

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K16705

研究課題名（和文）前十字靱帯再建術後成績向上のための新しい脛骨骨切り術の開発

研究課題名（英文）A novel tibial osteotomy for improved outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction

研究代表者

下平 浩揮（Shimodaira, Hiroki）

信州大学・学術研究院医学系・助教

研究者番号：80646547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000 円

研究成果の概要（和文）：前十字靱帯再建術後の再断裂の一因である脛骨後方傾斜に対し、我々は新しい術式である脛骨後方開大型楔状骨切り術を考案した。今回、模擬骨を用いて力学的検証を行った。骨切り部を開大しプレート固定をしたsaw boneを準備し、ひずみゲージを各部位に装着し負荷試験を行った。結果、ひずみはヒンジ部が最も大きく、後内側よりも後外側が大きいこと、開大部にスペーサーを留置した方がより大きい荷重負荷に耐えられること、スペーサーとして人工骨よりもブタ腓骨の方が終局荷重が大きいことを明らかとした。今後はより人体と同程度の強度があるcomposite boneで研究を継続していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本術式が実現すれば、脛骨後方傾斜に起因する前十字靱帯再建術の成績不良例を減らせることが期待される。

研究成果の概要（英文）：To address the posterior tibial slope, a factor in ACL reconstruction re-rupture, we devised a new surgical technique called tibial posterior open wedge osteotomy. We conducted a mechanical verification using simulated bones. We prepared saw bones with the osteotomy area widened and fixed with plates, and equipped each part with strain gauges for load testing. The results showed that the strain was greatest at the hinge area, larger on the posterior lateral side than the posterior medial side, that placing a spacer in the widened area could withstand larger load stress, and that pig fibula as a spacer had a greater ultimate load than artificial bone. Moving forward, we plan to continue research using composite bones that have similar strength to human bones.

研究分野：股関節・膝関節

キーワード：前十字靱帯損傷 前十字靱帯再建術 脛骨後方傾斜 脛骨後方開大型楔状骨切り

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

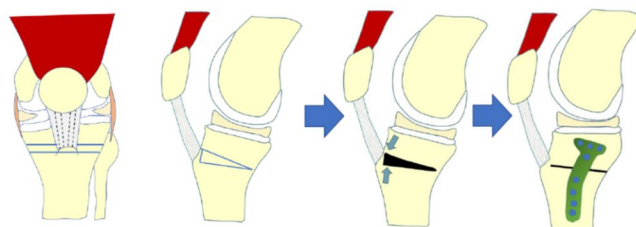
1．研究開始当初の背景

前十字靱帯（ACL）は膝関節における脛骨の前方・内旋方向へのストレスに対する1次性支持機構である。この靱帯は若年層におけるスポーツ活動などで高頻度に損傷を生じることが多く、放置した場合膝の不安定性が持続し、半月板・軟骨損傷などを併発するため、自家組織を移植する手術：ACL再建術が広く行われ、良好な治療成績が報告されている。

しかし、術後に一定の頻度で再建靱帯の緩みや再断裂を生じる症例が存在する。その危険因子として各種の骨形態異常、特に脛骨関節面の後方傾斜（以下脛骨後傾）が注目されている。後傾と再建靱帯にかかる負荷は強い相関関係を示し、傾斜を減らすことで負荷が減じることが各種の生体力学的研究から、また脛骨後傾が大きい症例は術後の再建靱帯の緩み・再断裂が多いことが中長期臨床成績から判明しており、脛骨後傾が大きい症例に対する治療戦略が今後の課題と考えられている。

脛骨後傾が大きい症例に対して、再々建時に脛骨後傾を減じる矯正骨切り術を併用する術式が欧米を中心に行われ短期の良好な成績が報告され、初回手術時にも適応が拡大されている。現在行われている術式は、脛骨近位前方より楔状に骨切りし面を閉鎖する方法（ACWO: anterior closing wedge osteotomy）（図1）であるが、様々な欠点を有し、対象となる若い運動選手に幅広く適応することは困難である。このため、より低侵襲で正確な角度矯正が可能である優れた骨切り方法の開発が必要であると考えられる。

図1 ACWO (Anterior closing wedge osteotomy)



