

GILBERTO YOSHINOBU NAKAMA

**COMPARAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE
SUTURA VERTICAL E CRUZADA, EM
CONFIGURAÇÕES DE FILEIRA ÚNICA E DUPLA,
PARA O TRATAMENTO DA LESÃO MENISCAL
MEDIAL EM ALÇA DE BALDE.**

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

SÃO PAULO

2020

GILBERTO YOSHINOBU NAKAMA

**COMPARAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE
SUTURA VERTICAL E CRUZADA, EM
CONFIGURAÇÕES DE FILEIRA ÚNICA E DUPLA,
PARA O TRATAMENTO DA LESÃO MENISCAL
MEDIAL EM ALÇA DE BALDE.**

Orientador: Prof. Dr. MOISES COHEN

Orientador no Exterior: Prof. Dr. ROBERT F. LAPRADE

Coorientadores: Prof. CARLOS EDUARDO DA SILVEIRA FRANCIOZI

Prof. PEDRO DEBIEUX VARGAS SILVA

SÃO PAULO

2020

Nakama, Gilberto Yoshinobu

Comparação biomecânica das técnicas de sutura vertical e cruzada, em configurações de fileira única e dupla, para o tratamento da lesão meniscal medial em alça de balde./ Gilberto Yoshinobu Nakama. -- São Paulo, 2020.

xvii, 178f

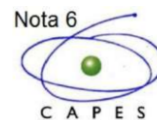
Tese (doutorado) - Universidade Federal de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional.

Título em inglês: Biomechanical comparison of vertical mattress and cross-stitch suture techniques, and single- and double-row configurations, for the treatment of bucket-handle medial meniscus tears.

1. Menisco 2. Meniscos Tibiais 3. Lesões do Menisco Tibial



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



Coordenação: Prof^a. Dr^a. Lydia Massako Ferreira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Moises Cohen

ORIENTADOR NO EXTERIOR: Prof. Dr. Robert F. LaPrade

COORIENTADORES: Prof. Carlos Eduardo da Silveira Franciozi

Prof. Pedro Debieux Vargas Silva

São Paulo

2020

DEDICATÓRIA

Para **Deus** pela fé e por me propiciar tudo que preciso, minha família e amigos.

Para minha esposa, **Cristina**, por todo o amor, paciência e compreensão nesta jornada, e principalmente pela dedicação às nossas maiores bênçãos que são os nossos filhos.

Para meus filhos, **Ricardo** e **Jun**, razões da minha vida, por me apoiarem.

Para meu pai, **Hiroshi Nakama**, o responsável por isso tudo.

Para minha mãe, **Keiko Nakama**, por ser o esteio emocional da nossa família, e por nem sequer um minuto, deixar de acreditar na minha capacidade.

Para a minha avó, **Hatsue Nakama**, pelo exemplo de perseverança e amor.

Para meus irmãos, **Cecília Takahashi** e **Anderson Nakama**, amigos eternos de incentivo infindável.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Prof. Dr. MOISES COHEN**, Professor Titular do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (DOT-EPM/Unifesp) e Professor Orientador do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da Unifesp, pela oportunidade do aprendizado, da experiência não só como pesquisador, mas também como profissional. Por sua sabedoria e pela serenidade em momentos adversos ao longo desta caminhada.

Ao meu coorientador, **Prof. CARLOS EDUARDO DA SILVEIRA FRANCIOZI**, Professor Afiliado do DOT-EPM/Unifesp, pela ajuda, amizade, incentivo e infinita paciência em todas as nossas correções. Meu agradecimento por sempre estar ao meu lado, disponível e disposto a extrair minha última gota de conhecimento com seus questionamentos.

Ao meu vice-coorientador, **Prof. PEDRO DEBIEUX VARGAS SILVA**, Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da Unifesp e Médico do Grupo de Joelho & Artroscopia do DOT-EPM/Unifesp pelo constante apoio e auxílio.

Ao meu orientador internacional, **Prof. Dr. ROBERT F. LAPRADE**, Professor Adjunto do Departamento de Cirurgia Ortopédica da Universidade de Minnesota dos Estados Unidos da América (EUA), Professor Afiliado do Departamento de Ciências Clínicas da Universidade do Estado do Colorado, EUA, e Médico Chefe do *Steadman Philippon Research Institute* (na época da pesquisa) por me orientar e discutir todos aspectos da pesquisa, assim como pelo exemplo de humanidade ao atender seus pacientes com excelência.

À **Prof^a. Dr^a. LYDIA MASA KO FERREIRA**, Professora Titular da Disciplina de Cirurgia Plástica e Coordenadora do Programa de Pós-

Graduação em Cirurgia Translacional da EPM/Unifesp, pela generosidade em dividir seus conhecimentos e por promover a ciência com excelência.

Ao **Prof. Dr. ALFREDO GRAGNANI FILHO**, Professor Associado Livre Docente da Disciplina de Cirurgia Plástica e Vice-Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da EPM/Unifesp, por estimular o espírito crítico.

À **Dr^a. CAMILA COHEN KALEKA**, médica do Instituto Cohen e do Hospital Israelita Albert Einstein, e **Dr. DIEGO COSTA ASTUR**, Professor Afiliado DOT-EPM/Unifesp pelo enorme incentivo e auxílio.

Ao **Sr. JORGE PAULO LEMANN** e Fundação Lemann por patrocinar o “Prêmio Jorge Paulo Lemann” que me proporcionou a oportunidade de realizar pesquisas científicas e criar laços no renomado *Steadman Philippon Research Institute* (Vail, Colorado, EUA) e na *University of Texas Health Science Center at Houston* (Houston, Texas, EUA).

Ao **Dr. LEONARDO METSAVAHT**, Cientista Chefe do Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde, e ao Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde por idealizar, manter e divulgar o “Prêmio Jorge Paulo Lemann” para estimular jovens médicos brasileiros no meio científico.

Ao **Prof. Dr. FERNANDO BALDY DOS REIS**, Chefe do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da EPM/Unifesp pelo exemplo de liderança.

Ao **Dr. MARIO CARNEIRO FILHO**, Professor Afiliado Departamento de Ortopedia e Traumatologia da EPM/Unifesp e Membro do Grupo de Joelho & Artroscopia do DOT-EPM/Unifesp pela amizade e pelos constantes ensinamentos da Vida e da Ortopedia.

Ao **Dr. MARCUS VINICIUS MALHEIRO LUZO**, Professor Adjunto Departamento de Ortopedia e Traumatologia da EPM/Unifesp e Membro do Grupo de Joelho & Artroscopia do DOT-EPM/Unifesp pelo grande incentivo ao meu aprimoramento científico.

Ao **Dr. MARCELO SEIJI KUBOTA**, Chefe do Grupo de Joelho & Artroscopia do DOT-EPM/Unifesp pelo suporte e apoio.

Aos membros do Grupo do Joelho & Artroscopia, **Dr. LUIZ AURÉLIO MESTRINER**, **Prof. Dr. RICARDO DIZIOLI NAVARRO** (*in memoriam*), **Dr. ANTÔNIO ALTENOR BESSA DE QUEIRÓZ**, **Dr.**

FÁBIO PACHECO FERREIRA, Dr. GERALDO SÉRGIO DE MELLO GRANATA JR., Dr. EDGARD DOS SANTOS PEREIRA JR., Dr. LEONARDO JOSÉ BERNARDES ALBERTONI, Dr. MARCELO DE TOLEDO PETRILLI, Dr. ANTÔNIO MASSÊO DE CASTRO, Dr. OZÓRIO DE ALMEIDA LIRA NETO, Dr. JOÃO PAULO FREIRE MARTINS DE MOURA, Dr. ANTÔNIO MILANI, Dr. JOÃO PAULO FREIRE MARTINS, Dr. ANTÔNIO MILANI, Dr. GUILHERME CONFORTO GRACITELLI, Dr. FERNANDO CURY REZENDE, Dr. LUIZ FELIPE MORLIN AMBRA, Dr. FELIPE CONRADO SCHUMACHER E Dr. RICARDO KIM FUKUNISHI YAMADA pelos ensinamentos e amizade.

Aos Funcionários da EPM/Unifesp pela colaboração, em especial à **ROSE PASCHOA**, por toda sua disponibilidade, suporte, profissionalismo, amizade e organização.

Ao *Steadman Philippon Research Institute*, nas pessoas do **Dr. MARC PHILIPPON, Dr. JOHNNY HUARD, Dr. MATTHEW PROVENCHER, Dr. SCOTT TASHMAN, Dr. TRAVIS TURNBULL, Dr. SUDHEER RAVURI, ALEX BRADY, JOSEPH KROB, ZACHARY AMAN, BRYSON KEMLER, HUNTER STORACI, KELLY STOYCHEFF, ANN KURRONEN, Dr. XUEQIN GAO, Dr. HAJIME UTSUNOMIYA, Dr. LORENZO FAGOTTI, Dr. GILBERT MOATSHE, Dr. JORGE CHAHLA E GEOFF GRAY** por toda estrutura, apoio e suporte para realizar o trabalho científico durante meu estágio nos Estados Unidos da América.

À empresa **ARTHREX** por doar os joelhos de cadáveres para a realização deste estudo.

Às pessoas anônimas que doaram seus corpos para o desenvolvimento da ciência, assim como seus familiares pela permissão, possibilitando a realização deste estudo.

“Procure ser um homem de valor, antes de ser um homem de sucesso”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	IV
AGRADECIMENTOS.....	V
SUMÁRIO.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
RESUMO.....	XIV
<i>ABSTRACT</i>	XVI
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVO.....	7
3.LITERATURA.....	9
4.MÉTODO.....	43
5.RESULTADOS.....	63
6.DISSCUSSÃO.....	75
7.CONCLUSÃO.....	84
8.REFERÊNCIAS.....	86
NORMAS ADOTADAS.....	104
APÊNDICE.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

Prof.	Professor
Profa.	Professora
Dr.	Doutor
Dra.	Doutora
DOT	Departamento de Ortopedia e Traumatologia
EPM	Escola Paulista De Medicina
Unifesp	Universidade Federal De São Paulo
IC 95%	Intervalo De Confiança De 95%
<i>et al.</i>	<i>Et Alii</i> (Latim), Em Português: E Outros
cm	Centímetro
EUA	Estados Unidos da América
IKDC	<i>International Knee Documentation Committee</i>
ISAKOS	<i>International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine</i>
KOOS	<i>Knee and Osteoarthritis Outcome Score</i>
LCT	Ligamento Colateral Tibial
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
mm	Milímetro
n	Número amostral
N	Newton
kPa	Kilopascal
P	Probabilidade de significância
QALY	<i>Quality-adjusted life year</i>
SPRI	<i>Steadman Phillipon Research Institute</i>
WOMAC	<i>Western Ontario and McMaster Universities</i>
UTH	<i>University of Texas Health Science Center at Houston</i>

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Osteotomia do côndilo femoral medial do joelho (direito) para acesso ao compartimento medial, preservando a integridade do ligamento colateral tibial durante a criação das diferentes condições meniscais.....47
- Figura 2** - Equalização da carga axial entre os compartimentos medial e lateral através do ajuste em varo ou valgo do espécime.....50
- Figura 3** - Criação da condição de lesão meniscal em alça de balde.....52
- Figura 4** - Lesão de alça de balde luxada e osteotomia fechada com o joelho a 60° de flexão.....53
- Figura 5** - Conjunto de sutura *Meniscus Protector* da empresa Arthrex®.....54
- Figura 6** - Técnica de sutura vertical e configuração de fileira dupla para lesão meniscal medial em joelho direito.....55
- Figura 7** - Técnica de sutura cruzada e configuração de fileira dupla para lesão meniscal medial em joelho direito.....56

Figura 8 - Desinserção da raiz anterior do menisco medial do joelho direito para clara visualização macroscópica das suturas verticais na superfície superior do menisco (fileira única) e a adição de suturas verticais na superfície inferior do menisco para confecção da fileira dupla (visão anterior).....	57
Figura 9 - Ajuste dos dados devido à perda de sensibilidade linear dos sensores de pressão.....	59
Figura 10 - Tamanho de efeito (d de Cohen) = 1 para cálculo amostral.....	62
Figura 11 - Área de contato do compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão.....	66
Figura 12 - Pressão de contato média no compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão.....	69
Figura 13 - Pressão de contato máxima no compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão.....	72

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Área de contato (mm^2) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão.....65
- Tabela 2** - Pressão de contato média (kilopascal) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão.....68
- Tabela 3** - Pressão de contato máxima (kilopascal) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão.....71

RESUMO

Introdução: Dada a variedade de técnicas de sutura para reparo meniscal da lesão em alça de balde, é importante avaliar qual técnica de sutura melhor restaura a biomecânica nativa do joelho. **Objetivo:** Comparar biomecanicamente as técnicas de sutura vertical e de sutura cruzada, em configurações de fileira única e dupla, na sua capacidade de restaurar a cinemática nativa do joelho em um modelo de lesão em alça de balde do menisco medial. **Método:** Vinte joelhos pareados de cadáveres humanos foram randomizados para o grupo de sutura vertical ($n = 10$) ou sutura cruzada ($n = 10$). Cada joelho foi submetido a quatro condições de teste consecutivas: (1) intacto, (2) lesão em alça de balde deslocada, (3) configuração de sutura em fileira única na superfície femoral do menisco e (4) configuração de sutura em fileira dupla (reparo das superfícies femoral e tibial do menisco). Os joelhos foram submetidos a uma força compressiva axial de 1000 N a 0° , 30° , 60° , 90° e 120° de flexão para cada condição. Os dados resultantes da área de contato do compartimento medial, pressão de contato média e pressão de contato máxima foram registrados. **Resultados:** A área de contato não foi restaurada em 0° ($p = 0,027$) para a sutura vertical em fileira dupla, e em 0° ($p = 0,032$), 60° ($p < 0,001$) e 90° ($p = 0,007$) de flexão para a sutura cruzada em fileira dupla. Não foram encontradas diferenças significativas na pressão de contato média e na pressão de contato máxima entre o estado intacto e as outras condições (sutura vertical ou cruzada, com fileira única ou dupla) em qualquer ângulo de flexão. Quando as suturas verticais e cruzadas foram comparadas levando-se em consideração todos os ângulos de flexão simultaneamente, não foram observadas diferenças significativas entre as configurações de fileira única

de suturas diferentes, mas, entre as configurações de fileira dupla, a sutura cruzada resultou em uma área de contato, pressão média de contato e pressão de contato máxima significativamente reduzidas quando comparadas à sutura vertical (todos $p < 0,001$). **Conclusão:** As configurações em fileira única e dupla das técnicas de sutura vertical e cruzada do menisco restauraram a pressão tibiofemoral nativa após lesão meniscal medial em alça de balde em todos os ângulos de flexão do joelho avaliados. Apesar da diminuição da área de contato com uma configuração de fileira dupla, principalmente relacionada à sutura cruzada em comparação com o estado intacto, a sutura cruzada em fileira dupla levou à diminuição da pressão em comparação com a sutura vertical de fileira dupla.

Palavras-chave: Menisco; Meniscos Tibiais; Lesões do Menisco Tibial

ABSTRACT

Background: Due to a variety of suturing techniques for bucket-handle meniscal repair, it is important to assess which suturing technique best restores native biomechanics. **Purpose:** To biomechanically compare vertical mattress and cross-stitch suture techniques, in single- and double-row configurations, in their ability to restore native knee kinematics in a bucket-handle medial meniscus tear model. **Methods:** Ten matched pairs of human cadaver knees were randomly assigned to vertical mattress (n = 10) or cross-stitch (n = 10) repair groups. Each knee underwent four consecutive testing conditions: (1) intact, (2) displaced bucket-handle tear, (3) single-row suture configuration on the femoral meniscus surface, and (4) double-row suture configuration (repair of both femoral and tibial meniscus surfaces). Knees were loaded with a 1000 N axial compressive force at 0°, 30°, 60°, 90° and 120° of flexion for each condition. Resultant medial compartment contact area, average contact pressure, and peak contact pressure data were recorded. **Results:** Intact state contact area was not restored at 0° (P = 0.027) for the vertical double-row configuration and at 0° (P = 0.032), 60° (P < 0.001) and 90° (P = 0.007) of flexion for the cross-stitch double-row configuration. No significant differences were found in the average contact pressure and peak contact pressure between the intact state and the vertical mattress and cross-stitch repairs with either single- and double-row configurations at any flexion angles. When comparing the vertical and cross-stitch repairs across all flexion angles, no significant differences were observed in single-row configurations, but in double-row configurations, cross-stitch repair resulted in a significantly decreased contact area, average contact pressure and peak contact pressure (all P < 0.001). **Conclusion:**

Single- and double-row configurations of both vertical mattress and cross-stitch inside-out meniscal repair techniques restored native tibiofemoral pressure after a medial meniscus bucket-handle tear at all assessed knee flexion angles. Despite decreased contact area using a double-row configuration, mainly related to the cross-stitch repair, in comparison to the intact state, the cross-stitch double-row repair led to decreased pressure in comparison to the vertical double-row repair. These findings are only applicable at the time of the surgery.

Keywords: Meniscus; Menisci, Tibial; Tibial meniscus injuries.

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Lesões meniscais são patologias intra-articulares comuns do joelho que podem causar dor e disfunção após um trauma. Cerca de 984.607 cirurgias artroscópicas para tratamento de patologias do joelho foram realizadas nos Estados Unidos da América (EUA) no ano de 2006, sendo que mais da metade destes procedimentos envolveram lesões meniscais (KIM *et al.*, 2011).

Historicamente, a meniscectomia (remoção cirúrgica do menisco) tem sido realizada para abordar a lesão meniscal, no entanto, a relação entre esse procedimento e a degeneração da cartilagem levando a resultados clínicos ruins a médio e longo prazo, tem fortalecido o tratamento de sutura do menisco, em lesões passíveis de reparo (FAIRBANK, 1948; MCDERMOTT & AMIS, 2006). Estes resultados clínicos insatisfatórios com a meniscectomia podem ser explicados levando-se em consideração o fato do menisco possuir a função de absorver impactos, além de atuar na estabilidade articular, propriocepção, e auxiliar na lubrificação e nutrição da cartilagem articular (MCDERMOTT & AMIS, 2006). Dados dos EUA, Japão e França mostram uma tendência de diminuição da realização de meniscectomias, e um aumento dos reparos/suturas meniscais para preservação meniscal (PARKER *et al.*, 2016; KAWATA *et al.*, 2018; JACQUET *et al.*, 2019).

A lesão em alça de balde, é um dos tipos de lesão meniscal, e é definida como uma ruptura longitudinal extensa com um fragmento luxado e anexado em suas extremidades ao remanescente meniscal (WRIGHT, DE SMET, NORRIS, 1995). Este tipo de lesão é responsável por 21% de todas as lesões

meniscais em pacientes com 40 anos de idade ou menos (METCALF & BARRETT, 2004), e representa um desafio único para o tratamento, principalmente por sua complexidade. Usando as três abordagens cirúrgicas (*all-inside*, *inside-out* e *outside-in*), existem diferentes técnicas de sutura meniscal que podem ser aplicadas. As suturas verticais e horizontais são as mais comuns (WOODMASS *et al.*, 2017).

Nas lesões em alças de balde, pode-se utilizar a abordagem *inside-out* com suturas verticais (BURNS *et al.*, 2011), que foi validada para obter desfechos clínicos comparáveis em pacientes tratados para rupturas verticais não deslocadas (geralmente menores em tamanho e com menor complexidade) do menisco (MOATSHE *et al.*, 2017). UZUN *et al.* (2017) relatam menor falha da sutura em lesões em alça de balde e lesões verticais longitudinais traumáticas na zona vermelha-vermelha (mais periférica e mais vascularizada) do que na zona vermelha-branca (mais central e menos vascularizada) (ARNOCZKY & WARREN, 1982; COHEN *et al.*, 1993; COHEN *et al.*, 1998)

A técnica de sutura vertical para reparos meniscais é realizada devido à sua superioridade biomecânica quando comparada à técnica de sutura horizontal (KOHN & SIEBERT, 1989; SEIL, RUPP, KOHN, 2000; KOCABEY *et al.*, 2006; THIEMAN *et al.*, 2010; CHAHLA *et al.*, 2016; IUCHI *et al.*, 2017; WOODMASS *et al.* 2017). RIMMER *et al.* (1995) atribuem a menor força para falha com suturas horizontais devido ao fato de envolver menor quantidade de fibras colágenas circunferenciais do menisco, visto que a maior parte das fibras colágenas do menisco são circunferenciais (BULLOUGH, MUNUERA, MURPHY, 1970), e são melhor envolvidas de modo perpendicular pelas suturas verticais (RIMMER *et al.*, 1995).

Uma sutura oblíqua supostamente incorpora a força biomecânica superior de um reparo vertical, a facilidade técnica da colocação horizontal da sutura de reparo, e uma tendência de cobrir uma maior área de tecido meniscal com uma fixação de sutura mais longa (KOCABEY *et al.*, 2006). Suturas oblíquas já foram comparadas a reparos verticais e horizontais, mostrando menos falhas, principalmente devido ao menor arrancamento da sutura através do tecido meniscal (KOCABEY *et al.*, 2006). A carga máxima na falha e rigidez são semelhantes ao se comparar duas suturas verticais paralelas com duas suturas cruzadas (KOCABEY *et al.*, 2006; MILCHTEIM *et al.*, 2016).

Apesar da melhora nos escores pós-operatórios de pacientes com lesão em alça de balde tratados com suturas verticais com abordagem *inside-out* (MOATSHE *et al.*, 2017) e suturas oblíquas abordagem *all-inside-out* e híbrida (UZUN *et al.*, 2017), MARCHETTI *et al.* (2017) através de um estudo biomecânico em joelhos cadavéricos humanos, observou que a sutura vertical realizada de modo *inside-out* e *all-inside* nas lesões em alça de balde do menisco medial restauraram a área de contato e a pressão de contato máxima apenas a 0° e 30° de flexão do joelho, sendo ineficazes em restaurar a biomecânica em ângulos maiores de flexão do joelho (45°, 60° e 90°), favorecendo a degeneração da cartilagem articular.

Recentemente, tem sido descrita a técnica de sutura cruzada para o reparo meniscal, semelhante à técnica da borboleta, que tem um padrão de suturas oblíquas e sobrepostas (ABDELKAFY *et al.*, 2006; ABDELKAFY, 2007; THIEMAN *et al.*, 2010; GUNES *et al.* 2011; CRUZ-LÓPEZ *et al.* 2012; BRANCH *et al.*, 2015; MILCHTEIM *et al.*, 2016). Como a técnica cruzada é apenas um padrão de sutura, ela é muito versátil e pode ser aplicada

por todos os três tipos de abordagens de reparo meniscal: *all inside*, *inside-out* e *outside-in*. Como tal, o cirurgião pode usá-la de acordo com cada indicação de abordagem que tem suas vantagens e desvantagens. Além disso, como característica marcante, a confecção da sutura cruzada é tecnicamente fácil e não requer técnicas complexas de amarração dos nós (ABDELKAFY *et al.* 2006; THIEMAN *et al.* 2010; CRUZ-LÓPEZ *et al.* 2012).

Embora a técnica de sutura cruzada tenha sido sugerida como comparável à técnica de sutura vertical, que é a mais utilizada, há uma escassez na literatura de trabalhos que comparem diretamente a eficácia da sutura vertical com a sutura cruzada no reestabelecimento da área e pressão de contato em joelhos com lesão meniscal em alça de balde (THIEMAN *et al.*, 2010). A sutura cruzada foi capaz de restaurar a área e pressão de contato de joelhos caninos em um ângulo de 20° a 30° de flexão (JAEGGER, MARCELIN-LITTLE, LEVINE, 2002; THIEMAN *et al.*, 2010; SABANCI & OCAL, 2016), mostrando a necessidade de continuar a investigação da eficácia da sutura cruzada em um arco de movimento maior em joelhos humanos, visto que, conforme citado previamente, o estudo de MARCHETTI *et al.* (2017) observou o reestabelecimento da biomecânica do joelho com a sutura vertical para tratamento da lesão em alça de balde somente a 0° e 30° de flexão do joelho, mas não foi eficaz em ângulos $\geq 45^\circ$ (45°, 60° e 90°). Dado que a sutura cruzada em configuração dupla pode ter uma força de fixação maior no pós-operatório imediato por ser capaz de capturar maior volume meniscal envolvendo fibras colágenas circunferenciais e radiais (ABDELKAFY, 2015a) favorecendo uma reabilitação com ganho do arco de movimento mais precoce, no presente estudo, incluímos a avaliação da biomecânica do joelho a 120° de flexão.

Acreditamos que nosso estudo, nos seguintes aspectos, seja o primeiro no meio científico a avaliar biomecanicamente: a sutura da lesão meniscal em alça de balde em graus de flexão do joelho maiores que 90°, e as configurações de fileira única (suturas na superfície superior/femoral do menisco somente) e fileira dupla (suturas nas superfícies superior e inferior/tibial do menisco) com a mesma quantidade de suturas para lesão em alça de balde.

OBJETIVO

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi comparar as técnicas de sutura vertical e cruzada, em configurações de fileira única e dupla, em sua capacidade de restaurar a biomecânica do joelho humano em um modelo cadavérico de lesão em alça de balde do menisco medial. Nossa hipótese foi de que não haveria diferença biomecânica entre as técnicas de sutura vertical e sutura cruzada, porém a configuração de fileira dupla seria superior à fileira única para restaurar a biomecânica do joelho intacto (área de contato, pressão de contato média e pressão de contato máxima).

LITERATURA

3. LITERATURA

3.1 Anatomia do Menisco

BULLOUGH *et al.* (1970) avaliaram 14 meniscos com microscopia de luz polarizada e observaram que a maioria das fibras de colágeno no menisco estão dispostas circunferencialmente para suportar a tensão, e que as fibras dispostas radialmente provavelmente funcionam como fibras que amarram para resistir à divisão longitudinal do menisco.

ARNOCZKY & WARREN (1982) avaliou a anatomia da microvasculatura em 20 joelhos de cadáveres humanos e observou a existência de um plexo capilar perimeniscal originado da cápsula e tecido sinovial da articulação suprindo 10 a 25% da periferia do menisco.

COHEN *et al.* (1993) avaliaram 24 meniscos de cadáveres humanos através de estudo radiográfico contrastado e determinaram o Índice Radiográfico de Vascularização Meniscal. Observaram que os cornos anterior e posterior foram os mais vascularizados, enquanto que o hiato

poplíteo apresentou vascularização reduzida, o que foi concordante com a literatura.

COHEN *et al.* (1998) avaliaram 28 meniscos de 14 cadáveres humanos e observaram que o índice de vascularização diminui com o aumento da idade, sendo de importância para análise do potencial de sucesso da sutura.

3.2 Patologia Meniscal

VANDERDORP, BASTIEN, VANDENCASTEELE (1939) observaram estreitamento do espaço articular, e alargamento dos côndilos tibiais e femorais após meniscectomia do joelho.

FAIRBANK (1948) avaliou as alterações da articulação do joelho em 107 pacientes após meniscectomia (3 meses a 14 anos após o procedimento). As alterações radiográficas incluíam: formação de osteófitos, estreitamento do espaço articular, e achatamento do côndilo femoral. Fairbank sugeriu que a perda da função de absorção de cargas pelo menisco causaria as alterações radiográficas observadas, e osteoartrite posteriormente.

CARGILL &, JACKSON (1976) avaliaram 87 pacientes com lesão em alça de balde tratados cirurgicamente, sendo que 37 pacientes foram submetidos à meniscectomia parcial (somente da lesão em alça de balde) e 50 pacientes foram submetidos à meniscectomia total, e foi sugerido que a meniscectomia parcial teria resultados superiores em comparação com a meniscectomia total.

SHAKESPEARE & RIGBY (1983) retrospectivamente avaliaram clinicamente e por artrografia 272 pacientes operados por lesão meniscal em alça de balde. Uma história de entorse ou lesão esportiva prévia foi detectada em 196 pacientes, porém 20% dos pacientes não tinham uma história de trauma. 43% dos pacientes se apresentaram com bloqueio do joelho e 37% dos pacientes tinham uma história prévia de bloqueio. Lesões meniscais significativas foram encontradas em 77% dos 187 artrogramas estudados. A maioria dos erros diagnósticos ocorreram quando o fragmento separado se escondia no intercôndilo e a margem periférica do menisco foi interpretada como normal.

TREGONNING (1983) observou que a meniscectomia parcial para lesão em alça de balde realizada por método fechado (29 pacientes) apresentou uma recuperação mais rápida e um retorno mais rápido ao trabalho do que quando realizada por método aberto (27 pacientes).

HEUCHEMER *et al.* (1987-1989) avaliaram 200 pacientes com sintomas de uma lesão meniscal traumática através de sonografia e os resultados mostraram que em 86% dos casos, havia uma identidade com os achados operatórios.

MANCO *et al.* (1988) avaliaram 222 pacientes com histórico de lesão traumática aguda do joelho e forte evidência clínica de lesão meniscal através da tomografia computadorizada antes da artroscopia. Em 92,5% dos casos, a tomografia foi capaz de retratar o tipo, local e extensão da lesão meniscal.

HEDE *et al.* (1990) revisaram os casos que foram submetidos à cirurgia aberta do menisco em uma área suburbana de Copenhague de 620.000 habitantes, e houve uma incidência anual de 9 homens e 4,2 mulheres com lesão meniscal a cada 10.000 habitantes entre os anos de 1982 e 1984. A maior incidência foi vista entre a 3ª e 5ª década de vida. Uma maior incidência de trauma relacionado ao início dos sintomas foi observado nos homens (77%) quando comparado com as mulheres (64%). A lesão em alça de balde foi o tipo de lesão mais vista em homens (35%), enquanto que o destacamento periférico foi mais frequente em mulheres (41%).

JAMES & BUIRSKI (1990) realizaram um estudo prospectivo duplo cego com 50 pacientes para avaliar a acurácia diagnóstica da ressonância magnética do joelho de 0.3 Tesla comparada com a artroscopia. A acurácia

para lesão meniscal foi de 92 % e para lesão do ligamento cruzado foi de 95 %.

WEISS, MOREHOUSE, LEVY (1991) revisaram a ressonância magnética e a artroscopia de 54 pacientes, e verificaram que um feixe de baixo sinal paralelo e anterior ao ligamento cruzado posterior representava um fragmento luxado medialmente de uma lesão meniscal medial em alça de balde.

KONG *et al.* (1994) descreveram quatro casos de pacientes com ruptura comprovada do ligamento cruzado anterior e luxação da lesão em alça de balde do menisco medial com ausência do pivot shift e um teste de Lachman próximo do normal, concluindo que deve ser suspeitada a associação de lesão ligamentar e meniscal quando houver uma história sugestiva de lesão do ligamento cruzado anterior e o exame revelar um joelho estável.

WRIGHT, DE SMET, NORRIS (1995) realizaram um estudo com ressonância magnética para avaliar a detecção de fragmentos luxados de lesões em alça de balde dos meniscos medial e lateral em 39 pacientes submetidos à artroscopia. A sensibilidade para se detectar um fragmento luxado foi de somente 0,64. Quando a lesão em alça de balde envolveu todo o menisco, o fragmento luxado pode ser visto em 84% dos meniscos. O sinal do duplo ligamento cruzado posterior foi observado em 53% dos meniscos

mediais e em nenhum menisco lateral. O sinal do menisco capotado foi observado em 44% dos meniscos mediais e em 29% dos laterais, e um fragmento foi identificado no intercôndilo em 66% dos meniscos mediais e 43% dos laterais.

METCALF & BARRETT (2004) acompanharam prospectivamente 1485 pacientes com lesão meniscal e joelho estável. Uma avaliação pré-operatória padronizada foi realizada e cada lesão foi cuidadosamente mapeada durante a artroscopia e observaram a existência de cinco variáveis associadas às lesões periféricas: gênero masculino, presença de efusão, teste de McMurray positivo, alinhamento em varo, e perda da extensão maior do que 5 graus. Os autores observaram que a lesão em alça de balde ocorre em cerca de até 10% de todas lesões meniscais.

CAMANHO *et al.* (2006) avaliaram 43 pacientes submetidos à meniscectomia de lesão meniscal isolada. A maior parte dos pacientes obteve bons resultados e retornou às suas atividades. O procedimento cirúrgico para lesão meniscal por fadiga demonstrou resultados semelhantes com a lesão meniscal traumática, apesar de apresentar maior risco para osteonecrose. Observou-se melhores resultados da meniscectomia para lesão meniscal traumática comparada com a lesão meniscal degenerativa.

MCDERMOTT & AMIS (2006) realizam uma revisão de literatura sobre as consequências da meniscectomia nos resultados à longo prazo e observaram que uma perda parcial ou total do menisco pode levar a efeitos prejudiciais ao joelho devido ao fato dos meniscos atuarem na absorção de choques, na propriocepção, e na lubrificação e nutrição da cartilagem articular.

COHEN *et al.* (2007) avaliaram 82 pacientes submetidos a reconstrução artroscópica do ligamento cruzado anterior com tendão patelar e observaram que a menisectomia associada levou à artrose em um seguimento de 10 a 15 anos ($p < 0,0001$).

ANDERSON *et al.* (2011) avaliaram a confiabilidade interobservadores da classificação de lesões meniscais da *International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine* (ISAKOS). 8 membros do comitê avaliaram 10 vídeos de artroscopia e observaram que a classificação ISAKOS fornece confiabilidade interobservadores suficiente.

