

膝伸展時の大腿四頭筋における反応時間について

——筋群による発火時間の違い——

岩井明彦, 藤原孝之, 木村貞治, 山本千登勢

Motor time of Quadriceps Femoris Muscles during Knee Extension

——Difference in onset time of active potential among three muscles——

The purpose of this study was to make normative data of reactivity as a one of the knee function. Eleven healthy subjects (8 male, 3 female), aged 20 to 40 years were participated in this study. Reactivity was estimated by motor time (MT). MT was calculated that difference measured onset of Electro-myogram (EMG) activity and that of tension curve. Electrode placed on center of the muscles in Rectus Femoris (RF), Vastus Medialis (VM) and Vastus Lateralis (VL) muscles. Subjects sat on the test chair with hip and knee joint at the 90 degree flexion position. Tension curve and EMG were analyzed by a signal system software, as they extended their own legs immediately after photo-stimulation. Result of this study were following: Reactivity of RF was significantly greater than that of VM and VL. These findings suggest that difference of the muscle fiber type between RF and VM or VL. These results may offer effective assessment and therapeutic maneuver for the knee injury.

Key Words:

Quadriceps Femoris Muscles (大腿四頭筋), Motor time (反応時間), Assesment of knee function (膝機能評価)

はじめに

大腿骨骨折や靭帯損傷などの膝関節機能不全や、その術後に起こる障害の一つとして大腿四頭筋萎縮がある。

この原因の一つとして、反射抑制の影響が考えられている。すなわち、関節水腫による関節内圧の増加により引き起こされる大腿四頭筋の抑制、関節包の外科的な切開や伸張、靭帯の断裂といった機械的固有受容器による抑制などが考えられている¹⁾。

靱帯損傷など膝関節に障害をもつ患者の膝伸筋の筋萎縮に関するこれまでの研究では、type I 筋線維が萎縮するとする報告²⁾や type II 筋線維が萎縮するとする報告³⁾の他、type I および type II 筋線維両者が同様に萎縮する⁴⁾とする様々な報告がされている。Spencer ら⁵⁾によるH波を用いた研究では、関節水腫による大腿四頭筋抑制は他筋に比べ内側広筋(VM)の抑制が強いとしている。また、峰久ら¹⁾の筋電図学的な研究では、膝伸展不全を有する患者の内側広筋の収縮時周波数解析でパワースペクトラムの中央値(MdPF)の有意な低下を認め、同筋に質的な変化を生じている可能性を示した。

このような膝伸筋群における筋萎縮の病態を知ることは、これらを予防するための訓練プログラムを作成する上で重要と考えられる。筋線維タイプの変化を調べる方法として、筋生検や筋電図(EMG)周波数解析や運動時間⁶⁾などの筋電図学的解析が行われている^{2-4,7)}。なかでも筋電図学的解析は非侵襲的であるため筋萎縮の評価として有効であるとの報告もある⁷⁾。

運動時間(Motor Time, 以下MTと略)は関節運動において、EMGの発現から筋張力やトルクあるいは角度変位など関節運動が開始されるまでの時間的な遅れを言う^{8,9)}。

MTは筋の直列弾性要素のバネ係数や収縮力、関節角変位の大小などの他、筋線維タイプの組成比などによって影響される^{8,9)}。そのため、MTは筋により異なる値を示すものと考えられる。また、同一筋においても筋萎縮や筋力強化などにより筋線維の組成比が変化することでMTも変化すると考えられる。

膝に障害をもつ患者の膝伸筋の萎縮が主としてどの筋線維タイプに起きるか、また各筋間で萎縮の程度に差が見られないかを知る

ことは临床上重要である。本研究の目的はその前段階として、健常人において膝関節伸展の主動筋である大腿直筋(RF)と内側広筋(VM)、外側広筋(VL)のMTを計測することである。将来この結果と膝障害患者におけるMT値とを比較検討し膝伸筋の筋萎縮の病態解明および訓練プログラム作成に役立てようとする。

