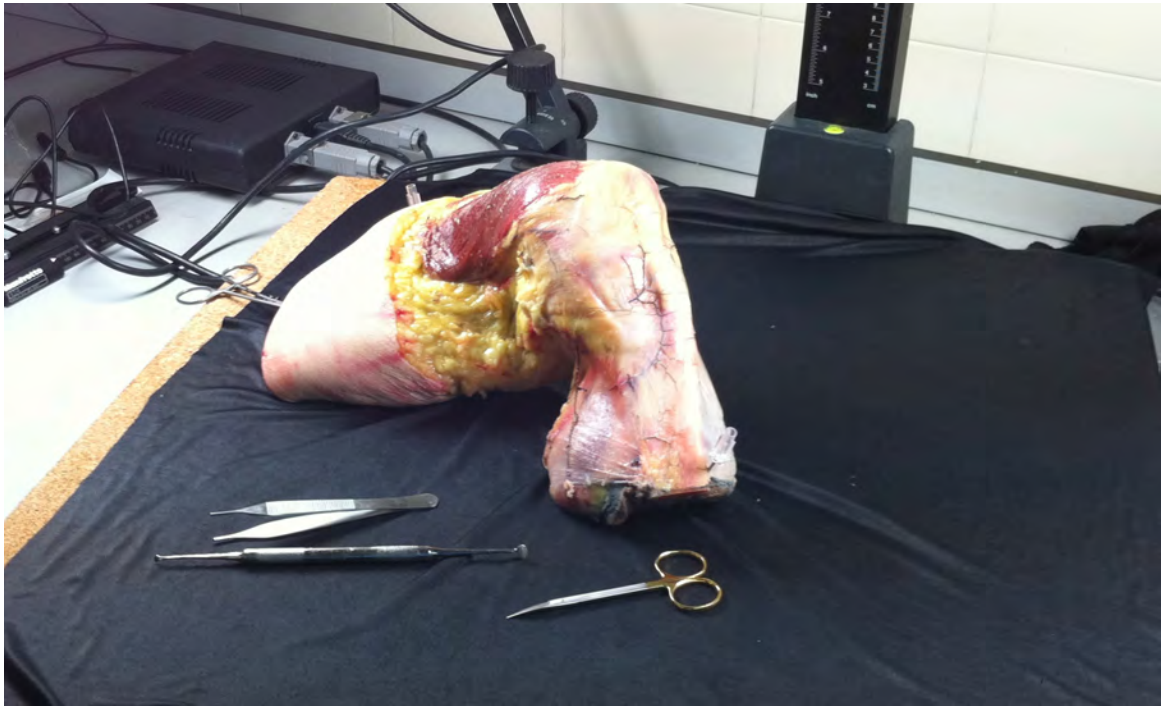
Este estudo foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNIFESP, sob número de protocolo 1801/10 (Anexo 1).

### 4.2. Amostra

A amostra foi composta por 20 joelhos humanos de cadáver, sem distinção de etnia ou gênero, com idade entre 18 e 45 anos. As peças prontas dos joelhos, da extremidade distal do fêmur à extremidade proximal da tíbia (Figura 1), eram provenientes de cadáveres do Departamento de Anatomia da UNIFESP (quatro cadáveres doados ou de indigentes) e do Departamento de Anatomia da Universidade de Barcelona



(seis cadáveres de doações; Anexo 2). As etapas de dissecação e registro fotográfico das estruturas identificadas ocorreram nos laboratórios desses departamentos. Todo material necessário para dissecação das amostras foi disponibilizado pelos respectivos departamentos.



**Figura 1.** Exemplo de joelho dissecado para realização de imagens tridimensionais.

Os critérios de inclusão para os joelhos disponibilizados foram: fisiologia preservada de todas as estruturas do joelho; joelhos com maturidade esquelética completa (idade superior a 18 anos), sem sinais de processo degenerativo (idade inferior a 45 anos) e em bom estado de conservação. Os critérios de não inclusão foram: joelhos com idade inferior a 18 anos e superior a 45 anos e aqueles que se encontravam em mau estado de conservação. Os critérios de exclusão foram: presença de

alterações anatômicas de qualquer estrutura do sistema musculoesquelético ou vascular presentes no joelho.

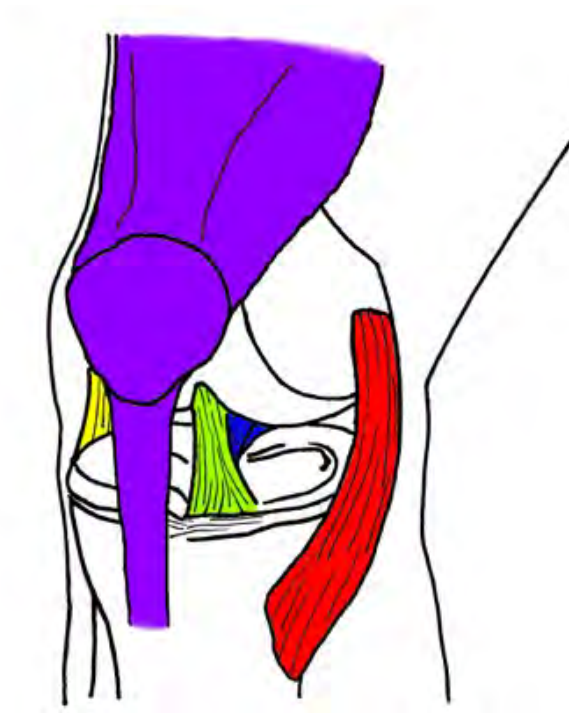
### **4.3. Procedimentos**

Após estudo piloto com fotografias e aplicação da técnica anaglífica em instrumentais e peças anatômicas de outras regiões musculoesqueléticas do corpo humano (Apêndices), o estudo foi dividido em três etapas

1. dissecação anatômica dos joelhos dos cadáveres incluídos no estudo;
2. registro fotográfico das estruturas estudadas nos joelhos de acordo com a perspectiva do olho direito e olho esquerdo humano;
3. aplicação da técnica anaglífica para visualização tridimensional (3D) de cada estrutura estudada.

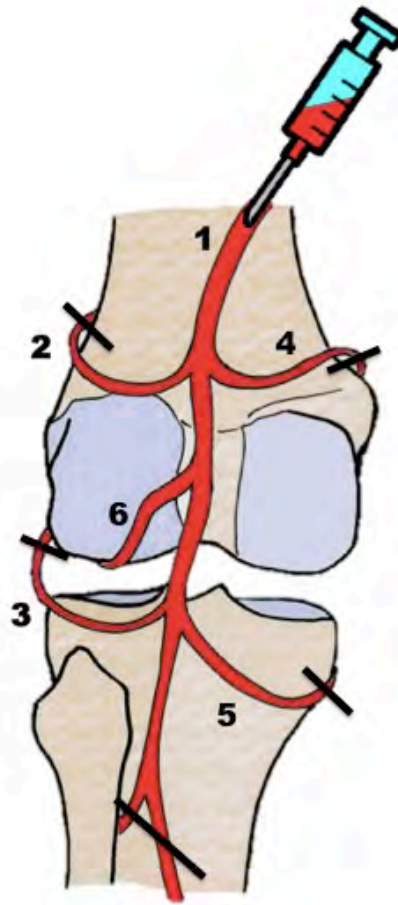
### 4.3.1. Dissecção anatômica

Os joelhos foram virtualmente divididos em cinco regiões principais para dissecção e registro fotográfico: ligamento cruzado anterior (LCA), ligamento cruzado posterior (LCP), aparelho extensor do joelho, compartimento póstero-lateral (CPL) e compartimento póstero-medial (CPM) (Figura 2). Cada uma das regiões dissecadas foi abordada com ênfase nas estruturas do sistema musculoesquelético e vascular.



**Figura 2.** Desenho representativo das cinco regiões definidas para o estudo das principais estruturas do joelho humano. Em verde, o ligamento cruzado anterior; em azul, o ligamento cruzado posterior; em roxo, o mecanismo extensor do joelho; em amarelo, o compartimento póstero-lateral do joelho; e em vermelho, o compartimento póstero-medial do joelho.

As estruturas do sistema musculoesquelético do joelho foram dissecadas e registradas isoladamente ou através da avaliação da relação entre as estruturas próximas e que se correlacionam em relação a função e abordagem cirúrgica. Foi realizada ainda a oclusão de todas as artérias periféricas do joelho com fio de algodão 00, com exceção da extremidade proximal da artéria poplítea. Desta forma, foi possível a injeção de um contraste capaz de preencher o espaço arterial para melhor visualização e entendimento do trajeto arterial e sua relação com as estruturas do sistema musculoesquelético do joelho estudado (Figura 3). O líquido injetado na extremidade da artéria poplítea livre era composto por silicone líquido branco não transparente, adicionado de corante líquido à base de água nas cores vermelha ou preta e catalisador para agilizar o enrijecimento do composto quando dentro do canal arterial (Figura 4).



**Figura 3.** Desenho ilustrativo da vascularização do joelho. Pode-se identificar a artéria poplítea (1) e seus principais ramos: artéria superior lateral (2), artéria inferior lateral (3), artéria superior medial (4), artéria inferior medial (5) e artéria média do joelho (6). A linha na cor preta representa a oclusão da extremidade distal desses ramos, e a seringa, na extremidade proximal da artéria poplítea, representa a inserção do silicone com corante vermelho para preenchimento do espaço arterial.



**Figura 4.** Silicone líquido não transparente na cor branca utilizada para preencher o canal arterial do joelho.

#### ***4.3.2. Registro fotográfico***

Para o registro fotográfico das estruturas dissecadas do joelho, foi necessária a utilização de uma câmera fotográfica com visor *single-lens reflex* (SLR) com lentes objetivas para macrofotografias, tripé fotográfico e uma barra deslizante com marcação numérica em forma de régua milimetrada (Figura 5). A máquina fotográfica foi acoplada à barra deslizante e ao tripé fotográfico. Desta forma, foi possível movimentar a máquina fotográfica para a direita e para a esquerda sob uma mesma altura e distância da estrutura dissecada.



**Figura 5.** Instrumental eletrônico para fotografar e aplicar a técnica anaglífica nas estruturas dissecadas do joelho: barra deslizante (A), tripé fotográfico (B), câmera fotográfica acoplada à barra deslizante e ao tripé fotográfico (C), câmera fotográfica acoplada ao flash circular utilizado para iluminação necessária de pequenas estruturas (D).

Para obter o efeito 3D, foi preciso simular a visão humana, ou seja, sobrepor duas imagens de uma mesma estrutura visualizadas por pontos correspondentes à perspectiva da visão obtida pelo olho direito e à perspectiva da visão obtida pelo olho esquerdo. Para isso, duas regras precisaram ser seguidas: a distância entre as imagens registradas foi proporcional à distância entre as pupilas do ser humano, que varia entre 62

e 66 milímetros (mm), e à convergência entre as imagens, também existente entre os olhos humanos, para focalizar um determinado objeto.

Para cada estrutura registrada, a máquina fotográfica, fixada ao tripé e à barra deslizante, foi posicionada a uma distância que permitisse a visualização de toda área desejada do joelho para a imagem determinada. Foi mantida constante a distância e a altura entre a máquina fotográfica e a estrutura dissecada. A marcação milimétrica da barra deslizante foi posicionada em seu eixo central. Para o lado direito, a contagem foi hipoteticamente definida como positiva, e para o lado esquerdo a contagem foi negativa. A estrutura estudada foi focalizada com a máquina posicionada no ponto central da barra deslizante (marcação hipotética zero). Em seguida, a barra foi deslizada 31 mm para a direita (distância média do ponto médio entre as pupilas humanas e a pupila do olho direito). Foi realizada convergência suficiente para que a máquina fotográfica focalizasse a mesma estrutura definida na marcação zero, porém na nova posição. Esta foi a primeira imagem registrada, que simula a visão do olho direito. Para o registro da segunda imagem, a máquina fotográfica deve ser deslizada através da barra 31 mm para a esquerda a partir do ponto central (distância média do ponto médio entre as pupilas e a pupila do olho esquerdo). A mesma convergência necessária para focalizar a mesma estrutura previamente definida foi realizada, para que fosse obtida a imagem que simula a visão do olho esquerdo.

Para a realização da técnica descrita, foram utilizados os seguintes equipamentos eletrônicos: câmera fotográfica com visor SLR Nikon D90<sup>®</sup>, Otawara, Japão), lentes objetivas de macro fotografia (AF-S DX Nikkor 18-55 mm f/3.5-5.6G VR<sup>®</sup>, Otawara, Japão). Para imagens que necessitaram melhores condições de iluminação, foi acoplado *flash* circular (Sigma Electronic Flash Macro EM-140 DG<sup>®</sup>, Kanagawa Japão). Foram



utilizados ainda uma barra deslizante (Bogen/Manfrotto Micrometric Slide Bar<sup>®</sup>, Cassola, Itália) e um tripé fotográfico (190Cx Carbon Fibre Q90 3-section Tripod<sup>®</sup>, Cassola, Itália).

#### ***4.3.3. Técnica anaglífica***

A técnica utilizada para construção da imagem 3D foi a anaglífica. Na técnica anaglífica, o par de imagens da estrutura estudada deve ser tingido com um filtro polarizante com o auxílio de programa de computador Anabuilder 3D<sup>®</sup> (Didier Leboutte, Tailândia). As cores mais utilizadas para tingir as imagens são vermelha e azul (filtros polarizantes). Deve-se padronizar a imagem tingida de vermelho e a imagem tingida de azul. Optou-se por tingir a imagem correspondente ao olho esquerdo de vermelho e a imagem correspondente ao olho direito de azul. Da mesma forma, os óculos utilizados para visualizar a imagem deve seguir o mesmo padrão, ou seja, lente da esquerda vermelha e lente da direita azul (Figura 6).



**Figura 6.** Óculos com lentes polarizantes azul e vermelha utilizada para se obter o efeito tridimensional da estrutura dissecada.

Em seguida, com o mesmo *software* utilizado para polarizar as imagens, é realizada a sobreposição das imagens. Com as imagens sobrepostas, é possível perceber o efeito 3D ao colocar os óculos polarizados. Impressão em alta resolução permite o registro no papel da imagem 3D.

## **5. RESULTADOS**

## 5. RESULTADOS

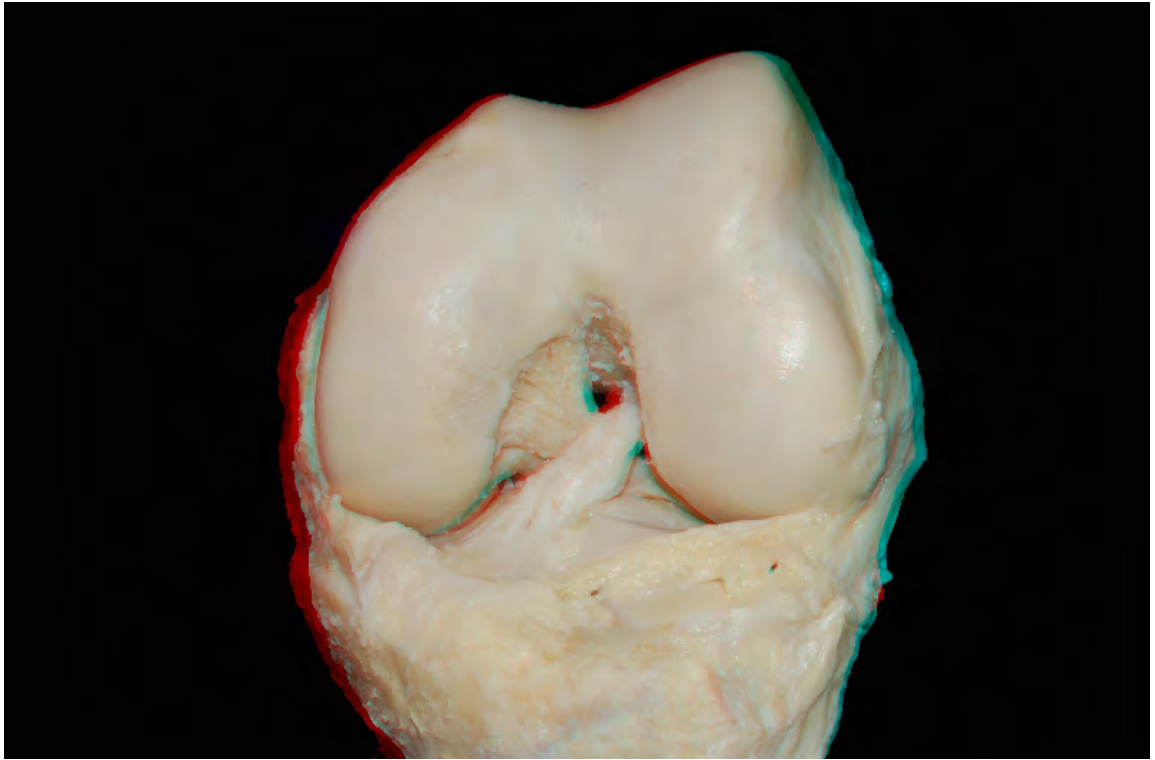
Foram identificadas as principais estruturas do joelho de 10 cadáveres (20 joelhos). Para cada estrutura identificada, foi confeccionada uma imagem tridimensional com a técnica anaglífica. Para aprimorar a técnica, inicialmente foram obtidas imagens de instrumentais ortopédicos e de outras estruturas musculoesqueléticas do corpo humano.

As imagens com efeito tridimensional obtidas foram:

### 5.1. Ligamento cruzado anterior (LCA)

- Imagem frontal da área intercondilar anterior do joelho em flexão: LCA + ligamento cruzado posterior (LCP) (Figura 7);
- Imagem frontal da área intercondilar anterior do joelho em flexão com ressecção do LCP: LCA isolado com o joelho em flexão (Figura 8);
- Imagem frontal da área intercondilar anterior do joelho em flexão: ligamento mucoso (Figura 9);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em extensão: LCA + LCP (Figura 10);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em extensão com ressecção do LCP: LCA (Figura 11);
- Imagem do perfil do joelho em extensão com osteotomia do côndilo femoral lateral do joelho e ressecção do LCP: observada a direção do LCA (Figura 12);

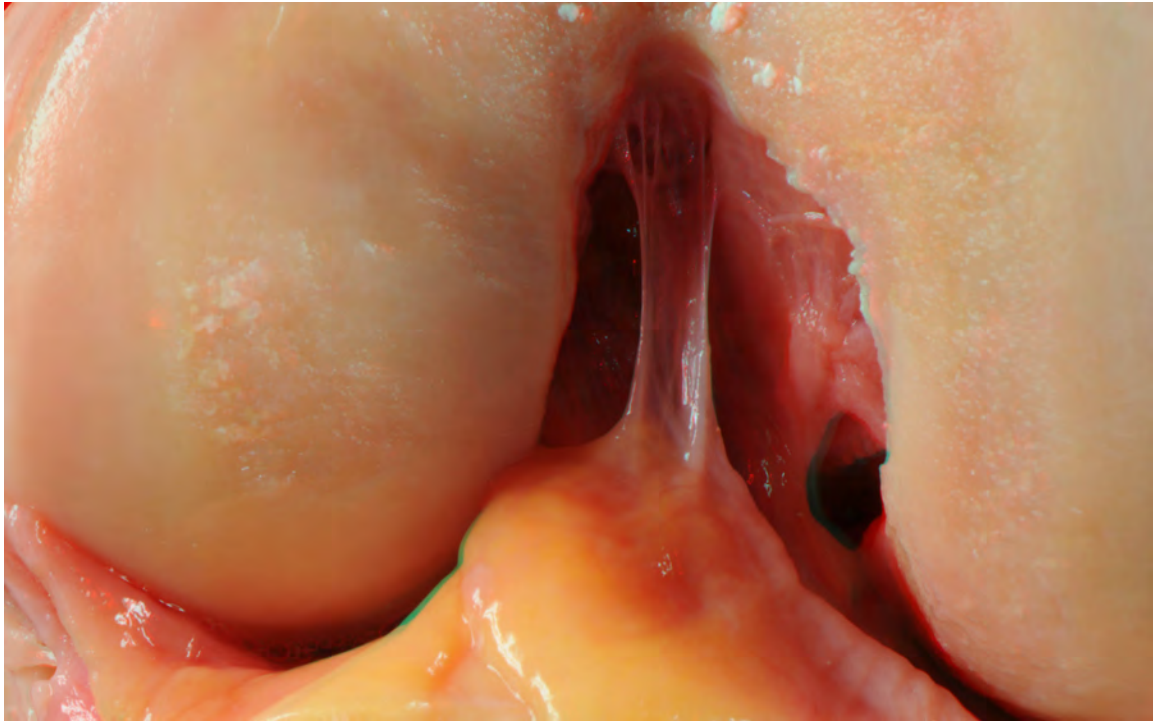
- Imagem do perfil do joelho em flexão com osteotomia do côndilo femoral lateral e ressecção do LCP: observada a direção do LCA (Figura 13);
- Imagem do perfil do joelho em flexão com osteotomia do côndilo femoral lateral e ressecção do LCP: feixes anteromedial e posterolateral do LCA (Figura 14);
- Imagem oblíqua do joelho em extensão com osteotomia do côndilo femoral lateral e ressecção do LCP: inserção femoral do LCA (Figura 15).



**Figura 7.** Imagem tridimensional frontal do joelho humano em flexão sem as estruturas musculares, valorizando o contorno ósseo dos côndilos femorais e, principalmente, os ligamentos cruzados anterior e posterior.

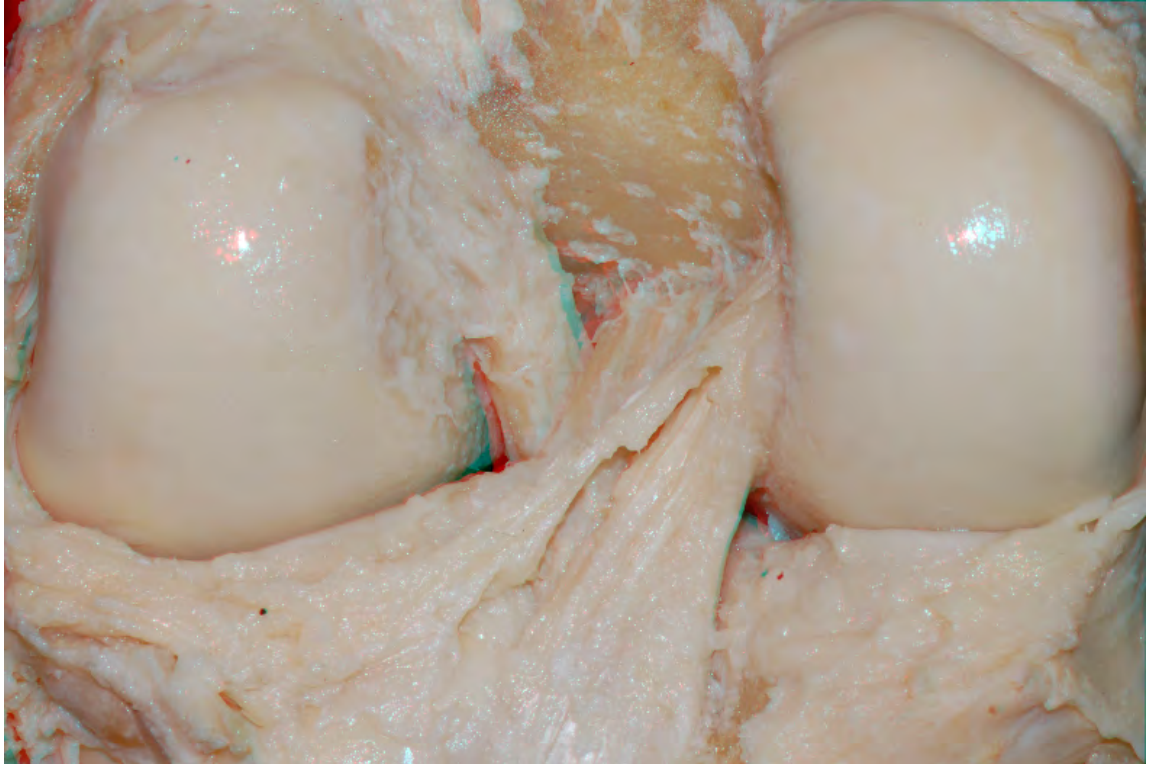


**Figura 8.** Imagem tridimensional aproximada do intercôndilo femoral do joelho em flexão com ressecção do ligamento cruzado posterior. É possível avaliar o trajeto do ligamento cruzado anterior.

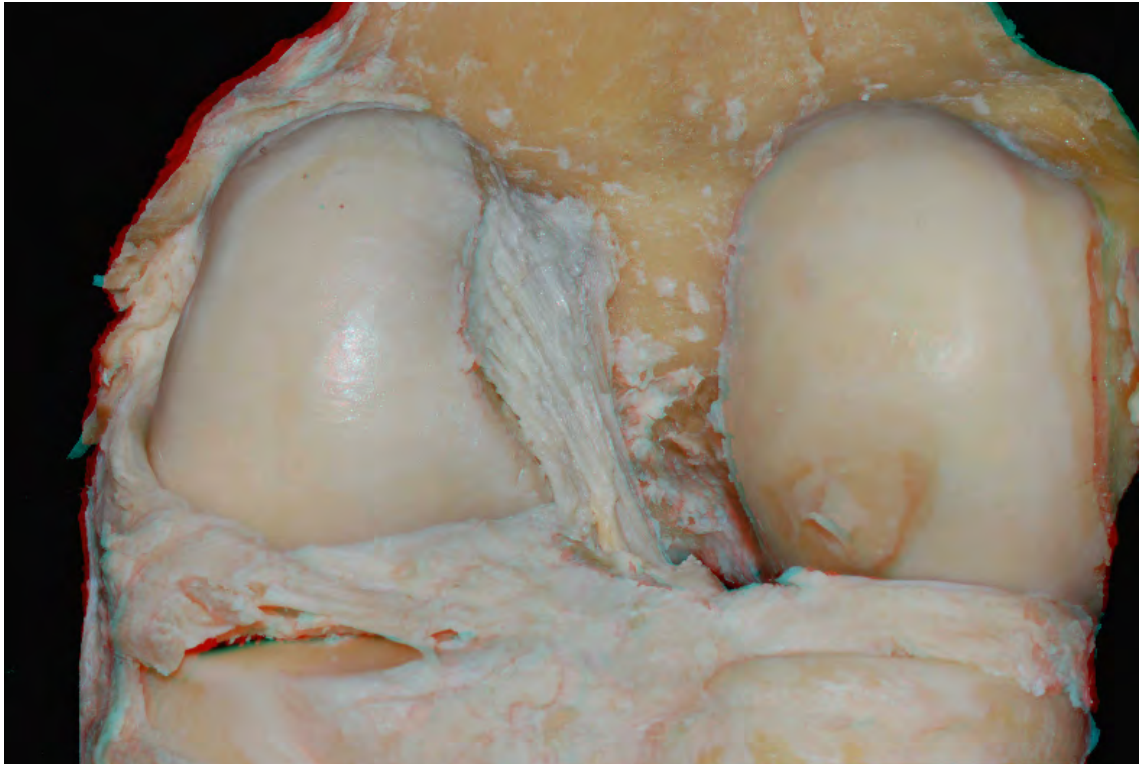


**Figura 9.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur com a preservação do ligamento mucoso, estrutura localizada anterior aos ligamentos cruzados, também descrita como uma prega sinovial infrapatelar.

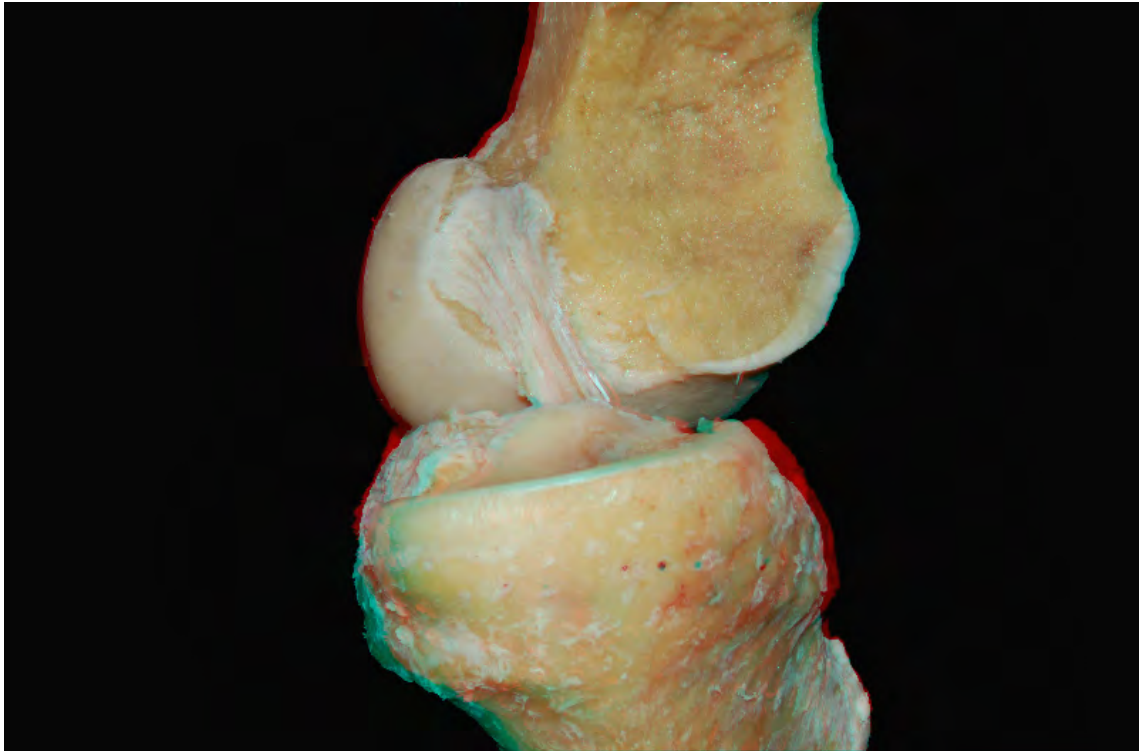




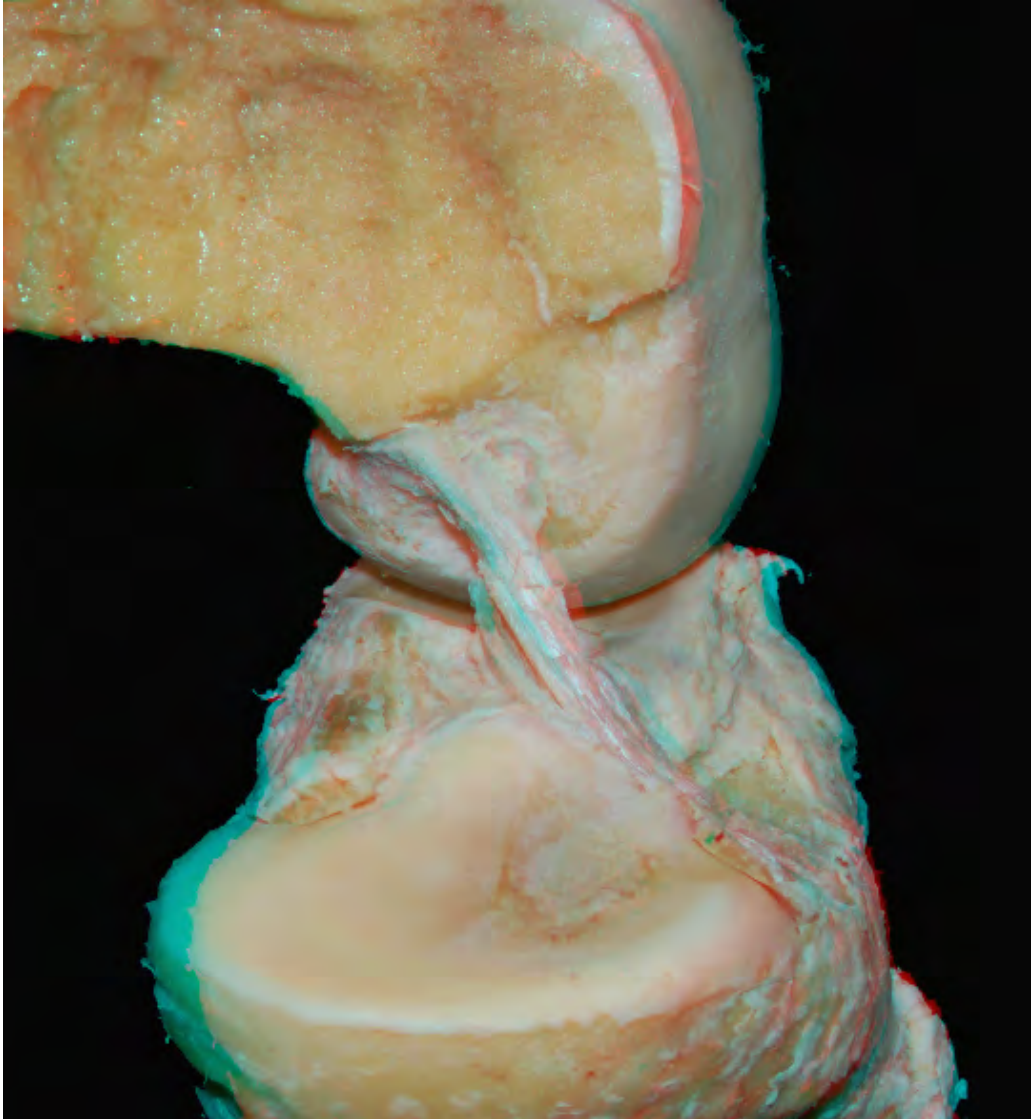
**Figura 10.** Imagem tridimensional da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar a inserção femoral do ligamento cruzado anterior e a inserção tibial do ligamento cruzado posterior.



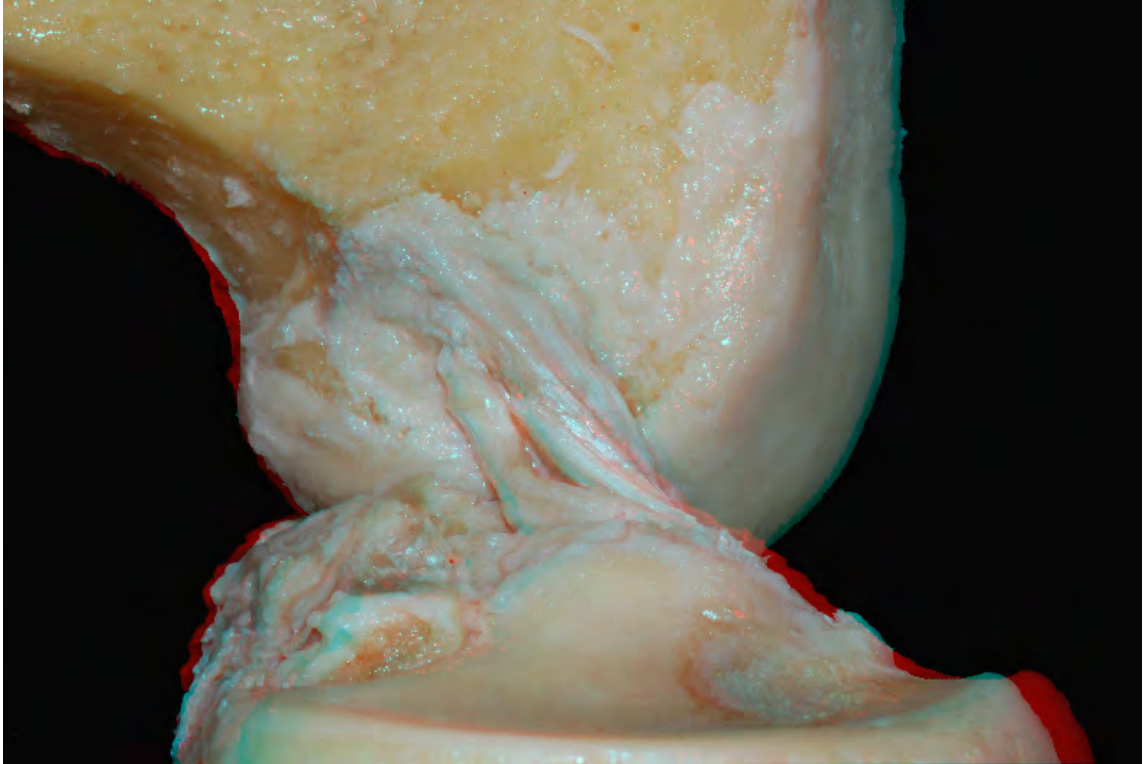
**Figura 11.** Imagem tridimensional da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão, com ressecção do ligamento cruzado posterior. É possível identificar a inserção femoral do ligamento cruzado anterior e a direção de suas fibras.



