



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
MÉDICO-CIRÚRGICAS

RENATA CLAZZER

**Análise do comportamento mecânico de um modelo animal de configuração de enxerto
de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel
único femoral**

FORTALEZA

2025

RENATA CLAZZER

Análise do comportamento mecânico de um modelo animal de configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Médico-Cirúrgicas do Departamento de Cirurgia da Universidade Federal do Ceará para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Luzete Costa Cavalcante

Coorientador: Prof. Dr. Diego Ariel de Lima

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C559a Clazzer, Renata.

Análise do comportamento mecânico de um modelo animal de configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral / Renata Clazzer. – 2025.

57 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Médico-Cirúrgicas, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Maria Luzete Costa Cavalcante.

Coorientação: Prof. Dr. Diego Ariel de Lima.

1. Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. 2. Instabilidade Articular. 3. Ligamento cruzado anterior. 4. Ligamentos. 5. Joelho. I. Título.

CDD 617

RENATA CLAZZER

Análise do comportamento mecânico de um modelo animal de configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Médico-Cirúrgicas do Departamento de Cirurgia da Universidade Federal do Ceará para obtenção do grau de Mestre.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^a. Maria Luzete Costa Cavalcante (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Clécio de Lima Lopes
Universidade de Pernambuco (UPE)

Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Codes
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Prof. Dr. Diego Ariel de Lima
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Dedico a minha melhor amiga, que por acaso vem a ser minha mãe, que me ensinou os primeiros passos na vida, e me apoiou em todos os outros por mais improváveis que parecessem. Dedico a minha inspiração diária e meu ser preferido no mundo, Lucas, e a pessoa que trouxe ele para nós, meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação *stricto sensu* em Ciências Médico-Cirúrgicas da UFC;

À Profa. Dra. Maria Luzete Costa Cavalcante, pelo convite e pela orientação, além de chefiar de forma brilhante o programa em Ciências Médico-Cirúrgicas;

Aos estudantes de iniciação científica, pela grande contribuição e dedicação ao desenvolvimento desse trabalho, sobretudo aos alunos Macleanne, Anderson, Marcos, Juliana e Celina;

Aos professores e demais funcionários do Departamento de Cirurgia da Universidade Federal do Ceará, sobretudo ao Marcelo, secretário do programa em Ciências Médico-Cirúrgicas, que suportou com paciência todas as minhas milhares de solicitações;

Aos professores e demais funcionários do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, principalmente a Prof. Dr. Rodrigo Codes e ao Técnico de Laboratório Fabrício Almeida;

Aos colegas da turma de Mestrado, por trilharem o mesmo caminho e dividir as dores e alegrias;

Ao meu pai, quem plantou em mim o anseio em ter o que me parecia inalcançável;

À minha mãe, pessoa que me carrega no colo até hoje, guiando e incentivando cada passo a mais nessa longa jornada acadêmica que eu sempre insisto em dar. Minha melhor companheira de vida que nunca deixou tempo, dinheiro ou distância ser motivo de impedimento para me dar tudo o que eu precisava pra chegar até aqui;

À cada percalço no caminho que superei e por todos os outros que me é colocado e não cabe a mim questionar, apenas vencer, eles me moldaram pra ser quem eu sou;

Ao ser que ilumina meus dias, você traz luz não apenas para minhas ideias, mas me alumbra a vida;

Por fim, a Deus.

“Alegrai-vos porque em toda parte é aqui e
tudo é agora” (frase budista).

RESUMO

A reconstrução combinada do ligamento anterolateral do joelho (LAL) e do ligamento cruzado anterior (LCA) tem mostrado excelentes resultados em grupos específicos de pacientes. Isso poderia potencialmente reduzir a falha do enxerto e melhorar os resultados em pacientes de alto risco. O objetivo do presente estudo é descrever e testar mecanicamente em modelo animal uma configuração que simule o enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL com túnel único femoral com uma “perna” para reconstrução do LAL. Foi utilizado como enxerto o tendão flexor de porco e fixado com parafusos de interferência de titânio em bloco de poliuretano. As amostras foram divididas em três grupos: Grupo 1 (controle) com enxerto quádruplo, Grupo 2 com enxerto triplo simples e Grupo 3 com enxerto triplo trançado. Os testes foram realizados em máquina de ensaios universais EMIC DL 10000. As amostras dos Grupo 1, 2 e 3 obtiveram um pico de força de $816,28 \pm 78,78$ N, de $506,95 \pm 151,30$ N e $723,16 \pm 316,15$ N, respectivamente. No Grupo 3, a trança aumentou o diâmetro do enxerto em 9-14% e causou um encurtamento de 4-8% em comparação com o Grupo 1 com um aumento médio de pico de força de cerca de 200 N ($p < 0,05$). Em relação aos picos de força, não houve diferença estatisticamente significativa entre os Grupos 1 e 3, indicando que os enxertos quádruplo e triplo trançado apresentaram resultados de força semelhantes. Dessa forma, concluímos que a configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral com uma “perna” para reconstrução do LAL pode vir a ser uma solução mecanicamente viável e com possível aplicação clínica.

Palavras-chave: Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior; Instabilidade Articular; Ligamento cruzado anterior; Ligamentos; Joelho.

ABSTRACT

Combined reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL) and the anterolateral ligament (ALL) of the knee has shown excellent results in specific patient groups. This could potentially reduce graft failure and improve outcomes in high-risk patients. The aim of this study is to describe and mechanically test a configuration in an animal model that simulates the triple hamstring graft for combined ACL and ALL reconstruction with a single femoral tunnel and a single strand for ALL reconstruction. Deep flexor porcine tendons were used as graft and fixed with titanium interference screws in a polyurethane block. The samples were divided into three groups: Group 1 (control) with quadruple graft; Group 2 with simple triple graft; and Group 3 with braided triple graft. The tests were conducted using an EMIC DL 10000 electromechanical universal testing machine. The samples in Groups 1, 2, and 3 obtained peak forces of 816.28 ± 78.78 N, 506.95 ± 151.30 N, and 723.16 ± 316.15 N, respectively. In Group 3, braiding increased graft diameter by 9-14% and caused a shortening of 4-8% compared to Group 1, with an average peak force increase of about 200 N ($p < 0.05$). Regarding peak forces, there was no statistically significant difference between Groups 1 and 3, indicating that quadruple and braided triple grafts showed similar strength results. Therefore, we conclude that the triple braided hamstring graft configuration for combined ACL and ALL reconstruction with a single femoral tunnel and a single strand for ALL reconstruction may become a mechanically viable solution with potential clinical application.

Keyword: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction; Joint Instability; Anterior Cruciate Ligament; Ligaments; Knee.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Ligamento anterolateral do joelho	15
Figura 2	– Ligamento anterolateral do joelho identificado em exame de ressonância magnética	18
Figura 3	– Fratura de Segond	20
Figura 4	– <i>Lateral Femoral Notch</i>	20
Figura 5	– Algumas opções de enxertos autólogos para reconstruções ligamentares	22
Figura 6	– Técnicas de extração de enxerto dos tendões dos músculos flexores	24
Figura 7	– Reconstrução combinada do ligamento anterolateral (LAL) e do ligamento cruzado anterior (LCA)	29
Figura 8	– Fixação do enxerto do ligamento cruzado anterior com dispositivo suspensório no fêmur	30
Figura 9	– Fixação do enxerto do ligamento anterolateral	31
Figura 10	– Técnica de reconstrução de LCA e LAL com enxerto de trança tripla de isquiotibiais para o LCA e com uma “perna” para reconstrução do LAL	33
Figura 11	– Enxerto de trança tripla de isquiotibiais para o Ligamento Cruzado Anterior e com uma “perna” para reconstrução do Ligamento Antero Lateral	34
Figura 12	– Amostras divididas em três grupos. Grupo 1) grupo controle: o enxerto é unido de forma “quádrupla”; Grupo 2) grupo enxerto “triplo” simples; Grupo 3) grupo enxerto “triplo” trançado	37
Figura 13	– Trança de forma “pura”	38
Figura 14	– Testes realizados na máquina de ensaios universais EMIC DL 10000	39
Figura 15	– Teste-t em relação aos picos de força (N) do Grupo 1- controle (quádruplo), do Grupo 2 (triplo simples) e do Grupo 3 (triplo trançado)	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BPTB	Enxerto de Tendão Patelar, do inglês <i>Bone-Patellar Tendon-Bone</i>
EMIC DL 10000	Máquina Universal de Ensaio de capacidade de carga de 10.000 kgf
GR	Tendão do Grácil (<i>gracilis</i>)
LAL	Ligamento Anterolateral
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
LCL	Ligamento Colateral Lateral
NBR	Norma Técnica Brasileira
RM	Ressonância Magnética
TC	Tomografia Computadorizada

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca Registrada
%	Porcentagem
±	Mais ou Menos
cm ³	Centímetro cúbico
mm	Milímetro
s	Tempo, em segundos
<i>et al.</i>	"e colaboradores"
kgf	Quilograma-força
N	Newton, unidade de medida de força
>	Maior que
<	Menor que
p	Valor-p ou <i>p-value</i> , referente a probabilidade estatística de um teste
PCF	Libras por pé cúbico, do inglês <i>Pounds per Cubic Foot</i>
°C	Grau Celsius
σ	Sigma
ρ	Rô
H ₀	Hipótese nula

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contexto Clínico	14
1.2	O ligamento anterolateral (LAL)	15
<i>1.2.1</i>	<i>Anatomia do ligamento anterolateral</i>	<i>16</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Função e biomecânica do ligamento anterolateral</i>	<i>16</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Relevância clínica do ligamento anterolateral</i>	<i>17</i>
<i>1.2.4</i>	<i>Diagnóstico e tratamento de lesões do ligamento anterolateral</i>	<i>17</i>
1.3	Lesão combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior	19
<i>1.3.1</i>	<i>Indicações cirúrgicas para reconstrução combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior</i>	<i>21</i>
1.4	Enxertos para reconstruções ligamentares do joelho	21
<i>1.4.1</i>	<i>Enxertos autólogos</i>	<i>22</i>
<i>1.4.1.1</i>	<i>Enxerto de tendões dos músculos flexores / isquiotibiais (semitendíneo e grácil)</i>	<i>23</i>
<i>1.4.1.2</i>	<i>Enxerto de tendão patelar (osso-tendão-osso)</i>	<i>25</i>
<i>1.4.1.3</i>	<i>Enxerto do tendão do quadríceps</i>	<i>25</i>
<i>1.4.1.4</i>	<i>Enxerto do tendão do fibular longo</i>	<i>26</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Enxertos alógenos</i>	<i>26</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Enxertos sintéticos</i>	<i>27</i>
1.5	Técnicas de reconstrução combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior	28
<i>1.5.1</i>	<i>Diagnóstico e planejamento</i>	<i>28</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Preparação do enxerto</i>	<i>29</i>
<i>1.5.3</i>	<i>Reconstrução do LCA</i>	<i>30</i>
<i>1.5.4</i>	<i>Reconstrução do LAL</i>	<i>31</i>
1.6	Problemática e lacuna de conhecimento	32
1.7	Relevância e justificativa	32
2	OBJETIVO	35
2.1	Objetivo principal	35
2.2	Objetivos secundários	35

3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	Amostras de ensaio	36
3.2	Enxerto	36
3.3	Preparo das amostras ensaiadas	36
3.4	Realização dos ensaios	38
3.5	Metodologia de análise dos dados	40
4	RESULTADOS	41
5	DISCUSSÃO	43
5.1	Limitações	45
5.2	Perspectivas futuras	46
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	ANEXO A – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA BRASILEIRA DE ORTOPEDIA - RBO (ISSN: 0102-3616, QUALIS B1)	55
	ANEXO B – TRABALHO APRESENTADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA DE 2023, EM BRASÍLIA	56
	ANEXO C – PRÊMIO CINE SBOT DE MELHOR TÉCNICA CIRÚRGICA NO CONGRESSO BRASILEIRO DE ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA DE 2024, NO RIO DE JANEIRO	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto clínico

A reconstrução combinada do ligamento anterolateral do joelho (LAL) e do ligamento cruzado anterior (LCA) tem mostrado excelentes resultados em grupos específicos de pacientes (HUSSEIN *et al.*, 2012; DAGGETT *et al.*, 2017; ARIEL DE LIMA *et al.*, 2018a, 2018b). Isso poderia potencialmente reduzir a falha do enxerto e melhorar os resultados em pacientes de alto risco. Existem várias técnicas cirúrgicas descritas. Os isquiotibiais, em formato quádruplo, são os enxertos mais usados para esse tipo de reconstrução (HELITO; GUIMARÃES; SOBRADO, 2021).

Existem muitas técnicas descritas para a reconstrução combinada do LCA e LAL (CHAHLA *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2016; STUYTS; VAN DEN EEDEN; VICTOR, 2017; HELITO *et al.*, 2019; SAITHNA *et al.*, 2020; JANKOVIC *et al.*, 2021; MESNIER *et al.*, 2022; MORIN *et al.*, 2022). Muitas delas utilizam uma “perna” do tendão do grácil (GR) para a reconstrução do LAL e o restante para o LCA (HELITO *et al.*, 2015).

Todavia, a utilização de uma das “pernas” dos isquiotibiais para a reconstrução do LAL deixa somente um enxerto “triplo” para a reconstrução do LCA, o que potencialmente o deixaria mais fraco, pois estaria mais fino. Estudos que versam sobre a reconstrução intra-articular isolada do LCA mostram que enxertos de isquiotibiais menores que 8mm podem apresentar maior risco de falha, mas isso ainda não é tão bem estabelecido quando a reconstrução extra-articular é associada. Helito *et al.* (2023) mostraram que enxertos de 7mm ou menos quando associados a reconstrução do LAL podem ter resultados semelhantes de enxertos intra-articulares isolados de 8mm ou mais.

