



## Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction could not achieve sufficient control of pivot-shift when accompanying tibial tunnel coalition

抽冬，晃司

---

(Degree)

博士（医学）

(Date of Degree)

2022-09-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8437号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477863>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(課程博士関係)

## 学位論文の内容要旨

Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction could not achieve sufficient control of pivot-shift when accompanying tibial tunnel coalition

膝前十字靱帯解剖学的二重束再建術では、脛骨骨孔重複が生じると  
pivot-shift を十分に制動できない

神戸大学大学院医学研究科医科学専攻

整形外科学

(指導教員：黒田 良祐教授)

抽冬 晃司

## 【目的】

膝前十字靱帯（ACL）解剖学的二重束再建術（DB ACL 再建術）は、元来二重束構造をもつ ACL の再建において解剖学的により近似させるため、従来から一重束で再建されていた手術方法を発展させたものであり、一般に良好な臨床成績が報告されている。Systematic review では、DB ACL 再建術の方が一重束再建術(SB ACL 再建術)と比べて、優れた膝回旋安定性が得られるといわれている一方で、総合的な臨床成績に差はないとする報告が散見される。

DB ACL 再建術は、ACL の前内側線維束 (AM bundle)、後外側線維束 (PL bundle) という 2 つの線維束を各々に再建する方法であり、大腿骨、脛骨の ACL の解剖学的付着部に AM bundle、PL bundle の骨孔を作成する。しかし、術中操作や術後の骨孔拡大により、骨孔が重複することがあり、脛骨側の骨孔重複は大腿骨側に比べて高い頻度で発生することが報告されている。骨孔重複をきたしても臨床成績や徒手的に計測した膝不安定性に差がないとする報告はあるが、脛骨側の骨孔重複が術後の膝回旋安定性に与える影響について定量的評価に基づいた詳細な検討は報告がない。当科では、電磁気センサーを用いて、膝回旋安定性の指標となる pivot-shift の定量的評価を行っており、これまで数多くの報告を行っており、有用性を証明してきた。

そこで本研究の目的は、電磁気センサーを用いて、DB ACL 再建術後の脛骨骨孔重複が pivot-shift および臨床成績に及ぼす影響について評価することとした。仮説は、脛骨骨孔重複が生じると pivot-shift が残存し、臨床成績が悪くなるとした。

## 【方法】

### 研究デザインと対象

2015 年 1 月から 2018 年 3 月に神戸大学医学部附属病院で、片側 ACL 損傷患者に対して、自家ハムストリング腱を使用した初回 DB ACL 再建術を施行した 123 例を対象とする前向き試験を行った。15 歳から 50 歳の患者で、術後 1 年以上経過観察可能であった症例を対象とした。術前および術後約 1 年での screw 抜釘の際に、電磁気センサーによる膝安定性の定量的評価を行い、なおかつ術前および術後 1 年で臨床評価が可能であった症例 51 例のうち、術後 1 年に膝関節単純 CT を撮像できなかった 8 例、術後早期に再断裂をきたした 2 例、術後単純 CT で大腿骨側に骨孔重複を認めた 7 例を除外した 34 例を対象とした。

ACL 損傷は主に徒手検査で診断し、MRI で確認を行った。ACL 再建前および術後約 1 年での screw 抜釘前に、全身麻酔下に電磁気センサーシステムを用いて pivot-shift を定量的に評価した。

骨孔重複は術後 1 年で撮像した膝関節単純 CT を 3 次元的に評価し、関節面での骨孔重複の有無を評価した。骨孔重複があった群を C 群、重複がない群を N 群とした。C 群は 21 例、N 群は 13 例であった。

### 術式

患側のハムストリング腱（半腱様筋腱、薄筋腱）を移植用 graft として採取した後に、AM

bundle と PL bundle の解剖学的付着部を関節鏡下に確認した。ACL 解剖学的付着部の中央に脛骨、大腿骨とも骨孔を作成した。大腿骨側は outside in 法もしくは transportal 法で骨孔を作成し、脛骨側は、PL bundle、AM bundle の順にそれぞれ骨孔を作成した。大腿骨側は adjustable suspensory fixation device を用いて固定を行い、脛骨側は post screw で固定を行った。半月板損傷の合併があれば、必要に応じて、半月板縫合や半月板切除術を行った。

