

氏名	江玉睦明		
学位の種類	博士（保健学）		
学位記番号	甲第26号		
学位授与の日付	平成28年3月10日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	The twisted structure of the human Achilles tendon アキレス腱の捻れ構造～捻れの程度による分類～		
論文審査員	主査	新潟医療福祉大学	教授 久保雅義
	副査	新潟医療福祉大学	教授 江原義弘
	副査	新潟医療福祉大学	教授 大森豪
	副査	新潟医療福祉大学	教授 奈良貴史

論文内容の要旨

【目的】

アキレス腱（AT）の構造に関しては、古くから遺体解剖による研究が多数報告されており、ATは腓腹筋内側頭（MG）、腓腹筋外側頭（LG）、ヒラメ筋（Sol）の筋腹が付着する各腱線維束から構成され、その腱線維束は捻れ構造という特徴的な形態をしていることが報告されている。近年、ATの捻れ構造が機能的に重要な役割を果たし、更にAT障害などの発生メカニズムにも大きく関わっている可能性が示唆されている。ATの捻れ構造に関しては、ATは例外なく捻れており、また外側方向に捻れていることが共通した見解として報告されている。しかし、捻れの程度に関しては、一定の見解が得られていない。捻れの程度の違いがATの機能的な役割や障害発生メカニズムに関与している可能性が考えられ、ATの捻れの程度に関して詳細に分析する必要があると考える。そこで本研究の目的は、ATの捻れ構造をMG、LG、Solの付着する腱線維束レベルで詳細に検討して、その形態学的特徴を明らかにすることである。

【対象】

対象は、10%ホルマリンに留置後、アルコール置換された日本人遺体60体111側（平均年齢：77.7±11.6歳、男性77側、女性34側）を用いた。本研究は本学倫理委員会にて承認を受けて行われた。

ATの剖出手順は、まず、下腿後面から皮膚、皮下組織、下腿筋膜を除去して下腿三頭筋を踵骨の一部と共に摘出した。次に、MGとLGの筋腹が付着するAT線維束とSolの筋腹が付着するAT線維束を分離した。互いの線維束は非常に強く癒合しているため、丁寧に両線維束を分離した。その後、AT周囲の結合組織を丁寧に取り除き、MGとLGの筋腹が付着するAT線維束を分離した。そして、各腱線維束の踵骨付着部の配列を観察し、Solの付着するAT線維束のみが踵骨隆起の深層（踵骨側面）に付着するものをType I（least）、LGとSolの付着するAT線維束が踵骨隆起の深層（踵骨側面）に付着するものをType II（moderate）、LGの付着するAT線維束のみが踵骨隆起の深層（踵骨側面）に付着するものをType III（extreme）に分類した。更に各線維束を3～4mm程度の線維束まで細かく分離して、走行を検討した。

【結果】

ATはMG, LG, Solの付着する各腱線維束が互いに捻れながら融合しており, ATを頭方から見て右側では左側方向へ, 左側では右側方向への捻れ構造を呈していた。捻れの程度により, Type I (least: 55側, 50%), Type II (moderate: 47側, 43%), Type III (extreme: 8側, 7%)の3 Typeに分類できた。更に各線維束を細かく分離していくと, MGの線維束は, 全ての分類で比較的平行に走行しているのに対して, LGとSolは, Type II・IIIにおいては捻れながら踵骨隆起に付着しており, 特にType IIIにおいては強く捻れていた。更に, Solの捻れの部位は, 踵骨隆起付着部から近位3-5cmの範囲であった。また, 性差や左右差は認められなかった。

【考察】

本研究では, MGの線維束は, 全ての分類で比較的平行に走行しているのに対して, LGとSolの線維束は, Type II・IIIにおいては捻れながら踵骨隆起に付着しており, 特にType IIIにおいては強く捻れていた。更に, Solの捻れの部位は, 踵骨隆起付着部から近位3-5cmの範囲であった。AT障害の好発部位は, ATの踵骨付着部から近位2-6cmであり, また, 外側よりも内側に多く発症すると報告されている。その要因としては, 近位2-6cmの領域は血流供給が乏しいことが要因として挙げられている。この血流供給の乏しい部位に強い捻れのストレスが加わることが, AT障害の発生要因の一つではないかと推察された。

本研究結果は, 捻れ構造の機能的役割やAT障害発生メカニズムの解明のための基本データとしての役割が期待できる。

Keywords: 日本人遺体, 腓腹筋, ヒラメ筋, アキレス腱障害

なお, 本論文は以下の学術雑誌に掲載済みである。

M.Edama, M.Kubo, H.Onishi, T.Takabayashi, T.Inai, E.Yokoyama, W.Hiroshi, N.Satoshi, I.Kageyama:

