

**健常男性成人における  
大腿四頭筋の最大随意収縮時筋力と筋音図の関係**

嵩下 敏文

原著

## 健常男性成人における大腿四頭筋の最大随意収縮時筋力と筋音図の関係

嵩下敏文<sup>1) 2)</sup> 脇元幸一<sup>1)</sup> 尾崎 純<sup>1)</sup> 脇元順一<sup>1)</sup> 久保 晃<sup>2)</sup> 坂本和義<sup>3)</sup>

### 要 旨

目的：筋音図は筋収縮メカニズム解明の評価方法として期待されている。今回、筋音図と筋力の関係を分析することで、筋機能評価としての筋音図の有用性について検討を加えることを研究目的とした。

方法：健常な男性成人を対象とした。筋音図は三次元加速度センサーを用いて三次元筋音として計測し、筋力はBIODEXを用いて膝関節の等尺性最大伸展筋力を計測した。

結果：筋音は機械的振動方向が内外側方向、腹背側方向、頭尾側方向の順で高い値を示した。筋音図と筋力には弱い正の相関関係が認められた。

考察：筋音図より、筋線維は多方向性の動きを伴いながら収縮していることが示唆された。筋音図と筋力の関係より、筋音図は筋力を推察する一指標になりうるということが示唆された。

### キーワード

筋音図 (Mechanomyogram), 筋力 (Muscle strength), 大腿四頭筋 (Quadriceps femoris)

### 1. はじめに

日々の臨床現場において、筋力は主な身体機能評価項目である。筋力評価にはManual muscle test(MMT)<sup>1)</sup>を用いることが一般的であるが、MMT3以上の判定では客観性ならびに再現性が低い<sup>2) 3)</sup>。信頼性の高い筋力値を得るためには、計測機器を用いることが望ましい<sup>2)</sup>。

著者が勤務するクリニックでは、膝伸展筋力計測によって症状増悪などが生じうる術後や炎症期の患者を除いて、罹患部位に関係なくほぼ全ての患者に対して計測機器による筋力評価を行なっている<sup>4)</sup>。この値を、運動療法を選択する際の判断要素として用いている。

筋力評価時における筋収縮の生体情報には、電気的振動である筋電図 (Electromyogram, EMG) や筋

肉表面の機械的振動を示す筋音図 (Mechanomyogram, MMG) などがある<sup>5)</sup>。筋線維 (筋細胞) は運動神経からの刺激を受けて活動電位を発生し、これをトリガーとして収縮し張力を発揮する。この電気的活動から機械的活動への一連の連鎖反応は興奮収縮連関<sup>6)</sup>と呼ばれる。生体の電気的振動であるEMGは筋力発揮の駆動要因であり筋肉というシステムへの「入力」に相当する。生体の機械的振動であるMMGは筋収縮後の動力であり、筋肉というシステムの「出力」に相当すると考えられている<sup>7)</sup>。

MMGは筋収縮に伴う筋の微振動であり、その歴史は古く1665年に初めてイタリアのGrimaldi FM<sup>8)</sup>により報告されている。EMGよりも古くに発見されたものの、MMGの研究報告がなされるようになったのは良好な振動センサーが開発された1980年代以降であり、近年活

The relationship between muscle strength and mechanomyogram in maximum voluntary contraction of quadriceps femoris in healthy male adults

1) 医療法人社団 SEISEN 清泉クリニック整形外科  
(411-0904・静岡県駿東郡清水町柿田 191-1)

Toshifumi Dakeshita, RPT, Koichi Wakimoto, RPT, Jun Ozaki, RPT, Junichi Wakimoto, MD : Seisen orthopedic clinic, Shizuoka, Japan

2) 国際医療福祉大学大学院応用理学療法学

Akira Kubo, RPT, PhD : International University of Health and Welfare, Tochigi, Japan

3) 国立大学法人 電気通信大学

Kazuyoshi Sakamoto, Prof, PhD : The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

(受付日 2012年11月8日 / 受理日 2013年1月23日)

発な研究報告が見受けられる<sup>9)~11)</sup>。筋線維レベルの情報を含む<sup>12) 13)</sup>とされるMMGを分析することは、筋収縮メカニズム解明の評価方法として期待されている。

