

「ヒト生体内組織画像化による筋肉の形と活動の観察」

杉崎 範英

概要

ヒトの運動はすべて筋肉の収縮によって引き起こされる。そのため、高い生活の質を保ったり優れた運動パフォーマンスを実現したりするためには、筋肉の機能（強さや速さなど）が高いレベルにあることが重要となる。筋肉の機能に影響する要因は様々あるが、特に形状（太さや長さ）が大きな影響を及ぼす。本報告では、これまでに超音波法やMRI法を用いて生体内における筋肉の形状を計測し、それと運動パフォーマンスの関係などを検討してきた成果や、近年行っている、筋肉の活動状態の観察を通じた効果的なトレーニング方法の検討に関する研究の一部について紹介した。

全身の骨格筋は様々な形状をしており、この骨格筋の形状（筋形状）は機能と密接に関係している。代表的な筋形状の指標として、筋線維長、羽状角、筋横断面積、筋体積、腱長などが挙げられ、これらはそれぞれ、筋の収縮速度、筋張力の伝達効率、筋力、あるいは関節トルクなどを決定する要因となる。そのため、筋形状の個人差や筋間差を調べることは人の身体運動パフォーマンスについて検討する際の重要な課題となる。

人の筋形状を直接的に調べる方法として、古典的には屍体を解剖して調べる方法が用いられてきた（図1）。しかしながら、屍体解剖による筋形状の測定には、対象数が限定されること、固定処理等による組織の変性等の問題があるほか、測定された筋形状と身体運動パフォーマンスとの関係が不明であるという致命的な欠点がある。一方、近年では超音波法や磁気共鳴画像（MRI）法などによって生体内組織を画像化することが可能となっている。超音波法は、臓器の健康状態や胎児の観察などによく用いられるが、同様の装置を用いて、骨格筋の形状を観察することができる。超音波法では、筋形状のうち、筋線維長や羽状角、腱長といったデータを取得することに優れており（図2）、特に運動中様々に変化する筋形状をリアルタイムで観察することができるという大きな利点がある。発表者はこれまでに、超音波法による筋腱形状の観察を通じて、反動を用いた動作にお



図1 屍体解剖による筋形状の測定。 両矢印は筋束長、角度は羽状角を示す。

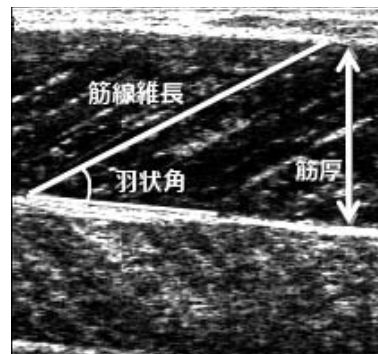


図2 超音波法による筋形状の測定。

るパワー増強効果のメカニズムについての研究 (Sugisaki et al. 2005) や、筋の活動が腱組織の振る舞いに及ぼす影響を明らかにする研究 (Sugisaki et al. 2011) などを行ってきた。

一方、MRI法を用いた測定では、四肢や体幹部の横断画像（輪切りの画像）を取得することから、筋の断面積あるいはその積分としての筋体積のデータを得ることができる（図3）。また近年では、機能的MRI法という撮像法を用いることで、形状だけでなく筋活動の部位や筋活動の程度を観察することができるようになっている（図4）。この手法を用いた研究の一例として、発表者は、スクワットトレーニングにおける下肢筋群の活動を観察し、同じスクワット動作を用いたトレーニングとして分類されるエクササイズであっても、軽負荷高速度で行われるジャンプトレーニングとバーベルを背負って低速度で行われるトレーニングエクササイズでは、下肢筋群の活動が異なり、前者では臀部筋や大腿部内側の筋の活動が高くなることを明らかにした (Sugisaki et al. 2014)。

以上のように、近年の生体内観察技術の発達により、骨格筋の形状は身体運動のパフォーマンスと密接にかかわっていることが実証されてきている。しかし、その一方で、骨格筋形状の個人差は、身体運動パフォーマンスの個人差全体の2割以下しか説明することができないこともわかってきている。このことは、身体運動パフォーマンスの個人差には、筋の形状以外の要因（例えば、筋の使い方などの神経系の要因や筋線維組成など）も大きくかかわっていることを示唆するものでもある。したがって、今後は、筋の形とともに筋の使い方の個人差などの情報も含めた包括的な分析を行い、身体運動パフォーマンスの決定要因や効果的なトレーニング方法の検討を進めていく必要がある。

参考文献

Sugisaki, N., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2005). Behavior of Fascicle and Tendinous Tissue of Medial Gastrocnemius Muscle during Rebound Exercise of Ankle Joint. *International Journal of Sport and Health Science*, 3, 100-109.

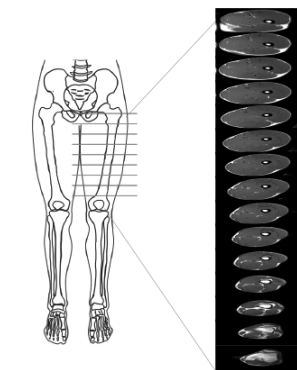


図3 磁気共鳴画像法による筋断面積・筋体積の測定。

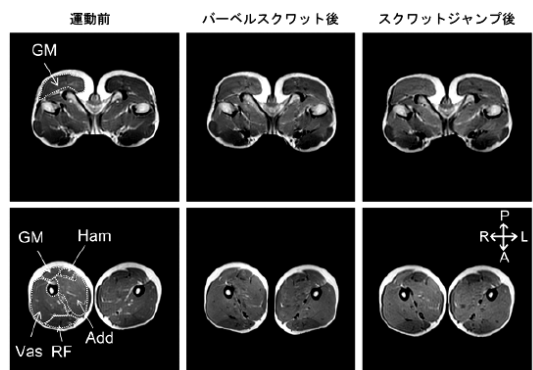


図4 機能的MRI法による筋活動の観察。上段：臀部、下段：大腿部。筋活動があると運動前と比較して白く描出される。

- Sugisaki, N., Kawakami, Y., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2011). Effect of muscle contraction levels on the force-length relationship of the human Achilles tendon during lengthening of the triceps surae muscle-tendon unit. *Journal of Biomechanics*, 44(11), 2168-2171.
- Sugisaki N, Kurokawa S, Okada J, Kanehisa H (2014) Difference in the Recruitment of Hip and Knee Muscles between Back Squat and Plyometric Squat Jump. *PLoS ONE* 9(6): e101203.