

アキレス腱腱膜の運動時におけるひずみ変化
—筋腱における障害発生との関連の究明に向けて—

専攻：教科・領域教育学専攻
コース：生活・健康・総合内容系コース
学籍番号：M09207B
氏名：木下 貴恵

【緒言】

アキレス腱（腱膜＋外部腱）は下腿の腓腹筋、ヒラメ筋が形成する人体中最大で最強の腱であり、踵骨に停止する。身体活動時には下腿三頭筋で発揮された張力を踵骨に伝達する一方、その弾性によって力学的エネルギーを蓄積・解放するバネ的性質をもち、効果的・効率的な身体運動の遂行に貢献している [Alexander, 1977]。その一方、アキレス腱は歩行や走行といった移動、あるいは身体の移動を伴うスポーツ活動では絶えず使用されるために、力学的負荷がかかりやすく、断裂や炎症といった整形外科的障害が生じやすい部位でもある。

これまでに腱の微細損傷がアキレス腱の炎症や断裂を引き起こす原因となり得ると考えられている [Kannus and Jozsa, 1991]。アキレス腱障害についての実態が明らかにされつつある中で、着目されることが多いのはアキレス腱外部腱であるが、アキレス腱腱膜にも組織損傷や炎症が多く生じていると言われている [中山, 荻田, 2003]。しかし、その実態はほとんど明らかになっておらず、先行研究においてもアキレス腱外部腱ほどには調査がなされていない。

また、アキレス腱障害に並び、下腿の障害で多いものに肉離れ（筋挫傷）がある。中でも、腓腹筋内側頭の損傷頻度が高く、臨床においても肉離れは筋腱移行部に好発することが、MRI・CTなどの画像所見により確かめられている

[Speer, 1993; Hasselman, 1995; Hughes, 1995]。肉離れはアキレス腱障害と同じく、急峻な動作による腓腹筋への過大な張力負荷がかかることよって起こるとされている。さらに、肉離れは、腱膜やそれと繋がる筋膜付近に発生することも多く、運動時の腱膜のふるまいが、この筋損傷に影響していることが予想される。したがって、腱膜のひずみを分析することができれば、腱膜、ならびに筋・腱組織の障害との関連を検討することが可能になると考えた。

そこで、本研究では、Phase Contrast MRI を用いたアキレス腱腱膜（腓腹筋浅部腱膜、ヒラメ筋

浅部腱膜）組織の変形実測を行い、1) ダイナミック動作中のアキレス腱腱膜における局所変形挙動を明らかにすること、2) 1) で明らかにした局所変形の集中部位を明らかにし、筋腱における障害との関連を検討することを目的とした。本研究における仮説は、障害多発部位である筋腱移行部におけるひずみは大きいというものであった。

【方法】

被験者はすべて過去にアキレス腱と下腿筋群に既往歴のない健康な成人男性 7 名 (28.9 ± 2.7 歳, 172.8 ± 4.5 cm, 66.3 ± 6.7 kg) とした。

まず、MR 対応の筋力計を用い、最大随意収縮力 (MVC) による足関節底屈トルクを計測した。次に、右足下腿三頭筋を対象にダイナミック動作中の腱膜のひずみを計測した。Phase Contrast MRI を用い、速度画像と解剖学的画像の撮像を行った。被験者は、右足足関節角度 30° から 20° までの範囲を無負荷で 1 秒に 1 往復のペースにて 64 回底屈・背屈運動を反復した。この時、最底屈時のフットプレートと固定具の衝突力をリアルタイムで記録 (NR-500, KEYENCE) し、その値が閾値 (10% MVC に設定) を超えた時点で撮影が開始されるようリアルタイムプログラマブルコントローラ (KV-5000, KEYENCE) を用いて、設定した。反復動作中、被験者には、ヘッドフォンでメトロノーム音を与え運動のリズムを示し、MRI 用ゴーグルタイプモニターでトルク変化をリアルタイムでフィードバックした。鮮明な画像が取得できるまで測定を繰り返し、分析にはブラーリング(ぶれ)のない鮮明な解剖学的画像が取得できた際の試行を採用した。

分析部位を腓腹筋浅部腱膜においては 3 部位とし、ヒラメ筋浅部腱膜においては 8 部位とした。

Kinugasa et al. (2008) の方法に従い、研究室で作成した MATLAB software platform (The Mathworks, Natick, MA) のプログラムを用い、アキレス腱腱膜組織の移動 (変位) をトラッキングした。ひずみ量は $\Delta L / L$ (変化量) / L (初期長) で算出した。微細損傷の発生と障害との関連を検討す

際には、ヒラメ筋浅部腱膜、腓腹筋浅部腱膜の部位毎に見た時間中のひずみの最大値を求めた。統計は、一元配置の分散分析を行い、有意差が見られた場合には Fisher の SDL 法を用いて検定を行った。