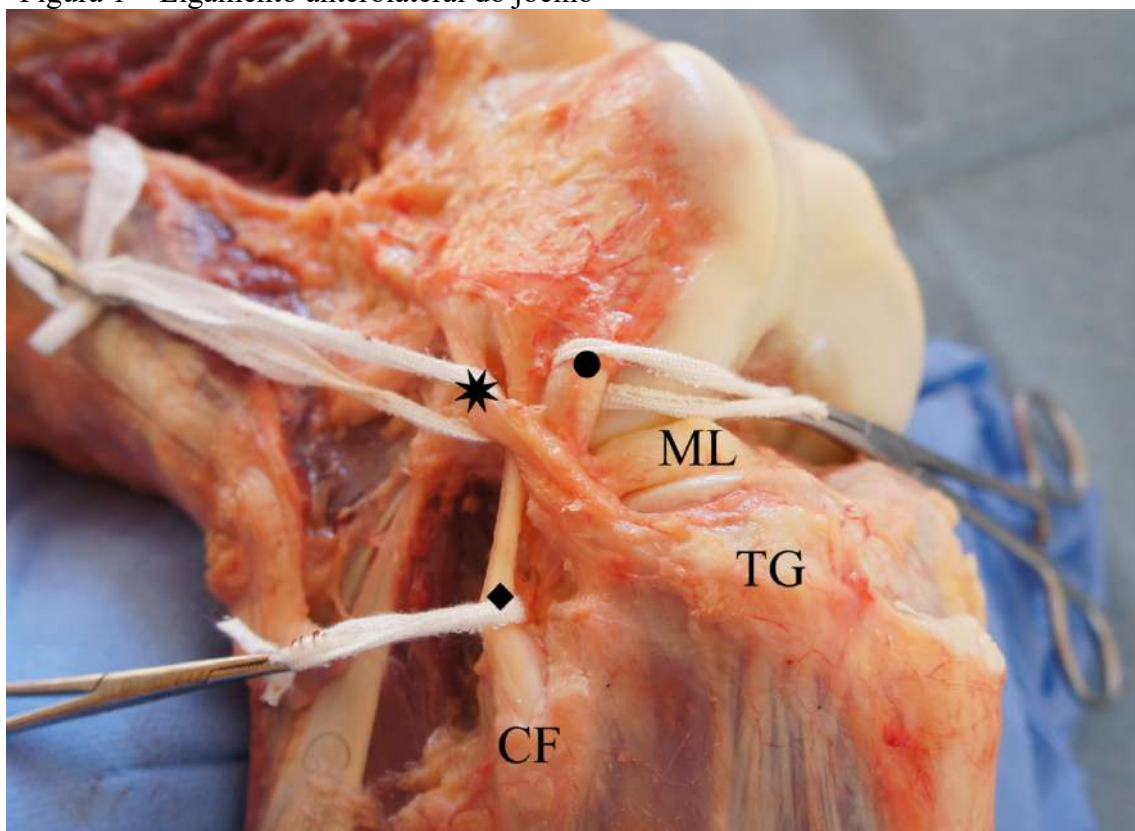
O grande problema das reconstruções combinadas é justamente a disponibilidade de enxertos. As reconstruções combinadas ou múltiplas de ligamentos do joelho são frequentemente necessárias em casos de lesões complexas do joelho, como aquelas envolvendo pelo menos dois ligamentos, como no caso da lesão combinada de LCA e LAL. Os enxertos autólogos são considerados o padrão ouro para muitas reconstruções ligamentares devido à sua biocompatibilidade e menor risco de rejeição. No entanto, a disponibilidade de tecido saudável no próprio paciente pode ser limitada, especialmente em casos de múltiplas reconstruções ou em pacientes que já passaram por cirurgias ortopédicas anteriores. Além disso, a retirada de enxertos autólogos pode levar a complicações no local da doação, como dor e fraqueza (SAJOVIC; DEMSAR; SAJOVIC, 2013; PINHEIRO *et al.*, 2022).

Assim, o ideal seria produzir um modelo/técnica que permita a reconstrução do LAL e que propicie ainda um enxerto espesso o suficiente para a reconstrução do LCA, com o mínimo de danos possíveis. Ou seja, um único enxerto de flexores/ isquitibiais (Grácil e Semitendíneo) para a reconstrução combinada do LCA e do LAL.

1.2 O ligamento anterolateral (LAL)

O LAL é uma estrutura ligamentar recentemente reconhecida e reavaliada em termos de sua anatomia, função, e relevância clínica na biomecânica do joelho, especialmente em relação à estabilidade rotacional (ARIEL DE LIMA *et al.*, 2019). Localizado na região anterolateral do joelho, este ligamento desempenha um papel crucial na estabilização do joelho contra a rotação externa e, em menor grau, na prevenção da translação anterior da tíbia em relação ao fêmur. Desde os trabalhos de Vincent *et al.* (2012), Claes *et al.* (2013) e Helito *et al.* (2013b), os estudos do LAL e do compartimento lateral do joelho ganharam força (Figura 1).

Figura 1 – Ligamento anterolateral do joelho



Aspecto anterolateral do joelho direito, mostrando relação entre o Ligamento Anterolateral (* - estrela), o Ligamento Colateral Lateral (◆ - losango) e o Tendão Poplíteo (● - círculo). CF: Cabeça da Fíbula; TG: Tubérculo de Gerdy; ML: Menisco Lateral. Fonte: cordialmente cedida por Diego Ariel de Lima, UFERSA.

1.2.1 Anatomia do ligamento anterolateral

O LAL é descrito possuindo uma origem e duas inserções: a Femoral, a Tibial e a Meniscal. Após sua origem no fêmur, próximo ao epicôndilo lateral, o LAL apresenta um trajeto anteroinferior em direção à região anterolateral da tibia (ARIEL DE LIMA *et al.*, 2019a).

A inserção meniscal é descrita como localizada entre o corpo e o corno anterior do Menisco Lateral, existindo um espraçamento do LAL antes do contato com o menisco, aumentando a área dessa inserção (HELITO *et al.*, 2016a, 2017; TORO-IBARGUEN *et al.*, 2017)

A inserção tibial está localizada no ponto médio entre a Cabeça da Fíbula e o Tubérculo de Gerdy na tibia, aproximadamente entre 4,0 mm e 7,0 mm abaixo do platô tibial (POMAJZL *et al.*, 2015).

A origem femoral é a que mais sofre variações nas descrições dos estudos. Como referências anatômicas para localizar a inserção femoral, são citados principalmente o Epicôndilo Lateral do Fêmur e a origem do Ligamento Colateral Lateral (LCL). Utilizando o Epicôndilo como referência, a maioria dos artigos descreve o LAL inserido posterior e proximal (HELITO *et al.*, 2016b, 2017; FARHAN; SUDHAKARAN; THILAK, 2017).

A maioria dos trabalhos demonstra um LAL com comprimento entre 33,0 mm e 42,0 mm, sendo que esse comprimento aumenta com a flexão do joelho e com a rotação interna da tibia. A largura varia entre 4,0 mm e 7,0 mm e a espessura entre 1,0 mm e 2,0 mm (HELITO *et al.*, 2013b; KOSY *et al.*, 2016; STIJAK *et al.*, 2016; DAGGETT *et al.*, 2017; FARHAN; SUDHAKARAN; THILAK, 2017; PARKER; SMITH, 2018). Segundo Daggett *et al.* (2017), em um amplo estudo com mais de 160 espécimes, a espessura média do LAL no homem é o dobro da espessura do LAL na mulher.

1.2.2 Função e biomecânica do ligamento anterolateral

A função primária do LAL é fornecer estabilidade anterolateral ao joelho, evitando a subluxação da tibia anterior e lateralmente em relação ao fêmur distal (VAN DER WATT *et al.*, 2015). Em parte essa estabilidade pode ser explicada pela inserção relativamente anterior do LAL em comparação com o LCL (POMAJZL *et al.*, 2015).

A maioria dos estudos descreve que o comprimento e a tensão do LAL aumentam com a flexão, com a rotação interna e com o varo do joelho (DAGGETT *et al.*, 2016; CORBO *et al.*, 2017). Claes *et al.* (2013) relataram que a tensão máxima do LAL ocorria em flexão de

aproximadamente 90° do joelho, sendo isométrico entre 0° e 60° de flexão (DODDS *et al.*, 2014).

1.2.3 Relevância clínica do ligamento anterolateral

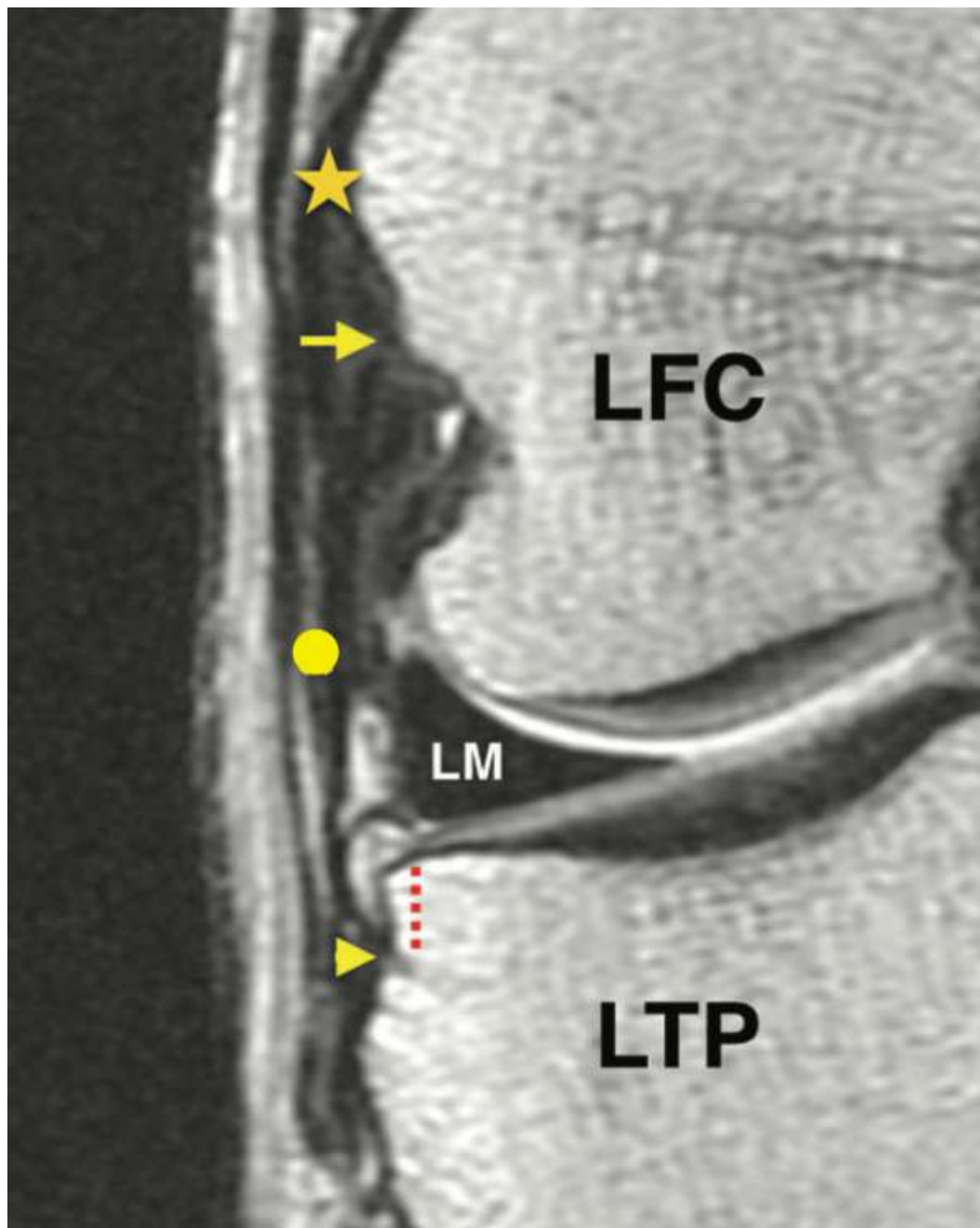
A relevância do LAL torna-se particularmente notável no contexto de lesões do LCA, onde a estabilidade rotacional frequentemente permanece comprometida mesmo após a reconstrução do LCA (ARIEL DE LIMA *et al.*, 2018a).

A lesão do LAL pode ocorrer isoladamente ou, mais comumente, em conjunto com lesões do LCA. A presença de uma lesão do LAL pode ser um fator contribuinte para a falha da reconstrução do LCA, devido ao papel do LAL na estabilidade rotacional do joelho. Portanto, a avaliação da integridade do LAL tornou-se um aspecto importante no diagnóstico e tratamento de lesões do joelho, especialmente em pacientes com instabilidade rotacional persistente após reconstrução do LCA (ARIEL DE LIMA *et al.*, 2018b).

1.2.4 Diagnóstico e tratamento de lesões do ligamento anterolateral

O diagnóstico de lesões do LAL pode ser desafiador devido à sua proximidade com outras estruturas do joelho e à sua relativamente recente reavaliação na literatura. Técnicas de imagem, como ressonância magnética (RM), são úteis para identificar lesões do LAL (Figura 2). O tratamento de lesões do LAL pode variar de manejo conservador, com fisioterapia focada no fortalecimento e estabilização do joelho, a procedimentos cirúrgicos de reconstrução ligamentar, especialmente em casos de instabilidade rotacional significativa ou em conjunto com a reconstrução do LCA (DEPHILLIPO *et al.*, 2017).

Figura 2 – Ligamento anterolateral do joelho identificado em exame de ressonância magnética



RM de joelho direito em corte coronal e ponderada em densidade de prótons. Exame evidenciando a origem do Ligamento Colateral Lateral (★ - estrela); a origem do LAL (→ - seta); o ponto de bifurcação do LAL (● - círculo); a inserção tibial do LAL (► - cabeça de seta); a distância da inserção tibial ao platô lateral (linha pontilhada). LFC: côndilo femoral lateral; LM: Menisco Lateral; LTP: platô tibial lateral. Fonte: cordialmente cedida por Camilo Helito Partezani, USP.

1.3 Lesão combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior

As lesões do Ligamento Cruzado Anterior são muito frequentes em nosso meio, principalmente em decorrência da prática de esportes (GIUGLIANO; SOLOMON, 2007; ASTUR *et al.*, 2016). Só nos Estados Unidos mais de 100.000 lesões de LCA são reportadas anualmente (DAGGETT *et al.*, 2017).

A instabilidade perceptível pelo paciente após a ruptura do LCA é geralmente provocada pelo *pivot shift* do joelho. O teste do *pivot shift* avalia a instabilidade, combinando a rotação interna e a translação anterior tibiofemoral. A especificidade do teste é muito alta, chegando em média a 98% (HUANG *et al.*, 2016). Tal teste é usado não só para diagnosticar a insuficiência do LCA como também para avaliar se ainda existe instabilidade pós-reconstrução. O teste pode ser dividido em quatro graus: nenhuma instabilidade (Grau 0), *glide* ou “deslizamento” (Grau 1), *clunk* ou “pancada” (Grau 2) e *gross* ou “explosivo” (Grau 3), de acordo com a magnitude do fenômeno subjetivamente determinada pelo examinador (KURODA; HOSHINO, 2016).

Estima-se que até 25% das reconstruções do LCA evoluem com um *pivot* residual, revelando a incapacidade das atuais técnicas reconstrutivas isoladas do LCA de restaurar a cinemática normal do joelho em muitos casos (KERNKAMP; LI; VAN DE VELDE, 2016; KOSY *et al.*, 2016).