EMGと筋力の関係性は緒家により多く報告<sup>14)~16)</sup>されているが、MMGと筋力に関する報告は少なく、MMGを三次元で計測した報告<sup>17)</sup>はごく稀である。そこで、本研究ではMMGを「筋収縮時の筋線維の活動状態」と定義し、MMGと筋力の関係を分析することで、筋機能評価としてのMMGの有用性について検討を加えることを主な目的とした。

## 2. 対象

対象は健常成人男性103名、平均年齢は23.9歳(標準偏差4.3, 最小年齢20, 最大年齢39)であった。研究開始前に全ての対象に本研究の目的, 方法, リスクや不快感, 安全管理などを書面および口頭にて説明し, 同意書への署名をもって研究参加への同意を確認した。本研究は, 国際医療福祉大学倫理委員会の承認(承認番号: 11-155)を得た後に開始した。

## 3. 方法

### 1) MMGの計測

無線式三次元加速度センサー(CCI社製, RF-ECG)を使用して三次元筋音を計測した。得られたデータの解析には生体情報記録・解析ソフト(CCI社製, ECG-3D Analysis Ver.1.0.0)を用いた。

MMGは、内側広筋・大腿直筋・外側広筋の3筋を

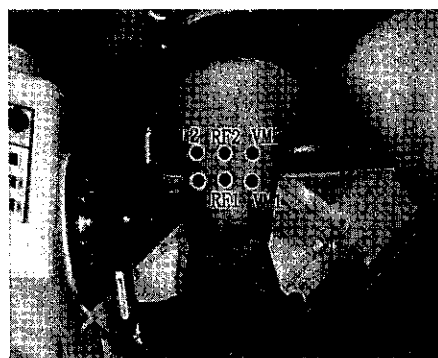
対象とし、センサー貼付部位は膝蓋骨上縁からそれぞれ5cm, 10cmの合計6部位とした(図1)。

MMGは膝関節の等尺性最大伸展筋力発揮時に計測を行い、筋収縮に伴う筋疲労を考慮し、計測間は1日以上時間をあけて計6回計測した。予備実験において、MMGのフーリエ解析からパワースペクトル(Power spectrum, PS)を求め、設定した周波領域におけるPSの合計をトータルパワー(Total power, TP)として算出した結果、図1の膝蓋骨上縁から5cmの内側広筋で最大値を示したため、筋音の計測部位は膝蓋骨上縁から近位5cmの内側広筋とした。

標本周波数204Hz, 標本時間5ms, 標本数1024, 解析時間5秒間として筋音を計測し、前後1秒ずつをカットした3秒間の値を解析した。周波数解析は自己回帰モデル(ARモデル)を用いて、4次のARモデルで解析した。三次元加速度(x, y, z)のTP周波区間を1.5~50Hzと設定し、TPの算出には三次元の設定周波区間PS合計値(TPx, TPy, TPz)と、合計値の平方根( $TPx^2 + TPy^2 + TPz^2$ )から三次元TP値を用いた。

### 2) 膝伸展筋力計測

BIODEX(BIODEX社製, BIODEX system3)を用いて膝伸展筋力の最大トルクを計測した。計測肢位は座位とし、体幹と大腿部をバンドで固定し、両上肢は座面側方のグリップを把持させた。下腿部のアタッチメント位置は内果と外果を結ぶ線上とし、膝関節70°屈曲位にて大腿四頭筋の等尺性最大随意収縮を行なわせた(図2)。計測は全対象で右側下肢にて行い、計測回数は1回とした。ウォーミングアップと、アタッチメン



筋音図計測部位

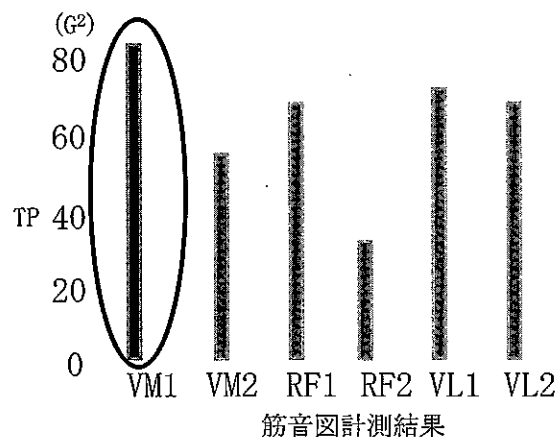


図1: 筋音図の計測筋部位と計測結果

VM: 内側広筋 RF: 大腿直筋 VL: 外側広筋 TP: 筋音図トータルパワー  
付した数字1は膝蓋骨上縁から5cm, 数字2は膝蓋骨上縁から10cmを示す

