

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：14501
研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間：2018～2023
課題番号：17KK0193
研究課題名（和文）膝前十字靭帯損傷に合併した半月板損傷に対する手術治療の回旋不安定性改善効果の検討

研究課題名（英文）Assessment of Surgical Treatment Effects on Rotational Instability Improvement in Meniscal Injuries Combined with Anterior Cruciate Ligament Tears

研究代表者
星野 祐一（Hoshino, Yuichi）

神戸大学・医学部附属病院・講師

研究者番号：40718384
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,700,000円
渡航期間： 8ヶ月

研究成果の概要（和文）：この研究ではACL損傷に合併した外側半月板損傷に対する縫合術と修復術の回旋不安定性及び再建靭帯への力学的負荷を関節力学試験ロボットシステムを用いて評価・比較することを目的とした。2019年度には実験を開始し、8膝を用いて関節力学試験を行った。コロナ感染拡大の影響で当初実験計画で予定していた20膝に対してサンプル数としては不十分な状態ながらも検出できた結果としては、ACL損傷に外側半月板損傷を合併した場合にはACL再建術単独では回旋不安定性は十分な回復が得られず、半月板縫合術を追加するか若しくは外側腱固定術を追加することでも回旋不安定性の正常レベルへの回復が得られていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

膝前十字靭帯損傷に半月板の合併損傷が生じることが頻繁にみられるが、特に外側半月板損傷の合併は前十字靭帯損傷で生じる回旋不安定性を悪化させることが知られている。過去の臨床報告からは合併外側半月板損傷に対しては修復を要さないという報告もあるが、今回の実験結果からは回旋不安定性の正常化を目指す場合に前十字靭帯再建術単独では不十分であり、半月板損傷を縫合術で処置するか、若しくは外側腱固定術を追加することが必要になるという事が示唆される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to evaluate and compare the rotational instability and mechanical loads on reconstructed ligaments in cases of lateral meniscal injuries combined with anterior cruciate ligament (ACL) tears, using a joint mechanical testing robot system. The experiments began in the fiscal year 2019, and joint mechanical tests were conducted using 8 knees. Despite the insufficient sample size compared to the initially planned 20 knees due to the impact of the COVID-19 pandemic, the results indicated that ACL reconstruction alone did not achieve sufficient recovery of rotational instability when lateral meniscal injuries were combined with ACL tears. Additional procedures such as meniscal repair or lateral tenodesis were necessary to achieve recovery to normal levels of rotational instability.

研究分野：整形外科

キーワード：膝前十字靭帯 半月板

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

基礎研究となる基盤(C)の調査「題：前十字靭帯損傷に伴う軟部組織損傷の膝回旋不安定性に及ぼす影響についての調査」において、膝前外側靭帯(ALL)の合併損傷による前十字靭帯(ACL)損傷膝の回旋不安定性に及ぼす影響は認められず、一方、半月板の合併損傷は、特に外側半月板損傷において有意に、前十字靭帯不全状態による回旋不安定性を増悪させ、ACL再建術後の不安定性残存要因である可能性が定量的評価によって示された。その結果を踏まえると、ACL損傷に伴う外側半月板の合併損傷の適切な治療が望まれる。しかし、外側半月板損傷に対しての手術方法は関節鏡視下での縫合術と脛骨骨孔を作成し骨内へ固定する修復術などが提案されているがその回旋不安定の改善効果、またさらには再建靭帯にかかる力学的負荷への影響は十分に検討されていない。手術方法の検討は手術侵襲を伴う臨床研究の前段階として屍体膝などを用いた研究において施行されるべきである。屍体膝を用いたACL再建術後の関節力学的試験においては、現存で最も高精度な評価方法としては関節力学試験ロボットシステムが挙げられる。

2. 研究の目的

ACL損傷に合併した外側半月板損傷に対する縫合術と修復術の回旋不安定性及び再建靭帯への力学的負荷を関節力学試験ロボットシステムを用いて評価・比較することである。

3. 研究の方法

屍体膝を用い、ACL損傷+外側半月板損傷モデルを作成し、そこに手術治療を行い、ACL再建モデル(半月板損傷状態) ACL再建+外側半月板縫合モデル、ACL再建+外側半月板修復モデルを作成し、それぞれの状態において関節力学試験ロボットシステムを用いて回旋不安定性を含む関節の不安定性、及びACLとその再建靭帯にかかるIn situ forceを評価し、比較検討した。