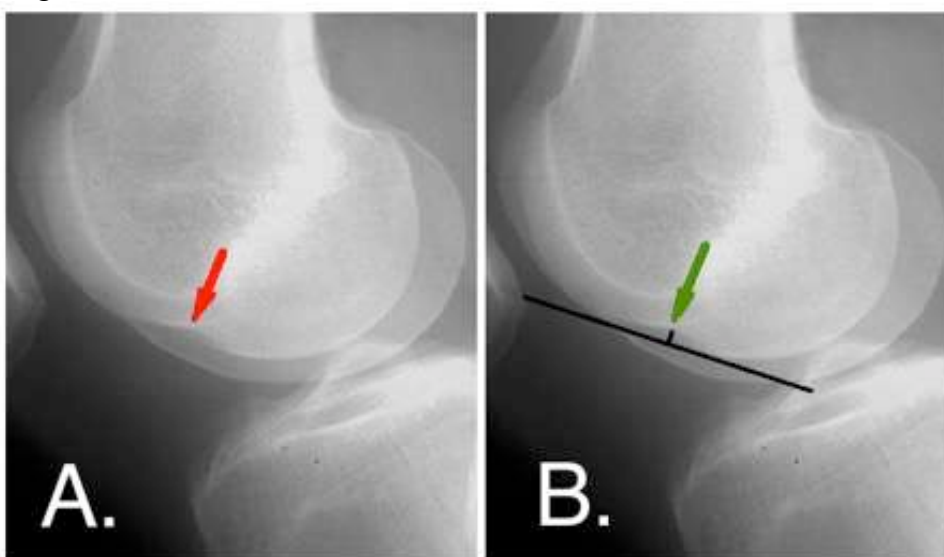
Além do *pivot shift* e da fratura de Segond (Figura 3), outro sinal útil no diagnóstico da instabilidade rotacional e translacional do joelho é o aprofundamento do sulco condilopatelar lateral. Tal sulco, conhecido como *Lateral Femoral Notch*, geralmente é um sulco raso, não muito profundo, no centro do côndilo femoral lateral. Esse sulco pode ser visto nas radiografias em perfil (Figura 4A) e nos cortes sagitais de ressonância magnética do joelho. O aumento da profundidade desse *notch* está intimamente relacionado à ruptura do LCA (JONES; FINLAY; LEARMONTH, 1993). Um sulco com mais de 1,5 mm de profundidade é um sinal indireto confiável de ruptura do LCA e instabilidade do joelho (Figura 4B) (COBBY; SCHWEITZER; RESNICK, 2014).

Figura 3 – Fratura de Segond



Círculo vermelho evidencia Fratura de Segond em radiografia de joelho em incidência anteroposterior. Fonte: arquivo pessoal do autor.

Figura 4 – *Lateral Femoral Notch*



Radiografia de joelho em incidência perfil. A. seta vermelha indica localização do *notch*; B. seta verde indica como medir a profundidade do *notch*. Fonte: arquivo pessoal do autor.

Muitos autores defendem que o LAL contribui de forma efetiva para a estabilidade do joelho, tendo uma ação sinérgica ao LCA, principalmente na estabilidade rotacional (SONNERY-COTTET *et al.*, 2015a; DAGGETT *et al.*, 2017). De tal maneira, a lesão combinada do LCA e do LAL pode ser responsável por uma porcentagem de pacientes que não evoluem de maneira satisfatória após a reconstrução intra-articular isolada do LCA, sendo que a reconstrução do LAL poderia restaurar a estabilidade do joelho (HUSSEIN *et al.*, 2012; DAGGETT *et al.*, 2017).

1.3.1 Indicações cirúrgicas para reconstrução combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior

Estudos biomecânicos comprovaram a importância do LAL na estabilização anterolateral do joelho (SONNERY-COTTET *et al.*, 2015a, 2015b; IMBERT *et al.*, 2016). Mais recentemente, estudos clínicos reportaram os resultados funcionais da reconstrução combinada do LCA e do LAL, demonstrando uma melhora em escores clínicos e um menor índice de falha, além de um número baixo de complicações (SONNERY-COTTET *et al.*, 2017; THAUNAT *et al.*, 2017; HELITO *et al.*, 2018). Assim, com o intuito de restaurar a estabilidade do joelho, a reconstrução do LAL, quando combinada com a reconstrução do LCA, pode ser benéfica para alguns grupos de pacientes (KOSY *et al.*, 2016; DAGGETT *et al.*, 2017; ARIEL DE LIMA *et al.*, 2018a).

Dentre as principais indicações cirúrgicas descritas para reconstrução do LCA combinada com reconstrução do LAL, podemos citar: cirurgia de revisão do LCA, exame físico com *pivot shift* grau 2 ou 3, prática de esporte com mecanismo de *pivot* e/ou de alto nível, frouxidão ligamentar e fratura de Segond; secundariamente também podem ser indicações: lesão crônica do LCA, idade menor do que 25 anos e sinal radiológico de afundamento do côndilo femoral lateral (SONNERY-COTTET *et al.*, 2015a; ARIEL DE LIMA *et al.*, 2018a).

1.4 Enxertos para reconstruções ligamentares do joelho

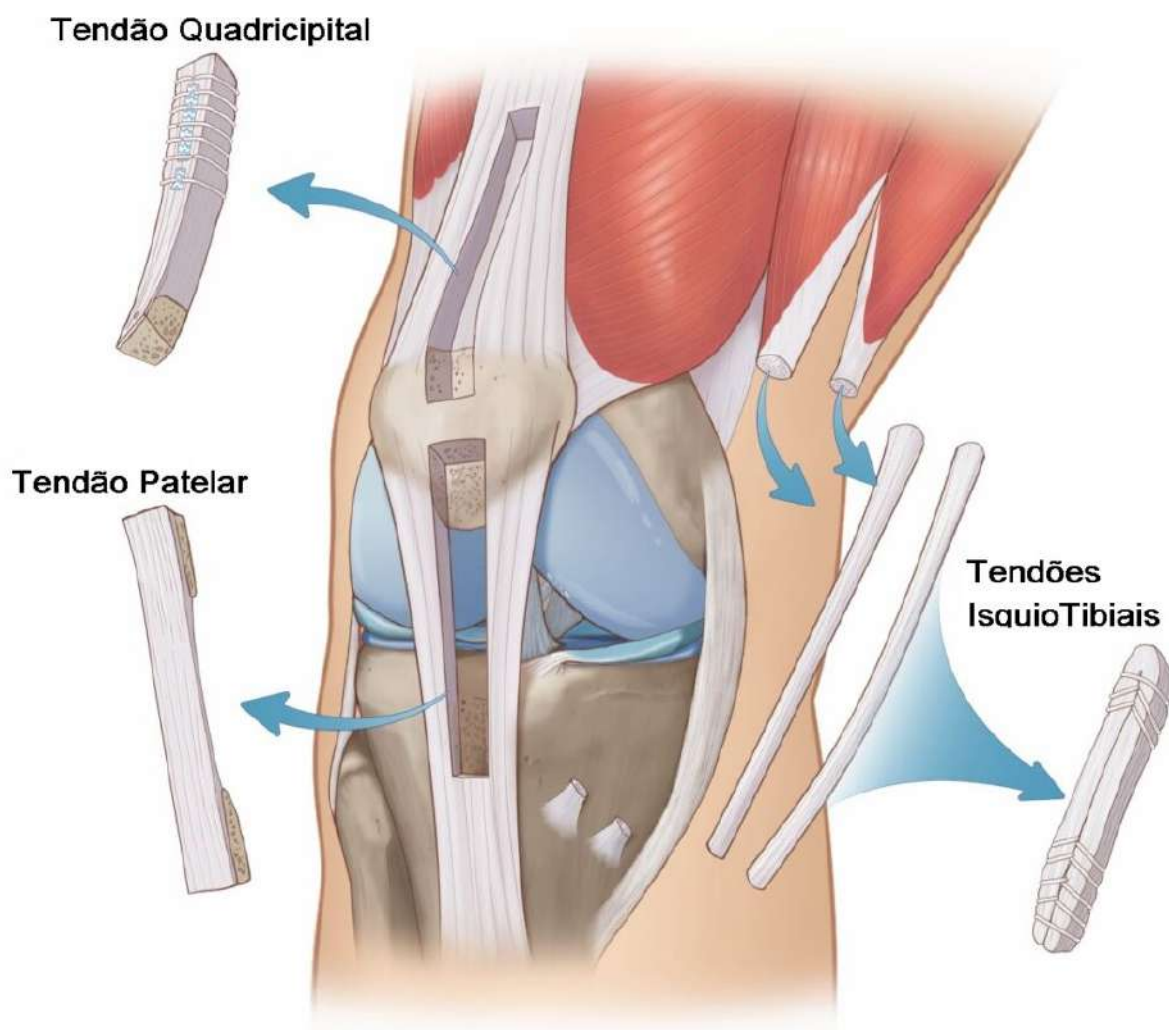
A reconstrução ligamentar do joelho, particularmente do LCA, envolve o uso de enxertos para substituir o ligamento lesado. Existem várias opções de enxertos, cada uma com suas características, vantagens e desvantagens específicas. As opções de enxerto mais comumente utilizadas incluem enxertos autólogos (do próprio paciente), alógenos (de doadores cadavéricos) e, em alguns casos, enxertos sintéticos. A escolha do enxerto depende de vários

fatores, incluindo a idade do paciente, nível de atividade, preferências pessoais, e a presença de comorbidades ou lesões associadas (CERULLI *et al.*, 2013).

1.4.1 Enxertos autólogos

Os enxertos autólogos, também conhecidos como *autografts*, são tecidos transplantados de uma região para outra no mesmo indivíduo (Figura 5). Na cirurgia ortopédica, particularmente nas reconstruções ligamentares do joelho, os enxertos autólogos são frequentemente preferidos devido à sua biocompatibilidade superior, menores taxas de rejeição e potencial para uma integração e cicatrização mais eficazes quando comparados a enxertos alógenos ou sintéticos (SHELTON; FAGAN, 2011).

Figura 5 – Algumas opções de enxertos autólogos para reconstruções ligamentares



Fonte: cordialmente cedida por Berrien Chidsey, University of Colorado.

Os enxertos autólogos são preferíveis por sua compatibilidade imunológica, reduzindo o risco de rejeição. Dependendo do tipo de enxerto, o plano de reabilitação pode variar, especialmente em relação ao fortalecimento e à mobilidade do local doador. Embora os enxertos autólogos geralmente mostrem bons resultados a longo prazo, o sucesso da reconstrução depende também de uma técnica cirúrgica adequada, de uma reabilitação cuidadosa e da adesão do paciente às recomendações pós-operatórias. Os enxertos autólogos representam uma escolha fundamental na reconstrução ligamentar, com cada opção oferecendo um equilíbrio entre vantagens e desvantagens. A seleção cuidadosa do enxerto, baseada nas necessidades individuais do paciente e nos objetivos terapêuticos, é crucial para maximizar os resultados funcionais e a satisfação do paciente (CAREY *et al.*, 2009).

1.4.1.1 Enxerto de tendões dos músculos flexores / isquiotibiais (semitendíneo e grácil)

O enxerto dos tendões dos músculos flexores, especificamente os tendões semitendíneo e grácil, é uma das opções mais comumente utilizadas para a reconstrução do LCA e para outras reconstruções ligamentares no joelho, como as combinadas. Estes tendões estão localizados na parte medial da coxa e são parte do grupo muscular dos isquiotibiais. O uso desses tendões como enxertos em cirurgias ortopédicas aproveita sua força, flexibilidade e a capacidade de regeneração, oferecendo uma opção eficaz para restaurar a estabilidade do joelho após lesões ligamentares (JANSSEN; SCHEFFLER, 2014).

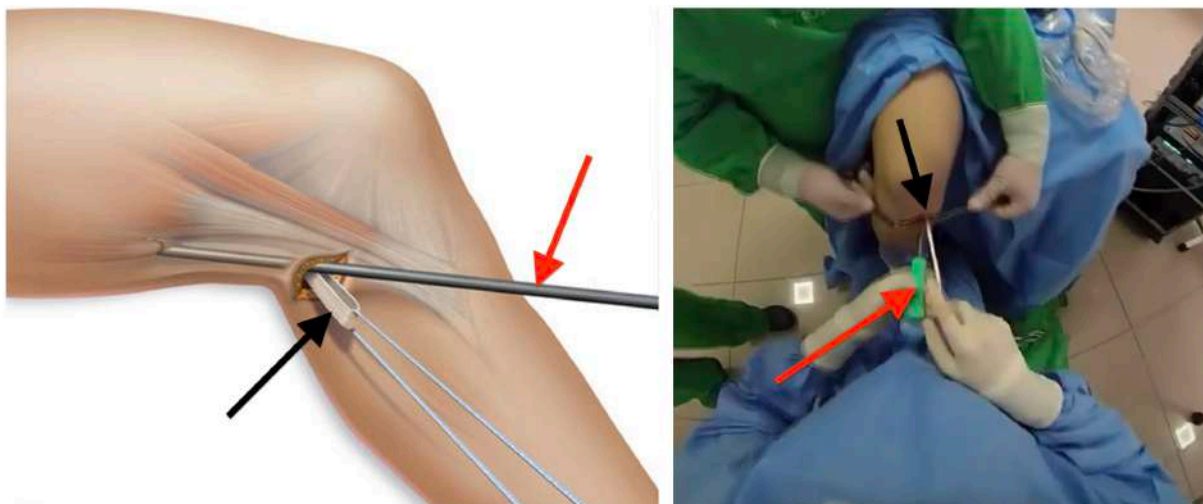
Os tendões semitendíneo e do grácil são removidos através de uma pequena incisão na região medial do joelho (Figura 6). A técnica de extração visa preservar a integridade muscular e minimizar a morbidade do local doador (NAKAMURA *et al.*, 2002).

Após a extração, os tendões são limpos de tecido muscular remanescente e preparados para serem utilizados como enxertos. A configuração final do enxerto pode variar, mas frequentemente envolve dobrar cada tendão para formar um enxerto de quatro “pernas”, proporcionando uma resistência significativa, ou seja, um enxerto quádruplo (CHAN *et al.*, 2006).

Comparado com outros enxertos, como o do tendão patelar ou do quadríceps, os tendões do semitendíneo e do grácil geralmente causam menos dor e complicações no local doador a longo prazo. Além disso, tais tendões fornecem um enxerto resistente e flexível, que é adequado para a reconstrução de diversos ligamentos, como o LCA, LAL, ligamento cruzado posterior (LCP) e ligamentos colaterais. Estes enxertos tendem a integrar bem no local receptor, com uma boa taxa de cicatrização e ainda pode estar associado a um menor risco de

desenvolvimento de osteoartrite quando comparado com enxertos que incluem bloco ósseo (WEST; HARNER, 2005; NIKOLAOU; EFSTATHOPOULOS; WREDMARK, 2007).