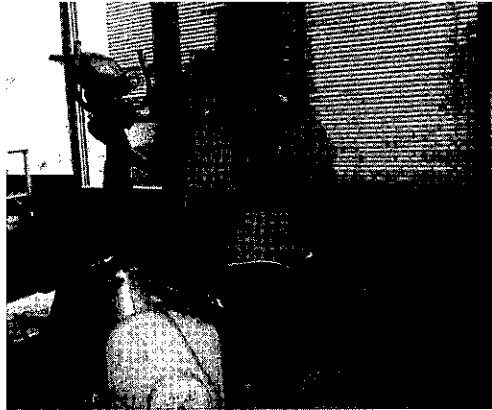


図2：膝関節伸展筋力測定

膝関節70°屈曲位にて大腿四頭筋の等尺性最大随意収縮を計測

トの固定性の確認のために事前練習を一度行なわせた。事前練習から本計測までは20秒以上の安静を保たせ、得られた筋力値は体重で除し、標準化した。

3) 統計学的分析

各々の計測値の記述統計値を算出した後に統計解析用ソフトJUSE-StatWorks/v.4.0を用いてMMGと筋力の単相関係数を算出した。有意水準は1%未満とした。

4. 結果

1) MMG波形解析

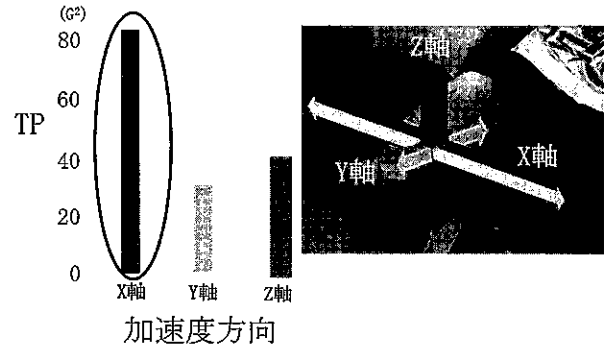


図3：三次元筋音図 各軸TP計測結果

X軸：内外側方向 Y軸：頭尾側方向 Z軸：腹背側方向  
TP：筋音図トータルパワー

三次元加速度センサーから得られた筋の機械的振動方向は、内外側(X軸), 頭尾側(Y軸), 腹背側(Z軸)として抽出され、MMGTPは高い方から順に内外側方向, 腹背側方向, 頭尾側方向となった(図3)。

2) MMG TPと筋力の関係

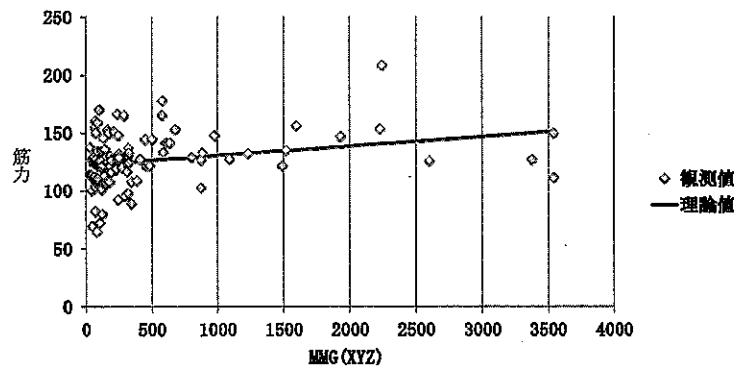
MMG TPと筋力には相関係数0.26 ( $p < 0.01$ )で弱い正の相関関係が認められた(表1)(図4)。

5. 考察

1) MMG測定量

表1：大腿四頭筋のMMG TPと筋力の測定量

	サンプル数	合計	平均	偏差平方和	分散	標準偏差
MMG(G²)	103	48415.85	470.67	53606298.72	525551.90	724.95
筋力(筋力値/体重)	103	12890.97	126.38	54853.87	537.78	23.19



相関係数 0.26 \*\*  
 精度 関数式：直線  $y = a x + b$   
 決定係数 0.07 係数 a 0.0082  
 修正済決定係数 0.06 定数項 b 122.48  
 重相関係数 0.26