当初実験開始までの手続きが滞っていたが、2019年3月に初めて渡米することでき、その後実験を施行するに至った。2019年度には8膝を用いて関節力学試験を行った。

しかし、2020年以降コロナ感染拡大を原因として実質的に渡航が不可能の状態が続いた。Pittsburgh大学とのデータ共有や連絡は続けていたものの、実際のロボットを用いた検証実験の遂行が困難なであった。当初実験計画で予定していた20膝に対して不足するデータの補完方法を検討し、2023年度には電磁気センサーを使用した膝運動動作解析を行い、上記の実験結果の検証を行う事を試行した。しかしシステム構造の違いもあり、検証困難な状態が続いている。サンプル数としては不十分な状態ながらも一定の結果を検出することができた。

4. 研究成果

各力学的ストレス下における関節の移動量(不安定性の評価)は以下のとおりである。

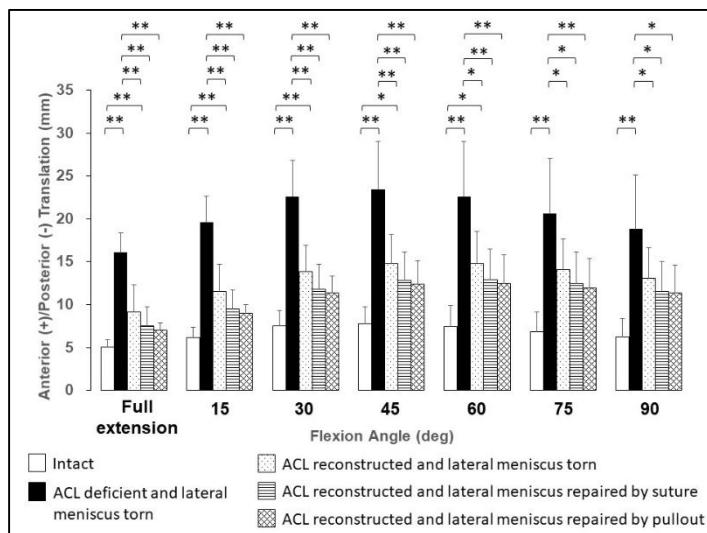


図1. 前方引き出しストレス時の前方移動量の比較

ほぼすべての屈曲角度において正常(Intact)に比べてACL損傷+外側半月板損傷モデル(ACL deficient and lateral meniscus torn)は有意に前方移動量が増大している。ACL再建モデル(ACL reconstructed and lateral meniscus torn)では前方移動量は減少するが、正常に比べて有意に大きい状態であった。その状態に対してACL再建+外側半月板縫合モデル(ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by suture)およびACL再建+外側半月板修復モデル(ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by pullout)ではさらに減少し、正常と有意差の無い状態に至っている。ACL再建+外側半月板縫合モデルとACL再建+外側半月板修復モデルに有意な差は無かった。

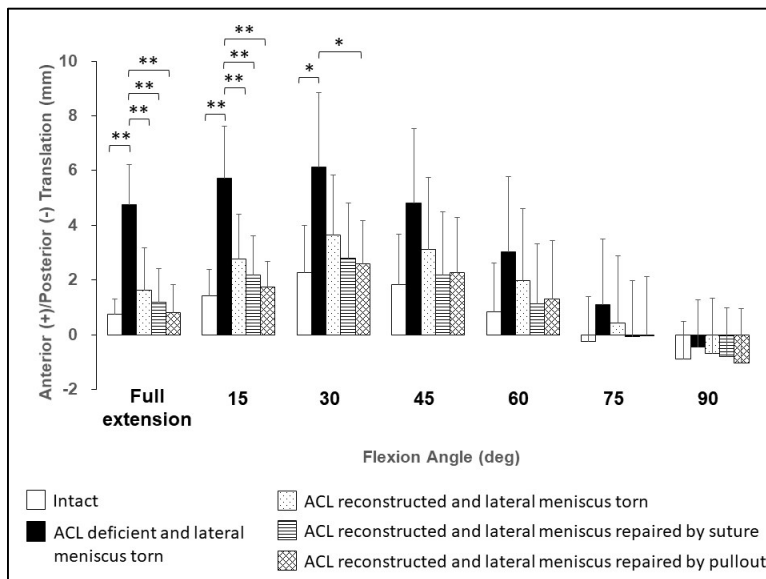
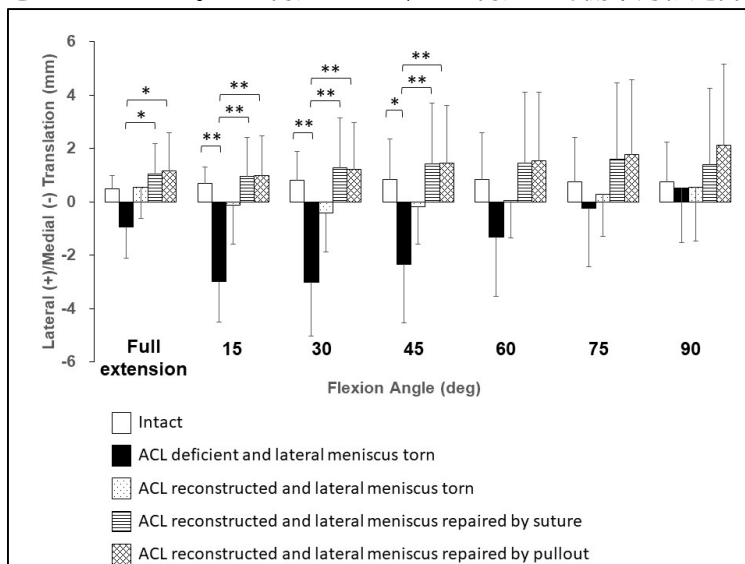