Figura 6 – Técnicas de extração de enxerto dos tendões dos músculos flexores



Seta vermelha indica o extrator tipo *stripper*; Seta preta indica um dos tendões dos músculos flexores sendo retirados. Fonte: arquivo pessoal do autor

Como desvantagens do uso dos tendões dos flexores, apesar de menor em comparação com o tendão patelar, ainda existe o risco de fraqueza e alterações na função dos isquiotibiais. Como o enxerto é predominantemente tendinoso (sem componente ósseo), pode levar mais tempo para se integrar completamente e cicatrizar no local receptor. Alguns estudos sugerem que pode haver um risco ligeiramente maior de laxidade no joelho reconstruído em comparação com outros métodos de enxerto, embora isso possa depender da técnica cirúrgica e da reabilitação pós-operatória (HARDY *et al.*, 2017; SCHMÜCKER *et al.*, 2021).

O enxerto dos tendões dos músculos flexores é altamente valorizado na cirurgia ortopédica devido à sua versatilidade, resistência e resultados clínicos favoráveis. A escolha deste enxerto deve ser feita após uma avaliação cuidadosa das necessidades específicas do paciente, das condições anatômicas e das preferências tanto do cirurgião quanto do paciente. Como citado anteriormente, o problema está nas reconstruções multiligamentares. Em casos de reconstruções combinadas, tipicamente são necessários outros enxertos. E é justamente nesse ponto que nosso trabalho está atuando: a possibilidade da utilização de apenas um grácil e um semitendíneo para reconstrução combinada do LAL e do LCA, sem a necessidade de outros enxertos.

1.4.1.2 Enxerto de tendão patelar (osso-tendão-osso)

O enxerto de tendão patelar (BPTB, do inglês *Bone-Patellar Tendon-Bone*), é amplamente utilizado nas reconstruções ligamentares do joelho. Esta opção de enxerto envolve a retirada de uma seção do tendão patelar, juntamente com pequenos blocos ósseos das suas inserções na patela e na tuberosidade tibial. Esta abordagem é valorizada por sua forte fixação inicial e excelente integração óssea, facilitando o processo de cicatrização. Apresenta como vantagens a alta resistência biomecânica; excelente fixação óssea devido aos blocos ósseos; e taxa de sucesso comprovada a longo prazo (CERULLI *et al.*, 2013).

Como desvantagens do uso do BPTB, uma das mais significativas é o risco de dor persistente na região anterior do joelho, que pode interferir em atividades como ajoelhar-se ou subir escadas. A retirada do enxerto pode levar ao desenvolvimento de tendinite patelar, devido à alteração da mecânica e da tensão no tendão remanescente. Embora raro, há um risco de fratura da patela associado à retirada do bloco ósseo patelar. O processo de recuperação pode ser mais doloroso e prolongado em comparação com outras opções de enxerto, devido à morbidade do local doador (PUJJI *et al.*, 2017).

A escolha do enxerto de tendão patelar deve considerar vários fatores, incluindo o nível de atividade do paciente, as demandas físicas pós-operatórias, a preferência pessoal e as potenciais complicações. Embora ofereça vantagens significativas em termos de estabilidade e integração, a decisão deve ser personalizada, levando em conta as expectativas do paciente e os possíveis desafios da recuperação. A técnica cirúrgica, a precisão no posicionamento dos túneis ósseos e a reabilitação cuidadosa são fundamentais para maximizar os benefícios do enxerto de tendão patelar e minimizar os riscos associados (SHELTON; FAGAN, 2011).

1.4.1.3 Enxerto do tendão do quadríceps

O enxerto do tendão do quadríceps tem ganhado popularidade como uma opção valiosa para as reconstruções ligamentares do joelho, além de outras aplicações ortopédicas que requerem substituição ou reforço ligamentar. Este enxerto consiste em uma porção do tendão do quadríceps e, frequentemente, inclui um pequeno bloco ósseo retirado da parte superior da patela (FULKERSON; LANGELAND, 1995).

O tendão do quadríceps é robusto e oferece excelente força e estabilidade mecânica para a reconstrução do LCA, comparável ou até superior ao tendão patelar em alguns estudos. Embora ainda haja alguma morbidade associada ao local doador, pacientes tendem a relatar

menos dor anterior no joelho em comparação com os enxertos BPTB. O enxerto do tendão do quadríceps pode ser particularmente útil em situações complexas, como revisões de cirurgias anteriores do LCA, onde outros locais doadores podem não estar disponíveis ou serem menos ideais. Outra vantagem é que a inclusão de um bloco ósseo facilita uma fixação segura e promove a integração rápida do enxerto (MULFORD; HUTCHINSON; HANG, 2013).

A retirada e preparação do enxerto do tendão do quadríceps pode ser tecnicamente mais desafiadora em comparação com outras opções de enxerto. Uma importante desvantagem é que pode haver um impacto na força do quadríceps e na função geral da perna, especialmente no curto a médio prazo. Embora haja evidências crescentes suportando o uso do enxerto do tendão do quadríceps, ainda existem menos dados de longo prazo disponíveis em comparação com o tendão patelar ou os enxertos de tendões dos músculos flexores (SHELTON; FAGAN, 2011).

1.4.1.4 Enxerto do tendão do fibular longo

O enxerto do tendão do fibular longo vem ganhando destaque nos últimos anos. Esta técnica é menos comum devido à importância do tendão para a função do tornozelo e do pé, mas pode ser considerada em casos selecionados. Devido às suas características específicas e ao impacto potencial na função do tornozelo e do pé, o enxerto de fibular longo é geralmente reservado para casos específicos onde outras opções de enxerto não são adequadas ou já foram esgotadas. Existem menos estudos e dados de longo prazo disponíveis sobre os resultados da reconstrução ligamentar usando o enxerto de fibular longo, o que torna mais difícil prever os resultados comparados às opções de enxerto mais tradicionais (HE *et al.*, 2021; JOSHI *et al.*, 2021).

1.4.2 Enxertos alógenos

Os enxertos alógenos, também conhecidos como aloenxertos, são tecidos transplantados de um doador para um receptor de diferentes indivíduos da mesma espécie. Na prática médica, especialmente em ortopedia, esses enxertos são utilizados em uma variedade de procedimentos, incluindo reconstruções de ligamentares (TISHERMAN *et al.*, 2019).

Os enxertos alógenos são obtidos de bancos de tecidos, onde são processados, testados rigorosamente para doenças transmissíveis, e tratados para reduzir o risco de rejeição imunológica. Após esse processo, os tecidos são armazenados em condições que preservam sua

estrutura e função até que sejam necessários para transplante (CHANG *et al.*, 2003).

Uma das principais vantagens dos aloenxertos é que eles eliminam a necessidade de retirar tecido do próprio paciente, evitando assim a morbidade associada ao local doador. Os enxertos alógenos estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos e tipos (como tendão, osso, ou uma combinação de tecidos), o que permite ao cirurgião escolher o enxerto mais adequado para cada caso específico. Como não é necessário coletar o enxerto do próprio paciente, o tempo total de cirurgia é frequentemente reduzido, o que pode diminuir o risco de complicações relacionadas ao procedimento cirúrgico (CAREY *et al.*, 2009).

Apesar dos rigorosos processos de triagem e tratamento, existe um pequeno risco de transmissão de doenças infecciosas através de aloenxertos. Embora o risco seja minimizado através do processamento do tecido, ainda há a possibilidade de rejeição imunológica ou de reações adversas ao enxerto. Outra desvantagem é que a integração do enxerto alógeno ao tecido do receptor pode ser mais lenta ou menos previsível em comparação com os enxertos autólogos, devido à ausência de células vivas do doador no enxerto. Dependendo da localização e das políticas de saúde locais, os enxertos alógenos podem ser mais caros e sua disponibilidade pode ser limitada (TISHERMAN *et al.*, 2019).

A escolha entre enxertos autólogos e alógenos depende de uma série de fatores, incluindo a natureza específica da lesão ou defeito a ser tratado, as condições de saúde e as preferências do paciente, bem como a experiência e o julgamento clínico do cirurgião. Enquanto os enxertos autólogos são frequentemente preferidos devido à sua superioridade em termos de integração e redução do risco de rejeição, os enxertos alógenos representam uma alternativa valiosa em situações onde o tecido autólogo não está disponível, é insuficiente, ou quando se deseja evitar a morbidade no local doador, sobretudo em reconstruções multiligamentares (FOSTER *et al.*, 2010).

1.4.3 Enxertos sintéticos

Os enxertos sintéticos representam uma classe de biomateriais desenvolvidos para substituir ou reparar tecidos danificados no corpo humano. Esses enxertos são fabricados a partir de materiais artificiais, como polímeros, metais, cerâmicas ou uma combinação destes, e são projetados para imitar a estrutura e a função dos tecidos biológicos que eles substituem. Na ortopedia, os enxertos sintéticos são utilizados em uma ampla gama de aplicações, incluindo a reconstrução de ligamentos e tendões, a substituição de segmentos ósseos, e o reforço ou reparo de tecidos danificados (LEGNANI *et al.*, 2010).

A integração com tecidos adjacentes pode ser menos eficaz em comparação com enxertos biológicos, podendo resultar em encapsulamento fibroso em vez de integração real. Alguns pacientes podem desenvolver uma resposta inflamatória ou rejeição ao material sintético. Outra desvantagem é que os materiais sintéticos podem sofrer desgaste ou fadiga ao longo do tempo e dependendo do material e da complexidade do enxerto, o custo pode ser elevado (DHEERENDRA *et al.*, 2012).

Embora os enxertos sintéticos ofereçam vantagens significativas em termos de disponibilidade e previsibilidade, é crucial considerar fatores como a integração tecidual, a resposta imunológica e a durabilidade a longo prazo ao selecionar o material mais apropriado para cada aplicação clínica (LEGNANI *et al.*, 2010).

1.5 Técnicas de reconstrução combinada do ligamento anterolateral e do ligamento cruzado anterior

A reconstrução combinada do LAL e do LCA é uma técnica cirúrgica avançada utilizada para tratar instabilidades rotacionais e anteroposteriores significativas do joelho de pacientes com lesões concomitantes do LCA e do LAL, frequentemente vistas em traumas de alta energia ou em atletas. A reconstrução simultânea desses ligamentos visa restaurar a função normal do joelho, melhorar a estabilidade e prevenir a progressão para osteoartrite (SAITHNA *et al.*, 2020) (Figura 7).

O LCA é crucial para a estabilidade anteroposterior do joelho, enquanto o LAL contribui significativamente para a estabilidade rotacional. Lesões concomitantes no LCA e no LAL podem resultar em uma instabilidade complexa que não é completamente corrigida pela reconstrução do LCA isolada, levando a uma maior taxa de falhas e a uma satisfação reduzida do paciente. Portanto, a reconstrução combinada visa abordar ambos os componentes da instabilidade (SAITHNA *et al.*, 2018).

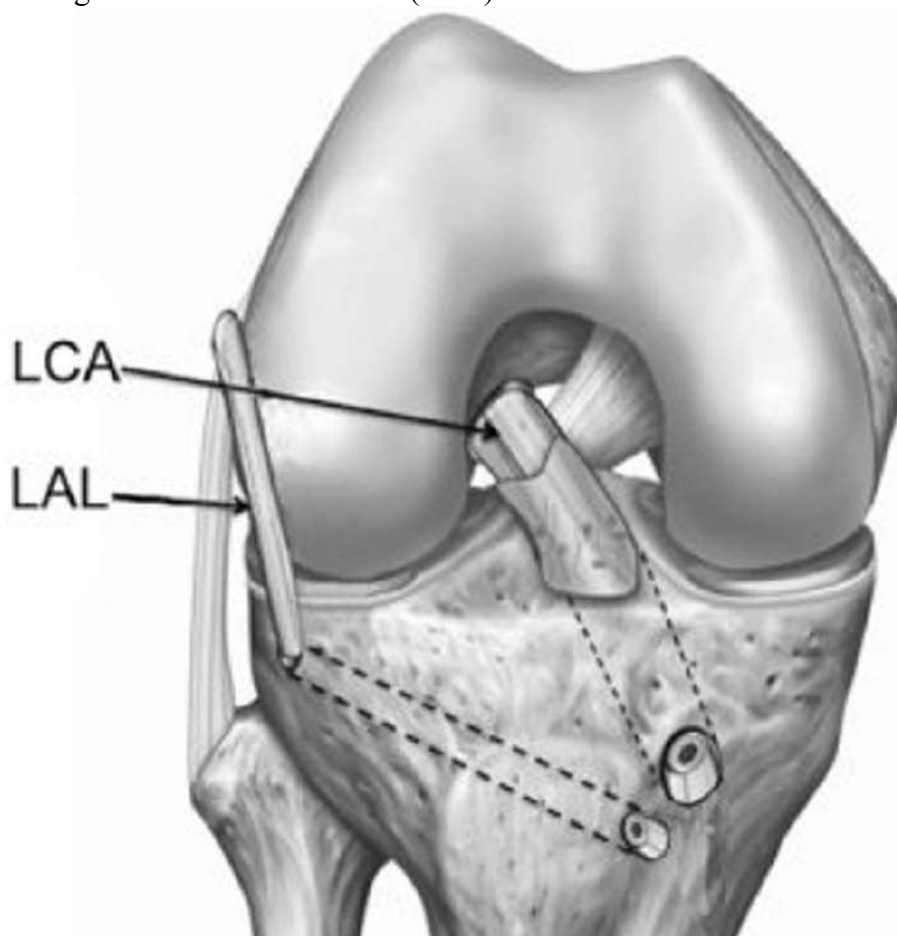
1.5.1 Diagnóstico e planejamento

Avaliação clínica: Inclui um exame físico detalhado com testes específicos para avaliar a integridade do LCA e do LAL, além da estabilidade rotacional e anteroposterior do joelho. Os principais testes clínicos são o teste de Lachman e o *Pivot shift* (ARIEL DE LIMA *et al.*, 2021).

Imagens diagnósticas: a ressonância magnética é essencial para visualizar as lesões

do LCA e do LAL, além de identificar outras possíveis lesões intra-articulares. A tomografia computadorizada (TC) pode ser usada para planejar a reconstrução, especialmente em casos de revisão ou quando anomalias anatômicas estão presentes. A radiografia ajuda na identificação da fratura de e de Segond e do sinal radiológico de afundamento do côndilo femoral lateral (HELITO *et al.*, 2015).

Figura 7 – Reconstrução combinada do ligamento anterolateral (LAL) e do ligamento cruzado anterior (LCA)



Fonte: cordialmente cedida por Camilo Helito Partezani, USP.

1.5.2 Preparação do enxerto

A escolha do enxerto depende de vários fatores, incluindo a preferência do cirurgião, a condição dos tecidos do paciente, e se o enxerto é para o LCA ou para o LAL. Enxertos autólogos comuns incluem o tendão patelar, tendões dos músculos flexores ou tendão do quadríceps para o LCA, e tendões dos músculos flexores, sobretudo o tendão grácil, para o LAL (SAITHNA *et al.*, 2020).

Os enxertos são cuidadosamente preparados no tamanho e forma adequados. Para enxertos ósseo-tendíneos, como o tendão patelar, blocos ósseos são modelados para encaixar nos túneis ósseos (SONNERY-COTTET *et al.*, 2016).