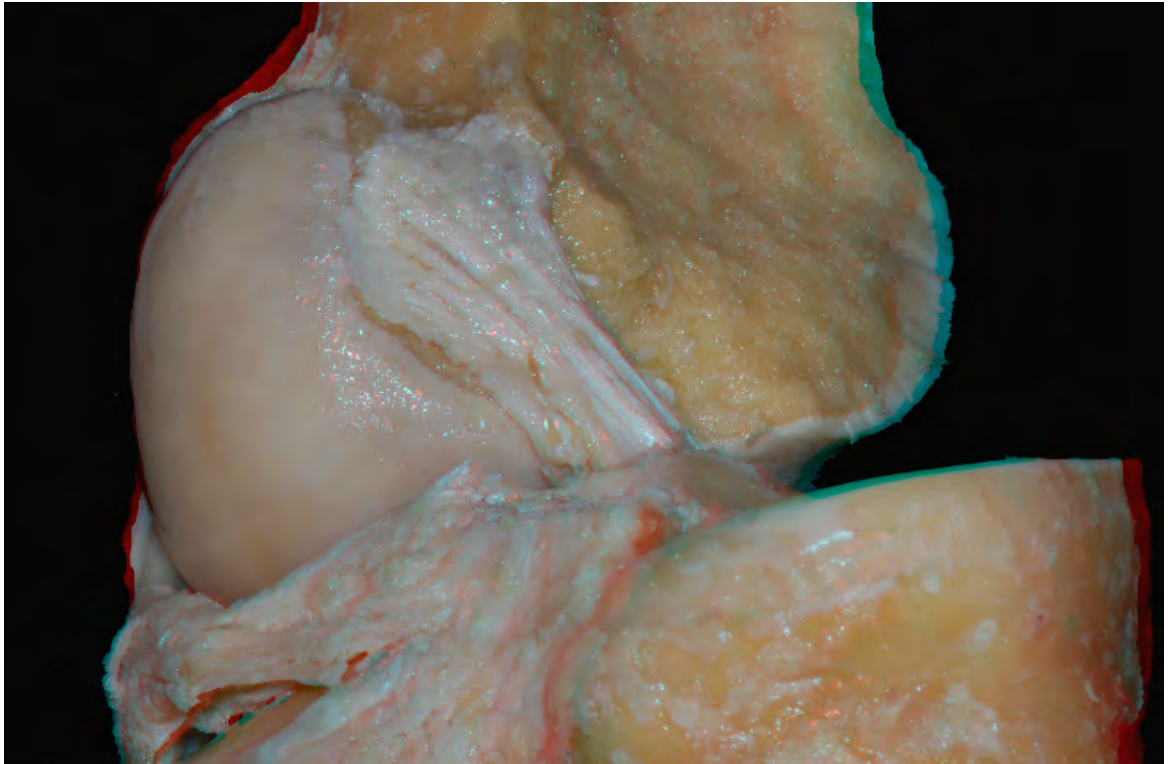
**Figura 12.** Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em extensão com ressecção do côndilo femoral lateral. Desta forma, é possível identificar todo o trajeto do ligamento cruzado anterior de perfil.



**Figura 13.** Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em flexão com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar a direção do ligamento cruzado anterior e a mudança de comportamento na tensão de suas fibras, quando comparada à imagem anterior, onde o joelho se encontra em extensão.



**Figura 14.** Imagem tridimensional do perfil de um joelho humano em flexão com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar os dois feixes que compõem o ligamento cruzado anterior: o feixe anteromedial e o feixe posterolateral.



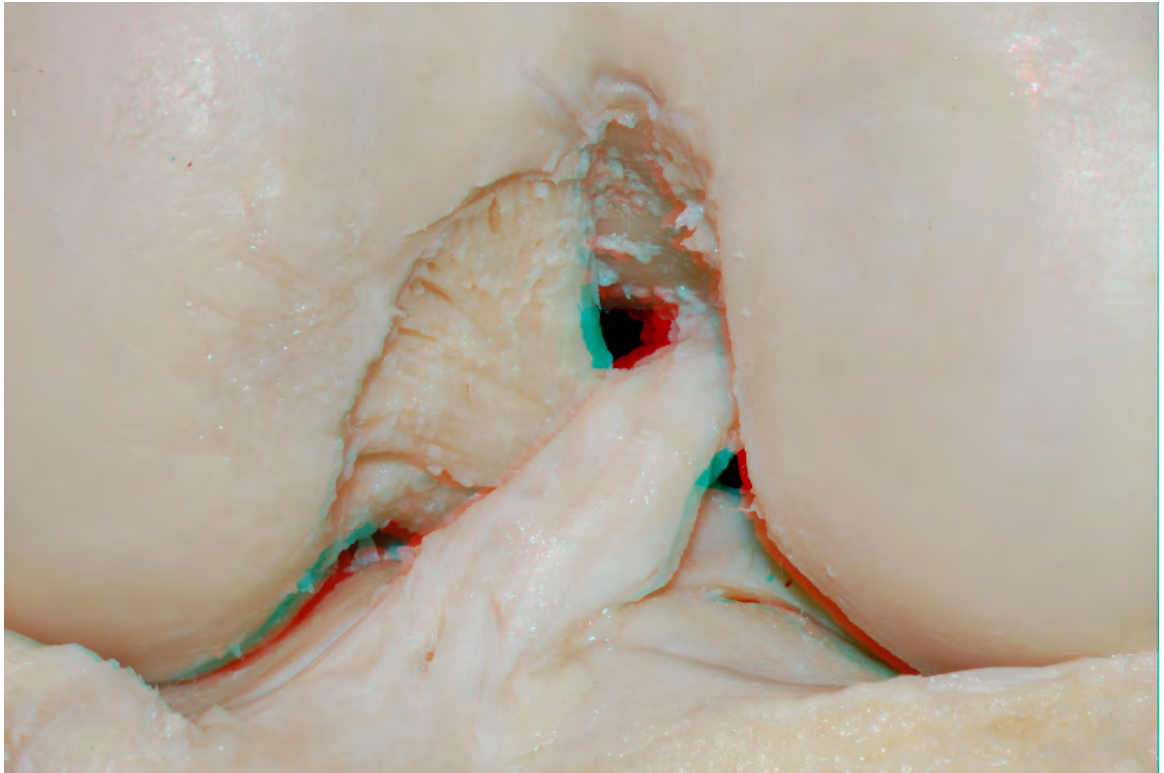
**Figura 15.** Imagem tridimensional oblíqua de um joelho humano com ressecção do côndilo femoral lateral. É possível identificar toda a área de inserção femoral do ligamento cruzado anterior.

## 5.2. Ligamento cruzado posterior

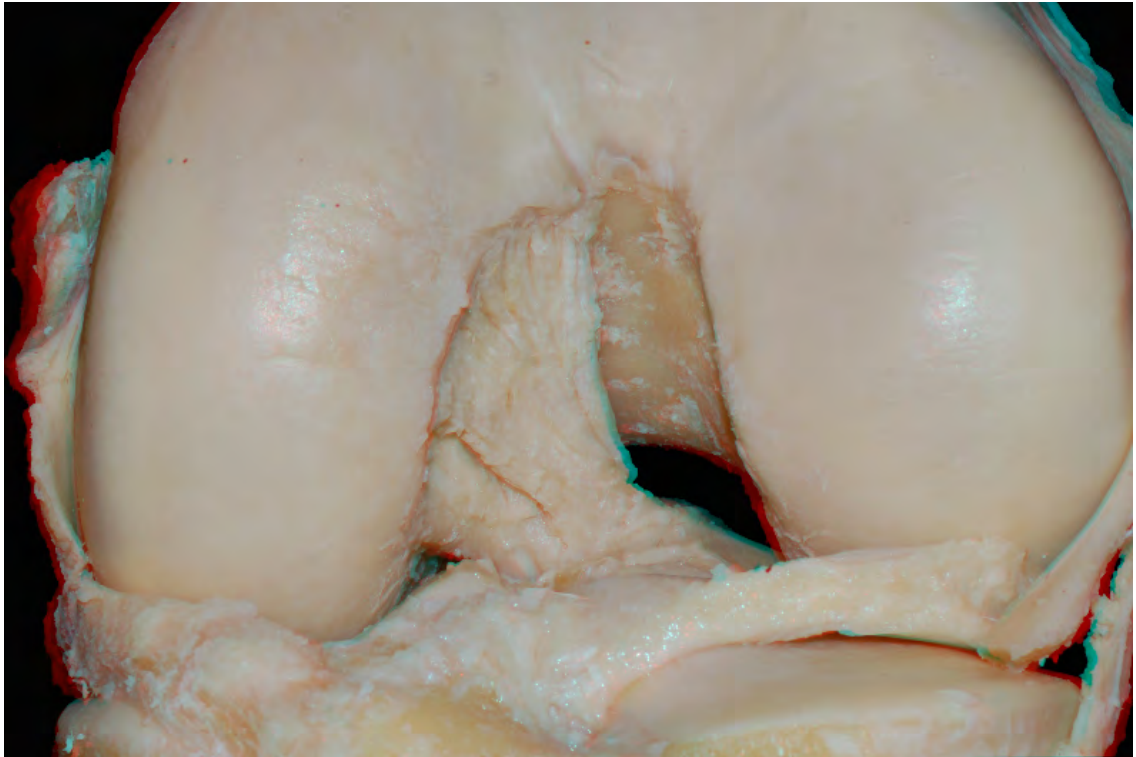
- Imagem da área intercondilar anterior do joelho em flexão: LCA + LCP (Figura 16);
- Imagem da área intercondilar anterior do joelho em flexão com ressecção do LCA: LCP (Figura 17);
- Imagem da área intercondilar anterior do joelho em extensão com ressecção do LCA: LCP (Figura 18);
- Imagem da área intercondilar anterior do joelho em flexão com ressecção do LCA: feixe anterolateral e feixe posteromedial do LCP (Figura 19);
- Imagem da área intercondilar anterior do joelho em flexão com ressecção do LCA: ligamento menisco-femoral posterior (de Humphrey) (Figura 20);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em extensão: LCA + LCP (Figura 21);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em extensão e ressecção do LCA: LCP (Figura 22);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em flexão: ligamento menisco-femoral posterior (de Wrisberg) (Figura 23);
- Imagem da área intercondilar posterior do joelho em extensão: ligamento menisco-femoral posterior (de Wrisberg) (Figura 24);
- Imagem posterior do joelho em extensão: septo posterior do joelho e ramos da artéria poplítea (Figura 25);
- Imagem oblíqua do joelho em extensão: septo posterior do joelho e ramos da artéria poplítea (Figura 26);

- Imagem posterior do joelho em extensão com ressecção do septo posterior: artéria média do joelho (Figura 27);
- Imagem oblíqua do joelho em extensão com ressecção do septo posterior: artéria poplítea e seus ramos do joelho (Figura 28);
- Imagem oblíqua do joelho em extensão: artéria poplítea e seus ramos do joelho (Figura 29).





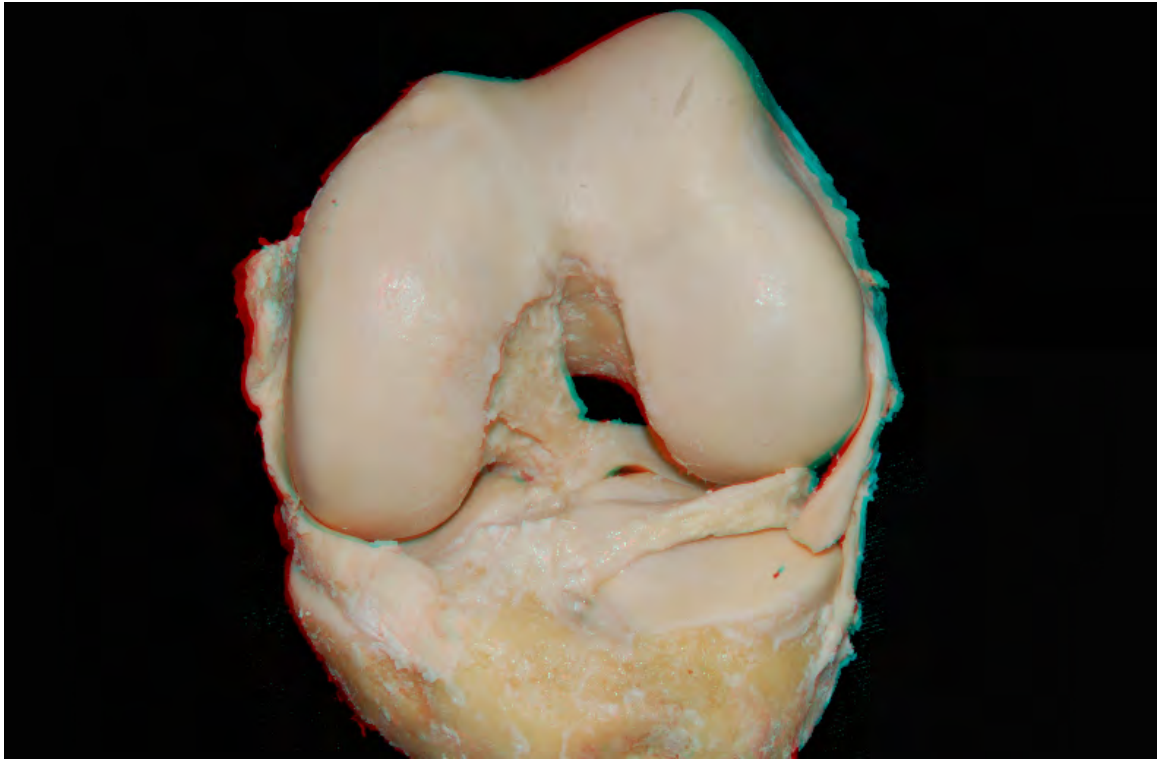
**Figura 16.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão. É possível identificar os ligamentos cruzados anterior e posterior.



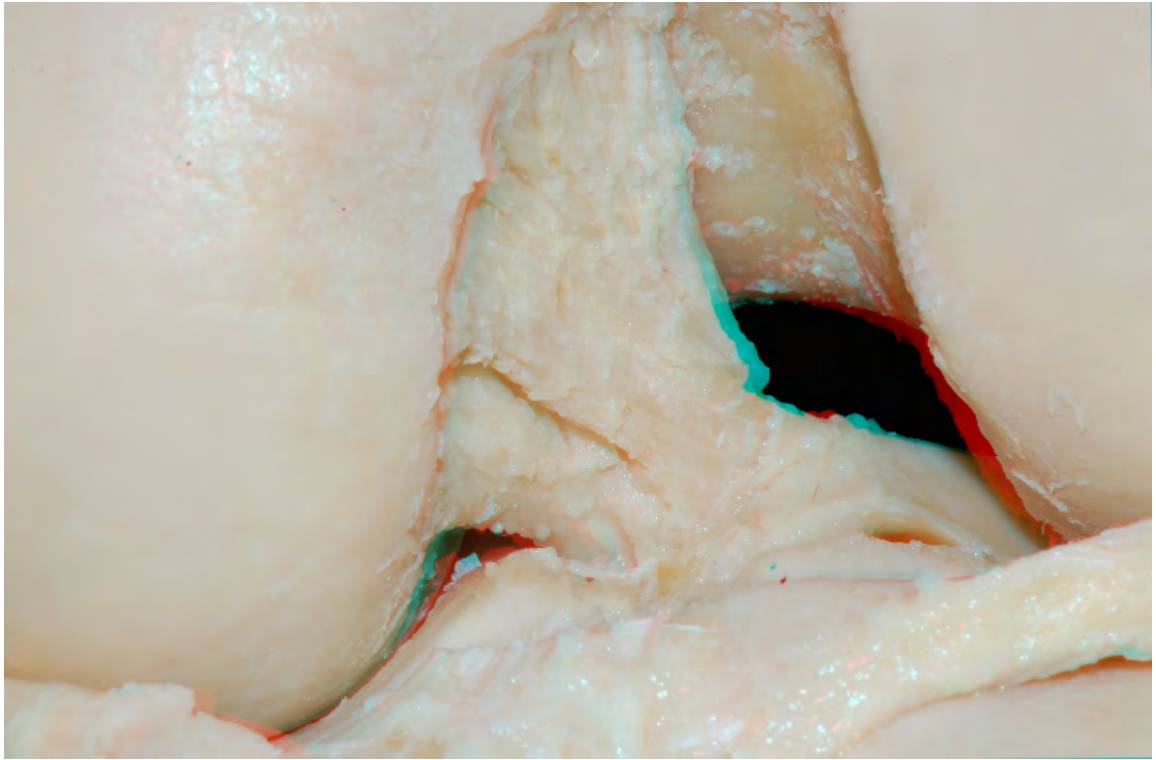
**Figura 17.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar a inserção femoral e o trajeto do ligamento cruzado posterior.



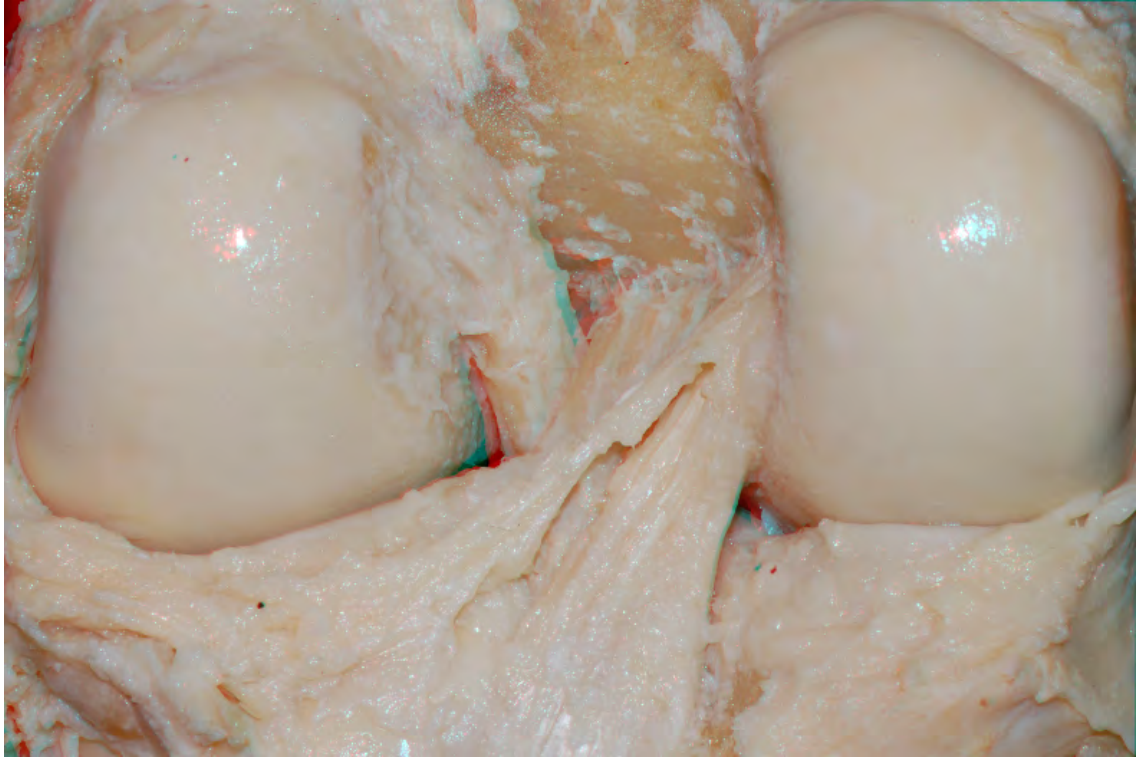
**Figura 18.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em extensão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento cruzado posterior com pouca visibilidade em decorrência da diminuição da área intercondilar do fêmur livre.



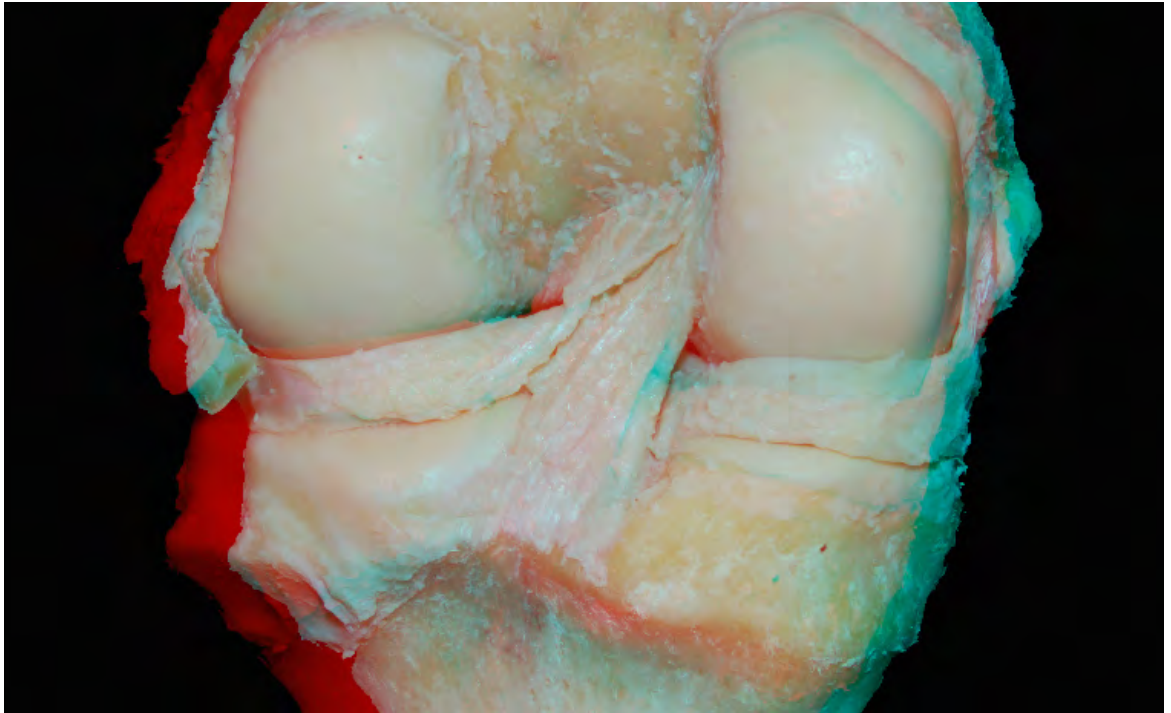
**Figura 19.** Imagem tridimensional do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar os feixes ligamentares do ligamento cruzado posterior: feixe anterolateral e feixe posteromedial.



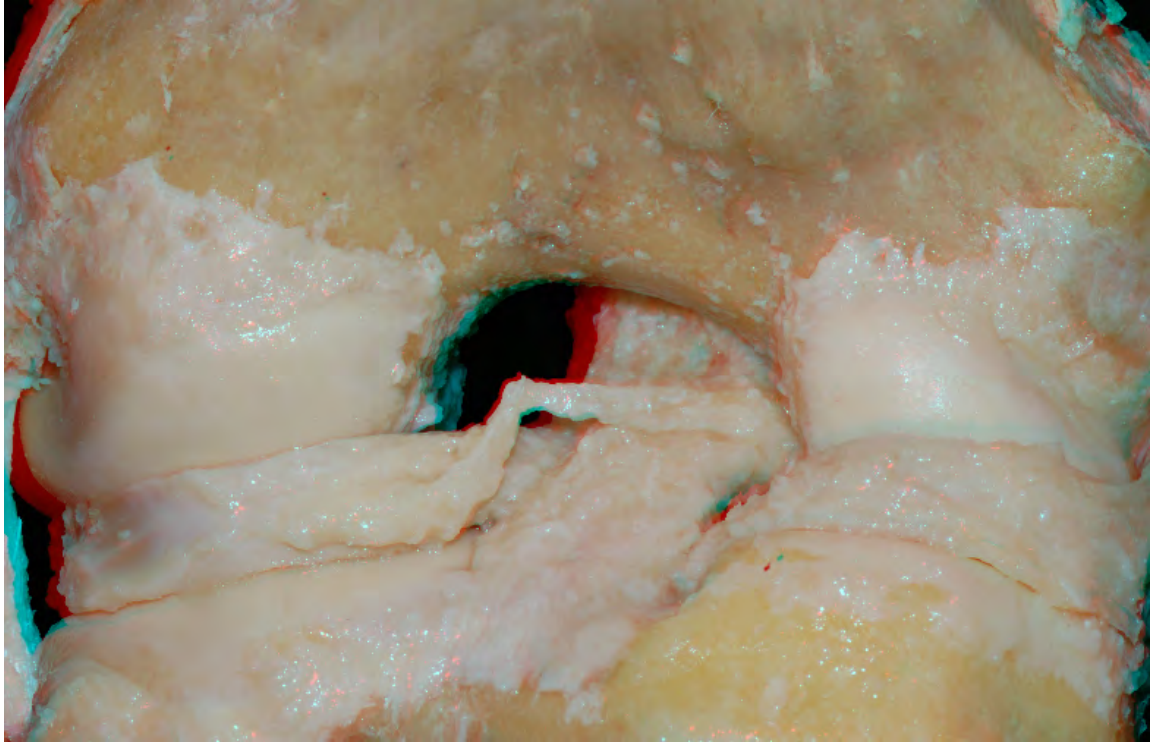
**Figura 20.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar anterior do fêmur do joelho humano em flexão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, anterior ao ligamento cruzado posterior.



**Figura 21.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar as inserções femoral do ligamento cruzado anterior e tibial do ligamento cruzado posterior.

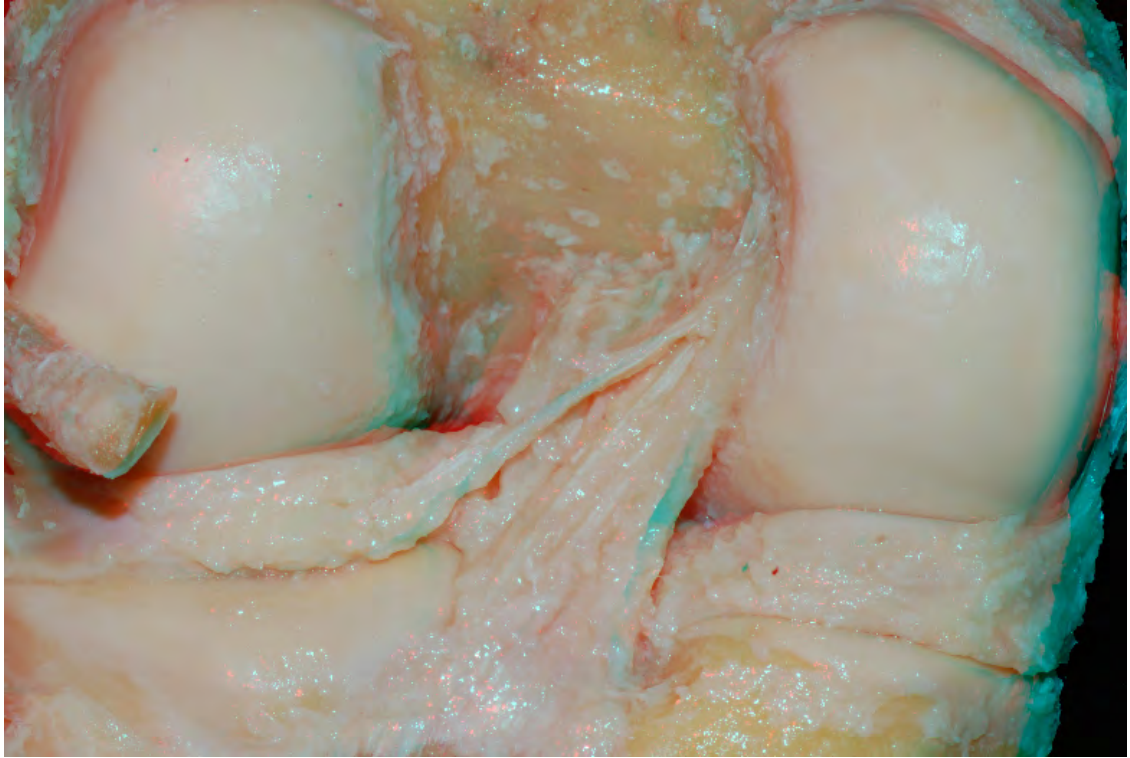


**Figura 22.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão com ressecção do ligamento cruzado anterior. É possível identificar o ligamento cruzado posterior isolado.

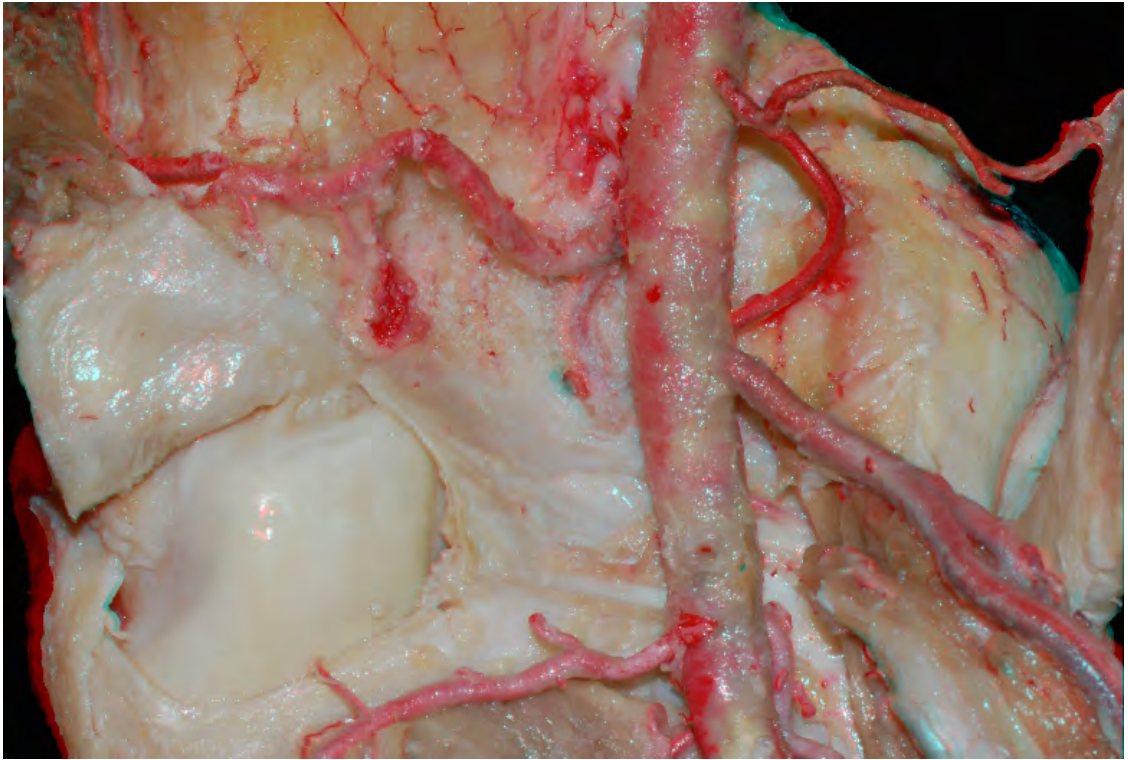


**Figura 23.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em flexão. É possível identificar o afrouxamento do ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, posterior ao ligamento cruzado posterior.

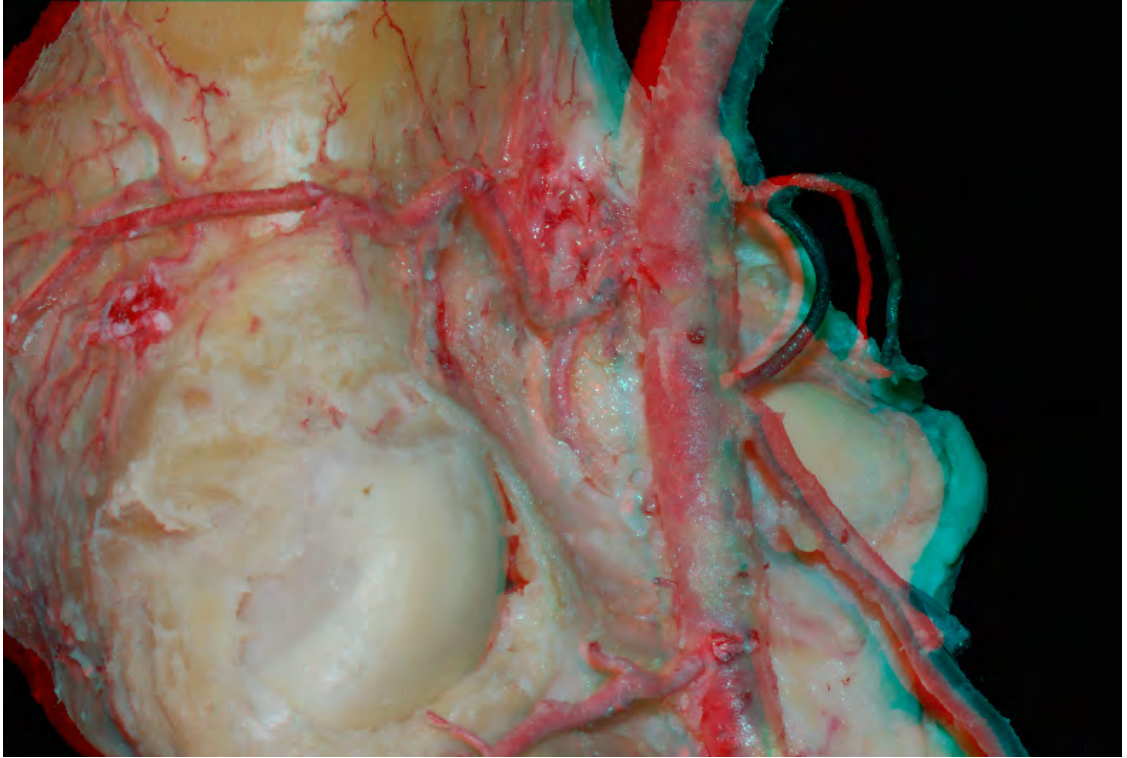




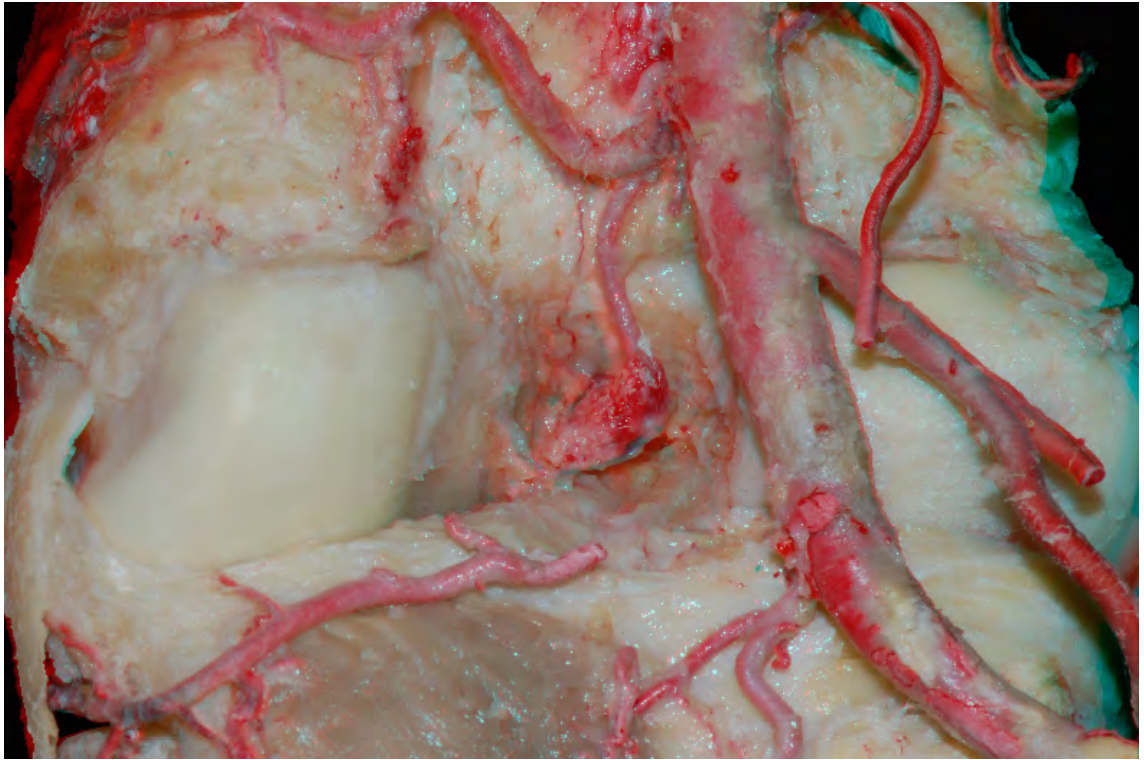
**Figura 24.** Imagem tridimensional aproximada da área intercondilar posterior do fêmur do joelho em extensão. É possível identificar o tensionamento do ligamento menisco-femoral posterior de Wrisberg, posterior ao ligamento cruzado posterior.