## 後療法

患肢は術後 1 週間で 1/2 部分荷重、術後 2 週間で全荷重を行った。膝硬性装具は術後 8 週間装着し、ランニングは術後 3 か月から許可した。術後 9 か月で筋力が問題なければスポーツ復帰を許可した。

## Pivot-shift test の定量的評価

Pivot-shift の定量的評価は電磁気センサーシステムの JIMI 神戸を使用した。2 つのレシーバーを脛骨、大腿骨に装着し、7 つのランドマークを設定することで、膝の 6 自由度の運動を精密に測定する。Pivot-shift test での誘発される Pivot-shift (脛骨前方亜脱臼位からの後方整復) の際の脛骨の後方への加速度(tibial acceleration) (m/s<sup>2</sup>)を計測した。

## 単純 CT 撮像のプロトコルと画像解析方法

ACL 再建術後、約 1 年で膝関節単純 CT を撮像し、画像解析ソフト (Mimics, 3-matic) で解析を行った。半自動的に大腿骨および脛骨の骨孔を抽出し、それぞれの骨孔中心が大腿骨、脛骨の関節面と交わる位置を骨孔位置と定め、計測した。また、AM bundle、PL bundle の骨孔が関節面で重複している場合は、骨孔重複ありと定めた。術後 2 週と術後 1 年での単純 CT での骨孔拡大に関しても計測を行った。

## 臨床評価方法

ACL 再建術時及び再建術後 1 年の抜釘術時に全身麻酔下で pivot-shift test を行い、臨床的評価として IKDC による 4 段階評価 (none(-)/glide(+)/clunk(++)/gross(+++)) を行った。また、Lysholm knee score、IKDC subjective score による主観的な膝機能評価を行った。

## 統計解析

C 群、N 群間の pivot-shift の定量的評価および 2 つの主観的膝機能評価は independent t 検定(Student t-test)で比較検討した。また、pivot-shift の臨床評価の検討に関しては、カイ 2 乗検定を用いて行った。有意水準は p < 0.05 とした。

## 【結果】

患者背景 (性別、年齢、身長、体重、AM bundle と PL bundle の骨孔径の合計、半月板

損傷の合併、手術待機期間、脛骨関節面の前後、内外の幅)には、両群間で有意差は認めなかつた。

また、術前の pivot-shift の臨床評価、Lysholm score、IKDC subjective score、電磁気センサーでの pivot-shift の脛骨後方加速度には、両群間で有意差は認めなかつた。

再建術後 1 年での pivot-shift の脛骨後方加速度による定量的評価は、N 群で C 群に比べて有意に低かつた。(C 群:  $1.0 \pm 0.6 \text{ m/s}^2$ , N 群:  $0.5 \pm 0.3 \text{ m/s}^2$ ,  $p < 0.01$ )

再建術後 1 年での pivot-shift の臨床評価および、Lysholm score、IKDC subjective score は両群間に有意差は認めなかつた。

また、再建術後 1 年での脛骨の骨孔位置および骨孔拡大率は両群間に有意差は認めなかつた。

## 【考察】

本研究により、脛骨の骨孔重複を生じた ACL 再建膝では、骨孔重複がない例に比べ、pivot-shift の脛骨後方加速度が大きいことが分かつた。このことから脛骨骨孔重複は、膝の回旋不安定性に影響を与える可能性が示唆された。

過去の報告では、骨孔重複と徒手検査による pivot-shift の臨床評価についての検討はみられたが、徒手検査は検者の主観的な評価であり、ばらつきが多いことが知られており、本研究は初めて pivot-shift の定量的評価を用いて骨孔重複による影響の有無を調査した。