図4：WBIと三次元筋音の関係性

筋力：筋力値/体重 MMG(XYZ)：三次元筋音トータルパワー

MMGは、筋線維が収縮する際に線維径が側方に拡大・変形する際発生する一種の圧波形と定義されている<sup>18)~20)</sup>。本研究で計測したMMG測定量の特徴は、方向性による差異が大きい点で過去の研究報告とは異なる結果を示した。過去の報告<sup>9)~11)</sup>は腹背側方向(Z軸)振幅の分析にとどまっていた。これに対し本研究ではMMGを三次元的に分析した結果、最大値を示したのは内外側方向(X軸)であり、次いで腹背側方向(Z軸)、頭尾側方向(Y軸)の順に小さい値を示した。

筋収縮メカニズムは、ミオシンフィラメントがアクチンフィラメントと結合し、引き寄せる形で筋収縮が成り立つという『滑走説』が一般的である<sup>21)~22)</sup>。これに対し、Yanagida<sup>23)</sup>らは、ミオシンフィラメントは収縮方向のみならず、収縮方向とは逆向きの移動を確認しており、新たな『ゆらぎ説』を提唱した。このように、筋収縮メカニズムについては未だ一定の見識に至っていない部分があり、筋力発揮時の筋収縮状態についても未だ不明な点が多い。今回のMMG計測結果は、筋線維は多方向性の動きを伴いながら収縮していることを示唆しており、健常男性成人における大腿四頭筋のMMGについての新たな知見といえるかもしれない。

## 2) 筋力とMMGの関係

膝関節伸展において内側広筋が最も重要な役割を示すことは周知の通りである<sup>24)</sup>。膝関節伸展時の大腿四頭筋等尺性収縮では、大腿直筋・外側広筋・内側広筋のうち内側広筋の活動電位が最も高い値を示し<sup>25)</sup>、随意収縮力が増加するに伴って筋電図も直線的に増加する<sup>26)~27)</sup>。本研究では、大腿四頭筋の最大随意収縮筋力とMMGに正の相関関係を認め、内側広筋においてMMG TPが最大値を示した。この結果は、膝関節伸展動作における内側広筋の重要性を裏付けるものと考えられる。これらの関係から、MMGは筋力評価指標の一つになりうることを示唆された。

## 6. 今後の展望

三次元での筋音図測定値は、標準偏差値が平均値に近くデータ変動が大きかった。このようなデータの特徴を把握するには、対象者をさらに増やして分析を行なう必要があるであろう。

本研究の対象は健常男性成人であり、女性や高齢者、そして疾患を有する者などを対象とした場合には異なる

結果も予測できる。今後は幅広い対象を設定し、様々な視点から筋音図の特徴を捉えることに繋げたい。

## 参考・引用文献

- 1) Helen J: Daniels and Worthinghams MUSCLE TESTING 6th Edition Techniques Manual Examination. 津山直一(訳), 協同医書出版社, 東京, 2001.
- 2) 板場英行: 筋力測定—筋力評価の問題と今後の課題—。理学療法学, 1990;17:236-237
- 3) 吉村茂和, 相馬正之: 徒手筋力テストにおける段階付け。PTジャーナル, 2003;37:347-349
- 4) 島谷丈夫, 嵩下敏文, 渡邊純ら: 慢性疼痛疾患患者と健常人における筋質量(% MV)と体重支持指数(WBI)の比較検証—第2報—。専門リハビリテーション研究誌, 2009;8:38-42
- 5) 坂本和義, 清水豊, 水戸和幸ら: 生体のふるえと振動知覚。東京電気大学出版局, 東京, 2009, pp2-8.
- 6) 三田勝己: 筋音図法による神経筋疾患の新しい診断・評価。リハビリテーション医学, 2004;41:628-636.
- 7) 渡辺彰吾, 北脇知己, 岡久雄: 筋内圧力および生体表面の変位に着目した筋音図発生メカニズムの検討。バイオメカニズム, 2006;18:209-218
- 8) Grimaldi FM: Physico-mathesis de Lumine, Coloribus et Irade. 1665, pp338.
- 9) Beck TW, Housh TJ, Fry AC et al: The influence of myosin heavy chain isoform composition and training status on the patterns of responses for mechanomyographic amplitude versus isometric torque. J Strength Cond Res, 2008;22(3):818-825
- 10) Coburn JW, Malek MH, Brown LE et al: Mechanomyographic responses of the superficial quadriceps femoris muscles to incremental isometric muscle actions. Electromyogr Clin Neurophysiol, 2008;48(2):97-102
- 11) bersole KT, Malek DM: Fatigue and the electromechanical efficiency of the vastus medialis and vastus lateralis muscles. J Athl Train, 2008;43(2):152-156
- 12) 三田勝己: 筋音図法の概要—リハビリテーション医