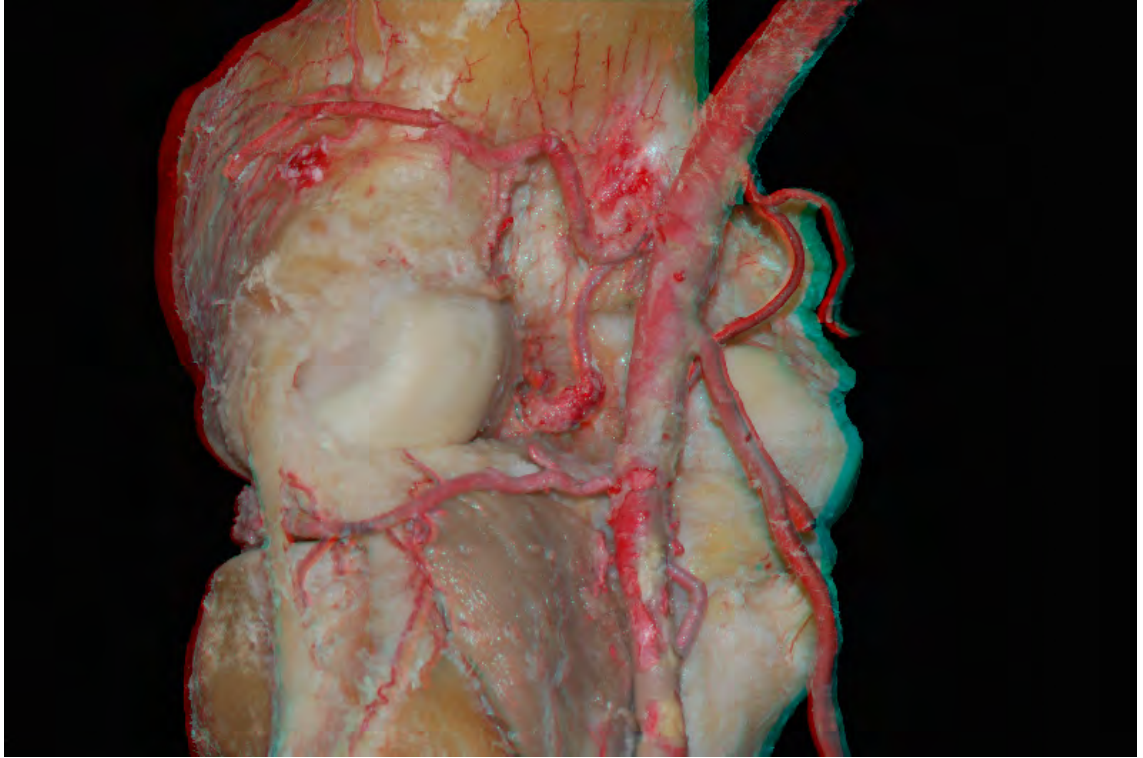
**Figura 25.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o septo posterior do joelho e os ramos da artéria poplítea.



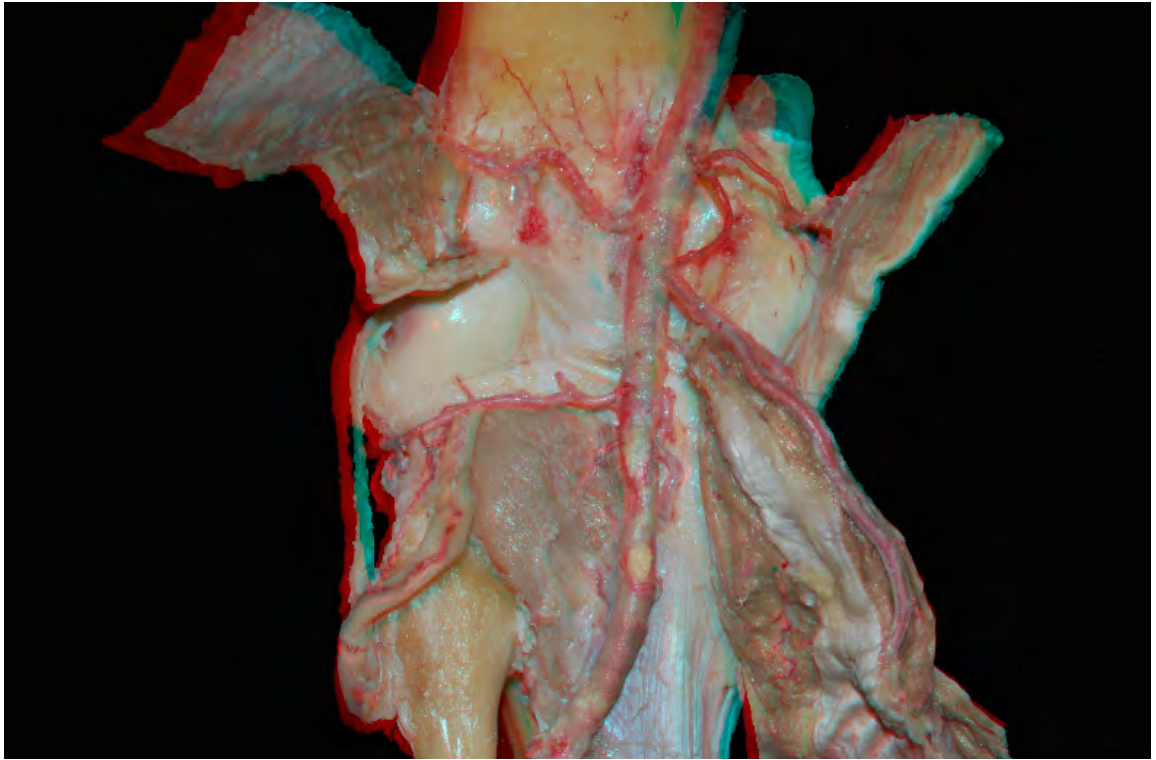
**Figura 26.** Imagem tridimensional oblínua da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o septo posterior do joelho e os ramos da artéria poplíteia, com especial atenção à penetração da artéria média do joelho no septo posterior do joelho.



**Figura 27.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão com ressecção do septo posterior. É possível identificar o trajeto da artéria média do joelho na área intercondilar posterior do fêmur.



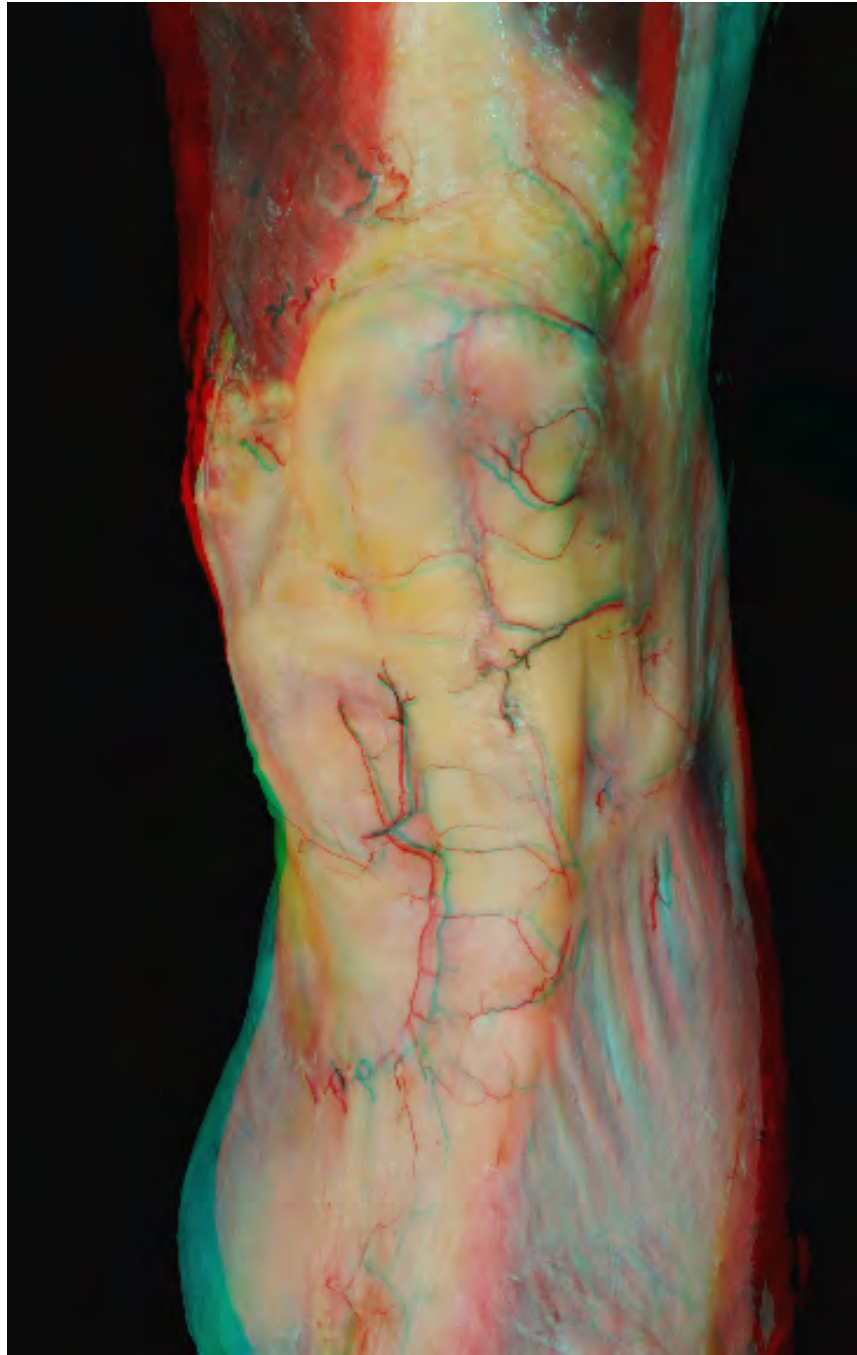
**Figura 28.** Imagem tridimensional oblínua da região posterior do joelho humano em extensão com ressecção do septo posterior. É possível identificar o trajeto das artérias do joelho oriundas da artéria poplíteia: artéria média, artéria superior lateral, artéria superior medial, artéria inferior lateral, artéria inferior medial.



**Figura 29.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o trajeto das artérias geniculares oriundas da artéria poplítea: artéria média, artéria superior lateral, artéria superior medial, artéria inferior lateral, artéria inferior medial.

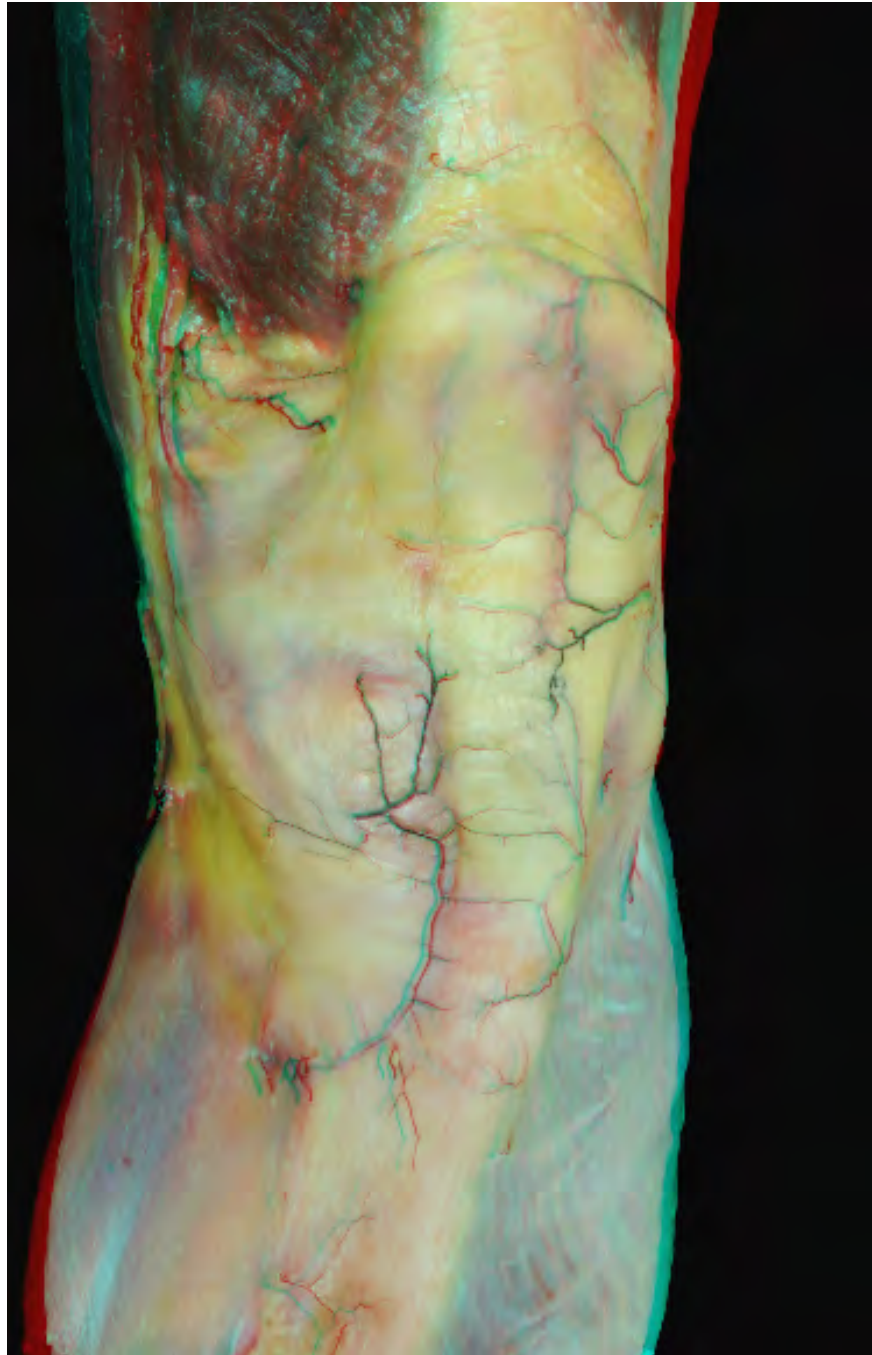
### 5.3. Aparelho extensor do joelho

- Imagem frontal do joelho em extensão: músculo quadríceps femoral, retináculo medial e lateral da patela e ligamento patelar (Figura 30);
- Imagem frontal do joelho em extensão: vascularização da patela (Figura 31);
- Imagem em perfil do joelho em flexão: ligamento patelo-femoral medial (Figura 32);
- Imagem em perfil do joelho em flexão: ligamento patelo-tibial medial (Figura 33);
- Imagem em perfil do joelho em flexão: ligamento patelo-femoral lateral (Figura 34);
- Imagem em perfil do joelho em flexão: artéria descendente do joelho (Figura 35).

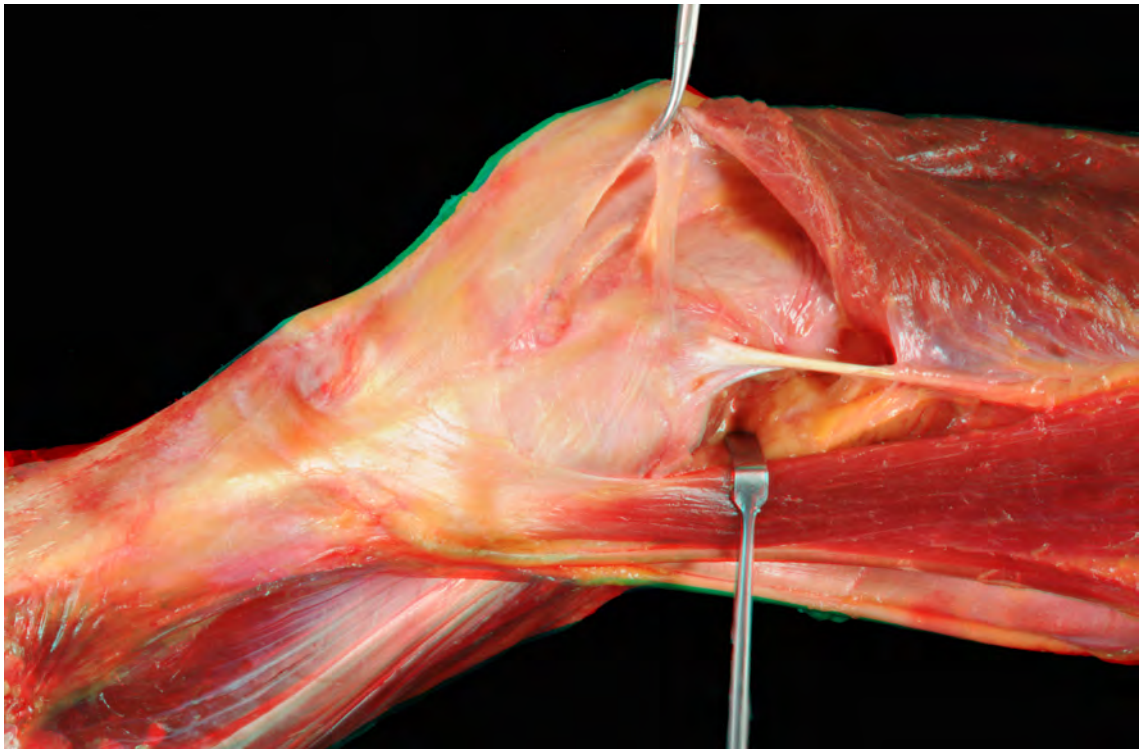


**Figura 30.** Imagem tridimensional frontal do joelho humano em extensão com a preservação das estruturas musculoesqueléticas do aparelho extensor desta articulação.

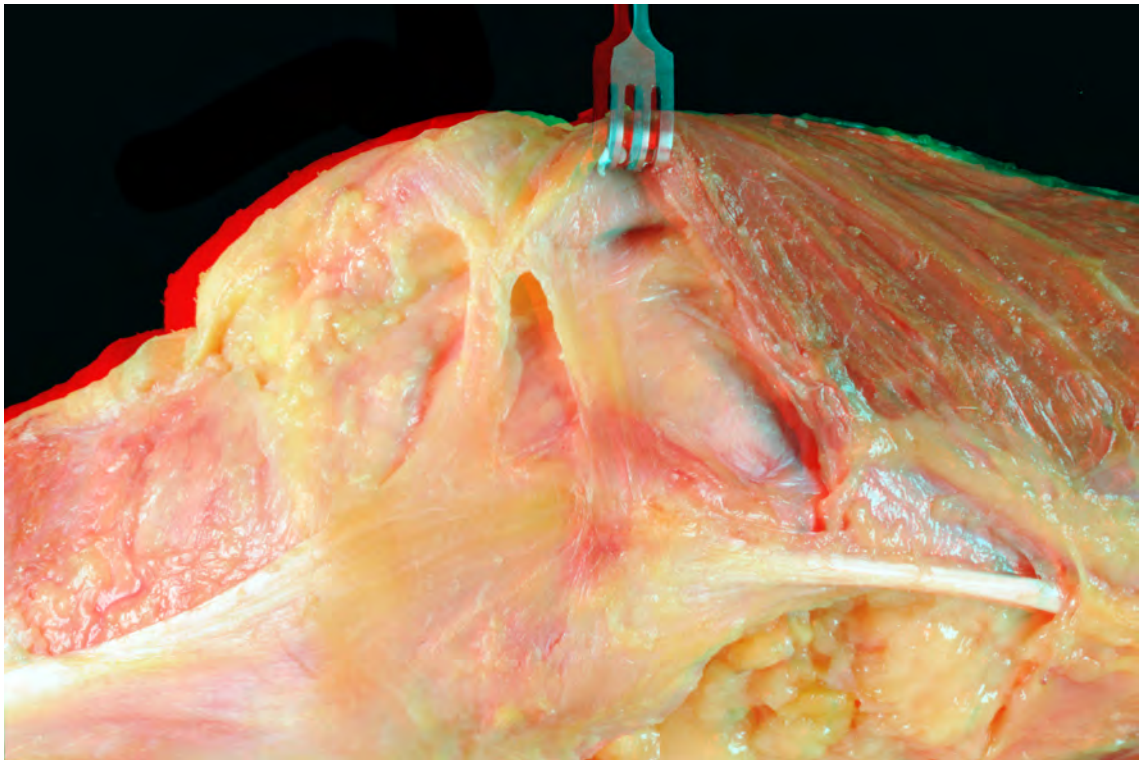




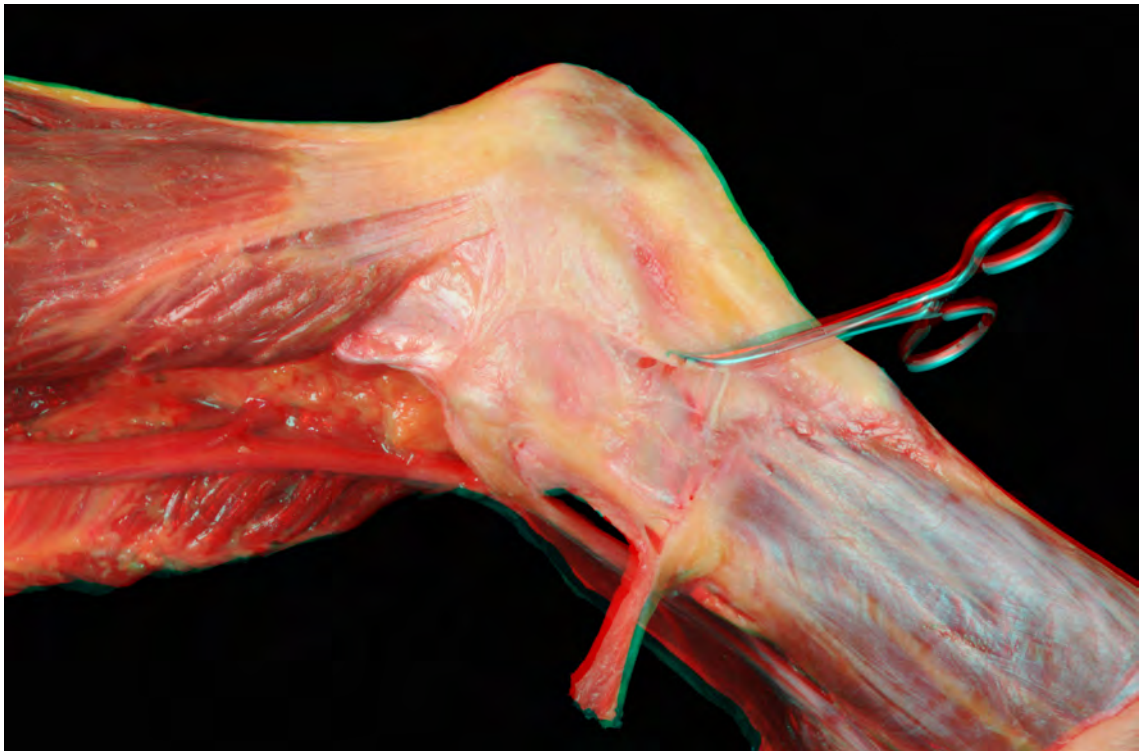
**Figura 31.** Imagem tridimensional frontal do joelho humano em extensão com a preservação das estruturas musculoesqueléticas do aparelho extensor. É possível visualizar os vasos arteriais que envolvem a patela.



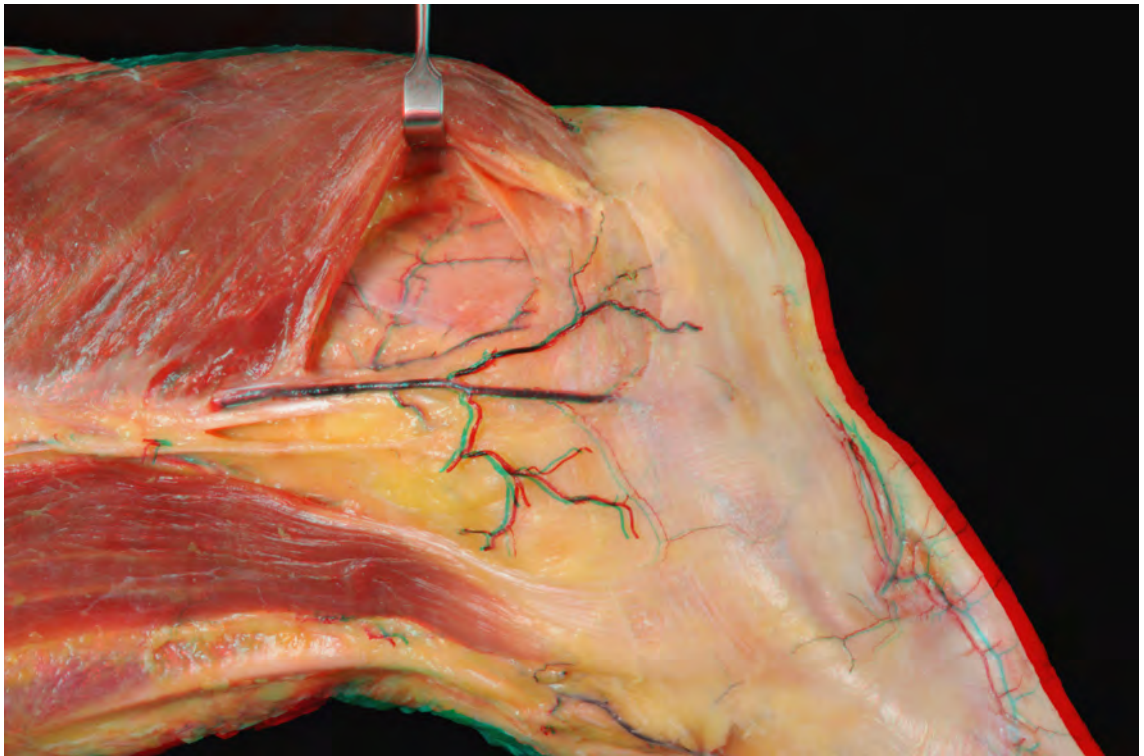
**Figura 32.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-femoral medial dissecado.



**Figura 33.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-tibial medial dissecado.



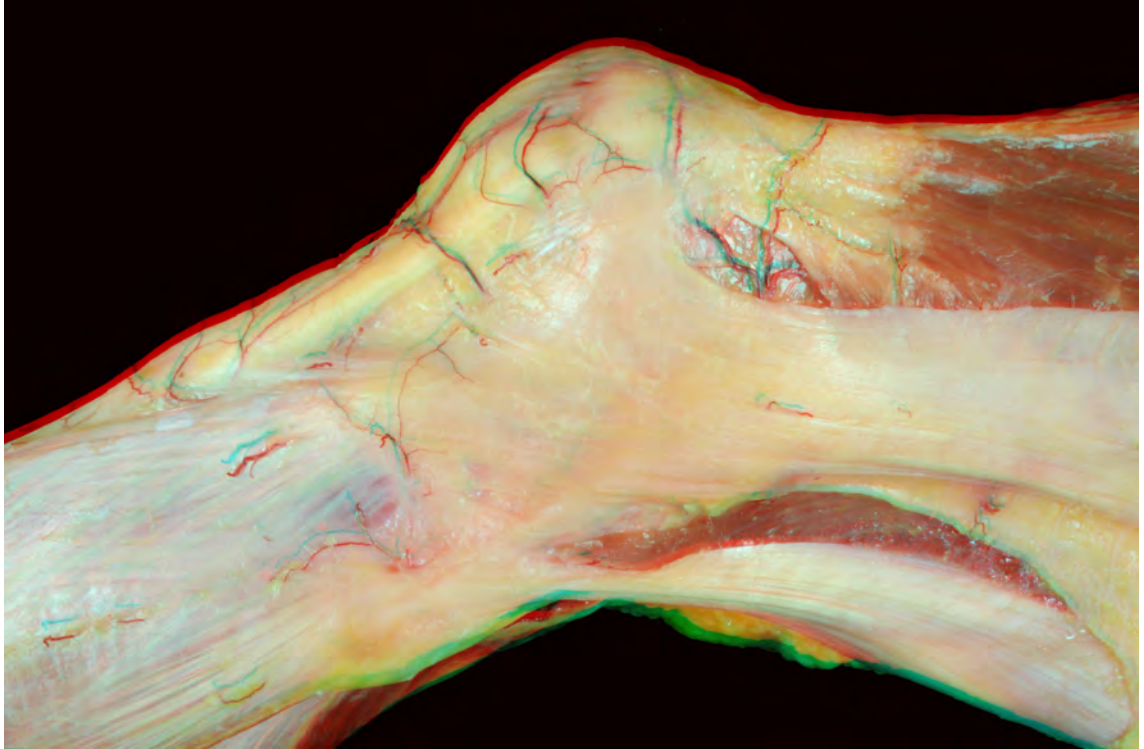
**Figura 34.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ligamento patelo-femoral lateral dissecado.



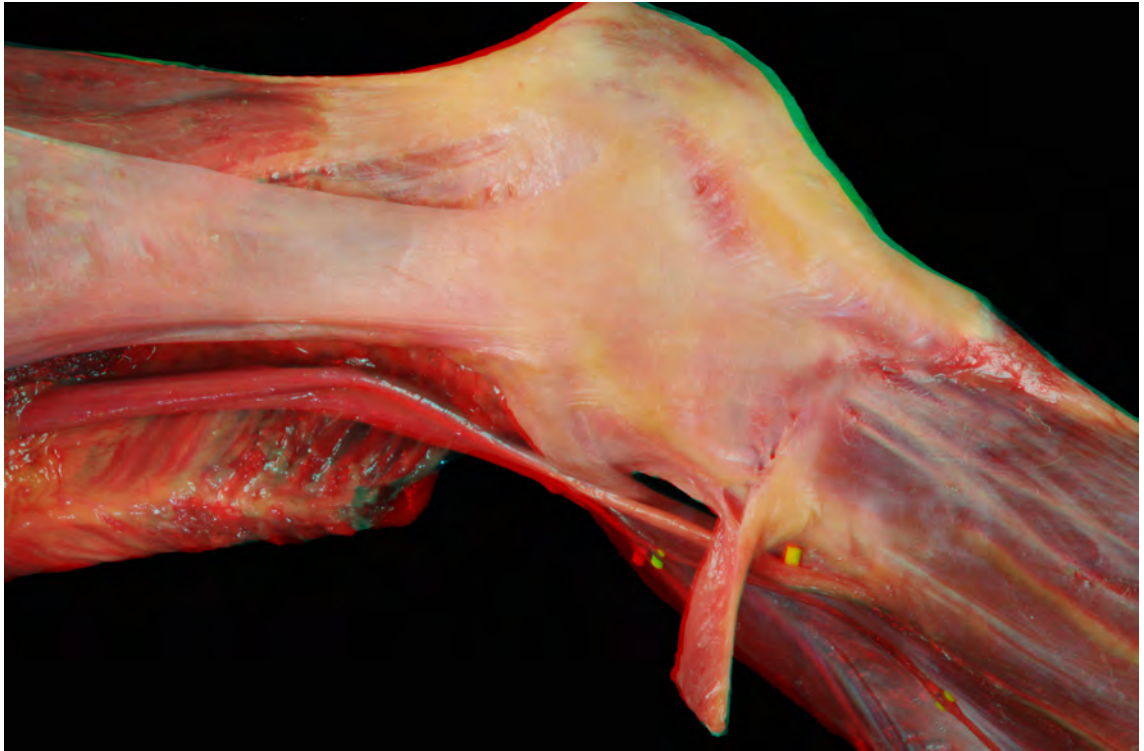
**Figura 35.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar o ramo descendente da artéria femoral.

#### 5.4. Compartimento póstero-lateral do joelho (CPL)

- Imagem em perfil do joelho em flexão da primeira camada do compartimento póstero-lateral: músculo bíceps femoral, trato iliotibial, e a cabeça lateral do músculo gastrocnêmio (Figura 36);
- Imagem em perfil do joelho em flexão da primeira camada do CPL: o nervo fibular comum (Figura 37);
- Imagem em perfil do joelho em flexão da segunda camada do CPL: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular (LCF), ligamento poplíteo-fibular (Figura 38);
- Imagem em perfil do joelho em extensão da segunda camada do CPL: músculo poplíteo, LCF, ligamento poplíteo-fibular (Figura 39);
- Imagem posterior do joelho em extensão da segunda camada do CPL: músculo poplíteo, LCF, ligamento poplíteo-fibular (Figura 40);
- Imagem em perfil do joelho em extensão: menisco lateral e artéria inferior lateral do joelho (Figura 41);
- Imagem posterior do joelho em extensão: artéria poplíteia e artéria inferior lateral do joelho (Figura 42);
- Imagem em perfil do joelho em extensão: artéria superior lateral do joelho e sua relação com o côndilo femoral lateral (Figura 43);
- Imagem oblíqua do joelho em flexão: artéria superior lateral do joelho e sua relação com o côndilo femoral lateral (Figura 44);
- Imagem posterior do joelho em extensão: artéria superior lateral do joelho, artéria inferior lateral do joelho e artéria poplíteia (Figura 45).



**Figura 36.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar a primeira camada do compartimento pósterolateral do joelho: músculo bíceps femoral, trato iliotibial, cabeça lateral do músculo gastrocnêmio.



**Figura 37.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 45°. É possível identificar a primeira camada do compartimento pósterolateral do joelho. Com a dissecação do músculo bíceps femoral, é possível identificar o trajeto do nervo fibular comum.





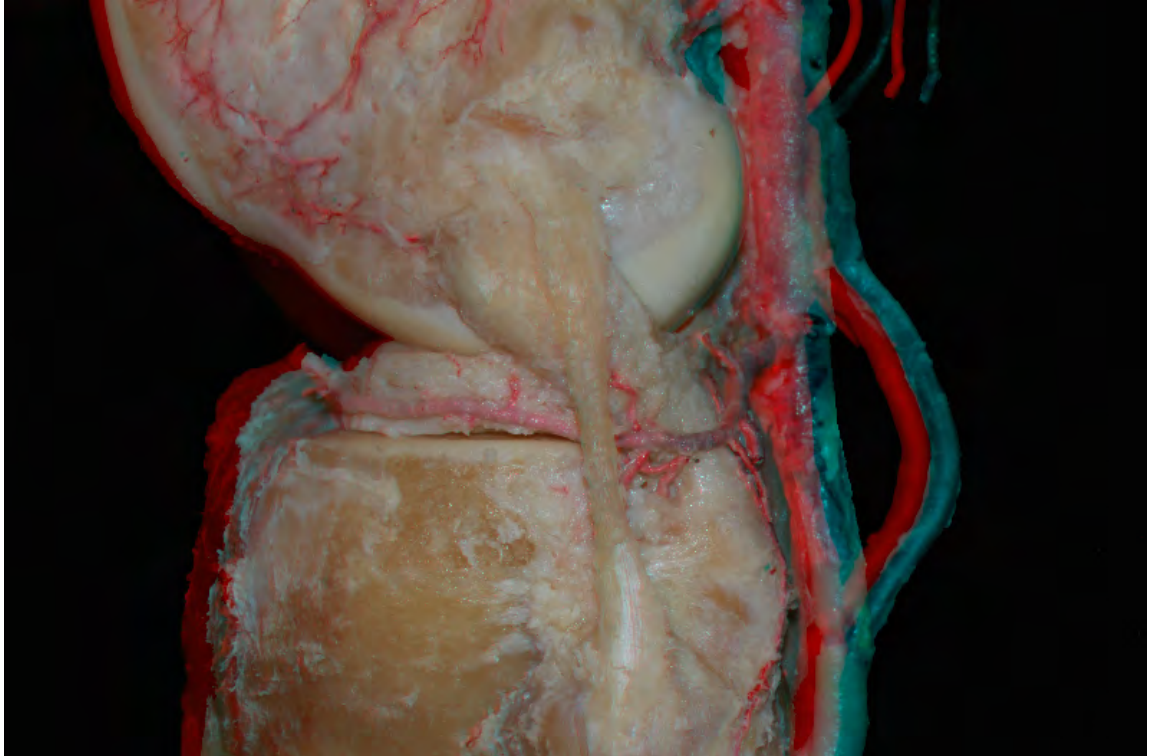
**Figura 38.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão de 90°. É possível identificar a segunda camada do compartimento pósterolateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular.



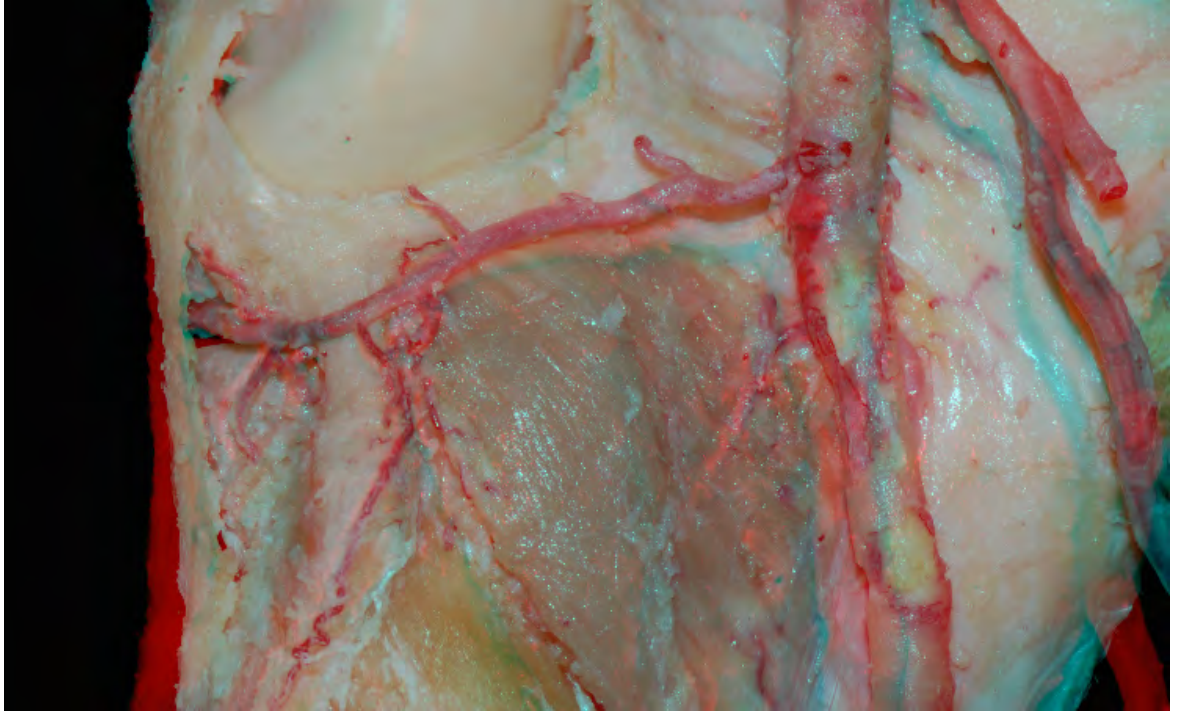
**Figura 39.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento póstero-lateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular.



