

アキレス腱の捻れ構造の機能的役割の検討

○江玉 陸明(えだま むつあき) (PT)¹⁾, 久保 雅義 (PT)¹⁾, 大西 秀明 (PT)¹⁾, 高林 知也 (PT)¹⁾, 稲井 卓真 (PT)¹⁾, 横山 絵里花 (PT)¹⁾, 渡邊 博史 (PT)²⁾, 梨本 智史 (PT)³⁾, 影山 幾男 (DDC)⁴⁾

¹⁾ 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所

²⁾ 三条総合病院 リハビリテーション科

³⁾ 新潟医療センター リハビリテーション科

⁴⁾ 日本歯科大学新潟生命歯学部 解剖学第一講座

はじめに

アキレス腱(AT)の捻れ構造に関しては、古くから多く研究が報告されている。ATは、腓腹筋内側頭(MG)と外側頭(LG)、ヒラメ筋(Sol)の停止する停止腱から構成されており、捻れ構造を呈しており、例外なく外側方向に捻れていると報告されている^{1)~7)}。さらに、捻れの程度に関してはType I (least), Type II (moderate), Type III (extreme)の3つのTypeが報告されている⁷⁾。このように、ATの捻れ構造の形態学的な特徴については一定の見解が得られてきている。

しかし、ATの捻れ構造の機能的な役割については十分に検討されていない。走行時には体重の6~12.5倍の負荷が加わること^{8)~10)}から、強度や衝撃吸収能を高めるための構造であることが仮説として考えられる。また同時に、踵骨は動作時に三次元的に大きな可動性を有する¹¹⁾ことから、踵骨の可動性に対応するための構造ではないかと考えられる。

そこで本研究の目的は、ATの捻れモデルと、捻れのない直線モデルを3次元構築して、踵骨を動かした際にATを構成する各腱線維に加わる伸張度の変化を検討することである。

対 象

対象は、先行研究⁷⁾を参考に、中等度の捻れタイプのATを1側(男性、96歳、左側)とした。

方 法

ATの剖出手順は、先行研究⁷⁾を参考に実施した。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。MGとLGの筋腹が付着するAT線維束は強く癒合しているが、各腱線維束を代表する比較的太い腱線維の走行を追跡することで各腱線維束の境界を同定し分離することができた。更に各線維束を3~4mm程度の腱線維まで細かく分離した。おおよそ、MGの腱線維は9線維、LGの腱線維は5線維、Solの腱線維は11線維に分離した(図1)。



図1. 左Type II (中等度の捻れ)

次に、採取した下腿三頭筋を台上にしっかりと動かないように固定し、3DデジタイザMicroScribe装置(G2X-SYS, Revware)を使用して、MG、LG、Solの筋腱移行部の最遠位端と踵骨隆起付着部の2点と、踵骨隆起をデ

ジタイズして3次元再構築した。その後、この3Dモデルを基に捻れのない直線モデルを作成した。3次元構築にはRhinoceros 3D software (McNeel, Seattle)を使用した(図2)。

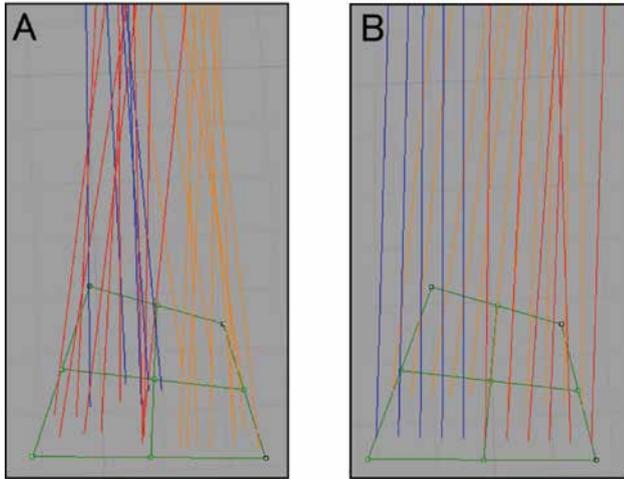


図2. アキレス腱の3次元構築

A: 捻れモデル B: 直線モデル

赤線: 腓腹筋内側頭の停止腱, 青線: 腓腹筋外側頭の停止腱
黄線: ヒラメ筋の停止腱, 緑線: 踵骨隆起

最後に、踵骨隆起の外側の4点の midpoint を回転中心と規定して、その回転中心を基準に作成した絶対座標系上で、踵骨を回内(20°)・回外(20°)方向に動かした際の各腱線維の伸張度(%) = [(踵骨回転後の腱線維の長さ ÷ 回転前の腱線維の長さ) × 100] - 100 をシミュレーションを用いて算出した(図3)。解析には、SCILAB-5.5.0を使用した。

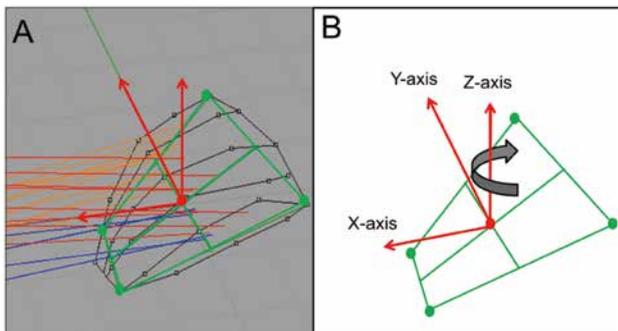


図3. 踵骨隆起の回転中心, 左アキレス腱

A: 踵骨隆起の回転中心

B: 回転中心を基準に絶対座標系を作成

緑点: 踵骨隆起の外側4点

赤点: 踵骨隆起の回転中心(踵骨隆起の外側4点の midpoint)