本研究では、pivot-shift の定量的評価のデバイスとして、電磁気センサーシステムを使用した。他にも様々なデバイスが使用可能であるが、我々は過去に、現状で一般使用が可能な iPad や加速度センサーによる定量的評価に比べ、電磁気センサーシステムが感度、特異度とも優れていることを報告しており、本研究でも電磁気センサーシステムを評価デバイスとして使用した。

脛骨骨孔重複は DB ACL 再建術では、しばしばみられる合併症であり、本研究では再建術後 1 年で 62% にみられた。過去の報告では 27-77% にみられたといわれており、本研究でも同等の結果であったが、骨孔重複がない群と比べて骨孔サイズや骨孔拡大に差はなく、手術手技が骨孔重複の重要な因子である可能性が考えられた。

Pivot-shift 現象は、伸展位で膝関節に複合回旋ストレスを加えると生じる脛骨外側プラトーの大脛骨に対する前方への亜脱臼が、そこから屈曲していく際に、急激に後方へ自然整復される現象である。AM bundle は脛骨の前方移動を制動する役割を持ち、PL bundle は回旋安定性を保つ役割を持ち、それぞれ違う働きをしている。ACL 再建膝で、脛骨骨孔重複が生じると、AM bundle の後壁がなくなるため、脛骨の前方亜脱臼量が多くなり、PL bundle の前壁がなくなるため、回旋安定性に影響を与え、結果的に pivot-shift が残存してしまう可能性が示唆された。

また、本研究では、過去の報告と同様、脛骨骨孔重複は短期の臨床成績には影響を与えたが、サンプルサイズが小さいことが原因と考えられた。過去には、pivot-shift が大きいと主観的な膝機能評価が悪く、長期的には変形性関節症の進行に寄与すると報告されている。このことから、脛骨骨孔重複が生じ、膝回旋不安定性が残存すると、長期的に膝関節の変性が進行し、臨床成績も悪化する可能性が考えられた。

本研究の限界としては、術後評価が、再建術後1年で行われていることである。ACL再建術後の臨床評価としては、2年での経過報告が一般的であることを考えると少々早いが、当院では、DB ACL再建術後1年程度で脛骨のスクリューの抜釘と関節鏡手術を行うことが多く、その際にしか全身麻酔下でpivot-shiftの定量的評価が行えないことから、再建術後1年で評価を行った。今後は長期的なデータで、脛骨骨孔重複と臨床成績の関連を検討する必要がある。

本研究からは、DB ACL再建時に骨孔重複を生じないようにすべきだが、既存の手術法による限界である可能性がある。今後は、脛骨骨孔を確実に分離することが可能となる手技やデバイスを開発する必要があり、それによりDB ACL再建術はより良好な臨床成績を得られるようになると思われた。

### 【結語】

DB ACL再建術後に脛骨骨孔重複が生じると、重複がない例に比べ、pivot-shiftの脛骨後方加速度が大きくなることが分かった。良好な膝回旋安定性を獲得するためには、DB ACL再建術時に確実に分離した脛骨骨孔を作成することが望ましい。

論文審査の結果の要旨			
受付番号	甲 第 3209号	氏名	抽冬 晃司
論文題目 Title of Dissertation	<p>Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction could not achieve sufficient control of pivot-shift when accompanying tibial tunnel coalition</p> <p>膝前十字韌帯解剖学的二重束再建術では、脛骨骨孔重複が生じると pivot-shift を十分に制動できない</p>		
	<p>主査 岡田 健次 Chief Examiner</p> <p>副査 上田 仁乃 Vice-examiner</p> <p>副査 尾藤 純子 Vice-examiner</p>		
(要旨は1,000字~2,000字程度)			

## 【目的】

膝前十字靱帯(ACL)解剖学的二重束再建術(DB ACL 再建術)は、ACL の 2 つの線維束を各々に再建する方法であり、大腿骨・脛骨にそれぞれ2つの骨孔を作成する。しかし、術中および術後に、骨孔が重複する合併症が生じることがあり、特に脛骨側では大腿骨側に比べて頻度が高いと報告されている。骨孔重複をきたしても臨床成績や徒手的に計測した膝不安定性に差がないとする報告はあるが、骨孔重複の膝回旋安定性への影響を客観・定量的な評価に基づいて検討した報告はない。研究者らは、電磁気センサーを用いて、膝回旋安定性の指標となる pivot-shift の定量的評価を確立し、これまで数多くの報告で有用性を証明してきた。