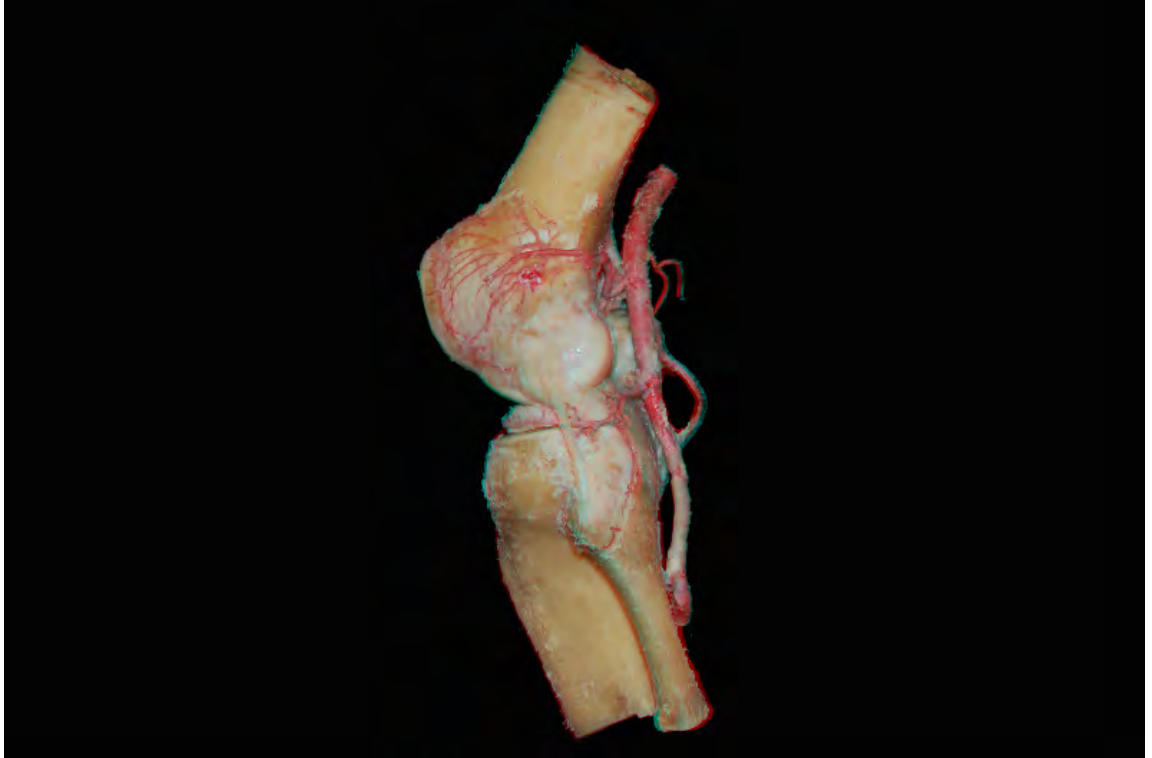
**Figura 40.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento póstero-lateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular.



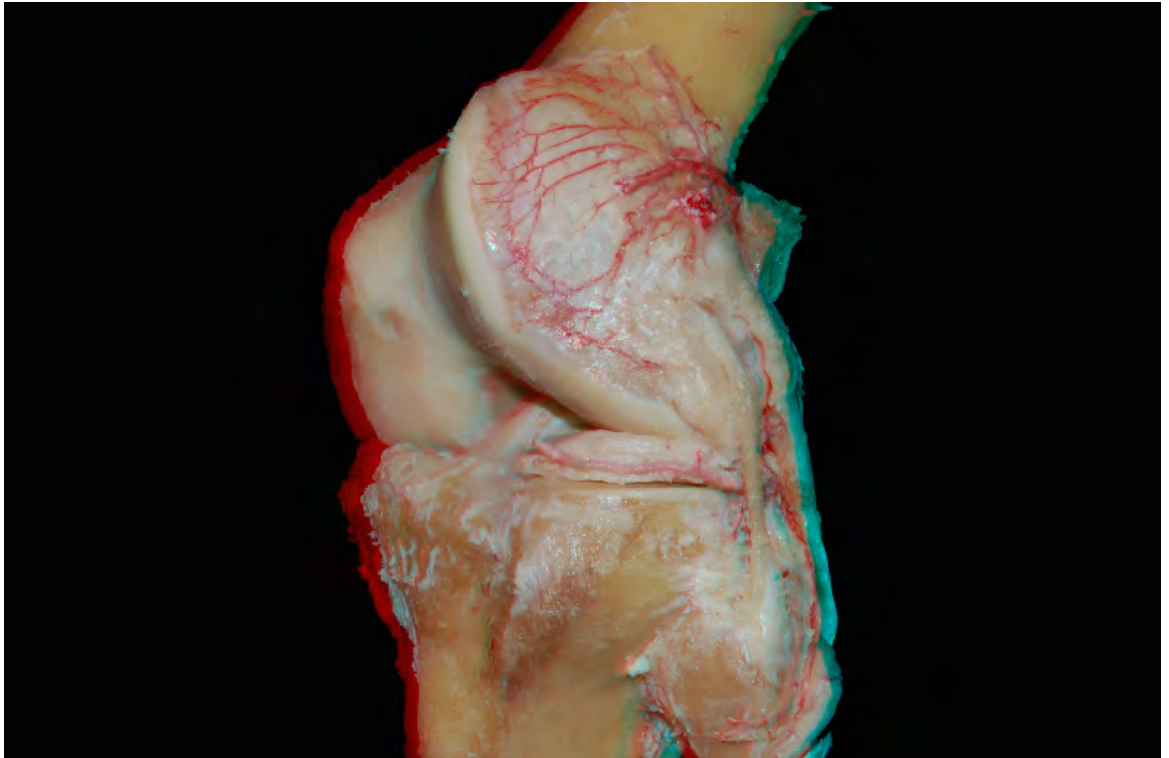
**Figura 41.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a segunda camada do compartimento póstero-lateral do joelho: músculo poplíteo, ligamento colateral fibular, ligamento poplíteo-fibular e vascularização da artéria inferior lateral do joelho através de sua relação com as estruturas citadas e o menisco lateral.



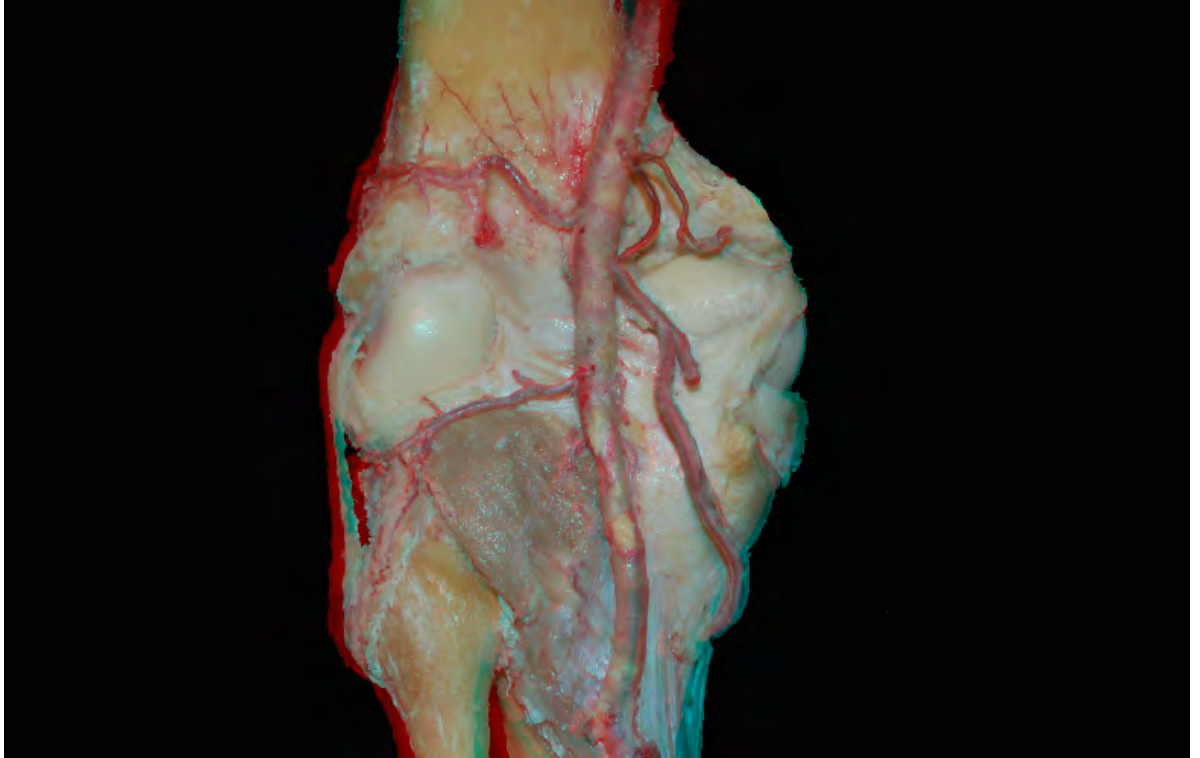
**Figura 42.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar o trajeto da artéria inferior lateral do joelho sob o músculo poplíteo. O vaso segue trajeto margeando o menisco lateral e passando entre a tíbia e o ligamento colateral fibular.



**Figura 43.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar a trama vascular formada pelos ramos oriundos da artéria superior lateral do joelho sob o côndilo femoral lateral.



**Figura 44.** Imagem tridimensional oblíqua do joelho humano em extensão. É possível identificar a trama vascular formada pelos ramos oriundos da artéria superior lateral do joelho sob o côndilo femoral lateral.

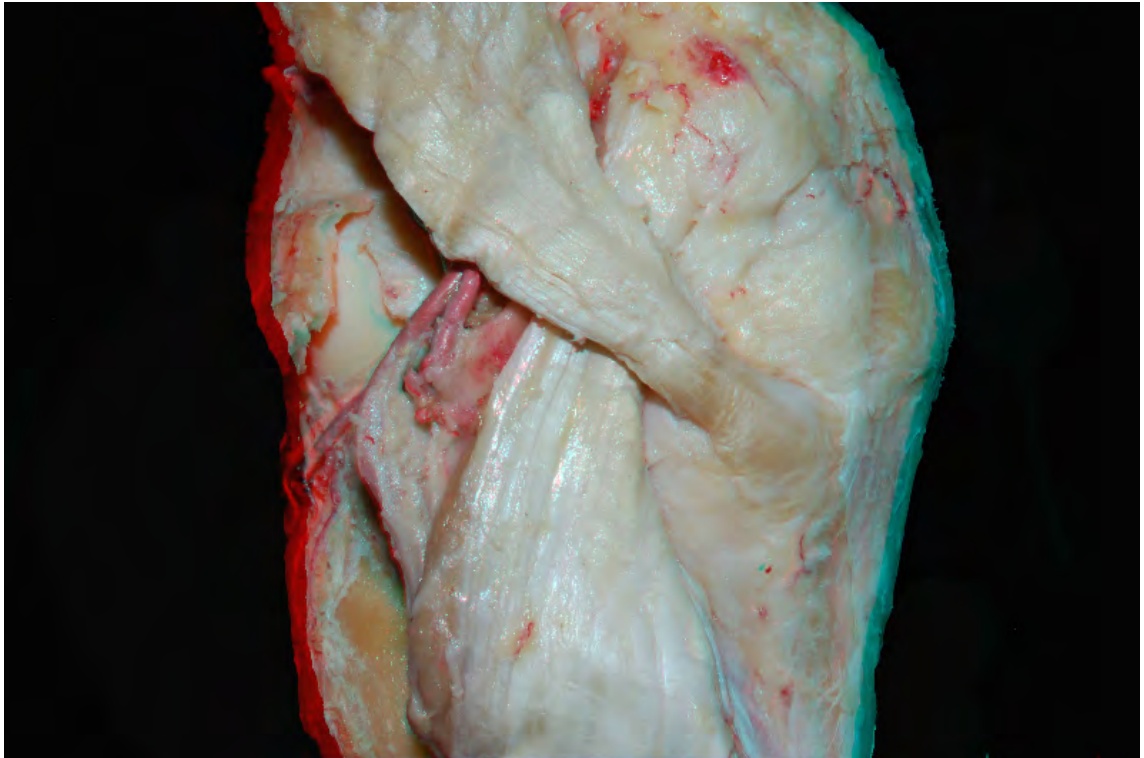


**Figura 45.** Imagem tridimensional da região posterior do joelho humano em extensão. É possível identificar os dois principais vasos sanguíneos responsáveis pela nutrição do compartimento póstero-lateral: a artéria superior e inferior lateral do joelho.

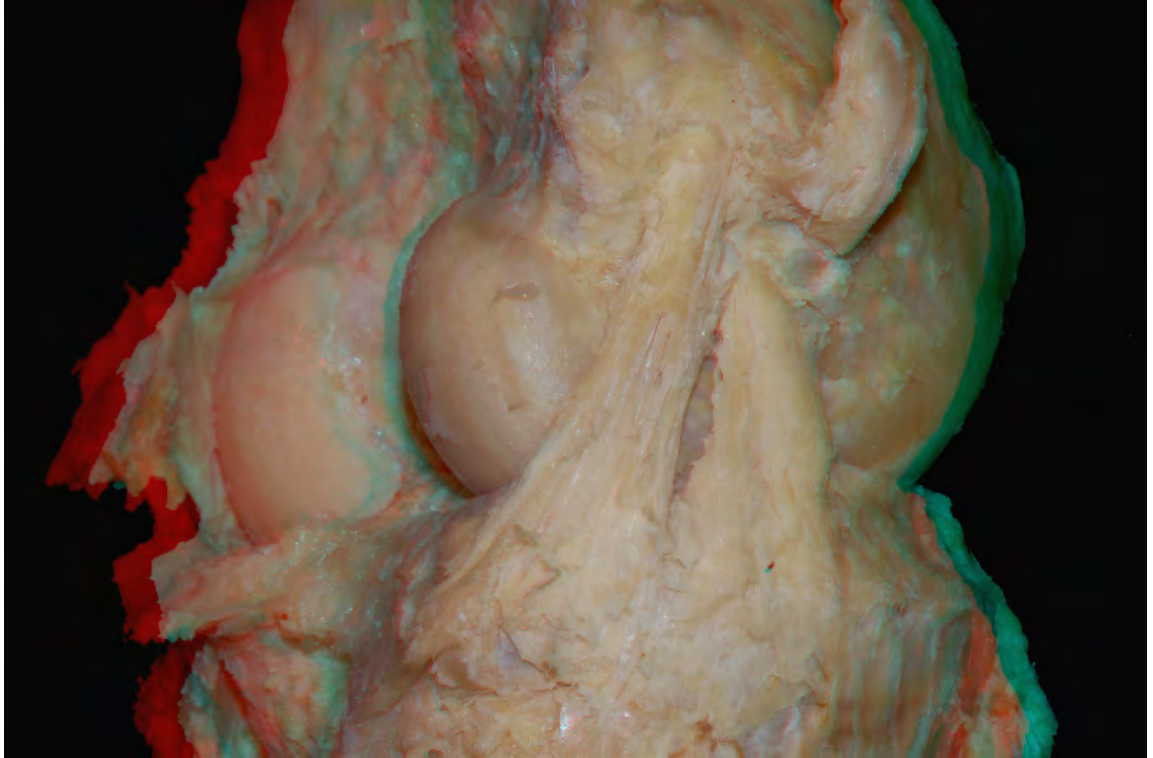


### 5.5. Compartimento póstero-medial do joelho (CPM)

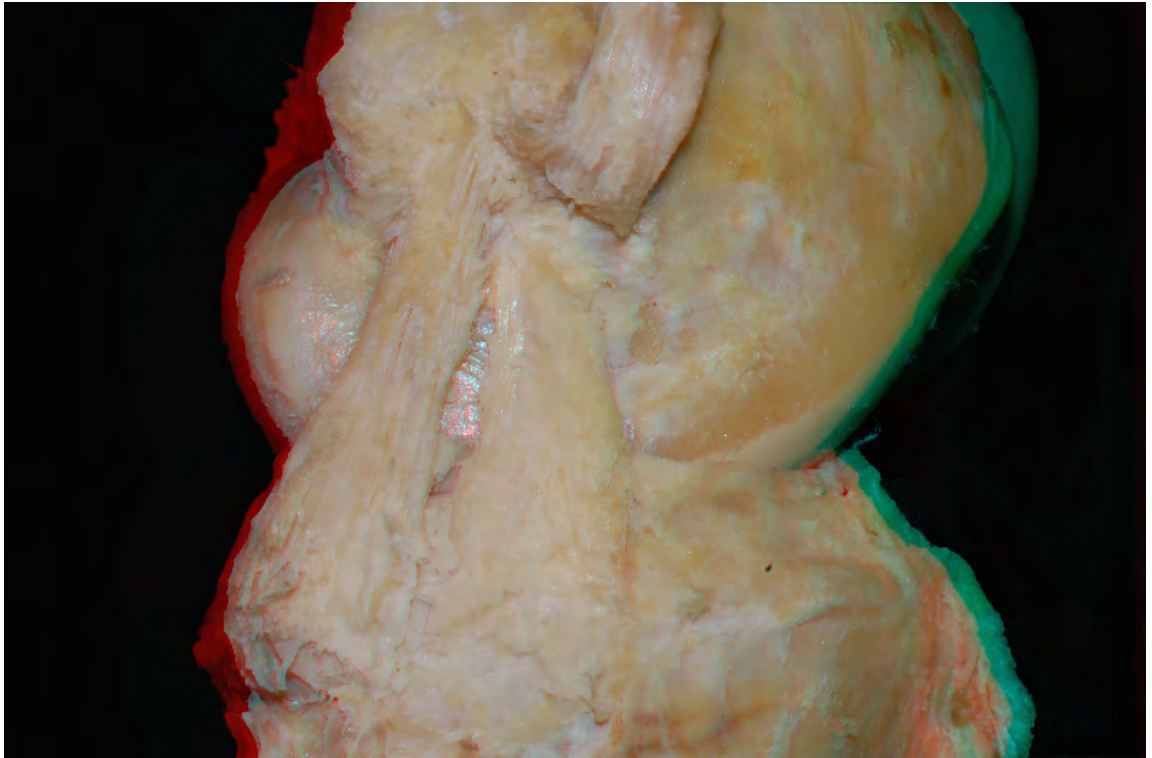
- Imagem da região posterior do joelho em extensão: músculo semimembráceo, e a cabeça medial do músculo gastrocnêmio (Figura 46);
- Imagem oblíqua do joelho em extensão da segunda camada: fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial (LCT) e ligamento oblíquo posterior (LOP) (Figura 47);
- Imagem em perfil do joelho em extensão da segunda camada: fibras superficiais e profundas do LCT e LOP (Figura 48);
- Imagem em perfil do joelho em flexão da segunda camada: LOP, fibras superficiais e profundas do LCT com o joelho em flexão (Figura 49);
- Imagem em perfil do joelho em extensão da segunda camada: fibras superficiais e profundas do LCT (Figura 50);
- Imagem em perfil do joelho em flexão da segunda camada: fibras superficiais e profundas do LCT (Figura 51);
- Imagem em perfil do joelho em extensão: artéria inferior medial do joelho e sua relação com o LCT (Figura 52).



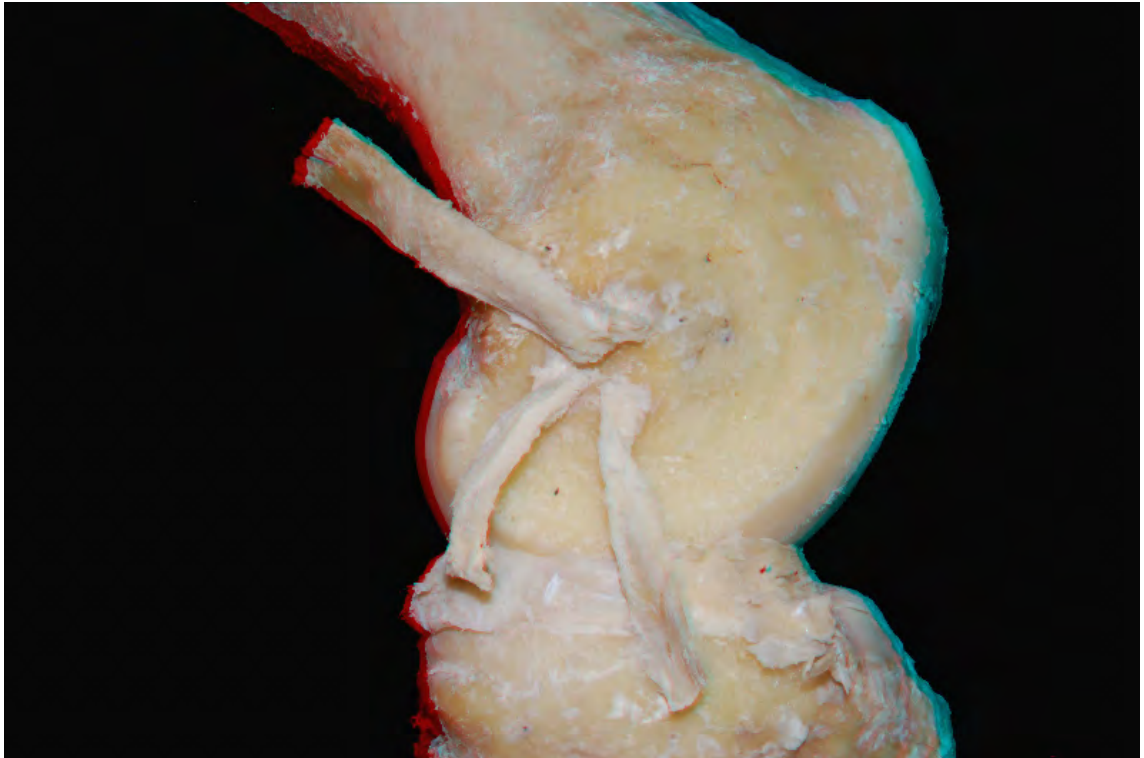
**Figura 46.** Imagem tridimensional da região póstero-medial do joelho humano em extensão. É possível identificar as inserções proximal da cabeça medial do músculo gastrocnêmio e distal do músculo semimembranáceo.



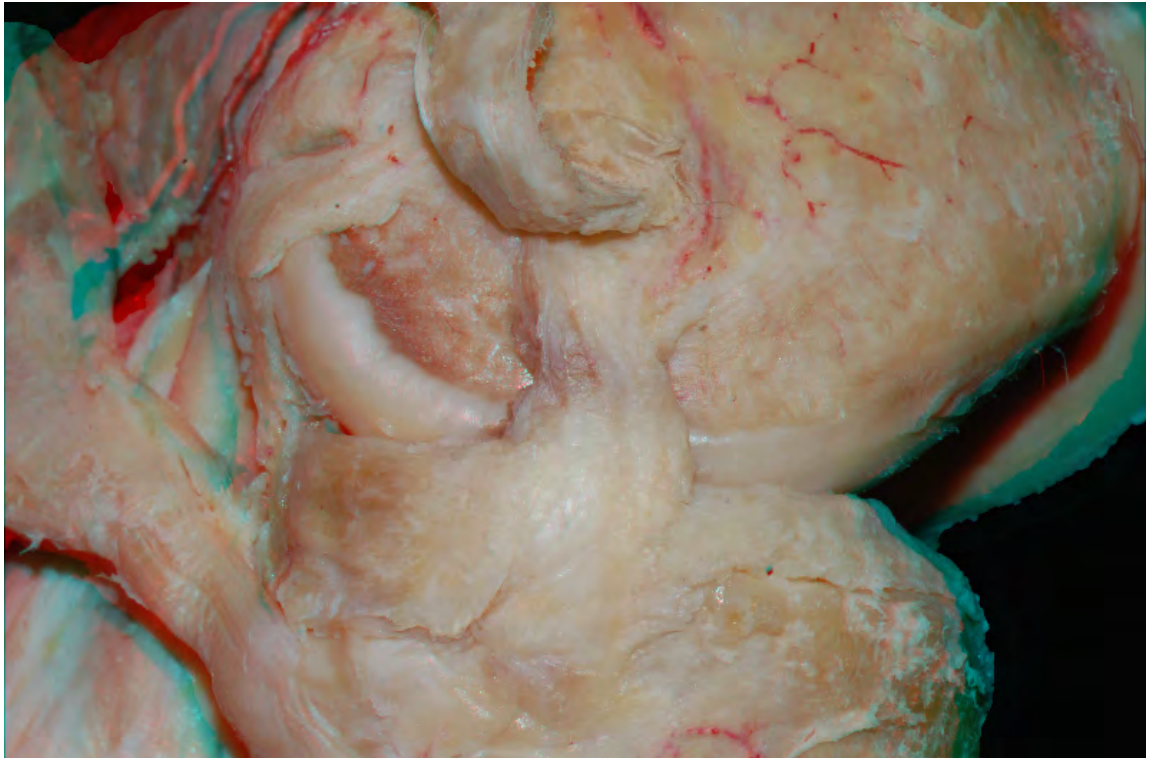
**Figura 47.** Imagem tridimensional oblua do compartimento póstero-medial do joelho humano em extensão.  possível identificar as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial, além do ligamento oblíquo posterior do joelho.



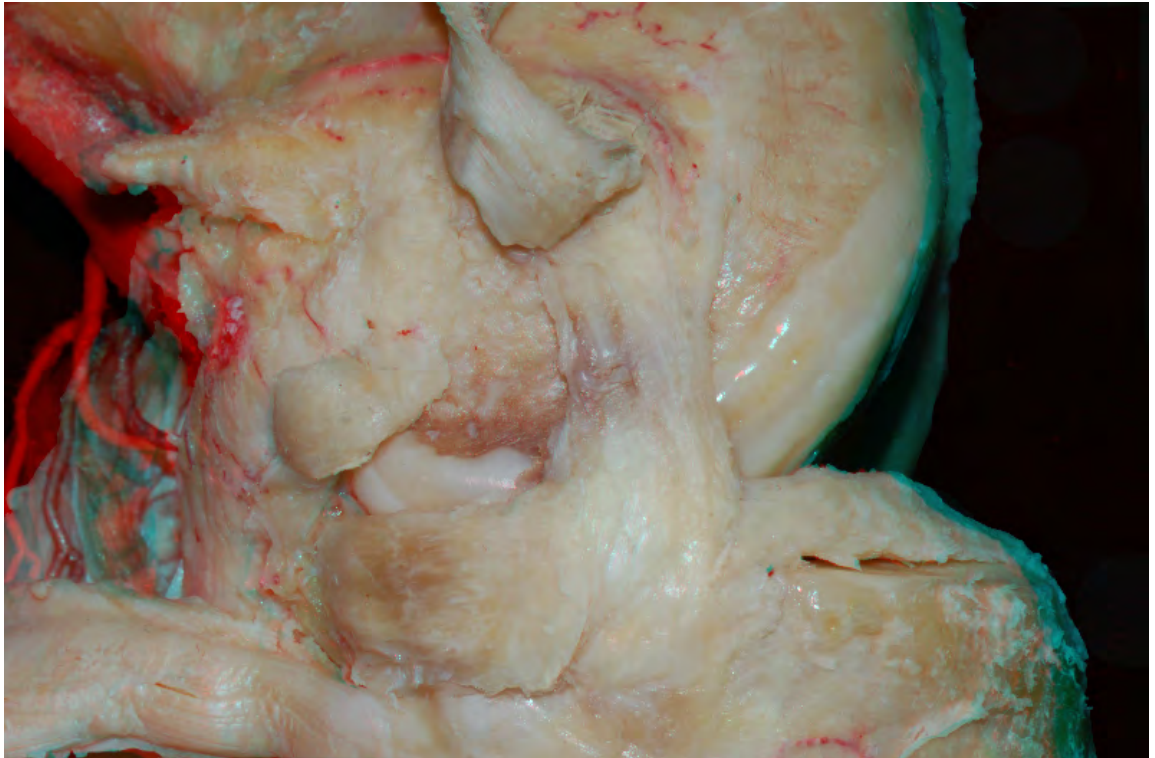
**Figura 48.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar o ligamento oblíquo posterior e as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial.



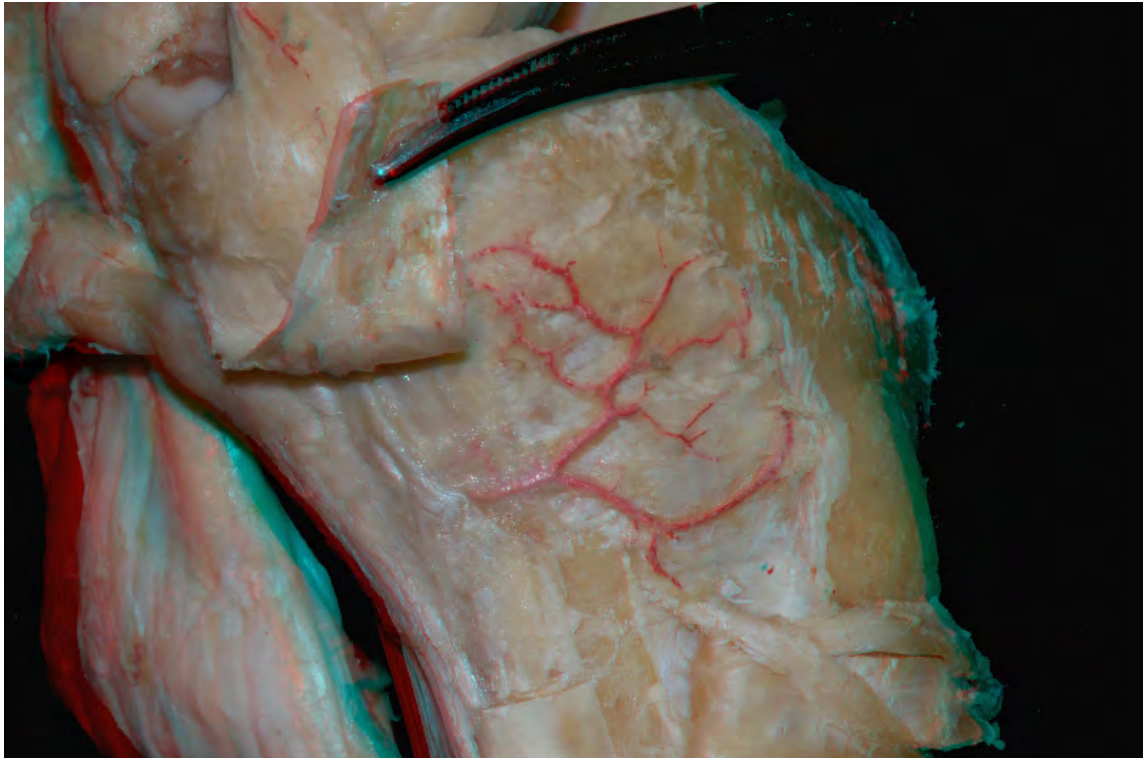
**Figura 49.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar o ligamento oblíquo posterior e as fibras superficiais e profundas do ligamento colateral tibial.



**Figura 50.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em extensão. É possível identificar as fibras superficiais e profunda do ligamento colateral tibial.



**Figura 51.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar as fibras superficiais e profunda do ligamento colateral tibial.



**Figura 52.** Imagem tridimensional do perfil do joelho humano em flexão. É possível identificar os ramos da artéria inferior medial do joelho e sua relação com o ligamento colateral tibial do joelho.



## **6. DISCUSSÃO**

## 6. DISCUSSÃO

A visão é um dos cinco sentidos que permitem ao ser humano perceber e interagir com o meio em que vive. As imagens em três dimensões permitem o discernimento real de profundidade, que é chamado de visão estereoscópica. Esse tipo de visão permite uma orientação mais próxima daquilo que enxergamos e a interação com o ambiente.

Os métodos de reprodução de imagens estereoscópicas não são novos e foram descritos inicialmente em meados do século XIX (FERWERDA, 1990; WOLFGRAM, 1993). A primeira imagem registrada em que a técnica foi utilizada data do ano de 1922. A partir da segunda metade do século passado, inúmeras técnicas de reprodução de imagens tridimensionais (3D) foram desenvolvidas. Porém, o alto custo de produção e a limitação na qualidade e tecnologia existente da época tornavam sua produção difícil. O surgimento de novas máquinas de fotografia e vídeo, a otimização de programas de computador de fácil acesso e funcionamento simplificado, a aplicação e a popularização da técnica proporcionaram o aparecimento de imagens 3D em diversos setores do entretenimento e educação (FERWERDA, 1990; STARKMAN, 1986). Com recursos mais modernos, foi possível a reprodução das imagens registradas simulando a visão do olho humano, característica vital para a construção da visão estereoscópica.

A utilização dessa técnica para visualização de imagens anatômicas do corpo humano parece ser um recurso útil capaz de facilitar o seu entendimento em níveis microscópicos e macroscópicos. Com avanços nas tecnologias disponíveis para a área da saúde, o surgimento de novas

técnicas de diagnóstico por imagem e inovações em modalidades terapêuticas, incluindo técnicas artroscópicas e microcirúrgicas endoscópicas, a necessidade por novos materiais de ensino na aplicação anatômica encontrou nas imagens 3D uma opção de se entender a estrutura estudada de forma mais real. Entretanto, o uso dessas técnicas ainda não está totalmente disseminado (TRELEASE, 1996; TRELEASE, 1998). O custo e a dificuldade de produção em larga escala ainda são alguns dos fatores que limitam o uso.

RIBAS, BENTO, RODRIGUES Jr. (2001) citaram o uso de técnicas de visualização 3D em estudos anatômicos do sistema nervoso. BENTO *et al.* (2000) descreveram a anatomia do osso temporal com técnica anaglífica 3D, enquanto SENNES *et al.* (2000) aplicaram a mesma técnica para visualização da laringe. Porém, nenhum estudo aplicou a técnica de construção de imagem 3D para o estudo de estruturas musculoesqueléticas. As articulações são as regiões responsáveis pela integração entre os ossos. A aplicação da técnica permite ao usuário entender de uma forma diferente as mudanças que ocorrem nas estruturas musculoesqueléticas durante o movimento da articulação. Acreditamos que a visualização estereoscópica seja um recurso capaz de favorecer o entendimento anatômico por permitir a visualização dessas estruturas como elas realmente são.

É possível obter uma imagem tridimensional aplicando diversas técnicas diferentes. No presente estudo, optou-se pelo uso da técnica anaglífica. A técnica anaglífica baseia-se na polarização de cada uma das duas imagens obtidas com uma cor diferente. Geralmente, usa-se o vermelho, para a imagem correspondente ao olho esquerdo, e o azul, para a imagem correspondente ao olho direito. Esta técnica tem como vantagem o baixo custo e imagens impressas com boa qualidade. Porém, não é a

melhor técnica para a projeção de imagens, e tem como desvantagem uma discreta perda da visão de cores básicas, em particular o vermelho, devido à polarização das imagens correspondentes.

Optamos por estudar o uso da técnica anaglífica em imagens de estruturas dissecadas do joelho humano. Para aprimoramento da aplicação e construção da imagem 3D, foi realizado um estudo piloto com instrumentais ortopédicos, como ópticas de artroscopia, cânulas de acesso a articulação e a própria barra deslizante, utilizada para manter as proporções entre as imagens que simulam a perspectiva de cada olho humano. COHEN *et al.* (2011b) utilizaram a técnica anaglífica em objetos do uso diário do cirurgião ortopédico e mostraram que qualquer objeto pode ser registrado se seguidas as regras determinadas da aplicação da técnica.

Em seguida, foi realizada a dissecação de estruturas musculoesqueléticas quaisquer, que não do joelho. Foi aplicada a técnica em imagens obtidas da dissecação do tornozelo, região proximal do fêmur, e pelve. O objetivo do registro 3D de imagens que não as da articulação do joelho foi assegurar a possibilidade do uso desta técnica em outras articulações. Mais uma vez, a técnica aplicada corretamente proporcionou a visualização de imagens 3D dessas estruturas com êxito na qualidade do efeito obtido.