- 学における筋機能評価の可能性一. *Jpn J Rehabil Med*, 2003;40(11):750-756.
- 13) 伊東保志, 赤滝久美, 三田勝己: 疲労に至る持続性筋収縮における筋活動様式の変化—筋音図法による解析—. *人間工学*, 1997;33(3):175-181.
- 14) Soechting JF, Roberts WJ: Transfer characteristics between emg activity and muscle tensions under isometric conditions in man. *J Physiol Paris* 1975;70:779-793
- 15) Moritani T, deVries HA: Reexamination of the relationship between the surface integrated electromyogram and force of isometric contraction. *Am J Phys Med* 1978;57:263-277
- 16) Hagberg M: The amplitude distribution of surface EMG in static and intermittent static muscular performance. *Eur J Appl Physiol* 1979;40:265-272
- 17) 夫馬孝明, 平松誠治, 加藤厚生: 関節角度にともなう筋音図の変化. *愛知工業大学研究報告*, 2005;40:31-34
- 18) Goldon, G, Holbourn, A.H.S: The sounds from single motor units in a contracting muscle. *J. Physiol*, 1948;107:456-464.
- 19) Oster, G, Jaffe, J.S: Low frequency sounds from sustained contraction of human skeletal muscle. *Biophys. J*, 1980;30:119-128.
- 20) Orizio C: Muscle sounds Bases for the introduction of mechanomyographic signal in muscle studies. *Crit Rev Biomed Eng*, 1993;21:201-243.
- 21) H.E. Huxley: *Science*. 1969;164:1356.
- 22) A.F. Huxley, R.M. Simmons: *Nature*. 1971;233:533.
- 23) 柳田敏雄: 筋収縮の分子メカニズム. *バイオメカニズム学会誌*, 1989;13:158-165.
- 24) Basmajian J: Re-education of vastus medialis: A misconception. *Arch Phys Med Rehabil*, 1970;51:245-247.
- 25) Andriacchi TP, Anderson GBJ, Ortengren R: A study of factor influencing muscle activity about the knee joint. *J Orthop Res*. 1984;1:266-275.
- 26) Moritani T, deVries HA: Reexamination of the relationship between the surface integrated electromyogram and force of isometric contraction. *Am J Phys Med* 1978;57:263-277
- 27) Hagberg M: The amplitude distribution of surface EMG in static and intermittent static muscular performance. *Eur J Appl Physiol* 1979;40:265-272

Abstract

Electromyogram Examination of Quadriceps Setting in the Early Stages  
after Total Knee Arthroplasty (TKA)  
～ Focusing on Knee Extension Range of Motion ～

Toshifumi Dakeshita, RPT, Koichi Wakimoto, RPT, Jun Ozaki, RPT, Junichi Wakimoto, MD

*Seisen orthopedic clinic, Shizuoka, Japan*

Akira Kubo, RPT, PhD

*International University of Health and Welfare, Tochigi, Japan*

Kazuyoshi Sakamoto, Prof, PhD

*The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan*

**Purpose:** A mechanomyogram is expected to be a useful evaluation method of clarifying the mechanism of muscle construction. This research is aimed at analyzing the relationship between muscle strength and a mechanomyogram and to discuss the usefulness of a mechanomyogram as a muscle function index.

**Methods:** Healthy male adults were subjected to the test in the research. A mechanomyogram was measured using three-dimensional muscle sounds recorded with a 3D accelerometer. As for muscle strength, a BIODEX system was used to measure isometric voluntary muscle strength of the knee extensors.

**Results:** The mechanomyogram or the mechanical vibrations of the muscle in the mediolateral direction were higher than in any other direction. Also, it was found that the mechanomyogram in the anteroposterior direction was higher than in the cephalocandal direction. According to findings from the research, there was a positive correlation between the mechanomyogram and muscle strength.

**Conclusion:** The findings from the measurement of a mechanomyogram suggested that the muscle fibers were contracted with muscle activities in different directions. Also, the relationship between muscle strength and the mechanomyogram measured in the research suggested that a mechanomyogram had the potential to become a useful index to infer muscle strength.