腓腹筋の筋線維評価における表面筋電図周波数解析方法の検討

Evaluation of a Surface Electromyogram Frequency Analysis Method for Muscle Fiber Evaluation in the Gastrocnemius Muscle

森 拓也^{1,2)} 宮川 良博^{1,2)} 奥 昂佑^{3,4)} 橋本 雅史¹⁾
森井 裕太¹⁾ 小林 功⁵⁾ 川原 勲^{1,2)}

TAKUYA MORI, RPT, MS^{1,2)}, YOSHIHIRO MIYAGAWA, RPT^{1,2)}, KOUSUKE OKU, RPT, MS^{3,4)}, MASASHI HASHIMOTO, RPT¹⁾, YUTA MORII, RPT¹⁾, ISAO KOBAYASHI, RPT⁵⁾, ISAO KAWAHARA, RPT, PhD^{1,2)}

¹⁾ Department of Rehabilitation, Hanna Central Hospital: 741 Tawaraguchi-cho, Ikoma-shi, Nara 630-0243, Japan
TEL +81 743-74-8660 E-mail: pt_mori_t@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Molecular Pathology, Graduate School of Medicine, Nara Medical University

³⁾ Department of Sports Orthopedic, Graduate School of Medicine, Nara Medical University

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation, Shijonawate Gakuen University

⁵⁾ Department of Rehabilitation, Nara Professional Training College of Rehabilitation

Rigakuryoho Kagaku 33(5): 779-782, 2018. Submitted Apr. 16, 2018. Accepted May 21, 2018.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to evaluate a method assessing muscle fiber type using frequency analysis of surface electromyograms of the gastrocnemius muscle. [Participants and Methods] Twenty-four healthy adults participated in this study. Voluntary contraction (VC) and maximum voluntary contraction (MVC) of the gastrocnemius muscle were measured using surface electromyograms, and analyzed using power spectrum analysis in the 0 to 260 Hz frequency range. The results were compared with the muscle fiber composition of the gastrocnemius muscle. [Results] No significant difference in frequency distribution between VC and MVC was found. The fiber composition of the gastrocnemius muscle obtained by frequency analysis was Type I, 47.12%, and Type II, 52.87%. [Conclusion] The frequency analysis method of this study showed that the gastrocnemius muscle has a constant frequency pattern regardless of the contraction strength.

Key words: electromyography, frequency analysis, muscle fiber

要旨:〔目的〕表面筋電図 (EMG) の周波数解析にて、筋線維別周波数分布割合の評価を行う方法を検討することである。〔対象と方法〕健康成人 24 名とした。腓腹筋の随意収縮 (VC) と最大随意収縮 (MVC) の等尺性収縮中の筋活動を EMG で測定した。パワースペクトラム分析にて 0 ~ 260 Hz における周波数分布における振幅の割合に変換した。それらを筋線維別に比率化し、周波数パターンと解析を行った。〔結果〕VC と MVC 間で筋線維別周波数分布割合に有意差は認めなかった。また、解析にて得られた Type I, Type II 線維の比率は VC 群で Type I 41.4%, Type II 58.5%, MVC 群で Type I 47.1%, Type II 52.8%であった。〔結語〕本研究の解析方法では、腓腹筋は収縮強度に関わらず一定の周波数パターンであることが明らかとなった。