A partir desse momento, todas as estruturas de interesse da anatomia do joelho foram estudadas e dissecadas para a confecção das imagens. No estudo, optamos por identificar regiões comumente lesadas nos mecanismos de trauma do joelho identificadas no dia a dia pelo cirurgião ortopédico. Desta forma, o joelho foi dividido em cinco regiões distintas: o ligamento cruzado anterior (LCA), ligamento cruzado posterior (LCP), aparelho extensor do joelho, compartimento póstero-lateral (CPL) e

compartimento póstero-medial (CPM) do joelho. A aplicação da técnica anaglífica nessas estruturas seguiu os princípios apresentados por RIBAS *et al.* (2001), que descreveram as estruturas anatômicas do sistema nervoso central com êxito nos resultados após aplicação do efeito tridimensional.

O LCA é uma estrutura formada por tecido conectivo denso. Esta estrutura é composta por fibroblastos envoltos por colágeno do tipo I e III principalmente (BAEK *et al.*, 1998; RUMIAN, WALLACE, BIRCH, 2007). ELLISON e BERG (1985) mostraram ainda que, apesar de o ligamento se encontrar dentro da articulação do joelho (intra-articular), ele é envolvido por uma membrana sinovial que o caracteriza como extrassinovial.

O LCA se origina a partir da porção posteromedial do côndilo lateral do fêmur, passando anteriormente e inferiormente entre os côndilos e ligando-se à depressão encontrada na área anterior da eminência intercondilar da tíbia (GIRON *et al.*, 2006; FERRETI *et al.*, 2007). GIRON *et al.* (2006) mostraram que o LCA apresenta formato oval e seu comprimento é maior na direção anteroposterior ( $17 \pm 2$  mm) quando comparada com a direção látero-lateral ( $9 \pm 2$  mm em média).

ARNOCZKY (1983) descreveu as características da direção do LCA entre a tíbia e o fêmur. Em relação ao trajeto oblíquo do ligamento, sabe-se que o ângulo entre o longo eixo do LCA e a superfície da tíbia é de aproximadamente 26 graus. O ligamento realiza ainda um movimento de translação de 90 graus sobre o seu próprio eixo.

DUTHON *et al.* (2006) mensuraram o comprimento e a espessura do LCA. Os valores encontrados foram de 22 a 41 mm, e 7 a 12 mm, respectivamente. A secção transversal do LCA não é circular e sua área aumenta quanto maior for a proximidade com tíbia. Na tíbia, algumas das

fibras do LCA podem se misturar às fibras dos cornos anterior e posterior do menisco lateral.

GIRGIS, MARSHALL, MONAJEM (1975) identificaram dois feixes ligamentares distintos no LCA: o feixe anteromedial e o feixe posterolateral. AMIS e DAWKINS (1991) demonstraram as funções específicas de cada uma das fibras para o funcionamento desse ligamento. O feixe anteromedial se insere mais anterior e proximal no fêmur quando comparado ao feixe posterolateral. Na tíbia, o feixe anteromedial apresenta-se na porção mais anterior e medial da inserção ligamentar, enquanto o feixe posterolateral encontra-se mais posterior e lateral. GIRON *et al.* (2006) demonstraram as características dos feixes ligamentares durante o movimento de flexão e extensão do joelho. O feixe posterolateral é mais espesso quando comparado ao feixe anteromedial, e apresenta diferentes padrões do seu comprimento durante a flexão do joelho. Em extensão, o feixe anteromedial apresenta-se plano e relativamente frouxo, enquanto o feixe posterolateral encontra-se tenso. Durante a flexão, o feixe anteromedial se torna cada vez mais tenso, enquanto o feixe posterolateral se mantém frouxo. AMIS e DAWKINS (1991) citaram ainda em seu estudo a possibilidade da existência de um terceiro feixe intermediário. No presente estudo, foi identificada a presença dos dois feixes descritos. A aplicação da técnica proposta, que permite visão estereoscópica da estrutura estudada, deixou visível a diferença subjetiva da tensão e do posicionamento dos feixes durante o movimento de flexão e extensão do joelho.

Além disso, ao ressecar a cápsula articular e o septo posterior do joelho, cria-se um espaço vazio entre o LCA e o LCP, que torna possível a sensação de profundidade entre os ligamentos cruzados ao aplicar o efeito

3D. RIBAS *et al.* (2001) já havia mencionado as vantagens de se obterem espaços vazios entre as estruturas para realçar o efeito tridimensional em peças anatômicas do sistema nervoso. Essa noção é extremamente importante para os cirurgiões ortopédicos que realizam cirurgia por vídeo-artroscopia de reconstrução do LCA, em que todas as imagens da cirurgia são transmitidas por uma câmera acoplada a um monitor e visualizadas em duas dimensões. A possibilidade de se visualizar tridimensionalmente os dois ligamentos favorece um entendimento mais real das estruturas e a relação entre elas, o que é essencial para que o cirurgião conheça a anatomia e minimize os riscos de lesões durante o procedimento cirúrgico.

O LCP é uma estrutura formada por dois feixes ligamentares, que se originam a partir da superfície anterolateral do côndilo medial do fêmur, passando posterior e inferiormente entre os côndilos e ligando-se à área intercondilar posterior da tíbia. Esses feixes são denominados anterolateral e posteromedial. O LCP é considerado duas vezes mais forte que o LCA. Além disso, apresenta área 50% maior que a do LCA próximo ao fêmur e 20% maior próximo à tíbia. Apresenta em média 38 mm de comprimento, e 13 mm de espessura (GIRGIS, MARSHALL, MONAJEM, 1975; VAN DOMMELEN e FOWLER, 1989; CURY *et al.*, 2014). O LCP é envolvido por dois ligamentos menisco-femorais posteriores (de Humphrey e Wrisberg) que, juntos, conferem estabilidade maior à translação posterior da tíbia contra o fêmur. Pelo menos um desses ligamentos encontra-se presente em 91% dos joelhos (KENNEDY *et al.*, 1976; CLANCY *et al.*, 1983; BALLARD e CAMPBELL, 2008).

O LCP é nutrido principalmente por ramos da artéria média do joelho e ramos das artérias inferiores do joelho que se anastomosam na área intercondilar anterior e posterior. No estudo realizado, foi possível dissecar

e visualizar o trajeto da artéria média do joelho com e sem a presença do septo posterior do joelho. A ressecção desse septo imediatamente após a artéria poplítea permite a visualização de todo o trajeto da artéria média do joelho, favorecendo maior compreensão sobre como esse vaso se relaciona com os ligamentos cruzados (HUGHSTON *et al.*, 1976; WELSH, 1980).

A principal estrutura responsável pela extensão do joelho é o músculo quadríceps femoral. Este músculo é formado por quatro outros músculos: o músculo reto da coxa (RC), o músculo vasto lateral (VL), o músculo vasto medial (VM), e o músculo vasto intermédio (VI). Os músculos RC e VI inserem-se na base da patela em um ângulo de aproximadamente 90° com a superfície superior desse osso. Entre o longo eixo desses músculos e o longo eixo do músculo VL, encontra-se uma angulação de aproximadamente 26° (20° a 38°). Para o músculo VM, encontra-se angulação de 45° (30° a 57°) (ANDRIKOULA *et al.*, 2006; REIDER *et al.* 1981). KIMURA e TAKAHASHI (1987) descreveram ainda, na face anterior do fêmur, as características anatômicas do músculo articular do joelho (ou suspensor da bolsa), cuja função é evitar a invaginação da bolsa suprapatelar para debaixo da patela. Esse músculo pode ser considerado como parte do músculo quadríceps.

As fibras mais distais e periféricas dos músculos VM e VL apresentam, segundo ANDRIKOULA *et al.* (2006), direção distinta das demais fibras centrais próximo da inserção na patela. Esse grupo de fibras musculares são denominados músculo vasto medial oblíquo (VMO) e músculo vasto lateral oblíquo (VLO). Apesar de vários estudos anatômicos descreverem a existência desses músculos, não há evidências de que essas estruturas sejam independentes do ponto de vista funcional, representando apenas a mudança na direção de algumas das fibras musculares antes de sua



inserção na patela. A disposição mais oblíqua de algumas fibras contribui para a estabilidade dinâmica da patela durante a extensão do joelho.

O tendão do músculo quadríceps femoral é descrito como uma estrutura trilaminar formada em sua porção superficial pelos tendões do músculo RC, a camada intermediária pelos tendões dos músculos VL e VM e, em sua porção mais profunda, pelo tendão do músculo VI. WALIGORA, JOHANSON, HIRSCH (2009) demonstraram que essa descrição clássica trilaminar na verdade é uma complexa estrutura com grande variação anatômica e planos fasciais mal definidos.

O ligamento patelo-femoral medial é o principal restritor medial da patela, sendo responsável por 53% da contenção deste osso em sua posição anatômica. Sua inserção ocorre próximo ao epicôndilo medial do fêmur e nos dois terços proximais da face medial da patela. Outros estabilizadores mediais secundários da patela são: o retináculo medial da patela, o ligamento patelo-meniscal e o ligamento patelo-tibial (ANDRIKOULA *et al.*, 2006; WALIGORA, JOHANSON, HIRSCH, 2009; CONLAN, GARTH, LEMONS, 1993). Nas Figuras 32 e 33 do presente estudo, é possível identificar subjetivamente a noção de profundidade imposta pelo efeito 3D nos contentores mediais da patela, principalmente em decorrência do grande número de camadas entre as estruturas, característica que possibilita a potencialização do efeito 3D.

O retináculo medial da patela é formado por fibras provenientes do VM, que passam paralelas à face medial da patela, e por fibras do VL, que cruzam a região anterior da patela (DYE *et al.*, 2003; WANGWINYUVIRAT *et al.*, 2009). CONLAN, GARTH, LEMONS (1993) descreveram ainda as características anatômicas do ligamento patelo-tibial medial. Este ligamento se insere na porção distal da superfície

medial da patela e na região anteromedial da tíbia, aproximadamente 1,5 cm da superfície articular deste osso. Embora sua função não seja totalmente bem definida pela literatura, percebe-se, na Figura 33, que esse ligamento é uma estrutura mais estreita e frágil quando comparado ao ligamento patelo-femoral medial.

Ao contrário do compartimento medial, MERICAN *et al.* (2009) demonstram que o ligamento patelo-femoral lateral não é o principal contentor do deslocamento medial da patela, apresentando resistência inferior à do retináculo lateral da patela, que é composto por fibras dos músculos VL e VM, e conecta o trato iliotibial à patela. O ligamento patelo-femoral lateral é uma estrutura mais fina e frágil, conforme visto na Figura 34. Essa percepção nem sempre é possível em imagens em duas dimensões. Por ser uma região pouco explorada cirurgicamente, o médico ortopedista tem pouca possibilidade de visualizar essa estrutura. A oportunidade de visualizar tridimensionalmente estruturas que não são muito usuais no dia a dia faz da técnica uma poderosa ferramenta de ensino.

COLOMBEL *et al.* (1998) descreveram a ampla vascularização do joelho e do aparelho extensor, detentora de uma rede de anastomoses interligadas entre si. As artérias femoral, poplítea e tibial anterior são as principais artérias nutridoras desta articulação. A artéria femoral emite um ramo denominado artéria descendente do joelho antes de atravessar o hiato dos adutores. A artéria descendente do joelho se divide em três novos ramos: safeno, oblíquo profundo e ramos articulares. O ramo safeno anastomosa-se com a artéria inferior medial do joelho, os ramos articulares anastomosam-se com a artéria superior lateral do joelho e o ramo oblíquo profundo divide-se em ramos musculares profundos para nutrir o músculo quadríceps femoral.

As artérias superior lateral e medial, inferior lateral e medial, ramos da artéria poplítea, também atuam na nutrição do aparelho extensor. A artéria superior lateral do joelho anastomosa-se com o ramo descendente da artéria circunflexa femoral lateral, formando, junto com outras anastomoses, a rede patelar descrita por SCAPINELLI (1967).

COLOMBEL *et al.* (1998) descreveram o trajeto e nutrição das artérias inferiores lateral e medial. Estas emitem ramos para nutrir principalmente a patela e o ligamento patelar. Essas duas artérias se dividem em ramos que vão realizar anastomose com as artérias superiores do joelho (SCAPINELLI, 1967; COLOMBEL *et al.*, 1998, PANG *et al.*, 2009). Na Figura 35, é possível visualizar alguns dos ramos arteriais do aparelho extensor do joelho e perceber, através da visão estereoscópica, a penetração do vaso nos músculos que circundam o joelho.

SANCHEZ, SUGALSKI, LAPRADE (2006) estudaram a anatomia do CPL do joelho e sua função. Sabe-se que essa região do joelho é importante estabilizadora rotacional e da limitação do movimento em varo do joelho. Pode-se dividir a região anatômica do compartimento póstero-lateral em camadas de acordo com o aparecimento das suas principais estruturas.

VIEIRA *et al.* (2007) descreveram a primeira camada como sendo formada pelos músculos bíceps femoral, trato iliotibial e cabeça lateral do músculo gastrocnêmio. O músculo bíceps femoral é formado por uma cabeça longa e uma curta. O nervo fibular comum cursa posteriormente a cabeça longa do músculo bíceps femoral, o que faz deste um importante marco anatômico durante o procedimento cirúrgico. O trato iliotibial é a estrutura mais superficial de todo o compartimento póstero-lateral. Sua inserção ocorre no tubérculo de Gerdy, proeminência óssea na região

anterolateral da tíbia. O tendão da cabeça lateral do músculo gastrocnêmio tem inserção na superfície posterior e lateral da região supracondiliana do fêmur. Esta complexa e pouco explorada região também tem, no uso de imagens 3D de suas estruturas, uma visão realista de como elas se apresentam no joelho.

A segunda camada é formada pelo ligamento colateral fibular (LCF), tendão do músculo poplíteo, e ligamento poplíteo-fibular. Estas são as estruturas responsáveis pelas principais funções do compartimento pósterolateral. O LCF é o principal restritor do estresse em varo do joelho. Sua inserção proximal ocorre em uma pequena depressão óssea localizada a 1,4 mm proximal e 3,1 mm posterior ao epicôndilo lateral do fêmur. Sua inserção distal ocorre na cabeça da fíbula, localizado 8.2 mm posterior à sua margem anterior e distante 28.4 mm de seu ápice. Este ligamento apresenta 69.6 mm de comprimento em média e sua inserção distal ocupa 38% de toda área da cabeça da fíbula. O tendão do músculo poplíteo é o principal restritor da rotação externa da tíbia. Sua inserção distal ocorre na região posteromedial da tíbia e cursa, em uma direção oblíqua, para a região mais proximal e lateral do joelho até atingir o côndilo femoral lateral. No terço lateral da fossa poplíteia, o músculo se torna uma estrutura puramente tendinosa e, quando cruza o LCF posteriormente, o tendão se torna intra-articular até se inserir em uma região anterior e proximal à inserção femoral do LCF. A porção tendínea tem aproximadamente 55 mm. O ligamento poplíteo-fibular se origina na transição entre a porção muscular e tendínea do músculo poplíteo e se insere no ápice da cabeça da fíbula. É um importante restritor da rotação externa (SEKIYA, JACOBSON, WOJTYS, 2002; ARCIERO, 2005). A inserção proximal do LCF e tendão do músculo poplíteo pode ser avaliada em diferentes

posições do joelho com a aplicação da técnica 3D, favorecendo o aprendizado e conhecimento anatômico para aplicação prática durante a reconstrução desses ligamentos quando lesados.

A terceira camada, ou camada profunda, corresponde à cápsula articular do joelho, ao ligamento fabelo-fibular — que nem sempre se encontra presente no joelho humano —, ligamento arqueado e ligamentos coronários, uma extensão entre o menisco lateral e a cápsula do joelho. (SEEBACHER et al., 1982; LAPRADE et al., 1999; LAPRADE et al., 2002). Neste estudo, não foi possível visualizar essas estruturas com o propósito de realizar o registro fotográfico e aplicação da técnica anaglífica.

SCAPINELLI (1997) descreveu a vascularização do compartimento póstero-lateral do joelho. Os ramos superior e inferior lateral da artéria poplítea são os principais responsáveis pela nutrição do compartimento póstero-lateral. A artéria superior lateral do joelho é a principal responsável pela nutrição do côndilo femoral lateral. A artéria inferior lateral do joelho margeia o menisco lateral, sendo responsável também por sua nutrição. Por fim, ela se anastomosa na área intercondilar anterior e posterior do fêmur onde auxilia na nutrição dos ligamentos cruzados. Em procedimentos cirúrgicos como sutura de lesão de menisco ou em fraturas do planalto tibial, a artéria inferior lateral do joelho pode ser lesada. Em imagens bidimensionais, não é possível compreender o trajeto desses ramos vasculares de forma tão detalhada. A lesão torna-se muitas vezes imperceptível, mas os danos causados podem prejudicar o paciente. A imagem 3D valoriza e enfatiza a importância e a proporção que a trama vascular apresenta nessa região.

Além disso, a cirurgia de reconstrução do compartimento pósterolateral não é frequente e muitas vezes não é vista nem mesmo pelo especialista em joelho. Consequentemente seu único contato com esse procedimento está nos livros e artigos científicos. A absorção do conhecimento é apenas bidimensional e, pela complexidade e pouco entendimento da região, a abstração 3D se torna ainda mais difícil. A visão estereoscópica mais uma vez passa a ser uma opção de ensino e pesquisa, permitindo a formação de novos profissionais com um entendimento mais real da anatomia.

STANNARD (2010) descreveu o compartimento pósteromedial como importante estabilizador do movimento em valgo e controle rotacional do joelho. Entretanto, não foi dada, ao estudo de suas estruturas, a mesma importância que outras regiões do joelho receberam ao longo dos anos. Ainda hoje, a função e a anatomia das estruturas que compõem o compartimento pósteromedial não foram completamente compreendidas. FANELLI e HARRIS (2006) mencionam ainda que, apesar de o ligamento colateral tibial (LCT) ser o mais lesado do joelho, apresenta grande potencial de cicatrização, não sendo comum sua abordagem cirúrgica. Esta é a principal hipótese a explicar o número reduzido de artigos presentes na literatura a respeito deste compartimento quando comparado com outras regiões do joelho, segundo FRIDÉN *et al.* (1995).

Este estudo apresenta uma boa oportunidade para a compreensão da anatomia da região através da visualização de imagens 3D de suas estruturas. Com a popularização das técnicas 3D para as atividades diárias e para a realização das práticas institucionais, como a cirurgia por vídeo, seria essencial que as reproduções 3D de estruturas musculoesqueléticas fossem realizadas, especialmente em regiões pouco conhecidas, onde a

técnica pudesse fornecer novas informações. A dificuldade na compreensão da relação entre as principais estruturas do compartimento medial do joelho pode ser minimizada por uma nova forma de visualizar a região.

Segundo HUGHSTON e EILERS (1973), o compartimento pósteromedial do joelho pode ser anatomicamente dividido em camadas. WARREN, MARSHALL, GIRGIS (1974) demonstraram, em sua primeira descrição anatômica por camadas do compartimento pósteromedial, a importância do LCT. Entretanto, WAREN e MARSHALL (1979), criticaram, em estudo subsequente, que inicialmente não foi dado o devido valor para as outras estruturas mediais. JACOBSON e CHI (2006) descreveram as estruturas do compartimento pósteromedial sequencialmente, de anterior para posterior. ROBINSON *et al.* (2004) descreveram a anatomia medial do joelho não apenas por camadas, mas também dividindo-a em três partes: a) a anterior, compreendendo a margem medial do ligamento patelar até as fibras anteriores do LCT; b) a média, composta pelo LCT; c) a posterior, composta pelas fibras posteriores do LCT até a cabeça medial do músculo gastrocnêmio. O uso da técnica 3D faz com que o entendimento da anatomia regional seja mais simples e didática. As três porções descritas por ROBINSON *et al.* (2004) podem ser visualizadas numa única imagem de alta qualidade, proporcionando um entendimento mais simples das relações entre as estruturas que compõem o compartimento pósteromedial do joelho.

Foi a descrição do ligamento oblíquo posterior (LOP) por HUGHSTON e EILERS (1973) que introduziu o conceito de compartimento pósteromedial do joelho. Esta ideia foi reforçada por MÜLLER (1982) que afirmou que, apesar de sua estreita relação topográfica com o LCT, o compartimento pósteromedial do joelho é fundamentalmente diferente em

sua natureza e função. A descrição e função desta estrutura é divergente na literatura (GRAY *et al.* 2005; HUGHSTON e EILERS, 1973; LOREDO *et al.*, 1999). MÜLLER (1982) descreveu o compartimento pósteromedial como uma região cuja função depende da ação do ligamento colateral tibial e também de outros ligamentos, como o oblíquo posterior, e dos músculos, principalmente o semimembrâneo, ressaltando a importância deste músculo para a região. Na Figura 46, é possível avaliar tridimensionalmente o trajeto do músculo semimembrâneo e cabeça medial do músculo gastrocnêmio. Por fim, conclui-se que o compartimento pósteromedial é composto por músculos e ligamentos capazes de proporcionar estabilidade estática e dinâmica ao joelho.

LCT e LOP são estruturas importantes desse complexo. Elas podem resistir ao estresse em valgo e às forças de rotação interna e externa aplicadas no joelho. GRIFFITH *et al.* (2009) demonstraram que a principal estrutura capaz de reter o estresse em valgo em todos os ângulos de flexão são as fibras superficiais do LCT, que é também um limitador de rotação interna em flexão. O LOP e a cápsula da região pósteromedial controlam o valgo, rotação interna e a gaveta posterior em extensão, por isso têm papel importante na prevenção da translação posterior na deficiência do LCP. ROBINSON *et al.* (2006) acrescentam que as fibras profundas do LCT restringem principalmente a gaveta anterior do joelho em flexão com rotação externa e também são restritoras secundárias do estresse em valgo.

É possível visualizar a complexidade funcional da região do joelho usando imagens 3D, bem como a importância de cada estrutura anteriormente descrita. Essas imagens também ajudam a compreender a anatomia e função do compartimento pósteromedial do joelho.



Acreditamos que a aplicação de técnicas de visualização de imagens estereoscópicas é fundamental para o desenvolvimento de futuros modelos de realidade virtual, que por sua vez serão particularmente úteis no campo da medicina. Atividades como a educação médica, treinamento e desenvolvimento de novas técnicas cirúrgicas, realização de cirurgias remotas e robóticas certamente dependerão da tecnologia utilizada para gerar imagens 3D.

No presente estudo foi realizado o primeiro mapeamento musculoesquelético tridimensional, uma análise qualitativa das principais estruturas do joelho. Com o domínio da técnica de confecção de imagens estereoscópicas obtido, será possível realizar análises quantitativas destas mesmas estruturas, permitindo compará-las com as imagens bidimensionais já existentes.

## **7. CONCLUSÃO**

## 7. CONCLUSÃO

As imagens anatômicas dissecadas das principais estruturas musculoesqueléticas e vasculares do joelho humano podem ser visualizadas com efeito tridimensional quando aplicada a elas a técnica anaglífica.

## **8. REFERÊNCIAS**

## 8. REFERÊNCIAS

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.

Andrikoula S, Tokis A, Vasiliadis HS, Georgoulis A. The extensor mechanism of the knee joint: an anatomical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):214-20.

Arciero RA. Anatomic posterolateral corner knee reconstruction. *Arthroscopy.* 2005;21(9):1147.

Arliani GG, Astur DC, Moraes ER, Kaleka CC, Jalikjian W, Golano P, Cohen M. Three dimensional anatomy of the anterior cruciate ligament: a new approach in anatomical orthopedic studies and a literature review. *Open Access J Sports Med.* 2012;3:183-8.

Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(172):19-25.

Astur DC, Arliani GG, Kaleka CC, Jalikjian W, Golano P, Cohen M. A three-dimensional anatomy of the posterolateral compartment of the knee: the use of a new technology in the study of musculoskeletal anatomy. *Open Access J Sports Med.* 2012;3:1-5.

- Astur DC, Oliveira SG, Badra R, Arliani GG, Kaleka CC, Jalikjian W, Golanó P, Cohen M. Atualização da anatomia do mecanismo extensor do joelho com uso de técnica de visualização tridimensional [Updating of the anatomy of the extensor mechanism of the knee using a three-dimensional viewing technique]. *Rev Bras Ortop.* 2011;46(5):490-4.
- Baek GH, Carlin GJ, Vogrin TM, Woo SL, Harner CD. Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and menisco-femoral ligaments. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(357):205-11.
- Ballard EA, Campbell SE. Unusual pattern of bucket-handle, medial meniscal tear in magnetic resonance imaging. *Mil Med.* 2008;173(11): 142-4.
- Bento RF, Ribas GC, Sanchez TG, Brito Neto RV, Rodrigues AJ, Miniti A. Demonstração da anatomia cirúrgica do osso temporal em 3 dimensões. *International Archives of Otorhinolaryngology.* 2000;4(2):56-60.
- Clancy WG Jr, Shelbourne KD, Zoellner GB, Kneene JS, Reider B, Rosenberg TD. Treatment of knee instability secondary to rupture of the posterior cruciate ligament. Report of a new procedure. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(3):310-22.
- Cohen M, Astur DC, Branco RC, de Souza Campos Fernandes R, Kaleka CC, Arliani GG, Jalikjian W, Golano P. An anatomical three-dimensional study of the posteromedial corner of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011a;19(10):1614-9.

- Cohen M, Astur Dda C, Kaleka CC, Arliani GG, Cohen C, Jalikjian W, Golano P. Introducing 3-dimensional stereoscopic imaging to the study of musculoskeletal anatomy. *Arthroscopy*. 2011b;27(4):593-6.
- Colombel M, Mariz Y, Dahhan P, Kénési C. Arterial and lymphatic supply of the knee integuments. *Surg Radiol Anat*. 1998;20(1):35-40.
- Conlan T, Garth WP Jr, Lemons JE. Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75(5):682-93.
- Cury Rde P, Mestriner MB, Kaleka CC, Severino NR, de Oliveira VM, Camargo OP. Double-bundle PCL reconstruction using autogenous quadriceps tendon and semitendinous graft: surgical technique with 2-year follow-up clinical results. *Knee*. 2014;21(3):763-8.
- Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(3):204-13.
- Dye SF, Campagna-Pinto D, Dye CC, Shifflett S, Eiman T. Soft-tissue anatomy anterior to the human patella. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A(6):1012-7.
- Ellison AE, Berg EE. Embriology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am*. 1985;16(1):3-14.

Fanelli GC, Harris JD. Surgical treatment of acute medial collateral ligament and posteromedial corner injuries of the knee. *Sports Med Arthrosc.* 2006;14(2):78-83.

Ferreti 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):1218-225.

Ferwerda JG. *The world of 3-D: a practical guide to stereo photography.* Netherlands: 3-D Book Productions; 1990.

Fraser JF, Allen B, Anand VK, Schwartz TH. Three-dimensional neurostereoscopy: subjective and objective comparison to 2D. *Minim Invasive Neurosurg.* 2009;52(1):25-31.

Fridén T, Erlandsson T, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U. Compression or distraction of the anterior cruciate injured knee. Variations in injury pattern in contact sports and downhill skiing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1995;3(3):144-7.

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.

Giron F, Cuomo P, Aglietti P, Bull AM, Amis AA. Femoral attachment of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):250-6.



Gray H, Standring S, Ellis H, Berkovitz BKB. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. New York: Elsevier Churchill Livingstone; 2005.

Griffith CJ, Wijdicks CA, LaPrade RF, Armitage BM, Johansen S, Engebretsen L. Force measurements on the posterior oblique ligament and superficial medial collateral ligament proximal and distal divisions to applied loads. *Am J Sports Med.* 2009;37(1):140-8.

Hughston JC, Eilers AF. The role of the posterior oblique ligament in repairs of acute medial (collateral) ligament tears of the knee. *J Bone Joint Surg.* 1973;55(5):923-40.

Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A. Classification of knee ligament instabilities: Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(2):159-72.

Jacobson KE, Chi FS. Evaluation and treatment of medial collateral ligament and medial-sided injuries of the knee. *Sports Med Arthrosc.* 2006;14(2):58-66.

Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD. Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(3):350-5.

Kimura K, Takahashi Y. *M. articularis genus*. Observations on arrangement and consideration of function. *Surg Radiol Anat.* 1987;9(3):231-9.

LaPrade RF, Resig S, Wentorf F, Lewis JL. The effects of grade III posterolateral knee complex injuries on anterior cruciate ligament graft force. A biomechanical analysis. *Am J Sports Med.* 1999;27(4):469-75.

LaPrade RF, Muench C, Wentorf F, Lewis JL. The effect of injury to the posterolateral structures of the knee on force in a posterior cruciate ligament graft: a biomechanical study. *Am J Sports Med.* 2002;30(2):233-8.

Lehmann MV, Mardin CY, Martus P, Bergua A. 3D vs 2D qualitative and semiquantitative evaluation of the glaucomatous optic disc atrophy using computer- assisted stereophotography. *Eye (Lond).* 2008;22(5):628-35.

Loredo R, Hodler J, Pedowitz R, Yeh LR, Trudell D, Resnick D. Posteromedial corner of the knee: MR imaging with gross anatomic correlation. *Skeletal Radiol.* 1999;28(6):305-11.

Meneses MS, Cruz AV, Castro IA, Pedrozo AA. Estereoscopia aplicada à neuroanatomia: estudo comparativo entre as técnicas de filtro de cores e de polarização [Stereoscopic neuroanatomy: comparative study between anaglyphic and light polarization techniques]. *Arq Neuropsiquiatr.* 2002;60(3-B):769-74.

Merican AM, Sanghavi S, Iranpour F, Amis AA. The structural properties of the lateral retinaculum and capsular complex of the knee. *J Biomech.* 2009;42(14):2323-9.

Müller W. *Knee: form, function, and ligament reconstruction.* Berlin: Springer-Verlag; 1982.

Pang J, Shen S, Pan WR, Jones IR, Rozen WM, Taylor GI. The arterial supply of the patellar tendon: anatomical study with clinical implications for knee surgery. *Clin Anat*. 2009;22(3):371-6.

Reider B, Marshall JL, Koslin B, Ring B, Girgis FG. The anterior aspect of the knee joint. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63(3):351-6.

Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglypic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg*. 2001;95(6):1057-66.

Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ. Reproduções impressas de imagens tridimensionais estereoscópicas para ensino, demonstrações e documentações. *International Archives of Otorhinolaryngology*. 2000;4(2):48-54.

Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues Junior AJ. O cérebro, a visão tridimensional, e as técnicas de obtenção de imagens estereoscópicas [The brain, the tridimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images]. *Rev Med (São Paulo)*. 2006;85(3):78-90.

Robinson JR, Bull AM, Thomas RR, Amis AA. The role of the medial collateral ligament and posteromedial capsule in controlling knee laxity. *Am J Sports Med*. 2006;34(11):1815-23.

Robinson JR, Sanchez-Ballester J, Bull AM, Thomas Rde W, Amis AA. The posteromedial corner revisited. An anatomical description of the passive restraining structures of the medial aspect of the human knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(5):674-81.

Rumian AP, Wallace AL, Birch HL. Tendons and ligaments are anatomically distinct but overlap in molecular and morphological features-- a comparative study in an ovine model. *J Orthop Res.* 2007;25(4):458-64.

Sanchez AR 2nd, Sugalski MT, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee. *Sports Med Arthrosc.* 2006;14(1):2-11.

Scapinelli R. Blood supply of the human patella. Its relation to ischaemic necrosis after fracture. *J Bone Joint Surg Br.* 1967;49(3):563-70.

Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat.* 1997;10(3):151-62.

Seebacher JR, Inglis AE, Marshall JL, Warren RF. The structure of the posterolateral aspect of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64(4):536-41.

Sekiya JK, Jacobson JA, Wojtys EM. Sonographic imaging of the posterolateral structures of the knee: findings in human cadavers. *Arthroscopy.* 2002;18(8):872-81.

Sennes LU, Tsuji D, Bodahana S, Bento RF, Ribas GC. The use of 3D-images in the study of the anatomy of the larynx. *International Archives of Otorhinolaryngology.* 2000;4(3):92-100.

Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL Jr, Fukushima Y, Osawa S, Kawashima M, Oka H, Fujii K. Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery*. 2006;58(5):E1000; discussion E1000.

Stannard JP. Medial and posteromedial instability of the knee: evaluation, treatment, and results. *Sports Med Arthrosc*. 2010;18(4):263-8.

Starkman D. The Nimslo 3D camera book. Everything you always wanted to know about the NIMSLO 3D camera including tips for uses the maker never intended. Culver City: Reel 3D Enterprises; 1986.

Trelease RB. The virtual anatomy practical: a stereoscopic 3D interactive multimedia computer examination program. *Clin Anat*. 1998;11(2):89-94.

Trelease RB. Toward virtual anatomy: a stereoscopic 3-D interactive multimedia computer program for cranial osteology. *Clin Anat*. 1996;9(4):269-72.

Van Dommelen BA, Fowler PJ. Anatomy of the posterior cruciate ligament. A review. *Am J Sports Med*. 1989;17(1):24-9.

Vieira EL, Vieira EA, da Silva RT, Berlfein PA, Abdalla RJ, Cohen M. An anatomic study of the iliotibial tract. *Arthroscopy*. 2007;23(3):269-74.

Waligora AC, Johanson NA, Hirsch BE. Clinical anatomy of the quadriceps femoris and extensor apparatus of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(12):3297-306.

Wangwinyuvirat M, Dirim B, Pastore D, Pretterklieber M, Frank A, Haghighi P, Resnick D. Prepatellar quadriceps continuation: MRI of cadavers with gross anatomic and histologic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;192(3):W111-6.

Warren LF, Marshall JL, Girgis F. The prime static stabilizer of the medial side of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(4):665-74.

Warren LF, Marshall JL. The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 1979;61(1):56-62.

Welsh RP. Knee joint structure and function. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(147):7-14.

Wolfgram DE. *Aventuras em 3D.* São Paulo: Berkley Brasil Editora; 1993.

## **NORMAS ADOTADAS**

## **NORMAS ADOTADAS**

Ferreira LM, Goldenberg S, Nahas FX, Barbosa MV, Ely PB. Orientação normativa para elaboração e apresentação de teses: guia prático. São Paulo: Livraria Médica Paulista Editora; 2008.

International Committee of Medical Journals Editors. Uniform requirements for manuscripts submitted to biomedical journal. Writing and editing for biomedical publication (Internet). Vancouver (CA); 2007 Oct (cited 2013 Jul 18). Available from <http://www.icmje.org/>

Terminologia Anatômica. Terminologia Anatômica Internacional. São Paulo: Manole; 2001.

Consulta ao DeCS – Descritores em Ciências da Saúde. [http://decs.bvs.br/-terminologia em saúde](http://decs.bvs.br/-terminologia-em-saude).