FRANCIOZI *et al.* (2013) observaram que ratos submetidos à um regime de corrida gradual extenuante com intensidade controlada (12 semanas) resultou em alterações moleculares e histológicas presentes na osteoartrite. Os joelhos dos ratos treinados apresentaram aumento do número de condrócitos, caspase-3, IL-1 α e TNF- α , histologicamente graus maiores

de osteoartrite (*Osteoarthritis Research Society International Grading*), e níveis diminuídos de sulfato de condroitina e ácido hialurônico.

CHAGAS-NETO *et al.* (2016) compararam a técnica tridimensional turbo spin-eco com a técnica bidimensional turbo spin-eco de ressonância magnética (magneto de 1,5 Tesla) em 38 pacientes que foram submetidos à cirurgia artroscópica e observaram que o desempenho diagnóstico foi semelhante entre ambas técnicas, com a vantagem de diminuir o tempo de aquisição na técnica tridimensional.

PIEIDADE (2017) descreve as classificações para lesão de menisco que são baseadas em aspectos como morfologia, relação com o suprimento sanguíneo, localização anatômica e padrão da lesão, e reforça a importância destas classificações para determinar o tratamento adequado de tipos específicos de lesão meniscal.

ASTUR *et al.* (2018) analisaram 239 pacientes com lesões menisco-ligamentares e observaram não ser possível estabelecer uma relação direta entre estas lesões com tabagismo, alcoolismo e uso de anabolizantes artificiais.

CHAHLA *et al.* (2018) avaliaram os dados de todos jogadores (2285 esportistas) que participaram da liga de futebol americano entre os anos de 2009 e 2015, identificaram 287 jogadores (322 joelhos) com um histórico de meniscectomia prévia (206 lateral e 81 medial) e observaram que uma meniscectomia prévia de pelo menos 10% do total volume meniscal estava significativamente correlacionado com lesões condrais maiores e mais severas. Defeitos condrais e meniscais nestes jogadores resultaram em um decréscimo significativo nas medidas de desempenho objetivas quando comparados com controles pareados.

NOVARETTI *et al.* (2020) avaliaram 10 joelhos cadavéricos humanos através de um sistema de testes robótico e observaram que após uma meniscectomia lateral parcial, a estabilidade é afetada mesmo com ligamento cruzado anterior intacto.

3.3 Estudos clínicos do reparo meniscal

ANNANDALE (1885) descreveu o primeiro reparo meniscal, realizado por via aberta.

TRILLAT & DEJOUR (1968) estabelecem o conceito fundamental de preservação cirúrgica do menisco.

IKEUCHI (1975) realizou o primeiro reparo meniscal artroscópico em 1969.

HENNING (1983) descreve a técnica *inside-out* para reparo de lesão meniscal.

WARREN (1985) introduz a técnica *outside-in* para sutura meniscal com a intenção de evitar uma lesão do nervo fibular na sutura meniscal lateral.

BARATZ, FU, MENGATO (1986) avaliaram as consequências biomecânicas do tratamento cirúrgico em joelhos cadavéricos humanos de: Grupo I - Lesões meniscais em alça de balde; e Grupo II - Lesões meniscais periféricas. No Grupo I, criaram a lesão em alça de balde em quatro joelhos que foram submetidos à meniscectomia parcial, seguido por meniscectomia total. No Grupo II, criaram uma lesão periférica de 2 centímetros (cm) no corno posterior de três joelhos que foram submetidos à reparo artroscópico com sutura horizontal, reparo aberto com suturas verticais, meniscectomia segmentar e meniscectomia total. Após cada procedimento, o joelho era submetido à máquina de testes Instron, usando 400 libras a 0 graus ou 30 graus de flexão e a área de contato e pressão intra-articular era mensurada com um filme sensível à pressão (Prescale). No Grupo I, após meniscectomia parcial, a área de contato diminuía 10% e a pressão de contato local aumentava em 65%, e após a meniscectomia total, a área de contato diminuía

75% e a pressão de contato local aumentava em 235%. No grupo II, não houve diferenças entre as técnicas de sutura quanto a área de contato e pressão de contato local, enquanto que após uma meniscectomia segmentar houve um aumento de 110% na pressão de contato local.

RYU & DUNBAR (1988) avaliaram retrospectivamente 29 pacientes (média de idade: 31 anos - 15 homens e 14 mulheres) submetidos à reparo meniscal artroscópico com suturas verticais, com pelo menos dois anos de seguimento. A maior parte das lesões meniscais era em alça de balde com uma média de 2,5 cm de extensão. A cura clínica ocorreu em 87% dos pacientes submetidos ao reparo meniscal. Esta cura ocorreu em seis dos sete pacientes com reconstrução do ligamento cruzado anterior associada.

ALBRECHT-OLSEN, KRISTENSEN, TÖRMÄLÄ (1993) descreveram o uso de taxas de ácido poliláctico (Biofix) para suturar a lesão meniscal em alça de balde e diminuir o risco de lesão neurovascular durante a fixação.

ALBRECHT-OLSEN *et al.* (1999) compararam prospectivamente os resultados da técnica *inside-out* (suturas horizontais) com a técnica *all-inside* (flechas) para sutura de menisco em 68 pacientes. Somente lesões na zona vermelha-vermelha e vermelha-branca foram incluídas. Uma nova artroscopia foi realizada em 96% dos pacientes, três a quatro meses após a primeira artroscopia, sendo que 91% dos meniscos tratados com flechas

apresentavam sucesso do reparo meniscal comparado a 75% dos meniscos tratados com sutura. Baseados nestes dados, os autores sugeriram que as flechas para meniscos podem ser promissoras no tratamento da lesão meniscal.

HERNANDEZ *et al.* (2006) avaliaram 19 pacientes submetidos ao reparo meniscal (19 joelhos -15 meniscos mediais e 5 laterais, sendo que em um joelho foram operados ambos os meniscos) com dois tipos de implantes absorvíveis (Arrow® e Clear fix®). Todos pacientes tiveram as manobras meniscais negativadas no pós-operatório. Houve uma melhora na média da escala de Lysholm, indo de 39,8 no pré-operatório para 91,5 no pós-operatório.

ABDELKAFY (2007) descreve uma modificação em sua técnica de sutura cruzada para torná-la mais rápida, com uma incisão de pele menor e com um nó deslizante para sutura.

LINO JÚNIOR (2009) avaliou a evolução funcional de 23 pacientes com reparo meniscal por implante absorvível, e observou que em apenas dois casos houve falha da cicatrização do menisco reparado. Pela escala de Lysholm, houve melhora significativa de todos pacientes analisados.

BURNS *et al.* (2011) relatam que o reparo *inside-out* é o padrão ouro para a lesão em alça de balde do menisco medial e lateral.

CRUZ-LÓPEZ *et al.* (2012) descrevem a sutura cruzada realizada de modo *inside-out* com dois fios de sutura cruzados e quatro pontos de fixação na construção.

GRANT *et al.* (2012) realizaram uma revisão sistemática comparando as técnicas de sutura *inside-out* e *all-inside* para o reparo de lesões meniscais isoladas e não encontraram diferenças na falha clínica e nos resultados subjetivos, sendo que a técnica *inside-out* foram mais associados aos sintomas neurológicos no pós-operatório e a técnica *all-inside* apresentou complicações relacionadas ao implante como: migração, quebra e lesão condral.

ALBERTONI *et al.* (2013) avaliaram os resultados de 22 pacientes com lesão meniscal submetidos ao reparo do tipo *all-inside* com o uso do dispositivo FasT-Fix em um seguimento médio de 59 meses. Pelo escore de Lysholm, 73% dos pacientes apresentaram excelentes e bons resultados (84-100 pontos), 27% dos pacientes apresentaram resultados regulares (65-83 pontos) e nenhum caso foi classificado como ruim (< 64 pontos). Segundo o *International Knee Documentation Committee* (IKDC): 82% dos pacientes obtiveram excelentes e bons resultados (75-100 pontos); 18% dos casos com

resultados regulares (50-75 pontos) e nenhum paciente obteve resultados ruins (< 50 pontos). Não houve falhas ou complicações.

HAKLAR *et al.* (2013) avaliaram 112 pacientes com ruptura meniscal longitudinal tratados com sutura vertical única para lesão de espessura parcial do menisco (n=46) e sutura vertical dupla para lesão de espessura total do menisco (n=66). Em um seguimento médio de 49,3 meses, houve um sucesso do reparo meniscal em 80,3% dos pacientes com lesão meniscal de espessura total e em 100% dos pacientes com lesão meniscal de espessura parcial através do exame clínico e ressonância magnética. O escore médio do questionário de Lysholm no pré-operatório foi de 63,8 para 89,5 no pós-operatório ($p < 0,001$). O escore médio da escala de Tegner no pré-operatório foi de 3,3 para 6,7 no pós-operatório ($p < 0,001$).

ABDELKAFY (2015a) descreve que as fibras colágenas circunferenciais do menisco são melhor incorporadas por suturas verticais e as fibras radiais por suturas horizontais, portanto a “sutura em cruz simplificada” que consiste em duas suturas verticais posicionadas em orientação oblíqua pode capturar maior volume meniscal, assim como as fibras colágenas circunferenciais e radiais, potencialmente aumentando a força de fixação do reparo meniscal.

ABDELKAFY (2015b), em um estudo retrospectivo de série de casos, submeteu 38 pacientes com lesões meniscais verticais longitudinais longas a

técnicas combinadas de sutura cruzada e horizontal. Destes 38 pacientes, 32 pacientes (6 pacientes foram perdidos, incluindo 2 falhas que foram submetidas à meniscectomia no primeiro ano pós-operatório) foram avaliados após uma média de 4,6 anos e tinham bons resultados clínicos (escore IKDC: n = 27, grau A; n = 5 grau B; média do escore de Lysholm modificado: 91,3; média do SF-36: 88,4; média da escala visual analógica para satisfação com a cirurgia: 8, média da escala visual analógica para dor: 1,5).

AHN *et al.* (2015) avaliaram retrospectivamente 13 pacientes (média de idade: 20 anos, 14-54 anos) com lesão em alça de balde do menisco lateral luxada tratados com suturas *all-inside* associadas ou não à suturas *outside-in* em um seguimento médio de 4 anos (1 a 10,7 anos). Todos pacientes retornaram às suas atividades prévias sem ou quase sem limitações, e nenhuma reoperação foi necessária. O nível de atividade de Tegner médio melhorou significativamente de 3 (2-6) para 7 (4-9) ($p < 0,0001$), o escore de Lysholm médio melhorou de $78,5 \pm 10,7$ para $94,6 \pm 5,4$ ($p < 0,0001$), e o escore Hospital for Special Surgery melhorou de $80,3 \pm 8,5$ para $95,9 \pm 4,2$ ($p < 0,0001$).

YILMAZ *et al.* (2016) avaliaram retrospectivamente 52 pacientes com lesão meniscal em alça de balde tratados com sutura *all-inside* no corno posterior e sutura *inside-out* no corpo através dos critérios de Barrett, ressonância magnética, e os escores de Tegner e Lysholm em um seguimento médio de 31,3 meses. Dois pacientes de 34 que tiveram reconstrução

associada do ligamento cruzado anterior sofreram re-ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) e em um deles não houve cicatrização meniscal, sendo realizada a meniscectomia. Embora os escores de Tegner e Lysholm tenham melhorado em relação ao estado pré-operatório, os resultados foram inferiores aos de pacientes com o LCA intacto.

FILLINGHAM *et al.* (2017) realizaram uma revisão sistemática comparando o reparo meniscal *inside-out* com *all-inside* para a lesão meniscal isolada. Baseados em 27 estudos (maioria com nível de evidência 4) incluídos na revisão, não houve diferenças na taxa de falha, escores de resultado funcional ou complicações comparando o reparo *inside-out* com os dispositivos modernos de reparo *all-inside*.

MOATSHE *et al.* (2017) relataram que pacientes com lesão em alça de balde e pacientes com lesão vertical do menisco tratadas com suturas verticais *inside-out* tiveram resultados comparáveis em relação aos escores de desfecho relatados pelo paciente em dois anos de seguimento (SF-12, *Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index*, Lysholm, Tegner). Os desfechos clínicos relatados dos reparos meniscais de lesões em alça de balde podem ser atribuídos às evidências biomecânicas de melhora da cinemática articular dos joelhos com tecido meniscal reparado.

MUCKENHIRN *et al.* (2017) descrevem o reparo de uma lesão meniscal em alça de balde com a técnica artroscópica *inside-out* associada ao concentrado de aspirado de medula óssea.

PIEIDADE *et al.* (2017) descrevem as atualizações na técnica de reparo meniscal *all-inside* e abordam as indicações cirúrgicas, posicionamento das sutura, considerações anatômicas e biomecânicas, além dos resultados dos reparos *all-inside*.

WOODMASS *et al.* (2017) realizam uma revisão da literatura relatam que o reparo meniscal melhora os resultados clínicos à longo prazo, e alterações degenerativas menos severas quando comparado à meniscectomia. Os autores citam que as técnicas de sutura vertical e horizontal são as mais comuns para o reparo meniscal, sendo que a sutura vertical é superior à horizontal. Também relatam que devido aos avanços nas técnicas cirúrgicas, houve uma expansão na indicação de reparo meniscal incluindo aqueles padrões previamente considerados irreparáveis.

ALMEIDA *et al.* (2018) avaliaram oito pacientes submetidos à sutura meniscal *outside-in* através dos questionários de Lysholm e IKDC, além de RM, Artro-RM e Artro-CR em um seguimento médio de 15 meses. A média da pontuação pós-operatória foi de 89,5 para o questionário de Lysholm e 78,6 para o IKDC. Enquanto a RM evidenciou sinais de cicatrização em 50%

dos casos, a artro-RM e a artro-CT evidenciaram sinais de cicatrização em 75% dos casos.

KAMINSKI *et al.* (2018) realizaram um estudo controlado randomizado comparado os resultados de suturas de lesões meniscais em alça de balde associadas ou não ao plasma rico em plaquetas. 37 pacientes submetidos a sutura meniscal foram randomizados entre associar o uso do plasma rico em plaquetas ou o uso de uma solução salina estéril (0,9%), sendo que após 18 semanas observou se maior sucesso do reparo associado ao plasma rico em plaquetas em relação ao grupo controle (85% versus 47%, $p = 0,048$) avaliado por uma segunda artroscopia ou ressonância magnética. Após 42 meses os escores IKDC, *Western Ontario and McMaster Universities (WOMAC)* e *Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)* foram melhores em relação ao pré-operatório para ambos os grupos, porém estes mesmos escores foram significativamente melhores no grupo tratado com plasma rico em plaquetas do que o grupo controle.

BUYUKKUSCU *et al.* (2019) avaliaram os resultados clínicos e radiológicos de 33 pacientes com mais de 40 anos de idade submetidos à reparo de lesão vertical isolada do menisco medial em um seguimento médio de 31,1 meses. Os pacientes foram avaliados pré e pós-operatoriamente quanto ao exame clínico, escore de Lysholm, escore IKDC, ressonância magnética, e classificação de Kellgren-Lawrence para osteoartrite. Houve uma melhora significativa nos escores funcionais ($p < 0,05$) e no exame físico. Em 66,7 % dos pacientes houve uma melhora clínica e radiológica (p

< 0,05). Entretanto, não houve uma correlação entre os resultados clínicos e radiológicos.

HAGMEIJER *et al.* (2019) avaliaram 32 pacientes com 18 anos de idade ou menos submetidos à reparo de lesão meniscal isolada em relação à taxa de falha, reoperações e aos escores IKDC e Tegner em um seguimento de 18 anos. A taxa de falha e reoperação variou de acordo com o tipo de lesão, sendo que as lesões meniscais complexas apresentaram a maior taxa de falha (80%) no seguimento a médio prazo. Contudo, os escores de IKDC e Tegner dos pacientes com lesão meniscal complexa não foram significativamente diferentes dos outros tipos de lesão meniscal no seguimento a longo prazo.

KRAMER *et al.* (2019) avaliaram os resultados após o tratamento cirúrgico de lesões meniscais em alça de balde em pacientes com 19 anos de idade ou menos em um seguimento de pelo menos 6 meses. 280 pacientes, com uma média de idade de $15,5 \pm 2,5$ anos, foram incluídos. O procedimento cirúrgico meniscal foi associada à reconstrução do ligamento cruzado anterior em 37% dos casos. Dois terços dos pacientes foram submetidos ao reparo meniscal e um terço à meniscectomia. A reoperação relacionada ao menisco ocorreu em 24% dos casos, sendo mais comum nos pacientes tratados com reparo meniscal do que com meniscectomia. Somente um paciente não retornou aos esportes. No final do seguimento, 92% dos pacientes não tinham queixas de dor.

ROGERS *et al.* (2019) realizaram uma análise de custo-efetividade do reparo meniscal isolado versus meniscectomia parcial para lesões meniscais verticais na zona vermelha-vermelha no adulto jovem. Os custos totais diretos de uma meniscectomia parcial foram calculados em US \$ 38.648 e de um reparo meniscal em US \$ 23.948, resultando em uma economia projetada de US \$ 14.700 com o reparo meniscal. Houve um ganho nos anos de vida ajustados pela qualidade (quality-adjusted life years – QALYs) de 17 para meniscectomia parcial e 21 para o reparo meniscal. Isto resulta em uma taxa de efeito de custo incremental de US \$ 3.935 por QALY, favorecendo o reparo meniscal sobre a meniscectomia parcial.

SALTZMAN *et al.* (2020) avaliaram retrospectivamente 75 pacientes submetidos a reparo artroscópico de lesão em alça de balde com uma média de seguimento de 23,41 meses \pm 16,43 meses. Quinze joelhos (19,2%) sofreram re-lesão em uma média de 12,24 \pm 9,5 meses após a cirurgia. No final do seguimento houve uma melhora de vários escores reportados pelo paciente (Lysholm, *International Knee Documentation Committee*, *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome*, *Quality of Life*, subescala física do SF-12 e *Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index* ($p < 0,05$), com exceção do escore Marx ($p = 0,933$) e a subescala mental do SF-12 ($p = 0,807$).

THAUNAT *et al.* (2020) avaliaram os resultados clínicos e as falhas de 96 pacientes submetidos a reparo de lesão em alça de balde do menisco medial associado à reconstrução do ligamento cruzado anterior com um seguimento mínimo de dois anos. De acordo com a avaliação pelo IKDC, os pacientes foram classificados como C ou D no pré-operatório, e como A ou B na última avaliação. A média da diferença de frouxidão medida pelo Rolimeter melhorou de 6,77 mm para 1,02 mm. A média do escore de Lysholm no pós-operatório foi de $91,53 \pm 11,6$. A média da taxa de falha foi de 19% no seguimento final de $35,2 \pm 9,8$ meses.

3.4 Testes biomecânicos do reparo meniscal

KOHN & SIEBERT (1989) compararam quatro técnicas de sutura meniscal (vertical aberta, horizontal aberta, horizontal com alça da sutura na superfície meniscal artroscópica, técnica da extemidade com nó artroscópica) em 20 meniscos cadavéricos de humanos em relação a carga até a falha. A técnica da extemidade com nó teve resultados inferiores (24 ± 9 N) comparada à técnica artroscópica de sutura horizontal com alça na superfície meniscal (89 ± 4 N) ($p < 0,01$). Quando o reparo meniscal aberto foi realizado, a sutura vertical (105 ± 4 N) foi superior comparada à sutura horizontal (44 ± 18 N) ($p < 0,01$).

RIMMER *et al.* (1995) compararam biomecanicamente três técnicas diferentes para sutura de lesão periférica em 11 meniscos humanos: laço horizontal único, laço vertical único e laço vertical duplo. A carga até a falha foi maior com a técnica de laço vertical único (67,3 N) do que com laço vertical duplo (63,2 N) e laço horizontal único (29,3N). Os autores atribuem a menor força para falha com suturas horizontais devido ao fato de envolver menor quantidade de fibras colágenas circunferenciais do menisco.

AŞIK *et al.* (1997) compararam cinco técnicas de sutura meniscal: 1) sutura horizontal (*horizontal mattress*), 2) sutura vertical com ambas os braços atravessando a área de lesão meniscal (*vertical mattress*), 3) sutura com extremidades com nós (*knot-end*), 4) sutura com os braços atravessando a cápsula sem atravessar pela área de lesão meniscal (*vertical*), e 5) sutura com braço passando através da lesão e outro passando somente através da cápsula (*vertical loop*). Os autores utilizaram 20 meniscos bovinos e verificaram que a sutura com a técnica *knot-end* apresentou resultados inferiores (64 ± 5 N) quanto à carga de falha comparada às outras técnicas. *Vertical mattress* falhou em 130 ± 3 N, *vertical loop* a $128 \pm 4,5$ N, *horizontal mattress* a 98 ± 5 N e *vertical* a 136 ± 3 N.

MARTENS, HULL, HOWELL (1997) compararam a mensuração da pressão e área de contato tibiofemoral com filmes Fuji sensíveis à pressão em joelhos cadavéricos humanos três condições diferentes (1-intacto, 2-osteotomia e fixação do côndilo femoral medial, condição 2 associada à incisão dos ligamentos coronários) e não observaram diferenças nas medidas

após os joelhos serem submetidos à duas vezes o peso corporal com o joelho a 0°, 15°, 30° e 45° de flexão. Estes resultados confirmam a utilidade da osteotomia do côndilo femoral medial seguida de fixação para manipulação do compartimento medial e da incisão dos ligamentos coronários para posicionamento dos sensores de pressão sem alterar a biomecânica do joelho intacto.

HARRIS *et al.* (1999) compararam o filme Fuji (técnica de filme sensível à pressão) com o sensor K-scan (filme com método transdutor de pressão computadorizado em tempo real) em um modelo de artroplastia total de joelho e observam que a área de contato medida pelo Fuji filme foi 11-36% ($p < 0,05$) menor do que a medida pelo sensor K-scan.

BECKER *et al.* (2005) compararam cinco tipos diferentes de implantes biodegradáveis (Arrow, Dart, Fastener, Stinger e Meniscal Screw) e a sutura horizontal (Ethibond nº 2) em 13 joelhos cadavéricos humanos com lesão meniscal em alça de balde. A pressão meniscofemoral não aumentou após reparo meniscal com implantes biodegradáveis ou com suturas ao ser submetido à 350N em 0°, 30°, 60° e 90° de flexão do joelho.

ABDELKAFY *et al.* (2006) descreve a sutura cruzada para reparo meniscal confeccionada de modo *outside-in* com o uso de alças e somente um fio de sutura na estrutura do reparo. A carga até a falha em 36 meniscos

humanos (18 suturas cruzadas e 18 suturas verticais) foi de 110 N para a sutura cruzada e 67 N para a sutura vertical.

KOCABEY *et al.* (2006) compararam biomecanicamente a sutura vertical, horizontal e oblíqua na lesão meniscal de joelhos bovinos. A rigidez da construção foi superior para a sutura oblíqua ($6,9 \pm 1,5$ N/mm, $p = 0,007$) e para sutura vertical ($6,4 \pm 7$ N/mm, $p = 0,03$) quando comparadas à sutura horizontal ($4,4 \pm 0,52$ N/mm). A sutura oblíqua ($171,9 \pm 25,9$ N, $p = 0,001$) e a sutura vertical ($145,9 \pm 32,3$ N, $p = 0,001$) resultaram em carga até a falha superior comparadas à sutura horizontal ($88,8 \pm 8,8$ N). A ruptura da sutura foi o modo de falha para todos espécimes no grupo sutura oblíqua, em 57% do grupo sutura vertical e 43% do grupo sutura horizontal. A sutura oblíqua também possui a facilidade de posicionamento da sutura, semelhante à sutura horizontal, com a possibilidade de cobrir uma área maior de tecido meniscal.

LEE *et al.* (2006) submeteram 12 meniscos cadáveres a cinco condições de deficiência meniscal (íntacto, meniscectomia de 25% da largura posterior do menisco, meniscectomia de 75% da largura posterior do menisco, meniscectomia segmentar posterior e meniscectomia total) e observaram em todas as condições um significativo decréscimo da área de contato e aumento da força de contato máxima ($p < 0,05$). Quanto maior a área meniscal removida, menor a área de contato, sendo que a pressão de contato resultou em incrementos similares através das condições.

RICHARDS, BARBER, HERBERT (2008) avaliaram biomecanicamente seis joelhos cadavéricos humanos com lesão meniscal periférica através de transdutores de pressão e observaram que os cortes meniscais não sofreram distração e foram principalmente expostos à compressão durante toda amplitude de movimento. Portanto, os autores sugerem que o mais importante é que o reparo meniscal seja capaz de reduzir anatomicamente uma lesão meniscal e evitar forças de cisalhamento.

BEDI *et al.* (2010) compararam a localização e a magnitude da pressão de contato máxima em seis condições (1-menisco intacto, 2-lesão radial envolvendo 30% da largura do menisco, 3-lesão radial envolvendo 60% da largura do menisco, 4-lesão radial envolvendo 90% da largura do menisco, 5-sutura horizontal *inside-out*, e meniscectomia parcial) em joelhos cadavéricos humanos submetidos à carga fisiológica da marcha. Os autores observaram mudanças na pressão de contato somente com 90% de acometimento meniscal resultando em um deslocamento posterocentral e um aumento de $1,3 \pm 0,5$ Mpa a 14% do ciclo da marcha em relação à condição intacta. A sutura horizontal não foi capaz de restaurar a pressão alterada após a lesão de 90% e a meniscectomia levou a um aumento adicional de $1,4 \pm 0,7$ Mpa, a 14% do ciclo da marcha.

THIEMAN *et al.* (2010) compararam as técnicas de sutura cruzada, horizontal e vertical para o reparo da lesão meniscal em alça de balde em um modelo canino cadavérico ($n = 24$), e observaram que todas as técnicas

reestabeleceram a pressão de contato ao serem submetidas a uma carga crescente de 150N em um único ângulo de flexão do joelho.

GUNES *et al.* (2011) descreveram a sutura em “borboleta” realizada de modo *all-inside* com o dispositivo Viper e compararam com um reparo com duas suturas verticais realizadas com o mesmo dispositivo em 14 meniscos de bezerras. A media da carga até a falha foi maior com a sutura em “borboleta” ($186 \pm 15,8$ N) comparado com as duas suturas verticais ($156,3 \pm 13,1$ N) ($p = 0,002$).

ROSSO *et al.* (2011) compararam biomecanicamente duas suturas *all-inside* (Ultra FasT-Fix e Meniscal Cinch) e duas suturas *inside-out* (Ultrabraid No.0 e FiberWire 2-0) em 66 lesões meniscais em alça de balde criadas em joelhos porcinos e observaram que o dispositivo Meniscal Cinch apresentou maior deslocamento inicial ($p = 0,04$), e a sutura com FiberWire apresentou sigficativamente maior carga até a falha ($120,8 \pm 23,5$ N) do que o Meniscal Cinch ($64,8 \pm 24,1$ N, $p < 0,001$) e o Ultra FastT-Fix ($88,3 \pm 14,3$ N, $p = 0,002$), mas não foi significamente maior do que a sutura com Ultrabraid ($98,8 \pm 29,2$ N). O modo mais comum de falha em todas as técnicas foi a falha da sutura. Não houve diferença significativa entre as técnicas citadas quanto a resposta à carga cíclica.

FANTASIA *et al.* (2012) realizaram uma lesão longitudinal de 1,5 cm em 55 meniscos humanos e observaram maior carga até a falha para duas suturas verticais ($123,8 \pm 3,08$ N) do que com a sutura horizontal ($105,33 \pm 5,71$) ou a sutura de “mulberry” ($94,09 \pm 6,77$ N).

JANSSON *et al.* (2013) compararam as medidas registradas por sensores de pressão em três condições (em ar úmido, submerso em solução salina a 0,9%, e seco). A regressão linear das medidas de carga ao longo do tempo para os sensores de pressão expostos à umidade e submersos mostrou um declínio de 4,6% e 4,7% na mensuração de carga a cada hora nas 6 h iniciais, respectivamente ($\beta = -0,046$; IC95%: -0,053 a -0,039; $p < 0,001$) ($\beta = -0,047$; IC 95%: -0,053 a 0,042; $p < 0,001$). Testes após 72 h de exposição tiveram um declínio de regressão linear na mensuração de carga ao longo do tempo de 0,40% e 0,47% por hora para sensores umidificados e submersos, respectivamente ($\beta = -0,004$; IC95%: -0,006 a -0,003; $p < 0,001$) ($\beta = -0,047$; IC 95%: [-0,053 a -0,042]; $p < 0,001$). Baseados nestes resultados, os autores recomendam que a diminuição na leitura da pressão em ambientes com líquido (como nas articulações cadavéricas) seja levada em consideração, e que os sensores devem ficar submersos em solução salina por mais de 48 horas antes dos testes biomecânicos.

CERMINARA *et al.* (2014) avaliaram a construção transtibial por *pull-out* de reparo da raiz posterior meniscal em seis joelhos porcinos submetidos a um protocolo de carga com 1000 ciclos representando uma reabilitação pós-operatória e observaram maior deslocamento no

componente sutura-menisco (média 2,52 mm; IC 95%, 2,21-2,83) do que no componente botão-osso (média 0,90 mm; IC 95%, 0,64-1,15; $p = 0,006$) e o componente de alongamento da sutura (média 0,71 mm; IC 95%, 0,36-1,06; $p = 0,006$).

LAPRADE *et al.* (2014) através de oito joelhos cadavéricos humanos observaram que a avulsão e lesão meniscal adjacentes à raiz posterior do menisco lateral resultaram em significativas diminuições da área de de contato e aumento da pressão de contato do compartimento lateral em 5 diferentes graus de flexão (0°, 30°, 45°, 60°, 90°) quando submetidos a uma compressão de 1000 N. O reparo meniscal *in situ* por técnica *pull-out* reduziu significativamente as pressões de contato média destas lesões.

PADALECKI *et al.* (2014) através de seis joelhos cadavéricos humanos observaram que o reparo da raiz meniscal e o reparo de lesões radiais a 3, 6 e 9 mm resultam em área e pressão de contato indistinguíveis do menisco intacto quando submetidos à uma compressão axial de 1000 N em 5 diferentes ângulos de flexão do joelho (0°, 30°, 45°, 60°, 90°).

RAMAPPA *et al.* (2014) compararam biomecanicamente duas suturas contínuas realizadas com o aparelho Sequent, com duas suturas verticais isoladas com o mesmo fio de sutura de alta resistência nº 0 usado no Sequent pela técnica *inside-out*, e com duas suturas verticais isoladas usando o Ultra FasT-Fix na lesão meniscal de joelhos porcinos. Os joelhos porcinos foram

randomizados para os três grupos: Sequent (n=3), Ultra FasT-Fix (n=19), e fio de sutura de alta resistência nº 0. Os reparos meniscais foram submetidos à carga cíclica (100, 300 e 500 ciclos), seguidos de carga até a falha. As suturas realizadas com o aparelho Sequent demonstraram menor deslocamento e resposta à carga cíclica do que com outras técnicas, e a sutura com fio de alta resistência nº 0 apresentou a maior carga até a falha.

BRANCH *et al.* (2015) compararam biomecanicamente quatro construções para reparo de lesão radial em meniscos cadavéricos humanos. A média da carga máxima até a falha foi significativamente maior no grupo em que se realizou uma sutura em figura-de-8 associada à uma sutura horizontal ($113 \pm 22\text{N}$) do que nos outros grupos (sutura horizontal inside-out, $64 \pm 20\text{ N}$; sutura horizontal all-inside, 75 ± 16 ; construção Mason-Allen, $86 \pm 19\text{N}$) ($p < 0,02$).

ERDURAN *et al.* (2015) avaliaram biomecanicamente o efeito do ângulo de inclinação dos braços da sutura vertical no reparo meniscal. Realizaram uma lesão longitudinal de 2 cm em 18 meniscos mediais bovinos intactos, que foram divididos entre dois grupos: grupo 1- braços da sutura vertical paralelos, com 2 mm distância entre os braços da sutura ao nível da cápsula, e grupo 2 – braços da sutura vertical divergentes, com 5 mm de distância entre os braços da sutura ao nível da cápsula. O grupo 2 ($120,8 \pm 24,5\text{ N}$) apresentou maior carga até a falha do que o grupo 1 ($90,7 \pm 19,9\text{ N}$) ($p < 0,05$). Todas falhas ocorreram por ruptura da sutura. Não houve diferença no deslocamento após 100 ciclos ou na rigidez entre os grupos.

LAPRADE *et al.* (2015) através de seis joelhos cadavéricos humanos observaram que a área de contato de contato foi significativamente menor após um reparo não anatômico (5 mm posteromedial à inserção nativa) da raiz posterior do menisco medial que o joelho intacto (média de 44% de redução) e significativamente maior para joelhos com raiz meniscal reparada anatomicamente do que o reparo não anatômico (média de 27% de aumento) quando submetidos à 1000 N de compressão axial em 4 diferentes ângulos (0°, 30°, 60°, 90°) de flexão do joelho.

GEESLIN *et al.* (2016) avaliaram 10 joelhos cadavéricos humanos submetidos à seis condições (1-intacto, 2-lesão da raiz posterior do menisco lateral, 3-lesão da raiz e dos ligamentos meniscofemorais, 4-condição 3 associada à lesão do LCA, 5 condição 4 associada à reconstrução do LCA, 6- reconstrução do LCA e reparo da raiz meniscal), em cinco graus de flexão (0°, 30°, 45°, 60°, e 90°), sob uma carga axial de 1000 N. A área de contato e pressão foram medidas com sensores Tekscan. Observou-se que a condição 2 não foi diferente do estado intacto. Para condição 3 a 0° e 90°, a área de contato diminuiu respectivamente 37 e 52% enquanto a pressão de contato média aumentou respectivamente 55 e 87%. A condição de reparo da raiz meniscal e reconstrução do LCA não foi significativamente diferente da condição intacta.

