

氏名（本籍）	小田 啓之（大阪府）
学位の種類	博士（スポーツ科学）
学位記番号	甲 第 33 号
学位授与日	平成31（2019）年3月19日
学位授与の要件	大阪体育大学大学院学位規程第4条第1項該当
研究科名	スポーツ科学研究科（博士後期課程）スポーツ科学専攻
論文題目	アキレス腱断裂経験者のアキレス腱の力学的特性および筋・腱の機能特性
審査委員	主査 教授 石川 昌紀 副査 教授 前島 悦子 教授 下河内 洋平

論文内容の要旨

ランニングやホッピングなどの身体運動中、ヒトのアキレス腱（AT）には体質量の5倍から12倍程度の大きな負荷がかかり、それらの繰り返しかかる負荷によって炎症や断裂などの傷害が生じやすい部位である。それ故、AT断裂は、アスリートのみならず一般人でも生じうる傷害である。また、AT断裂経験者は再断裂リスクが高く、断裂後のパフォーマンスが十分に回復しないことも報告されている。これまでAT断裂前後の筋腱の特徴について検討した研究では、断裂後のATはスティフネスが低下することやヒステリシスが高まることから、ATの力学的特性が変化することが動物実験で報告されている。しかしながら、AT断裂経験者におけるダイナミックな身体運動中の筋腱のメカニクスについて検討したものは少なく、ATの再断裂を引き起こす要因や断裂後にパフォーマンスが十分に回復しない要因についての検討は十分なされていない。

そこで本研究では、（1）足関節底屈にともなうATの弯曲を考慮したアキレス腱の長さ測定方法を確立すること、（2）片脚AT断裂経験者の両脚ホッピング中の筋活動を明らかにし、AT再断裂のリスク要

因について検討すること、(3) 断裂経験のある AT と対側の健常脚の AT の力学的特性を比較し、断裂後にパフォーマンスが回復しない要因について検討することを目的とした。

実験(1)では、健常な成人男子8名(年齢: 23 ± 3 歳, 身長: 178.2 ± 5.5 cm, 体質量: 74.8 ± 12.5 kg)を対象として、異なる足関節角度(90° , 110° , 120°)での立位姿勢にて、超音波装置を用いてアキレス腱全体を撮像した。ヒラメ筋の筋腱移行部から踵骨隆起までを超音波映像より同定し、AT長とした。AT長は足関節底屈にともない生じるATの弯曲を考慮した実測モデル、ATの弯曲を無視し筋腱移行部と踵骨隆起の二点間を結んだ直線モデル、メジャーを用いて皮膚表面上でATの弯曲を考慮して測定した外部曲線モデルの3つのモデルで算出した。また、実測モデルと外部曲線モデル、直線モデルとの違いから弯曲の程度を測定した。実験(2)では、片脚AT断裂経験者の運動強度依存による筋活動応答の違いを明らかにするためにAT断裂後2年程度経過したAT断裂経験者8名(男性:5名, 女性:3名, 年齢: 20 ± 1 歳, 身長 165.6 ± 11.6 cm, 体質量: 67.1 ± 19.7 kg)と健常者(CTRL)8名(年齢: 24 ± 3 歳, 身長: 175.6 ± 4.4 cm, 体質量: 69.1 ± 5.7 kg)を測定対象とした。そこでは、異なる強度(最大努力, 最大努力の80%, 60%)の両脚ホッピング運動を行い、ホッピング運動中の地面反力と腓腹筋, ヒラメ筋と, 前脛骨筋の筋活動を記録した。測定は、AT断裂経験者は断裂脚(LEG_{ATR})と健常脚(LEG_{NOR})の両方を測定し、健常者は、左脚のみで測定した。実験(3)では、AT断裂経験者9名を対象(男性:6名, 女性3名, 年齢: 21 ± 2 歳, 身長: 165.6 ± 10.6 cm, 体質量: 66.0 ± 17.6 kg)とし、最大努力での両足ホッピング運動中の筋活動, 腓腹筋の筋束とアキレス腱の動態とアキレス腱張力を算出し、運動中のATの振る舞いと力学的特性について、AT断裂経験脚と健常脚で比較した。

研究(1)では、実測モデルに対する外部曲線モデルで算出したATの弯曲率は、足関節角度が 90° から 120° までの底屈では、モデル間で違いは認められなかったため、足関節角度が 90° から 120° までの可動域での運動であれば、表皮上からアキレス腱の弯曲を考慮した測定モデルでアキレス腱の長さの算出が可能であることが確認された。