1.5.3 Reconstrução do LCA

Os túneis ósseos são criados no fêmur e na tíbia nas posições anatômicas das inserções originais do LCA, utilizando brocas guiadas por referências anatômicas e guias estáticos. Alternativamente, técnicas de imagem ou dispositivos de navegação podem ser utilizados. Os túneis mais comumente utilizados para reconstrução do LCA são o de 55° na tíbia com saída no *footprint* do LCA nativo lesionado (*outside-in*); e no fêmur por técnica com guia transtibial (*inside-out*) inserido no túnel tibial (55°) ou por técnica *outside-in* com guia de 90° e saída no *footprint* do LCA nativo lesionado, na face medial do côndilo femoral lateral (SONNERY-COTTET *et al.*, 2021).

O enxerto preparado é inserido através dos túneis ósseos e a técnica de fixação varia, podendo incluir parafusos de interferência, âncoras ou dispositivos suspensórios (*endobuttons*), dependendo do tipo de enxerto e da preferência do cirurgião (SAITHNA *et al.*, 2020) (Figura 8).

Figura 8 – Fixação do enxerto do ligamento cruzado anterior com dispositivo suspensório no fêmur



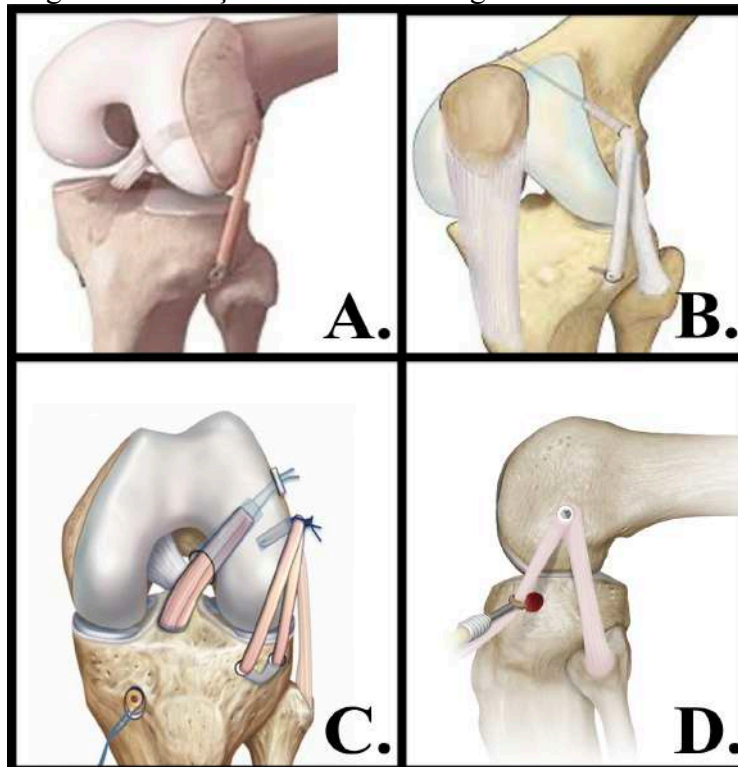
Fonte: cordialmente cedida por Camilo Helito Partezani, USP.

1.5.4 Reconstrução do LAL

A localização para a reconstrução do LAL é identificada no fêmur, próximo de sua origem femoral, ligeiramente posterior e proximal ao epicôndilo lateral do fêmur, e um túnel ósseo é criado. Na tíbia, o local do túnel está localizado no ponto médio entre a Cabeça da Fíbula e o Tubérculo de Gerdy, aproximadamente entre 4,0 mm e 7,0 mm abaixo do platô tibial. Tais pontos são escolhidos para otimizar a estabilidade rotacional sem comprometer a biomecânica do joelho, uma vez que reproduzem os locais nativos de origem e inserção nativos do LAL (POMAJZL *et al.*, 2015; HELITO *et al.*, 2016b, 2017; SONIA FARHAN; SUDHAKARAN; THILAK, 2017).

O enxerto, tipicamente um “perna” do grácil, é passado através do túnel no fêmur, estendido até o ponto de fixação na tíbia, e tensionado adequadamente antes da fixação para evitar a “frouxidão” rotacional do joelho. A técnica de fixação varia, podendo incluir parafusos de interferência, dispositivos suspensórios, âncoras ou grampos (*agrafe*), dependendo da preferência do cirurgião (SAITHNA *et al.*, 2020) (Figura 9).

Figura 9 – Fixação do enxerto do ligamento anterolateral



Dispositivos de fixação. A. parafusos de interferência no fêmur e na tíbia; B. parafuso de interferência na tíbia e dispositivo suspensório no fêmur; C. parafuso de interferência no fêmur com loop do enxerto na tíbia; D. parafusos de interferência no fêmur e âncora na tíbia. Fonte: arquivo pessoal do autor.

1.6 Problemática e lacuna de conhecimento

Um dos principais desafios na reconstrução combinada do LCA e LAL é a morbidade do local doador. A retirada de enxertos autólogos, que são preferidos devido à sua biocompatibilidade e menor risco de rejeição, pode resultar em dor, disfunção muscular, sensibilidade no local da incisão, e potencialmente, em uma recuperação mais prolongada. Esses efeitos são particularmente preocupantes quando múltiplos enxertos são necessários para a reconstrução combinada, aumentando a complexidade do manejo pós-operatório e o tempo de reabilitação.

A quantidade de tecido disponível para enxerto em um paciente pode ser limitada, especialmente em indivíduos magros ou naqueles que já se submeteram a procedimentos ortopédicos anteriores. A necessidade de selecionar enxertos que otimizem a estabilidade do LCA e do LAL sem comprometer a funcionalidade do local doador adiciona uma camada de complexidade ao planejamento cirúrgico. A decisão entre utilizar enxertos autólogos, alógenos ou sintéticos deve considerar tanto os benefícios potenciais quanto as limitações e riscos associados.

Embora a reconstrução combinada do LCA e LAL ofereça uma solução potencial para instabilidades complexas do joelho, a morbidade do local doador associada à retirada de múltiplos enxertos representa um desafio significativo. A seleção cuidadosa do enxerto, a otimização das técnicas cirúrgicas e o desenvolvimento de protocolos de reabilitação adaptados são essenciais para mitigar esses desafios. Além disso, mais pesquisas são necessárias para preencher as lacunas de conhecimento existentes, especialmente em relação aos resultados a longo prazo e às estratégias para minimizar a morbidade do local doador, garantindo assim os melhores resultados possíveis para os pacientes.

1.7 Relevância e justificativa

A reconstrução combinada do LAL e do LCA tem mostrado excelentes resultados. Isso poderia potencialmente reduzir a falha do enxerto e melhorar os resultados em pacientes de alto risco. Existem várias técnicas cirúrgicas descritas. Os isquiotibiais, em formato quádruplo, são os enxertos mais usados para esse tipo de reconstrução (HELITO; GUIMARÃES; SOBRADO, 2021).

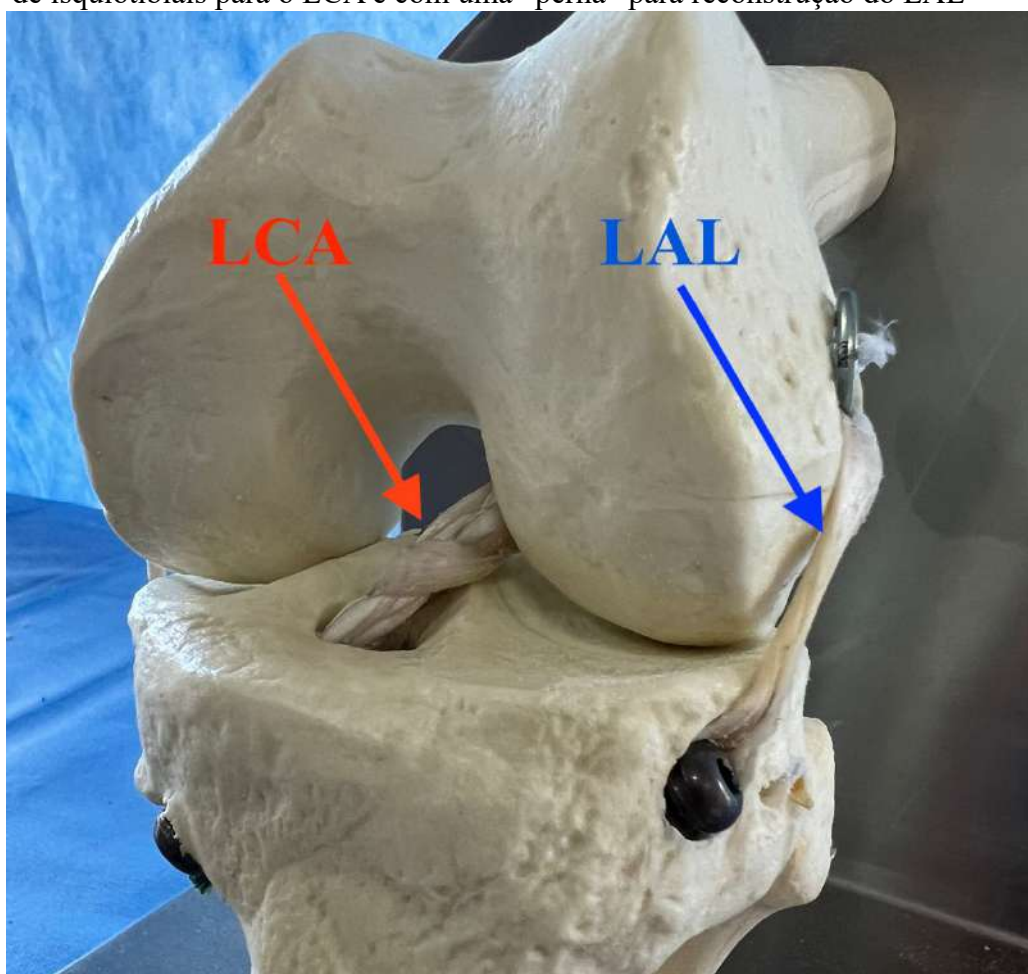
Todavia, a utilização de uma das “pernas” dos isquiotibiais para a reconstrução do LAL deixa somente um enxerto “triplo” para a reconstrução do LCA, o que potencialmente o deixaria

mais fraco, pois estaria mais fino. Outro entrave é a disponibilidade de enxertos. Quanto mais enxertos autólogos necessitarmos, maior será a agressão ao paciente.

Assim, a proposta do presente estudo é descrever e testar mecanicamente uma configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais com uma “perna” para reconstrução do LAL, que poderia potencialmente superar as desvantagens anteriores citadas.

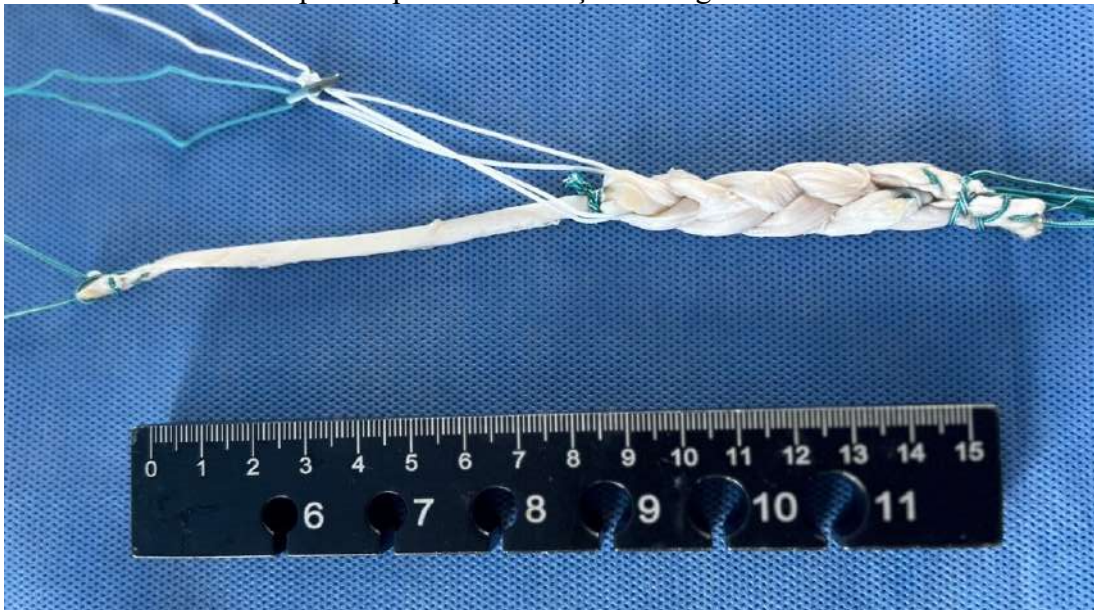
Sugerimos ainda uma técnica de reconstrução de ligamento cruzado anterior e ligamento anterolateral que utilize apenas um enxerto de isquiotibiais para a reconstrução combinada. Nessa técnica é realizada uma trança tripla (uma “perna” do tendão grácil e duas “pernas” do tendão do semitendíneo) para a reconstrução do LCA, deixando uma “perna” do grácil “livre” para a reconstrução do LAL. Para a fixação dos enxertos, utilizamos apenas um túnel femoral e um túnel tibial, com fixação com apenas dois parafusos de interferência na tíbia e um dispositivo suspensório no fêmur (Figuras 10 e 11).

Figura 10 – Técnica de reconstrução de LCA e LAL com enxerto de trança tripla de isquiotibiais para o LCA e com uma “perna” para reconstrução do LAL



Aspecto anterolateral do joelho esquerdo de modelo. LCA: Ligamento Cruzado Anterior; LAL: Ligamento Anterolateral. Fonte: arquivo pessoal do autor.

Figura 11 – Enxerto de trança tripla de isquiotibiais para o Ligamento Cruzado Anterior e com uma “perna” para reconstrução do Ligamento Antero Lateral



Fonte: arquivo pessoal do autor.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo principal

- Descrever e testar mecanicamente em modelo animal uma configuração que simule o enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de ligamento cruzado anterior e ligamento anterolateral com túnel único femoral, e com uma “perna” para reconstrução do ligamento anterolateral.

2.2 Objetivos secundários

- Sugerir uma técnica de reconstrução de ligamento cruzado anterior e ligamento anterolateral que utilize apenas um enxerto de isquiotibiais para a reconstrução combinada.

- Sugerir uma técnica de reconstrução de ligamento cruzado anterior e ligamento anterolateral que utiliza uma trança tripla (uma “perna” do tendão grácil e duas “pernas” do tendão do semitendíneo) para a reconstrução do ligamento cruzado anterior, deixando uma “perna” do grácil “livre” para a reconstrução do ligamento anterolateral.