KOH *et al.* (2016) através de testes biomecânicos em 12 meniscos cadavéricos humanos observaram que a ressecção da parte inferior de uma lesão meniscal horizontal resultou em um decréscimo significativo da área

de contato (para uma média de 82,3% da condição intacta a 0° de flexão e 81,8% a 60° de flexão; $p < 0,05$) e um aumento da pressão de contato máxima (uma média de aumento 36,3% a 0° de flexão e 43,2% a 60° de flexão; $p < 0,05$) no compartimento medial. Uma ressecção maior da parte superior remanescente resultou em um decréscimo adicional da área de contato (para uma média de 60,1% da condição intacta a 0° de flexão e 49,7% a 60° de flexão; $p < 0,05$) e um aumento da pressão de contato máxima (uma média de aumento 79,2% a 0° de flexão e 74,9% a 60° de flexão; $p < 0,05$) no compartimento medial.

MILCHTEIM *et al.* (2016) compararam duas suturas verticais com duas suturas cruzadas para o reparo de uma lesão longitudinal completa de 1 cm de extensão em um menisco cadavérico humano, e não observaram diferenças significativas na carga até a falha e rigidez.

IUCHI *et al.* (2017) compararam sete reparos meniscais [1-uma sutura vertical *inside-out*, 2-duas suturas verticais paralelas *inside-out*, 3-sutura vertical “empilhada”(uma sutura vertical na parte femoral do menisco e outra sutura vertical na parte inferior do menisco) *inside-out*, 4-uma sutura horizontal *inside-out*, 5 uma sutura vertical com Ultra FastFix (*all-inside*), 6-duas suturas verticais paralelas com Ultra FastFix, 7-uma sutura horizontal com Ultra FastFix) através de uma carga cíclica entre 5 a 20 N por 330 ciclos seguido por um teste de carga até a falha em 70 meniscos porcinos e observaram que as suturas *inside-out* proporcionam uma melhor estabilização durante o teste cíclico, a sutura vertical é superior comparada à

sutura horizontal nos testes cíclicos e carga até a falha, a sutura “empilhada” é mais forte que as suturas verticais paralelas e que duas suturas têm propriedades biomecânicas superiores comparadas à uma sutura.

MARCHETTI *et al.* (2017) relataram que um reparo *inside-out* com suturas verticais para uma lesão em alça de balde resultava na restauração da área de contato e valores de pressão próximos aos do joelho nativo. No entanto, os mesmos autores relataram que a técnica de reparo vertical em configuração de fileira única foi incapaz de restaurar a área de contato intacta e a pressão de contato máxima em ângulos de flexão $\geq 45^\circ$.

TABRIZI & SHARIYATE (2018) compararam biomecanicamente a técnica de sutura horizontal submeniscal à técnica de sutura vertical em alça em 12 meniscos mediais de touros com lesão longitudinal de 3 cm. Não houve diferença quanto à carga até a falha quando se comparou a sutura horizontal submeniscal ($104,3 \pm 12,5$ N) com a sutura vertical em alça ($110,7 \pm 16,4$ N) ($p = 0,08$). Entretanto, houve uma maior estabilidade do *gap* meniscal com a sutura vertical em alça ($124,6 \pm 11,7$ N) do que com a sutura horizontal submeniscal ($95,4 \pm 8,7$ N) ($p = 0,02$).

KURNAZ *et al.* (2019) compararam a técnica de laço vertical único com a técnica de laço vertical duplo em 22 meniscos humanos (lesão meniscal periférica longitudinal com extensão de 2cm) através do deslocamento sob carga cíclica e carga até a falha. Após 500 ciclos com

carga entre 5 e 30N, houve menor deslocamento do grupo com laço vertical duplo do que com laço vertical único ($6,13 \pm 1,04$ versus $9,3 \pm 2,59$ mm). Não houve diferença significativa na carga até a falha entre as duas técnicas.

LOGAN *et al.* (2019) avaliaram 10 joelhos cadavéricos humanos em seis condições: 1) intacto, 2) lesão do LCA e lesão em alça de balde do menisco medial deslocada, 3) lesão do LCA e lesão em alça de balde do menisco medial reduzida, 4) lesão do LCA e reparo da lesão meniscal com sutura vertical *inside-out*, 5) reconstrução do LCA com tendão patelar e reparo meniscal, e 6) reconstrução do LCA com tendão patelar e meniscectomia. A área de contato e a pressão intra-articular foram mensurados com sensores Tekscan após os joelhos serem submetidos a uma carga axial de 1000 N em 4 ângulos de flexão (0°, 30°, 45°, e 60°). A reconstrução do LCA associada à meniscectomia de uma lesão meniscal medial em alça de balde resultou em um significativo decréscimo da área de contato ($p < 0,05$) e um aumento da pressão intra-articular dos compartimentos medial e lateral em todos ângulos de flexão testados.

MÉTODO

4. MÉTODO

4.1 Preparação dos espécimes

Foram utilizados, neste estudo, vinte joelhos pareados de cadáveres humanos (joelhos direito e esquerdo de 10 cadáveres), do gênero masculino, frescos e congelados, com uma média de idade de 53,1 anos (intervalo de 42-60 anos). Joelhos com evidência artroscópica de lesão meniscal, ruptura dos ligamentos cruzados ou colaterais ou degeneração da cartilagem (maior que a classificação Grau I de Outerbridge) foram excluídos deste estudo. Os espécimes cadavéricos utilizados neste estudo foram doados a bancos de tecidos registrados para fins de pesquisa médica e depois comprados por nossa instituição, *Steadman Phillipon Research Institute* (SPRI) em Vail, Colorado, Estados Unidos da América (EUA), com a doação da empresa Arthrex (Naples, Flórida, EUA). O presente estudo foi totalmente realizado no SPRI, no período de março a julho de 2018. O uso de espécimes de cadáveres para pesquisa não requer aprovação do comitê de ética na instituição dos autores (SPRI).

Os espécimes foram descongelados 24 horas antes da dissecação e testes, e foram dissecados livres de pele, partes moles, músculo, tendão e patela. Os ligamentos colaterais e cruzados do joelho e os aspectos medial, lateral e posterior da cápsula foram mantidos. O fêmur, tíbia e fíbula foram cortados a aproximadamente 20 centímetros (cm) da linha articular. As extremidades cortadas da tíbia distal e fíbula foram então envasadas em um

molde cilíndrico usando polimetimetacrilato (Fricke Dental International Inc., Streamwood, Illinois, EUA) com o platô tibial orientado paralelamente à superfície de teste, de modo que o cimento envolvesse o osso até um ponto 4 cm distalmente à tuberosidade da tibia.

Usando um guia e broca adequados, um túnel transversal de 10 mm de diâmetro foi perfurado através dos epicôndilos femoral medial e lateral, orientados paralelamente às superfícies articulares dos côndilos femorais (LAPRADE *et al.*, 2014; PADALECKI *et al.*, 2014). Foi tomado um cuidado especial para evitar a ruptura das origens dos ligamentos colaterais, durante este processo. Uma haste passando por este túnel atuou como o local de aplicação de carga e o ponto de pivô de para a flexão da construção. Em seguida, foi perfurado um túnel transversal de 5 mm de diâmetro, paralelo ao primeiro, com o eixo central posicionado 18 mm proximal e posterior ao primeiro túnel. Após demarcação cuidadosa, uma osteotomia do côndilo femoral medial oblíqua foi realizada para permitir o acesso ao compartimento medial, com o intuito de evitar lesões do ligamento colateral tibial (LCT) durante a criação das diferentes condições do menisco (Figura 1) (MARTENS *et al.*, 1997). A execução meticulosa desse processo permitiu a preservação da ligação do ligamento cruzado posterior à parede femoral medial e a todas as estruturas do menisco medial. Um parafuso de compressão com arruelas e uma porca foi aplicado através deste túnel de 5 mm de diâmetro para recolocar o côndilo femoral medial e manter a posição anatômica original durante o teste. Devido às altas tensões colocadas na osteotomia durante o testes com maiores graus de flexão, a osteotomia foi reforçada usando uma placa de metal de 1,85 mm x 7,6 mm que atravessou a osteotomia fixada com quatro parafusos de 3,5 polegadas nº 8 (McMaster Carr, Elmhurst, Illinois, EUA).

Para permitir a inserção de um sensor de pressão entre o menisco e o platô tibial, os ligamentos meniscotibiais anteriores (coronários) dos meniscos medial e lateral foram destacados na sua inserção na tíbia, estendendo-se desde anterior ao LCT e ligamento colateral fibular, respectivamente às raízes anteriores, preservando os anexos da raiz anterior. Duas pequenas incisões (5mm) foram feitas para destacar os ligamentos coronarianos posteriores dos meniscos medial e lateral, preservando o ligamento oblíquo posterior e a junção musculotendinosa do poplíteo, respectivamente (HARRIS et al., 1999; MARTENS et al., 1997). A fim de assegurar cápsula suficiente para subsequente sutura meniscal, todos os acessos anteriores e posteriores para colocação do sensor de pressão iniciaram 10 mm abaixo do platô tibial, em seguida, a cápsula e os ligamentos coronarianos foram cuidadosamente descolados de seus anexos tibiais em uma direção inferior a superior. MARTENS *et al.* (1997) relataram nenhuma alteração nos parâmetros biomecânicos tibiofemorais utilizando uma técnica semelhante após a reinserção do côndilo femoral medial osteotomizado e incisão dos ligamentos coronarianos para colocação do filme de pressão.

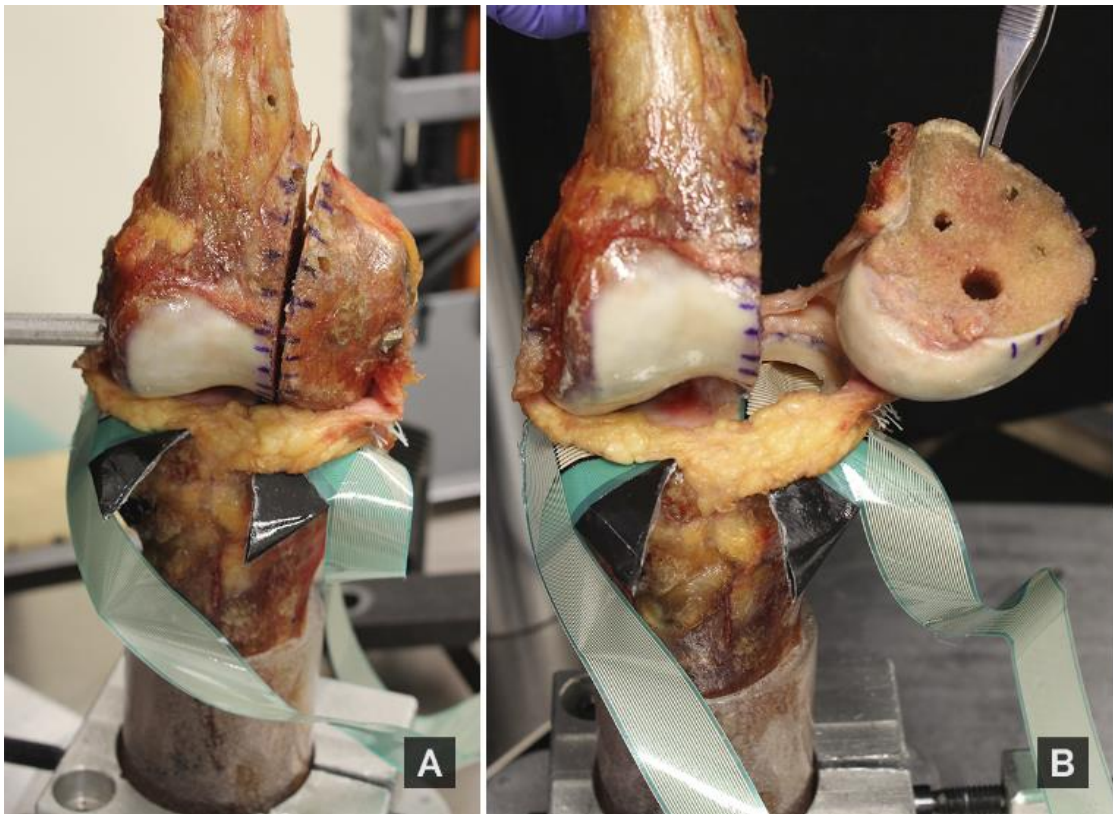


Figura 1. Osteotomia do côndilo femoral medial do joelho (direito) para acesso ao compartimento medial, preservando a integridade do ligamento colateral tibial durante a criação das diferentes condições meniscais. A) Demarcação cuidadosa ao longo da osteotomia para guiar a redução e fixação anatômica da osteotomia, e visualização dos sensores de pressão Tekscan posicionados entre o menisco e platô tibial nos compartimentos medial e lateral (visão anterior), B) Compartimento medial exibido com a osteotomia defletida e completa exposição do menisco (visão anterior), (a sequência de imagens continua na próxima página) (Fotos do autor desta Tese: Gilberto Nakama)

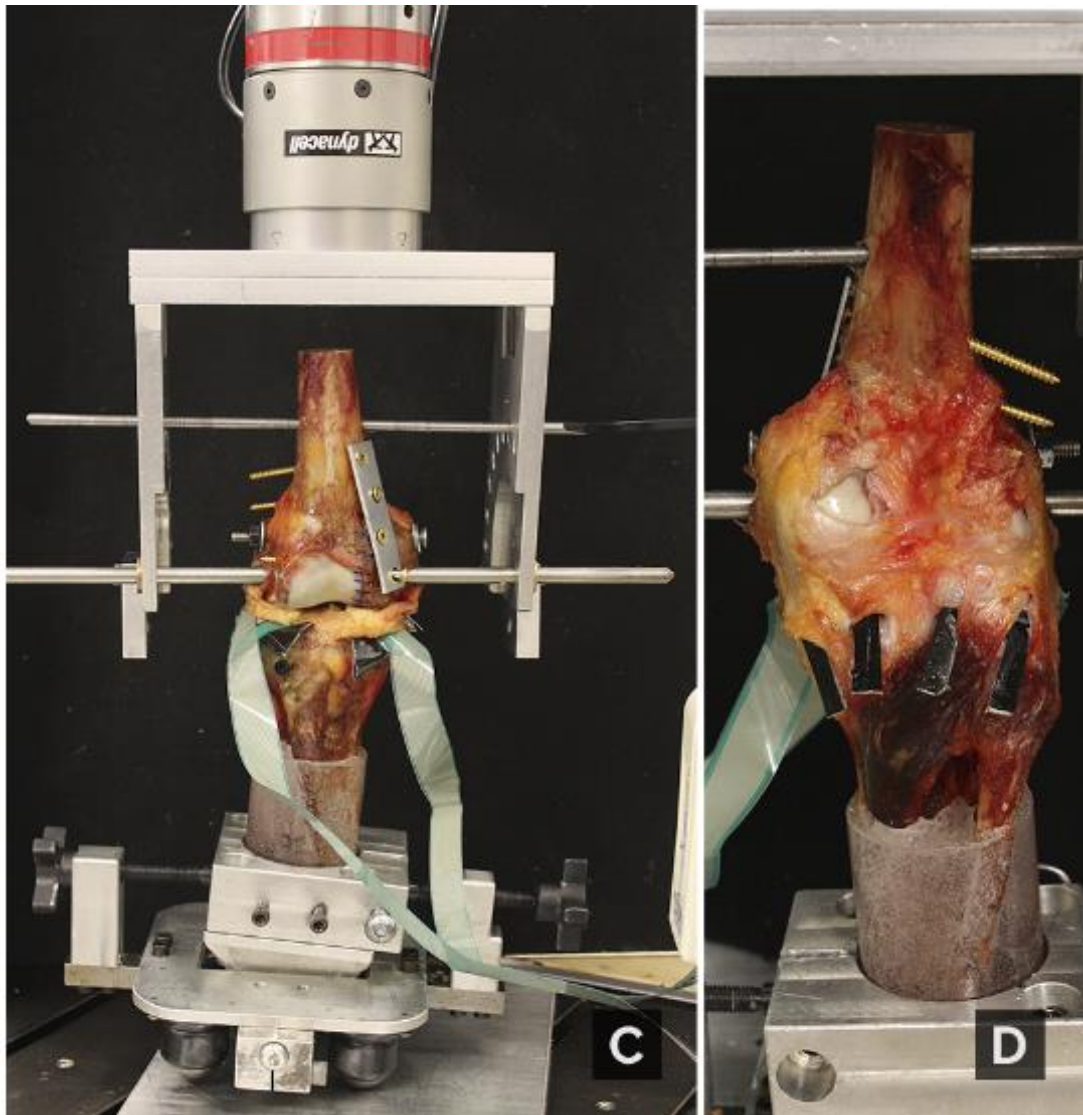


Figura 1. Osteotomia do côndilo femoral medial do joelho (direito) para acesso ao compartimento medial, preservando a integridade do ligamento colateral tibial durante a criação das diferentes condições meniscais. (continuação de imagens) C) Joelho a 0° de flexão (com a osteotomia reduzida e fixada anatomicamente para realização dos testes), acoplado ao atuador de uma máquina de ensaios dinâmicos Instron E10000 (através de um gabarito personalizado para controle do grau de flexão do joelho) e apoiado na plataforma varizante/valgizante (visão anterior), D) Configuração do teste com o joelho a 0° de flexão, e exteriorização dos prolongamentos dos sensores de pressão (cor preta) através de mínimas incisões da cápsula posterior para auxílio de posicionamento (visão posterior). (Fotos do autor desta Tese: Gilberto Nakama).

4.2 Configuração de teste

Novos sensores de pressão Tekscan Model 4000 (Tekscan, South Boston, Massachusetts, EUA) foram calibrados e equilibrados para testes de acordo com as diretrizes do fabricante e protocolos previamente publicados desenvolvidos nesta instituição (JANSSON *et al.*, 2013; LAPRADE *et al.*, 2015). Um novo sensor foi usado para cada espécime para garantir a validade dos dados. Os sensores de duas pontas foram então inseridos nos compartimentos medial e lateral entre a cartilagem articular tibial e o menisco (HARRIS *et al.*, 1999; MARTENS *et al.*, 1997).

A orientação do côndilo medial foi assegurada para ser anatômica, alinhando marcas desenhadas ao longo do local da osteotomia antes do corte. A haste de 10 mm foi então passada através de um gabarito feito sob medida acoplado ao atuador de uma máquina de ensaios dinâmicos Instron E10000 (Instron, Norwood, Massachusetts, EUA), fixando a amostra no aparato de teste (Figura 1).

A angulação em varo ou em valgo do espécime foi ajustada, enquanto uma carga axial foi aplicada ao espécime durante a variação dos ângulos de flexão para equalizar a distribuição da carga axial nos compartimentos medial e lateral (Figura 2). A distribuição da carga total foi confirmada como sendo igual nos compartimentos medial e lateral usando o *feedback* dos sensores de pressão. Esse processo assegurou que as diferenças observadas nas medições da pressão e da área de contato fossem devidas às mudanças de condição e não à inconsistências sutis no posicionamento do eixo de pivô femoral ou distribuição de carga desigual entre os compartimentos. Uma vez

estabelecida essa angulação em varo/valgo, a mesma permaneceu constante durante todo o protocolo de teste.

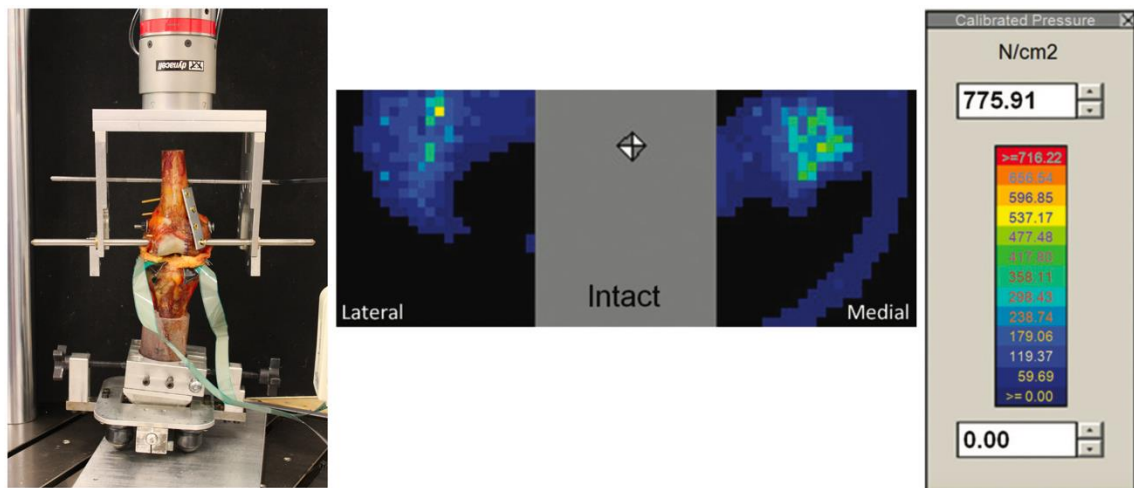


Figura 2. Equalização da carga axial entre os compartimentos medial e lateral através do ajuste em varo ou valgo do espécime. (Fotos do autor desta Tese: Gilberto Nakama)

Finalmente, um túnel transversal de 7 mm foi perfurado através do eixo do fêmur, aproximadamente 7,5 cm proximal e paralelo ao pivô femoral de 10 mm. Uma haste de aço de 7 mm foi passada através deste túnel para permitir a seleção de ângulos de flexão durante o teste (0°, 30°, 60°, 90° e 120°). Este túnel foi alargado após a angulação em varo/valgo ter sido estabelecida, pois testes piloto revelaram que pequenos erros no ângulo dessa haste no acessório poderiam afetar as medidas dos sensores de pressão em diferentes ângulos de flexão. O espécime foi frequentemente umidificado com solução salina para evitar a dessecação dos tecidos durante o período de teste.

4.3 Condições de teste

Cada par de joelhos foi submetido a quatro condições de teste sequenciais do menisco medial: (1) intacto, (2) lesão em alça de balde luxada, (3) configuração de fileira única na superfície superior/femoral do menisco, (4) configuração de fileira dupla adicionando suturas à superfície inferior/tibial do menisco. Um joelho de cada um dos pares foi randomizado para receber o reparo vertical, e o outro o reparo cruzado.

Após cada condição, o joelho foi retirado do aparelho de teste e a osteotomia aberta para visualizar o menisco e permitir a realização da lesão simulada e reparos consistentes em todos os espécimes. A condição intacta também foi testada após realizar a osteotomia. A lesão em alça de balde foi criada usando uma lâmina de bisturi número 15, com 5 cm de extensão, estendendo-se ao longo de 1-3 mm da junção meniscocapsular, de posterior para anterior, iniciando se a 1 cm do local de inserção da raiz meniscal posterior até um ponto imediatamente anterior ao ligamento meniscotibial do LCT profundo (Figura 3). Foi realizada uma demarcação cuidadosa da extensão da lesão no menisco com caneta de Codman e régua, previamente à incisão. Foram utilizadas duas régua que acompanham a caneta de Codman, uma sobre outra, entre o menisco e o sensor de pressão, para proteger o sensor de pressão durante a incisão do menisco durante a criação da lesão meniscal em alça de balde.

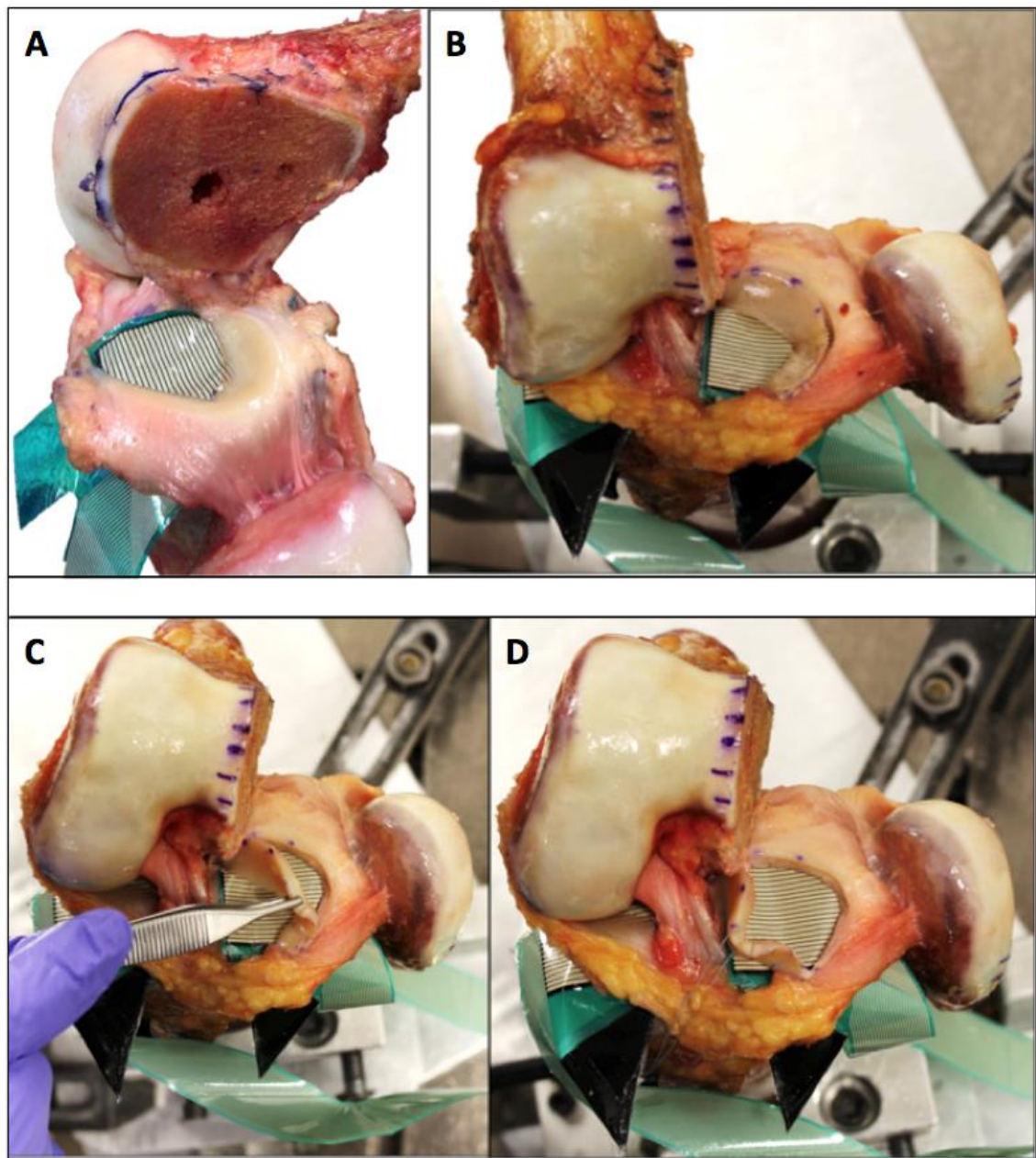


Figura 3. Criação da condição de lesão meniscal em alça de balde. A) Côndilo femoral medial do joelho direito defletido após osteotomia, com exposição do menisco medial intacto e interposição do sensor de pressão entre o menisco e o platô tibial (visão súpero-medial), B) Demarcação cuidadosa da extensão da lesão com caneta de Codman previamente à incisão. A lesão em alça de balde foi criada usando uma lâmina de bisturi número 15, com 5 cm de extensão, estendendo-se ao longo de 1-3 mm da junção meniscocapsular, de posterior para anterior, iniciando se a 1 cm do local de inserção da raiz meniscal posterior até um ponto imediatamente anterior ao ligamento meniscotibial do LCT profundo, C) Criação de lesão em alça de balde completa por toda extensão, conforme planejado, confirmado com o auxílio de uma pinça, D) Manutenção da lesão meniscal em alça

de balde em posição luxada através de um fio de sutura atravessado pela lesão e amarrado a um parafuso fixado à tuberosidade da tíbia. (Fotos do autor desta Tese: Gilberto Nakama)

Na condição 2, a lesão meniscal em alça de balde foi mantida na posição luxada usando um fio de sutura não absorvível FiberWire n° 2 (Arthrex, Naples, Flórida, EUA) passada através do local da lesão meniscal e amarrada a um parafuso fixado à tuberosidade da tíbia (Figura 4).

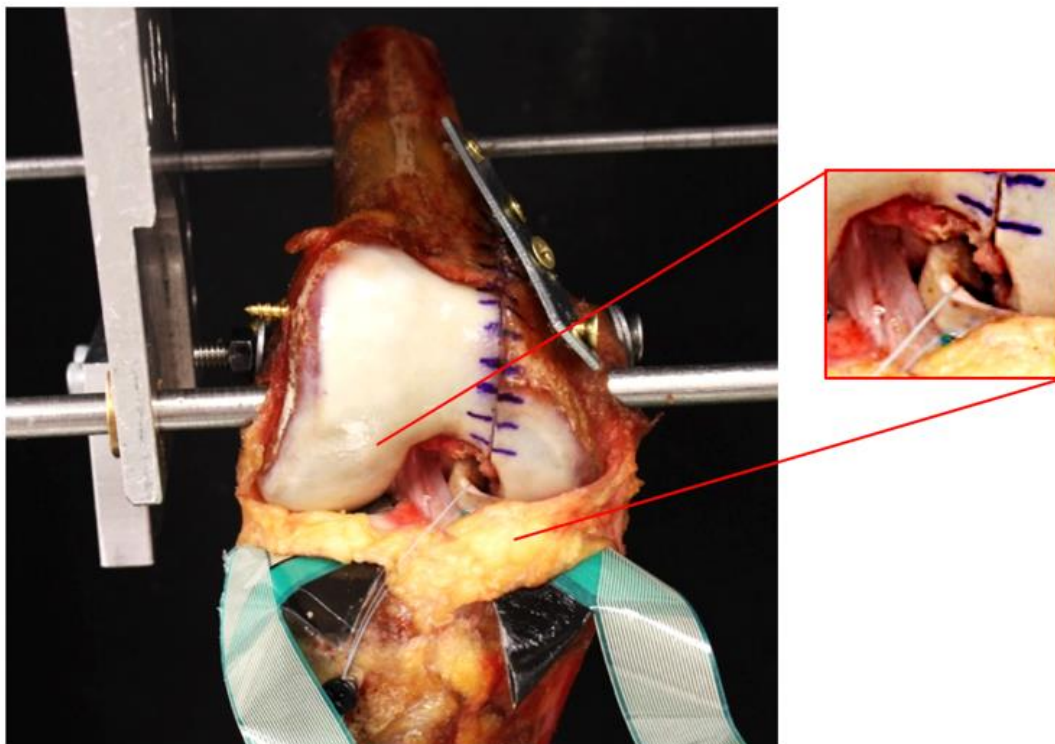


Figura 4. Lesão de alça de balde luxada e osteotomia fechada com o joelho a 60° de flexão. A lesão em alça de balde do menisco medial está mantida na posição luxada com o auxílio de um fio de sutura, enlaçando a lesão, amarrado à um parafuso na tuberosidade da tíbia. No quadro menor, destaca-se a manutenção adequada da condição de lesão meniscal luxada durante os testes. (Foto do autor desta Tese: Gilberto Nakama)

Na Condição 3, a técnica de sutura randomizada foi realizado de forma *inside-out* utilizando um conjunto de sutura Meniscus Protector (Arthrex,

Naples, Flórida, EUA) (Figura 5) e uma sutura não absorvível FiberWire nº 2 (Arthrex, Naples, Flórida, EUA). Cada sutura foi amarrada usando 5 nós sobre a cápsula. A primeira fileira de suturas (configuração de fileira única) foi colocada no aspecto superior/femoral do menisco medial para essa condição. No grupo sutura vertical, 10 suturas verticais foram separadas a uma distância de 5 mm, através da lesão e parte capsular do menisco. Para a sutura cruzada, os pontos de entrada da sutura na cápsula e menisco são semelhantes, porém em uma disposição cruzada, de modo que colocamos 5 conjuntos de 2 suturas cruzadas sobre a lesão com cada conjunto separado a 5 mm de distância.



Figura 5. Conjunto de sutura *Meniscus Protector* da empresa Arthrex®. Guia canulado e agulha de sutura com laço em extremidade para passagem do fio de sutura. Disponível em: <https://www.arthrex.com/products/AR-4060S>

Na Condição 4, a técnica de sutura designada foi repetida e adicionada ao aspecto inferior/tibial do menisco para criar uma configuração de fileira dupla (Figuras 6, 7 e 8).

