

腓腹筋内側頭の形状および機能に及ぼす関節角度の影響

Effects of Joint Angle on the Architecture and Function of the Medial Gastrocnemius Muscle

若原 卓 (Taku Wakahara) 指導：福永 哲夫教授

【緒言】

ヒトの身体運動は、筋の生み出した力により発現する。このとき、筋が発揮できる力の大きさは、筋腱複合体 (muscle-tendon complex: MTC) の形状の影響を受ける。MTCの形状は関節角度によって変化するため、関節角度がMTCの形状および機能に与える影響を明らかにすることは、身体運動の成り立ちを知るために重要な研究課題である。

本研究は、腓腹筋内側頭 (medial gastrocnemius: MG) を分析対象とし、MGの形状 (筋束長、羽状角、遠位外部腱長) と機能 (足底屈トルク、アキレス腱張力) に及ぼす足関節および膝関節の各関節角度の影響を明らかにし、身体運動中のMGの機能的貢献について考察することを目的とした。

【足関節および膝関節の受動的運動がMGの形状に及ぼす影響】

これまで、関節角度変化がMGの各形状因子に与える影響を検討した例 (Kawakami et al. 1998など) は多いが、膝関節角度変化と足関節角度変化を比較した報告はない。そこで、膝関節と足関節の各関節角度変化がMGの形状に及ぼす影響について検討した。

健康な成人男性7名に、受動的足関節運動 (AJ) および受動的膝関節運動 (KJ) を行わせた。このときのMGの形状変化を、超音波診断装置を用いて測定した。

その結果、1) MGの外部腱長は、AJでは変化しないこと、および2) 一定のMTC長変化に対する筋束長変化は、AJとKJで異なることが明らかとなった。これは、MGの外部腱が単関節筋であるヒラメ筋の腱組織と結合している (Bojsen-Moller et al. 2004) ことに起因すると考えられた。

【短縮性筋活動時の足底屈トルクに対する膝関節角度の影響】

膝関節屈曲位では、静的に発揮される腓腹筋張力が低下する (Sale et al. 1982)。一方、高速度の短縮性筋活動では、膝屈曲位であっても腓腹筋張力は低下しない可能性が示されている (Fugl-Meyer et al. 1979)。そこで、短縮性の底屈トルクおよび腱張力に及ぼす膝関節角度の影響を明らかにし、膝伸展位と膝屈曲位との間の差について、MGの長さ-力関係および力-速度関係から検討した。

成人男性6名に、静的および短縮性底屈トルク発揮を、膝完全伸展位 (K_0) と45度屈曲位 (K_{45}) で行わせた。短縮性試行の角速度は、毎秒30度および350度に設定した。このとき、超音波装置を用いてMGの形状変化を測定した。また、下腿三頭筋と前脛骨筋から表面筋電図を導出した。

K_0 - K_{45} 間のピークトルクの差は、足関節角速度の増大に伴い減少した。腱張力のピーク値も同様の傾向を示した。ピーク腱張力時において、 K_{45} の筋束長は K_0 より有意に短かった。 K_{45} の筋束速度は K_0 より有意に低い値であった。MGの筋放電量は、 K_{45} において K_0 より低かった。

MGの長さ-力関係や力-速度関係から考えると、静的筋活動では K_0 が、高速度の短縮性筋活動では K_{45} の方が力発揮に有利であった。一方、筋活動レベルはすべての試行において K_{45} が K_0 に比して低かった。よって、トルクや腱張力の結果は、(1)長さ-力関係、(2)力-速度関係、(3)筋活動レベルの3要因が影響し、表出したものと解釈できた。

【総括論議】

二関節筋である (足関節および膝関節に付着する) 腓腹筋は、下肢の多関節動作中に膝伸展パワーを足底屈に転移する役割を担う (Gregoire et al. 1984)。その際、腓腹筋が弛んだ (slack) 状態ではなく、伸張 (taut) 状態にあることが重要とされている (van Ingen Schenau et al. 1990)。関節角度の変化に伴うMGの形状変化は、MGの腱組織が膝関節角度によらず伸張状態を保ち、パワーの転移を効果的なものに行っていることを示すものと考えられた。

また、先行研究 (Sale et al. 1982) では静的筋活動の結果のみから、膝屈曲位で腓腹筋張力が減少するとされてきた。しかし、短縮性底屈トルクには膝伸展位-屈曲位間の差が認められなかった。身体運動では、静的筋活動よりも動的筋活動の方が多くみられる。よって、身体運動中に膝屈曲位にあっても、腓腹筋張力は必ずしも減少するわけではないことが示された。

これらのことから、MGの生み出す力は、膝伸展位のみならず膝屈曲位においても、身体運動の遂行に寄与することが示唆された。