そこで本研究の目的は、DB ACL 再建術後の脛骨骨孔重複が、pivot-shift に与える影響を電磁気センサーを用いて評価すること、および、臨床成績に及ぼす影響について評価することとした。

## 【対象と方法】

片側 ACL 損傷患者に対して、初回 DB ACL 再建術を施行した 123 例を対象とする前向き試験を行った。ACL 再建術前および術後約 1 年での screw 抜釘術時に、全身麻酔下で pivot-shift テストを行い、定量的評価として電磁気センサーで脛骨後方加速度( $m/s^2$ )を算出した。また、術前および術後 1 年での pivot-shift の臨床評価および主観的膝機能評価による臨床成績の評価を行い、術後 2 週および術後 1 年時に膝関節単純 CT を撮像した。データが不十分な症例、術後早期に再断裂をきたした症例、大腿骨側に骨孔重複を認めた症例を除外し、34 例を最終的に対象とした。

術後 1 年で撮像した膝関節単純 CT を 3 次元的に評価し、関節面での脛骨骨孔重複の有無を評価した。脛骨骨孔重複がある群を C 群 21 例、重複がない群を N 群 13 例とした。また、術後 2 週と術後 1 年での骨孔位置および骨孔拡大を評価した。

骨孔重複の有無で 2 群に分け、pivot-shift の臨床評価はカイ 2 乗検定、定量的評価および主観的膝機能評価、骨孔拡大率は Student-t 検定で比較検討した。有意水準は  $p < 0.05$  とした。

## 【結果】

術前の pivot-shift の臨床評価、主観的膝機能評価、電磁気センサーでの pivot-shift の脛骨後方加速度には、両群間で有意差は認めなかった。

術後 1 年での pivot-shift の脛骨後方加速度による定量的評価は、N 群で C 群に比べて有意に低かった。(C 群:  $1.0 \pm 0.6 m/s^2$ , N 群:  $0.5 \pm 0.3 m/s^2$ ,  $p < 0.01$ )。術後 1 年での pivot-shift の臨床評価および、主観的膝機能評価、脛骨の骨孔位置および骨孔拡大率は両群間に有意差は認めなかった。

## 【考察とまとめ】

本研究により、DB ACL 再建術後の脛骨骨孔重複例は、pivot-shift の脛骨後方加速度が有意に大きく、脛骨骨孔重複が膝の回旋不安定性に影響を与える可能性が示唆された。脛骨骨孔重複は、しばしばみられる合併症であるが、本研究では、骨孔重複がない群と比べて骨孔サイズや骨孔拡大に差ではなく、骨孔の設置位置つまりは手術手技が骨孔重複の重要な因子である可能性が考えられた。

過去には、pivot-shift が大きいと主観的膝機能評価が悪く、長期的には変形性関節症の進行に寄与すると報告されている。よって、脛骨骨孔重複が生じ、良好な膝回旋安定性が得られなければ、長期的に膝関節の変性が進行し、臨床成績も悪化する可能性が考えられた。

本研究からは、DB ACL 再建時に骨孔重複を生じないようにすべきだが、既存の手術法では限界があると考えられる。そのため、今後は、脛骨骨孔を確実に分離することが可能となる手技やデバイスの開発が必要であると考えられた。

本研究は、DB ACL 再建術後の脛骨骨孔重複が膝回旋安定性に及ぼす影響を研究したものであるが、電磁気センサーを用いることで、脛骨骨孔重複例では pivot-shift が残存する可能性があることを初めて証明した報告である。脛骨骨孔を確実に分離する必要性を示したことが、新たな治療アプローチにつながる点で価値ある業績であると認められる。これらは従来の研究とは異なる重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって本研者は、博士(医学)の学位を得る資格があると認める。