The twisted structure of the human Achilles tendon

Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 25 (5), e497-503, 2015

論文審査結果の要旨

本論文は, 解剖学的な観点からアキレス腱のネジレ構造について分類を試み, さらに構造的特徴と機能そしてアスリートのアキレス腱障害発生メカニズムについての関連へと考察をすすめている研究である。

腓腹筋の内・外側頭とヒラメ筋を起始とするアキレス腱のそれぞれの成分が例外なく外側へとネジレをしめし, そのネジレの程度に応じて三つの分類ができることが示された。さらに踵骨を回内・回外運動させるシミュレーションにより, 特にヒラメ筋を起始とする腱に不均等な伸長ストレスがかかり, また不均等ストレスのかかりやすい部位が, アキレス腱障害の好発部位と一致することがしめされた。

臨床で観察されるスポーツ障害の発生メカニズムについて理解をふかめ、その予防・治療に寄与できるリハビリテーション手法の開発をこの研究のモチベーションとしている。解剖学的手法を用いることで身体運動とその障害を理解する上で基礎となる知見を提供できている点に価値があり、さらに障害発生予防という臨床的応用を見すえた発展性も期待できる意味で特にスポーツリハビリテーションの分野での有用性が高い。さらに参考論文を含めると、本論文を中心とする研究の継続性が明らかに示されており、その点は特筆に値する。

本論文自体はすでに有意なインパクトファクターをもつ国際誌に掲載されており、審査会でのプレゼンテーションにおいていくつかの内容の確認を行う以外は、審査会では論文の内容そのものについては議論の対象とはなっていない。審査会で論文著者と審査員の間で主な議論は今後の臨床的応用に向けての研究の発展する方向についてのものである。以下にその幾つかについて記す。

1) 研究対象

本論文では研究の対象を踵骨近傍でのアキレス腱のネジレとしているが、アキレス腱障害への応用を考えると、より広い視野で理解を深める必要がある。特に、アキレス腱の作用は付着部である踵骨で終わるのではなく、踵骨から足底へ伸びる足底腱膜と機能的に一体となって働くことが知られているため足部構造・機能との関わりもふくめて検討する必要がある。

さらに腱に能力をあたえるのはその近位にある筋肉であり、今回特にその腱のネジレが注目されているヒラメ筋は走行に多くのバリエーションがあることが知られており、筋の走行と腱の線維の走行との関係は検討が必要な興味深い問題と思われる。

2) 動的課題

アスリートがアキレス腱障害をしめすのはランニングやジャンプなどを含むダイナミックな動きを継続する場合に多い。今回の研究では、踵骨回内・回外位など静的な状態でのシミュレーションを行い腱の伸長度に注目しているが、よりダイナミックな運動課題下で衝撃を加えられた場合の腱のストレス動態について研究していくことでより現実に近い腱への負荷を知ることができる可能性がある。

3) 人種差

解剖学的構造ではさまざまな部位で人種による違いがあることが報告されている。今回の研究でのネジレの三分類の割合は、海外の先行研究での報告とやや異なる傾向を示している。これが分類方法の違いによるものか、あるいは人種差によるものかについては現時点では明らかではない。アキレス腱障害の発生は日本人が欧米人より高いことが報告されており、発生率の違いの一部が解剖学的構造の違いによって説明できる可能性がある。

4) シミュレーション

踵骨の回内・回外による腱線維の伸長率の違いについては、1つのCadaverから得られた一足の形態データのみを元にモデルを作成しシミュレーションを行った結果を示している。また回内・回外運動の回転中心を踵骨の一点に任意に設定してシミュレーションを行っている点も、結果の定量的な意味での解釈に余地を残す。アキレス腱障害につながる、踵接地時での回内・回外の回転中心については詳しいデータが提供されていないため、シミュレーションでは回転中心の位置のパラメータにレンジを持たせて定量的な変化の評価を行う必要がある。さらに、回内・回外と底屈・背屈を組み合わせた複合運動下でのシミュレーションも望ましい。

5) 臨床応用

今回の研究で解剖学的手法で得られた知見のいくつかは、超音波診断装置を用いることで非侵襲的に実際のアスリートにおいて確認可能である。例えば、踵骨近傍でのアキレス腱のネジレは、踵骨の付着部の形状と関係があることが今回の研究で示されたが、踵骨付着部の形態は触診あるいは超音波診断装置で同定が可能でありそこからアキレス腱のネジレのタイプの推測は可能である。さらに、アキレス腱のネジレの程度と障害の発生の間を結ぶと考えられる血流についても超音波診断装置で観察が可能なことが知られている。

まとめ：

高いインパクトファクターをもつ国際誌にアクセプトされていることで端的にしめされているように、本論文は科学的研究論文としてその質の高さは十分に認められ、さらに今後の研究の継続と臨床応用への発展性を強く感じられるものとなっている。

以上のことから審査委員会は本論文を博士（保健学）の学位を授与するに相応しいと認める。