研究(2)では、LEG_{ATR}, LEG_{NOR}共に、最大努力でのホッピング中の腓腹筋の筋活動開始タイミングがCTRLよりも遅かった。その結果、運動強度の増加に伴い、腓腹筋の事前筋活動が増加するCTRLに対し、LEG_{ATR}, LEG_{NOR}は低い運動強度で既に最大強度と同程度の事前筋活動が確認された。そのことから、AT断裂者は、断裂脚のみならず、健常脚側においても、運動強度に対応した筋活動の調整が行われていないことがAT再断裂のリスク要因である可能性が示された。

研究(3)では、LEG_{NOR}よりLEG_{ATR}のATで、ホッピング運動中のAT伸張量や伸張率が高く、ステイフネスは低かった。つまり、再腱術後2年程度経過し日常生活を行える状態であったとしても、ATの材質は十分に回復していない可能性がある。柔らかいLEG_{ATR}のATでは、ホッピング運動中、腱が破断する伸張率(8%)までATが伸張されていることが確認されたが、接地前の事前筋活動の開始タイミングはLEG_{NOR}とLEG_{ATR}共に遅かった。つまり、接地後のLEG_{ATR}におけるATの過剰な伸張状態に対する事前筋活動の調整は行われておらず、これらがAT再断裂のリスク要因になる可能性が示唆された。また、柔らかいATを有しているLEG_{ATR}は、接地後の伸張反射局面での筋活動レベルやアキレス腱張力、短縮局面でのAT仕事量が低かったことから、LEG_{ATR}は、腱断裂によるATの材質低下に加えて、反射応答の低下による影響で、アキレス腱張力を高められない可能性も考えられ、伸張反射やATの弾性エネルギーの蓄積-再利用を利用したストレッチ・ショートニングサイクルによる運動が十分に行われていない可能性があり、これらが断裂後にパフォーマンスが十分回復しない要因と考えられる。一方で、短縮局面

においてヒラメ筋の筋活動レベルが高かったことから LEG_{ATR} は、AT 断裂による腱の弾性利用の低下を補償するために、短縮局面での下腿三頭筋の筋活動レベルを高めて筋腱複合体を短縮させてホッピング運動を行っていた。

これらの結果、再建術後 2 年程度経過し日常生活を行える状態であったとしても、 LEG_{ATR} における AT の材質は十分回復していない点や、ダイナミックな運動での事前筋活動での調整がなされていない点が、アキレス腱の伸張率を増加させ、再断裂リスクを高めている可能性があり、AT の材質を高める特異的なリハビリテーションの重要性が示唆された。

審査結果の要旨

(論文審査)

1. 論文要旨

本論文は、アキレス腱断裂の経験者におけるアキレス腱の力学的特性および筋・腱の機能特性について明らかにし、アキレス腱の再断裂リスク要因やその予防について検討した研究をまとめたものである。本研究課題から下記の 3 点について明らかとなった。

- (1) 再建術後 2 年程度経過しても断裂側のアキレス腱の硬度は低く、そのアキレス腱の材質が十分に回復していない点
- (2) 一般的に、ホッピングの跳躍高が増加するにつれて事前筋活動が、アキレス腱断裂の経験者では変化せず、加えて、負荷強度に応じた事前筋活動の活動開始タイミングが遅れる現象が断裂脚だけでなく健常脚においても観察され、接地衝撃に対する神経筋の応答が再断裂のリスク要因となる可能性がある点
- (3) ダイナミックなホッピング運動において、アキレス腱断裂経験者の断裂脚におけるアキレス腱の硬度低下と下腿三頭筋の筋活動応答の低下が、アキレス腱の弾性利用を低下させ運動効率を低下させている可能性があり、アキレス腱断裂経験者の断裂後のパフォーマンスが十分に回復しない要因となっている可能性がある点

2. 論文審査の要旨

論文審査において、本文の文章表現の修正、アキレス腱の構造や測定方法に関する確認、考察における上位中枢や脊髄レベルによる影響に関する確認がなされたが、断裂経験のあるアキレス腱の力学的特性と運動中のアキレス腱の動態やその筋活動の調整機序について明らかにした点、そこから検討した再断裂リスク要因やその予防についての考察を評価した。

(最終試験)

提出論文及び関連することがらについて口頭試問を行った結果、博士の学位授与の基準を満たしていると判断されたので、合格と判定した。