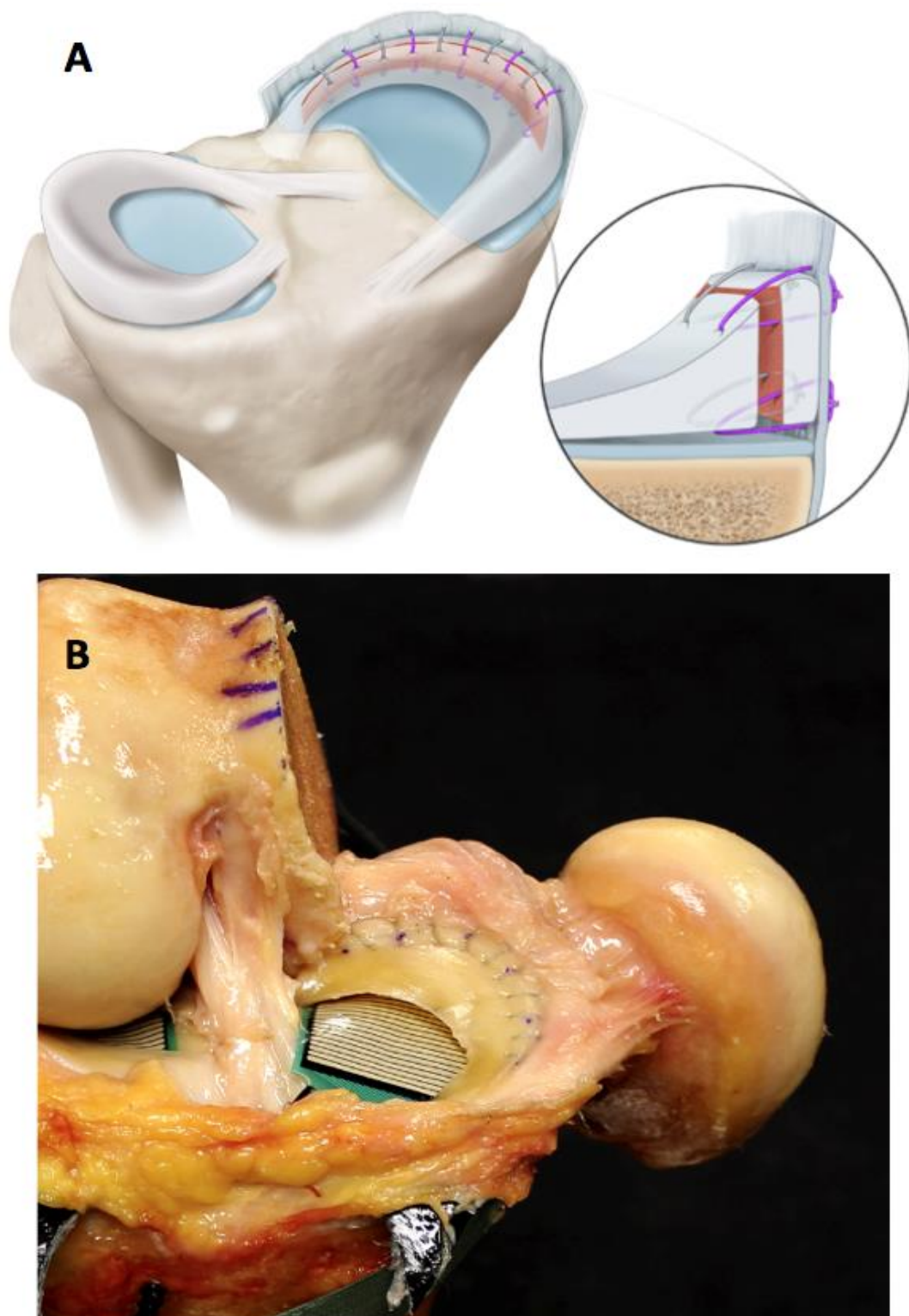


Figura 6. Técnica de sutura vertical e configuração de fileira dupla para lesão meniscal medial em joelho direito. A) Ilustração, B) Visão macroscópica das suturas. (Imagens do autor desta Tese: Gilberto Nakama, sendo que a ilustração foi encomendada ao ilustrador Andy Evansen)

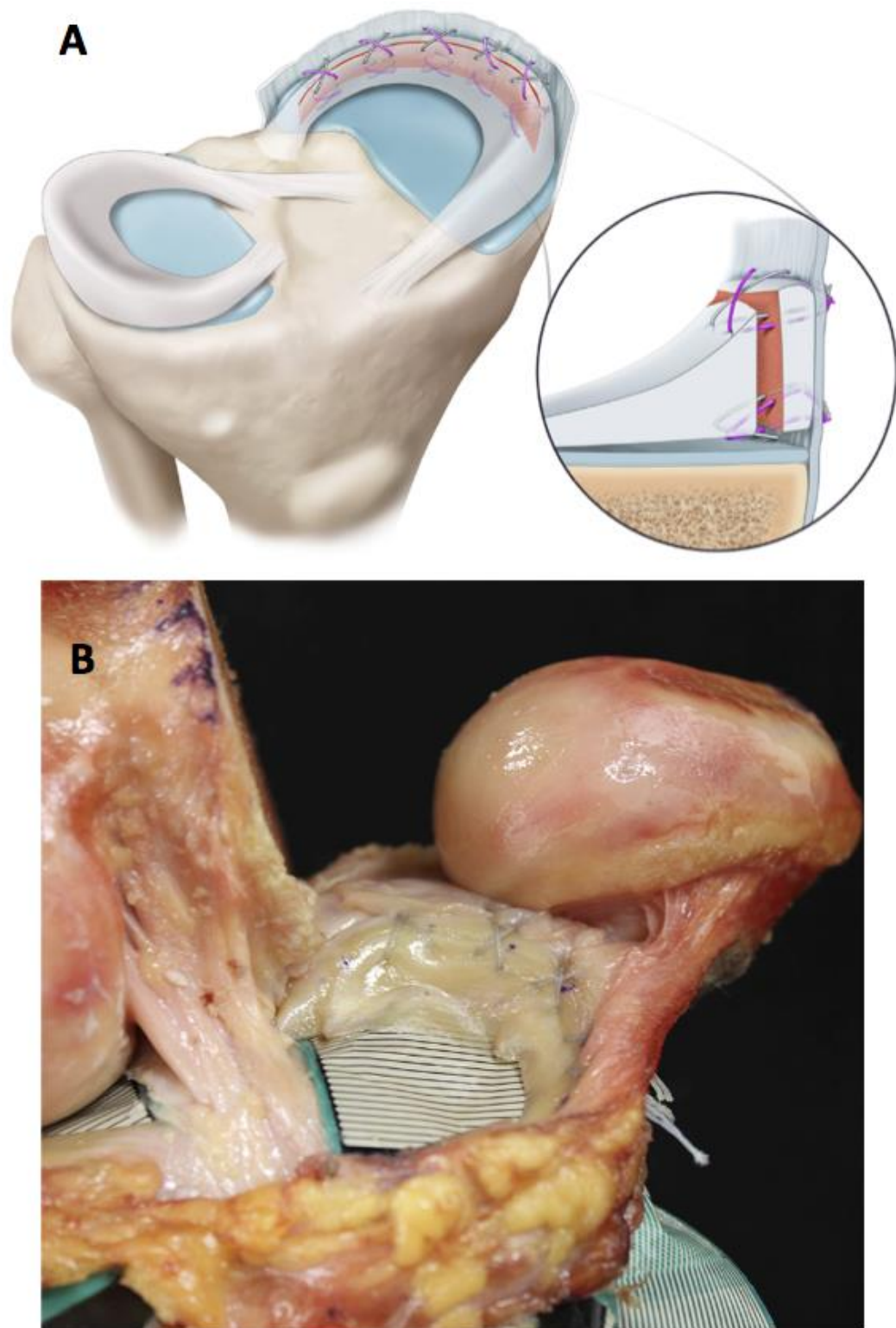


Figura 7. Técnica de sutura cruzada e configuração de fileira dupla para lesão meniscal medial em joelho direito. A) Ilustração, B) Visão macroscópica das suturas. (Imagens do autor desta Tese: Gilberto Nakama, sendo que a ilustração foi encomendada ao ilustrador Andy Evansen)

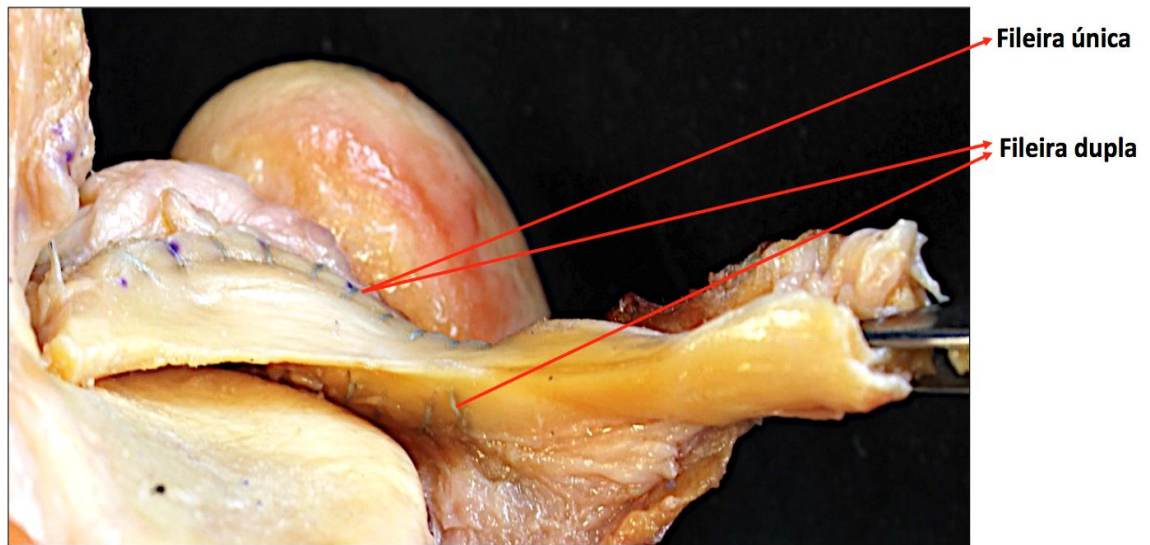


Figura 8. Desinserção da raiz anterior do menisco medial do joelho direito para clara visualização macroscópica das suturas verticais na superfície superior do menisco (fileira única) e a adição de suturas verticais na superfície inferior do menisco para confecção da fileira dupla (visão anterior). (Imagens do autor desta Tese: Gilberto Nakama)

4.4 Testes Biomecânicos

Todos os espécimes foram testados com uma carga compressiva axial constante de 1000 Newtons (N) (LAPRADE *et al.*, 2014) ao longo do eixo da tíbia por 30 segundos em cinco ângulos de flexão, randomizados (0°, 30°, 60°, 90° e 120°) para cada condição testada. As condições meniscais foram sempre testadas sequencialmente, na mesma ordem, mas a ordem dos ângulos de flexão a serem testados em cada condição foi determinada randomicamente. A mecânica de pressão de contato foi registrada usando sensores de mapeamento de pressão Tekscan 4000 (Tekscan, South Boston, MA, EUA) avaliando a área de contato, a pressão de contato média e a pressão de contato máxima. Antes de cada ângulo de flexão do joelho ser

testado, uma carga de 200 N foi colocada no joelho e a posição do sensor de pressão foi ajustada para garantir que a carga máxima possível estivesse sendo transmitida ao sensor. As células mortas que resultaram de danos nos sensores durante o teste foram reconciliadas durante o pós-processamento, preenchendo o conjunto de dados com valores médios das linhas e colunas de células circundantes.

4.5 Processamento de dados

Foi relatado que os sensores de pressão Tekscan perdem linearmente a sensibilidade para a amplitude de carga de pico durante os testes biomecânicos de compressão (LAPRADE *et al.*, 2015). Levando isso em consideração, a taxa de declínio foi avaliada durante os testes e foi observada em 0,7% por teste através de um modelo de regressão. A média bruta e os dados da pressão de contato foram processados usando um ajuste depreciativo de 0,7% por teste, da mesma forma que estudos anteriores (JANSSON *et al.*, 2013; PADALECKI *et al.*, 2014; LAPRADE *et al.*, 2015; GEESLIN *et al.*, 2016) (Figura 9).

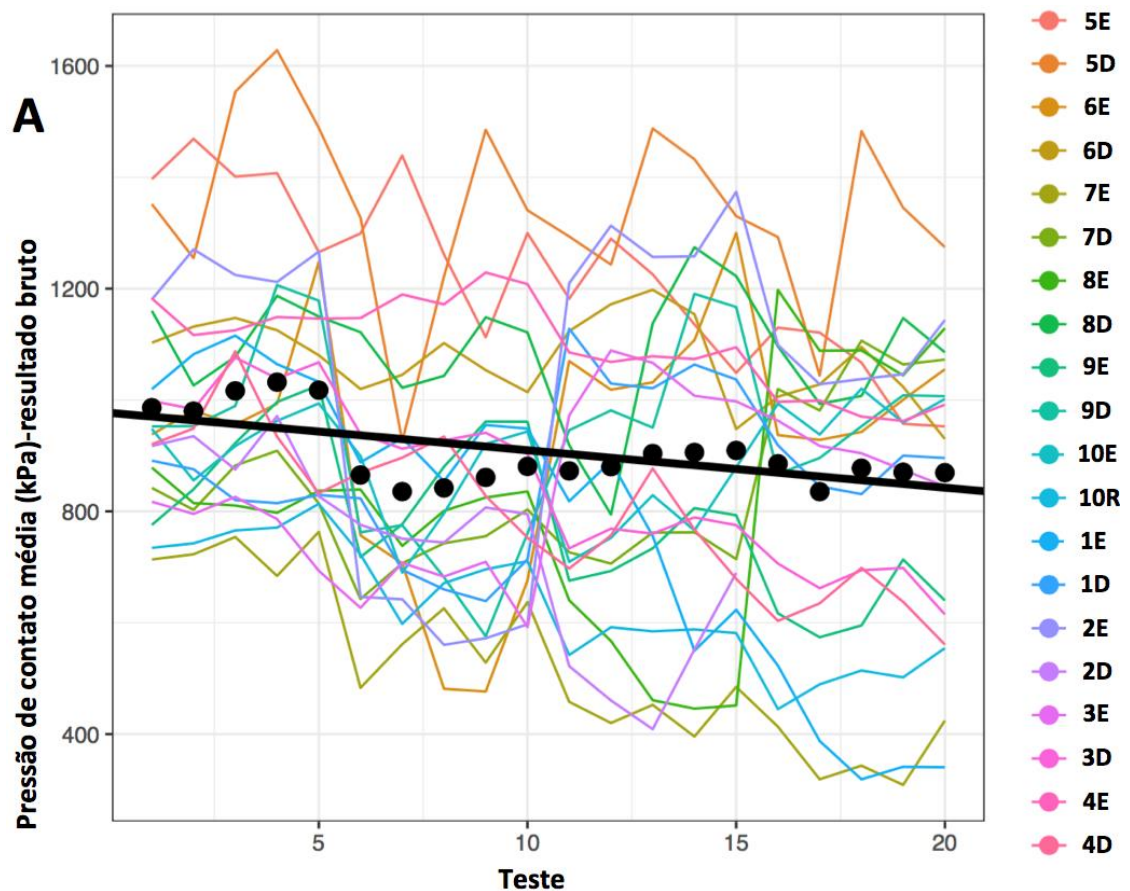


Figura 9. Ajuste dos dados devido à perda de sensibilidade linear dos sensores de pressão. A) Gráfico de resultados brutos da pressão de contato média de todos espécimes em 4 condições sequenciais diferentes (intacto, lesão em alça de balde, configuração de fileira única de suturas, e configuração de fileira dupla de suturas), e 5 graus de flexão do joelho (0° , 30° , 60° , 90° e 120°) avaliados de forma randomizada, totalizando 20 combinações de condição e flexão do joelho. (a sequência de imagens continua na próxima página)

1 kilopascal (kPa) = $0,001 \text{ N/mm}^2$; $1000 \text{ kPa} = 1 \text{ N/mm}^2$

E = joelho esquerdo do cadáver; D = joelho direito do cadáver

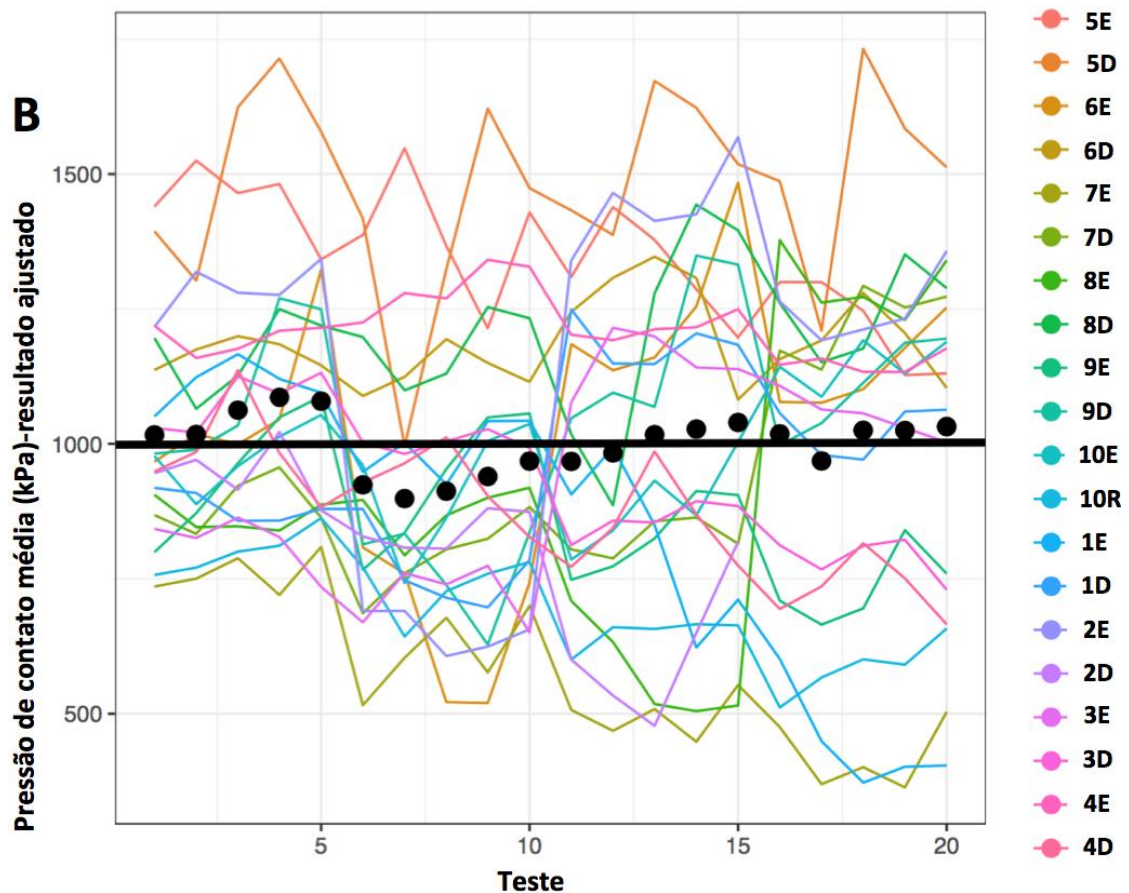


Figura 9. Ajuste dos dados devido à perda de sensibilidade linear dos sensores de pressão. (continuação de imagens) B) Gráfico de resultados ajustados (de acordo com a perda de sensibilidade linear dos sensores de pressão calculada através de um modelo de regressão) da pressão de contato média de todos espécimes em 4 condições sequenciais diferentes (íntacto, lesão em alça de balde, configuração de fileira única de suturas, e configuração de fileira dupla de suturas), e 5 graus de flexão do joelho (0° , 30° , 60° , 90° e 120°) avaliados de forma randomizada, totalizando 20 combinações de condição e flexão do joelho.

1 kilopascal (kPa) = $0,001 \text{ N/mm}^2$; $1000 \text{ kPa} = 1 \text{ N/mm}^2$

E = joelho esquerdo do cadáver; D = joelho direito do cadáver

4.6 Análise Estatística

Para considerar a natureza das medidas repetidas do desenho experimental, modelos lineares de efeitos mistos foram usados para comparar a área de contato, pressão de contato média e pressão de contato máxima entre os estados do joelho e entre pares de espécimes nos quais diferentes técnicas de sutura foram realizadas (sutura vertical versus sutura cruzada). Modelos lineares de efeitos mistos de um fator foram construídos para comparar os estados do joelho em cada ângulo de flexão e para cada técnica de sutura separadamente. As técnicas de sutura vertical e cruzada, realizadas em espécimes pareados, foram diretamente comparadas usando modelos lineares de efeitos mistos de dois fatores (técnica e ângulo de flexão). Essa abordagem foi usada separadamente para as configurações de fileira única e dupla. Diagnósticos residuais foram realizados para garantir um ajuste do modelo de qualidade e as premissas do modelo foram atendidas. Comparações post-hoc de Tukey foram usadas para fazer comparações pareadas entre os grupos. Como simplificação da análise completa do modelo linear de efeitos mistos, consideramos o poder estatístico das comparações de medidas repetidas individuais de médias de grupo. De acordo com nosso cálculo amostral, prévio à realização do estudo, assumindo testes paramétricos bicaudais e um nível alfa de 0,05, 10 espécimes para cada grupo (técnicas de sutura vertical e cruzada) seriam suficientes para detectar um tamanho de efeito (d de Cohen) = 1,0 com 80% de poder estatístico. Quando definimos um tamanho do efeito (d de Cohen) = 1, detectamos diferenças entre as médias maiores que 1 desvio padrão, o que significa que 84,1% dos resultados do grupo controle estão abaixo da média do grupo

experimental (Figura 10). COHEN (1988) define a magnitude de d em: 0,2 - tamanho de efeito pequeno, 0,5 - tamanho de efeito; e 0,8 - tamanho de efeito grande.

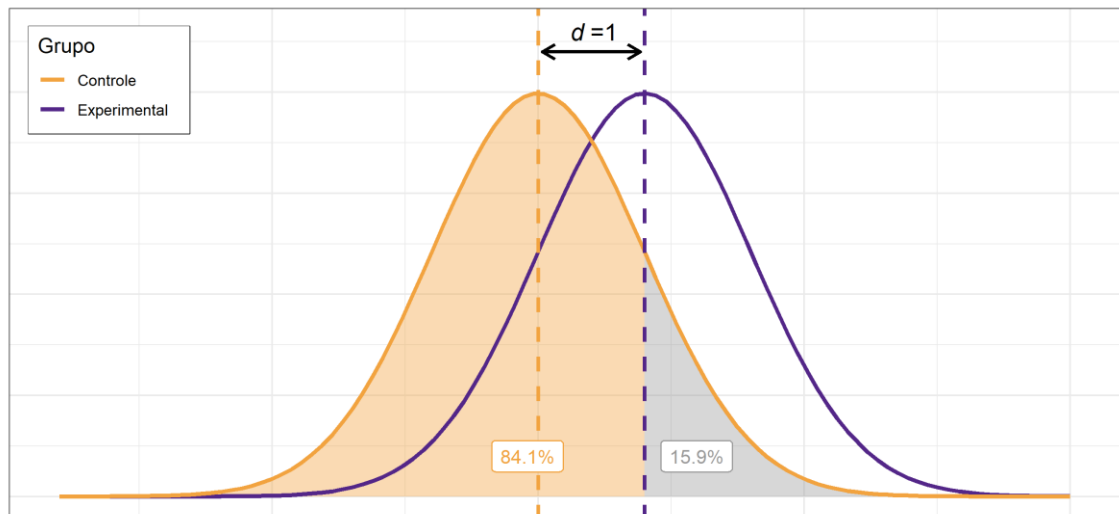


Figura 10. Tamanho de efeito (d de Cohen) = 1 para cálculo amostral. Para o cálculo amostral, foi definido um tamanho de efeito (d de Cohen) = 1, portanto, resultados com diferença estatisticamente significativa, serão identificados quando houver a diferença de pelo menos 1 desvio padrão entre as médias do grupo controle e experimental. Assumindo uma distribuição normal para os grupos, quando há um $d = 1$, 84,1% dos resultados do grupo controle estão abaixo da média do grupo experimental.

O estudo foi desenhado para detectar diferenças entre médias com desvio padrão maior que 1. Portanto, diferenças entre as comparações que tivessem um tamanho de efeito inferior a 1, não foram consideradas estatisticamente significantes neste estudo. O software estatístico R (versão 3.5.0) foi utilizado para todos os gráficos e análises (WICKHAM, 2009; BATES *et al.*, 2015; R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. ÁREA DE CONTATO DO COMPARTIMENTO MEDIAL

5.1.1. Área de Contato do Compartimento Medial – Grupo Sutura Vertical

Não foram encontradas diferenças significativas em qualquer ângulo de flexão para a área de contato entre as configurações de fileira única ou dupla quando comparado ao estado intacto, com exceção de uma diminuição significativa na área de contato a 0° entre a fileira dupla e o estado intacto (Tabela 1 e Figura 11A). As configurações de fileira única e dupla aumentaram significativamente a área de contato em todos os ângulos de flexão, quando comparadas ao estado de lesão em alça de balde (Figura 11A).

5.1.2 Área de Contato do Compartimento Medial - Grupo Sutura Cruzada

Nenhuma diferença significativa foi encontrada em qualquer ângulo de flexão entre a configuração de fileira única quando comparada ao estado

intacto, no entanto, a 0°, 60° e 90° a área de contato foi significativamente diminuída entre a configuração de fileira dupla e o estado intacto (Tabela 1 e Figura 11B). As configurações de fileira única e dupla aumentaram significativamente a área de contato em todos os ângulos de flexão, quando comparadas ao estado de lesão meniscal em alça de balde, exceto a 0° para configuração de fileira dupla. (Figura 11B).

Tabela 1 - Área de contato (mm²) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão^a

	SUTURA VERTICAL		SUTURA CRUZADA	
	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA
0°	-51,77 [-127,77; 24,22] (0,296)	*-82,42 [-158,41; -6,50] (0,027)	11,45 [-83,82; 106,72] (0,990)	*-98,23 [-190,47; -5,97] (0,032)
30°	-36,29 [-154,06; 81,48] (0,858)	-62,26 [-180,03; 55,51] (0,526)	-2,34 [-87,76; 83,14] (0,999)	-67,74 [-150,34; 14,86] (0,151)
60°	-34,03 [-137,21; 69,14] (0,832)	-61,45 [-164,63; 41,72] (0,420)	-10,23 [-83,94; 63,48] (0,984)	*-118,71 [-189,98; -47,44] ($< 0,001$)
90°	6,78 [-107,72; 121,27] (0,999)	-15,65 [-130,14; 98,85] (0,985)	-38,33 [-132,06; 55,45] (0,720)	*-114,03 [-204,60; -23,46] (0,007)
120°	-13,71 [-112,79; 85,30] (0,985)	-11,45 [-110,53; 87,62] (0,991)	-4,42 [-108,66; 99,93] (0,999)	-45,48 [-146,18; 55,22] (0,652)

Formato dos resultados: Média [Intervalo de Confiança de 95%] (valor-p)

^a Valores negativos denotam diminuição da área de contato em relação à condição intacta, e valores positivos, o oposto

* denota $p < 0,05$ (não houve reestabelecimento da área de contato)

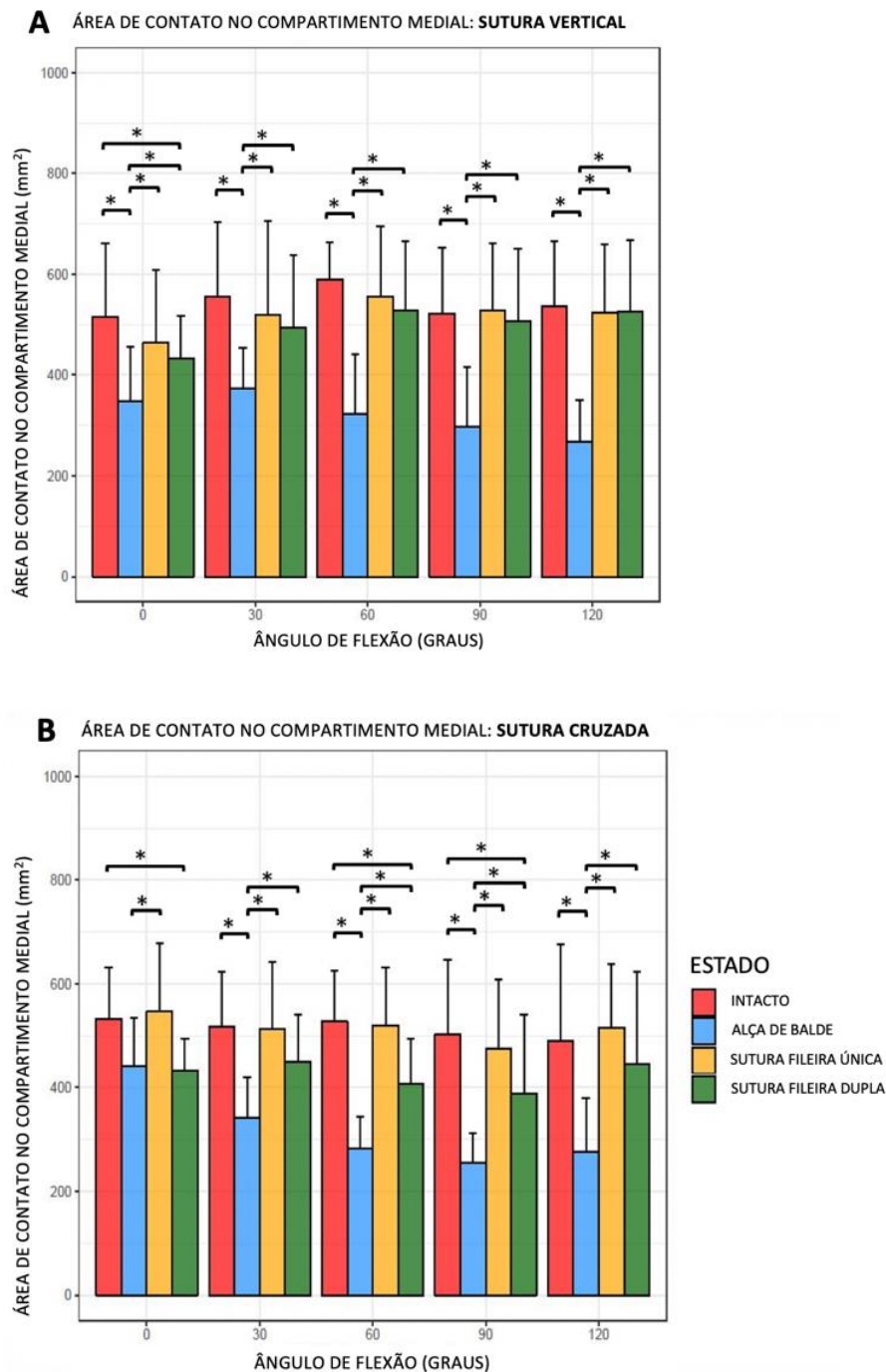


Figura 11. Área de contato do compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão A) grupo de sutura vertical e B) grupo de sutura cruzada. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão. * denota $p < 0,05$.

5.2. PRESSÃO DE CONTATO MÉDIA DO COMPARTIMENTO MEDIAL

5.2.1. Pressão de Contato Média do Compartimento Medial - Grupo Sutura Vertical

Não foram encontradas diferenças significativas na pressão de contato média para o grupo de reparo vertical em qualquer condição e em qualquer ângulo de flexão (Tabela 2; Figura 12A).

5.2.2. Pressão de Contato Média do Compartimento Medial - Grupo Sutura Cruzada

Não foram encontradas diferenças significativas entre as configurações de fileira única e dupla e o estado intacto em qualquer ângulo de flexão.

A pressão de contato média foi significativamente menor nos grupos de configurações em fileira única e dupla a 30 °, 60 °, 90 ° e 120 ° quando comparada com a condição de lesão meniscal em alça de balde (Tabela 2; Figura 12B).

Tabela 2. Pressão de contato média (kilopascal) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão.