原点: 回転中心, X-axis: 垂直軸, Y-axis: 左右軸, Z-axis: 前後軸
黒矢印: 回内方向

結果

捻れモデルでは、腱線維束(MG・LG・Sol)を構成する各腱線維は同様の伸張方向であった(図4)。また、直線モデルでは、Solの腱線維束を構成するに腱線維には異なる伸張が加わっていた(図5)。

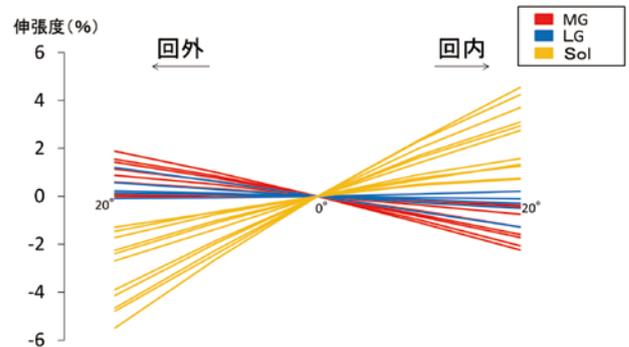


図4. 捻れモデル

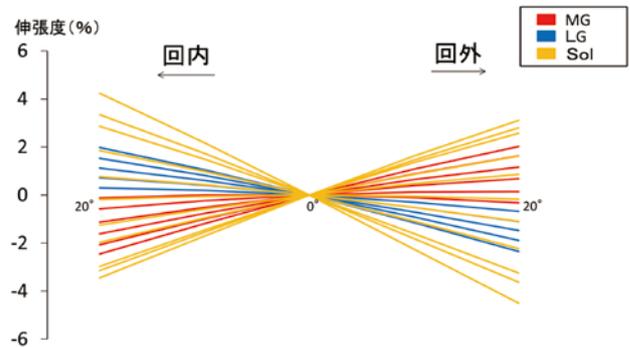


図5. 直線モデル

考察

本研究結果では、捻れモデルでは腱線維束を構成する各腱線維に同様の伸張が加わっていたが、直線モデルでは、Solの腱線維束を構成するに腱線維には異なる伸張が加わっていた。従って、捻れがあることで各腱線維束内(MG・LG・Sol)の歪みが均一化していることが考えられた。よって、ATの捻れ構造は、踵骨の三次元的可動性への対応である可能性が示唆された。

まとめ

- ATの捻れあるモデルと捻れのないモデルとで踵骨を回内・回外方向に動かした際にATを構成する腱線維に加わる伸張度を検討した。
- 捻れモデルでは、腱線維束(MG・LG・Sol)を構成する各腱線維は同様の伸張であった。
- 直線モデルでは、Solの腱線維束を構成するに腱線維に

は異なる伸張度であった。

- 捻れがあることで各腱線維束内 (MG・LG・Sol) の歪みが均一化されている可能性があり, ATの捻れ構造は, 踵骨の三次元的可動性への対応である可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Cummins, E. J., Anson, B. J. & et al. The structure of the calcaneal tendon (of Achilles) in relation to orthopedic surgery, with additional observations on the plantaris muscle. *Surgery, gynecology & obstetrics* 1946 ; 83 : 107 - 116.
- 2) van Gils, C. C., Steed, R. H. & Page, J. C. Torsion of the human Achilles tendon. *J Foot Ankle Surg* 1996 ; 35 : 41 - 48.
- 3) Schepsis, A. A., Jones, H. & Haas, A. L. Achilles tendon disorders in athletes. *Am J Sports Med* 2002 ; 30 : 287 - 305.
- 4) Robert, S. Management of partial tears of the gastro-soleus complex. *Clin Sports Med* 2008 ; 27 : 219 - 229, x.
- 5) Szaro, P., Witkowski, G., Smigielski, R., Krajewski, P. & Ciszek, B. Fascicles of the adult human Achilles tendon-an anatomical study. *Annals of anatomy=Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft* 2009 ; 191 : 586 - 593.
- 6) Edama, M., Onishi, H., Kumaki, K. et al. Effective and selective stretching of the medial head of the gastrocnemius. *Scand J Med Sci Sports* 2014 ;
- 7) Edama, M., Kubo, M., Onishi, H. et al. The twisted structure of the human Achilles tendon. *Scand J Med Sci Sports* 2014.
- 8) Komi, P. V. Relevance of in vivo force measurements to human biomechanics. *J Biomech* 1990 ; 23 Suppl 1 : 23 - 34.
- 9) Scott, S. H. & Winter, D. A. Internal forces of chronic running injury sites. *Med Sci Sports Exerc* 1990 ; 22 : 357 - 369.
- 10) Giddings, V. L., Beaupre, G. S., Whalen, R. T. & Carter, D. R. Calcaneal loading during walking and running. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 : 627 - 634.
- 11) Lundgren, P., Nester, C., Liu, A. et al. Invasive in vivo measurement of rear-, mid- and forefoot motion during walking. *Gait Posture* 2008 ; 28 : 93 - 100.