キーワード: 表面筋電図, 周波数解析, 筋線維

¹⁾ 医療法人和幸会 阪奈中央病院 リハビリテーション科: 奈良県生駒市俣口町 741 (〒 630-0243) TEL 0743-74-8660

²⁾ 奈良県立医科大学大学院 医学研究科 分子病理学講座

³⁾ 奈良県立医科大学大学院 医学研究科 スポーツ整形外科科学講座

⁴⁾ 四條畷学園大学 リハビリテーション科 理学療法専攻

⁵⁾ 学校法人栗岡学園 奈良リハビリテーション専門学校 理学療法学科

I. はじめに

骨格筋は人体の約60%を占め、それらの機能障害は日常生活動作能力の低下を招き、またその骨格筋量は生命予後とも密接に関連する¹⁾。理学療法分野において筋力は主要な指標となるが、その筋力低下の原因は様々である。近年、脳血管疾患²⁾や心疾患³⁾、呼吸器疾患⁴⁾、糖尿病⁵⁾、悪性腫瘍性疾患⁶⁾など様々な疾患において疾患由来の骨格筋変性を起こすことが注目されている。これらの骨格筋変性は、疾患特有の代謝により筋線維別に特異的な萎縮が引き起こされる²⁻⁶⁾。これらの知見より、骨格筋筋力のみならず骨格筋変性に着目した理学療法の展開は効率的に筋力の増加させる可能性が考えられ、理学療法士が骨格筋変性に着目することは非常に重要である。しかし、臨床患者の骨格筋変性を評価するには筋生検が必要であるが、容易に行うことはできないのが現状である。

そこで理学療法士が行える骨格筋の評価の範疇に表面筋電図が存在する。表面筋電図から得られる筋電図波形は一つの連続した波として表され、筋活動量を示す量的因子や、筋活動のタイミングを示す時間的因子が解析によく用いられるが、その波の要素は干渉波形であり様々な周波数を持つ波形が含まれている。表面筋電図における周波数要素の解析は、筋収縮波形から得られた周波数の中央値や平均値を利用し、その数値の増減を利用して骨格筋の疲労を表す評価として良く使用されている⁷⁾。また、周波数要素と骨格筋線維との関係も注目されており、Kupaら⁸⁾の報告によると表面筋電図パワースペクトラム分析を用いた周波数解析にて周波数要素が骨格筋線維の線維直径との関係性を表す可能性を示唆している。永田ら⁹⁾の報告においても、運動速度や強度と筋電図波形の周波数帯域の関係から周波数における値が各筋線維別の筋収縮を示す可能性を報告している。しかし、パワースペクトラム分析を用いた周波数解析において、周波数分布の幅や振幅の利用方法は一定されず、様々な解析を使用されているのが現状である。

そこで本研究の目的は、表面筋電図の周波数解析におけるパワースペクトラム分析を用いて下肢骨格筋である腓腹筋の筋線維における周波数特性を捉え、その解析方法を明らかにすることである。

II. 対象と方法

1. 対象

過去に整形外科的疾患の既往のない健常成人24名とした(表1)。また本研究は筋線維別の周波数特性を確認する目的のため、測定に影響を与える可能性のある運動習慣については簡易なアンケート調査を行い、定期的な運動習慣のあるものは除外した。本研究は、ヘルシン

表1 対象者の属性

性別(男性:女性)	16:8	—
年齢(歳)	28.1 ± 5.5	22-45
身長(cm)	170 ± 7.0	156-180
体重(kg)	66.5 ± 10.8	48-90
BMI(kg/m ²)	22.6 ± 2.3	19.2-28.4

n = 24. 平均値 ± 標準偏差または範囲。BMI: body mass index.

キ宣言に基づいて、全ての対象者に本研究の目的および内容について口頭と文章を用いて十分な説明を行い、書面による任意の同意を得て実施した。

2. 方法

本研究では表面筋電図(myosystem 1400, Noraxon社製)を使用した。標的筋は腓腹筋外側とし、筋電図電極(ブルーセンサー, Ambu社製)は、標的筋に対して筋線維の長軸方向へ平行になるように貼付し、電極間距離を20 mmとした。測定時の筋収縮様式は解析を考慮し、Petrofskyら¹⁰⁾の報告に従い等尺性収縮を採用した。測定課題は片脚立位による踵上げとし、片脚立位の踵上げは、バランスを崩さないよう一定の姿勢を保つために肋木を把持する環境を設定した。収縮強度については自重負荷だけの随意収縮群(Voluntary Contraction群: 以下、VC群)と自重に加え上方から最大の抵抗を加える最大等尺性随意収縮群(Maximum Voluntary Contraction群: 以下、MVC群)とした。課題中の筋収縮時間は15秒間とした。