	SUTURA VERTICAL		SUTURA CRUZADA	
	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA
0°	129,30 [-291,24; 549,87] (0,859)	373,20 [-47,31; 793,79] (0,103)	-5,41 [-264,51; 253,69] (1,000)	97,91 [-152,23; 348,05] (0,746)
30°	53,00 [-147,21; 253,21] (0,905)	9,55 [-190,66; 209,76] (0,999)	57,08 [-234,39; 348,54] (0,958)	-17,19 [-298,77; 264,40] (0,999)
60°	-13,00 [-508,24; 482,25] (1,000)	119,30 [-375,91; 614,59] (0,926)	33,01 [-329,33; 395,34] (0,995)	26,16 [-323,92; 376,24] (0,997)
90°	-32,04 [-731,59; 667,51] (0,999)	194,55 [-505,00; 894,10] (0,891)	-11,68 [-594,27; 570,90] (1,000)	-131,35 [-694,37; 431,67] (0,932)
120°	-177,98 [-792,67; 436,70] (0,879)	-73,84 [-688,52; 540,84] (0,990)	-55,61 [-630,55; 519,33] (0,995)	-154,21 [-709,99; 401,57] (0,892)

Formato dos resultados: Média [Intervalo de Confiança de 95%] (valor-p)

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

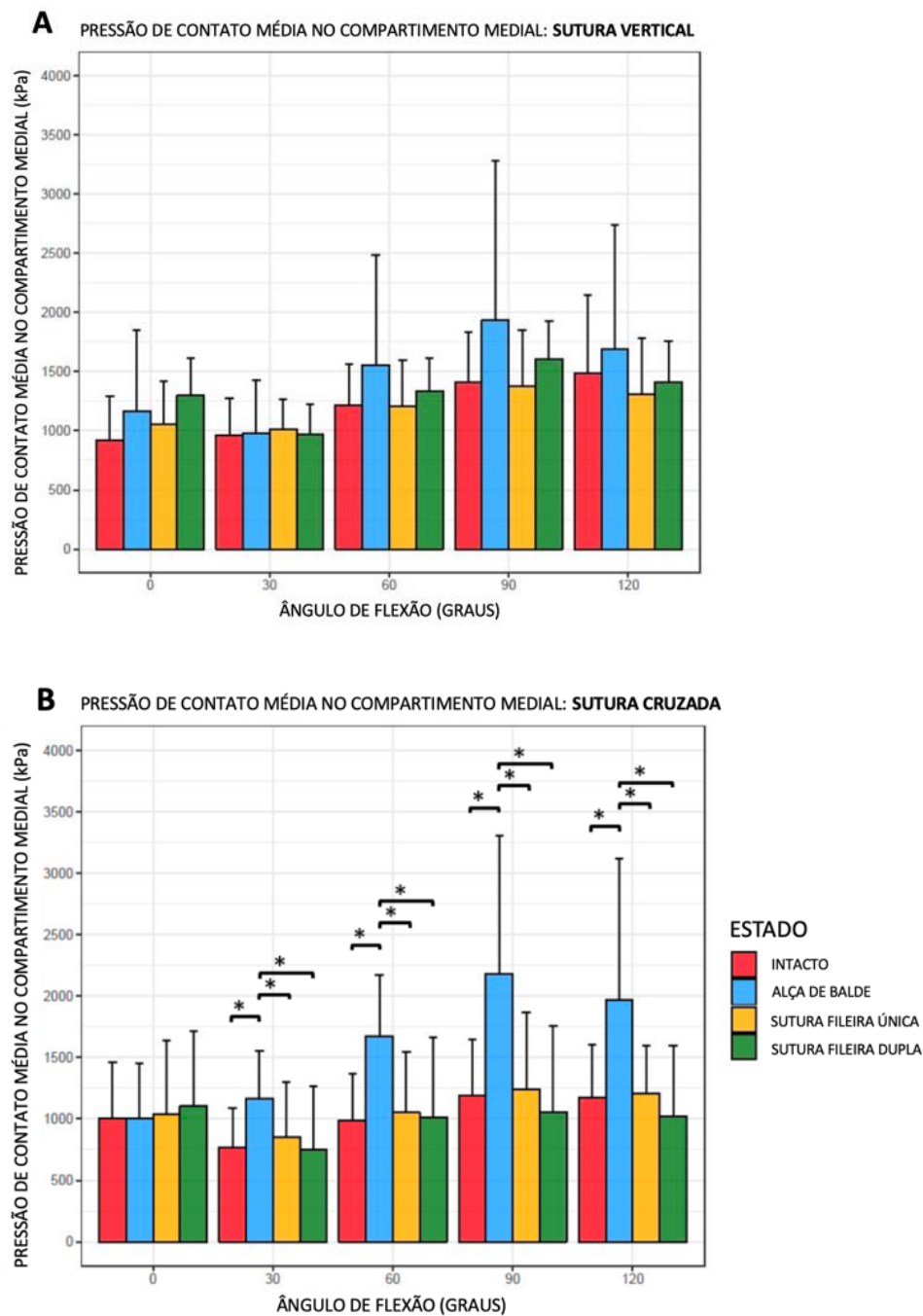


Figura 12. Pressão de contato média no compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão A) grupo de sutura vertical e B) grupo de sutura cruzada. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão. * denota $p < 0,05$.

5.3. PRESSÃO DE CONTATO MÁXIMA DO COMPARTIMENTO MEDIAL

5.3.1 Pressão de Contato Máxima do Compartimento Medial - Grupo Sutura Vertical

Não foram encontradas diferenças significativas na pressão de contato máxima, em qualquer ângulo de flexão, para o grupo de sutura vertical, com exceção de um aumento significativo na pressão de contato máximo a 0° entre o estado intacto e a condição de lesão meniscal em alça de balde (Figura 13A).

5.3.2 Pressão de Contato Máxima do Compartimento Medial - Grupo Sutura Cruzada

Não foram encontradas diferenças significativas entre as configurações em fileira única ou dupla e o estado intacto em qualquer ângulo de flexão (Tabela 3). O reparo em configuração de fileira dupla reduziu significativamente a pressão de contato máxima em todos os ângulos de flexão, exceto em 0°, quando comparado à condição de lesão meniscal em alça de balde. A configuração em fileira única só apresentou uma diminuição significativa na pressão de contato em relação a 120° de flexão à condição de lesão meniscal em alça de balde (Figura 13B).

Tabela 3. Pressão de contato máxima (kilopascal) do compartimento medial do joelho com as configurações de fileira única e fileira dupla da sutura vertical e cruzada em relação à condição intacta por ângulo de flexão.

	SUTURA VERTICAL		SUTURA CRUZADA	
	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA	FILEIRA ÚNICA	FILEIRA DUPLA
0°	396,50 [-938,78; 1731,69] (0,871)	1320,70 [-14,51; 2655,97] (0,054)	-123,92 [-1206,08; 958,24] (0,991)	-196,76 [-1241,83; 848,31] (0,963)
30°	150,04 [-619,75; 919,83] (0,959)	133,93 [-635,86; 903,72] (0,970)	193,81 [-747,10; 1134,73] (0,952)	-82,29 [-991,30; 826,73] (0,996)
60°	-85,71 [-1470,25; 1298,82] (0,999)	390,60 [-993,82; 1775,25] (0,887)	387,60 [-896,81; 1671,91] (0,870)	-269,70 [-1510,95; 971,62] (0,944)
90°	-90,50 [-1828,99; 1647,99] (0,999)	620,00 [-1118,48; 2358,49] (0,796)	-162,80 [-1435,74; 1761,35] (0,994)	-432,40 [-1976,04; 1111,33] (0,889)
120°	-217,31 [-1859,69; 1425,07] (0,986)	214,48 [-1427,91; 1856,86] (0,986)	-42,71 [-1583,05; 1497,64] (1,000)	-460,05 [-1947,13; 1027,03] (0,857)

Formato dos resultados: Média [Intervalo de Confiança de 95%] (valor-p)

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

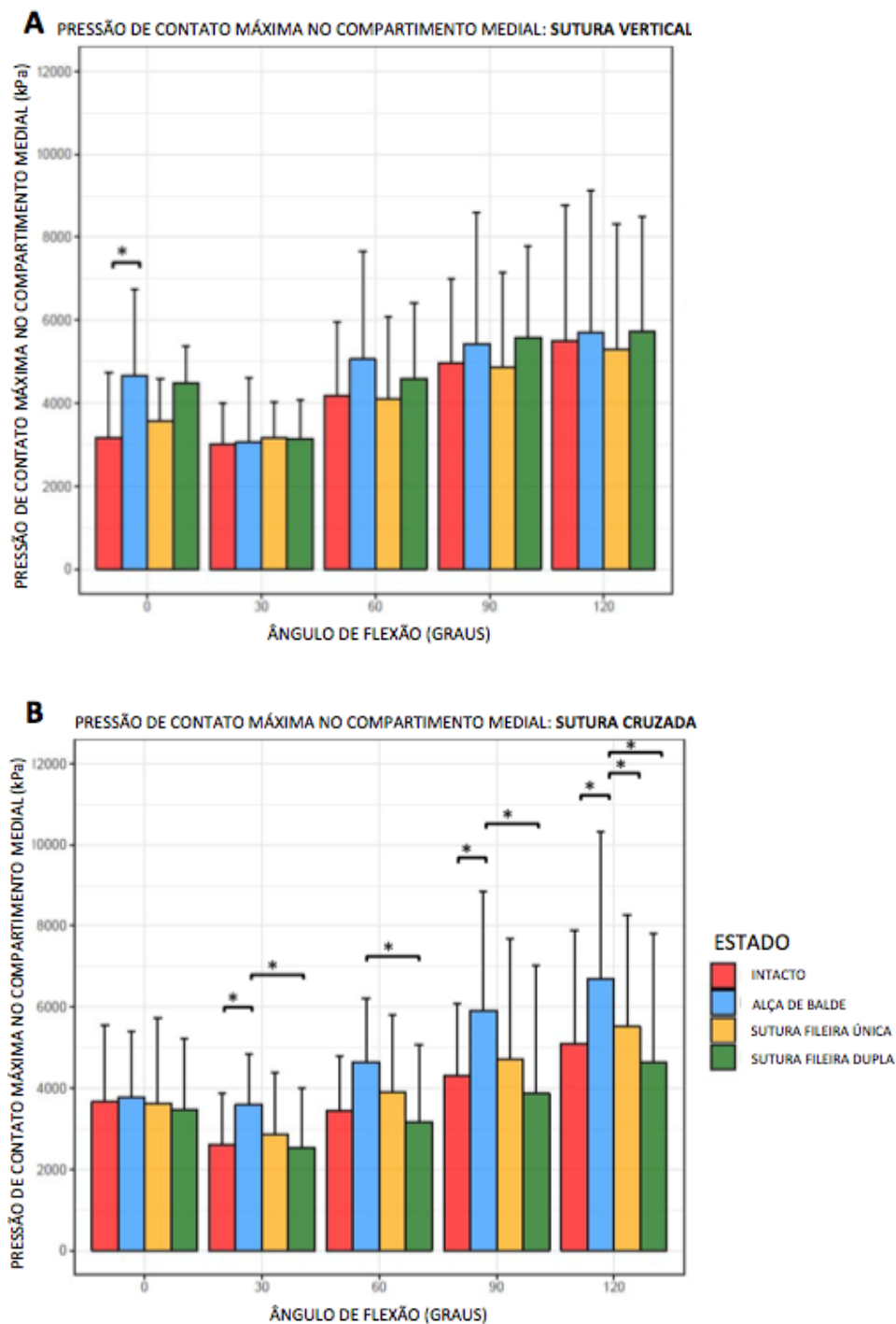


Figura 13. Pressão de contato máxima no compartimento medial nas diferentes condições meniscais e diferentes ângulos de flexão A) grupo de sutura vertical e B) grupo de sutura cruzada. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão. * denota $p < 0,05$.

5.4. COMPARAÇÃO INTRAGRUPPO

5.4.1. Comparação Intragrupo - Fileira Única versus Fileira Dupla

As comparações intragrupo foram examinadas através de modelos lineares de efeitos mistos para um fator para verificar quaisquer efeitos do uso da configuração em fileira única ou dupla; não foram encontradas diferenças significativas em nenhuma das métricas analisadas, em qualquer ângulo de flexão, entre as configurações de fileira única e dupla para as técnicas de sutura vertical e de cruzada ($p > 0,05$). (Figuras 11,12 e 13)

5.5. COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS

5.5.1 Comparação entre Grupos – Sutura Vertical versus Sutura Cruzada.

Foram feitas comparações entre os grupos para verificar quaisquer efeitos da utilização da técnica de sutura vertical ou da técnica de sutura cruzada, em todos os ângulos de flexão. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos sutura vertical ou cruzada na configuração de fileira única para qualquer uma das métricas analisadas. Na configuração em fileira dupla, a técnica de sutura cruzada mostrou área de contato

significativamente menor (72 mm²), bem como reduções significativas nas pressões de contato média (333,21 kPa) e máxima (1167,02 kPa) quando comparadas à técnica de sutura vertical. (todos $p < 0,001$).

DISCUSSÃO

6. DISCUSSÃO

Os achados mais importantes deste estudo foram que as configurações em fileira única e fileira dupla das técnicas de sutura vertical e cruzada realizadas de modo *inside-out* para lesão em alça de balde do menisco medial restauraram a pressão tibiofemoral nativa em todos os ângulos avaliados, dentro dos limites detectáveis determinados pela análise de poder do teste. A configuração em fileira dupla com suturas cruzadas resultou em uma diminuição da pressão de contato média e máxima, além de um decréscimo da área de contato quando comparada através de todos ângulos de flexão simultaneamente com a configuração em fileira dupla de suturas verticais. Apesar do fato da configuração em fileira dupla de suturas cruzadas levar à diminuição da pressão em comparação com a configuração em fileira dupla de suturas verticais, ambas as condições de reparo meniscal restauraram a pressão tibiofemoral em comparação com seus respectivos estados intactos, e não houve diferença ao comparar diretamente a configuração em fileira única com a dupla, tanto para a técnica de sutura vertical como para a técnica de sutura cruzada. Além disso, a configuração em fileira única das técnicas de sutura cruzada e vertical foi suficiente para restaurar as áreas de contato de seus respectivos estados intactos. Contudo, a configuração em fileira dupla (com o mesmo número de suturas nas superfícies femoral e tibial do menisco) levou à um decréscimo da área de contato em comparação com o estado intacto para a técnica de sutura cruzada na maioria dos ângulos de flexão do joelho avaliados e somente para 0° de flexão para a técnica de sutura vertical.

Nossos resultados sugerem que, no cenário clínico, uma lesão em alça de balde do menisco medial pode ser reparada com a configuração em fileira única ou dupla das técnicas de sutura vertical ou cruzada. Durante o procedimento cirúrgico, o cirurgião pode optar por usar uma técnica de sutura híbrida (vertical e cruzada) para uma lesão meniscal em alça de balde, preferindo apenas uma sutura vertical quando uma pequena área precisa ser tratada ou uma sutura cruzada quando uma parte da lesão apresentar um padrão complexo que deve ser envolvida em uma área maior que não seria facilmente reparada com suturas verticais. No que diz respeito às configurações em fileira única e dupla, uma configuração em fileira dupla deve ser usada para obter redução anatômica, pois uma configuração em fileira única aplicada à superfície femoral do menisco pode afastá-lo do planalto tibial. Considerando todos os aspectos descritos acima, e que o resultado clínico final é determinado pela cura biológica, não podemos fazer uma recomendação definitiva de apenas uma técnica de sutura (vertical ou cruzada) ou configuração (fileira única ou dupla) para o reparo da lesão em alça de balde do menisco medial. Um achado interessante em nosso estudo foi que, apesar da diminuição da área de contato, o reparo meniscal com configuração em fileira dupla de suturas cruzadas levou à diminuição da pressão em comparação com o reparo meniscal com configuração em fileira dupla de suturas verticais nos ângulos flexão avaliados simultaneamente. Esses resultados são conflitantes porque se espera que a pressão aumente diante da diminuição da área de contato, conforme comprovado pelas análises biomecânicas da meniscectomia parcial e total (ABDELKAFY *et al.*, 2006; LEE *et al.*, 2006; BEDI *et al.*, 2010; THIEMAN *et al.*, 2010; KOH *et al.*, 2016). Isso sugere que, nessa configuração, a carga foi transmitida para longe do sensor de pressão. Uma possível explicação é que a fileira dupla da sutura cruzada funcionou como uma rede, envolvendo mais tecido meniscal

do que a fileira dupla da sutura vertical. Esse efeito afastaria o menisco do centro do platô medial, por toda a extensão da lesão em alça de balde, até uma porção do platô que não pudesse ser coberta pelo sensor de pressão, diminuindo conseqüentemente a área de contato registrada. Apesar dessa diminuição na área de contato, verificou-se que esse “efeito de rede” melhorou a função do menisco de absorver cargas, diminuindo a pressão tibiofemoral no tempo zero do reparo. Embora a área de contato seja um parâmetro relevante na biomecânica tibiofemoral, a pressão de contato média e a pressão de contato máxima são mais importantes, clinicamente relevantes e relacionadas ao desenvolvimento da osteoartrite, pois representam a relação entre força e área (FRANCIOZI *et al.*, 2013; PADALECKI *et al.*, 2014).

Dois outros estudos compararam biomecanicamente as suturas cruzada e vertical em fileira única, não encontrando diferenças, semelhantemente aos nossos resultados com as configurações em fileira única (THIEMAN *et al.*, 2010; MILCHTEIM *et al.*, 2016).

MILCHTEIM *et al.* (2016) compararam duas suturas verticais com duas suturas cruzadas para o reparo de uma lesão longitudinal completa de 1 centímetro (cm) de extensão em um menisco cadavérico humano, e não observaram diferenças significativas na carga até a falha e rigidez. Em um modelo canino, THIEMAN *et al.* (2010) compararam as técnicas de sutura cruzada, horizontal e vertical para o reparo da lesão meniscal em alça de balde, e não encontraram diferenças em relação às pressões de contato ao submeter os joelhos a uma carga crescente de 150 N em um único ângulo de flexão do joelho. Em contraste, nosso estudo foi capaz de detectar algumas diferenças significativas entre suturas verticais e cruzadas na configuração

de fileira dupla com uma carga axial maior (1000 N), analisando múltiplos ângulos de flexão (0°, 30°, 60°, 90° e 120°).

Estudos biomecânicos recentes demonstraram que o tipo de deficiência meniscal está diretamente correlacionado com as pressões de contato articular (CERMINARA *et al.*, 2014; LAPRADE *et al.*, 2014; LAPRADE *et al.*, 2015). Apesar disso, poucos estudos avaliaram biomecanicamente o tratamento da lesão em alça de balde do menisco medial em joelhos humanos (BARATZ *et al.*, 1986; BECKER *et al.*, 2005; BEDI *et al.*, 2010; MARCHETTI *et al.*, 2017). No presente estudo, observamos que as técnicas de sutura vertical e sutura cruzada com configuração de fileira única e dupla restauraram a mecânica de contato nativa em todos os ângulos de flexão, e que a configuração em fileira dupla dessas mesmas técnicas de sutura restaurou a mecânica de contato nativa para a maioria dos ângulos de flexão avaliados. Em um estudo similar, MARCHETTI *et al.* (2017) relataram que um reparo *inside-out* com suturas verticais para uma lesão em alça de balde resultava na restauração da área de contato e valores de pressão próximos aos do joelho nativo. No entanto, os mesmos autores relataram que a técnica de reparo vertical em configuração de fileira única foi incapaz de restaurar a área de contato intacta e a pressão de contato máxima em ângulos de flexão $\geq 45^\circ$ (MARCHETTI *et al.*, 2017). Neste estudo de MARCHETTI *et al.* (2017), para a realização de cada condição, o ligamento colateral tibial era seccionado e submetido à sutura antes de cada teste, podendo influenciar os resultados biomecânicos obtidos, visto que o ligamento colateral tibial (LCT) poderia estar mais tenso ou relaxado após cada sutura. Para evitar esse viés, utilizamos a técnica de osteotomia do côndilo femoral medial já consagrada na literatura, por permitir criar as condições de lesão e sutura meniscal de modo consistente e não afetar a biomecânica do joelho

(MARTENS *et al.*, 1997; LAPRADE *et al.*, 2014; PADALECKI *et al.*, 2014). Em relação à técnica de osteotomia do côndilo femoral medial originalmente descrita por MARTENS *et al.* (1997), no nosso estudo, foi necessária a adição de placa e parafusos para fornecer estabilidade adicional capaz de suportar a força axial compressiva de 1000 N com o joelho fletido a 120°.

Ao demonstrar que as técnicas de sutura cruzada e vertical foram capazes de restaurar as pressões e áreas de contato tibiofemorais para condições quase nativas, nosso estudo adiciona validação biomecânica à crescente literatura clínica que defende o reparo das rupturas meniscais ao invés da meniscectomia (MCDERMOTT E AMIS, 2006; XU E ZHAO, 2015; CHAHLA *et al.*, 2018). Na prática clínica, têm sido reportados excelentes resultados em um seguimento médio de dois anos com baixas taxas de complicação e falha para o reparo meniscal da lesão em alça de balde (AHN *et al.*, 2015; FILLINGHAM *et al.*, 2017; SALTZMAN *et al.*, 2020). ABDELKAFY (2015b), em um estudo retrospectivo de série de casos, submeteu 38 pacientes com lesões meniscais verticais longitudinais longas a técnicas combinadas de sutura cruzada e horizontal. Destes 38 pacientes, 32 pacientes (6 pacientes foram perdidos, incluindo 2 falhas que foram submetidas à meniscectomia no primeiro ano pós-operatório) foram avaliados após uma média de 4,6 anos e tinham bons resultados clínicos (escore do *International Knee Documentation Committee* - IKDC: n = 27, grau A; n = 5 grau B; média do escore de Lysholm modificado: 91,3; média do SF-36: 88,4; média da escala visual analógica para satisfação com a cirurgia: 8, média da escala visual analógica para dor: 1,5). Além disso, em um estudo recente, MOATSHE *et al.* (2017) relataram que pacientes com lesão em alça de balde e pacientes com lesão vertical do menisco tratadas

com suturas verticais *inside-out* tiveram resultados comparáveis em relação aos escores de desfecho relatados pelo paciente em dois anos de seguimento (SF-12, *Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index*, Lysholm, Tegner). Os desfechos clínicos relatados dos reparos meniscais de lesões em alça de balde podem ser atribuídos às evidências biomecânicas de melhora da cinemática articular dos joelhos com tecido meniscal reparado. No entanto, mais estudos clínicos são necessários para avaliar a eficácia da técnica de sutura cruzada.

Os autores reconhecem algumas limitações do presente estudo. Inerente a qualquer estudo biomecânico em cadáveres, este modelo de estudo não leva em consideração nenhuma cicatrização pós-operatória do menisco e a carga cíclica que os procedimentos cirúrgicos são submetidos. Dado o tamanho da amostra deste estudo, não podemos excluir conclusivamente as comparações entre grupos com tamanhos de efeito < 1 (Cohen *d*). A equalização de cargas dos compartimentos medial e lateral do joelho em todos ângulos de flexão para cada espécime foi realizada através de um ajuste no varo/valgo de uma plataforma personalizada que dava suporte ao joelho envasado com a finalidade de diminuir a possibilidade de viés por: diferenças anatômicas de alinhamento dos joelhos cadavéricos, assimetrias sutis no alinhamento durante o envasamento do joelho, e por eventuais pequenas variações na angulação do túnel femoral transversal criado para servir como ponto de pivô da construção (PADALECKI *et al.*, 2014). Além disso, os sensores de pressão Tekscan usados no estudo tendiam a perder gradualmente sua sensibilidade durante o período de testes, devido ao enrugamento dos sensores de pressão, saturação da carga dos sensores acima da calibração, alterações no registro dos sensores devido à exposição ao líquido cadavérico, e dano das estruturas do sensor. Supunha-se que essa

diminuição na sensibilidade da força seguisse uma tendência linear, como relatado em estudos anteriores, de modo que o código de análise de dados foi calculado para levar isso em consideração (PADALECKI *et al.*, 2014). As condições meniscais não foram testadas em toda a amplitude de movimento do joelho, mas escolhemos os ângulos de flexão mais representativos do joelho (0°, 30°, 60°, 90° e 120°).

Futuros estudos com metodologia semelhante, mas com algumas características diferentes da lesão meniscal, sutura e configuração das fileiras podem evidenciar mais diferenças entre a sutura vertical e a sutura cruzada, assim como diferenças entre as configurações de fileira única e fileira dupla. Hipotetizamos que uma lesão em alça de balde com bordas mais complexas/degeneradas do que as lesões de bordas regulares avaliadas no nosso estudo, pode ter um resultado melhor com a sutura cruzada por envolver um maior volume de tecido meniscal do que a sutura vertical por possuir um “efeito de rede”. Um espaçamento maior do que 5 milímetros (mm) entre as suturas também pode evidenciar diferenças significativas entre a sutura vertical e a sutura cruzada. Em nosso estudo, uma das extremidades da sutura passou pelo tecido meniscal enquanto a outra extremidade atravessou a cápsula articular sem passar pelo tecido meniscal, futuros estudos podem avaliar se a passagem das duas extremidades da sutura pelo tecido meniscal produzem resultado diferente no tratamento da lesão em alça de balde do menisco medial. Adicionalmente, neste estudo, uma configuração em fileira dupla completa foi avaliada, combinando cada sutura meniscal da superfície femoral do menisco com outra na superfície tibial, visto que a realização de apenas uma única fileira de suturas na superfície femoral do menisco afastava-o do planalto tibial e que a colocação da segunda fileira de suturas no aspecto inferior do menisco reduzia o menisco

de volta ao platô tibial., acreditamos ser interessante avaliar configurações em fileira dupla, que tenham menor quantidade de suturas na superfície inferior do menisco (somente o necessário para reduzir o menisco em relação ao platô tibial), pois a atual configuração de fileira dupla completa diminuiu a área de contato em comparação com o estado intacto.

CONCLUSÃO

7. CONCLUSÃO

1. As configurações em fileira única e dupla das técnicas de sutura vertical e cruzada do menisco restauraram a pressão tibiofemoral nativa após lesão meniscal medial em alça de balde em todos os ângulos de flexão do joelho avaliados.
2. Apesar da diminuição da área de contato com uma configuração de fileira dupla, principalmente relacionada à sutura cruzada em comparação com o estado intacto, a sutura cruzada em fileira dupla levou à diminuição da pressão em comparação com a sutura vertical de fileira dupla.

REFERÊNCIAS

8. REFERÊNCIAS

Abdelkafy A, Wlk M, Krasny C, Landsiedl F. The "cruciate suture" for arthroscopic meniscal repair: a new technique. *Arthroscopy*. 2006;22(10):1134.e1-1134.e5.

Abdelkafy A. Modified cruciate suture technique for arthroscopic meniscal repair: a technical note. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(9):1116-1120.

Abdelkafy A. The concept of three-dimensional hold of both circumferential and radial collagen fibres of the meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(1):20-5.

Abdelkafy A. Short- to mid-term results of arthroscopic meniscal repair of long vertical longitudinal tears using combined cruciate and horizontal suture techniques: a retrospective study. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015;25(2):367-374.

Ahn JH, Kim KI, Wang JH, Kyung BS, Seo MC, Lee SH. Arthroscopic repair of bucket-handle tears of the lateral meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(1):205-210.

Albertoni LJB, Schumacher FC, Ventura MHA, Franciozi CES, Debieux P, Kubota MS, Granata Júnior GSM, Luzo MVM, Queiroz AAB, Carneiro

Filho M. Sutura do menisco pela técnica all-inside com o dispositivo Fast-Fix. *Rev Bras Ortop.* 2013;48(5):448-454.

Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Törmälä P. Meniscus bucket-handle fixation with an absorbable Biofix tack: development of a new technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1(2):104-6.

Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Burgaard P, Joergensen U, Toerholm C. The arrow versus horizontal suture in arthroscopic meniscus repair. A prospective randomized study with arthroscopic evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1999;7(5):268-73.

Almeida AM, Rodrigues MB, Rezende MU, Pedrinelli A, Hernandez AJ. Resultados da sutura meniscal comparando RM, Artro-RM e Artro-CT. *Acta Ortop Bras.* 2018;26(3):166-9.

Anderson AF, Irrgang JJ, Dunn W, Beaufils P, Cohen M, Cole BJ, Coolican M, Ferretti M, Glenn RE Jr, Johnson R, Neyret P, Ochi M, Panarella L, Siebold R, Spindler KP, Selmi TAS, Verdonk P, Verdonk R, Yasuda K, Kowalchuk DA. Interobserver reliability of the International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine (ISAKOS) classification of meniscal tears. *Am J Sports Med.* 2011;39(5):926-32.

Annandale T. An operation for displaced semilunar cartilage. *Br Med J.* 1885;1(1268):779.

Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med.* 1982;10(2):90-5.

Aşık M, Sener N, Akpınar S, Durnaz H, Göksan A. Strength of different meniscus suturing techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1997;5(2):80-3.

Astur DC, Xerez M, Rozas J, Debieux PV, Franciozi CE, Cohen M. Lesões do ligamento cruzado anterior e do menisco no esporte: incidência, tempo de prática até a lesão e limitações causadas pelo trauma. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(6):652-6.

Astur DC, Sbampato IN, Arliani GG, Franciozi CES, Debieux P, Cohen M. Associação de tabagismo, alcoolismo e anabolizantes às lesões menisco-ligamentares. *Acta Ortop Bras.* 2018;26(4):236-9.

Baratz ME, Fu FH, Mengato R. Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report. *Am J Sports Med.* 1986;14(4):270-5.

Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Statistical Software.* 2015;67(1):1-48. doi: 10.18637/jss.v067.i01

Becker R, Wirz D, Wolf C, Göpfert B, Nebelung W, Friederich N. Measurement of meniscofemoral contact pressure after repair of bucket-handle tears with biodegradable implants. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125(4):254-260.

-
- Bedi A, Kelly NH, Baad M, Fox AJ, Brophy RH, Warren RF, Maher SA. Dynamic contact mechanics of the medial meniscus as a function of radial tear, repair, and partial meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2010; 92(6):1398-1408.
- Branch EA, Milchtein C, Aspey BS, Liu W, Saliman JD, Anz AW. Biomechanical comparison of arthroscopic repair constructs for radial tears of the meniscus. *Am J Sports Med.* 2015;43(9):2270-2276.
- Bullough PG, Munera L, Murphy J, Weinstein AM. The strength of the menisci of the knee as it releases to their fine structure. *J Bone Joint Surg Br.* 1970;52(3):564-7.
- Burns TC, Giuliani JR, Svoboda SJ, Owens BD. Meniscus Repair and Transplantation Techniques. *J Knee Surg.* 2011;24(3):167-174.
- Camanho, Hernandez, Bitar, Demange, Camanho LF. Resultado da meniscectomia no tratamento da lesão meniscal isolada: Correlação entre os resultados obtidos e a etiologia da lesão. *Clinics.* 2006;61(2):133-8.
- Cargill AO, Jackson JP. Bucket-handle tear of the medial meniscus. A case for conservative surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(2):248-51.
- Cerminara AJ, LaPrade CM, Smith SD, Ellman MB, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical evaluation of a transtibial pull-out meniscal root repair: challenging the bungee effect. *Am J Sports Med.* 2014;42(12):2988-2995.

Chagas-Neto FA, Nogueira-Barbosa MH, Lorenzato MM, Salim R, Kfuri-Junior M, Crema MD. Desempenho diagnóstico da técnica 3D-TSE de RM do joelho comparada com a técnica 2D-TSE em 1,5 T na detecção de rupturas meniscais e ligamentares com correlação artroscópica imediata. *Radiol Bras.* 2016;49(2):69-74.

Chahla J, Serra Cruz R, Cram TR, Dean SC, LaPrade RF. Inside-out meniscal repair: medial and lateral approach. *Arthrosc Tech.* 2016; 5(1):e163-e168.

Chahla J, Cinque ME, Godin JA, Sanchez G, Lebus GF, Whalen JM, Price MD, Kennedy NI, Moatshe G, LaPrade RF, Provencher MT. Meniscectomy and Resultant Articular Cartilage Lesions of the Knee Among Prospective National Football League Players: An Imaging and Performance Analysis. *Am J Sports Med.* 2018;46(1):200-207.

Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2. ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum;1988. 576p.

Cohen M, Abdalla RJ, Barreto FAQM, Bouchabki ET, Oliveira EC, Ejnisman B. Estudo radiográfico experimental da vascularização de meniscos humanos. *Rev Bras Ortop.* 1993;28(5):263-72.

Cohen M, Granata Júnior GSM, Ejnisman B, Seixas MT, Vicenze V. Estudo da vascularização do menisco humano. *Rev Bras Ortop.* 1998;33(4):264:70.

-
- Cohen M, Amaro JT, Ejnisman B, Carvalho RT, Nakano KK, Peccin MS, Teixeira R, Laurino CF, Abdalla RJ. Anterior cruciate ligament reconstruction after 10 to 15 years: association between meniscectomy and osteoarthritis. *Arthroscopy*. 2007;23(6):629-34.
- Cruz-López F, Trueba C, Almazán A, Sierra L, Francisco P, Villalobos-Cordova E, Ibarra C. Meniscal repair using the inside-out technique with cross stitch. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2012;20(2):101-105.
- Erduran, Hapa, Sen, Kocabey, Erdemli, Aksel, Havitçioğlu H. The effect of inclination angle on the strength of vertical mattress configuration for meniscus repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(1):41-4.
- Fairbank TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone and Joint Surgery Br*. 1948;30(4):664-70.
- Fantasia F, Potalivo G, Placella G, Fantasia L, Cerulli G. Meniscal sutures: biomechanical study of “mulberry” and horizontal loop techniques. *J Orthop Traumatol* (2012);13(1):13-9.
- Fillingham YA, Riboh JC, Erickson BJ, Bach BR Jr, Yanke AB. Inside-out versus all-inside repair of isolated meniscal tears: An updated systematic review. *Am J Sports Med*. 2017;45(1):234-42.
- Franciozi CE, Tarini VA, Reginato RD, Gonçalves PR, Medeiros VP, Ferretti M, Dreyfuss JL, Nader HB, Faloppa F. Gradual strenuous running regimen predisposes to osteoarthritis due to cartilage cell death and altered

levels of glycosaminoglycans. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(7):965-972.

Geeslin AG, Civitaresse D, Turnbull TL, Dornan GJ, Fuso FA, LaPrade RF. Influence of lateral meniscal posterior root avulsions and the meniscomfemoral ligaments on tibiofemoral contact mechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1469-1477.

Grant JA, Wilde J, Miller BS, Bedi A. Comparison of inside-out and all-inside techniques for the repair of isolated meniscal tears: a systematic review. *Am J Sports Med*. 2012;40:459-68.

Gunes T, Bostan B, Erdem M, Asci M, Sen C, Kelestemur MH. The "butterfly" suture technique for meniscal repair. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011;131(3):331-333.

Hagmeijer MH, Kennedy NI, Tagliero AJ, Levy BA, Stuart MJ, Saris DBF, Dahm DL, Krych AJ. Long-term results after repair of isolated meniscal tears among patients aged 18 years and younger: An 18-year follow-up study. *Am J Sports Med*. 2019;47(4): 799-806.

Haklar U, Donmez F, Basaran SH, Canbora MK. Results of arthroscopic repair of partial- or full-thickness longitudinal medial meniscal tears by single or double vertical sutures using the inside-out technique. *Am J Sports Med*. 2013;41(3):596–602.