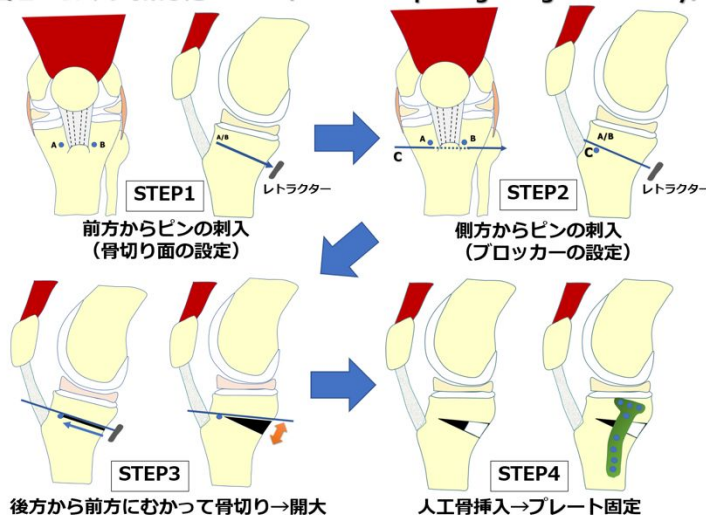
- ・ 良好な治療成績
- ・ 脛骨粗面の追加骨切りが必要
- ・ 手技が煩雑、手術侵襲が大きい

→ 本邦では殆ど行われていない

このことから我々は新しい脛骨骨切り術を考

案した。この術式は、脛骨粗面後方にヒンジをおき、後方より骨切りした面を開大して矯正を行う骨切り（POWO: Posterior Opening Wedge Osteotomy）（図2）である。

図2 我々の考案したPOWO (Posterior opening wedge osteotomy)



この術式では脛骨粗面骨切りは必要とせず、周囲の軟部組織剥離は最小限で侵襲が少ない。また、開大距離によって矯正角を細かくコントロールでき、各種のACWOの欠点を補う方法と成り得る。我々は模擬骨・ブタ脛骨・死体膝でこの骨切り法を試験的に行い、実際に脛骨後傾の矯正が可能であることを確認している。しかしながら、適切な骨切り位置/角度・至適なヒンジ

幅、そしてプレート固定でどの程度荷重負荷に耐えられるか、骨切り部に人工骨を挿入することで強度が上げられるか等の力学的な問題、そして実際にこの様な手術が臨床上可能かどうかの検証、正確な角度矯正が可能か等、術式として確立する上で克服すべき点も多い。

今回、我々はこの新しい術式の力学的、解剖学的な検証、骨切りの精度評価を行い、それを発

展させ臨床まで展開することを目的とした研究を行う。

2．研究の目的

脛骨後方開大型楔状骨切り術（POWO）の力学的、解剖学的、精度的な検証を行い、最終的には臨床におけるその有効性と安全性を明らかにすること。

3．研究の方法

Saw bone 脛骨を用いて脛骨後方開大楔状骨切りを行う。開大幅 8mm の状態で脛骨内側にプレートを設置してスクリュー固定する。前方ヒンジ幅（7mmmm）骨切り部人工骨（ β -TCP）豚腓骨挿入の有無により 3 つ群の bone model を作成する（各 5 個ずつ）。

Saw bone 脛骨は骨幹部で切断し、3D プリンタで作成した土台に設置し、アクリル系常温重合レジンを使用して固定した。大腿骨遠位を模した模型を 3D プリンタで作成した。プレート部および骨切りヒンジ部分にひずみゲージを装着し(図 3)、開大幅計測のためにシールを貼った。1000～2000N の負荷を脛骨にかけ、各部位のひずみ計測を行った(図 4)。負荷を上げていくことにより 3D プリンタで作成した大腿骨遠位の模型が破綻することが確認されたため、大腿骨ジグはステンレスのものを作成した。負荷試験の様子はビデオ撮影を行い、開大幅はシール間の変化量で評価した。変化量は Image J で解析した。