- Sugerir uma técnica de reconstrução de ligamento cruzado anterior e ligamento anterolateral que utilize apenas um túnel femoral e um túnel tibial, com fixação com apenas dois parafusos de interferência na tíbia e um dispositivo suspensório no fêmur.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostras de ensaio

Para o preparo das amostras ensaiadas, foi efetuada uma “simulação” do que acontece em uma cirurgia real, onde um orifício foi aberto no bloco de poliuretano, representando o “túnel ósseo”, para que posteriormente possa ser possível promover a inserção do enxerto, fixando-o com o parafuso de interferência.

De acordo com a ABNT NBR 15678:2020, que versa sobre material-padrão para a realização de ensaios mecânicos de implantes e instrumentais ortopédicos, foi utilizado espuma rígida de poliuretano unicelular, com as seguintes características:

- Dimensões: 100 mm x 100 mm x 30 mm;
- Cor : marrom;
- Densidade: 40 PCF – 0,96g/cm³;
- Orifício / túnel: comprimento de 30 mm no eixo central da face de 100 mm x 100 mm, ao longo de toda a altura do bloco, e diâmetro igual ao diâmetro do enxerto.

3.2 Enxerto

Semelhante ao descrito no estudo biomecânico de Moré *et al.* (2015), foram utilizadas nos experimentos pernas de porco recém-congeladas de espécimes Landrace, obtidas de frigorífico. As pernas foram armazenados a –20 °C e descongelados 12 horas antes dos testes. Cada tíbia foi dissecada e o tendão flexor, de aproximadamente 2,5 mm de diâmetro e 9 cm de comprimento, os quais foram extraídos para uso como enxerto.

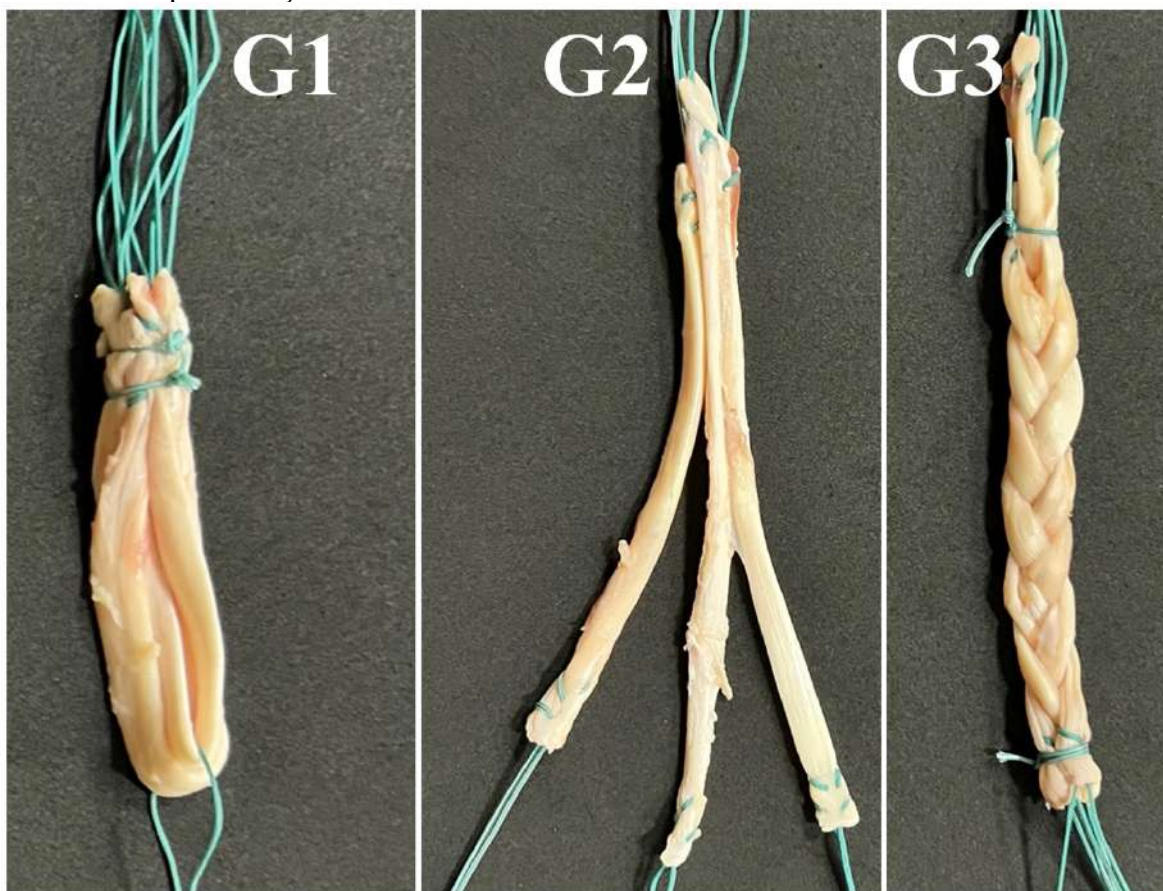
3.3 Preparo das amostras ensaiadas

As amostras foram divididas em três grupos (Figura 12):

- Grupo 1) grupo controle: o enxerto foi unido de forma “quádrupla” e fixado em suas extremidades aos blocos de poliuretano com parafusos de interferência metálicos, em liga titânio ASTM F136 (Traumédica®), com 30 mm de comprimento e diâmetro igual ao do enxerto;

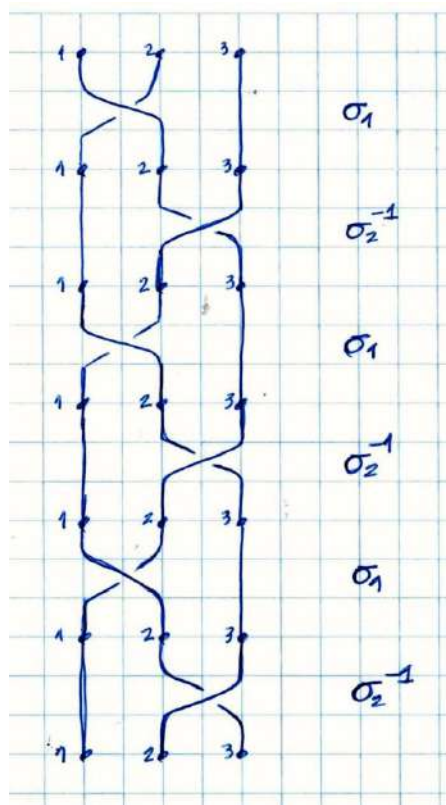
- Grupo 2) grupo enxerto “triplo” simples: o enxerto foi unido de forma “tripla”, paralelos, e fixado em suas extremidades aos blocos de poliuretano com parafusos de interferência metálicos, em liga titânio ASTM F136 (Traumédica®), com 30 mm de comprimento e diâmetro igual ao do enxerto;
- Grupo 3) grupo enxerto “triplo” trançado: o enxerto foi unido de forma “tripla” e trançado de forma “pura”: $(\sigma_1\sigma_2-1)^{3n}$, com n inteiro positivo, isto é, a sequência de concatenações $\sigma_1\sigma_2-1$ $\sigma_1\sigma_2-1$ $\sigma_1\sigma_2-1$ repetida um número inteiro de vezes (figura 13). A sequência básica $(\sigma_1\sigma_2-1)^3$ pode ser correlacionada com as permutações dos pontos (p_1, p_2, p_3), nessa ordem: (p_1, p_2, p_3), (p_2, p_1, p_3), (p_2, p_3, p_1), (p_3, p_2, p_1), (p_3, p_1, p_2), (p_1, p_3, p_2), (p_1, p_2, p_3) (URIBE, 2013). O enxerto trançado foi fixado em suas extremidades aos blocos de poliuretano com parafusos de interferência metálicos, em liga titânio ASTM F136 (Traumédica®), com 30 mm de comprimento e diâmetro igual ao do enxerto.

Figura 12 – Amostras divididas em três grupos. Grupo 1) grupo controle: o enxerto é unido de forma “quádrupla”; Grupo 2) grupo enxerto “triplo” simples; Grupo 3) grupo enxerto “triplo” trançado



Fonte: arquivo pessoal do autor.

Figura 13 – Trança de forma “pura”



Fonte: arquivo pessoal do autor.

Os enxertos possuíam comprimento médio de 9 cm, sendo 3 cm dentro de cada bloco e 3 cm “livre” entre os blocos. Os procedimentos de fixação foram realizados por um cirurgião ortopédico treinado. Todos os blocos de poliuretano possuíam um túnel de diâmetro igual ao do enxerto, perfurado pelo cirurgião, no qual o enxerto foi inserido. Uma técnica de inserção de parafuso de fora para dentro foi realizada. O parafuso foi implantado com o auxílio de um fio de Kirschner como guia para evitar divergência. No final, os corpo de prova ficaram com a seguinte configuração: Parafuso – Bloco – Enxerto – Bloco – Parafuso.

3.4 Realização dos ensaios

Os experimentos foram realizados através da máquina eletromecânica de ensaios universais, EMIC DL 10000, especificamente utilizando o seu modo de tração axial.

Nos ensaios, fez-se uma correlação do comprimento útil da amostra pela derivada da deformação (mm) em relação ao tempo (segundos), estipulada em $10\text{mm}^{-2}/\text{s}$, sendo a tração

aplicada até rompimento do enxerto ou escorregamento do conjunto parafuso/enxerto. Foram realizados 9 ensaios para cada grupo (Figura 14).

Figura 14 – Testes realizados na máquina de ensaios universais EMIC DL 10000



Fonte: arquivo pessoal do autor.

3.5 Metodologia de análise dos dados

As variáveis categóricas e numéricas foram tabuladas e analisadas com auxílio do *software* R, for Mac OS X GUI 1.73 (7892 Catalina build)[®], o qual forneceu medidas de tendências centrais, valores percentil e dispersão.

A normalidade dos dados foi verificada pelo Teste de Shapiro-Wilk. A homogeneidade das variâncias dos grupos foi verificada pelo teste de Levene. A comparação de médias dos grupos, para rejeitar ou não uma hipótese nula, foi feita através do teste t para amostras independentes. A presença de *outliers* foi verificada através da construção de *boxplots*. A homocedasticidade foi testada através da construção de modelo de regressão linear entre as variáveis.

Foram consideradas estatisticamente significativas as análises com intervalo de confiança de 95% e p menor de que 0,05.

4 RESULTADOS

Os dados obtidos a partir dos ensaios foram o tempo (s), a deformação (mm) e a Força (N) a qual a amostra foi submetida. Com esses dados, foram confeccionados gráficos da relação Força (N) / deformação (mm) sofrida pela amostra fixada com o parafuso de titânio e com parafuso de PLA.

As amostras do Grupo 1, onde o enxerto foi unido de forma “quádrupla”, obtiveram um pico de força de $816,28 \pm 78,78$ N. Com o avançar da deformação do enxerto, a força foi decaindo, até o enxerto se romper, com cerca de $41,30 \pm 10,01$ mm de deformação em relação ao comprimento inicial.

As amostras do Grupo 2, onde o enxerto foi unido de forma “tripla simples”, obtiveram um pico de força de $506,95 \pm 151,30$ N. Com o avançar da deformação do enxerto, a força foi decaindo, até o enxerto se romper, com cerca de $36,28 \pm 3,25$ mm de deformação em relação ao comprimento inicial.

As amostras do Grupo 3, onde o enxerto foi unido de forma “tripla trançada”, obtiveram um pico de força de $723,16 \pm 316,15$ N. Com o avançar da deformação do enxerto, a força foi decaindo, até o enxerto se romper, com cerca de $52,38 \pm 17,35$ mm de deformação em relação ao comprimento inicial.

Quando comparados diâmetro e comprimento dos grupos 2 e 3, a confecção de uma trança em um enxerto unido de forma “tripla simples” aumentou seu diâmetro em cerca de 9 a 14%, todavia culminando com um encurtamento do mesmo em cerca de 4 a 8% de seu comprimento, com um aumento médio de pico de força de aproximadamente 200 N ($p < 0,05$), ou seja, aumento aproximado de 40% de seu pico de força.

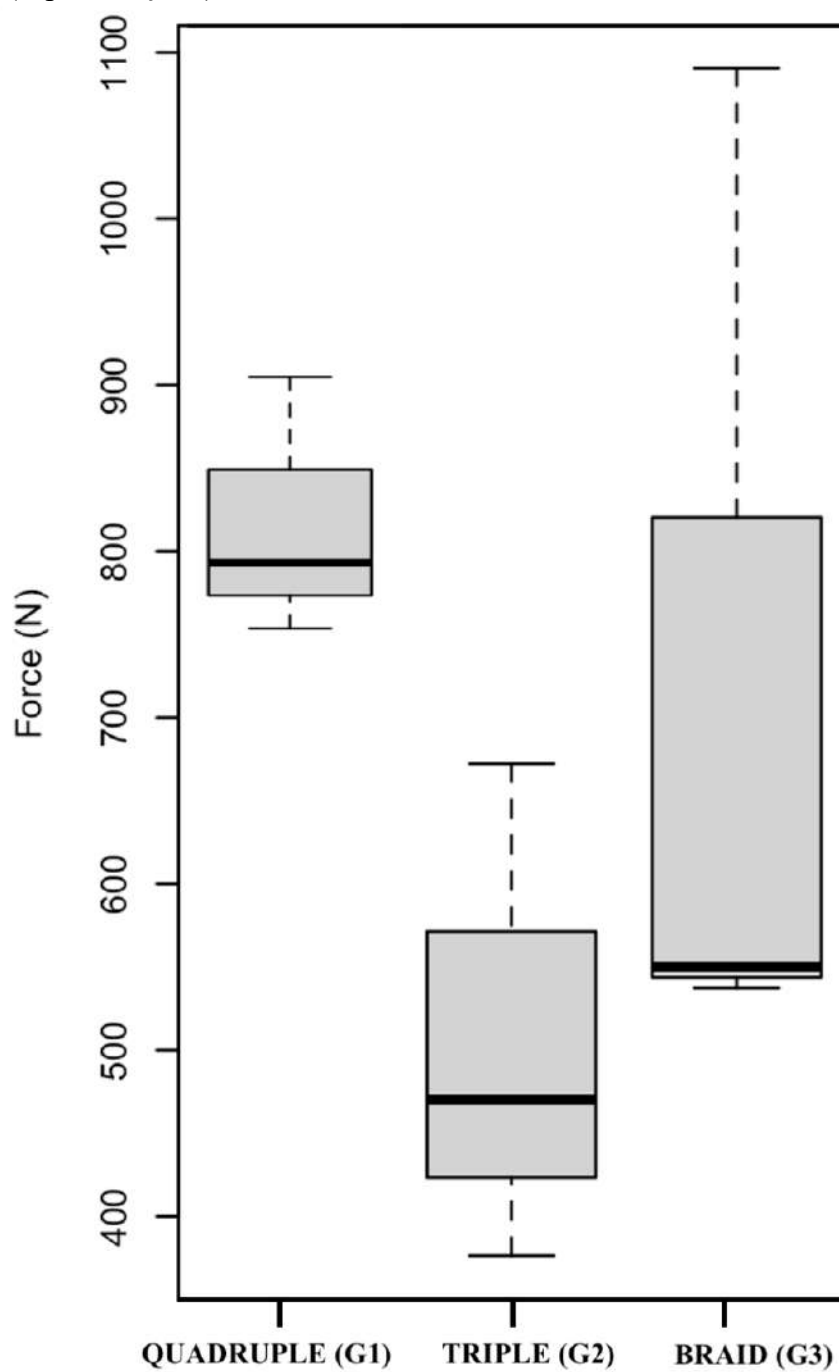
Em relação aos picos de força do Grupo 1 - controle (quádruplo) e do Grupo 2 (triplo simples), o teste-t demonstrou que houve diferença estatisticamente significativa entre eles (Figura 15) ($t = 3,1452$, $p\text{-value} = 0,03467$). Nessa avaliação tivemos um $p < 0,05$, rejeitando a hipótese nula (H_0) de não diferença entre os dois grupos. Ou seja, no estudo, os enxertos quádruplo e triplo simples apresentaram picos de força diferentes.