Harris ML, Morberg P, Bruce WJ, Walsh WR. An improved method for measuring tibiofemoral contact areas in total knee arthroplasty: a

comparison of K-scan sensor and Fuji film. *J Biomech.* 1999;32(9):951-958.

Hede A, Jensen DB, Blyme P, Sonne-Holm. Epidemiology of meniscal lesions in the knee. 1,215 open operations in Copenhagen 1982-1984. *Acta Orthop Scand.* 1990;61(5):435-7.

Henning CE. Arthroscopic repair of meniscus tears. *Orthopedics.* 1983;6(9):1130-2.

Hernandez AJ, Camanho GL, Laraya MHF, Fávares E. Sutura de menisco com implantes absorvíveis. *Acta Ortop Bras.* 2006;14(4):217-9.

Heuchemer T, Bauer G, Friedrich JM, Bargon G. Clinical use of meniscus sonography. *Bildgebung.* 1987-1989;56(3):118-23.

Ikeuchi H. Surgery under arthroscopic control. *Proceedings of the Societe Internationale d'Arthroscopie, 1975. Rheumatology.* 1976;[Special Issue]:57-62.

Iuchi R, Mae T, Shino K, Matsuo T, Yoshikawa H, Nakata K. Biomechanical testing of transcapsular meniscal repair. *J Exp Orthop.* 2017;4(1):2. doi: 10.1186/s40634-017-0075-7.

Jacquet C, Pujol N, Pauly V, Beaufils P, Ollivier M. Analysis of the trends in arthroscopic meniscectomy and meniscus repair in France from 2005 to 2017. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019;105(4):677-82.

Jaegger G, Marcellin-Little DJ, Levine D.

Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *Am J Vet Res.* 2002;63(7):979-986.

James P, Buriski G. M.R. imaging of the knee: a prospective trial using a low field strength magnet. *Australas Radiol.* 1990;34(1):59-63.

Jansson KS, Michalski MP, Smith SD, Laprade RF, Wijdicks CA. Tekscan pressure sensor output changes in the presence of liquid exposure. *J Biomech.* 2013;46(3):612-614.

Kaminski R, Kulinski K, Kozar-Kaminska K, Wielgus M, Langner M, Wasko MK, Kowalczewski J, Pomianowski S. A prospective, randomized, double-blind, parallel-group, placebo-controlled study evaluating meniscal healing, clinical outcomes and safety in patients undergoing meniscal repair of unstable, complete vertical meniscal tears (bucket handle) augmented with platelet-rich plasma. *Biomed Res Int.* 2018;2018:9315815.

Kawata M, Sasabuchi Y, Taketomi S, Inui H, Matsui H, Fushimi K, Chikuda H, Yasunaga H, Tanaka S. Annual trend in arthroscopic meniscus surgery: Analysis of a national database in Japan. *PLoS One.* 2018;14(4):e0194854.

Kim S, Bosque J, Meehan JP, Jamali A, Marder R. Increase in outpatient knee arthroscopy in the United States: a comparison of National Surveys of Ambulatory Surgery, 1996 and 2006. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(11):994-1000.

-
- Kocabey Y, Taser O, Nyland J, Doral MN, Demirhan M, Caborn DN, Sarban S. Pullout strength of meniscal repair after cyclic loading: comparison of vertical, horizontal, and oblique suture techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(10):998-1003.
- Koh JL, Yi SJ, Ren Y, Zimmerman TA, Zhang LQ. Tibiofemoral contact mechanics with horizontal cleavage tear and resection of the medial meniscus in the human knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(21):1829–1836.
- Kohn D, Siebert W. Meniscus suture techniques: a comparative biomechanical cadaver study. *Arthroscopy.* 1989;5(4):324-327.
- Kong KC, Hamlet MR, Pecham T, Mowbray MA. Displaced bucket handle of the medial meniscus masking anterior cruciate deficiency. *Arch Ortop Trauma Surg.* 1994;114(1):51-2.
- Kramer DE, Kalish LA, Martin DJ, Yen YM, Kocher MS, Micheli LJ, Heyworth BE. Outcomes after operative treatment of bucket-handle meniscal tears in children and adolescents. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(1):2325967118820305. doi: 10.1177/2325967118820305.
- Kurnaz R, Aşçi M, Ergün S, Akgün U, Güneş T. Repair of longitudinal meniscal tears by single or double vertical loop sutures: In vitro biomechanical study under cyclic loading. *J Knee Surg.* 2020;33(3):314-8.
- LaPrade CM, Jansson KS, Dornan G, Smith SD, Wijdicks CA, LaPrade RF. Altered tibiofemoral contact mechanics due to lateral meniscus

posterior horn root avulsions and radial tears can be restored with in situ pull-out suture repairs. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(6):471-479.

LaPrade CM, Foad A, Smith SD, Turnbull TL, Dornan GJ, Engebretsen L, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical consequences of a nonanatomic posterior medial meniscal root repair. *Am J Sports Med.* 2015;43(4):912-920.

Lee SJ, Aadalen KJ, Malaviya P, Lorenz EP, Hayden JK, Farr J, Kang RW, Cole BJ. Tibiofemoral contact mechanics after serial medial meniscectomies in the human cadaveric knee. *Am J Sports Med.* 2006;34(8):1334-1344.

Lino Júnior W. Evolução funcional da reparação do menisco por implante absorvível. *Rev Bras Ortop.* 2009;44(2):112-9.

Logan, Aman, Kemler, Storaci, Dornan, LaPrade RF. Influence of medial meniscus bucket-handle repair in setting of anterior cruciate ligament reconstruction on tibiofemoral contact mechanics: A biomechanical study. *Arthroscopy.* 2019;35(8):2412-20.

Marchetti DC, Phelps BM, Dahl KD, Slette EL, Mikula JD, Dornan GJ, Bucci G, Turnbull TL, Singleton SB. A Contact Pressure Analysis Comparing an All-Inside and Inside-Out Surgical Repair Technique for Bucket-Handle Medial Meniscus Tears. *Arthroscopy.* 2017;33(10):1840-1848.

- Martens TA, Hull ML, Howell SM. An in vitro osteotomy method to expose the medial compartment of the human knee. *J Biomech Eng.* 1997;119(4):379-385.
- Manco LG, Berlow ME, Czajka J, Alfred R. Bucket-handle tears of the meniscus: appearance at CT. *Radiology.* 1988;168(3):709-12.
- McDermott ID, Amis AA. The consequences of meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88(12):1549-1556.
- Metcalf MH, Barrett GR. Prospective evaluation of 1485 meniscal tear patterns in patients with stable knees. *Am J Sports Med.* 2004;32(3):675-680.
- Milchtein C, Branch EA, Maughon T, Hughey J, Anz AW. Biomechanical Comparison of Parallel and Crossed Suture Repair for Longitudinal Meniscus Tears. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(4):2325967116640263. doi: 10.1177/2325967116640263.
- Moatshe G, Cinque ME, Godin JA, Vap AR, Chahla J, LaPrade RF. Comparable Outcomes After Bucket-Handle Meniscal Repair and Vertical Meniscal Repair Can Be Achieved at a Minimum 2 Years' Follow-up. *Am J Sports Med.* 2017;45(13):3104-3110.
- Muckenhirn KJ, Kruckeberg BM, Cinque ME, Chahla J, DePhillipo NN, Godin JA, LaPrade RF. Arthroscopic inside-out repair of a meniscus bucket-handle tear augmented with bone marrow aspirate concentrate. *Arthrosc Tech.* 2017;6(4):e1221-7.

Navali AM, Aslani H. Clinical results of meniscal repair using submeniscal horizontal sutures. *Arch Bone Jt Surg*. 2015;3(3):179-83.

Novaretti, Lian, Patel, Chan, Cohen, Musahl, Debski RE. Partial lateral meniscectomy affects knee stability even in anterior cruciate ligament-intact knees. *J Bone Joint Surg Am*. 2020 DOI: 10.2106/JBJS.1900712

Padalecki JR, Jansson KS, Smith SD, Dornan GJ, Pierce CM, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical consequences of a complete radial tear adjacent to the medial meniscus posterior root attachment site: in situ pull-out repair restores derangement of joint mechanics. *Am J Sports Med*. 2014;42(3):699-707.

Parker BR, Huwitz S, Spang J, Creighton R, Kamath G. Surgical trends in the treatment of meniscal tears: Analysis of data from the American Board of Orthopaedic Surgery Certification Examination Database. *Am J Sports Med*. 2016;44(7):1717-23.

Piedade SR. Classification of meniscal tears. In: LaPrade RF, Arendt EA, Getgood A, Faucett SC, editors. *The Menisci: A comprehensive review of their anatomy, biomechanical function and surgical treatment*. Berlin/Heidelberg:Springer;2017. 21-9p.

Piedade SR, Nunes RPS, Kaleka CC, Cardoso TP. All-inside Meniscal Repair: Updates on Technique. In: LaPrade RF, Arendt EA, Getgood A, Faucett SC, editors. *The Menisci: A comprehensive review of their*

anatomy, biomechanical function and surgical treatment.

Berlin/Heidelberg:Springer;2017. 103-8p.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018, <https://www.R-project.org/>.

Richards DP, Barber FA, Herbert MA. Meniscal tear biomechanics: loads across meniscal tears in human cadaveric knees. *Orthopedics*. 2008;31(4):347-50.

Ramappa AJ, Chen A, Hertz B, Wexler M, Grimaldi Bournissaint L, DeAngelis JP, Nazarian A. A biomechanical evaluation of all-inside 2-stitch meniscal repair devices with matched inside-out suture repair. *Am J Sports Med*. 2014;42(1):194-9.

Rimmer MG, Nawana NS, Keene GC, Percy MJ. Failure strengths of different meniscal suturing techniques. *Arthroscopy*. 1995;11 (2):146–50.

Rogers M, Dart S, Odum S, Fleischli J. A cost-effectiveness analysis of isolated meniscal repair versus partial meniscectomy for red-red zone, vertical meniscal tears in the young adult. *Arthroscopy*. 2019;35(12):3280-6.

Rosso C, Kovtun K, Dow W, McKenzie B, Nazarian A, De Angelis JP, Ramappa AJ. Comparison of all-inside meniscal repair devices with matched inside-out suture repair. *Am J Sports Med*. 2011;39(12):2634-9.

-
- Ryu RK, Dunbar WH 4th. Arthroscopic meniscal repair with two-year follow-up: a clinical review. *Arthroscopy*. 1988;4(3):168-73.
- Sabancı SS, Ocal MK. Comparison of goniometric measurements of the stifle joint in seven breeds of normal dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2016;29(3):214-219.
- Saltzman BM, Cotter EJ, Wang KC, Rice R, Manning BT, Yanke AB, Forsythe B, Verma NN, Cole BJ. Arthroscopically Repaired Bucket-Handle Meniscus Tears: Patient Demographics, Postoperative Outcomes, and a Comparison of Success and Failure Cases. *Cartilage*. 2020;11(1):77-87.
- Seil R, Rupp S, Kohn DM. Cyclic testing of meniscal sutures. *Arthroscopy*. 2000;16(5):505-510.
- Shakespeare DT, Rigby HS. The bucket-handle tear of the meniscus. A clinical and arthrographic study. *J Bone and Joint Surgery Br*. 1983;65(4):383-7.
- Tabrizi A, Shariyate MJ. Biomechanical study of meniscal repair using horizontal sutures and vertical loop techniques. *Adv Biomed Res*. 2018;7:144.
- Thaunat M, Fournier G, O'Loughlin P, Kouevidjin BT, Clowez G, Borella M, Fayard JM, Sonnery-Cottet B. Clinical outcome and failure analysis of medial meniscus bucket-handle tear repair: a series of 96 patients with a

minimum 2 year follow-up. Arch Orthop Trauma Surg. 2020. doi: 10.1007/s00402-020-03346-1.

Thieman KM, Pozzi A, Ling HY, Lewis D. Comparison of contact mechanics of three meniscal repair techniques and partial meniscectomy in cadaveric dog stifles. Vet Surg. 2010;39(3):355-362.

Tregonning RJ. Closed and open partial meniscectomy for bucket handle tears: a comparative evaluation. N Z Med J. 1983;96(732):373-7.

Trillat A, Dejour H. Considérations su la chirurgie des ménisques du genou. Lyon Chir. 1968;64(3):440-53.

Uzun E, Mizir A, Kizkapan TB, Ozcamdalli M, Akkurt S, Guney A. Factors affecting the outcomes of arthroscopically repaired traumatic vertical longitudinal medial meniscal tears. Orthop J. Sports Med. 2017;5(6):2325967117712448.

Vanderdorp, Bastien, Vandencastele. Résultats éloignés des Méniscectomies. Rev Orthop. 1939;26:629-44.

Warren RF. Arthroscopic meniscus repair. Arthroscopy. 1985;1(3):170-2.

Weiss KL, Morehouse HT, Levy IM. Sagittal MR images of the knee: a low-signal band parallel to the posterior cruciate ligament caused by a displaced bucket-handle tear. AJR Am J Roentgenol. 1991;156(1):117-9.

Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York, NY: Springer; 2009.

Wright DH, De Smet AA, Norris M. Bucket-handle Tears of the Medial and Lateral Menisci of the Knee: Value of MR Imaging in Detecting Displaced Fragments. *AJR Am J Roentgenol*. 1995;165(3):621-625.

Woodmass JM, LaPrade RF, Sgaglione NA, Nakamura N, Krych AJ. Meniscal Repair: Reconsidering Indications, Techniques, and Biologic Augmentation. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(14):1222-1231.

Xu C, Zhao J. A meta-analysis comparing meniscal repair with meniscectomy in the treatment of meniscal tears: the more meniscus, the better outcome? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(1):164-170.

Yilmaz S, Cankaya D, Firat A, Deveci A, Ozkurt B, Bozkurt M. Combined inside-out and all-inside technique in bucket-handle meniscus tears. *Acta Ortop Bras*. 2016;24(4):179-183.

NORMAS ADOTADAS

9. NORMAS ADOTADAS

BRASIL. Decreto n. 6.583, de 29 de setembro de 2008. Promulga o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa, assinado em Lisboa, em 16 de dezembro de 1990. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2008/Decreto/D6583.htm. Acesso em novembro 2009.

Weiszflog, W. Michaelis: Dicionário de Língua Portuguesa. 2010 ed. São Paulo. Melhoramentos, 2010. 951p.

Sistema Internacional de Unidades [Internet]. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) – 2012 – [citado 2013 Jan]. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/si_versao_final.pdf

Descritores em Ciência da Saúde (Decs) [Internet]. São Paulo: Biblioteca Regional de Medicina (Bireme) – [citado 2013 Jan]. Disponível em: <http://decs.bvs.br>

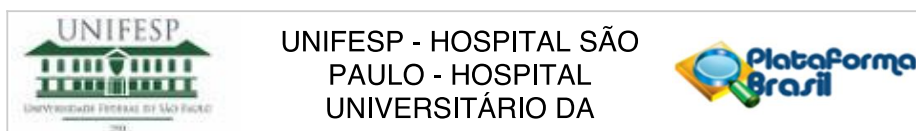
Terminologia anatômica Internacional. Federative Committee on Anatomical Terminology. Tradução da Comissão de Terminologia Anatômica da Sociedade Brasileira de Anatomia. Barueri: Manole;2001.248p.

Ferreira LM. Projetos, dissertações e teses: Orientação normativa: Guia prático. São Paulo: Red Publicações; 2017.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Aprovação pelo CEP da Unifesp



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise da Pressão de Contato do Reparo da Lesão Longitudinal em Alça de Balde do Menisco Medial comparando duas técnicas: Sutura "Cruzada" versus Vertical.

Pesquisador: Gilberto Yoshinobu Nakama

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 00913918.2.0000.5505

Instituição Proponente: Escola Paulista de Medicina

Patrocinador Principal: Arthrex Inc
INSTITUTO BRASIL DE TECNOLOGIAS DA SAUDE

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.099.491

Apresentação do Projeto:

-Projeto CEP/UNIFESP n:1194/2018 (parecer final)

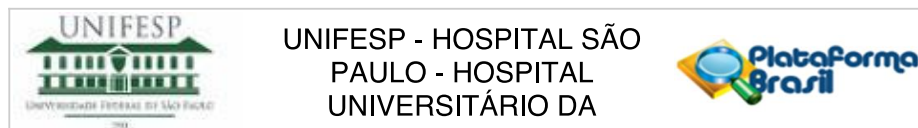
-Trata-se de projeto de doutorado de Gilberto Yoshinobu Nakama. Orientador: Prof. Dr. MOISES COHEN. Projeto vinculado ao Departamento de Ortopedia e Traumatologia, Campus São Paulo, Escola Paulista de Medicina, UNIFESP.

-Área Temática: Pesquisas com coordenação e/ou patrocínio originados fora do Brasil, excetuadas aquelas com copatrocínio do Governo Brasileiro;

-Patrocinador Principal: INSTITUTO BRASIL DE TECNOLOGIAS DA SAUDE - Arthrex Inc ;

RESUMO: A técnica padrão para tratamento da lesão longitudinal em alça de balde do menisco envolve o uso de múltiplas suturas verticais, porém os atuais dados da literatura mostram que ela não é suficiente para restaurar adequadamente a área de contato e pressão de contato tibiofemoral. Um grupo de meniscos tratados com uma única sutura oblíqua já foi comparado aos grupos tratados com um único reparo vertical ou horizontal, mostrando menos falhas ao ser submetido à carga máxima (Kocabey et al. 2006). A técnica de sutura cruzada tem uma configuração cruzada oblíqua e sobreposta e supostamente é superior aos reparos meniscais oblíquos simples, verticais e horizontais devido à inclusão de maior quantidade de tecido

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
Bairro: VILA CLEMENTINO **CEP:** 04.020-050
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)5571-1062 **Fax:** (11)5539-7162 **E-mail:** cep@unifesp.edu.br



Continuação do Parecer: 3.099.491

meniscal, maior interação da sutura com o menisco, diminuição do estresse na linha de sutura, e aumento da resistência do reparo a forças externas. Como o reparo meniscal cruzado pode ser superior ao reparo vertical em ângulos de flexão mais profundos, pode ser clinicamente mais confiável, encorajando protocolos de reabilitação acelerados e diminuindo as taxas de falha de reparo do menisco.

-HIPÓTESE: A hipótese é que o reparo da lesão longitudinal em alça de balde do menisco usando a técnica de sutura cruzada proverá uma melhor restauração da mecânica de contato da condição íntegra do menisco em comparação à técnica de sutura vertical.

Objetivo da Pesquisa:

-OBJETIVO PRIMÁRIO: Este estudo tem como objetivo comparar a mecânica de contato após o reparo meniscal cruzado e vertical a 0 °, 30 °, 45 °, 60 °, 90 ° e 120 ° de flexão do joelho. Secundariamente, este estudo tem como objetivo descrever a área de contato, pico da pressão de contato e pressão de contato média, nos mesmos graus de ângulos de flexão, em relação ao joelho com condição íntegra do menisco.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Em relação aos riscos e benefícios, o pesquisador declara:

-RISCOS: nenhum;

-BENEFÍCIOS: Como o reparo meniscal cruzado pode ser superior ao reparo vertical em ângulos de flexão mais profundos, pode ser clinicamente mais confiável, encorajando protocolos de reabilitação acelerados e diminuindo as taxas de falha de reparo do menisco.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

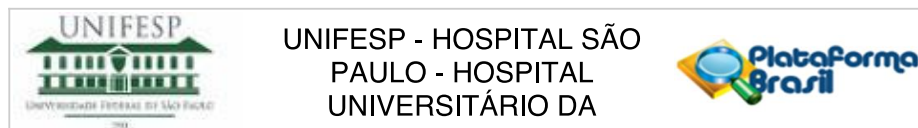
TIPO DE ESTUDO: análise de espécimes cadavéricos

LOCAL: Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA),

PARTICIPANTES: Dez pares combinados de joelhos de cadáveres humanos, totalizando 20 joelhos, (todos do sexo masculino, idade 18-65 anos), sem evidência de lesão prévia no joelho ou degeneração serão incluídos neste estudo.

-Critério de Inclusão: Joelhos de cadáveres humanos pareados (todos do sexo masculino, idade 18-65 anos), sem evidência de lesão prévia no joelho ou degeneração serão incluídos neste

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
 Bairro: VILA CLEMENTINO CEP: 04.020-050
 UF: SP Município: SAO PAULO
 Telefone: (11)5571-1062 Fax: (11)5539-7162 E-mail: cep@unifesp.edu.br



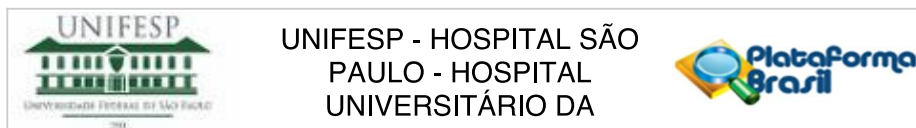
Continuação do Parecer: 3.099.491

estudo.

- Critério de Exclusão: cirurgia prévia do joelho.

PROCEDIMENTOS: O uso de espécimes cadavéricos para fins de pesquisa não requer a aprovação do comitê de ética no Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA), onde o estudo será realizado. Os espécimes serão adquiridos de empresas especializadas cadastradas que possuem o histórico médico do cadáver, sendo que a identificação dos mesmos é realizada pelas iniciais do nome do cadáver e por um número gerado e armazenado na empresa provedora. Enquanto os ligamentos e meniscos serão preservados, os espécimes serão dissecados de todos os tecidos moles remanescentes. Os espécimes serão distribuídos randomicamente para o grupo que está sendo submetido a reparo por sutura cruzada ou reparo por sutura vertical. Esta randomização limitará o viés e permitirá que as comparações de técnicas sejam feitas entre os joelhos pareados. O fêmur, tibia e fíbula serão cortados a 20 cm da linha da articulação e envasados em polimetilmetacrilato (PMMA; Fricke Dental, Streamwood, IL). Um sensor de pressão de contato calibrado e lubrificado (Sensor Model 4000; Tekscan, South Boston, MA) será inserido abaixo do meniscos e no topo do planalto tibial. Seis condições meniscais diferentes serão testadas: menisco medial íntegro - controle, 2) corte longitudinal do menisco medial, 3a) técnica de reparo meniscal com sutura cruzada na parte superior do menisco, 3b) técnica de reparo meniscal com sutura cruzada na parte inferior do menisco, 4a) técnica de reparo meniscal com sutura vertical na parte superior do menisco, 4b) técnica de reparo meniscal com sutura vertical na parte inferior do menisco. Será realizada uma osteotomia do côndilo femoral medial que será fechada antes de cada condição meniscal, afim de assessorar o menisco medial sem lesar o ligamento colateral medial (Padalecki et al. 2014). A lesão meniscal criada terá uma extensão de 5 cm, iniciando-se a 1 cm da raiz posterior do menisco, distando entre 1 a 3 mm da periferia meniscal. As suturas verticais terão uma distância de 5 mm entre si, demodo que teremos 10 suturas verticais, ou 10 suturas cruzadas em cada lado do menisco (superior e inferior). Testes biomecânicos serão realizados de acordo com um estudo similar (Marchetti et al. 2017). Uma carga axial compressiva de 1000 N será aplicada a cada amostra em seis diferentes ângulos de flexão (0°, 30°, 45°, 60°, 90° e 120°). A pressão de contato (N / mm²) será registrada e usada para calcular a carga total (N), a área de contato (mm²) e as pressões média e máxima de contato (N / mm²) usando a Instron ElectroPuls E10000 (Data de Certificação: 10/2013) no Steadman Philippon Research Institute, Vail, Colorado, EUA. (mais informações, ver projeto detalhado).

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
Bairro: VILA CLEMENTINO **CEP:** 04.020-050
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)5571-1062 **Fax:** (11)5539-7162 **E-mail:** cep@unifesp.edu.br



Continuação do Parecer: 3.099.491

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

1- Foram apresentados os principais documentos: folha de rosto; projeto completo; cópia do cadastro CEP/UNIFESP, orçamento financeiro e cronograma apresentados adequadamente.

2-Propõe dispensa do TCLE. Justificativa: O estudo envolve o uso de joelhos cadavéricos, portanto não gera a necessidade de TCLE. O uso de espécimes cadavéricos para fins de pesquisa não requer a aprovação do comitê de ética no Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA), onde o estudo será realizado (em anexo).

3- outros documentos importantes anexados na Plataforma Brasil:

a)-documento esclarecendo que no local em que a pesquisa será realizada, não é necessário submeter a Comitê de Ética, projetos em que se faz uso de espécimes cadavéricos (Pasta: Declaração do Patrocinador-Submissão 3; Documento: CARTA_retificada_UNIFESP_Gilberto_Nakama.pdf)

b)-carta do IBTS – Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde confirmando parceria de colaboração científica do Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde (IBTS) com o Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da UNIFESP e o Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP. (Pasta: outros-Submissão 3; Documento:)

c)-(Pasta: outros- Submissão 3; Documento: CARTA_retificada_UNIFESP_Gilberto_Nakama.pdf)

Recomendações:

sem recomendações

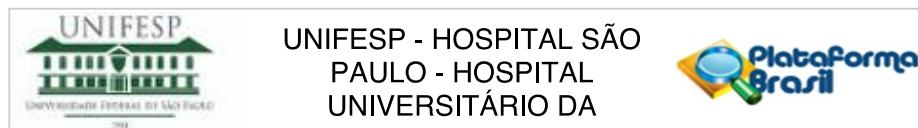
Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Trata-se de resposta a pendências apontadas no parecer n: 3.006.716, de 07 de Novembro de 2018. Todas as pendências forma atendidas.

Pendência 1-“Foi enviado documento referente a parceria entre Instituto Brasil de Tecnologias da Saude (IBTS) com o Programa de Pos-Graduacao em Cirurgia Translacional da UNIFESP e o Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP. No projeto detalhado ou no formulario de submissao da Plataforma Brasil, nao foi feita nenhuma referencia a essa colaboracao. Favor esclarecer: de que forma essa colaboracao esta relacionada ao presente projeto? “

RESPOSTA:O Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde (IBTS) através do “Prêmio Internacional Jorge Paulo Lemann” patrocinou meu estágio no Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA) que findou em junho de 2018. Através deste estágio foi possível criar uma colaboração entre o IBTS e o Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da UNIFESP e o Departamento de

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
Bairro: VILA CLEMENTINO **CEP:** 04.020-050
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)5571-1062 **Fax:** (11)5539-7162 **E-mail:** cep@unifesp.edu.br



Continuação do Parecer: 3.099.491

Traumatologia da UNIFESP para realização do trabalho científico para o meu doutoramento.

PENDÊNCIA ATENDIDA

Pendência 2-“Em vista dos documentos enviados, conclui-se que o estudo sera realizado no Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA). Entretanto, esta informacao nao foi dada de forma clara na metodologia do estudo ou em uma carta de esclarecimento. Favor dar mais detalhes: o projeto sera totalmente realizado no referido instituto? Favor enviar documento que formalize essa estadia do aluno no local.”

RESPOSTA: O estudo foi totalmente realizado no Steadman Philippon Research Institute (Vail, Colorado, EUA). Duas documentações comprovando o início e o fim da minha estadia durante a realização do estudo estão em anexo.

PENDÊNCIA ATENDIDA

Pendência 3- “Solicitamos que seja enviado projeto em que conste folha frontal com referencia aos autores, objetivo academico (se houver), instituicao e locais (departamento) vinculados ao estudo”

RESPOSTA: Seguem abaixo os autores e instituições vinculadas ao estudo. O objetivo acadêmico é a realização do meu doutorado. (Projeto com os dados solicitados em anexo):

PENDÊNCIA ATENDIDA

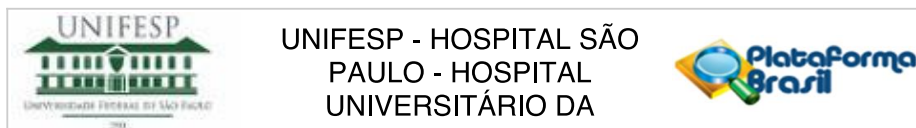
Considerações Finais a critério do CEP:

O CEP informa que a partir desta data de aprovação, é necessário o envio de relatórios parciais (semestralmente), e o relatório final, quando do término do estudo.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1134319.pdf	18/12/2018 12:50:59		Aceito
Outros	Fim_da_estadia.pdf	18/12/2018 12:48:14	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
Outros	inicio_da_estadia.pdf	18/12/2018	Gilberto Yoshinobu	Aceito

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
Bairro: VILA CLEMENTINO **CEP:** 04.020-050
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)5571-1062 **Fax:** (11)5539-7162 **E-mail:** cep@unifesp.edu.br



Continuação do Parecer: 3.099.491

Outros	inicio_da_estadia.pdf	12:44:40	Nakama	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	Respostas.docx	18/12/2018 12:40:01	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Plataforma_Brasil_Projeto_detalhado_sutura_meniscal_2.docx	18/12/2018 12:29:38	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
Folha de Rosto	Plataforma_Brasil_sutura_meniscal_final.pdf	05/10/2018 14:25:42	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	IRB_approval_comite_de_etica_estrangeiro.pdf	24/09/2018 12:55:14	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
Declaração de Pesquisadores	COMITE_DE_ETICA_EM_PESQUISA.pdf	24/09/2018 12:53:29	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito
Declaração do Patrocinador	CARTA_retificada_UNIFESP_Gilberto_Nakama.pdf	15/05/2018 17:53:18	Gilberto Yoshinobu Nakama	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 21 de Dezembro de 2018

Assinado por:
Miguel Roberto Jorge
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Francisco de Castro, 55
Bairro: VILA CLEMENTINO CEP: 04.020-050
UF: SP Município: SAO PAULO
Telefone: (11)5571-1062 Fax: (11)5539-7162 E-mail: cep@unifesp.edu.br

APÊNDICE 2

Comunicado do Presidente do Comitê de Ética do *Steadman Philippon Research Institute* (SPRI) declarando a ausência de necessidade de aprovação do comitê de ética local para pesquisas em cadáveres.

Re: São Paulo Federal University IRB - Gilberto Nakama

21/09/2018 08:46

Re: São Paulo Federal University IRB

Matthew Provencher <mprovencher@thesteadmanclinic.com>

Mon 9/3/2018 8:48 AM

Inbox

To: Gilberto Nakama <gnakama@sprivail.org>; Robert F. LaPrade <rlaprade@thesteadmanclinic.com>;

Gilberto

This is not required.
In my capacity as chair of the VailHealth IRB-
IRB approval is not required for cadaver research.

Thank you
MTP

Matthew T. Provencher, MD
CAPT MC. USNR
Professor of Surgery and Orthopaedics, USUHS
Shoulder, Knee and Sports Surgery
The Steadman Clinic
Steadman Philippon Research Institute
Vail, CO

From: Gilberto Nakama <gnakama@sprivail.org>
Sent: Monday, September 3, 2018 5:33 AM
To: Robert F. LaPrade; mattprovencher@gmail.com
Subject: Re: São Paulo Federal University IRB

Hi Dr LaPrade and Dr Provencher,

Do we have any updates on this IRB verification stating that the IRB approval is not required for research with cadavers at Steadman Philippon Research Institute, since the cadavers are de-identified and used for educational purposes?

Best wishes

Gilberto Nakama, MD
International Research Scholar at the Steadman Philippon Research Institute (SPRI)

APÊNDICE 3

Estudo Publicado no *American Journal of Sports Medicine*

Fator de Impacto: 6,093 (Fator de Impacto nos Últimos 5 anos: 7,006)

Biomechanical comparison of vertical mattress and cross-stitch suture techniques, and single- and double-row configurations, for the treatment of bucket-handle medial meniscus tears.

Background: Given the variety of suturing techniques for bucket-handle meniscal repair, it is important to assess which suturing technique best restores native biomechanics.

Purpose/Hypothesis: To biomechanically compare vertical mattress and cross-stitch suture techniques, in single- and double- row configurations, in their ability to restore native knee kinematics in a bucket-handle medial meniscal tear model. The hypothesis was that there would be no difference between the vertical mattress and cross-stitch double-row suture techniques but that the double-row technique would provide significantly improved biomechanical parameters versus the single-row technique.

Study Design: Controlled laboratory study.

Methods: Ten matched pairs of human cadaver knees were randomly assigned to the vertical mattress (n = 10) or cross-stitch (n = 10) repair group. Each knee underwent 4 consecutive testing conditions: (1) intact, (2) displaced bucket-handle tear, (3) single-row suture configuration on the femoral meniscus surface, and (4) double-row suture configuration (repair of femoral and tibial meniscus surfaces). Knees were loaded with a 1000-N axial compressive force at 0°, 30°, 60°, 90°, and 120° of flexion for each condition. Resultant medial compartment contact area, average contact pressure, and peak contact pressure data were recorded.

Results: Intact state contact area was not restored at 0° (P = .027) for the vertical double-row configuration and at 0° (P = .032), 60° (P < .001), and 90° (P = .007) of flexion for the cross-stitch double-row configuration. No significant differences were found in the average contact pressure and peak contact pressure between the intact state and the vertical mattress and cross-stitch repairs with single- and double-row configurations at any flexion angles. When the vertical and cross-stitch repairs were compared across all flexion angles, no significant differences were observed in single-row configurations, but in double-row configurations, cross-stitch repair resulted in a significantly decreased contact area, average contact pressure, and peak contact pressure (all P < .001).

Conclusion: Single- and double-row configurations of the vertical mattress and cross-stitch inside-out meniscal repair techniques restored native tibiofemoral pressure after a medial meniscal bucket-handle tear at all assessed knee flexion angles. Despite decreased contact area with a double-row configuration, mainly related to the cross-stitch repair, in comparison with the intact state, the cross-stitch double-row repair led to decreased pressure as compared with the vertical double-row repair. These findings are applicable only at the time of the surgery, as the biological effects of healing were not considered.