図 3 ひずみゲージの設置位置

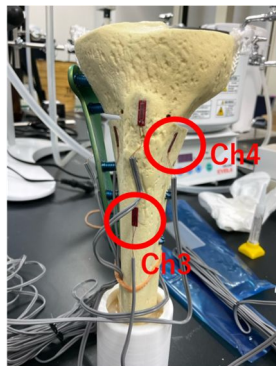


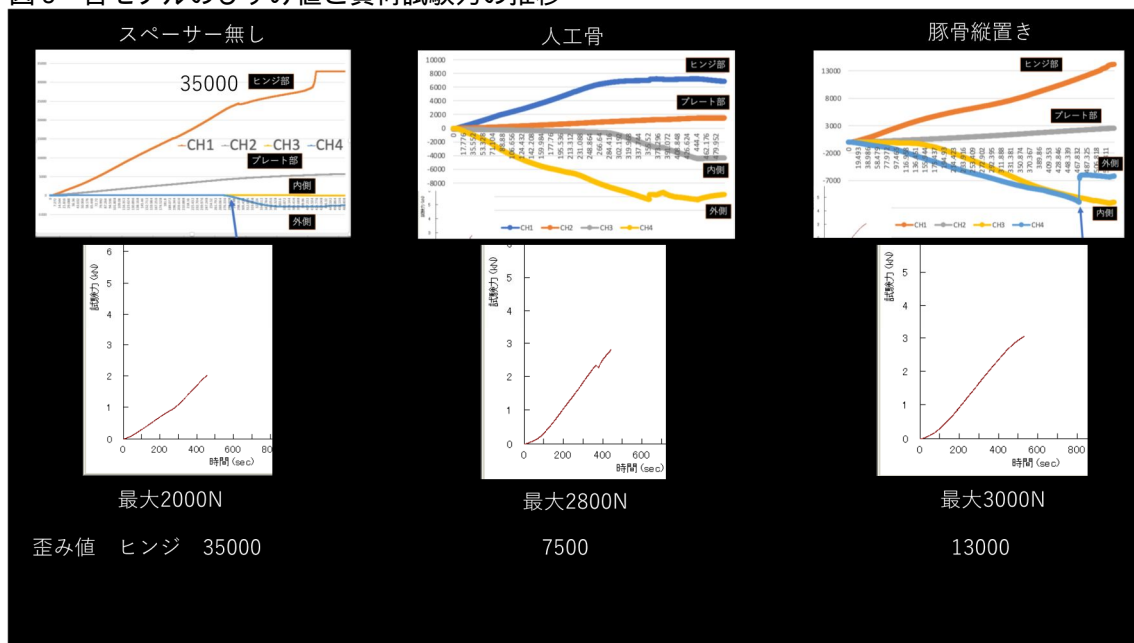
図 4 負荷試験装置



4．研究成果

ひずみについては、ヒンジ部が最も大きく、後内側よりも後外側に大きかった。またプレートへのひずみはモデル型によらず一定だった。開大部には人工骨より豚骨を留置した方が、破綻までの荷重負荷が大きくなった(図 5)。

図5 各モデルのひずみ値と負荷試験力の推移



開大幅については人工骨の方が豚骨よりも保たれている印象であった(図6、図7)。

図6 開大幅の変化量(モデル変化)