Em relação aos picos de força do Grupo 1 - controle (quádruplo) e do Grupo 3 (triplo trançado), o teste-t demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre eles (Figura 15) ($t = 0,49722$, $p\text{-value} = 0,6451$). Nessa avaliação tivemos um $p > 0,05$, confirmando a hipótese nula (H_0) de não diferença entre os dois grupos. Ou seja, no estudo, os enxertos quádruplo e triplo trançado apresentaram picos de força similares.

O parafuso de titânio ofereceu uma boa fixação do enxerto no bloco de poliuretano,

sem apresentar nenhum tipo de deslizamento ou deformação aparente. Em todas as amostras, o ensaio culminou no rompimento do enxerto.

Figura 15 – Teste-t em relação aos picos de força (N) do Grupo 1- controle (quádruplo), do Grupo 2 (triplo simples) e do Grupo 3 (triplo trançado)



Fonte: arquivo pessoal do autor.

5 DISCUSSÃO

O principal achado do presente estudo foi demonstrar que o enxerto triplo trançado pode ser uma alternativa biomecanicamente viável quando comparado ao enxerto quádruplo. Esse estudo abre uma nova porta quando visamos reconstruções multiligamentares, sobretudo as reconstruções de LCA e LAL combinadas.

Em muitos centros, principalmente os que não possuem acesso a banco de tecidos, um grande entrave das reconstruções ligamentares é a disponibilidade de enxerto. Com uma configuração em trança, um enxerto triplo pode ter resistência semelhante ao enxerto quádruplo e ainda com uma “perna” disponível para uma outra reconstrução, como a do LAL, por exemplo. Tecnicamente falando, a trança não é de difícil execução, necessitando de uma pequena curva de aprendizagem.

Ao trançarmos três fios paralelos, criamos uma estrutura que é mais resistente e capaz de lidar com uma variedade de forças e condições, tornando-a uma opção mais forte do que os fios individuais. A configuração em trança melhora características importantes, como distribuição de carga, resistência à torção, aumento da área de contato, absorção de impacto e flexibilidade. Isso é frequentemente utilizado em cabos, cordas, cabos de aço e muitas outras aplicações onde a resistência é essencial (URIBE, 2013).

Quando os enxertos são trançados, a carga ou tensão exercida sobre eles é distribuída de maneira mais uniforme ao longo da estrutura. Isso significa que cada enxerto suporta uma parcela menor da carga total, reduzindo o risco de quebrar. A trança cria uma estrutura que é mais resistente à torção e dobra. Se um único enxerto for dobrado ou torcido, ele pode se quebrar mais facilmente. No entanto, quando os enxertos estão trançados, eles se apoiam mutuamente, tornando a estrutura mais resistente a essas forças. Os enxertos trançados têm mais pontos de contato entre si do que fios paralelos simples. Isso aumenta a área de superfície de contato entre eles, o que ajuda a distribuir o estresse de maneira mais eficaz e reduzir a probabilidade de ruptura. A trança também permite que a estrutura absorva melhor os impactos. Quando uma força é aplicada a ela, os enxertos podem se mover dentro da trança, dissipando a energia do impacto ao longo da estrutura em vez de concentrá-la em um único ponto (YANG; GE, 1994).

A trança pode conferir uma certa flexibilidade à estrutura, permitindo que ela se adapte a diferentes condições e movimentos sem quebrar. Isso é especialmente útil em aplicações onde há movimentos ou vibrações. Todavia, esse é um ponto que deve ser chamada a atenção. No presente estudo, em relação aos picos de força do G1 (quádruplo) e do G3 (triplo trançado), não houve diferença estatisticamente significativa entre eles. Contudo, a distribuição dos picos de

forças das amostras do G3 não foram tão uniformes, em alguns casos sendo maiores que o G1 e alguns casos se aproximando do G2. Como as tranças do G3 foram feitas de forma manual, não padronizamos o quão firme eram as tranças. Quanto mais firme a trança, maior a espessura do enxerto, com maior resistência, todavia às custas de uma maior encurtamento de seu comprimento (YANG; GE, 1994; URIBE, 2013).

A insuficiência do enxerto representa um dos principais fatores determinantes dos resultados adversos na reconstrução do LCA (COSTA *et al.*, 2022). No entanto, não há evidências sólidas que demonstrem a superioridade de um enxerto autólogo em comparação com outros tipos de enxertos. Cada variedade de enxerto apresenta vantagens e considerações específicas que devem ser levadas em consideração. Os apoiadores dos enxertos de tendões isquiotibiais relataram uma incidência menor de complicações na área doadora, mas uma maior fraqueza na extensão do quadril e na flexão máxima do joelho, bem como resultados variáveis relacionados ao tamanho e comprimento do enxerto, como um diâmetro do enxerto menor que 8 mm, que aumenta o risco de falha (CONTE *et al.*, 2014). Em muitos casos, o único enxerto disponível são os flexores e dependendo do biotipo do paciente, a espessura ideal de 8 mm não é alcançada (CONTE *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2022).

Existem inúmeros estudos sobre técnicas de preparação de enxertos para reconstrução de LCA. Conte *et al.* (2014) sugerem que enxertos menores que 8 mm de diâmetro apresentam altas taxas de falha, sendo que, segundo Figueroa *et al.* (2018), o aumento do diâmetro do enxerto em apenas 0,5 mm pode levar a aumentos estatisticamente significativos no sucesso e na longevidade desse enxerto.

Autores como Park *et al.* (2021) e Samitier e Vinagre (2019) relataram técnica de trançamento de 4 fios. Segundo tais autores, o trançamento de autoenxerto de isquiotibiais de 4 fios pode aumentar o diâmetro do enxerto em torno de 1 a 1,5 mm, todavia com cerca de 5 a 10 mm de encurtamento.

Outras vantagens teóricas da técnica de trançamento de autoenxerto de isquiotibiais são: a obtenção de um enxerto uniforme em fita, que parece reproduzir a forma nativa do LCA e mimetizar o seu comportamento mecânico (ŚMIGIELSKI *et al.*, 2015); e a compensação da viscoelasticidade intrínseca relacionada aos enxertos de tecidos moles, minimizando o alongamento após a reconstrução que eventualmente termina em frouxidão e re-rupturas (SAMITIER; VINAGRE, 2019).

Como bem abordado por Samitier e Vinagre (2019), a principal limitação dessa técnica é que o enxerto, após a criação da trança, é encurtado em aproximadamente 5 a 10 mm. Ou seja, em casos de enxertos muito curtos, não é aconselhado a realização de tal técnica.

Em relação às técnicas descritas para a reconstrução do LCA e LAL, Helito *et al.* (2015) usaram um enxerto quádruplo, triplo de Semitendinoso (ST) e um GR para o LCA e uma “perna” do GR para o LAL; a fixação tibial foi realizada com âncoras. Sonnery-Cottet *et al.* (2015c) usaram um enxerto triplo de ST para o LCA e um enxerto duplo de GR para o LAL, com dois furos tibiais para reconstruir o LAL.

Ferreira *et al.* (2016) utilizaram um método de preparação do enxerto que cria um efeito de suspensão semelhante ao Endobutton, adicionado à sutura para reforçar essa união, que também inclui um parafuso de interferência. Isso permite que a extremidade do enxerto ST permaneça próxima ao ponto articular femoral, e não é necessário ocupar todo o túnel, que será completado pelo enxerto GR, facilitando assim o procedimento no caso de enxertos curtos. Tal técnica é semelhante ao descrito no nosso estudo, com exceção da trança tripla.

Portanto, como visto, é fundamental o domínio de diferentes técnicas de preparo do enxerto de isquiotibiais para obtenção de um enxerto individualizado, com diâmetro e comprimento adequados que correspondam à anatomia, altura e demanda física do paciente. Assim, a técnica de trançamento de autoenxerto de isquiotibiais é uma configuração de enxerto confiável, relativamente fácil de preparar e reproduzível, fornecendo um enxerto de isquiotibiais mais forte e uniforme.

5.1 Limitações

O grande fator limitante do estudo aqui relatado foi o enxerto escolhido para os ensaios. Pela praticidade de obtenção, utilizamos tecido animal como enxerto; todavia, o enxerto suíno não tem a mesma resistência que o enxerto humano jovem. Assim, não pudemos testar toda a capacidade de resistência do complexo parafuso-poliuretano-enxerto. No entanto, a metodologia seguida por este estudo é um modelo útil para estudos futuros. Outra limitação foi que as tranças foram feitas de forma manual, ou seja, não houve uma padronização do quão firme eram as tranças. Apesar dessas limitações, nossos resultados corroboram com os obtidos em outros estudos semelhantes. No geral, os resultados obtidos indicam que a configuração proposta promove um desempenho biomecânico aceitável. Entretanto, mais pesquisas são necessárias para determinar a relevância clínica desses achados.

5.2 Perspectivas futuras

Ficou inquestionável a importância da reconstrução combinada do LAL e do LCA. Como visto da Figura 10, sugerimos uma técnica de reconstrução do LCA e do LAL que utiliza apenas um enxerto de isquiotibiais para a reconstrução combinada. Essa técnica utiliza uma trança tripla (uma “perna” do tendão grácil e duas “pernas” do tendão do semitendíneo) para a reconstrução do ligamento cruzado anterior, deixando uma “perna” do grácil “livre” para a reconstrução do ligamento anterolateral (Figura 10). Essa técnica utiliza apenas um túnel femoral e um túnel tibial, com fixação com apenas dois parafusos de interferência na tíbia e um dispositivo suspensório no fêmur (Figura 10). Assim, o próximo passo é a experimentação *in vivo* da presente técnica.

6 CONCLUSÃO

- A configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral com uma “perna” para reconstrução do LAL pode vir a ser uma solução mecanicamente viável e com possível aplicação clínica.

REFERÊNCIAS

- ARIEL DE LIMA, D. *et al.* **Surgical indications for anterior cruciate ligament reconstruction combined with extra-articular lateral tenodesis or anterolateral ligament reconstruction.** Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition), v. 53, n. 6, p. 661–667, 2018a.
- ARIEL DE LIMA, D. *et al.* **Indicações cirúrgicas para reconstrução do ligamento cruzado anterior combinada com tenodese extra-articular lateral ou reconstrução do ligamento anterolateral.** Revista Brasileira de Ortopedia, v. 53, p. 661-667, 2018b.
- ARIEL DE LIMA, D. *et al.* **Anatomy of the Anterolateral Ligament of the Knee: A Systematic Review.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 35, n. 2, 2019.
- ARIEL DE LIMA, D. *et al.* **Clinical outcomes of combined anterior cruciate ligament and anterolateral ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis.** Knee Surgery and Related Research, v. 33, n. 1, p. 1-14, 2021.
- ASTUR, D. C. *et al.* **Lesões do ligamento cruzado anterior e do menisco no esporte: incidência, tempo de prática até a lesão e limitações causadas pelo trauma.** Revista Brasileira de Ortopedia, v. 51, p. 652-656, 2016.
- CAREY, J. L. *et al.* **A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction with autograft compared with allograft.** The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume., v. 91, n. 9, p. 2242, 2009.
- CERULLI, G. *et al.* **ACL reconstruction: Choosing the graft.** Joints, v. 1, n. 1, p. 18, 2013.
- CHAHLA, J. *et al.* **Anterolateral Ligament Reconstruction Technique: An Anatomic-Based Approach.** Arthroscopy Techniques, v. 5, n. 3, 2016.
- CHAN, Y.-S. *et al.* **Arthroscopic reconstruction of the posterior cruciate ligament with use of a quadruple hamstring tendon graft with 3-to 5-year follow-up.** Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, v. 22, n. 7, p. 762–770, 2006.
- CHANG, S. K. Y. *et al.* **Anterior cruciate ligament reconstruction: allograft versus autograft.** Arthroscopy: The journal of Arthroscopic & Related Surgery, v. 19, n. 5, p. 453–462, 2003.
- CLAES, S. *et al.* **Anatomy of the anterolateral ligament of the knee.** Journal of Anatomy, v. 223, n. 4, p. 321–328, 2013.
- COBBY, M. J.; SCHWEITZER, M. E.; RESNICK, D. **The deep lateral femoral notch: an indirect sign of a torn anterior cruciate ligament.** Radiology, v. 184, n. 3, p. 855-858, 1992.
- CONTE, E. J. *et al.* **Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure.** Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, v. 30, n. 7, p. 882–890, 2014.

CORBO, G. *et al.* **The infra-meniscal fibers of the anterolateral ligament are stronger and stiffer than the supra-meniscal fibers despite similar histological characteristics.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 25, n. 4, p. 1078–1085, 2017.

COSTA, G. G. *et al.* **Minimizing the risk of graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes. A narrative review of the current evidence.** Journal of Experimental Orthopaedics, v. 9, n. 1, p. 26, 2022.

DAGGETT, M. *et al.* **Femoral Origin of the Anterolateral Ligament: An Anatomic Analysis.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 32, n. 5, p. 835–841, 2016.

DAGGETT, M. *et al.* **The anterolateral ligament: An anatomic study on sex-based differences.** Orthopaedic Journal of Sports Medicine, v. 5, n. 2, 2017.

DE LIMA, D. A. *et al.* **Anatomy of the Anterolateral Ligament of the Knee: A Systematic Review.** Arthroscopy, v. 35, n. 2, p. 670–681, 2019.

DEPHILLIPO, N. N. *et al.* **Anterolateral Ligament Reconstruction Techniques, Biomechanics, and Clinical Outcomes: A Systematic Review.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 33, n. 8, p. 1575-1583, 2017.

DHEERENDRA, S. K. *et al.* **Anterior Cruciate Ligament Graft Choices: A Review of Current Concepts.** The Open Orthopaedics Journal, v. 6, n. 1, 2012.

DODDS, A. L. *et al.* **The anterolateral ligament: Anatomy, length changes and association with the second fracture.** Bone and Joint Journal, v. 96 B, n. 3, p. 325–331, 2014.