解析方法は、得られた筋電図波形から、安定した波形である5~10秒の中5秒間の区間における筋電図波形を解析に用いた。VC群とMVC群の課題時の筋発揮量としては、5秒間における平均筋放電量を採用した。各筋線維別の筋発揮量の解析は、周波数解析を用いた。その方法としては、5秒間の等尺性収縮にて得られた筋電図波形を高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform)にて周波数に変換し、横軸に周波数成分を分布させ、縦軸に各周波数成分の振幅を二乗したパワースペクトル分析にて各周波数地帯における散布図のグラフ化を行った。また、横軸は0~260 Hzまでの周波数地帯を20 Hzごとに区切り13領域へ分類した。13領域の振幅割合を算出するため、13領域の各量を総和で除し、各周波数別の振幅割合として算出した。また永田ら⁸⁾によると80 Hz以下はType I線維、80 Hz以降はType II線維を示すと報告があることから、0~80 Hzまでの各周波数割合の総和をType I線維発揮周波数振幅割合、80~260 Hzまでの各周波数の総和をType II線維発揮周波数振幅割合と定義し、各線維別周波数振幅割合を算出した。

統計解析処理として、随意収縮の強度の違いが周波数

に与える影響の検証として VC 群, MVC 群の 2 群間の平均筋放電量と周波数帯域の差について Wilcoxon 検定を用いて処理した。また腓腹筋の周波数特性を確認するため、周波数分布割合の差についてはフリードマン検定を用いて差の検定を行った。統計解析ソフトは R 2.8.1 を使用し、有意水準は 5% とした。

III. 結 果

VC 群と MVC 群の 2 群間の平均筋放電量を表 2、群内の周波数帯域の差と群間における周波数分布割合を表 3、周波数解析から得られた腓腹筋における Type I、Type II 線維の割合を表 4 に示す。VC 群と MVC 群の 2 群間の平均筋放電量の間に有意差は認められた (表 2)。また各周波数間の差の検定において 40~60 Hz、60~80 Hz、80~100 Hz の周波数領域にてその他の周波数領域と比較して差を認めたが、収縮強度の違いにおける周波数分布割合の差は認めなかった (表 3)。周波数解析から得られた腓腹筋の Type I 線維と Type II 線維の比率は VC 群で Type I 41.4%, Type II 58.5%, MVC 群で Type I 47.1%, Type II 52.8% であった (表 4)。

IV. 考 察

本研究では、表面筋電図周波数データを用いた解析で腓腹筋の周波数パターンを明らかにし、骨格筋の線維別評価を試みることで、今後の骨格筋変性の評価の礎にすることを見据えたものである。結果において VC 群, MVC 群の 2 群間における周波数分布割合に有意差は存在しなかった。よって、本研究で実施した周波数解析方法は、負荷量に依存しないということが明らかになった。

Li らの報告¹¹⁾によると、20% MVC 以下のような微弱な収縮波形であると周波数解析データは信頼性を失うとされている。また加藤らの報告¹²⁾によると随意収縮強度と周波数の関係は、個々の筋が占める筋線維 type

I・II の割合の違い、つまり速筋系と遅筋系のスペクトラム変動の大きさの違いが影響を与えると報告している。また Petrofsky ら¹⁰⁾は周波数解析を前提の測定の際は等尺性収縮を利用することを推奨している。これらのことより一定の等尺性収縮が可能であれば本研究の測定・解析方法にて、腓腹筋における周波数分布割合の評価が可能であることが示唆されたが、骨格筋の種類によっては今後も検討が必要である。しかし、今回の腓腹筋の測定方法においては、負荷量に依存せず測定できたことより、片脚踵上げが可能な症例において簡便かつ客観的に筋の質の評価が可能であると考えられる。よって表面筋電図における周波数解析値を利用した周波数分布割合の解析が、腓腹筋の骨格筋変性に有用な評価指標となる可能性が示唆された。