Clinical Relevance: Medial meniscal bucket-handle tears may be repaired with the single- or double-row configuration of vertical mattress or cross-stitch sutures.

Keywords: medial meniscus; bucket-handle tear; in situ repair; medial compartment load; Tekscan pressure sensors

INTRODUCTION

Bucket-handle tears, defined as longitudinal tears with an attached fragment displaced away from the remnant meniscus,⁴³ have been reported to account for up to 10% of all meniscal tears³² and represent a unique challenge to treat owing to their complexity. Repair of bucket-handle tears has traditionally been achieved via an inside-out technique with vertical mattress sutures,¹⁰ which was validated to result in comparable clinical outcomes among patients treated for nondisplaced vertical tears of the meniscus (usually smaller and less complex).³⁴

The vertical mattress suture pattern for meniscal repairs is performed because of its reported biomechanical superiority over horizontal mattress sutures.^{13,20,23,25,39,40,42} However, it remains unknown whether restoration of native joint kinematics and contact pressures may be more optimally achieved with a different suture configuration, such as by stacking crisscrossed oblique sutures,^{1,3,9,14,18,33,40} also referred to as the cross-stitch suture technique.¹⁴ Meniscal repair with cross-stitch suture orientation was shown in canines to restore native joint contact pressures and area at an equivalent standing angle of 20° to 30° of human knee flexion,^{21,37,40} warranting investigation into its efficacy in human knees across a larger flexion arc.

While the cross-stitch suture repair pattern was suggested to be comparable to the more widely utilized vertical mattress suture pattern, there is a paucity of literature directly comparing the effectiveness of either in the repair of bucket-handle tears. As such, the ideal suture configuration for a bucket-handle repair has yet to be elucidated. Furthermore, the effect of single-row suturing (superior surface only) versus double-row suturing (superior and inferior surfaces) with the same quantity of sutures on tibiofemoral contact pressure is unknown. Therefore, the purpose of this study was to biomechanically compare the vertical mattress and cross-stitch suture techniques and the single- and double-row configurations in a bucket-handle medial meniscal tear model, analyzing contact area, average contact pressure, and peak contact pressure. Our hypotheses were that (1) there would be no difference between the vertical mattress and cross-stitch double-row suture techniques and (2) the double-row technique would provide significantly improved biomechanical parameters (contact area, average contact pressure, and peak contact pressure) as compared with the single-row technique.

METHODS

Specimen Preparation

Ten matched-pair fresh-frozen male human cadaver knee specimens with a mean age of 53.1 years (range, 42-60 years) were used in this study. Knees with arthroscopic evidence of meniscal damage, ligament tears of the cruciate or collateral ligaments, or cartilage degeneration (greater than grade I Outerbridge classification) were excluded. The cadaveric specimens were donated to registered tissue banks for the purpose of medical research and then purchased by our institution. The use of cadaveric specimens for research does not require Institutional Review Board approval at Vail Health Hospital.

Specimens were thawed 24 hours before dissection and testing and were dissected free of skin, soft tissue attachments, muscle, tendon, and the patella. The collateral and cruciate ligaments of the knee and the medial, lateral, and posterior aspects of the capsule were retained. The femur, tibia, and fibula were cut approximately 20 cm from the joint line. The cut ends of the distal tibia and fibula were then potted in a cylindrical mold with PMMA (polymethyl methacrylate; Fricke Dental International Inc), with the tibial plateau oriented parallel to the testing surface and with the bone cement encasing the bone up to a point 4 cm distal to the tibial tuberosity.

With a custom drill guide, a 10-mm-diameter transverse tunnel was drilled through the medial and lateral femoral epicondyles, oriented parallel to the articular surfaces of the femoral condyles.^{27,35} Special care was taken to avoid disrupting the origins of the collateral ligaments during this process. A rod passing through this tunnel acted as the load-bearing site and flexion pivot point for the construct. Next, a 5-mm-diameter transverse tunnel was drilled, parallel to the first, with the center axis positioned 18 mm proximal and posterior to the first tunnel. An oblique medial femoral condyle osteotomy was performed to permit medial compartment access, avoiding injury of the medial collateral ligament, to create the different meniscus conditions (Figure 1).³⁰ Careful execution of this process allowed for the preservation of the posterior cruciate ligament attachment to the medial femoral wall and all medial meniscal structures. A compression screw was applied through this tunnel with washers and a nut to reattach the medial femoral condyle and maintain the original anatomic position throughout testing. Given the high stresses placed on the osteotomy during deep flexion testing, the osteotomy reduction and fixation was bolstered using a 1.85 mm \times 7.6 mm metal plate and four 3.5 inch dual-cortical wood screws (No. 8; McMaster Carr).

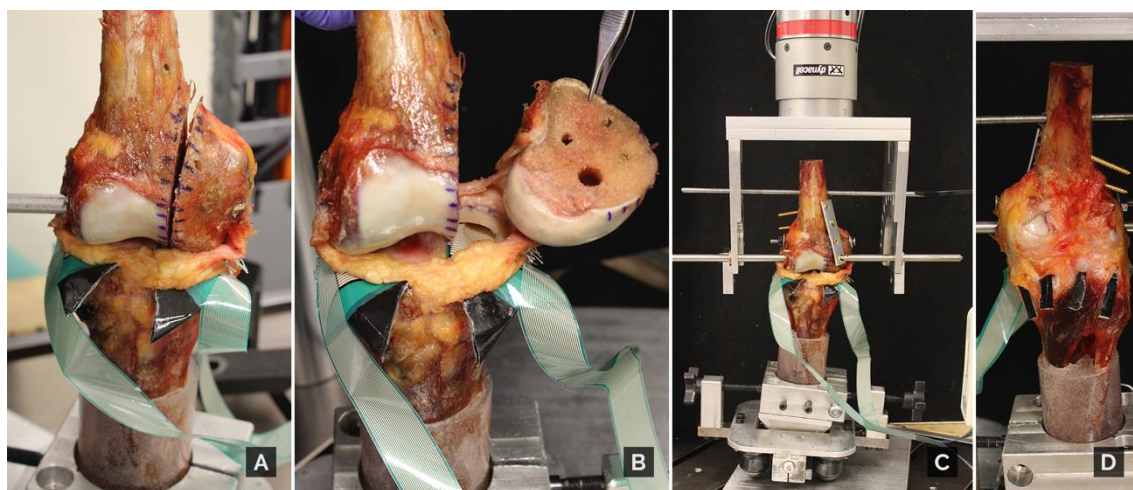


Figure 1: A) Anterior view of the medial condyle osteotomy in a right knee, B) Anterior view of testing setup in a right knee depicting a medial condyle osteotomy, C) Anterior view of testing setup with right knee at 0° flexion and D) Posterior view of testing setup with right knee at 0° flexion.

To allow for the insertion of a pressure sensor between the meniscus and tibial plateau, the anterior meniscotibial (coronary) ligaments of the medial and lateral menisci were detached at their insertion onto the tibia extending from just anterior to the medial and lateral collateral ligaments to the anterior roots, thereby preserving the anterior root attachments. Two small incisions (5 mm) were made to detach the posterior coronary ligaments of the medial and lateral menisci, preserving the posterior oblique ligament and popliteus musculotendinous junction, respectively.^{19,30} To ensure sufficient capsule for subsequent meniscal suture, all anterior and posterior accesses for pressure sensor placement started 10 mm below the tibial plateau; then, the capsule and coronary ligaments were carefully peeled off from their tibial attachments in an inferior-to-superior direction. Martens et al³⁰ reported no change in tibiofemoral

biomechanics parameters with a similar technique after the reattachment of the osteotomized medial femoral condyle and incision of coronary ligaments for pressure film placement.

Testing Setup

New pressure sensors (model 4000; Tekscan) were calibrated and equilibrated for testing according to the manufacturer's guidelines and previously published protocols developed at this institution.^{22,27} A new sensor was used for each specimen to ensure the validity of the data. The 2-pronged sensors were then inserted into the medial and lateral compartments between the tibial articular cartilage and meniscus.^{19,30}

The orientation of the medial condyle was ensured to be anatomic by lining up markings drawn along the osteotomy site prior to cutting. The 10-mm rod was then passed through a custom-made jig attached to the actuator of a dynamic tensile testing machine (E10000; Instron), securing the specimen in the testing apparatus (Figure 1).

Varus or valgus angulation of the specimen was adjusted while an axial load was applied to the specimen through the range of flexion angles to equalize axial load distribution on the medial and lateral compartments. Distribution of the total load was confirmed to be equal on the medial and lateral compartments with live feedback from the pressure sensors. This process ensured that observed differences in pressure and contact area measurements were due to the condition changes and not subtle inconsistencies in the placement of the femoral pivot axis or unequal load distribution between compartments.^{26,35} Once this varus/valgus angulation was set, it remained constant throughout the testing protocol.

Finally, a transverse, 7-mm tunnel was reamed through the shaft of the femur, approximately 7.5 cm proximal to and parallel to the 10-mm pivot tunnel. A 7-mm steel rod was passed through this tunnel to allow for selection of flexion angles during testing (0°, 30°, 60°, 90°, and 120°). This tunnel was reamed after the varus/valgus angulation was set because pilot testing revealed that small errors in the angle of this rod in the fixture could affect the measurements of the pressure sensors at different flexion angles. The specimen was frequently sprayed with saline solution to prevent desiccation of the tissues throughout the testing period.

Testing Conditions

Each knee pair underwent 4 sequential testing conditions of the medial meniscus: (1) intact, (2) simulated longitudinal displaced bucket-handle tear, (3) single-row repair on the femoral meniscus surface, and (4) double-row repair adding sutures to the tibial surface of the meniscus. From each pair, 1 knee was randomly assigned to receive the vertical repair and 1 knee, the cross-stitch repair. After each condition, the knee was removed from the testing apparatus, and the osteotomy opened for visualization of the meniscus and to allow for consistent tears and repairs to be performed in all specimens. The bucket-handle tear was created with a No. 15 scalpel blade and was 5 cm in length circumferentially, extending along 1 to 3 mm from the meniscocapsular junction, from posterior to anterior, 1 cm from the posterior root attachment site to a point just anterior to the meniscotibial ligament of the deep medial collateral ligament. The torn meniscus was secured in the displaced position with a No. 2-0 nonabsorbable suture (FiberWire; Arthrex) passed through the tear site and tied to a wood screw passed through the tibial tuberosity. In condition 3, the randomly assigned repair was performed in inside-out fashion with a meniscus protector suturing set (Arthrex) and No. 2-0 nonabsorbable suture (FiberWire). Each suture was tied with 5 half-stitches over the capsule with appropriate tension. The first row of sutures (single-row configuration) was placed on the femoral aspect of the medial meniscus for this condition. The vertical mattress repair was completed with 10 vertical mattress sutures placed 5 mm apart, passing through the tear and capsular portions of the meniscus. The suture entry points on the capsule and meniscus were the same for the cross-stitch repair but in a crossed configuration so that 5 sets of 2 cross-stitch sutures

were placed over the tear with each cross-stitch placed 5 mm apart. In condition 4, the assigned repair was repeated and added to the tibial aspect of the meniscus to create a double-row configuration (Figures 2 and 3).

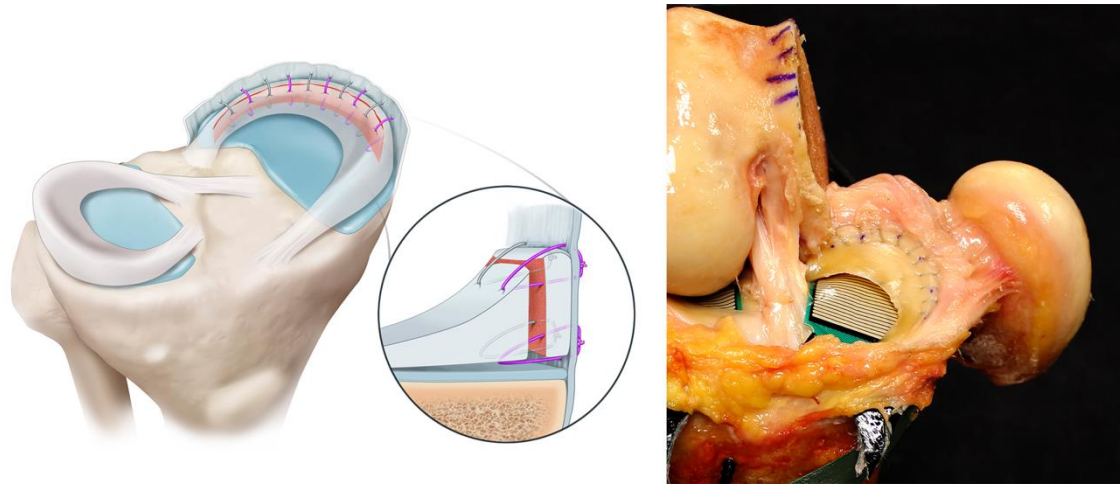


Figure 2: Vertical mattress repair meniscal suture technique with double-row configuration in a right knee.

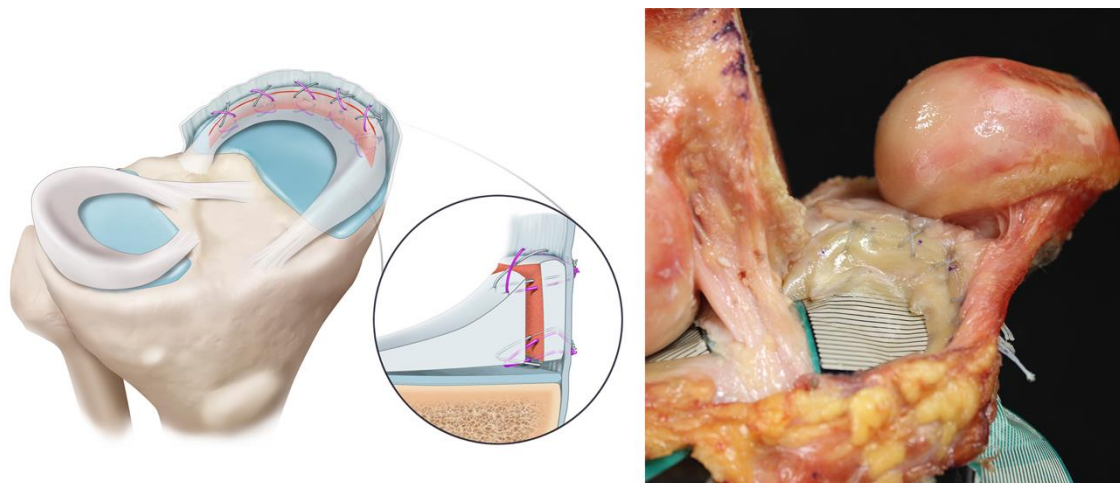


Figure 3: Cross-stitch meniscal suture technique with double-row configuration in a right knee.

Biomechanical Testing

All specimens were tested by loading the joint with a constant 1000-N axial compressive load along the axis of the tibia for 30 seconds at 5 flexion angles (0°, 30°, 60°, 90°, 120°) for each condition. Contact pressure mechanics were recorded with pressure-mapping sensors (model 4000; Tekscan) from which the contact area, peak contact pressure, and average contact pressure could be determined. Before each knee flexion angle was tested, a load of 200 N was placed on the knee, and the position of the pressure sensor was adjusted to ensure that the maximum possible load was being transmitted to the sensor. Dead cells that resulted from damage to sensors during testing were reconciled during postprocessing by filling in the data set with values averaged from the surrounding rows and columns of cells.

Data Processing

Tekscan pressure sensors have been reported to linearly lose sensitivity for peak load amplitude during compressive biomechanical testing.²⁶ To account for this, the rate of decline was assessed throughout testing and found to be 0.7% per test. The raw mean and peak contact pressure data were processed with a detrending adjustment of 0.7% per test to account for this decline, in the same manner as previous studies.^{17,22,26,35}

Statistical Analysis

To account for the repeated measures nature of the experimental design, linear mixed effects models were used to compare contact area, average contact pressure, and peak contact pressure between knee states and between paired specimens on which different suturing techniques were performed (vertical mattress vs cross-stitch). One-factor linear mixed effects models were constructed to compare knee states at each flexion angle and for each repair technique separately. Vertical mattress and cruciate techniques, performed on matched specimens, were directly compared with 2-factor linear mixed effects models (technique and flexion angle). This approach was used separately for single- and double-row repairs. Residual diagnostics were performed to ensure a quality model fit and that model assumptions were met. Tukey post hoc comparisons were used to make pairwise comparisons between groups. As a simplification of the full linear mixed effects model analysis, we considered the statistical power of individual repeated measures comparisons of group means. Based on the assumption of 2-tailed parametric testing and an alpha level of 0.05, 10 specimens for each group (vertical mattress and cross-stitch suture techniques) were sufficient to detect an effect size of $d = 1.0$ with 80% statistical power. Thus, statistically nonsignificant results where the observed effect size was <1 may be underpowered in this study. Therefore, the study was powered to detect differences between means that were .1 SD. The statistical software R (v 3.5.0) was used for all plots and analyses.^{6,36,41}

RESULTS

Medial Compartment Contact Area

Vertical Mattress Repair Group. No significant differences were found at any flexion angle for the contact area between the single- or double-row configurations and the intact state, with the exception of a significant decrease in contact area at 0° between the double-row and the intact state. Single- and double-row configurations had significantly increased contact area at all flexion angles when compared with the bucket-handle tear state (Figure 4A).

Cross-stitch Repair Group. No significant differences were found at any flexion angle between the single-row configuration and the intact state; however, at 0°, 60°, and 90°, the contact area was significantly decreased between the double-row configuration and the intact state. Single- and double-row configurations had significantly increased contact area at all flexion angles when compared with the bucket-handle tear state, except at 0° for the double-row configuration (Figure 4B).

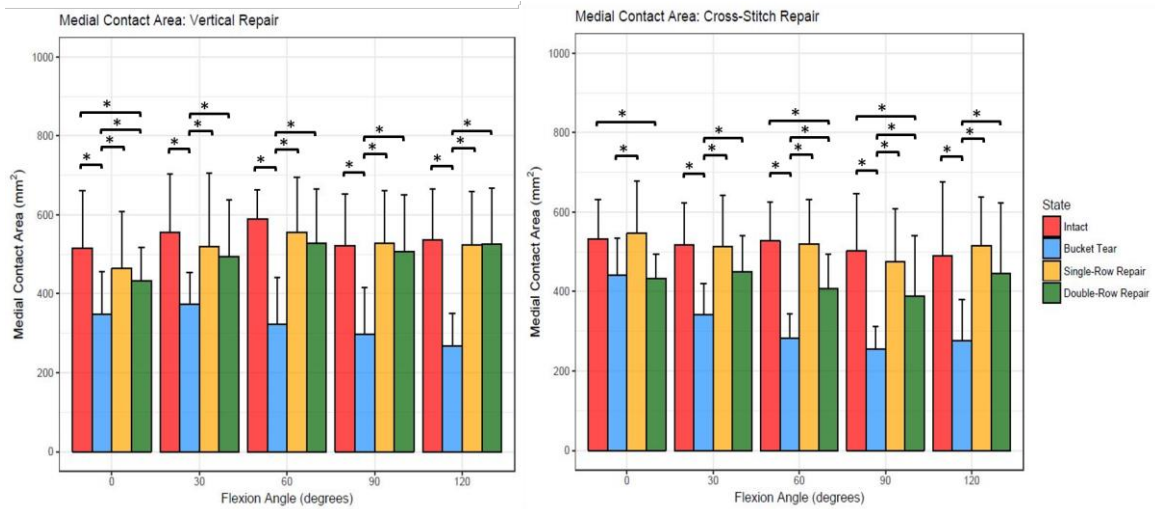


Figure 4: A) Medial compartment contact area in the vertical mattress repair testing group and B) cross-stitch repair group for a bucket handle medial meniscus at all flexion angles. (* denotes $p < 0.05$)

Medial Compartment Average Contact Pressure

Vertical Mattress Repair Group. No significant differences were found in the average contact pressure for the vertical repair group at any state at any flexion angle (Figure 5A).

Cross-stitch Repair Group. No significant differences were found between the single- and double-row configurations and the intact state at any flexion angle. When compared with the bucket-handle tear state, average contact pressure was significantly decreased in the single- and double-row configurations groups at 30°, 60°, 90°, and 120° (Figure 5B).

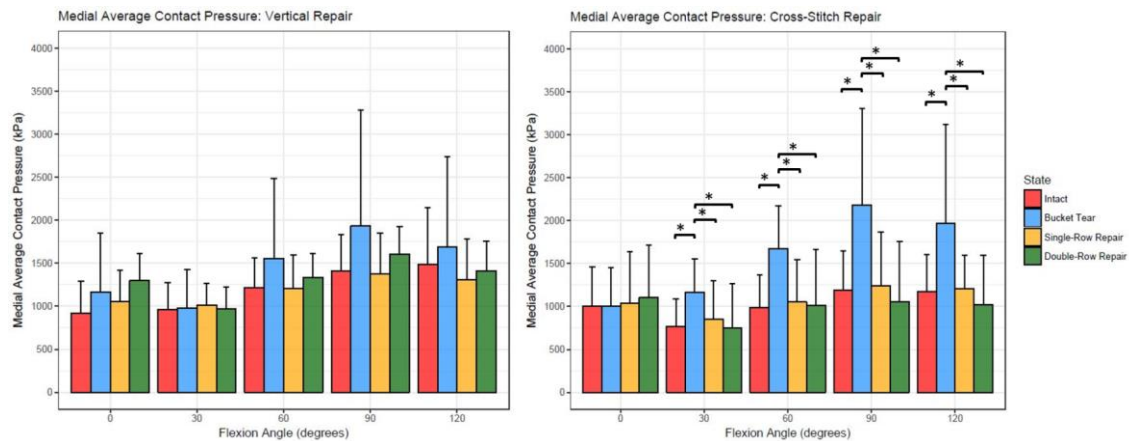


Figure 5: A) Medial average pressure in the vertical repair testing group and B) the cross-stitch repair group for a bucket handle medial meniscus at all flexion angles. (* denotes $p < 0.05$)

Medial Compartment Peak Contact Pressure

Vertical Mattress Repair Group. No significant differences were found in the peak contact pressure at any flexion angle for the vertical repair group, with the exception of a significant increase in the peak pressure at 0° between the intact and bucket-handle tear states (Figure 6A).

Cross-stitch Repair Group. No significant differences were found between the single- and double-row suture configurations and the intact state at any flexion angle. The double-row repair significantly decreased the peak contact pressure at all flexion angles, except for 0° , when compared with the bucket-handle tear state. The single-row repair saw a significant decrease in contact pressure only at 120° of flexion (Figure 6B).

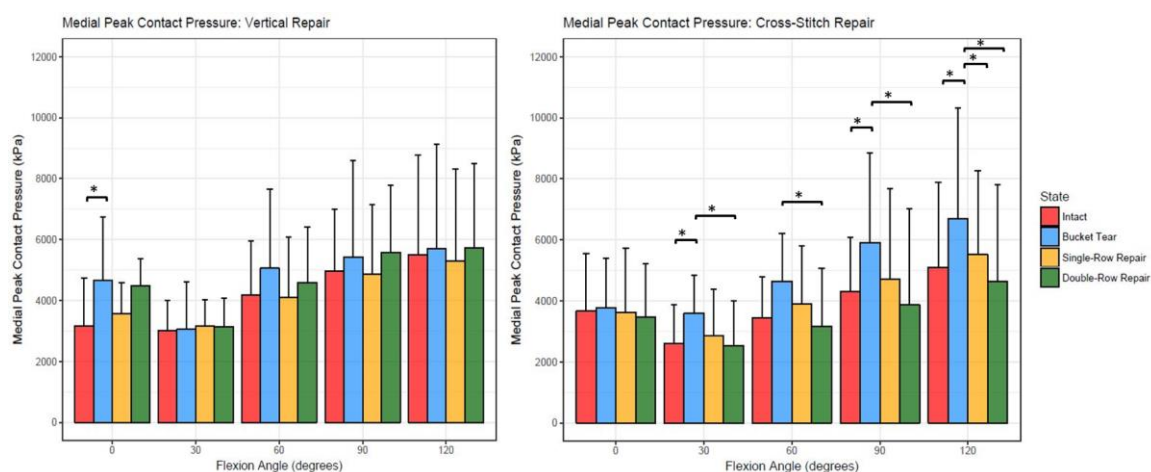


Figure 6: A) Medial peak pressure in the cross-stitch repair testing group and B) cross-stitch repair group for a bucket handle medial meniscus at all flexion angles. (* denotes $p < 0.05$)

Intragroup Comparison: Single Row vs Double Row

Intragroup comparisons were examined through 1-factor linear mixed effects models to check for any effects from using the single- or double-row suture technique. No significant differences were found in any of the metrics analyzed at any flexion angle between the single- and double-row configurations for both the vertical mattress and cross-stitch suture techniques (Figures 4-6).

Group Comparison: Vertical Mattress vs Cross-stitch

Comparisons were made between groups to check for any effects from using the vertical mattress or cross-stitch suture technique at all flexion angles. No significant differences were found between the vertical and cross-stitch groups in the single-row configuration for any of the metrics analyzed. In the double-row configuration, the cross-stitch suture technique showed a significantly decreased contact area (72 mm^2) as well as significant decreases in mean (333.21 kPa) and peak (1167.02 kPa) contact pressures when compared with the vertical suture technique (all $P < .001$).

DISCUSSION

The most important findings of this study were that single- and double-row vertical mattress and cross-stitch inside-out meniscal repair techniques restored native tibiofemoral pressure after a medial meniscal bucket-handle tear at a majority of assessed knee flexion angles within the detectable limits determined from the power analysis. The cross-stitch double-row configuration repair resulted in a decrease in mean and peak pressure but also a decrease in contact area when compared with the vertical mattress double-row configuration across all flexion angles simultaneously. Our hypothesis that the double-row configuration would be the best biomechanical configuration was not fully confirmed. In spite of the fact that the cross-stitch double-row meniscal suture technique led to decreased pressure in comparison with the vertical mattress double-row meniscal suture technique, both repair conditions restored tibiofemoral pressure in comparison with their respective intact states, and there was no difference directly comparing single- and double-row configurations for either the cross-stitch or vertical mattress suture technique. Additionally, the single-row configuration for the cross-stitch and vertical mattress suture techniques was enough to restore the contact areas of their intact states. However, the double-row configuration— with the same number of sutures in the femoral and tibial meniscus surfaces—led to decreased contact area in comparison with the intact state for the cross-stitch suture technique at most of the evaluated knee flexion angles and for the vertical mattress at just 0° of flexion.

Our results suggest that, in the clinical setting, a medial meniscal bucket-handle tear may be repaired with the single- or double-row configuration of the vertical mattress or cross-stitch suture technique. During the surgical procedure, the surgeon can choose to use a hybrid suture technique (cross-stitch and vertical mattress) for a bucket-handle meniscal tear, preferring just 1 vertical mattress suture when a small area needs to be addressed and a cross-stitch suture technique when a part of the injury presents a complex tear pattern that must be involved in a larger area and could not be easily repaired with vertical mattress sutures. Concerning single- and double-row configurations, a double-row configuration should be used to achieve anatomic reduction because a single-row configuration applied to the femoral surface of the meniscus can pull it away from the tibial plateau, introducing inferior meniscal gapping. Given all these aspects and that the final clinical result is determined by biological healing, we cannot make a definitive recommendation of just 1 suturing technique (vertical mattress or cross-stitch) or 1 configuration (single or double row) for a medial meniscal bucket-handle tear.

An interesting finding in our study was that, despite decreased contact area, the cross-stitch double-row repair led to decreased pressure in comparison with the vertical mattress double-row repair at some flexion angles. These results are conflicting because the pressure is expected to increase in the face of a decreased contact area, as proved by the biomechanical analyses of partial and total meniscectomy.^{3,8,24,28,40} This suggests that, in this configuration, the load was transmitted away from the pressure sensor. A possible explanation is that the cross-stitch double-row configuration repair worked like a net, enfolding more meniscal tissue than the vertical mattress double-row configuration repair. This effect would pull the meniscus away from the center of the medial plateau through all the length of the bucket-handle injury to a portion of the plateau that was unable to be covered by the pressure sensor, consequently decreasing contact area. Despite this decrease in contact area, it was found that this “net effect” improved the meniscus function of absorbing loads by decreasing tibiofemoral pressure at time zero of the repair. Although contact area is a relevant parameter in tibiofemoral biomechanics, average contact pressure and peak contact pressure are more important, clinically

relevant, and related to the development of osteoarthritis, as they represent the relation between force and area.^{16,35}

Regarding comparisons between the cross-stitch and vertical mattress sutures, 2 other studies biomechanically evaluated single-row configurations and found no differences, similar to our single-row results.^{33,40} Milchteim et al³³ compared 2 parallel vertical mattress sutures to 2 crossed sutures for a 1-cm complete longitudinal tear on a cadaveric human meniscus and observed no significant differences in failure load and stiffness. In a canine model, Thiemen et al⁴⁰ compared contact pressures following repair of a bucket-handle tear with a horizontal, vertical, or cross-stitch repair technique and found no differences among repair groups with a 150-N limit crescent load at a single knee flexion angle. In contrast, our study was able to detect some significant differences between the double-row vertical mattress and double-row cross-stitch repairs with a higher axial load (1000 N), analyzing multiple flexion angles (0°, 30°, 60°, 90°, and 120°).

Recent biomechanical studies showed that the type of meniscal deficiency is directly correlated to joint contact pressures.^{11,26,27} Despite this, few studies biomechanically evaluated medial meniscal bucket-handle injury and treatment in human knees.^{5,7,8,29} In the current study, we found that the cross-stitch and vertical repair techniques with the single-row configuration restored native contact mechanics across all flexion angles and that the double-row configuration of these same suturing techniques restored native contact mechanics for the majority of tested flexion angles. In a similar study, Marchetti et al²⁹ reported that an inside-out repair of a bucket-handle tear with vertical sutures resulted in restoration of contact area and pressure values close to those of the native knee. However, the authors also reported that a single-row vertical repair technique was unable to restore intact contact area and peak contact pressure at flexion angles $\geq 45^\circ$.

By demonstrating that the cross-stitch and vertical repair techniques were both capable of restoring tibiofemoral contact pressures and areas to near-native conditions, our study adds biomechanical validation to the growing body of clinical literature advocating for the repair of meniscal tears over meniscectomy.^{12,31,44} In clinical settings, bucket-handle repairs were reported to have excellent postoperative outcome scores at a mean follow-up of at least 2 years with low complication and failure rates.^{4,15,38} In a retrospective case series study by Abdelkafy,² 38 patients with long vertical longitudinal meniscal tears were submitted to combined cruciate and horizontal suture techniques. From these 38 patients, 32 patients (6 patients were lost, including 2 failures that were submitted to a meniscectomy in the first postoperative year) were assessed after a mean 4.6 years and had good clinical outcomes (International Knee Documentation Committee score: $n = 27$, grade A; $n = 5$, grade B; mean modified Lysholm score: 91.3; mean SF-36: 88.4; mean visual analog scale for operation satisfaction: 8; mean visual analog scale for pain: 1.5). Furthermore, in a recent study, Moatshe et al³⁴ reported that patients with a bucket-handle tear and patients with a vertical meniscal tear treated with inside-out vertical mattress sutures had comparable results regarding patient-reported outcome scores at 2-year follow-up (SF-12 physical and mental component summaries, Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, Lysholm, Tegner). The reported clinical outcomes of repaired bucket-handle tears can be attributed to the biomechanical evidence of improved joint kinematics in knees with repaired meniscal tissue. However, further patient outcome studies are needed to evaluate the efficacy of the cross-stitch repair technique in a clinical setting.

We acknowledge some limitations of the present study. Inherent to any time-zero cadaveric biomechanical study, this study model does not take into account any postoperative healing of the meniscus and the cyclic loading to which the surgical procedures are submitted. Given this study's sample size, we cannot conclusively rule out group comparisons with true effect sizes that are < 1 (Cohen d). While a custom drill guide was used to drill the 10-mm-diameter transverse tunnel in a similar location on each testing specimen, slight variations in angle could have had an effect on the construct pivot point and

consequently on load distribution between the medial and lateral tibial plateau compartments. To rectify this, a custom pivot table was used to maintain varus/valgus alignment of each specimen so that both tibial plateaus were submitted to equal loads across all flexion angles.³⁵ Additionally, the Tekscan pressure sensors used in the study tended to gradually lose their sensitivity throughout the testing period because of pressure sensor crinkling, sensor load saturation above calibration, sensor record changes owing to liquid exposure, and injured sensing structures. We assumed that this decrease in force sensitivity followed a linear trend, as reported in previous studies, so data analysis code was written to account for this.³⁵ The meniscal conditions were not tested through full knee range of motion, but we chose the most representative flexion angles (0°, 30°, 60°, 90°, 120°). A full double-row configuration was evaluated, matching each femoral surface meniscal suture on the tibial surface, as it was observed that using only a single row of sutures at the meniscocapsular junction introduced inferior meniscal gapping from the tibial plateau and that the placement of the second row of sutures at the inferior aspect of the meniscus helped to reduce the meniscus back to the tibial plateau. A partial double-row configuration, with fewer sutures on the tibial surface, was not evaluated but may be the topic of future studies because the current full double-row configuration decreased the contact area in comparison with the intact state.

