

# Kinematics and Laxity of the Ankle Joint in Anatomic and Nonanatomic Anterior Talofibular Ligament Repair: A Biomechanical Cadaveric Study

Am J Sports Med. 2019 Mar; 47(3): 667-673.

doi: 10.1177/0363546518820527

Shoji H. Teramoto A. Sakakibara Y. Kamiya T. Watanabe K. Fujie H. Yamashita T

**要旨** 足関節前距腓靭帯修復術における修復位置の違いが足関節のキネマティクスと制動性に及ぼす影響を検討した。解剖学的修復ではキネマティクス及び制動性は正常と差を認めなかった。非解剖学的修復ではキネマティクスは背屈時に内がえし方向、中間位で内旋方向への有意な変位を認め、制動性は底屈位で内旋の変位が有意に大きくなり、正常とは異なるキネマティクス及び制動性を示した。

## 1. 背景

足関節外側靭帯損傷は足関節捻挫に伴う、最も頻度の高い外傷の一つであり、特に前距腓靭帯 (ATFL) の損傷割合が最も多い。ATFL 損傷の治療の第一選択は外固定やリハビリテーションといった保存治療であるが、約 20% の症例で疼痛や不安定性などの症状が残存し、手術治療が必要になるといわれている。手術は修復術と再建術に大別されるが、どちらも近年関節鏡視下手術が発達している。関節鏡視下手術の利点として低侵襲であり早期の社会復帰やスポーツ復帰が可能であると報告されている。しかし関節鏡視下手術の問題点として、ATFL の付着部である腓骨外果全体を鏡視できないという点がある。Teramoto らは関節鏡視で確認できる外果最遠位は実際の ATFL 付着部中央より 7-10mm 近位であり、付着部の近位までしか鏡視できていないことを報告している<sup>1)</sup>。つまり関節鏡視下手術では ATFL は正常の付着部よりも近位に修復され、非解剖学的な手術となっている可能性がある。しかし、ATFL の修復位置の違いが足関節のキネマティクスや制動性に与える影響についてはこれまで明らかになっていない。

本研究の目的は、ATFL 修復術における修復位置の違いが足関節のキネマティクスと制動性に及ぼす影響を検討することである。我々は解剖学的 ATFL 修復術では正常の足関節と同様のキネマティクスと制動性が得られるが、非解剖学的 ATFL 修復術では正常の足関節とは異なるキネマティクスと制動性となるという仮説を立てた。足関節のキネマティクスと制動性が ATFL の修復位置に依存していた場合、その違いが臨床転帰に影響を与える可能性がある。

## 2. 対象と方法

対象には未固定凍結人体標本の正常足関節 7 足を

用いた。男性 4 足女性 3 足で、死亡時平均年齢は 83.9 (74-93) 歳であった。皮膚や軟部組織を丁寧に取り除き、ATFL を露出させた。下腿骨と踵骨をそれぞれ円筒状のセメントで固定し、生理的な足関節運動が再現可能な 6 自由度ロボットシステムに取り付けた (図 1)<sup>2)</sup>。

まず正常標本での試験を行った後に、ATFL を腓骨側で切離し損傷モデルを作成した。次に 1 つ目の修復として腓骨の ATFL 付着部中央への解剖学的な修復、2 つ目の修復として解剖学的修復より 8mm 近位への非解剖学的な修復を行い、それぞれ試験を行った (図 2)。修復術では腓骨に骨孔を開け、ATFL の断端にかけた 2 号縫合糸を骨孔に通し、10N の張力で固定した。固定時の足関節肢位は底背屈 0 度とした。

試験では足関節のキネマティクスと制動性を評価した。キネマティクスは、足関節他動底背屈時の前後方、内がえし外がえし、内外旋について計測した。また制動性は 60N 負荷時の前方変位、1.7Nm 負荷時の内がえし変位、1.7Nm 負荷時の内旋変位を底屈 30 度、15 度、0 度、背屈 15 度で計測した。

## 3. 結果

足関節他動底背屈時のキネマティクス試験において、正常と比較して損傷モデルでは前後方では底屈 5 度から背屈 15 度までで有意に前方へ変位し、内がえし外がえし方向では底屈 15 度から背屈 15 度まででは有意に内がえしへ変位し、内外旋方向では 0 度で有意に内旋へ変位していた。解剖学的修復では全ての方向で正常と有意差を認めなかった。非解剖学的修復では前後方のキネマティクスは正常と有意差を認めなかったが、内がえし外がえし方向では背屈 5 度から 15 度では有意に内がえしへ変位し、内外旋方向では 0 度で有意に内旋へ変位していた (図 3)。