対象および方法

膝および膝周囲筋に障害および既往のない健常人11名(男性8, 女性3, 20~40歳)を対象とした。

被験者は等尺性の筋力測定装置(GT-30, OG技研)上に膝関節90°屈曲位となるように腰掛けた(図1)。体幹と骨盤部は幅広のマ

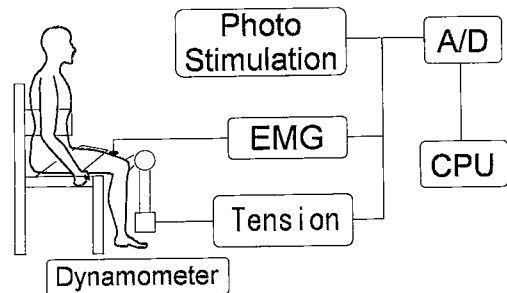


Fig. 1 Block Diagram of Examination

ジックベルトで固定し、頭位は正中位になるよう前方の光刺激装置の光源部を注視させた。光刺激を運動開始の合図とし、足部の内外果の直上部に取り付けた歪センサーをできるだけ速く、強く蹴るよう指示した。この時の張力の変化、およびRF, VM, VLより導出されるEMGを記録しMTの計測を行った。実験は両側の膝で行い、同一肢の各被験筋間での比較、および左右での比較を行った。

導出された張力波形とEMG波形は、光刺激直前から張力波形の立ち上がり後約1秒間

をA/Dコンバーターを介し、サンプリング周波数2.5 kHzにてコンピューターに取り込み、多用途生体情報解析システムBIMUTAS-E, Ver. 2 (キッセイコムテック社製)を用いて解析した。

MTは筋力測定装置から得られる張力波形とRF, VM, VLのそれぞれの筋より得られる表面筋電図(EMG)波形より測定した。

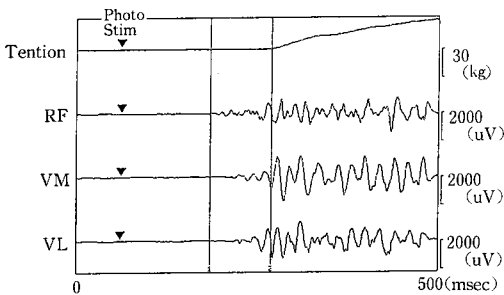


Fig. 2 Raw Data of EMG and Tension
MT of RF was measured by between
Mark1 and Mark2

RF, VM, VLのEMG波形の開始から張力の立ち上がりまでの時間をそれぞれRF, VM, VLのMTとして測定した。測定は10回行い、その平均値を代表値とした。また、測定と測定の間隔は30~120 secとし、その時間間隔は予測を避けるためランダムに変化させた。

EMGの導出はRF, VM, VL各筋の筋腹中央部に電極間距離4 cmに貼付した使い捨て表面電極(ディスポ電極ビトロードY, 日本光電社製)より行った。導出されたEMGの増幅には多用途生体用テレメーターシステム(Multi telemeter 511, NEC三栄社製)を用いた。なお、皮膚インピーダンスは20 Hzから1 KHzの周波数帯域で可及的に5 K Ω 以下になるように皮膚前処理剤(スキンプューアー, 日本光電社製)を用いて電極貼付部位を研磨し前処置を行った。

計測されたMTの代表値は各筋間で比較され、paired T-testを用いて検定を行った。

結果

RFのMTは右で69.5 \pm 9.0 msecであり、左で72.4 \pm 12.9 msecであった。VMのMTは右で60.3 \pm 7.7 msec, 左で63.4 \pm 7.6 msecであった。VLのMTは右で62.5 \pm 7.7 msec, 左で64.1 \pm 9.8 msecであった。各筋のMTを比較すると、左右両方ともRFとVMの間、RFとVLの間には有意差($P < 0.01$)が認められた。しかし、VMとVLの間には有意差は認められなかった。また、どの筋においても左右差は認められなかった(表1)。

表1 Mean and standard deviation of the MT
(msec)

	RF	VM	VL
RIGHT	69.5 \pm 9.0	60.3 \pm 7.7	62.5 \pm 7.7
LEFT	72.4 \pm 12.9	63.4 \pm 7.6	64.1 \pm 9.8

考察

これまでの研究では膝損傷患者のほとんどの膝機能評価は健側と患側で比較されている。しかし、健常人での左右差に関して考慮されていなかった。そこで、我々はトルク測定やEMG周波数解析を用いて健常人における左右差や利き脚、非利き脚の間での差について検討を行ってきた。その結果、健常人においては左右差や利き足、非利き足の間に統計学上、明らかな差は認められなかった。このことから、健側が健常であると仮定するならば健・患側を比較することは膝損傷に伴う筋萎縮の影響を知る有効な方法となると考えた¹⁰⁾。