CONCLUSION

Single- and double-row configurations of the vertical mattress and cross-stitch inside-out meniscal repair techniques restored native tibiofemoral pressure after a medial meniscal bucket-handle tear at all assessed knee flexion angles. Despite decreased contact area with a double-row configuration, mainly related to the cross-stitch repair, in comparison with the intact state, the cross-stitch double-row repair led to decreased pressure in comparison with the vertical double-row repair. These findings are applicable only at the time of the surgery as the biological effects of healing were not considered.

References:

1. Abdelkafy A. Modified cruciate suture technique for arthroscopic meniscal repair: a technical note. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(9):1116-1120.
2. Abdelkafy A. Short- to mid-term results of arthroscopic meniscal repair of long vertical longitudinal tears using combined cruciate and horizontal suture techniques: a retrospective study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015;25(2):367-374.
3. Abdelkafy A, Wlk M, Krasny C, Landsiedl F. The "cruciate suture" for arthroscopic meniscal repair: a new technique. *Arthroscopy.* 2006;22(10):1134.e1-1134.e5.

4. Ahn JH, Kim KI, Wang JH, Kyung BS, Seo MC, Lee SH. Arthroscopic repair of bucket-handle tears of the lateral meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(1):205-210.
5. Baratz ME, Fu FH, Mengato R. Meniscal tears: The effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report. *Am J Sports Med.* 1986;14(4):270-275.
6. Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Statistical Software.* 2015;67(1):1-48. doi: 10.18637/jss.v067.i01
7. Becker R, Wirz D, Wolf C, Göpfert B, Nebelung W, Friederich N. Measurement of meniscofemoral contact pressure after repair of bucket-handle tears with biodegradable implants. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125(4):254-260.
8. Bedi A, Kelly NH, Baad M, Fox AJ, Brophy RH, Warren RF, Maher SA. Dynamic contact mechanics of the medial meniscus as a function of radial tear, repair, and partial meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2010; 92(6):1398-1408.
9. Branch EA, Milchtein C, Aspey BS, Liu W, Saliman JD, Anz AW. Biomechanical comparison of arthroscopic repair constructs for radial tears of the meniscus. *Am J Sports Med.* 2015;43(9):2270-2276.
10. Burns TC, Giuliani JR, Svoboda SJ, Owens BD. Meniscus Repair and Transplantation Techniques. *J Knee Surg.* 2011;24(3):167-174.
11. Cerminara AJ, LaPrade CM, Smith SD, Ellman MB, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical evaluation of a transtibial pull-out meniscal root repair: challenging the bungee effect. *Am J Sports Med.* 2014;42(12):2988-2995.
12. Chahla J, Cinque ME, Godin JA, Sanchez G, Lebus GF, Whalen JM, Price MD, Kennedy NI, Moatshe G, LaPrade RF, Provencher MT. Meniscectomy and

-
- Resultant Articular Cartilage Lesions of the Knee Among Prospective National Football League Players: An Imaging and Performance Analysis. *Am J Sports Med.* 2018;46(1):200-207.
13. Chahla J, Serra Cruz R, Cram TR, Dean SC, LaPrade RF. Inside-out meniscal repair: medial and lateral approach. *Arthrosc Tech.* 2016; 5(1):e163-e168.
 14. Cruz-López F, Trueba C, Almazán A, Sierra L, Francisco P, Villalobos-Cordova E, Ibarra C. Meniscal repair using the inside-out technique with cross stitch. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2012;20(2):101-105.
 15. Fillingham YA, Riboh JC, Erickson BJ, Bach BR Jr, Yanke AB. Inside-Out Versus All-Inside Repair of Isolated Meniscal Tears: An Updated Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):234-242.
 16. Franciozi CE, Tarini VA, Reginato RD, Gonçalves PR, Medeiros VP, Ferretti M, Dreyfuss JL, Nader HB, Faloppa F. Gradual strenuous running regimen predisposes to osteoarthritis due to cartilage cell death and altered levels of glycosaminoglycans. *Osteoarthritis Cartilage.* 2013;21(7):965-972.
 17. Geeslin AG, Civitarese D, Turnbull TL, Dornan GJ, Fuso FA, LaPrade RF. Influence of lateral meniscal posterior root avulsions and the meniscofemoral ligaments on tibiofemoral contact mechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(5):1469-1477.
 18. Gunes T, Bostan B, Erdem M, Asci M, Sen C, Kelestemur MH. The "butterfly" suture technique for meniscal repair. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(3):331-333.
 19. Harris ML, Morberg P, Bruce WJ, Walsh WR. An improved method for measuring tibiofemoral contact areas in total knee arthroplasty: a comparison of K-scan sensor and Fuji film. *J Biomech.* 1999;32(9):951-958.

20. Iuchi R, Mae T, Shino K, Matsuo T, Yoshikawa H, Nakata K. Biomechanical testing of transcapsular meniscal repair. *J Exp Orthop*. 2017;4(1):2. doi: 10.1186/s40634-017-0075-7.
21. Jaegger G, Marcellin-Little DJ, Levine D. Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *Am J Vet Res*. 2002;63(7):979-986.
22. Jansson KS, Michalski MP, Smith SD, Laprade RF, Wijdicks CA. Tekscan pressure sensor output changes in the presence of liquid exposure. *J Biomech*. 2013;46(3):612-614.
23. Kocabey Y, Taser O, Nyland J, Doral MN, Demirhan M, Caborn DN, Sarban S. Pullout strength of meniscal repair after cyclic loading: comparison of vertical, horizontal, and oblique suture techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(10):998-1003.
24. Koh JL, Yi SJ, Ren Y, Zimmerman TA, Zhang LQ. Tibiofemoral contact mechanics with horizontal cleavage tear and resection of the medial meniscus in the human knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(21):1829–1836.
25. Kohn D, Siebert W. Meniscus suture techniques: a comparative biomechanical cadaver study. *Arthroscopy*. 1989;5(4):324-327.
26. LaPrade CM, Foad A, Smith SD, Turnbull TL, Dornan GJ, Engebretsen L, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical consequences of a nonanatomic posterior medial meniscal root repair. *Am J Sports Med*. 2015;43(4):912-920.
27. LaPrade CM, Jansson KS, Dornan G, Smith SD, Wijdicks CA, LaPrade RF. Altered tibiofemoral contact mechanics due to lateral meniscus posterior horn root avulsions and radial tears can be restored with in situ pull-out suture repairs. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(6):471-479.

28. Lee SJ, Aadalen KJ, Malaviya P, Lorenz EP, Hayden JK, Farr J, Kang RW, Cole BJ. Tibiofemoral contact mechanics after serial medial meniscectomies in the human cadaveric knee. *Am J Sports Med.* 2006;34(8):1334-1344.
29. Marchetti DC, Phelps BM, Dahl KD, Slette EL, Mikula JD, Dornan GJ, Bucci G, Turnbull TL, Singleton SB. A Contact Pressure Analysis Comparing an All-Inside and Inside-Out Surgical Repair Technique for Bucket-Handle Medial Meniscus Tears. *Arthroscopy.* 2017;33(10):1840-1848.
30. Martens TA, Hull ML, Howell SM. An in vitro osteotomy method to expose the medial compartment of the human knee. *J Biomech Eng.* 1997;119(4):379-385.
31. McDermott ID, Amis AA. The consequences of meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88(12):1549-1556.
32. Metcalf MH, Barrett GR. Prospective evaluation of 1485 meniscal tear patterns in patients with stable knees. *Am J Sports Med.* 2004;32(3):675-680.
33. Milchtein C, Branch EA, Maughon T, Hughey J, Anz AW. Biomechanical Comparison of Parallel and Crossed Suture Repair for Longitudinal Meniscus Tears. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(4):2325967116640263. doi: 10.1177/2325967116640263.
34. Moatshe G, Cinque ME, Godin JA, Vap AR, Chahla J, LaPrade RF. Comparable Outcomes After Bucket-Handle Meniscal Repair and Vertical Meniscal Repair Can Be Achieved at a Minimum 2 Years' Follow-up. *Am J Sports Med.* 2017;45(13):3104-3110.
35. Padalecki JR, Jansson KS, Smith SD, Dornan GJ, Pierce CM, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical consequences of a complete radial tear adjacent to the medial meniscus posterior root attachment site: in situ pull-out repair

- restores derangement of joint mechanics. *Am J Sports Med.* 2014;42(3):699-707.
36. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018, <https://www.R-project.org/>.
37. Sabanci SS, Ocal MK. Comparison of goniometric measurements of the stifle joint in seven breeds of normal dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2016;29(3):214-219.
38. Saltzman BM, Cotter EJ, Wang KC, Rice R, Manning BT, Yanke AB, Forsythe B, Verma NN, Cole BJ. Arthroscopically Repaired Bucket-Handle Meniscus Tears: Patient Demographics, Postoperative Outcomes, and a Comparison of Success and Failure Cases. *Cartilage.* 2018 Jun 1:1947603518783473. doi: 10.1177/1947603518783473. [Epub ahead of print] PMID: 29957019
39. Seil R, Rupp S, Kohn DM. Cyclic testing of meniscal sutures. *Arthroscopy.* 2000;16(5):505-510.
40. Thieman KM, Pozzi A, Ling HY, Lewis D. Comparison of contact mechanics of three meniscal repair techniques and partial meniscectomy in cadaveric dog stifles. *Vet Surg.* 2010;39(3):355-362.
41. Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.* New York, NY: Springer; 2009.
42. Wright DH, De Smet AA, Norris M. Bucket-handle Tears of the Medial and Lateral Menisci of the Knee: Value of MR Imaging in Detecting Displaced Fragments. *AJR Am J Roentgenol.* 1995;165(3):621-625.

43. Woodmass JM, LaPrade RF, Sgaglione NA, Nakamura N, Krych AJ. Meniscal Repair: Reconsidering Indications, Techniques, and Biologic Augmentation. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(14):1222-1231.
44. Xu C, Zhao J. A meta-analysis comparing meniscal repair with meniscectomy in the treatment of meniscal tears: the more meniscus, the better outcome? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(1):164-170.

APÊNDICE 4

Tabela I. Área de Contato do Compartimento Medial (mm²) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	523,6	121,9
Intacto	30	20	536,9	127,0
Intacto	60	20	558,3	90,0
Intacto	90	20	511,9	134,4
Intacto	120	20	513,7	156,9
Alça de balde	0	20	394,4	109,1
Alça de balde	30	20	357,6	79,2
Alça de balde	60	20	302,0	94,7
Alça de balde	90	20	276,5	93,3
Alça de balde	120	20	272,3	90,9

APÊNDICE 5

Tabela II. Área de Contato do Compartimento Lateral (mm²) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	499,2	154,6
Intacto	30	20	550,8	107,0
Intacto	60	20	463,2	165,5
Intacto	90	20	394,0	145,0
Intacto	120	20	380,3	98,0
Alça de balde	0	20	420,4	119,3
Alça de balde	30	20	493,5	133,2
Alça de balde	60	20	415,0	147,7
Alça de balde	90	20	347,7	131,7
Alça de balde	120	20	350,9	94,9

APÊNDICE 6

Tabela III. Pressão de Contato Média do Compartimento Medial (kPa) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	964,2	406,8
Intacto	30	20	864,7	325,8
Intacto	60	20	1102,8	372,3
Intacto	90	20	1298,0	446,9
Intacto	120	20	1329,6	564,3
Alça de balde	0	20	1084,3	571,9
Alça de balde	30	20	1068,8	423,4
Alça de balde	60	20	1613,3	730,7
Alça de balde	90	20	2058,7	1213,5
Alça de balde	120	20	1827,2	1085,8

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 7

Tabela IV. Pressão de Contato Média do Compartimento Lateral (kPa) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	1019,6	415,1
Intacto	30	20	1039,9	441,1
Intacto	60	20	932,5	413,9
Intacto	90	20	1079,3	476,8
Intacto	120	20	1007,4	443,5
Alça de balde	0	20	1215,7	529,9
Alça de balde	30	20	1119,1	417,8
Alça de balde	60	20	1074,3	584,4
Alça de balde	90	20	1129,9	454,6
Alça de balde	120	20	1349,6	431,4

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 8

Tabela V. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Medial (kPa) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	3414,5	1709,8
Intacto	30	20	2801,1	1125,5
Intacto	60	20	3811,4	1576,0
Intacto	90	20	4626,6	1903,6
Intacto	120	20	5297,9	2972,1
Alça de balde	0	20	4216,6	1860,9
Alça de balde	30	20	3319,5	1407,5
Alça de balde	60	20	4842,8	2098,5
Alça de balde	90	20	5672,3	2978,3
Alça de balde	120	20	6197,0	3476,5

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 9

Tabela VI. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Lateral (kPa) de Todos Joelhos na Condição Intacta e na Condição de Lesão em Alça de Balde do Menisco Medial, de Acordo Com o Grau de Flexão do Joelho.

Condição	Ângulo de flexão	Número de espécimes	Média	Desvio padrão
Intacto	0	20	3578,1	2268,0
Intacto	30	20	3334,7	1883,3
Intacto	60	20	3307,1	2289,6
Intacto	90	20	3919,0	2814,5
Intacto	120	20	4148,7	2395,2
Alça de balde	0	20	4751,8	2359,1
Alça de balde	30	20	3503,3	1390,2
Alça de balde	60	20	3666,6	2215,7
Alça de balde	90	20	4302,2	2732,7
Alça de balde	120	20	5799,3	2661,5

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 10

Tabela VII. Área de Contato do Compartimento Medial (mm²) ± Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	515,3 ± 146,1	555,6 ± 148,4	589,7 ± 73,5	522,1 ± 121	537,1 ± 128
Alça de Balde	348,1 ± 108,6	374 ± 80,1	321,9 ± 119	297,3 ± 119	268,5 ± 81
Fileira Única	463,5 ± 144,8	519,4 ± 186,3	555,6 ± 139,3	528,9 ± 133,2	523,4 ± 134,8
Fileira Dupla	432,9 ± 83,9	493,4 ± 145,6	528,2 ± 136,4	506,5 ± 144,2	525,6 ± 141

APÊNDICE 11

Tabela VIII. Área de Contato do Compartimento Medial (mm²) ± Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	531,9 ± 99,4	518,1 ± 105,9	526,9 ± 97,5	501,6 ± 143,9	490 ± 185,4
Alça de Balde	440,6 ± 92,7	341,1 ± 78,8	282,1 ± 62,5	255,6 ± 56,9	276,1 ± 104,2
Fileira Única	546,2 ± 132,5	512,7 ± 130,1	519,4 ± 118,8	475,6 ± 133,7	515,9 ± 122,3
Fileira Dupla	433,7 ± 59,8	450,3 ± 89,7	408,2 ± 85,1	387,6 ± 152,6	444,8 ± 178

APÊNDICE 12

Tabela IX. Área de Contato do Compartimento Lateral (mm²) ± Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	497,6 ± 176,2	551,8 ± 117,4	589,7 ± 73,5	522,1 ± 121	537,1 ± 128
Alça de Balde	415,3 ± 134,4	497,4 ± 161,6	321,9 ± 119	297,3 ± 119	268,5 ± 81
Fileira Única	471 ± 179,9	518,5 ± 134,8	555,6 ± 139,3	528,9 ± 133,2	523,4 ± 134,8
Fileira Dupla	451,6 ± 200,3	516 ± 158	528,2 ± 136,4	506,5 ± 144,2	525,6 ± 141

APÊNDICE 13

Tabela X. Área de Contato do Compartimento Lateral (mm²) ± Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	500,8 ± 139,2	549,8 ± 101,9	528,4 ± 105,7	421,6 ± 142,6	386,8 ± 99,3
Alça de Balde	425,5 ± 109,3	489,7 ± 106,4	434 ± 127,5	410,5 ± 124,3	359,5 ± 93,8
Fileira Única	482,1 ± 104	497,7 ± 95	498,6 ± 86,3	377,6 ± 137,2	333,3 ± 51,2
Fileira Dupla	446,6 ± 116,1	472,1 ± 87,9	477,9 ± 99,6	394,5 ± 135	349 ± 63,4

APÊNDICE 14

Tabela XI. Pressão de Contato Média do Compartimento Medial (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	923 $\pm 367,4$	958,9 $\pm 319,4$	1217,3 $\pm 344,7$	1409,6 $\pm 425,5$	1482,6 $\pm 660,9$
Alça de Balde	1163,9 $\pm 689,6$	975,2 $\pm 451,9$	1553,5 $\pm 934,5$	1933 $\pm 1344,2$	1688,4 $\pm 1052,4$
Fileira Única	1052,3 $\pm 368,2$	1011,9 $\pm 251,2$	1204,3 $\pm 388,6$	1377,6 $\pm 474,4$	1304,6 $\pm 475,3$
Fileira Dupla	1296,2 $\pm 360,2$	968,5 $\pm 258,6$	1336,6 $\pm 279,8$	1604,2 $\pm 323,9$	1408,8 $\pm 347,8$

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 15

Tabela XII. Pressão de Contato Média do Compartimento Medial (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	923 $\pm 367,4$	958,9 $\pm 319,4$	1217,3 $\pm 344,7$	1409,6 $\pm 425,5$	1482,6 $\pm 660,9$
Alça de Balde	1163,9 $\pm 689,6$	975,2 $\pm 451,9$	1553,5 $\pm 934,5$	1933 $\pm 1344,2$	1688,4 $\pm 1052,4$
Fileira Única	1052,3 $\pm 368,2$	1011,9 $\pm 251,2$	1204,3 $\pm 388,6$	1377,6 $\pm 474,4$	1304,6 $\pm 475,3$
Fileira Dupla	1296,2 $\pm 360,2$	968,5 $\pm 258,6$	1336,6 $\pm 279,8$	1604,2 $\pm 323,9$	1408,8 $\pm 347,8$

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 16

Tabela XIII. Pressão de Contato Média do Compartimento Lateral (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	3166,6 \pm 1577,2	3000,8 \pm 999,8	4187,8 \pm 1756,6	4953,9 \pm 2053	5499,5 \pm 3283,4
Alça de Balde	4656,7 \pm 2073	3054,6 \pm 1564,5	5053,1 \pm 2593,5	5431,2 \pm 3152,4	5710,1 \pm 3429
Fileira Única	3563 \pm 1027,4	3150,8 \pm 873,3	4102,1 \pm 1970,3	4863,4 \pm 2286,7	5282,2 \pm 3035
Fileira Dupla	4487,3 \pm 895,6	3134,7 \pm 931,9	4578,5 \pm 1836,5	5574 \pm 2200	5714 \pm 2766,5

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 17

Tabela XIV. Pressão de Contato Média do Compartimento Lateral (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	976,2 \pm 422,3	1160,2 \pm 490,6	1059,6 \pm 403,1	1217,3 \pm 469,7	1138,7 \pm 208,9
Alça de Balde	1175,4 \pm 531,2	1116,4 \pm 428,7	1147,6 \pm 478,3	1247 \pm 447,6	1351,5 \pm 284,5
Fileira Única	975,9 \pm 564,1	1204,2 \pm 656,7	1103,2 \pm 517,6	1252,6 \pm 638,3	1198,2 \pm 359,9
Fileira Dupla	979,5 \pm 516,3	1147,7 \pm 626,8	1065,9 \pm 551,2	1248,1 \pm 585,5	1210,5 \pm 307,8

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 18

Tabela XV. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Medial (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	976,2 \pm 422,3	1160,2 \pm 490,6	1059,6 \pm 403,1	1217,3 \pm 469,7	1138,7 \pm 208,9
Alça de Balde	1175,4 \pm 531,2	1116,4 \pm 428,7	1147,6 \pm 478,3	1247 \pm 447,6	1351,5 \pm 284,5
Fileira Única	975,9 \pm 564,1	1204,2 \pm 656,7	1103,2 \pm 517,6	1252,6 \pm 638,3	1198,2 \pm 359,9
Fileira Dupla	979,5 \pm 516,3	1147,7 \pm 626,8	1065,9 \pm 551,2	1248,1 \pm 585,5	1210,5 \pm 307,8

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 19

Tabela XVI. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Medial (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	3662,5 \pm 1883,4	2601,4 \pm 1259,4	3435 \pm 1357,6	4299,2 \pm 1788	5096,4 \pm 2788,9
Alça de Balde	3776,4 \pm 1607,2	3584,4 \pm 1256,4	4632,4 \pm 1572,3	5913,5 \pm 2942,7	6684 \pm 3637,4
Fileira Única	3624,6 \pm 2093,8	2870 \pm 1514,4	3905,5 \pm 1908,4	4702,6 \pm 2973,2	5513,3 \pm 2761,7
Fileira Dupla	3465,7 \pm 1763,5	2519,2 \pm 1471,2	3165,3 \pm 1901,5	3866,9 \pm 3165,3	4636,3 \pm 3159,9

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 20

Tabela XVII. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Lateral (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Vertical (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	3408 \pm 1914,8	2597,2 \pm 1133	2446 \pm 1744,4	3188,7 \pm 26841,1	3685 \pm 3116,3
Alça de Balde	4746,3 \pm 2116,8	3341,9 \pm 768,9	3012,8 \pm 1742,5	3399,8 \pm 2328,5	5779,6 \pm 3173,2
Fileira Única	3687 \pm 2558,3	2883,9 \pm 1235,4	2659,7 \pm 1316,2	3283,2 \pm 2596,5	4390,6 \pm 3420,9
Fileira Dupla	3478,4 \pm 1892,6	3165,8 \pm 1073,1	2843,9 \pm 995,6	2985,8 \pm 2083,5	4392,4 \pm 3090,2

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 21

Tabela XVIII. Pressão de Contato Máxima do Compartimento Lateral (kPa) \pm Desvio Padrão, de Acordo com a Condição e o Grau de Flexão do Joelho no Grupo Sutura Cruzada (n = 10).

	0	30	60	90	120
Intacta	3748,2 \pm 2669,9	4072,3 \pm 2234,9	4168,2 \pm 2525,1	4649,2 \pm 2886,8	4612,4 \pm 1386,3
Alça de Balde	4757,3 \pm 2696	3664,7 \pm 1852,3	4320,4 \pm 2525,4	5204,6 \pm 2921,2	5819 \pm 2210,1
Fileira Única	3767,5 \pm 3104,9	4149,6 \pm 3031,4	4449 \pm 2983	4868 \pm 3000,7	4896,7 \pm 1971,2
Fileira Dupla	3491,9 \pm 2502	3868,7 \pm 2468,9	3960,6 \pm 2284,9	4656 \pm 2574	4918,8 \pm 1884,6

1 kilopascal (kPa) = 0,001 N/mm²; 1000 kPa = 1 N/mm²

APÊNDICE 22

Prêmio Jorge Paulo Lemann de Biomecânica e Artroscopia do Quadril e Joelho, através do qual fui selecionado em 17 de novembro de 2016, pelo Instituto Brasil de Tecnologia da Saúde e Fundação Lemann, com apoio da Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia e da Sociedade Brasileira de Cirurgia do Joelho, para uma bolsa de pesquisa de um ano no *Steadman Philippon Research Institute* (Vail, Colorado, EUA) no qual pude realizar o presente estudo e outros mais.



APÊNDICE 23

Carta de estabelecimento de parceria de colaboração científica do Instituto Brasil de Tecnologia da Saúde (na pessoa do Dr. Leonardo Metsavaht) com o Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da Unifesp e o Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Unifesp (nas pessoas da Prof^a. Dra. Lydia Massako Ferreira e Prof. Dr. Moises Cohen) em 19 de abril de 2018. O marco inicial da parceria foi poder convergir o estudo realizado através da bolsa de pesquisa do Prêmio Jorge Paulo Lemann com o meu doutoramento (Dr. Gilberto Yoshinobu Nakama) no Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da Unifesp.



Rio de Janeiro, 19 de abril de 2018.

Para: Ilma. Profª. Dra. Lydiá Massako Ferreira

Chefe e Professora Titular da Disciplina de Cirurgia Plástica da UNIFESP

Coordenadora e Orientadora do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da UNIFESP

Ilmo. Prof. Dr. Moisés Cohen

Professor Titular do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP

Orientador do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da UNIFESP

Formalizo através desta carta que consideramos muito importante a oportunidade conferida de estabelecermos uma parceria de colaboração científica do Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde (IBTS) com o Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Translacional da UNIFESP e o Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP.

O fato do nosso bolsista **Dr Gilberto Nakama** (International Research Fellow of Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde / Steadman Phillipon Research Institute) poder convergir os estudos que está realizando através da bolsa de pesquisa pelo **Prêmio Jorge Paulo Lemann** para a conclusão de seu doutoramento será um grande marco inicial. Este haverá de colaborar com a abertura de novas frentes para o desenvolvimento de pesquisas em biomecânica para fins de prevenção e reabilitação das lesões do aparelho musculoesquelético aqui no Brasil e grande missão do IBTS.

Fico bastante satisfeito pelo fato de o Dr. Gilberto ser um grande líder, pesquisador competente e excelente Médico, por isso temos certeza que será um fato enriquecedor para a ciência ortopédica e para o Brasil.

Atenciosamente,

Leonardo Metsavaht CSO

IBTS – Instituto Brasil de Tecnologias da Saúde
Rua Visconde de Pirajá, 407 conj 905 - Ipanema - Rio de Janeiro - Brasil
(5521) 2513-2413 contato@brasilsaude.org.br www.brasilsaude.org.br

APÊNDICE 24

Solicitação de Parceria de estudos entre o *Steadman Philippon Research Institute* (SPRI) e a *University of Texas Health Science Center at Houston* (UTH), Através do Dr. Johnny Huard (Cientista Chefe do Centro de Medicina Esportiva Regenerativa do SPRI e Professor do Departamento de Cirurgia Ortopédica da UTH) e de sua Assistente Dra. Xueqin Gao.



STEADMAN PHILIPPON RESEARCH INSTITUTE

July 18, 2017

The University of Texas Health Science Center at Houston
P.O. Box 30118
Dallas, TX 75303-1418

The following SPRI employees are allowed to travel to UTHealth to work on the project "Microfracture Enhancement by Blocking Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) and Transforming Growth Factor-beta (TGF- β): A Study in Rabbits" with Dr. Xueqin Gao. The travel costs for Gilberto and Hajime will be paid by SPRI, per our funding agreement.

SPRI Employees:

1. Gilberto Nakama
2. Hajime Utsunomiya



Geoff Gray
SPRI Controller
Date: 7/18/17

APÊNDICE 25

Aceite de Parceria de estudos entre o *Steadman Philippon Research Institute* (SPRI) e a *University of Texas Health Science Center at Houston* (UTH), Através do Dr. Johnny Huard (Cientista Chefe do Centro de Medicina Esportiva Regenerativa do SPRI e Professor do Departamento de Cirurgia Ortopédica da UTH) e de sua Assistente **Dra. Xueqin Gao.**

Subject: Nakama, Gilberto

From: "Snook, Sherry" <Sherry.Snook@uth.tmc.edu>

Date: Jun 19, 2017, 12:44 PM

To: "Ramirez, Michelle L" <Michelle.L.Ramirez@uth.tmc.edu>

Nakama, Gilberto has been cleared for Visiting Scientist

Sherry Snook

NCMA/NCRT



The University of Texas
Health Science Center at Houston

School of Nursing

UT Health Services / Employee Health Services

7000 Fannin | Suite 1620 | Houston, Texas 77030 ||

| (713) 500-3254 | (713) 486-0983 Fax |

<https://www.uthealthservices.com>

APÊNDICE 26

**Concessão de Extensão da Bolsa de Pesquisa do *International Research
Scholarship* Por Mais 3 Meses Pelo Steadman Philippon Research
Institute Com a Finalidade de Auxiliar no Término da Pesquisa
Científica do Doutorado**



March 25, 2018

Re: Extension of International Research Scholar Appointment for Gilberto Nakama

Dear Gilberto,

I am writing to confirm that your appointment as an International Research Scholar has been extended by three months to conclude on June 29, 2018.

Your employment has been extended to allow you more time to complete the research projects on which you have embarked during your time with Steadman ~~Philipp~~ Research Institute.

Sincerely,

~~Ann Kurronen~~
Ann Kurronen
Vice President of Human Resources

TSCandSPRI.com

181 W Meadow Dr., St. 400 – Vail, CO 81657 – 970.476.1100 – Fax 970.479.5835

360 Peak One Dr., St. 340 – P.O. Box 4815 – Frisco, CO 80443 – 970.668.6760 – Fax 970.668.6761

320 Beard Creek Road – Edwards, CO 81632 – 970.476.1100 – Fax 970.569.3351

APÊNDICE 27**Certificado de Um Ano de *International Research Scholarship* com Dr.
Robert F. LaPrade, MD, PhD**

This is to certify that

Gilberto Nakama, MD

has completed a One Year International Research Scholarship with Focus on the KNEE

with


Robert F. LaPrade, MD, PhD

On June 29, 2018 in Vail, Colorado

APÊNDICE 28

Relação de trabalhos científicos realizados durante o *International Research Scholarship* no *Steadman Philippon Research Institute* e *University of Texas Health Science Center at Houston* durante a bolsa de pesquisa do Prêmio Jorge Paulo Lemann patrocinado pelo Instituto Brasil de Tecnologia da Saúde e Fundação Lemann, com apoio da Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia e da Sociedade Brasileira de Cirurgia do Joelho.

Trabalhos publicados do período da bolsa de pesquisa:

1. Bernhardson AS, Aman ZS, DePhillipo NN, Dornan GJ, Storaci HW, Brady AW, Nakama G, LaPrade RF. Tibial Slope and Its Effect on Graft Force in Posterior Cruciate Ligament Reconstructions. *Am J Sports Med.* 2019;47(5):1168-74.
2. Bernhardson AS, Aman ZS, Dornan GJ, Kemler BR, Storaci HW, Brady AW, Nakama GY, LaPrade RF. Tibial Slope and Its Effect on Force in Anterior Cruciate Ligament Grafts: Anterior Cruciate Ligament Force Increases Linearly as Posterior Tibial Slope Increases. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):296-302.

3. DePhillipo NN, Moatshe G, Brady A, Chahla J, Aman ZS, Dornan GJ, Nakama GY, Engebretsen L, LaPrade RF. Effect of Meniscocapsular and Meniscotibial Lesions in ACL-Deficient and ACL-Reconstructed Knees: A Biomechanical Study. *Am J Sports Med.* 2018;46(10):2422-31.

4. Daney BT, Aman ZS, Krob JJ, Storaci HW, Brady AW, Nakama G, Dornan GJ, Provencher MT, LaPrade RF. Utilization of Transtibial Centralization Suture Best Minimizes Extrusion and Restores Tibiofemoral Contact Mechanics for Anatomic Medial Meniscal Root Repairs in a Cadaveric Model. *Am J Sports Med.* 2019;47(7):1591-600.

5. Nakama GY, Aman ZS, Storaci HW, Kuczmarski AS, Krob JJ, Strauss MJ. Different Suture Materials for Arthroscopic Transtibial Pull-out Repair of Medial Meniscal Posterior Root Tears: A Human Biomechanical Study. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(9):2325967119873274.

6. Nakama GY, Kaleka CC, Franciozi CE, Astur DC, Debieux P, Krobb JJ, Aman ZS, Kemler BR, Storaci HW, Dornan GJ, Cohen M, LaPrade RF. Biomechanical Comparison of Vertical Mattress and Cross-stitch Suture Techniques and Single- and Double-Row Configurations for the Treatment of Bucket-Handle Medial Meniscal Tears. *Am J Sports Med.* 2019;47(5):1194-202.

7. Pache S, Aman ZS, Kennedy M, Nakama GY, Moatshe G, Ziegler C, LaPrade RF. Posterior Cruciate Ligament: Current Concepts Review. Arch Bone Jt Surg. 2018;6(1):8-18.

8. Pache S, Aman ZS, Kennedy M, Nakama GY, Moatshe G, Ziegler C, LaPrade RF. Meniscal Root Tears: Current Concepts Review. Arch Bone Jt Surg. 2018;6(4):250-9.

9. Utsunomiya H, Gao X, Deng Z, Cheng H, Nakama G, Scibetta AC, Ravuri SK, Goldman JL, Lowe WR, Rodkey WG, Alliston T, Philippon MJ, Huard J. Biologically Regulated Marrow Stimulation by Blocking TGF- β 1 With Losartan Oral Administration Results in Hyaline-like Cartilage Repair: A Rabbit Osteochondral Defect Model. Am J Sports Med. 2020;48(4):974-84.

Trabalhos do período da bolsa de pesquisa submetidos para publicação:

1. Nakama GY¹, Gonzalez S, Matre P², Mu X², Whitney K¹, Utsunomiya H¹, Philippon M¹, Li Y¹, Ravuri S¹, Huard J^{1,2}. Systemic Effect of Oral Losartan on Platelet-Rich Plasma and Bone Marrow Concentrate.

¹Center for Regenerative Sports Medicine, The Steadman Clinic and Steadman Philippon Research Institute, Vail, CO

²University of Texas Health Science Center at Houston, Department of Orthopaedic Surgery, Houston, TX

2. Utsunomiya H¹, Gao X^{1,2}, Cheng H, Deng Z, Nakama G¹, Mascarenhas R², Goldman JL³, Ravuri SK¹, Arner JW¹, Ruzbarsky¹, Lowe RW², Philippon MJ¹, Huard^{1,2}. Intra-articular injection of bevacizumab enhances microfracture mediated cartilage repair.

¹Center for Regenerative Sports Medicine, The Steadman Clinic and Steadman Philippon Research Institute, Vail, CO

²University of Texas Health Science Center at Houston, Department of Orthopaedic Surgery, Houston, TX

³Center for Laboratory Animal Medicine & Care, University of Texas Health Science Center, Houston, TX