【結果および考察】

ヒラメ筋浅部腱膜、腓腹筋浅部腱膜共に、ひずみの時系列変化に非常に大きな個人差と部位差がみられた。

ヒラメ筋浅部腱膜における動作中に観察された部位毎のひずみの最大値分布も大きな個人差を示した。全体の傾向として、筋腱移行部下部においてひずみが小さい傾向があったが、部位間に統計的な有意差はみられなかった(図1)。一方、各被験者における最大ひずみの最大を示した部位の値と最小を示した部位での値には有意差がみられた。また、筋腱移行部下部とその上部、下部と分けグルーピングして比較した場合の筋腱移行部下部、遠位部の領域間には有意差が観察された(図2)。

腓腹筋浅部腱膜における動作中に観察された部位毎のひずみの最大値分布も大きな個人差を示した。部位間に統計的な有意差はなかったが、筋腱移行部に近い3の部位の値が小さい傾向があった(図3)。

本研究では、筋腱移行部は損傷好発部位であるため、微細損傷発生と関連の高い筋腱移行部のひずみは運動時に大きいと仮説を立てていた。しかし、本研究の仮説に反して、筋腱移行部そのものには特徴的なひずみ集中は観察されず、ヒラメ筋浅部腱膜における筋腱移行部下部と腓腹筋浅部腱膜における筋腱移行部周辺の腱膜のひずみが小さい傾向にあった。先行の報告では、筋腱移行部、すなわち腱膜と筋線維の移行部は、腱実質と同様に、障害発生のリスクが高い[Magnusson et al,2008]とされている。組織に負荷されている張力がこの部位のみ少ないことは考えにくいため、このことは、この部位は他の部位よりも組織の stiffness が高く(硬く)、組織に生じた張力に対しての変形が少ない可能性を示唆している。stiffness の変化が大きいく所には応力が集中する傾向があるため、この部位の周辺において応力の集中が生じている可能性がある。

今回、運動の課題として無負荷での動的関節運動を採用した。これは、予備実験の結果、より強度の高い運動においては、下腿の動きによる画像のブラーリングが大きく精度の高い測定が困難と考えたためである。関節を動かす力の大きさが時間変化を含めて完全に制御できてはいないため、その際に活動している運動単位をコントロールすることはできていない。このことは結果に影響を

与えているであろうと考えられる。

【結論】

先行研究で言われている障害多発部位の筋腱移行部そのものには特徴的なひずみ分布は観察されず、その下部において他部位よりも有意に小さなひずみが、また、遠位部に大きなひずみがみられた。本研究の結果からは、ひずみ分布と障害発生との関係を明確に関連づけることはできないが、ひずみ分布から腱膜の stiffness が筋腱移行部下部で高くなっており、その上下において障害発生のリスクが高まっている可能性がある。

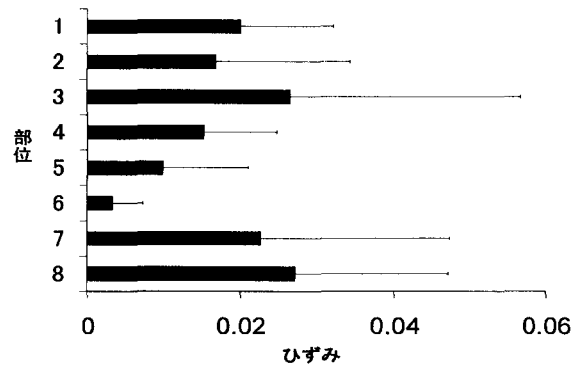


図1 ヒラメ筋浅部腱膜 各部位において観察された全被験者のひずみの最大値の平均±標準偏差

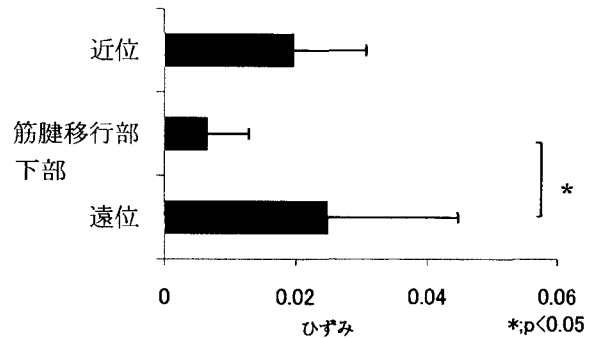


図2 ヒラメ筋浅部腱膜 領域ごとに見た時間中のひずみの最大値の平均±標準偏差 *;p<0.05

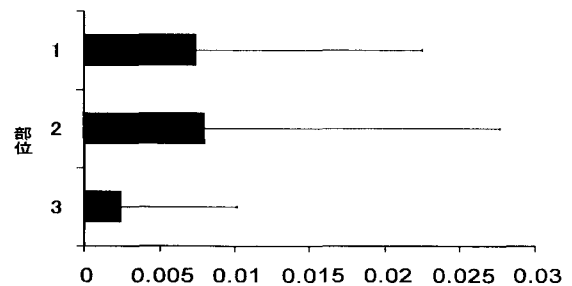


図3 腹筋浅部腱膜 各部位において観察された全被験者のひずみの最大値の平均±標準偏差

主任指導教員 (山本 忠志)
指導教員 (小田 俊明)