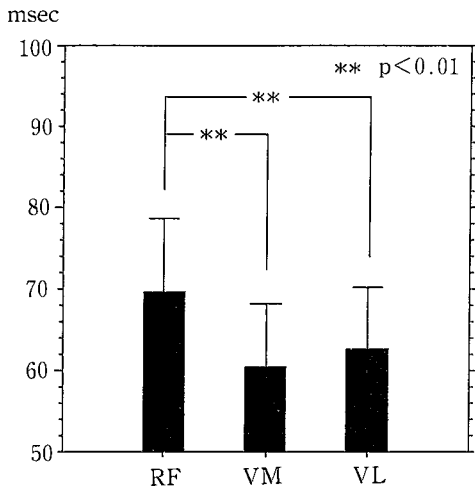


Fig. 3 Comparison of MT among three muscles on Right side

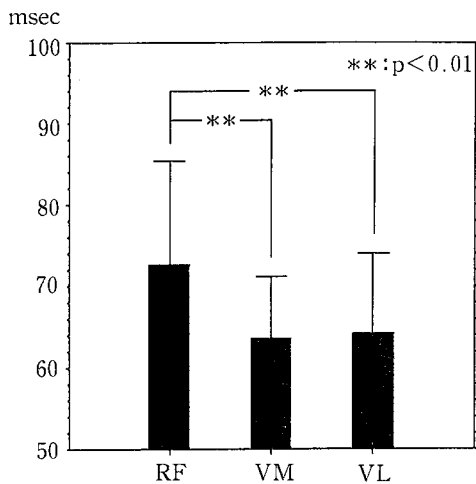


Fig. 4 Comparison of MT among three muscles on Left side

今回の結果において、各被験筋間の MT の左右での比較では同様に左右差が認められなかった。しかし、同一筋での RF と VM の間の比較では、RF の MT は VM より有意に長く、RF と VL の間の MT の比較においても RF の MT は VL より有意に長かった。一方、VM と VL の MT の比較においては有意な

差は認められなかった。

永田は MT の変動要因として、筋内部の直列弾性要素のバネ係数、筋の収縮力、関節角変位の大小、筋線維タイプの組成比の 4 つの要因をあげている⁸⁾。筋の直列弾性要素のバネ係数は筋の緊張度に関わる要因である。今回の実験肢位は股関節90°屈曲位であったため、二関節筋である RF は一関節筋である VM, VL に比べると、むしろ弛緩した状態にある。そのため、RF の MT は股関節伸展位での測定に比べ延長している可能性も考えられる。筋の収縮力や関節角変位について、実験で用いた運動は最大努力での等尺性収縮であり、被験筋はすべて膝伸展運動の主動筋である。そのため運動に際して角度変化はない。また、膝伸展運動は大腿四頭筋の四つの筋の複合した運動であり、今回の研究からは RF, VM, VL 各筋間で明らかな筋収縮力の違いは見いだすことはできない。筋線維タイプの組成比の違いでは、MT に影響する筋線維 type は type II 線維であり、type II 線維が多いほど MT は短縮すると考えられている^{8,9)}。

以上のことから考えると、実験中、股関節が屈曲位にあることから、二関節筋である RF の MT が VM や VL の MT に比べて延長したのは理解できる。しかし、膝伸展運動は大腿四頭筋の四つの筋の複合した運動であるため、張力の開始がどの筋に由来するかは明確にならなかった。そのため、この実験結果から明らかなのは、膝伸展運動に際して RF は VM や VL に比べると早く筋収縮が開始されることである。すなわち、膝伸展運動において、RF は被験筋の中では最も反応が速いということである。

永田は⁹⁾筋線維タイプの組成比では、RF は有意ではないが type II 線維の割合が高いと

し、MacConaill¹¹⁾や Basmajian¹²⁾は、膝伸展時の各筋の筋収縮の活動性は関節角度によって変化し、膝屈曲位ではRFの活動性が高まるとしている。

これに対し、熊本ら^{13,14)}は股関節、膝関節共に屈曲90°前後ではRFの張力は低下すると述べている。しかし、この報告では股関節伸展と膝関節伸展の同時運動時の結果であり、膝伸筋単独収縮の結果である今回の実験とは異なっている。このようなことから、type II線維の組成の違いや各筋の活動性の違いがMTの変化に影響を及ぼしたのものとも考えられる。