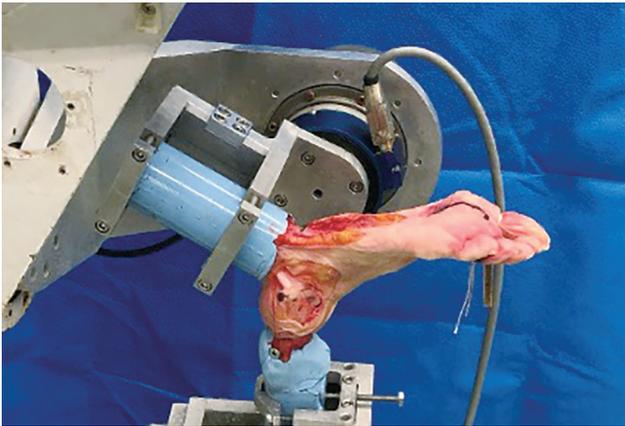


図1 6自由度ロボットシステム  
生理的な足関節運動が再現可能である。

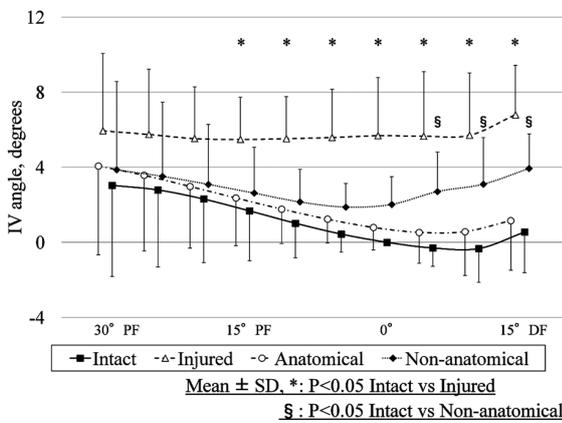


図3 足関節他動底背屈時の内がえし外がえし方向のキネマティクス  
解剖学的修復では正常と有意差を認めなかったが、非解剖学的修復では背屈5度から15度で有意に内がえし方向へ変位した。

制動性試験において、損傷モデルでは前方変位は底屈30°で、内がえし変位は底屈30°と15°で、内旋変位は底屈30°、15°、0°で、それぞれ正常と比較して有意に変位が大きくなった。解剖学的修復では全ての方向で正常と有意差を認めなかった。非解剖学的修復では前方変位及び内がえし変位は正常と有意差を認めなかったが、内旋変位が底屈30°、15°で正常と比較して有意に大きくなった(図4)。

#### 4. 考察

解剖学的修復と非解剖学的修復の違いとして、靭帯走行の方向が挙げられる。非解剖学的修復では腓骨の修復位置が近位になることによって靭帯走行が垂直化する。これまでATFLの走行の違いによるキネマティクスや制動性の変化についての報告はないが、本研究の結果からATFL走行の垂直化することによってキネマティクスの変化や内旋制動性の低下をきたした可能性があると考えられる。

非解剖学的修復では解剖学的修復と比較して、高い再手術率、関節可動域制限、変形の進行などが報告されている。本研究の結果から、非解剖学的修復ではキ

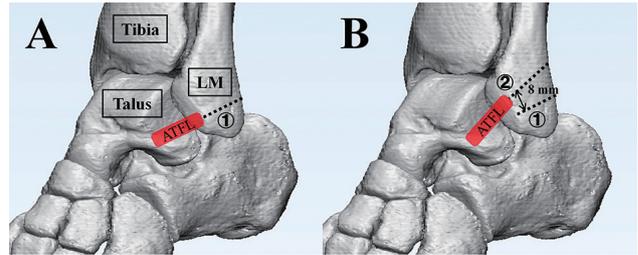


図2 解剖学的修復(A)と非解剖学的修復(B)  
解剖学的修復は腓骨のATFL付着部中央へ修復を行い、非解剖学的修復では解剖学的修復より8mm近位へ修復を行った。

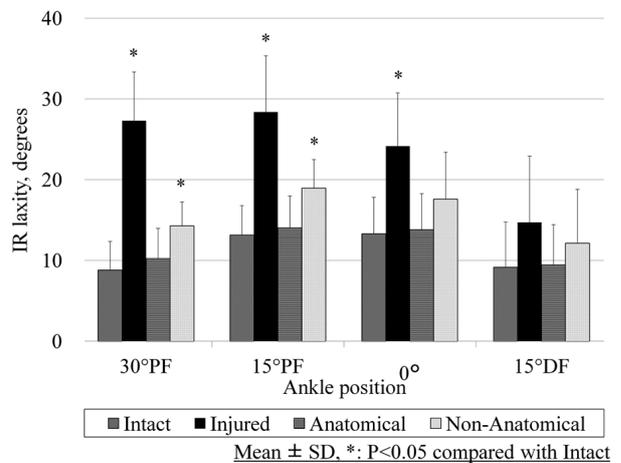


図4 内旋方向への制動性  
解剖学的修復では正常と有意差を認めなかったが、非解剖学的修復では底屈30°、15°で正常と比較して変位が有意に大きくなった。

ネマティクスや制動性が変化しており、そのことが長期成績不良の原因となっている可能性が考えられる。

#### 参考文献

1. Teramoto A, Shoji H, Sakakibara Y, Suzuki T, Watanabe K, Yamashita T. The distal margin of the lateral malleolus visible under ankle arthroscopy (articular tip) from the anteromedial portal, is separate from the ATFL attachment site of the fibula: A cadaver study. J Orthop Sci 2018; 23: 565-569.
2. Kobayashi T, Yamakawa S, Watanabe K, Kimura K, Suzuki D, Otsubo H, Teramoto A, Fujimiya M, Fujie H, Yamashita T. The in situ force in the calcaneofibular ligament and the contribution of this ligament to ankle joint stability. Clin Biomech 2016; 40: 8-13.

#### 小路 弘晃

略歴

2009年 札幌医科大学医学部医学科 卒業

2011年 札幌医科大学医学部整形外科講座

2019年 札幌医科大学大学院医学研究科 博士課程 卒業