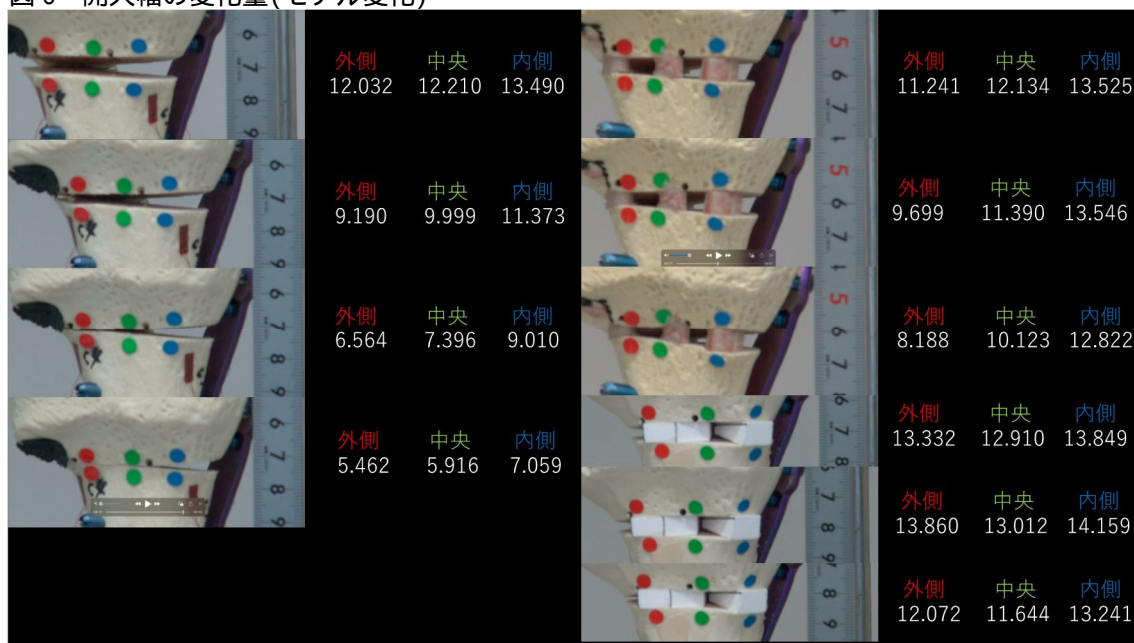
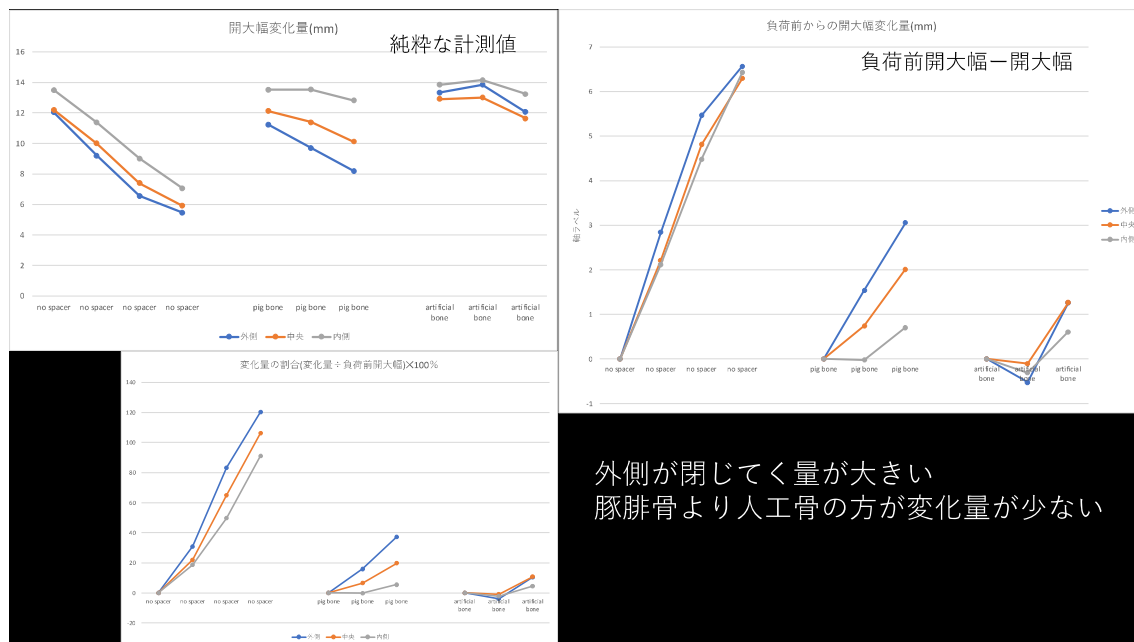


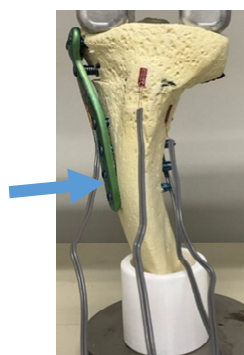
図7 開大幅変化量グラフ化



Saw bone では荷重負荷により座屈が生じ、これによる亀裂が生じた(図 8)。Composite bone では強度が強いため座屈の影響は少ないと考える。

Saw bone でこれらの方法が問題ないことを確認したため、今後人体と同様の強度があるモデルである composite bone に対して実験を行う。これらの結果を 3 群間で比較する。

図8 座屈したモデル



負荷によりモデルが左側 = 内側に歪んでいる(座屈)

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究協力者	天正 恵治 (Tensho Keiji)	信州大学・運動機能学教室・准教授 (13601)	
研究協力者	熊木 大輝 (Kumaki Daiki)	信州大学・運動機能学教室・医員 (13601)	
研究協力者	森山 茂章 (Moriyama Shigeaki)	福岡大学・工学部機械工学科・教授 (37111)	

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
---------	---------