**ABSTRACT**

## ABSTRACT

**Introduction:** Human anatomy drawings and picture studies illustrated on scientific articles and books are always limited due to a two-dimensional representation of the anatomic structures, especially when it comes to surgical approaches and techniques. Over the years, the need for a more accurate representation of reality and aspects of surgical routine provided a promising development of three-dimensional anatomical images. Few studies concerning the application of these techniques in healthcare routine were cited in the literature. Among those, none apply these three-dimensional images to musculoskeletal anatomy. **Objective:** To apply the anaglyphic reconstruction technique to visualize three-dimensional images of the major anatomical structures of a human specimen knee. **Methods:** Twenty cadaveric human knees were dissected to identify the major structures of this joint. The knee was divided into five different zones to better understand its anatomy details. Two photographic images of each anatomical structure were captured by a fixed standing camera attached to a slide bar to simulate the human right and left eyes vision. Images captured were overlapped and polarized through a photo editing software. Specific polarized glasses are required for one to view the three-dimensional effects of the anatomical structures. **Results:** A series of three-dimensional images of the major structures of the knee were collected. They were divided into five groups: anterior cruciate ligament, posterior cruciate ligament, extensor mechanism, posterolateral and posteromedial compartment of the knee. **Conclusions:** Anaglyphic three-dimensional reconstruction imaging technique is compatible to anatomical studies of the knee and provides

more realistic visualization of the musculoskeletal and vascular structures of the human knee.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE 1

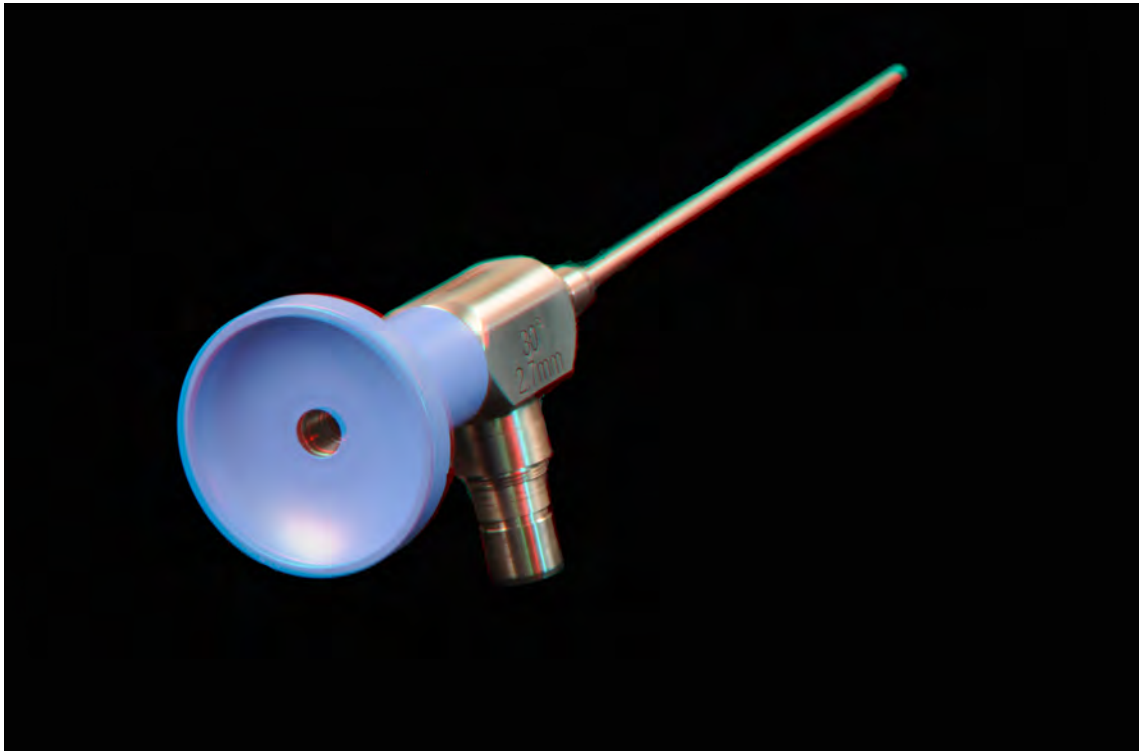
### INSTRUMENTOS MÉDICOS UTILIZADOS PARA DESCRIÇÃO DA TÉCNICA



**Figura 53.** Imagem lateral de uma cânula artroscópica.



**Figura 54.** Imagem tridimensional oblíqua de uma cânula utilizada em procedimento artroscópico no ombro.



**Figura 55.** Imagem tridimensional oblíqua de uma óptica utilizada para visualização artroscópica do joelho.

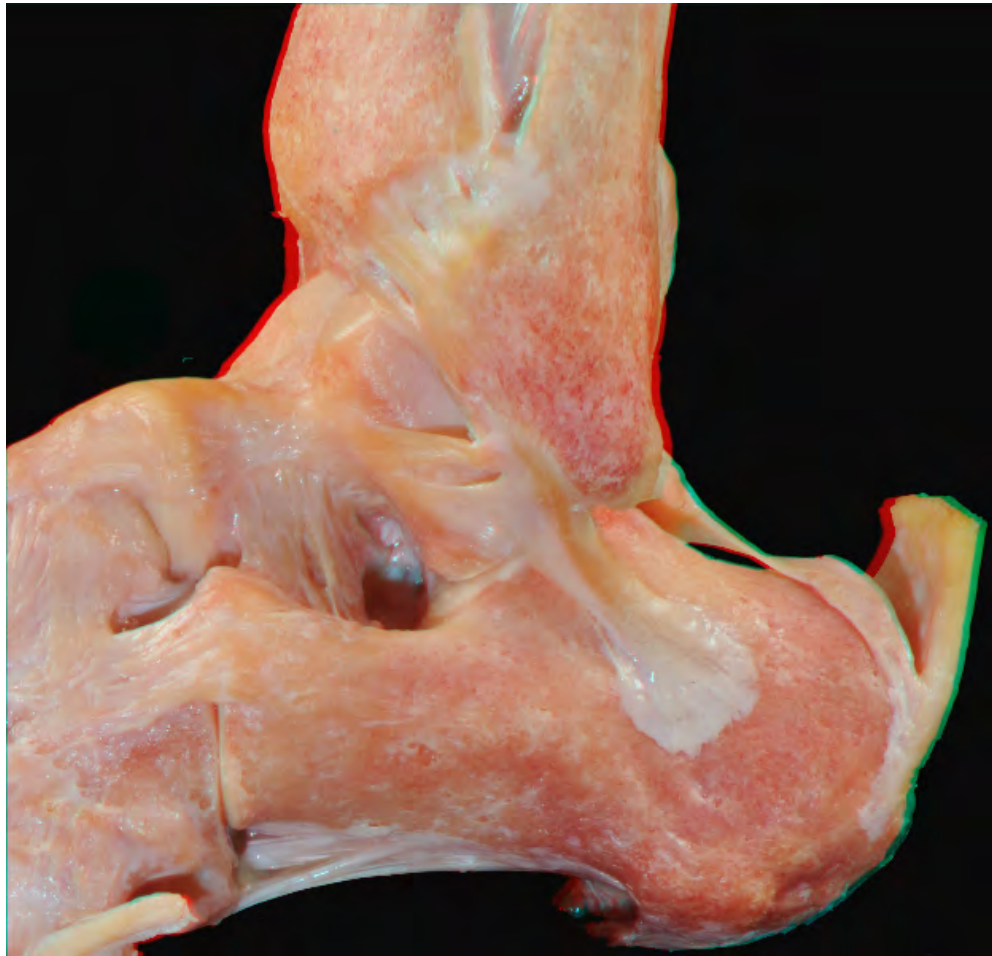


**Figura 56.** Imagem tridimensional da barra deslizante utilizada para realizar os dois registros fotográficos capazes de simular a visão humana. Ao se fixar a máquina fotográfica a esta barra, é possível deslizá-la, mensurando o seu deslocamento.

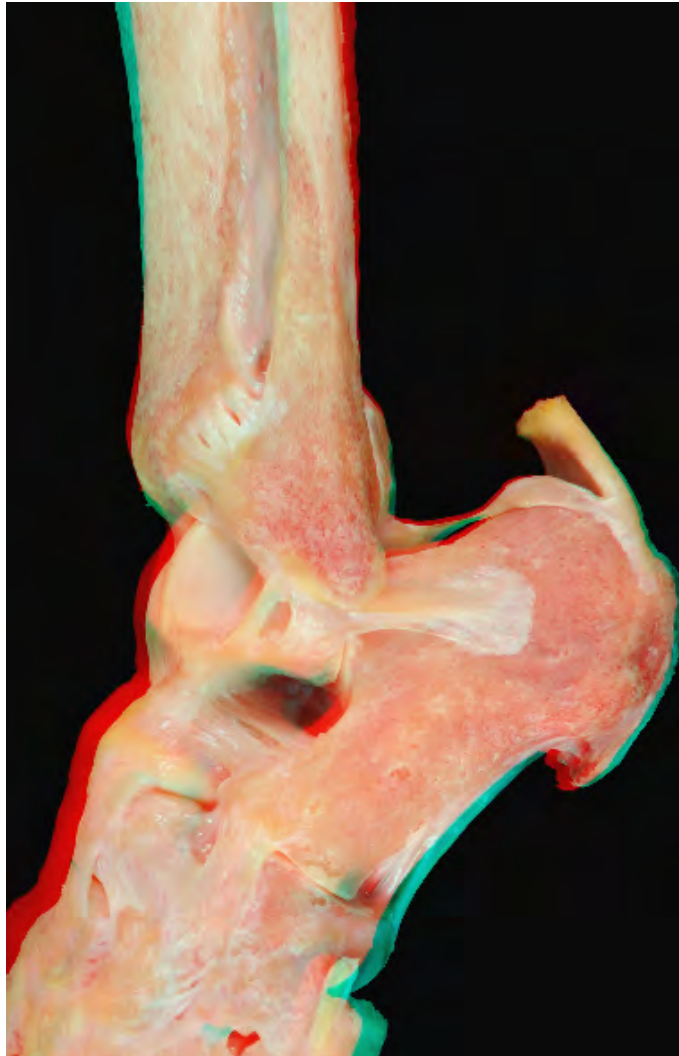


## APÊNDICE 2

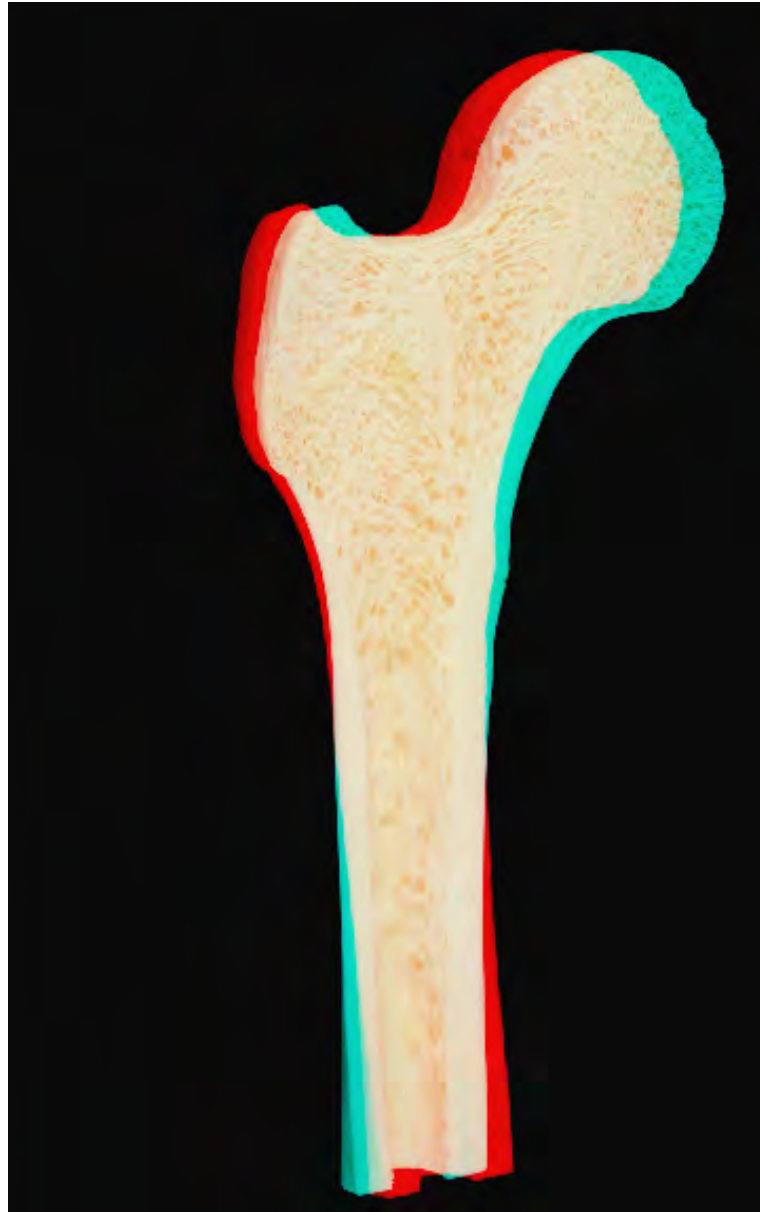
### ESTRUTURAS ANATÔMICAS MUSCULOESQUELÉTICAS QUE NÃO O JOELHO UTILIZADAS PARA DESCRIÇÃO DA TÉCNICA



**Figura 57.** Imagem tridimensional de um corte sagital do tornozelo humano com 90° de flexão. É possível visualizar os tendões e ligamentos presentes e a riqueza de detalhes na transição destas estruturas com os ossos do pé.



**Figura 58.** Imagem tridimensional de um corte sagital do tornozelo humano em extensão. É possível identificar as mesmas estruturas da figura anterior, porém com a articulação em uma posição diferente, permitindo correlacionar as características da estrutura com a posição em que a articulação se encontra.



**Figura 59.** Imagem tridimensional de um corte coronal da região proximal e diafisária do fêmur humano. É possível identificar o efeito tridimensional no osso sem nenhuma outra estrutura musculoesquelética presente.



**Figura 60.** Imagem tridimensional do osso da pelve humana. Os espaços vazios criados pela própria estrutura óssea de ísquio e púbis favorecem a sensação de profundidade ao se aplicar a técnica anaglífica.

**ANEXOS**

# ANEXO 1

## FOLHA DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA. PROTOCOLO CEP 1801/10



Universidade Federal de São Paulo  
Escola Paulista de Medicina

Comitê de Ética em Pesquisa  
Hospital São Paulo

São Paulo, 3 de Dezembro de 2010.  
**CEP 1801/10**

Ilmo(a). Sr(a).  
Pesquisador(a) DIEGO DA COSTA ASTUR  
Co-Investigadores: Diego da Costa Astur, Moises Cohen  
Disciplina/Departamento: Traumatologia da Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo  
Patrocinador: Recursos Próprios.

### PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA INSTITUCIONAL

Ref: Projeto de pesquisa intitulado: "**Estudo tridimensional da anatomia aplicada e cirurgica do joelho humano em cadáver**".

**CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO ESTUDO:** Estudo com cadáveres.

**RISCOS ADICIONAIS PARA O PACIENTE:** Sem risco.

**OBJETIVOS:** Estudar os parâmetros anatômicos do ligamento cruzado posterior, estruturas da região posterior do joelho, estruturas do compartimento postero lateral do joelho, estruturas do compartimento medial, ligamento cruzado anterior e meniscos, através de imagens tridimensionais para melhor compreensão espacial desta região..

**RESUMO:** Serão utilizados joelhos de membros inferiores de cadáver da disciplina de anatomia da UNIFESP, para dissecação das regiões mencionadas: a região posterior do joelho, enfatizando o estudo do ligamento cruzado posterior e suas bandas, cápsula posterior do joelho e artéria poplíteia, a região postero-lateral do joelho, enfatizando tendão do músculo poplíteo, ligamento poplíteo fibular, ligamento colateral lateral e suas relações com o nervo fibular, o ligamento cruzado anterior e suas inserções e bandas, o compartimento medial através do estudo do ligamento colateral medial, músculo semimembranáceo e suas inserções e meniscos. Após disseções com visão adequada de todas as estruturas procuradas nas diferentes posições estudadas será realizado ensaio fotográfico com técnica de imagem que nos possibilite visão tridimensional destas estruturas. Comparação com imagem em um único plano será feita em uma mesma página para que seja possível identificar estas estruturas através de setas na imagem convencional e visualizar na imagem tridimensional..

**FUNDAMENTOS E RACIONAL:** A visão espacial do joelho facilitará ainda mais o entendimento da biomecânica desta região do joelho ainda pouco estudada. A possibilidade de comparar de forma simultânea a imagem convencional e tridimensional será o primeiro passo para esclarecimento de algumas dúvidas da composição anatômica e biomecânica que ainda perduram nos estudos destas regiões..

**MATERIAL E MÉTODO:** Estão descritos os procedimentos, apresentando autorização do setor responsável pelas peças utilizadas nesta pesquisa.

**TCLE:** Não se aplica.

**DETALHAMENTO FINANCEIRO:** Sem financiamento externo - R\$ 450,00.

**CRONOGRAMA:** 3 meses.



Universidade Federal de São Paulo

Comitê de Ética em Pesquisa  
Hospital São Paulo

3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

Atenciosamente,

Prof. Dr. José Osmar Medina Pestana  
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da  
Universidade Federal de São Paulo/ Hospital São Paulo

1492/06

## ANEXO 2

**Certificado de Conclusão de Curso do Departamento de Patologia e Terapêutica Experimental (Unidade de Anatomia e Embriologia Humana) da Universidade de Barcelona**



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Dr. Pau GOLANÓ  
Unitat d'Anatomia i Embriologia Human  
Departament de Patologia i Terapèutica Experimental

Campus de Bellvitge- UB  
Pavelló Central, 5a planta  
C/ Feixa Llarga, s/n  
08907 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)  
E-mail: pgolano@ub.edu

Barcelona, 30 de novembre de 2010

Dr. **Pau Golanó**, Profesor Titular de Escuela Universitaria, del Departamento de Patología Experimental (Unidad de Anatomía y Embriología Humana) de la Universidad de Barcelona, Ex-Presidente de la Comisión de Docencia de la Asociación Española de Artroscopia, y Director del Laboratorio de Anatomía Artroscópica Centro Docente de Referencia de la Asociación Española de Artroscopia y Miembro del Education Committee de ISAKOS

**INFORMA:**

Que el Dr. **Diego da Costa Astur** realizó, con gran interés y dedicación, el **Curso Intensivo de Formación Práctica de Disección en Anatomía Quirúrgica de la Rodilla**, organizado por nuestra Unidad de Anatomía y Embriología Humana. Este curso, bajo mi Dirección, tiene como objetivos la adquisición de las habilidades necesarias para el desarrollo de una correcta técnica de disección y el reconocimiento de las principales estructuras anatómicas de la rodilla con interés quirúrgico.

y para que conste a los efectos oportunos, firmo la presente en Barcelona a 30 de noviembre de 2010

Dr. Pau Golanó  
Unidad de Anatomía y Embriología Humana  
Departamento de Patología y Terapèutica Experimental



## ANEXO 3

## Artigos Publicados

## Technical Note

## Introducing 3-Dimensional Stereoscopic Imaging to the Study of Musculoskeletal Anatomy

Moises Cohen, M.D., Ph.D., Diego da Costa Astur, M.D., Camila Cohen Kaleka, M.D.,  
Gustavo Gonçalves Arliani, M.D., Carina Cohen, M.D.,  
Wahy Jalikjian, M.D., and Pau Golano, M.D.

---

**Abstract:** The stereoscopic imaging technique is an option for a more realistic understanding of what we normally see in 2 dimensions on paper or on a screen. To produce a 3-dimensional image of an object, it is necessary to register 2 different images of the same object at the same distance and height with the use of cameras that focus on one particular point. A convergence between the left and right images is required for human vision. The distance between the camera and the images necessary to create the stereo pair should be proportional to the normal distance between the pupils. Stereoscopic or polarization techniques are used to create the images, and special glasses are required to view them. In medicine, 3-dimensional images are an extremely effective resource in the study and teaching of anatomy at both the macroscopic and microscopic levels. With advancements in technology and the emergence of new diagnostic imaging techniques and innovative therapeutic modalities, 3-dimensional images can be an excellent educational tool.

---

**W**e live in a world in which the objects that surround us are seen by us in 3 dimensions but records are documented as 2-dimensional images. The discrepancy between what we see and our mental abstractions can make images difficult to understand. In this context, medical studies often present barriers to the understanding of a particular anatomic region, the description of a surgical technique, or even the ability to understand various issues during medical specialization. The 3-dimensional (3D) view that al-

lows a real sense of depth is called stereoscopic vision. This type of vision allows a more precise orientation and interaction with the environment.

An overlap of 2 or more recorded images at a point corresponding to the view from the left eye and a point corresponding to the view from the right eye creates a 3D image. The merger of these 2 images in the brain gives us depth perception and allows an appreciation of distance, location, and the size of objects. A set of 2 images is called a stereo pair. The sense of apparent displacement of the object photographed after images are overlaid from 2 different points of view is called parallax.<sup>1</sup> In contrast to binocular vision, monocular vision gives us a limited sense of depth based on the automatic application of knowledge and experience. Despite being effective for daily activities, monocular vision is of limited use in executing complex tasks that involve greater precision.<sup>2</sup>

Stereoscopic imaging techniques are quite old, but previous technologic limitations made production difficult.<sup>3</sup> The computer revolution and development of new photographic and video cameras with digital ca-

---

*From the Department of Orthopedics and Traumatology, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brazil.*

*The authors report no conflict of interest.*

*Received November 25, 2010; accepted January 3, 2011.*

*Address correspondence to Moises Cohen, M.D., Ph.D., Departamento de Ortopedia e Traumatologia, Universidade Federal de São Paulo, Rua Borges Lagoa, 783, 5º Andar, Vila Clementino, São Paulo CEP 04038-032, Brazil. E-mail: m.cohen@uol.com.br*

*© 2011 by the Arthroscopy Association of North America*

*0749-8063/10701/\$36.00*

*doi:10.1016/j.arthro.2011.01.004*

pabilities, lenses, and flashes with longer ranges allowed improvements in 3D documentation, providing an exponential increase in imaging applications.<sup>1</sup>

To photograph a 3D image, it is necessary to take photographs, overlap the images, and print or project these images together. To create stereoscopic images, the simplest and most widespread method is the anaglyph technique. Projection of these images on screens can be performed by use of this or other forms of polarization, such as horizontal-vertical polarization. Because the propagation of light occurs through constant-pulse waves expanding in all directions and at right angles to the axis of propagation, the interposition of filters that have only vertical or horizontal openings causes the beam of light passing through each filter to propagate in only one of these directions.

To view these images, special glasses are required that allow visualization of the overlaid images in 3 dimensions. These glasses are made with special lenses for 3D interpretation, most often blue and red lenses for polarization of the image.

For motion pictures, the technique of sequential or alternating fields is a more sophisticated way to carry out 3D projection. In this technique, 2 films produced in synchronization are integrated by a multiplexer circuit that switches frames sequentially during projection. With the use of special glasses made with liquid crystal lenses that act as shutters that open and close as the corresponding frames are projected (i.e., LCD shutter glasses), one can visualize the stereoscopic images projected. Such glasses fitted with shutters are called active glasses; glasses with polarizing filters are called passive glasses.

Projections using the sequential-field technique can be made on normal screens, and this method can also be used for viewing stereoscopic digital computer displays. The communication mechanism between the shutter glasses and the medium that generates the image (i.e., projection system or monitor) is made by wires or an infrared signal.

Historically, communication by means of symbols (alphabets) and pictures has been limited to 2 dimensions. However, in our rapidly changing world, 3D images are becoming increasingly common in our daily lives and appear to be moving toward becoming essential, especially in the areas of education and documentation.<sup>2,4</sup> Three-dimensional medical studies are documented in the literature.<sup>1,5</sup> A clearer understanding of anatomic structures is essential in medical education, and the use of 3D images<sup>6</sup> can help greatly in the study of anatomy.

## TECHNIQUE

To produce a 3D image of an object, it is necessary to register 2 different images of the same object at the same distance and height with the use of cameras that focus on 1 particular point. A convergence of left and right images is required for human vision. The distance between the camera and the images needed to create the stereo pair should be proportional to the normal distance between the pupils (62 to 66 mm).<sup>7</sup> This process can be performed by use of either 2 different cameras on the same bar on a tripod to prevent displacement and loss of proportion required between the camera and object or by a single camera attached to a slide bar that enables photographing an image first from 1 position, then from a second position (Fig 1), with a scale and a level that allow for the maintenance of the distance described previously.

With the single-camera slide bar technique, the first step is to focus on a specific point on the object with the camera at zero on the scale of the slide bar. The second step is to slide the camera by the bar 3 cm to the left and again focus on the same specific point. This is the first picture. The third step is to do the same but now to the right side, sliding the bar 3 cm to the right of zero on the scale. This is the second picture. Using cameras particularly made for stereoscopic imaging is another alternative.<sup>8</sup>

To perform the techniques described, a 35-mm single-lens reflex camera with attached lenses for macrophotography (e.g., 105 mm, 1:2.8) can be used. In the case of microscopic visualization, another option is to use 2 cameras attached on each side of an electron microscope to perform the imaging, following the same principles of proportionality and distance between the camera and the object.



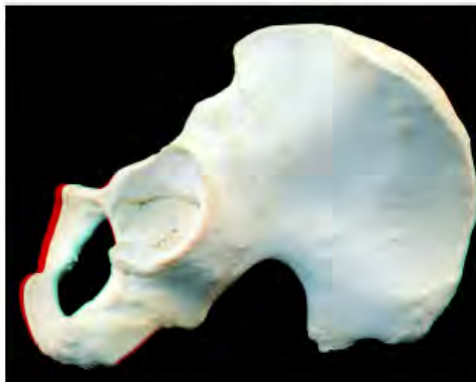
FIGURE 1. Manfrotto Slide Bar (Manfrotto, Ramsey, NJ)—the instrument used to create the 3D picture with a single camera.



**FIGURE 2.** Intercondylar notch of knee (left knee, anterior view): posterior cruciate ligament (1) and anterior cruciate ligament (2), showing an example of the relation of 2 different structures with an empty space providing a greater sense of depth.

After capturing the images, we then begin the process of building the final image for printing or projection. There are several ways to edit an image to make it 3D, but the most common form is the anaglyph method.<sup>1</sup>

Certain computer programs are able to colorize each of the images, followed by an image overlay (e.g., AnaBuilder; freeware available at <http://anabuilder.free.fr>). In the anaglyphic method, each image is dyed with a corresponding color, commonly blue and red. Thus the image corresponding to the left eye is dyed blue, and the image corresponding to the right eye is dyed red. These colors correspond to the polarizing filters of the special glasses that will be used, for



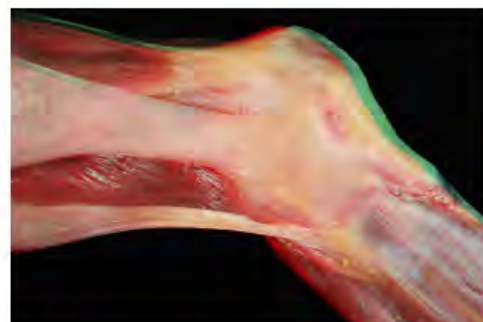
**FIGURE 3.** Example for study of human body: 3D image of pelvis (right hemi-pelvis, lateral view).



**FIGURE 4.** Example for study of human bones and ligaments: 3D sagittal view of ankle and its ligaments (left ankle, lateral view).

example, with a blue lens in the left eye and a red lens in the right eye. It is important that each image correspond to the same color lens. When loaded, the overlapped image (with both blue and red colors) will yield a 3D aspect of the image. People who need corrective glasses must use the polarizing glasses over their corrective glasses.<sup>1</sup>

With the image ready, one can choose to physically print the image for production or create projection slides for presentation and teaching. Examples of our results are illustrated in Figs 2 through 6.



**FIGURE 5.** Muscle of posterolateral corner of knee in 3D view (right knee, lateral view).



FIGURE 6. A 3D lateral view of the structures of the knee (left knee, lateral view): popliteal artery (1), lateral superior genicular artery (2), medial inferior genicular artery (3), lateral collateral ligament (4), lateral inferior genicular artery (5), and popliteofibular ligament (6).

#### DISCUSSION

Vision is one of the 5 senses that enables humans to perceive their environment. Stereoscopic reproduction methods are not new and were already described by the middle of the 19th century.<sup>3</sup> The first film to use this technology dates back to 1922. From the second half of the last century, various techniques were developed for stereoscopic projection and printing. At the turn of this century, stereomicroscopy—which enables a 3D view from 2 photographs obtained and properly positioned in front of each eye—became quite popular. In recent years, advances in photography and computer optimization have facilitated the creation and dissemination of 3D images.<sup>9</sup>

In medicine, 3D images are an extremely useful resource in the study and teaching of anatomy at both the macroscopic and microscopic levels. With ad-

vancements in technology and the emergence of new diagnostic imaging techniques and innovative therapeutic modalities, including arthroscopic and microsurgical endoscopic techniques, the need for new teaching material for applied anatomy has been met by the use of 3D images. However, the use of such images has not until now been widespread, probably because of the high costs and difficulty of large-scale reproduction.<sup>10,11</sup>

Thus the application of stereoscopic images is fundamental to the development of future virtual reality models, which in turn will be particularly useful in the medical field. Activities such as medical education and training, development of new surgical techniques, and performing surgery remotely all certainly depend on the technology used to generate 3D images.

The potential applications of this technology are enormous; the feasibility of such methods on a larger scale promises to contribute to better illustrations by way of 3D images and a powerful new teaching tool.

#### REFERENCES

1. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: Revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg* 2001;95:1057-1066.
2. Lehmann MV, Mardin CY, Martus P, Bergua A. 3D vs 2D qualitative and semiquantitative evaluation of the glaucomatous optic disc atrophy using computer-assisted stereophotography. *Eye (Lond)* 2008;22:628-635.
3. Ferwerda JG. *The world of 3D*. Borger, The Netherlands: 3D Books Productions, 1990.
4. Fraser JF, Allen B, Anand VK, Schwartz TH. Three-dimensional neurostereoscopy: Subjective and objective comparison to 2D. *Minim Invasive Neurosurg* 2009;52:25-31.
5. Meneses MS, Cruz AV, Castro IA, Pedrozo AA. Stereoscopic neuroanatomy: Comparative study between anaglyphic and light polarization techniques. *Arq Neuropsiquiatr* 2002;60:769-774 (in Portuguese).
6. Sergovich A, Johnson M, Wilson TD. Explorable three-dimensional digital model of the female pelvis, pelvic contents, and perineum for anatomical education. *Anat Sci Educ* 2010;3:127-133.
7. Park MC, Park SJ, Son JY. Stereoscopic imaging and display for a 3-D mobile phone. *Appl Opt* 2009;48:H238-H243.
8. Wolfgram DE. *Aventuras em 3D*. São Paulo: Berkley Brasil Editora, 1993.
9. Starkman D, Pinsky S. *The Nimslo 3D book*. Culver City: Reel 3D Enterprises, 1986.
10. Trelease RB. Toward virtual anatomy: A stereoscopic 3-D interactive multimedia computer program for cranial osteology. *Clin Anat* 1996;9:269-272.
11. Trelease RB. The virtual anatomy practical: A stereoscopic 3D interactive multimedia computer examination program. *Clin Anat* 1998;11:89-94.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc (2011) 19:1614–1619  
 DOI 10.1007/s00167-011-1615-9

KNEE

## An anatomical three-dimensional study of the posteromedial corner of the knee

Moises Cohen · Diego Costa Astur · Rodrigo Castelo Branco ·  
 Ricardo de Souza Campos Fernandes · Camila Cohen Kaleka ·  
 Gustavo Gonçalves Arliani · Wahy Jalikjian · Pau Golano

Received: 5 December 2010 / Accepted: 5 July 2011 / Published online: 22 July 2011  
 © Springer-Verlag 2011

### Abstract

**Purpose** For many years, the anatomy of the medial knee corner has been reported. However, it is not exactly clear how all these structures function together. The purpose of this study is to identify and try to understand the relationship between the posteromedial corners of the knee using three-dimensional visualization techniques.

**Materials and methods** This study comprises of 10 knees from adult corpses. Images were acquired from the dissection of different layers of the posteromedial compartment of the knee using a camera Nikon D40 and AF-S Nikkor 18-55 mm (Nikon Corp., Japan) placed on a slide bar. The pair of images was processed using Callipyan 3D or Anabuilder software (Ana builder, France) that trans-

forms the two different images of the same structure with the intrapupillary distance proportion into one anaglyphic image.

**Results** During knee dissection, pictures were taken and transformed into three-dimensional images that become more realistic with the use of special glasses. The images were made during the dissection of the three layers of the posteromedial compartment of the knees.

**Conclusions** Posteromedial corner ligament structures are quite complex and are not always clearly described in the literature. Three-dimensional images of these structures can help better understanding its anatomy.

**Keywords** Knee Joint/anatomy and histology · Humans · Anatomy/education · Photography/methods · Education, medical/methods · Eyeglasses

M. Cohen (✉) · D. C. Astur · G. G. Arliani  
 Department of Orthopedics and Traumatology, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Rua Borges Lagoa, 783,  
 5° andar, Vila Clementino, São Paulo CEP 04038-032, Brazil  
 e-mail: mcohen@uol.com.br

R. C. Branco · R. de Souza Campos Fernandes  
 Instituto Cohen, São Paulo, Brazil

C. C. Kaleka  
 Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, São Paulo, Brazil

W. Jalikjian  
 Department of Orthopedics and Traumatology, Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto, Brazil

P. Golano  
 Laboratory of Arthroscopic and Surgical Anatomy, Department of Pathology and Experimental Therapeutics (Human Anatomy Unit), University of Barcelona, c/Feixa Llarga s/n (Campus Bellvitge), L'Hospitalet de Llobregat, 08907 Barcelona, Spain

### Introduction

Macroscopic and microscopic studies of knee anatomy have resulted in a better understanding of joint biomechanics. At the medial knee corner anatomy, many different structures remain unidentified. The same structure has been described in many different ways. Current literature has failed to thoroughly explain this, perhaps due to the complexity of this anatomical region.

The medial collateral ligament is the most commonly injured component of the knee [9, 11, 15, 16]. It consists of the following components: the superficial and deep ligament in addition to the posterior oblique ligament. These are the main structures on the medial side.

There is controversy related to the instability caused by injuring these components and the optimal techniques in restoring their function. In order to restore the anatomical

structure of the knee during reconstruction surgery, it is essential to understand the locations where ligaments and tendons are inserted and the contribution of each knee normal motion [14, 25].

The purpose of this paper is to report on observations of the medial knee corner using three-dimensional images helping to better understand the relationship between muscles, ligaments and local vascularization. This study may help in assisting knee reconstruction surgery.

### Materials and methods

This research project was evaluated and approved by the Ethics Committee of Universidade Federal de São Paulo—ID: CEP 1801/10. This study comprises of 10 knees from adult corpses with ages between 34 and 55 years (average: 41.2 years).

Skin and subcutaneous tissues were removed leaving only muscle groups and ligaments. The neurovascular bundles and their ramifications were preserved.

All proximal and distal arteries and arterioles were clamped, and the proximal end of the popliteal artery was used to inject the vessel contrast. A silicone rubber with red or black pigments composes the vessel contrast. It was possible to study the entire vascular anatomy.

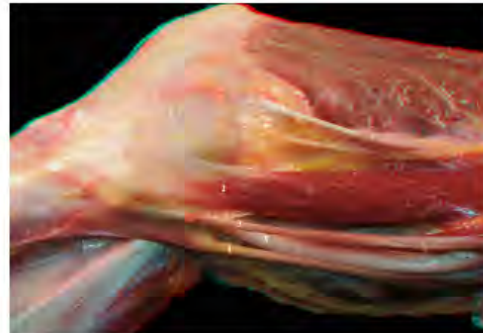
For the anatomical study that did not focus on vascularization, the knees were dissected without introducing a filler substance.

Specific images of the different layers of the postero-medial compartment were acquired from the dissections using a camera Nikon D40 and AF-S Nikkor 18–55 mm (1:3.5–5.6 GII ED) and Micro Nikkor 105 mm (1:2.8) lenses (Nikon Corp., Japan). The camera with the lenses was placed on a slide bar fixed on a tripod. The slide bar is used to generate two images of the same structure, which differ in the horizontal angle proportional to the interpupillary distance [22, 23, 26]. The pair of images was processed using Callipyan 3D or Anabuilder software (Anabuilder, France), transforming two images into one anaglyphic image. Special glasses then enable the visualization of the three-dimensional images.

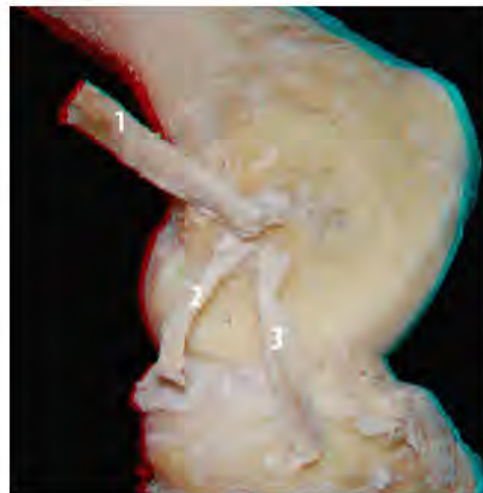
### Anatomical findings

Figures 1 and 2 identify the muscles and osseous landmarks of the medial compartment of the knee.

The sartorius muscle, gracilis, semitendinosus, semimembranosus, adductor tendon, medial head of gastrocnemius muscle, superficial and deep medial collateral ligaments and posterior oblique ligament are able to jointly promote the stabilization of the entire medial compartment [17].



**Fig. 1** Posteromedial muscles—adductor tendon (1), sartorius (2), gracilis (3), semitendinosus (4) and semimembranosus (5). The gastrocnemius tendinous insertion is wide, and it surrounds the tubercle of the gastrocnemius, posteriorly located. The adductor tubercle is where the adductor magnus tendon inserts, and it is proximally relative to the tubercle of the gastrocnemius and medial epicondyle

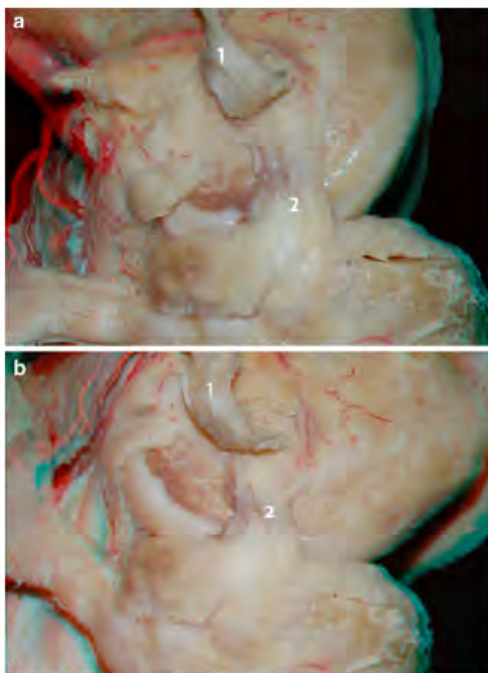


**Fig. 2** Medial epicondyle femoral insertions—superficial MCL (1), posterior oblique ligament (2) and deep MCL (3). The medial epicondyle was located as the most anterior and distal structure of this compartment. This is the location where the superficial and deep medial collateral ligaments (MCLs) insert. The deep MCL travels distally and deeply to the superficial MCL. The posterior oblique ligament is posterior to the MCL

As the muscle structures were retracted, the deeper ligaments were identified. The relationship between these structures and the vessels of this compartment has been identified and can be viewed in Figs. 3, 4.