図2. 複合回旋ストレス時の前方移動量（回旋不安定性）の比較
 伸展位から軽度屈曲位にかけて正常（Intact）に比べて ACL 損傷 + 外側半月板損傷モデル（ACL deficient and lateral meniscus torn）は有意に前方移動量が増大している。ACL 再建モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus torn）では前方移動量は減少し、正常に比べて有意のない状態となった。ACL 再建 + 外側半月板縫合モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by suture）および ACL 再建 + 外側半月板修復モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by pullout）ではさらなる減少があり、正常と有意差の無い状態に至っている。ACL 再建モデル、ACL 再建 + 外側半月板縫合モデルと ACL 再建 + 外側半月板修



復モデルの3つのモデル間では有意な差は無かった。
 図3. 前方引き出しストレス時の内外側への移動量の比較
 伸展位から45度屈曲位にかけて正常（Intact）では外側へ移動するのに比べ、ACL 損傷 + 外側半月板損傷モデル（ACL deficient and lateral meniscus torn）では有意に内側への移動しており、有意な差がみられる。ACL 再建モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus torn）では異常な内側移動は改善し、ほぼ内外側への移動を生じない状態となっているが、ACL 損傷 + 外側半月板損傷モデルに比べて有意な変化はみられていない。ACL 再建 + 外側半月板縫合モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by suture）および ACL 再建 + 外側半月板修復モデル（ACL reconstructed and lateral meniscus repaired by pullout）では正常と同様に外側への移動がみられ、正常と有意差のない状態になっていた。ACL 再建 + 外側半月板縫合モデルと ACL 再建 + 外側半月板修復モデルに有意な差は無かった。

In situ force に関しては、前方引き出しストレス、複合回旋ストレス下において ACL 再建モデル、ACL 再建 + 外側半月板縫合モデルと ACL 再建 + 外側半月板修復モデルの3つのモデル間では有意な差は無かった。

以上より、全般的に結果としては、ACL 損傷に外側半月板損傷を合併した場合には ACL 再建術単独では回旋不安定性は十分な回復が得られず、2種の方法による半月板縫合術を追加することで回旋不安定性が正常レベルまで回復できていた。2種の半月板縫合術による差は見られなかった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1 . 発表者名 Hoshino Y, Nishida K, Nagai K, Yamakawa S, Debski R, Musahl V.
2 . 発表標題 Biomechanical comparison between direct suture and transosseous pullout repair techniques for concomitant lateral meniscus tears in knees with anterior cruciate ligament reconstruction.
3 . 学会等名 The Combined Meeting of TOSSM & APKASS 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yuichi Hoshino, Kanto Nagai, Volker Musahl
2 . 発表標題 Lateral extraarticular tenodesis could be substituted for meniscus deficiency in anterior cruciate ligament reconstructed knees.
3 . 学会等名 the 2023 ACL Study group meeting (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Yuichi Hoshino, Satoshi Yamakawa, Calvin Chan, Kyohei Nishida, Kanto Nagai, Richard Debski, Volker Musahl
2 . 発表標題 Concomitant Lateral Meniscus Tear in the Anterior Cruciate Ligament Injured Knee Should Be Treated by Repair or Additional Lateral Extraarticular Tenodesis to Achieve Sufficient Stability.
3 . 学会等名 ISAKOS Congress 2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
	むさーる ぼるかー (Musahl Volker)	ピッツバーグ大学・Department of Bioengineering・ Professor	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
アメリカ合衆国	Department of Bioengineering	the Swanson School of Engineering	University of Pittsburgh