解剖学的にみると大腿四頭筋の停止は同じで、4つの筋は合して膝蓋骨に停止するが、起始はそれぞれ違っている。RFは下前腸骨棘から起こり、VM、VLはそれぞれ大腿骨粗線の内側唇、外側唇より起こる。また、運動神経が筋に接続する神経筋接合部はそれぞれの筋のmotor point近くにある¹⁵⁾。motor pointは骨格筋のほぼ中央部にありとされているため¹⁵⁾、RFの神経筋接合部はVM、VLより近位にあることが予想される。また、今回の実験における電極貼付部位は触診によって決定した。そのため比較的表層に位置するRFでは骨格筋の中央に近い部分に貼付出来る。しかし、VM、VLにおいては起始が深層であるため大腿表面から触診で決めた筋腹中央部と実際の骨格筋の中央部との差も大きくなると予想される。このように、解剖学的なmotor pointの位置の違いや、電極貼付位置の違いもRFのMTの延長に関係したのではないかと考える。

東儀¹⁷⁾はRFの筋萎縮はtype II線維の萎縮が主体となっていると報告している。Spencer⁵⁾らは膝損傷などで起こる関節水腫などの反射抑制は内側広筋に強く起こると報告して

いる。今後はMT測定を臨床に応用し、種々の疾患群におけるMTやEMG周波数の変化を調べてみる必要がある。これによって、膝損傷後の膝伸筋の筋萎縮の特性が解明され、効果的な筋力強化訓練のプログラム作成に役立つものと考えられる。

まとめ

膝伸筋の筋萎縮の特性を知る手掛かりとして、健常人を対象にRF、VM、VL各筋のMTの違いについて検討した。その結果、RFのMTはVM、VLのMTに比べて有意に長く、膝伸展運動に際して最も早く筋収縮を開始していることがわかった。この理由として筋線維の組成の違いが考えられた。健常人における各筋のMTの違いを知ることは、膝疾患患者の筋萎縮の特性を知る有効な情報になると考えられた。

参考文献

- 1) 峰久京子, 他: 膝伸展不全と理学療法. 理学療法ジャーナル. Vol. 29. No 8 : 530-535, 1995.
- 2) L. Edström: Selective Atrophy of Red Muscle Fibres in the Quad riceps in Long-Standing Knee-Joint Dysfunction Injuries to the Anterior Cruciate Ligament. Journal of the Neurol. Science., 11 : 551-558, 1970.
- 3) W. Hugh Baugher. et al.: Quadriceps atrophy in the anterior cruciate insufficient knee. American J. of Sports Med., 12(3): 192-195, 1984.
- 4) C. Gerber. et al.: The lower-extremity musculature in chronic symptomatic instability of the anterior cruciate ligament. J of Bone and Joint Surg: 1034-1043, 1985.
- 5) Spencer. J. D. et al.: Knee effusion and quadriceps reflex inhibition in man. Arch. Med. Rehabil. 65 : 171-177, 1984.

- 6) 中村隆一：臨床運動学. 第2版, 52-73, 医歯薬出版, 東京, 1992.
- 7) P. J. McNair, G. A. Wood: Frequency analysis of the EMG from the Quadriceps of anterior cruciate ligament deficient individual. *Electromyogr. clin. Neurophysiol.*, 33: 43-48, 1993.
- 8) 永田 晟：骨・関節のバイオメカニクス. 理学療法ジャーナル. Vol. 29. No 8 : 514-518, 1995.
- 9) 永田 晟：運動と筋放電のスペクトル解析. 筋と筋力の科学, 129-172, 不昧堂出版, 東京, 1984.
- 10) 岩井明彦, 他：健常人における大腿四頭筋最大等尺性収縮時の発生張力と筋放電特性の左右差. 信州大学医療短期大学部紀要 Vol. 20 : 23-29, 1994.
- 11) M. A. MacConaill, J. V. Basmajian: *Muscle and Movement*, 299-314, Huntington, New York : 1976.
- 12) J. V. Basmajian: *Muscle Alive*, 250-257, Hamilton, Ontario, 1978.
- 13) 熊本水頼：随意的二関節機能における力学的特性と二関節機能との関係. 脳波と筋電図, Vol. 10, No. 2 : 74-77, 1982.
- 14) 高木公三郎, 熊本水頼：運動制御の実際. 身体運動の制御, 207-229, 杏林書院, 東京, 1980.
- 15) P. P. A. Chanmugam. 他：物理療法のすべて, 326-335, リハビリテーション・クリニック, 東京, 1983.
- 16) 東儀英夫：筋の年齢変化に関する組織科学的定量的研究. 臨床神経15 : 791-797, 1975.

受付日：1995年10月6日

受理日：1995年11月21日