**Fig. 3** Between the two insertions of the superficial MCL (1), the inferior medial genicular artery is observed (2). Branch of popliteal artery: it supplies the medial tibial plateau



**Fig. 4** The deep MCL (2) originates deep and distal to the superficial MCL (1) and the medial epicondyle. It inserts into the meniscus and tibia just below the joint line. This conformation helps to stabilize the medial meniscus. On the left side, this relationship in an extended knee is shown (a), and on the right side, it is shown in a flexed knee (b). The highest tension of the anterior portion of the deep MCL in the flexed knee can be observed

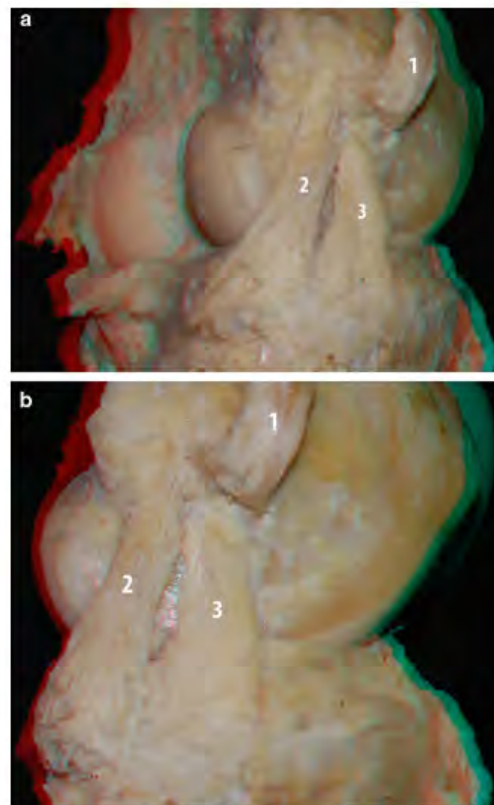
This region of the knee was divided into layers:

In the first layer, the sartorius muscle fascia was observed.

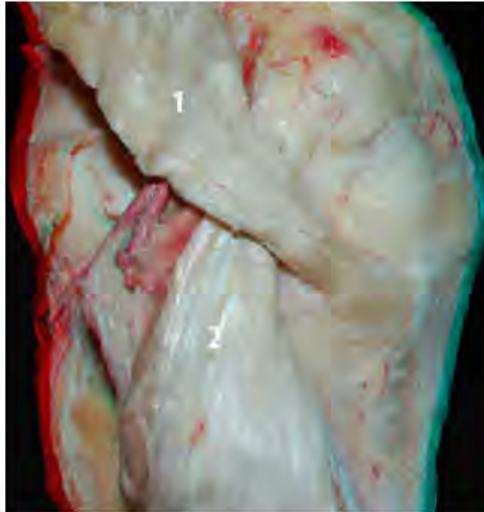
The second layer consisted of the superficial medial collateral ligament posteriorly and retinacular fibers of the rectus femoris anteriorly.

The presence of the medial patellofemoral ligament and the vascular branches of the medial inferior genicular artery was also noted.

In the third layer, the deep medial collateral ligament and posterior oblique ligament were found, which are considered expansions of the semimembranosus muscle. (Figs. 5 and 6).



**Fig. 5** Oblique view (a) and lateral view (b) of the knee: posterior oblique ligament (2) inserts posterior to the deep MCL (3) and superficial MCL (retracted) (1). The posterior oblique ligament inserts posterior to the MCL in the femur and in the tibial posteromedial region. This structure also presents a meniscal insertion. It is impossible to distinguish this structure from the capsule near the joint line



**Fig. 6** Posteromedial view of the knee: posterior oblique ligament is considered an expansion of the muscles semimembranosus (1), and this ligament has the three following portions: superficial, central and capsular. The superficial portion recovers from the anterior insertion of the semimembranosus tendon. The central portion merges with the semimembranosus tendon and travels distally, posterior to the MCL. The capsular structure stabilizes the posteromedial capsule. The relationship between the semimembranosus and the medial gastrocnemius can be visualized (2)

## Discussion

The posteromedial corner anatomy (PMC) is very important, as its structures are responsible for the primary stabilization against valgus and external rotation forces applied to the knee [27, 28].

Nevertheless, the importance given by these structures of the PMC in anatomical studies in the literature has always been overlooked when compared to the lateral and central structures [27]. It could be due to the fact that despite the medial collateral ligament (MCL) is the most injured knee ligament, it shows a great potential for healing after lesion [4, 5].

This study presents a good opportunity for understanding the anatomy of this region through visualization of three-dimensional images. With the popularization of three-dimensional techniques for everyday activities and for the achievement of institutional practices such as video surgery, it is essential that three-dimensional reproductions of skeletal muscle structure be started, particularly lesser-known ones for better knowledge. The difficulty in understanding the relationship between posterior medial knee structures can be captured by a new way in visualizing this region.

The anatomy of this region has been anatomically divided into layers or regions [12, 29]. The division based into layers was previously described by Warren and Marshall that demonstrated the importance of the superficial medial ligament without, however, giving enough focus to other structures of the PMC [29]. It is an extremely adequate way to characterize the anatomy, but similar to LaPrade et al., [17] the simple division by layers is not the optimal method to characterize the anatomy of this region, as the knowledge of the origin and insertion points of the structures is essential for the anatomical reconstruction of these structures of the knee.

Other authors have attempted to divide the structures according to the anteroposterior appearance, thus also giving greater importance to the other structures of the medial knee [13, 25]. Robinson et al. [25] described the anatomy of the corner not only by layers but also by dividing it into three parts: a) anterior, which travels from the medial border of the patellar tendon to the anterior fibers of the MCL; b) middle, which is composed of the MCL; c) and posterior, which travels from the posterior MCL to the medial head of the gastrocnemius muscle. The use of the three-dimension technique makes the understanding of this regional anatomy simpler and more didactic. The three portions described by Robinson can be visualized in a single image of high quality.

The description of the posterior oblique ligament (POL) by Hughston and Eilers introduced the concept of the PMC [12]. This idea was reinforced by Muller who stated that despite its close topographic relation to the MCL, the PMC is fundamentally different in nature and function from the tibial collateral ligament [20].

The description and function of this structure is divergent in the literature [7, 12, 19].

The three previously described branches were identified: superficial, central and proximal. The dissections in the study demonstrated that the central branch is associated with the posterior superficial MCL fibers, so it can be understood why this structure was previously proposed to be part of this ligament [1, 18, 29]. However, the obliquity of its fibers suggests that this is an independent structure from the PMC of the knee. The proximal branch is associated with the posterior capsule insertion and it is inserted near the gastrocnemius tubercle.

Muller described the PMC as the “semimembranosus corner” because of the functional significance contribution of this muscle. It plays a role in dynamic stabilization and reinforces the PMC [20]. The semimembranosus has five expansions or insertions. The major insertions are to the tibia and are important for knee stability and must be replicated to achieve optimal reconstruction results [13].

Yet, several studies have helped elucidate the function of each structure of the PMC [2, 3, 6, 10, 24].



MCL and POL are important structures of this complex. They can resist in valgus, external and internal rotation forces applied to the knee [20]. Griffith et al. [8] demonstrated that the primary retaining structure of valgus stress in all angles of flexion is the superficial collateral medial ligament, which is also a restrictor of internal rotation in flexion. The POL and the posteromedial capsule control valgus, internal rotation and a posterior drawer in extension, so it has a significant role in the prevention of additional posterior translation in a posterior cruciate ligament (PCL)-deficient knee. This role makes the PMC particularly important in patients who are undergoing PCL reconstruction as an unstable PMC will place high stress on the reconstructed PCL, increasing the risk of failure [21].

The deep MCL primarily restricts tibial anterior drawer of the flexed and externally rotated knee and it is also a secondary restraint to valgus stress [24].

It is possible to visualize the functional complexity of this region using three-dimensional images as well as the importance of each previously described structure. These images also help develop the understanding on the anatomy and function of the posteromedial corner of the knee.

### Conclusions

The use of three-dimensional images in this study has demonstrated that this visualization technique may be useful in understanding knee reconstruction surgery. Other medical specialties have already used three-dimensional images to assist in diagnosis and designing treatment strategies. However, there are no publications evaluating the use of this technique in knee joint orthopaedics. The ability to understand and three-dimensionally visualize the relationship between different structures of the knee is a stimulus in conducting further studies using three-dimensional images to improve understanding of locomotor anatomical structures.

**Conflict of interest** There is no financial support and possible conflicts of interest.

### References

1. Brantigan OC, Voshell AF (1941) The mechanics of the ligaments and menisci of the knee joint. *J Bone Joint Surg* 23:44–66
2. Brantigan OC, Voshell AF (1943) The tibial collateral ligament: its function, its bursa, and its relation to the medial meniscus. *J Bone Joint Surg* 25:121–131
3. Butler DL, Noyes FR, Grood ES (1980) Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg* 62:259–270
4. Fanelli GC, Harris JD (2006) Surgical treatment of acute medial collateral ligament and posteromedial corner injuries of the knee. *Sports Med Arthrosc* 14:78–83
5. Friden T, Erlandsson T, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U (1995) Compression or distraction of the anterior cruciate injured knee. Variations in injury pattern in contact sports and downhill skiing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3:144–147
6. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF (1987) The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg* 69:233–242
7. Gray H, Ellis H (2005) *Knee.Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*. Churchill Livingstone, New York
8. Griffith CJ, Wijdicks CA, LaPrade RF, Armitage BM, Johansen S, Engebretsen L (2009) Force measurements on the posterior oblique ligament and superficial medial collateral ligament proximal and distal divisions to applied loads. *Am J Sports Med* 37:140–148
9. Grood ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ (1981) Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg* 63:1257–1269
10. Grood ES, Stowers SF, Noyes FR (1988) Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *J Bone Joint Surg* 70:88–97
11. Hughston JC (1994) The importance of the posterior oblique ligament in repairs of acute tears of the medial ligaments in knees with and without an associated rupture of the anterior cruciate ligament. Results of long-term follow-up. *J Bone Joint Surg* 76:1328–1344
12. Hughston JC, Eilers AF (1973) The role of the posterior oblique ligament in repairs of acute medial (collateral) ligament tears of the knee. *J Bone Joint Surg* 55:923–940
13. Jacobson KE, Chi FS (2006) Evaluation and treatment of medial collateral ligament and medial-sided injuries of the knee. *Sports Med Arthrosc* 14:58–66
14. Jarvinen M, Natri A, Laurila S, Kannus P (1994) Mechanisms of anterior cruciate ligament ruptures in skiing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2:224–228
15. Kannus P (1988) Long-term results of conservatively treated medial collateral ligament injuries of the knee joint. *Clin Orthop Relat Res* 226:103–112
16. LaPrade RF (1999) The medial collateral ligament complex and the posterolateral aspect of the knee. *Orthopaedic Knowledge update: sports medicine 2*. E. A. Arendt, Rosemont
17. LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, Johansen S, Wentorf FA, Engebretsen L (2007) The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg* 89:2000–2010
18. Last RJ (1948) Some anatomical details of the knee joint. *J Bone Joint Surg* 30-B:683–688
19. Loredi RJ, Hodler J, Pedowitz R, Yeh LR, Trudell D, Resnick D (1999) Posteromedial corner of the knee: MR imaging with gross anatomic correlation. *Skelet Radiol* 28:305–311
20. Müller W (1983) *The knee: form, function and ligament reconstruction*. Springer, Berlin
21. Petersen WS, Loerch S, Schanz S, Raschke M, Zantop T (2008) The role of the posterior oblique ligament in controlling posterior tibial translation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 36:495–501
22. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ (2001) Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg* 95:1057–1066
23. Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues AJ (2006) The brain, the tri-dimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images. *Rev Med Sao Paulo* 85:78–90
24. Robinson JR, Bull AM, Thomas RR, Amis AA (2006) The role of the medial collateral ligament and posteromedial capsule in controlling knee laxity. *Am J Sports Med* 34:1815–1823

25. Robinson JR, Sanchez-Ballester J, Bull AM, Thomas Rde W, Amis AA (2004) The posteromedial corner revisited. An anatomical description of the passive restraining structures of the medial aspect of the human knee. *J Bone Joint Surg* 86:674–681
26. Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL, Fukushima Y, Osawa S, Kawashima M, Oka H, Fujii K (2006) Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery* 58:E1000
27. Stannard JP (2010) Medial and posteromedial instability of the knee: evaluation, treatment, and results. *Sports Med Arthrosc* 18:263–268
28. Warren LF, Marshall JL, Girgis F (1974) The prime static stabilizer of the medial side of the knee. *J Bone Joint Surg* 56:665–674
29. Warren LF, Marshall JL (1979) The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis. *J Bone Joint Surg* 61:56–62

# A three-dimensional anatomy of the posterolateral compartment of the knee: the use of a new technology in the study of musculoskeletal anatomy

Diego Costa Astur<sup>1</sup>  
 Gustavo Gonçalves Arliani<sup>1</sup>  
 Camila Cohen Kaleka<sup>2</sup>  
 Wahy Jalikjian<sup>3</sup>  
 Pau Golano<sup>4,5</sup>  
 Moises Cohen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedics and Traumatology, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, <sup>2</sup>Department of Orthopedics and Traumatology, Faculdade de Medicina da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, São Paulo, <sup>3</sup>Department of Orthopedics and Traumatology, Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto, Brazil; <sup>4</sup>Laboratory of Arthroscopic and Surgical Anatomy, Department of Pathology and Experimental Therapeutics (Human Anatomy Unit), University of Barcelona, Barcelona, Spain; <sup>5</sup>Orthopedic Surgery Department, Pittsburgh University, Pittsburgh, PA, USA

**Background:** Recently, an interest has developed in understanding the anatomy of the posterior and posterolateral knee. The posterolateral compartment of the knee corresponds to a complex arrangement of ligaments and myotendinous structures. Undiagnosed lesions in this compartment are the main reason for failure of the anterior and posterior cruciate ligament reconstructions. Understanding the anatomy of these structures is essential to assist in the diagnosis and treatment of these lesions. The aim of this study was to better understand the relationship between these structures of the knee using three-dimensional technology.

**Methods:** Ten knees were included from cadaver lower limbs of adult patients. The skin and subcutaneous tissue were removed leaving only the muscle groups and ligaments. The neurovascular bundles and their ramifications were preserved. Images were acquired from the dissections using a Nikon D40 camera with AF-S Nikkor 18–55 mm (1:3.5 5.6 GII ED) and Micro Nikkor 105 mm (1:2.8) lenses. The pair of images were processed using Callipygn 3D and AnaBuilder software, which transforms the two images into one anaglyphic image.

**Results:** During the dissection of the knees, twelve pictures were acquired and transformed into anaglyphic images.

**Conclusion:** The use of three-dimensional images in this study demonstrates that this technique is useful to improve the knowledge in anatomy of the knee as well as for knee reconstruction surgery.

**Keywords:** knee joint anatomy and histology, humans, anatomy education, photography methods, education, medical methods, eyeglasses

## Introduction

Macroscopic and microscopic studies of the anatomy of the knee have resulted in a better understanding of joint biomechanics.<sup>1,2</sup> Novel techniques for the treatment of ligament injuries are emerging with the purpose of performing an anatomical reconstruction to improve both short-term and long-term function.<sup>3,4</sup>

An interest has developed in understanding the anatomy of the posterior and posterolateral compartment of the knee in the last few years. The posterolateral compartment of the knee corresponds to a complex arrangement of ligaments and myotendinous structures. The primary function of the posterolateral corner of the knee is to resist the forces of adduction, external rotation, and a posterior tibial translation. Injuries to these structures can cause instability and disability that can compromise daily activities.<sup>5</sup> Undiagnosed posterolateral corner instability can be a reason for failure

Correspondence: Diego Costa Astur  
 Departamento de Ortopedia  
 e Traumatologia da Universidade  
 Federal de São Paulo, Rua Borges Lagoa,  
 783, 5<sup>o</sup> andar, Vila Clementino,  
 São Paulo CEP 04038-032, Brazil  
 Email mcastur@yahoo.com

in anterior and posterior cruciate ligament reconstruction.<sup>6,7</sup> Understanding the anatomy is essential in the diagnosis and treatment of injuries to these structures.<sup>5</sup>

The aim of this study was to use three-dimensional (3D) technology to visualize the anatomical features and relationship of the structures of the posterolateral corner of the knee, with a particular attention to the vessels of this compartment, which are not so well described in the literature.

## Methods

This research project was evaluated and approved by the Ethics Committee. This study comprised of ten knees from cadaver lower limbs of adult patients aged between 34 and 55 years (average: 41.2 years). The dissected knees were from seven men and three women. Skin and subcutaneous tissues were removed exposing the muscle groups and ligaments. The neurovascular bundles and their ramifications were preserved.

A silicone rubber with red pigment was injected into the popliteal artery for a better visualization of the popliteal branches making it possible to study all of the knee vascular anatomy.

Images were acquired from the dissections using a Nikon D40 camera with AF-S Nikkor 18–55 mm (1:3.5 5.6 GII ED) and Micro Nikkor 105 mm (1:2.8) lenses (Nikon Corporation, Tokyo, Japan). These lenses were placed on a slide bar attached to a tripod. The slider is used to generate two images of the same structure, which differ in the horizontal angle proportional to the interpupillary distance.<sup>8–11</sup> The pair of images were processed using Callipyan 3D and AnaBuilder software, which transforms the two images into one anaglyphic image. Special anaglyph 3D glasses enable visualization of the 3D images.

## Results

The first images of the lateral compartment indicate the appearance of structures usually visualized during surgery including the iliotibial band, biceps femoris, and lateral head of the gastrocnemius muscles, and their relationship to the fibular nerve. These structures are considered the first layer of the posterolateral compartment (Figure 1).

The iliotibial band, the biceps, and the lateral head of the gastrocnemius are reflected while maintaining their proximal femoral insertion. At this time, it was possible to more precisely visualize the proximal and distal limits of the lateral collateral ligament, the popliteus muscle, and the popliteofibular ligament. These three structures are considered the second layer of the posterolateral compartment (Figures 2–4).

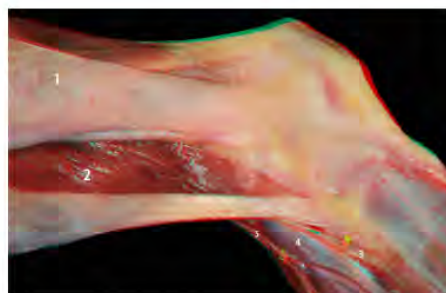


Figure 1 Flexed knee: iliotibial band (1), biceps femoris (2), fibular nerve (3), lateral gastrocnemius tendon (4), and sural nerve and ramifications (5).

It was possible to visualize the vascularity of the knee, especially the posterolateral corner and lateral side, using a contrast injection of a mix of silicone and red dye (Figures 5 and 6).

The lateral inferior genicular artery helps delineate the popliteus tendon and popliteofibular ligament. Its path is superficial to the popliteus tendon and the popliteofibular ligament, and it is deep to the collateral lateral ligament, bordering the anterior horn of the lateral meniscus (Figure 7). The lateral superior genicular artery branches are concentrated in the lateral femoral condyle (Figure 8).

## Discussion

The use of 3D technology to visualize anatomic structures may provide a better understanding of the structures and their relationships to each other. The use of 3D imaging is already frequently in the entertainment industry and a technical note about the use of 3D musculoskeletal anatomy and neurosurgery anatomy studies has been published previously.<sup>8,12</sup>

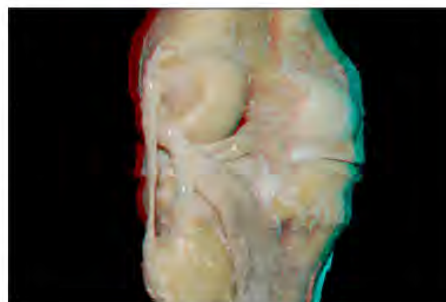
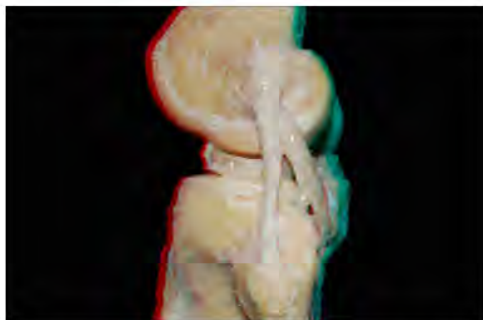
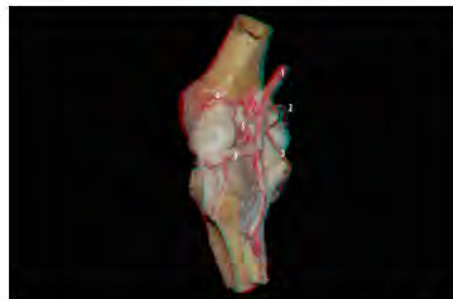


Figure 2 Posterior view of the knee: lateral collateral ligament (1), popliteus tendon (2), popliteofibular ligament (3), and lateral meniscus (4).



**Figure 3** Lateral view of the posterolateral compartment of the extended knee: lateral meniscus (1), lateral collateral ligament (2), popliteus tendon (3), and popliteofibular ligament (4).



**Figure 5** Posterior view of the knee: popliteal artery (1) and ramifications: medial superior genicular artery (2), medial inferior genicular artery (3), lateral superior genicular artery (4), middle genicular artery (5), and lateral inferior genicular artery (6).

This study demonstrates that it can be applied to the structures of the knee and helps provide further insight to these areas.

Clinicians who are less familiar with this study area, such as residents and even orthopedic knee surgeons, will be able to use this tool to more easily understand and visualize these structures. For example, it is easier to see an artery interacting with a tendon and penetrating a ligament using 3D technology than using a single plane, eg, the lateral branches of the popliteal artery: the inferior and superior lateral genicular artery. With 3D image studies people are able to understand relationships of these vessels that were not elucidated before.

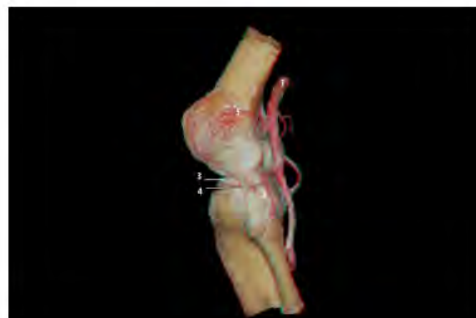
The lateral inferior genicular artery borders the lateral meniscus and is responsible for its blood supply. It ends in the femoral intercondylar, being responsible for part of the irrigation of the central ligaments of the knee: anterior cruciate ligament and posterior cruciate ligament (Figure 9). During its course it is clear that the interaction between this artery

and the fat body of the lateral meniscus is quite complex, invalidating the anatomical dissection between them. During a meniscus suture or meniscus repair for the reconstruction of a lateral plateau fracture some of these vessels, or even the main branch of the inferior lateral genicular artery, may be ripped. It is unusual to see this detail in 2D images or even during the surgical procedure. As it is not always possible for surgeons in the beginning of their careers to gain experience on less common surgeries, such as reconstruction of the posterolateral compartment of the knee, this technology enables them to familiarize themselves with the anatomy of the knee using 3D images.

The lateral superior genicular artery branches are concentrated in the lateral femoral condyle. It is mainly responsible for the vascularization of all this condyle with a smaller artery called lateral supracondylar artery. The large number of branches that penetrate the subchondral bone around the lateral condyle may explain the lower incidence



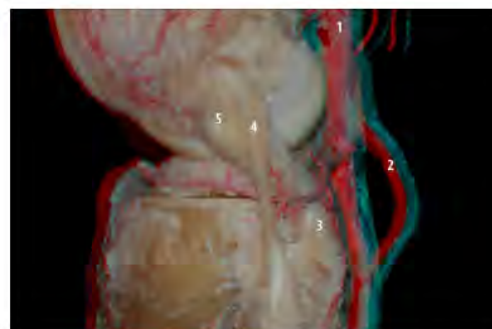
**Figure 4** Lateral view of the posterolateral compartment of the flexed knee: lateral collateral ligament (1), popliteus tendon (2), popliteofibular ligament (3), and lateral meniscus (4).



**Figure 6** Lateral view of the knee: popliteal artery (1), popliteofibular ligament (2), lateral meniscus (3), lateral inferior genicular artery (4), and lateral superior genicular artery (5).



**Figure 7** Posterior view of the knee: lateral inferior genicular artery and the posterolateral compartment structures: popliteal artery (1), lateral superior genicular artery (2), medial superior genicular artery (3), posterior septum of the knee (4), lateral inferior genicular artery (5), collateral lateral ligament (6), popliteofibular ligament (7), popliteus muscle (8), and medial inferior genicular artery (9).



**Figure 9** Lateral view of the posterolateral compartment of the knee: the pathway of the lateral inferior genicular artery and the relationship with other structures of the posterolateral compartment: popliteofibular ligament (3), lateral collateral ligament (4), and popliteus tendon (5). Popliteal artery (1) and inferior medial genicular artery (2).

of osteonecrosis, compared with the medial condyle. The 3D visualization can clearly convey the large number of vessels and their penetration in the subchondral bone (Figure 8).

An additional advantage is the ability to correlate the position of the same structures when the knee is in different positions. It is necessary to know the 2D anatomy of these structures to make a relationship with the 3D images. One example of this is the relationship between the proximal attachment of the popliteus tendon and the lateral collateral ligament where lateral images of the knee during extension and flexion are acquired.

It is helpful to divide this anatomical region into layered structures. In the first or external layer, there are the muscle groups of the iliotibial band, biceps femoris, and the lateral head of the gastrocnemius.<sup>12</sup> The second layer or intermediate layer corresponds to the lateral collateral ligament,

popliteofibular ligament, and the popliteus tendon. The third layer or deep layer corresponds to the fabellofibular ligament, arcuate ligament, coronary ligament, and joint capsule.<sup>13–15</sup>

One limitation of the study was the limited number of dissected knees, not allowing the precise analysis of anatomical variance. Additionally, it was not possible to visualize the arcuate ligament and the fabellofibular ligament in the dissected knees, which along with the joint capsule would be the third layer of this compartment.

Different anatomical patterns were not found when compared with that shown by the literature. But the relationship between these structures can be understood much more clearly when viewed in 3D. The use of 3D technology to visualize the posterolateral corner of the knee helps improve the understanding of these structures and their relationships.

## Disclosure

The authors report no conflicts of interest in this work.

## References

- Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat*. 1997;10(3):151–162.
- Park SE, Stamos BD, DeFrate LE, Gill TJ, Li G. The effect of posterior knee capsulotomy on posterior tibial translation during posterior cruciate ligament tibial inlay reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004; 32(6):1514–1519.
- Mariani PP, Margheritini F. Full arthroscopic inlay reconstruction of posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006; 14(11):1038–1044.
- Bollen S. Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage. *Br J Sports Med*. 2000;34(3):227–228.
- Sanchez AR 2nd, Sugalski MT, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee. *Sports Med Arthrosc*. 2006;14(1):2–11.
- Sekiya JK, Jacobson JA, Wojtys EM. Sonographic imaging of the posterolateral structures of the knee: findings in human cadavers. *Arthroscopy*. 2002;18(8):872–881.



**Figure 8** Oblique view of the posterolateral compartment of the knee: the pathway of the lateral inferior genicular artery (5) and the relationship with other structures: lateral superior genicular artery (1), popliteus tendon (2), lateral collateral ligament (3), lateral meniscus (4), and fibular nerve (6).

7. Arciero RA. Anatomic posterolateral corner knee reconstruction. *Arthroscopy*. 2005;21(9):1147.
8. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg*. 2001;95(6):1057–1066.
9. Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL Jr, et al. Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery*. 2006;58(5):E1000.
10. Ferwerda JG. *The World of 3-D: A Practical Guide to Stereo Photography*. 2nd ed. Eeserveen, the Netherlands: 3-D Book Productions; 1990.
11. Cohen M, Costa Astur D, Kaleka CC, et al. Introducing 3-dimensional stereoscopic imaging to the study of musculoskeletal anatomy. *Arthroscopy*. 2011;27(4):593–596.
12. Vieira EL, Vieira EA, da Silva RT, Berlfein PA, Abdalla RJ, Cohen M. An anatomic study of the iliotibial tract. *Arthroscopy*. 2007; 23(3):269–274.
13. Seebacher JR, Inglis AE, Marshall JL, Warren RF. The structure of the posterolateral aspect of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(4): 536–541.
14. LaPrade RF, Resig S, Wentorf F, Lewis JL. The effects of grade III posterolateral knee complex injuries on anterior cruciate ligament graft force. A biomechanical analysis. *Am J Sports Med*. 1999;27(4): 469–475.
15. LaPrade RF, Muench C, Wentorf F, Lewis JL. The effect of injury to the posterolateral structures of the knee on force in a posterior cruciate ligament graft: a biomechanical study. *Am J Sports Med*. 2002;30(2): 233–238.

Open Access Journal of Sports Medicine

Publish your work in this journal

Open Access Journal of Sports Medicine is an international, peer-reviewed, open access journal publishing original research, reports, reviews and commentaries on all areas of sports medicine. The manuscript management system is completely online and includes a very quick and fair peer-review system.

Submit your manuscript here: <http://www.dovepress.com/open-access-journal-of-sports-medicine-journal>

Visit <http://www.dovepress.com/testimonials.php> to read real quotes from published authors.

Dovepress

## ARTIGO DE ATUALIZAÇÃO

## ATUALIZAÇÃO DA ANATOMIA DO MECANISMO EXTENSOR DO JOELHO COM USO DE TÉCNICA DE VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

### UPDATING OF THE ANATOMY OF THE EXTENSOR MECHANISM OF THE KNEE USING A THREE-DIMENSIONAL VIEWING TECHNIQUE

Diego Costa Astur<sup>1</sup>, Saulo Gomes Oliveira<sup>2</sup>, Ricardo Badra<sup>2</sup>, Gustavo Gonçalves Arilani<sup>1</sup>, Camila Cohen Kaleka<sup>3</sup>, Wahi Jalikjian<sup>4</sup>, Pau Golanó<sup>5</sup>, Moisés Cohen<sup>6</sup>

#### RESUMO

O mecanismo extensor do joelho é uma estrutura complexa formada pelo músculo e tendão quadríceps, a patela, o tendão patelar e os ligamentos que os circundam e auxiliam na estabilização do joelho. Através do uso de técnica de visualização tridimensional de imagens do aparelho extensor do joelho pretendemos mostrar de forma didática as estruturas que compõem este complexo ósteo-músculo-ligamentar. Dissecção anatômica do joelho com ênfase nas estruturas do seu mecanismo extensor foi realizada seguida de fotografias com câmera e lentes adequadas para simulação da visão humana através de técnica de construção de imagem tridimensional. Em seguida, com a ajuda de *software* apropriado, as duas imagens da mesma estrutura de diferentes ângulos simulando a visão humana são sobrepostas com adição de camada polarizante, concluindo a construção da imagem anaglífica. As principais estruturas do mecanismo extensor do joelho podem ser observadas com efeito tridimensional. Dentre os principais benefícios relacionados a esta técnica, destacamos, além do ensino e estudo da anatomia musculoesquelética, o potencial uso em treinamento de procedimentos cirúrgicos e a realização de imagens em exames diagnósticos.

**Descritores** – Joelho; Imagem Tridimensional; Anatomia

#### ABSTRACT

*The knee extensor mechanism is a complex structure formed by the quadriceps muscle and tendon, the patella, the patellar tendon and the ligaments that surround and help stabilize the knee. Through using a three-dimensional viewing technique on images of the knee extensor apparatus, we aimed to didactically show the structures that compose this bone-muscle-ligament complex. Anatomical dissection of the knee with emphasis on the structures of its extensor mechanism was performed, followed by taking photographs using a camera and lenses suitable for simulating human vision, through a technique for constructing three-dimensional images. Then, with the aid of appropriate software, pairs of images of the same structure from different angles simulating human vision were overlain with the addition of polarizing layer, thereby completing the construction of an anaglyphic image. The main structures of the knee extensor mechanism could be observed with a three-dimensional effect. Among the main benefits relating to this technique, we can highlight that in addition to teaching and studying musculoskeletal anatomy, it has potential use in training for surgical procedures and production of images for diagnostic tests.*

**Keywords** – Knee; Imaging, Three-Dimensional; Anatomy

1 – Médico Ortopedista do Centro de Traumatologia do Esporte (CETE), Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) – São Paulo, SP, Brasil.

2 – Médico Ortopedista do Instituto Cohen – São Paulo, SP, Brasil.

3 – Médica Ortopedista da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo – São Paulo, SP, Brasil.

4 – Médico Ortopedista da Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto – Ribeirão Preto, SP, Brasil.

5 – Médico Anatomista da Universidade de Barcelona – Espanha.

6 – Professor Livre-Docente do Departamento de Ortopedia e Traumatologia – Unifesp e Chefe do Centro de Traumatologia do Esporte (CETE) – São Paulo, SP, Brasil.

Trabalho realizado nas dependências da Universidade Federal de São Paulo – Unifesp/EPM e da Universidade de Barcelona.

Correspondência: Rua Borges Lagoa 783, 5º andar, Vila Clementino – 04038-032 – São Paulo, SP. E-mail: mcastur@yahoo.com

Trabalho recebido para publicação: 22/06/2011, aceito para publicação: 25/08/2011.

Os autores declaram inexistência de conflito de interesses na realização deste trabalho / The authors declare that there was no conflict of interest in conducting this work

Este artigo está disponível online nas versões Português e Inglês nos sites: [www.rbo.org.br](http://www.rbo.org.br) e [www.scielo.br/rbort](http://www.scielo.br/rbort)  
This article is available online in Portuguese and English at the websites: [www.rbo.org.br](http://www.rbo.org.br) and [www.scielo.br/rbort](http://www.scielo.br/rbort)



## INTRODUÇÃO

O mecanismo extensor do joelho é uma estrutura complexa formada basicamente por três estruturas interligadas entre si: músculo e tendão quadricipital, patela e tendão patelar. Além destas, ainda estão compreendidos os retináculos patelares, ligamentos restritores, coxim gorduroso de Hoffa e o tecido pré-patelar<sup>(1,2)</sup>.

O aparelho extensor é responsável pela extensão do joelho e estabilização da articulação patelofemoral. A perda da congruência articular e a falência da estabilização entre patela e fêmur são alterações decorrentes da falta de sinergismo entre as estruturas deste mecanismo. Estas alterações podem ocorrer devido a alterações congênitas ou episódios traumáticos de luxação patelofemoral. Devido à grande incidência de distúrbios patelofemorais houve um maior interesse no entendimento da anatomia das estruturas que compõem o mecanismo extensor e a função de cada uma delas<sup>(3)</sup>.

Apesar de existirem vários estudos anatômicos clássicos em cadáveres, ainda há dúvidas a respeito da presença, localização, variações anatômicas e função de algumas estruturas na dinâmica articular do mecanismo extensor do joelho<sup>(2,4-6)</sup>.

O objetivo do nosso estudo é demonstrar através de fotografias em três dimensões a anatomia do aparelho extensor, com destaque para as estruturas ligamentares mediais e laterais entre a patela, a tibia e o fêmur e a trama vascular responsável pela irrigação deste importante e complexo agrupamento musculoesquelético, facilitando o entendimento e estudo da localização tridimensional destas estruturas.

## MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Paulo - ID: 1801-1810 CEP.

Selecionamos 10 joelhos de cadáveres adultos, com idades entre 34 e 55 anos (média: 41,2 anos), sem história de lesão prévia ou doenças sistêmicas. A pele e o tecido subcutâneo foram removidos preservando os grupos musculares e a parte ligamentar com suas ramificações neurovasculares.

Todas as artérias e arteríolas foram ligadas, com exceção da extremidade proximal da artéria poplítea, utilizada para inserção de um contraste composto por silicone transparente líquido, catalisador biológico e corante vermelho ou preto para estudo da vascularização do mecanismo extensor.

Imagens específicas das diferentes camadas e estruturas do compartimento anterior dos joelhos foram

obtidas utilizando uma câmera Nikon D40 e lentes AF-S Nikkor 18-55mm (1:3.5 – 5.6 GII ED) e Micro Nikkor 105mm (1:2.8) – (Nikon Corp., Japão).

A câmera com suas respectivas lentes foi fixada a uma barra deslizante presa em um tripé fotográfico. A barra deslizante é utilizada para fornecer duas imagens da mesma estrutura em diferentes ângulos, porém, a uma mesma altura e distância da estrutura estudada. As diferentes imagens da mesma estrutura devem estar distantes proporcionalmente à distância interpupilar, assim como a convergência da visão humana (62 a 66mm). O par de imagens é processado com o auxílio de um *software* especial denominado Callipyan 3D ou Anabuilder (Ana builder, França). Este programa é capaz de gerar uma camada polarizante de cores diferentes para cada uma das imagens (vermelho para visão do olho esquerdo e azul para a visão do olho direito, por exemplo). Em seguida, a sobreposição das imagens polarizadas gera um efeito tridimensional quando vistas com o auxílio de óculos tridimensionais apropriados.