FERREIRA, M. de C. *et al.* **Reconstruction of anterior cruciate ligament and anterolateral ligament using interlinked hamstrings – technical note.** Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition), v. 51, n. 4, 2016.

FIGUEROA, F.; FIGUEROA, D.; ESPREGUEIRA-MENDES, J. **Hamstring autograft size importance in anterior cruciate ligament repair surgery.** EFORT Open Reviews, v. 3, n. 3, 2018.

FOSTER, T. E. *et al.* **Does the graft source really matter in the outcome of patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction? An evaluation of autograft versus allograft reconstruction results: a systematic review.** The American journal of sports medicine, v. 38, n. 1, p. 189–199, 2010.

FULKERSON, J. P.; LANGE LAND, R. **An alternative cruciate reconstruction graft: the central quadriceps tendon.** Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, v. 11, n. 2, p. 252–254, 1995.

GIUGLIANO, D. N.; SOLOMON, J. L. **ACL Tears in Female Athletes.** Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America, v. 18, n. 3, p. 417-438, 2007.

HARDY, A. *et al.* **Complications following harvesting of patellar tendon or hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction: systematic review of literature.** Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, v. 103, n. 8, p. S245–S248, 2017.

HE, J. *et al.* **Peroneus longus tendon autograft has functional outcomes comparable to hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 29, p. 2869–2879, 2021.

HELITO, C. P. *et al.* **Anatomy and histology of the knee anterolateral ligament.** Orthopaedic Journal of Sports Medicine, v. 1, n. 7, 2013.

HELITO, C. P. *et al.* **Combined Intra- and Extra-articular Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: The Reconstruction of the Knee Anterolateral Ligament.** Arthroscopy Techniques, v. 4, n. 3, 2015.

HELITO, C. P. *et al.* **The meniscal insertion of the knee anterolateral ligament.** Surgical and Radiologic Anatomy, v. 38, n. 2, p. 223–228, 2016a.

HELITO, C. P. *et al.* **Why Do Authors Differ With Regard to the Femoral and Meniscal Anatomic Parameters of the Knee Anterolateral Ligament?: Dissection by Layers and a Description of Its Superficial and Deep Layers.** Orthopaedic Journal of Sports Medicine, v. 4, n. 12, 2016b.

HELITO, C. P. *et al.* **Anterolateral Ligament of the Fetal Knee: An Anatomic and Histological Study.** The American Journal of Sports Medicine, v. 45, n. 1, p. 91–96, 2017.

HELITO, C. P. *et al.* **Combined reconstruction of the anterolateral ligament in chronic ACL injuries leads to better clinical outcomes than isolated ACL reconstruction.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 26, p. 3652–3659, 2018.

HELITO, C. P. *et al.* **Combined Reconstruction of the Anterolateral Ligament in Patients With Anterior Cruciate Ligament Injury and Ligamentous Hyperlaxity Leads to Better Clinical Stability and a Lower Failure Rate Than Isolated Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 35, n. 9, p. 2648–2654, 2019.

HELITO, C. P. *et al.* **Small Hamstring Tendon Graft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Combined With Anterolateral Ligament Reconstruction Results in the Same Failure Rate as Larger Hamstring Tendon Graft Reconstruction Alone.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 39, n. 7, 2023.

HELITO, C. P.; GUIMARÃES, T. M.; SOBRADO, M. F. **Graft Preparation for Combined ACL and ALL Reconstruction With a Single Femoral Tunnel.** Video Journal of Sports Medicine, v. 1, n. 3, 2021.

HUANG, W. *et al.* **Clinical examination of anterior cruciate ligament rupture: A systematic review and meta-analysis.** Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, v. 50, n. 1, p. 22–31, 2016.

HUSSEIN, M. *et al.* **Individualized anterior cruciate ligament surgery: a prospective study comparing anatomic single- and double-bundle reconstruction.** The American journal of sports medicine, v. 40, n. 8, p. 1781–8, 2012.

IMBERT, P. *et al.* **Isometric Characteristics of the Anterolateral Ligament of the Knee: A Cadaveric Navigation Study.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 32, n. 10, p. 2017–2024, 2016.

JANKOVIC, S. *et al.* **Modified Technique for Combined Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament.** Arthroscopy Techniques, v. 10, n. 2, 2021.

JANSSEN, R. P. A.; SCHEFFLER, S. U. **Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 22, p. 2102–2108, 2014.

JONES, A. R.; FINLAY, D. B. L.; LEARMONTH, D. J. **A deep lateral femoral notch as a sign of acutely torn anterior cruciate ligament.** Injury, v. 24, n. 9, p. 601-602, 1993.

JOSHI, S. *et al.* **Peroneus longus tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a safe and effective alternative in nonathletic patients.** Nigerian Journal of Surgery, v. 27, n. 1, p. 42–47, 2021.

KERNKAMP, W. A.; LI, G.; VAN DE VELDE, S. K. **The anterolateral ligament: a closed chapter?** Annals of Translational Medicine, v. 4, n. Suppl 1, 2016.

KOSY, J. D. *et al.* **The anterolateral ligament of the knee: unwrapping the enigma. Anatomical study and comparison to previous reports.** Journal of Orthopaedics and Traumatology, v. 17, n. 4, p. 303–308, 2016.

KURODA, R.; HOSHINO, Y. **Electromagnetic tracking of the pivot-shift** Current Reviews in Musculoskeletal Medicine, v. 9, p. 164-169, 2016.

LEGNANI, C. *et al.* **Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. A review of literature.** International orthopaedics, v. 34, p. 465–471, 2010.

MESNIER, T. *et al.* **Knee Anterolateral Ligament Reconstruction With Knotless Soft Anchor: Shallow Fixation Prevents Tunnel Convergence.** Arthroscopy Techniques, v. 11, n. 4, 2022.

MORÉ, A. D. O. *et al.* **Graft tendon slippage with metallic and bioabsorbable interference screws under cyclic load: A biomechanical study in a porcine model.** Revista Brasileira de Engenharia Biomedica, v. 31, n. 1, 2015.

MORIN, V. *et al.* **Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction in Pediatric Patients: Surgical Technique.** Arthroscopy Techniques, v. 11, n. 7, 2022.

MULFORD, J. S.; HUTCHINSON, S. E.; HANG, J. R. **Outcomes for primary anterior cruciate reconstruction with the quadriceps autograft: a systematic review.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 21, p. 1882–1888, 2013.

NAKAMURA, N. *et al.* **Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons.** Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, v. 18, n. 6, p. 598–602, 2002.

NIKOLAOU, V. S.; EFSTATHOPOULOS, N.; WREDMARK, T. **Hamstring tendons regeneration after ACL reconstruction: an overview.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 15, p. 153–160, 2007.

PARK, H. Y. *et al.* **Four-Strand Hamstring Diamond Braid Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.** Arthroscopy Techniques, v. 10, n. 4, 2021.

PARKER, M.; SMITH, H. F. **Anatomical variation in the anterolateral ligament of the knee and a new dissection technique for embalmed cadaveric specimens.** Anatomical Science International, v. 93, n. 2, p. 177–187, 2018.

PINHEIRO, I. N. *et al.* **Estudo epidemiológico das lesões multiligamentares do joelho.** Revista Brasileira de Ortopedia, v. 57, p. 675–681, 2022.

POMAJZL, R. *et al.* **A review of the anterolateral ligament of the knee: Current knowledge regarding its incidence, anatomy, biomechanics, and surgical dissection.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 31, n. 3, p. 583–591, 2015.

PUJJI, O. *et al.* **Evaluating the functional results and complications of autograft vs allograft use for reconstruction of the anterior cruciate ligament: a systematic review.** Orthopedic Reviews, v. 9, n. 1, 2017.

SAITHNA, A. *et al.* **Combined ACL and anterolateral ligament reconstruction.** JBJS essential surgical techniques, v. 8, n. 1, 2018.

SAITHNA, A. *et al.* **Clinical Results of Combined ACL and Anterolateral Ligament Reconstruction: A Narrative Review from the SANTI Study Group.** The Journal of Knee Surgery, v. 34, n. 09, p. 962–970, 2020.

SAJOVIC, M.; DEMSAR, S.; SAJOVIC, R. **One-stage bilateral anterior cruciate ligament reconstruction.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 21, p. 1998–2003, 2013.

SAMITIER, G.; VINAGRE, G. **Hamstring Braid Graft Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.** Arthroscopy Techniques, v. 8, n. 8, 2019.

SCHMÜCKER, M. *et al.* **Graft failure, revision ACLR, and reoperation rates after ACLR with quadriceps tendon versus hamstring tendon autografts: a registry study with review of 475 patients.** The American journal of sports medicine, v. 49, n. 8, p. 2136–2143, 2021.

SHELTON, W. R.; FAGAN, B. C. **Autografts commonly used in anterior cruciate ligament reconstruction.** JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, v. 19, n. 5, p. 259–264, 2011.

ŚMIGIELSKI, R. *et al.* **Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 23, n. 11, 2015.

SONIA FARHAN, P. H.; SUDHAKARAN, R.; THILAK, J. **Solving the mystery of the Antero lateral ligament.** Journal of Clinical and Diagnostic Research, v. 11, n. 3, p. AC01–AC04, 2017.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **Outcome of a combined anterior cruciate ligament and anterolateral ligament reconstruction technique with a minimum 2-year follow-up.** American Journal of Sports Medicine, v. 43, n. 7, p. 1598–1605, 2015a.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **The Involvement of the Anterolateral Ligament in Rotational Control of the Knee.** American Journal of Sports Medicine, v. 44, n. 5, p. 1209–1214, 2015b.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **Outcome of a Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction Technique With a Minimum 2-Year Follow-up.** The American Journal of Sports Medicine, v. 43, n. 7, p. 1598–1605, 2015c.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction.** Arthroscopy Techniques, v. 5, n. 6, p. e1253–e1259, 2016.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated with Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients from the SANTI Study Group.** American Journal of Sports Medicine, v. 45, n. 7, p. 1547–1557, 2017.

SONNERY-COTTET, B. *et al.* **Long-term graft rupture rates after combined ACL and anterolateral ligament reconstruction versus isolated ACL reconstruction: A matched-pair analysis from the SANTI Study Group.** The American Journal of Sports Medicine, v. 49, n. 11, p. 2889–2897, 2021.

STIJAK, L. *et al.* **Anatomic description of the anterolateral ligament of the knee.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 24, n. 7, p. 2083–2088, 2016.

STUYTS, B.; VAN DEN EEDEN, E.; VICTOR, J. **A New Reconstructive Technique of the Anterolateral Ligament with Iliotibial Band-Strip.** The Open Orthopaedics Journal, v. 11, n. 1, 2017.

THAUNAT, M. *et al.* **Reoperation Rates after Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction: A Series of 548 Patients from the SANTI Study Group with a Minimum Follow-up of 2 Years.** American Journal of Sports Medicine, v. 45, n. 11, p. 2569–2577, 2017.

TISHERMAN, R. *et al.* **Allograft for knee ligament surgery: an American perspective.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 27, p. 1882–1890, 2019.

TORO-IBARGUEN, A. N. *et al.* **The anterolateral ligament: A cadaveric study in fetuses.** Clinical Anatomy, v. 30, n. 5, p. 625–634, 2017.

URIBE, O. E. O. **Grupos de tranças Brunnianas e grupos de homotopia da esfera S².** Tese de doutorado, Instituto de Matemática e Estatística. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP., 2013.

VAN DER WATT, L. *et al.* **The structure and function of the anterolateral ligament of the knee: A systematic review.** Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery, v. 31, n. 3, p. 569-582. e3, 2015.

VINCENT, J. P. *et al.* **The anterolateral ligament of the human knee: An anatomic and histologic study.** Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, v. 20, n. 1, p. 147–152, 2012.

WEST, R. V; HARNER, C. D. **Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction.** JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, v. 13, n. 3, p. 197–207, 2005.

YANG, C. N.; GE, M.-L. **Braid group, knot theory, and statistical mechanics II.** [s.l.] World Scientific, 1994.

ANEXO A – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA BRASILEIRA DE ORTOPEDIA

RBO (ISSN: 0102-3616, QUALIS B1)

<https://doi.org/10.1055/s-0044-1785664>

Article published online: 2024-05-19



Original Article 549

Analysis of the Biomechanical Behavior of an Animal Model of Triple Hamstring Graft Configuration for Combined ACL and ALL Reconstruction with a Single Femoral Tunnel and a Single Strand for ALL Reconstruction



Análise do comportamento biomecânico de um modelo animal de configuração de enxerto de trança tripla de isquiotibiais para reconstrução combinada de LCA e LAL para túnel único femoral

Maria Luzete Costa Cavalcante¹ Renata Clazzer¹ Camilo Partezani Helito²
Rodrigo Nogueira de Codes³ Lana Lacerda de Lima⁴ Diego Ariel de Lima⁴

¹ Department of Surgery, Programa de Pós-Graduação em Ciências Médico-Cirúrgicas, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brazil

² Department of Orthopedics and Traumatology, Instituto de Ortopedia e Traumatologia, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

³ Department of Engineering and Technology, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brazil

Address for correspondence: Diego Ariel de Lima, MD, PhD, Department of Health Sciences, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rua Francisco Mota 572, Pres. Costa e Silva, Mossoró, RN, Zip Code 59625-900, Brazil (e-mail: arieldelima.diego@gmail.com).

⁴ Department of Health Sciences, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brazil

Rev Bras Ortop 2024;59(4):e549–e555.

Abstract

Objective To describe and biomechanically test a configuration, in an animal model that simulates the triple hamstring graft for combined anterior cruciate ligament (ACL) and anterolateral ligament (ALL) reconstruction, with a single femoral tunnel and a single strand for ALL reconstruction.

Keywords

- anterior cruciate ligament
- anterior cruciate ligament reconstruction
- knee joint
- ligaments, articular

Methods Deep flexor porcine tendons were used as the graft and fixed with titanium interference screws in a polyurethane block. The samples were divided into 3 groups: group 1 (control) – with a quadruple graft; group 2–with a simple triple graft; and group 3–with a braided triple graft. The tests were conducted using an EMIC DL 10000 (Instron Brasil Equipamentos Científicos Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brazil) electromechanical universal testing machine.

Results The samples in groups 1, 2, and 3 obtained mean peak forces of 816.28 ± 78.78 N, 506.95 ± 151.30 N, and 723.16 ± 316.15 N, respectively. In Group

Work carried out at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brazil.

received
October 14, 2023

accepted
January 15, 2024

article published online
May 19, 2024

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0044-1785664>.
ISSN 0102-3616.

© 2024, The Author(s).

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

**ANEXO B – TRABALHO APRESENTADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE
ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA DE 2023, EM BRASÍLIA**



**ANEXO C – PRÊMIO CINE SBOT DE MELHOR TÉCNICA CIRÚRGICA NO
CONGRESSO BRASILEIRO DE ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA DE 2024, NO
RIO DE JANEIRO**