## RESULTADOS

Imagens tridimensionais das principais estruturas do aparelho extensor do joelho foram obtidas com o uso da técnica mencionada. Nas Figuras 1, 2a e 2b podemos visualizar o aspecto frontal e medial da vascularização do mecanismo extensor do joelho. Os ligamentos patelofemoral medial e patelotibial medial, contensores mediais do mecanismo extensor, podem ser vistos nas Figuras 3 e 4. O ligamento patelofemoral lateral, contensor lateral do mecanismo extensor, pode ser visto na Figura 5. Destaque na Figura 6 para a artéria genicular descendente.

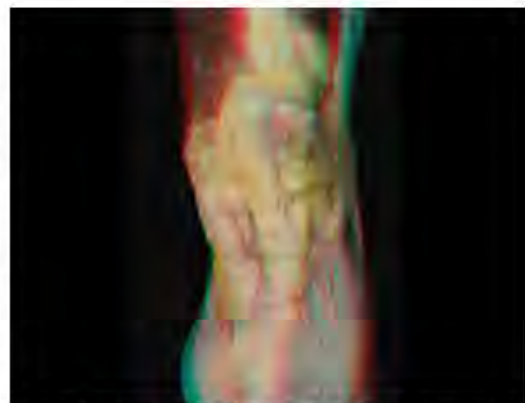


Figura 1 – Aspecto frontal da vascularização do mecanismo extensor do joelho.

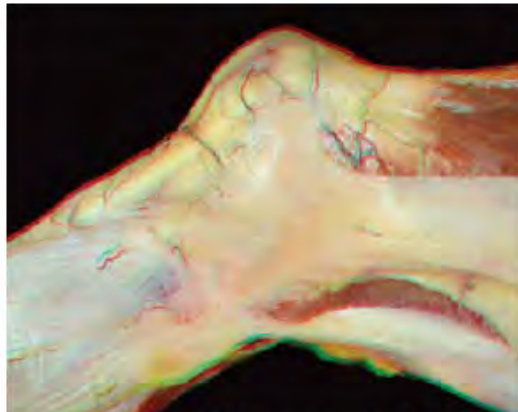


Figura 2a – Vista medial da vascularização do mecanismo extensor do joelho-1ª camada.

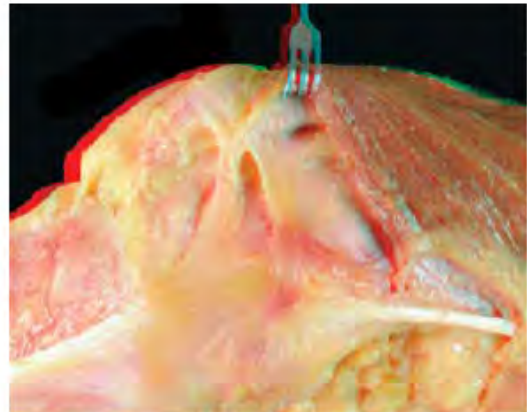


Figura 4 – Ligamento patelofemoral medial e patelotibial medial.

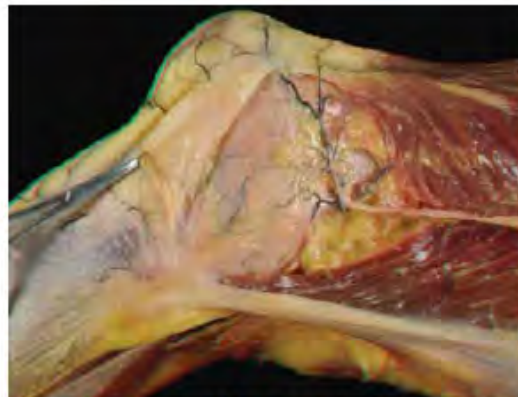


Figura 2b – Vista medial da vascularização do mecanismo extensor do joelho-2ª camada.



Figura 5 – Ligamento patelofemoral lateral.

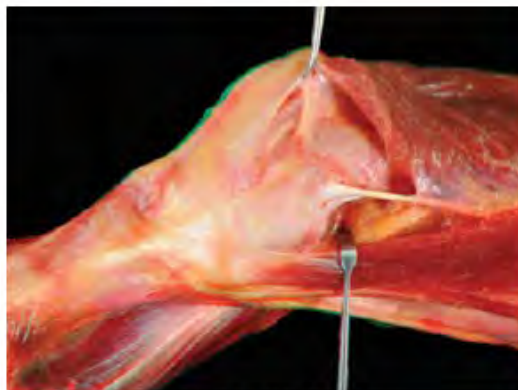


Figura 3 – Ligamento patelofemoral medial.

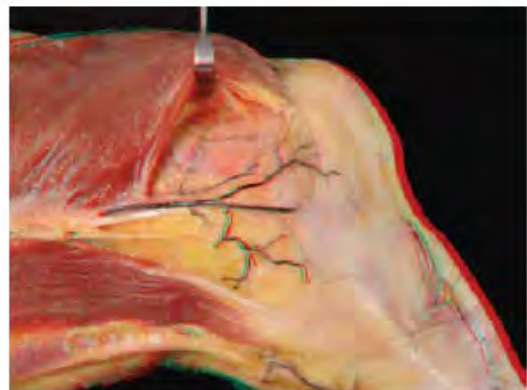


Figura 6 – Arteria genicular descendente.

## DISCUSSÃO

As imagens em três dimensões permitem um discernimento real de profundidade que é chamada de visão estereoscópica. Este tipo de visão permite uma orientação mais precisa e interação com o ambiente.

Nos últimos anos, temos percebido uma grande evolução na obtenção e aprimoramento de imagens em 3D nas áreas do entretenimento, documentação e ensino. Na literatura médica, poucos trabalhos explorando essa técnica têm sido publicados<sup>(7,8)</sup> e na literatura ortopédica apenas um artigo descreve os aspectos técnicos da obtenção dessas imagens<sup>(9)</sup>.

Analisando as imagens com o auxílio dos óculos especiais podemos consolidar alguns conceitos no entendimento da anatomia musculoesquelética do mecanismo extensor do joelho.

A anatomia muscular do quadríceps é composta basicamente por quatro músculos, sendo eles o reto femoral (RF) e os vastos lateral (VL), medial (VM) e intermédio (VI). As fibras do VL inserem-se na patela, em média, com aproximadamente 26 graus (20 a 38 graus) e o VM 45 graus (30 a 57 graus), tendo como referência o RF e o VI que se inserem quase perpendicularmente no pólo superior da patela<sup>(1,4)</sup>. Ainda na face anterior do fêmur origina o músculo *genus articularis* (ou suspensor da bolsa), cuja função, é evitar a invaginação da bolsa suprapatelar para debaixo da patela<sup>(10)</sup>.

As fibras mais distais e periféricas dos músculos vastos medial e lateral apresentam direção distinta das demais fibras centrais junto à inserção na face superomedial e superolateral da patela, respectivamente, sendo denominados vasto medial oblíquo (VMO) e vasto lateral oblíquo (VLO). Apesar de vários estudos anatômicos descreverem a existência destes músculos, não há evidências de que estas estruturas sejam independentes do ponto de vista funcional, representando apenas a mudança na direção das fibras mais distais antes de inserirem-se na patela. A disposição mais oblíqua de algumas fibras contribui para a estabilidade dinâmica da patela durante a extensão do joelho<sup>(1)</sup>.

O tendão quadricipital é descrito como uma estrutura trilaminar formada superficialmente pelos tendões do músculo RF, a camada intermediária pelos tendões do VL e VM e o VI compõe a camada mais profunda<sup>(1)</sup>. Estudo recente demonstrou que essa descrição clássica trilaminar na verdade é uma complexa estrutura com grande variação anatômica e planos fasciais mal definidos<sup>(2)</sup>.

O ligamento patelofemoral medial é o principal res-

tritor medial da patela, sendo responsável por 53% da força contentora<sup>(3)</sup>. As inserções estão localizadas no epicôndilo medial e nos 2/3 proximais da face medial da patela<sup>(1,2,5)</sup>. Outros estabilizadores mediais secundários da patela descritos são: o retináculo medial, o ligamento patelomeniscal e o ligamento patelotibial<sup>(1,5)</sup>. O retináculo medial, assim como o lateral, é formado por fibras tanto do vasto medial, que passam paralelas à face medial da patela, quanto de fibras do vasto lateral, que cruzam a região anterior da patela (pré-patelar) e vão se inserir na tibial contralateral<sup>(1,6,11)</sup>. O ligamento patelomeniscal medial origina-se no 1/3 distal da patela e se insere no corno anterior do menisco medial. O ligamento patelotibial medial é descrito originando-se na região distal e medial da patela e inserindo-se 1,5cm distal à linha articular da região anteromedial da tibia<sup>(7)</sup>.

Ao contrário do compartimento medial, o ligamento patelofemoral lateral não é o principal contentor do deslocamento medial da patela, apresentando resistência inferior ao retináculo lateral que é composto por fibras transversas conectando o trato iliotibial à patela e, por fim, o ligamento patelomeniscal que é a estrutura menos resistente da subluxação medial da patela<sup>(12)</sup>.

Na região pré-patelar, Dye *et al*<sup>(6)</sup> relataram, através de dissecação em cadáveres, a presença de um tecido com estrutura trilaminar, sendo uma camada superficial com fibras transversalmente orientadas, outra camada com fibras oblíquas e a mais profunda com fibras longitudinais do RF. Entre estas camadas, observou-se, também, a presença de três bursas pré-patelares.

A vascularização do joelho e do mecanismo extensor é ampla e possui uma rede de anastomoses interligadas entre si. O suprimento arterial vem principalmente das artérias femoral, poplítea e tibial anterior. A artéria femoral superficial emite um ramo denominado artéria genicular descendente antes de atravessar o hiato dos adutores. Esta artéria se divide em três ramos: safeno, articular e oblíquo profundo. O ramo safeno anastomosa-se com a artéria genicular inferior medial, o ramo articular anastomosa-se com a artéria genicular superior lateral e o ramo oblíquo profundo divide-se em ramos musculares profundos para nutrir o músculo quadríceps. As artérias genicular superior lateral, genicular superior medial, genicular inferior lateral e genicular inferior medial, ramos da artéria poplítea, atuam na vascularização do aparelho extensor<sup>(13)</sup>.

A artéria genicular superior lateral anastomosa-se com o ramo descendente da artéria circunflexa femoral

lateral, formando, juntos com outras anastomoses, o anel vascular anastomótico da patela que foi descrito por Scapinelli<sup>(14)</sup>.

As artérias geniculares inferiores medial e lateral emitem ramos para nutrir a patela, o coxim gorduroso de Hoffa e o tendão patelar. Essas duas artérias se dividem em três ramos cada: artérias parapatelares ascendentes, artérias pré-patelares obliquas e artérias infrapatelares transversas<sup>(13)</sup>.

As artérias parapatelares ascendentes seguem paralelas à margem da patela para anastomosar com os ramos descendentes parapatelares das artérias geniculares superiores. As artérias pré-patelares obliquas convergem para a região anterior, que, junto com outros vasos vindos de outras geniculares, compõem o anel anastomótico vascular, por onde ramos arteriais penetram na superfície anterior da patela pelos forames vasculares em números de 10 a 12 em média. As artérias infrapatelares transversas seguem posterior ao tendão patelar originando ramos polares que penetram na rótula pelo pólo inferior, posteriormente à origem do tendão patelar<sup>(13,14)</sup>.

O tendão patelar recebe suprimento por três pedículos de cada lado: superior, médio e inferior. Os pedículos

mediais têm sua origem nas artérias genicular descendente e genicular inferior medial e os pedículos laterais nas artérias geniculares laterais e tibial anterior recorrente<sup>(15,16)</sup>. Dois principais arcos vasculares anastomosam com esses pedículos: o retro patelar e o supratubercular, formando uma rede pretendéria<sup>(13)</sup>.

A anatomia nervosa do aparelho extensor do joelho é composta principalmente pelo ramo infrapatelar do nervo safeno, que passa posterior ao músculo sartório na face medial do joelho para se unir ao plexo patelar, fornecendo inervação à cápsula anteromedial, tendão patelar e à pele anteromedial do joelho. Os ramos articulares dos nervos para os músculos do quadríceps, ramos do nervo femoral, inervam a face anterior e anterolateral do joelho<sup>(1)</sup>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da anatomia do aparelho extensor do joelho com fotografias em 3D permite visualizar as diferentes estruturas e entender a relação entre elas. Dentre outros benefícios relacionados a esta técnica, destacamos, além do ensino e estudo da anatomia musculoesquelética, o potencial uso em treinamento de procedimentos cirúrgicos e a realização de imagens em exames diagnósticos.

## REFERÊNCIAS

- Andrikoula S, Tokis A, Vasiladis HS, Georgoutsis A. The extensor mechanism of the knee joint: an anatomical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(3):214-20.
- Wallgora AC, Johanson NA, Hirsch BE. Clinical anatomy of the quadriceps femoris and extensor apparatus of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(12):3297-306.
- Collado H, Fredericson M. Patellofemoral pain syndrome. *Clin Sports Med*. 2010;29(3):379-98.
- Felder B, Marshall JL, Koslin B, Ring B, Girgis FG. The anterior aspect of the knee joint. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63(3):351-6.
- Conlan T, Garth WP Jr, Lemons JE. Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75(5):682-93.
- Dye SF, Campagna-Pinto D, Dye CC, Shifflett S, Elman T. Soft-tissue anatomy anterior to the human patella. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A(6):1012-7.
- Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg*. 2001;95(6):1057-66.
- Meneses MS, Cruz AV, Castro IA, Pedrozo AA. [Stereoscopic neuroanatomy: comparative study between anaglyphic and light polarization techniques]. *Arq Neuropsiquiatr*. 2002;60(3-B):769-74.
- Cohen M, da Costa Astur D, Kaleka CC, Artiani GG, Cohen C, Jaliljian W, et al. Introducing 3-dimensional stereoscopic imaging to the study of musculoskeletal anatomy. *Arthroscopy*. 2011;27(4):593-6.
- Kimura K, Takahashi Y. M. articularis genu. Observations on arrangement and consideration of function. *Surg Radiol Anat*. 1987;9(3):231-9.
- Wangwinyuvirat M, Dirim B, Pastore D, Pretterklieber M, Frank A, Haghighi P, et al. Prepatellar quadriceps continuation: MRI of cadavers with Gross anatomic and histologic correlation. *AJR Am J Roentgenol*. 2009 Mar;192(3):W111-5.
- Merican AM, Sanghavi S, Iranpour F, Amis AA. The structural properties of the lateral retinaculum and capsular complex of the knee. *J Biomech*. 2009;42(14):2323-9.
- Colombel M, Marz Y, Dahhan P, Kénési C. Arterial and lymphatic supply of the knee Integuments. *Surg Radiol Anat*. 1998;20(1):35-40.
- Scapinelli R. Blood supply of the human patella. Its relation to ischaemic necrosis after fracture. *J Bone Joint Surg Br*. 1967;49(3):563-70.
- Soldado F, Reina F, Yuguero M, Rodriguez-Baeza A. Clinical anatomy of the arterial supply of the human patellar ligament. *Surg Radiol Anat*. 2002;24(3-4):177-82.
- Pang J, Shen S, Pan WR, Jones IR, Rozen WM, Taylor GI. The arterial supply of the patellar tendon: anatomical study with clinical implications for knee surgery. *Clin Anat*. 2009;22(3):371-6.

# Three dimensional anatomy of the anterior cruciate ligament: a new approach in anatomical orthopedic studies and a literature review

Gustavo Gonçalves Arliani<sup>1</sup>  
 Diego Costa Astur<sup>1</sup>  
 Eduardo Ramalho Moraes<sup>1</sup>  
 Camila Cohen Kaleka<sup>2</sup>  
 Wahi Jalikjian<sup>3</sup>  
 Pau Golano<sup>4,5</sup>  
 Moisés Cohen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Traumatologia do Esporte (CETE), Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Universidade Federal de São Paulo SP, Brazil (DOT-UNIFESP/EPM); <sup>2</sup>Departamento de Ortopedia e Traumatologia Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo SP, Brazil; <sup>3</sup>Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto SP, Brazil; <sup>4</sup>Laboratory of Arthroscopic and Surgical Anatomy, Department of Pathology and Experimental Therapeutics, University of Barcelona, Spain; <sup>5</sup>Department of Orthopedic Surgery, School of Medicine, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA

Correspondence: Gustavo Arliani  
 Rua Borges Lagoa, 783-5º andar,  
 Vila Clementino, São Paulo SP,  
 Brazil 04038-032.  
 Tel +11 55 5571 6621  
 Email ggarliani@hotmail.com

**Background:** The anterior cruciate ligament (ACL) is an important structure in the knee. The ACL does not heal following lesions, and surgical reconstruction is the standard treatment among athletes. Some steps of ACL reconstruction remain controversial. It is important to fully understand the anatomy of the ACL to accurately reproduce its anatomy during surgical reconstructions. The purpose of this study was to evaluate the use of anaglyphic images that produce 3D images to better visualize the anatomy of the ACL, and to highlight the anatomical features of this ligament as reported in the literature.

**Methods:** We included ten knees in this study. After dissection of the knee structures, pictures were acquired using a camera with Nikon D40, AF-S Nikkor 18–55 mm (1:3.5–5.6 G2 ED), and Micro Nikkor 105 mm (1:2.8) lenses. The pair of images was processed using Callipygn 3D Anabuilder software, which transforms the two images into one anaglyphic image.

**Results:** During the dissection of the knees, nine pictures were acquired and transformed into anaglyphic images.

**Conclusion:** This study, demonstrated that the use of 3D images is a useful tool that can improve the knowledge of the anatomy of the knee, while also facilitating knee reconstruction surgery.

**Keywords:** anatomy education, photography methods, education, medical methods, eyeglasses, anaglyphic

## Introduction

The anterior cruciate ligament (ACL) is an important structure in the knee, as it resists anterior instability and internal rotation of the tibia.<sup>1,2</sup> The ACL does not heal following lesions, and surgical reconstruction is the standard treatment among athletes.<sup>3</sup> Reconstructive surgery aims to restore the kinematics and stability of the injured knee. During the past 20 years, ACL reconstruction has become a widely accepted procedure, and its utilization will continue to increase given that the ACL is one of the most frequently injured structures during high impact sporting activities.<sup>4</sup> However, some steps of ACL reconstruction remain controversial. It is important to fully understand the anatomy of the ACL in order to understand the functional role of this structure, as well as to accurately reproduce its anatomy during surgical reconstructions.

Several articles have been published on the anatomy of the ACL, mainly in relation to the footprints of this ligament in the femur and tibia.<sup>4-6</sup> These studies aimed to increase the general knowledge of the anatomical features of the ACL in order to ensure that the present surgical techniques were as closely approximated as possible to

the original anatomy of the ligament. However, there are no published studies on the anatomy of this ligament as viewed in three dimensions.

Two-dimensional images can be prepared to provide the illusion that an object has three dimensions (3D). Special glasses that transmit a different image of a two-dimensional object to each eye function by altering the angle of each image and produce an illusion of depth within the brain, or with the aid of computer graphics. Therefore, 3D visualization methods are a valuable resource for knee anatomy teaching and learning because they allow clinicians to visualize anatomical structures in great detail. The purpose of this study was to use anaglyphic images to visualize the anatomy of the ACL.

### Material and methods

This research project was evaluated and approved by the Ethics Committee within our institution and an associated institution. We included ten knees from the traumatic amputation of lower limbs from adult patients between the ages of 34 and 55 years (mean 41.2 years). The knees of seven men and three women were dissected. There was no distinction based on race made among participants in the study. The dissections and 3D images were acquired at the Universidade Federal de São Paulo.

We did a qualitative analysis of the anatomy of the knee. The distal femur and proximal tibia were used for this study. The skin and subcutaneous tissue were removed, leaving only the muscle groups and ligaments. We then removed all of the muscle groups, and the ligaments and meniscus were retained. The quadriceps muscles, iliotibial band, biceps femoris, popliteus muscle, lateral and medial head of the gastrocnemius, semimembranosus, semitendinosus, gracilis, and sartorius were removed. Finally, we acquired a knee that only contained the bone (tibia and femur), the ACL, posterior cruciate ligament (PCL), medial collateral ligament, lateral collateral ligament, mucosum plica, and the meniscus. Following the dissection of each of these structures, pictures were taken with both central ligaments. Subsequently, the PCL was removed in order to better visualize the ACL.

In order to better visualize the two bundles of ACL in the flexion and extension positions, the medial condyle was resected with an osteotome. Images were then acquired with the knee in the flexion and extension positions. Images were acquired from the dissections using a camera with Nikon D40, AF-S Nikkor 18–55 mm (1:3.5–5.6 G2 ED), and Micro Nikkor 105 mm (1:2.8) lenses (Nikon Corporation, Tokyo, Japan). These lenses were placed on a slide bar that was attached to a tripod. The slider was used to generate two images of the same

structure, which differed along the horizontal angle proportional to the interpupillary distance.<sup>7-9</sup> The pair of images was processed using Callipyan 3D Anabuilder software (AnaBuilder, France), which transforms the two images into one anaglyphic image. The special anaglyph 3D glasses then enabled the visualization of the 3D images. Two images were displayed on the screen – one red and the other blue. The red filter allowed a red image to enter one eye, and the blue filter allowed a blue image to enter the other eye. The brain then combined these images to give the viewer the illusion of a 3D image.

### Results

The distal femur and proximal tibia were used in this study. The skin, subcutaneous tissue and muscles were removed leaving only the femur, tibia, meniscus, and ligaments.

The first images were acquired just after a complete rupture of the patellar tendon and removal of the extensor mechanism proximally. In Figure 1 we can visualize the infrapatellar fat and the ligamentum mucosum. Following the acquisition of this image, we resected these two structures.

After dissection of ACL and PCL, we placed the joint at a 90-degree angle in flexion – a position typically used in arthroscopic procedures – to realize images in 3D. In Figure 2, we can see both ligaments and their relations with the femur and tibia in the position described above.

With the knee in the same position, a new image (Figure 3) with a greater degree of zoom was acquired, so we were better able to observe the insertions of the ACL and PCL in 3D. Following that, the PCL was removed for better visualization of the ACL. Images were acquired from the front and back of the knee in different positions (Figures 4 and 5, respectively). In the posterior view with the knee in the extended position, we can visualize more accurately the relationship between the ACL footprint and the posterior wall of the femur.



Figure 1 Infrapatellar fat and the ligamentum mucosum.

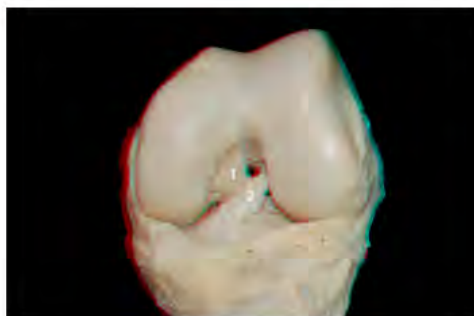


Figure 2 PCL (1) and ACL (2) in knee flexion.  
Abbreviations: PCL, posterior cruciate ligament; ACL, anterior cruciate ligament.



Figure 4 ACL (1) in the flexed knee: anterior view.  
Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.

We then conducted a more detailed dissection of the ACL and its anteromedial and posterolateral bundles. To better visualize the two bundles in the flexion and extension positions, the medial condyle was resected with an osteotome. Images were then acquired with the knee in the flexed and extended positions (Figures 6 and 7, respectively). In Figure 8 it is apparent that when the knee is in flexion, the tension of the anteromedial bundle is clearly visible. It is also noted that the posterolateral bundle is loose. Also visible are the insertion of the femur and tibia.

With the knee in the extended position, and following resection of the medial femoral condyle, we performed a zoomed image at the femoral insertion of the ACL (Figure 9). In this image, we can see the footprint of the ligament as well as its relationship to the articular and posterior cortical region of the femur.

## Discussion

The ACL is a band-like structure that is comprised of dense connective tissues. The ligament is composed of fibroblasts,

primarily surrounded by type 1 and type 3 collagens. Near the ACL insertions, there are also small amounts of type 3 and type 4 collagens.<sup>10,11</sup>

The normal insertion site of a ligament is a highly specialized zone of tissue that functions to transfer stress from hard to soft tissue. The native ACL attaches to the surface of the bone via direct insertion, which contains four distinct histological zones: (1) ligament; (2) uncalcified fibrocartilage; (3) calcified fibrocartilage; and (4) bone.<sup>12</sup> The ACL attaches to a rough, nonarticular area, which is anterior to the intercondylar eminence of the tibia, and extends upwards and backwards in an oblique direction to the most posterior-medial aspect of the lateral femoral condyle.<sup>4</sup> The long axis of the ACL is tilted 26 degrees forward from its vertical axis, and rotates towards itself in a lateral (external rotation) spiral of approximately 90 degrees as it approaches the tibial surface.<sup>13,14</sup>

The ACL is enveloped by the synovial membrane of the knee joint, which places the ligament in an intra-articular orientation, although it remains in an extrasynovial position.<sup>15</sup> The length of the ACL ranges from 22 to 41 mm



Figure 3 ACL (2) and PCL (1) in the knee flexion.  
Abbreviations: PCL, posterior cruciate ligament; ACL, anterior cruciate ligament.

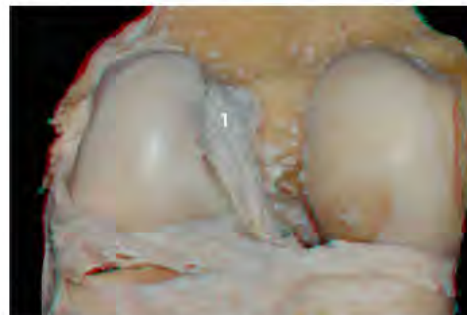


Figure 5 Femoral insertion of the ACL (1): posterior view.  
Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.

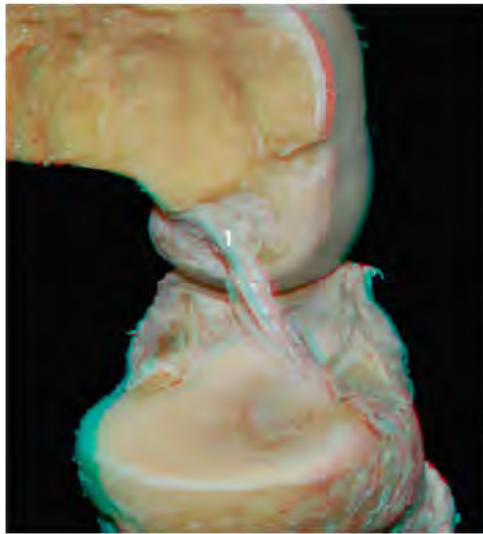


Figure 6 ACL (1) without the medial condyle in the flexed knee: lateral view. Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.

(mean, 32 mm) and its width ranges from 7 to 12 mm. The tibial attachment of the ACL is oval and longer in the anteroposterior dimension ( $17 \pm 2$  mm on average) than its medial-lateral width ( $9 \pm 2$  mm on average).<sup>4</sup> The femoral attachment is smaller and is located posterior and distal to the “over the top” position. The femoral attachment is oval shaped and there is often a bony prominence located between the anteromedial and posterolateral bundle insertion site, known as the cruciate ridge. In addition, there is a bony ridge running lengthwise throughout the entire footprint of the ACL, which is called the lateral intercondylar ridge.<sup>5</sup>

The cross-sectional shape of the ACL is noncircular. Moreover, the cross-sectional area increases in size from the

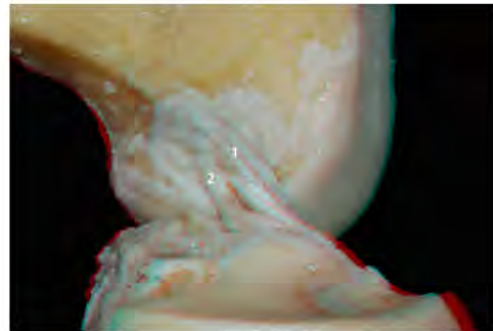


Figure 8 ACL anteromedial (1) and posterolateral (2) bundles without the medial condyle: lateral view. Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.

femur to the tibia. Near the tibial attachment, the ACL sends a variable amount of fibers anteriorly beneath the transverse intermeniscal ligament, and some extensions may blend in with both the attachment of the anterior or posterior horn of the lateral meniscus. The tibial attachment is somewhat wider and stronger than the femoral attachment.<sup>3</sup>

Functionally, Girgis et al divided the ACL into two parts: the anteromedial bundle (AMB) and the posterolateral bundle (PLB),<sup>14</sup> while other orthopedic researchers have separated the ACL into three functional bundles: the AMB; the intermediate band; and the PLB.<sup>16</sup> The fascicles of the AMB originate at the most anterior and proximal aspect of the femoral attachment and insert at the anteromedial aspect of the tibial attachment. Conversely, the fascicles of the PLB originate at the posterodistal aspect of the femoral attachment and insert at the posterolateral aspect of the tibial attachment.<sup>16</sup> A larger number of fascicles make up the PLB as compared to the AMB.<sup>17</sup> The two bundles are not isometric in terms of flexion and extension, but they

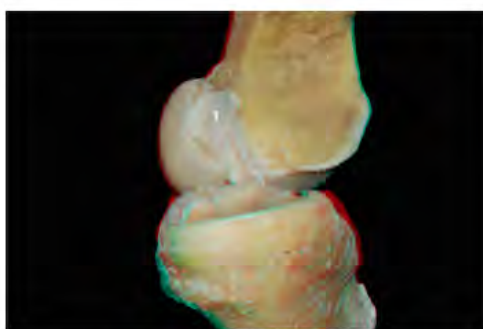


Figure 7 ACL (1) without the medial condyle in the extended knee: lateral view. Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.

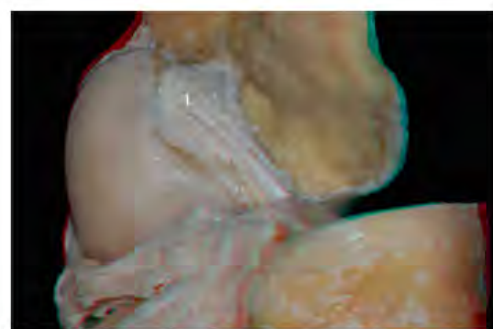


Figure 9 ACL footprint (1) without the medial condyle. Abbreviation: ACL, anterior cruciate ligament.



experience different patterns of changes in their length during passive knee flexion. In extension, the AMB appears as a flat band, and the posterolateral bulk of the ligament is taut. As the flexion begins, the anteromedial band tightens, and the posterolateral bulk loosens.<sup>4</sup>

In our study, we found two bundles in the ACL dissections, and as observed in other papers, we noted differences in the length of the ligament in different positions. The ACL receives nerve fibers from the posterior articular branches of the tibial nerve. These fibers penetrate the posterior joint capsule and run alongside the synovial and periligamentous vessels surrounding the ligament to reach as anterior as the infrapatellar fat pad.<sup>18</sup> There are mechanoreceptors that serve a proprioceptive function and provide the afferent arc for knee postural signaling changes.<sup>3</sup> Therefore, preserving ACL structural components during ACL reconstruction could help to maintain proprioception after reconstruction.<sup>19</sup>

The blood supply of the cruciate ligaments is provided by the middle genicular artery. The middle genicular artery originates at a right angle from the anterior aspect of the popliteal artery, most commonly at the level of the proximal contours of the femoral condyles immediately below the origin of the superior genicular artery and just above the sural artery.<sup>3</sup> It pierces the posterior capsule, passing through one of the apertures existing in the oblique popliteal ligament, nearer to the lateral than the medial femoral condyle. When the artery penetrates the joint, it ramifies, providing branches to the soft tissues lodged in the intercondylar notch such as the ACL.<sup>3</sup> The distribution of blood vessels within the ligament is not homogeneous. The proximal part of the ACL contains more blood vessels than the distal part.<sup>20</sup>

A small amount of blood is supplied to the distal portion of the ACL by the infrapatellar branches of the inferior genicular arteries. The periligamentous fold of vessels is absent in a small zone approximately 5–10 mm proximal to the tibial attachment; in this anterior fibrocartilaginous part, the tissue is avascular.<sup>21</sup> The coincidence of poor vascularity and the presence of fibrocartilage is also observed in tendons that are subjected to compressive loads, and the coincidence of these two factors undoubtedly contributes to the poor healing potential of the ACL.<sup>3</sup>

## Conclusion

The use of 3D images in this study demonstrates that this technique is useful to improve the knowledge of the anatomy of the knee, as well as to help inform knee reconstruction surgery. Other medical specialties have already used 3D imaging to enhance their understanding of various anatomical

features. The ability to understand and visualize the relationship between different structures of the knee motivates us to conduct further studies using 3D images to improve our understanding of anatomical structures.

## Authors' contributions

All authors substantially contributed to the conception and design of the study, acquisition of data, analysis and interpretation of data, drafting or reviewing the article and, if appropriate, revising it critically for important intellectual content. GGA, DCA, MC, ERM, and PG designed the study and directed its implementation, including the conduct of quality assurance, control, dissection, and acquisition of data. CC and WJ helped conduct the literature review and write the discussion section. All authors participated in all meetings during the preparation of the final document.

## Disclosure

The authors report no conflict of interest in this work.

## References

1. Matsumoto H, Suda Y, Otani T, Niki Y, Seedhom BB, Fujikawa K. Roles of the anterior cruciate ligament and the medial collateral ligament in preventing valgus instability. *J Orthop Sci.* 2001;6(1):28–32.
2. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res.* 1997;15(2):285–293.
3. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):204–213.
4. Giron F, Cuomo P, Aglietti P, Bull AM, Amis AA. Femoral attachment of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):250–256.
5. 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):1218–1225.
6. 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):122–129.
7. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg.* 2001;95(6):1057–1066.
8. Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL Jr, et al. Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery.* 2006;58(5):E1000; discussion E1000.
9. Ribas GC, Ribas E Jr RA. The brain, the tridimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images. *Rev Med (Sao Paulo).* 2006;85:78–90.
10. Baek GH, Carlin GJ, Vogrin TM, Woo SL, Harner CD. Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and meniscofemoral ligaments. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;357:205–211.
11. Rumian AP, Wallace AL, Birch HL. Tendons and ligaments are anatomically distinct but overlap in molecular and morphological features – a comparative study in an ovine model. *J Orthop Res.* 2007;25(4):458–464.
12. Cooper RR, Misol S. Tendon and ligament insertion. A light and electron microscopic study. *J Bone Joint Surg Am.* 1970;52(1):1–20.

13. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;172:19–25.
14. 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.
15. Ellison AE, Berg EE. Embryology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am.* 1985;16(1):3–14.
16. 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):260–267.
17. Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med.* 1988;16(5):449–454.
18. Kennedy JC, Alexander JJ, Hayes KC. Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med.* 1982;10(6):329–335.
19. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoke K, Kuriwaka M. Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthop Scand.* 2002;73(3):330–334.
20. Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat.* 1997;10(3):151–162.
21. Petersen W, Tillmann B. Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol (Berl).* 1999;200(3):325–334.

#### Open Access Journal of Sports Medicine

Dovepress

#### Publish your work in this journal

Open Access Journal of Sports Medicine is an international, peer-reviewed, open access journal publishing original research, reports, reviews and commentaries on all areas of sports medicine. The manuscript management system is completely online and includes a very quick and fair peer-review system.

Visit <http://www.dovepress.com/testimonials.php> to read real quotes from published authors.

Submit your manuscript here: <http://www.dovepress.com/open-access-journal-of-sports-medicine-journal>

## **FONTES CONSULTADAS**

## FONTES CONSULTADAS

Chase RA. A stereoscopic atlas of human anatomy. The Basset and Gruber Legacy. Netherlands: 3-D Book Productions; 1962.

DeCS Descritores em Ciências da Saúde (Internet). São Paulo: BIREME; Available from [http:// decs.bvs.br](http://decs.bvs.br).

Ferwerda JG. The world of 3-D: a practical guide to stereo photography. Netherlands: 3D Books Productions; 1990.

LaPrade RF. Posterolateral knee injuries: anatomy, evaluation, and treatment. New York: Thieme; 2006.

Müller W. The knee: form, function, and ligament reconstruction. Berlin: Springer-Verlag; 1982.

Scott WN. Insall and Scott surgery of the knee. 5<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Elsevier; 2012.

Soldado F, Reina F, Yuguero M, Rodríguez-Baeza A. Clinical anatomy of the arterial supply of the human patellar ligament. *Surg Radiol Anat.* 2002;24(3-4):177-82.

Starkman D. The Nimslo 3D camera book. Everything you always wanted to know about the NIMSLO 3D camera including tips for uses the maker never intended. Culver City: Reel 3D Enterprises; 1986.

Wolfgang DE. Aventuras em 3D. São Paulo: Berkley Brasil Editora; 1993.