次に 40~60 Hz、60~80 Hz、80~100 Hz の周波数領域にて全周波数と比較して有意差がみられた結果となった。よって、パワースペクトラム分析において、腓腹筋における周波数パターンは 40~60 Hz、60~80 Hz、80~100 Hz の周波数領域に振幅が増加することが、特徴として確認された。これらの周波数パターンは腓腹筋周波数パターンの正常平均値として理解し、今後疾患と比較するなかで利用価値のあるデータである可能性が示唆された。また周波数解析から得られた腓腹筋の Type I 線維と Type II 線維の比率は VC 群で Type I 41.4%, Type II 58.5%, MVC 群で Type I 47.1%, Type II 52.8% であった。Johnson ら¹³⁾による 18~35 歳までの剖検の報告において、腓腹筋の Type I 線維と Type II 線維の比率は Type I 線維 50%, Type II 線維 50% であると報告があるため、今回の結果と類似した結果となった。また解析方法に相違はあるが、加藤ら¹⁴⁾における股関節疾患における周波数解析値と実際の筋生検を照らし合わせた研究においても周波数解析データと筋生検結果は密接な関係性を述べている。よって今回の周波数解析値の解析データは腓腹筋の筋組成を反映した可能性も示唆された。

しかし、本研究の限界点として、実際の筋生検と照らし合わせていないため、今回のデータは表面筋電図における周波数解析上の特性の可能性がある。また、腓腹筋外側以外の標的筋の筋線維別筋発揮率の特性との比較検討が不十分であり、今回の研究結果では、筋組成を確定するには不十分であることが挙げられる。それらを追求するため、今後は筋生検した結果と周波数解析値の比較検討を行うこと、疾患別の筋線維の筋線維別筋発揮率の

表 2 VC 群と MVC 群における筋放電量の差

VC Amplitude (μ V)	119.9 $\pm$ 45.1*	49-205
MVC Amplitude (μ V)	298.3 $\pm$ 119.9*	188-479

n=24. 平均値 $\pm$ 標準偏差または範囲。VC: voluntary contraction, MVC: maximum voluntary contraction. *: p<0.05.

表 3 VC 群と MVC 群におけるパワースペクトラム分析結果

周波数 (Hz)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-260
VC 群 (%)	3.2 $\pm$ 1.7	11.0 $\pm$ 3.9	13.6 $\pm$ 3.7*	13.5 $\pm$ 3.6*	11.3 $\pm$ 1.9*	9.9 $\pm$ 1.1	8.2 $\pm$ 1.4	7.1 $\pm$ 1.7	6.2 $\pm$ 1.8	5.1 $\pm$ 1.8	4.1 $\pm$ 1.6	3.5 $\pm$ 1.5	2.7 $\pm$ 1.3
MVC 群 (%)	2.0 $\pm$ 0.7	11.5 $\pm$ 4.0	17.5 $\pm$ 7.9*	15.9 $\pm$ 4.9*	11.9 $\pm$ 2.0*	9.2 $\pm$ 1.9	8.2 $\pm$ 2.5	6.6 $\pm$ 2.7	5.0 $\pm$ 2.2	4.0 $\pm$ 2.2	3.3 $\pm$ 1.9	2.4 $\pm$ 1.5	1.9 $\pm$ 1.2

n=24. 平均値 $\pm$ 標準偏差。VC: voluntary contraction, MVC: maximum voluntary contraction. 全周波数地帯における各周波数地帯の差 *: p<0.05.

表4 Type 線維別における線維別周波数割合

		Type I	Type II
VC 群	線維別周波数割合 (%)	41.4	58.5
MVC 群	線維別周波数割合 (%)	47.1	52.8

n=24. Type I : 0~80 Hz におけるパワースペクトラム値の総和, Type II : 80~260 Hz におけるパワースペクトラム値の総和.

変化等を健常と比較し捉えていくことが課題となる.

なお, 本研究のデータの一部は JPTA 第1回日本基礎理学療法学会にて学会発表にて用いた内容である.

利益相反 本研究に開示すべき利益相反のある企業・団体はない.

謝辞 稿を終えるにあたり, 本研究に御協力いただいた対象者の皆様に心より感謝いたします.

引用文献

- 1) Zhou X, Wang JL, Lu J, et al.: Reversal of cancer cachexia and muscle wasting by ActRIIB antagonism leads to prolonged survival. *Cell*, 2010, 142: 531-543.
- 2) Hafer-Macko CE, Ryan AS, Ivey FM, et al.: Skeletal muscle changes after hemiparetic stroke and potential beneficial effects of exercise intervention strategies. *J Rehabil Res Dev*, 2008, 45: 261-272.
- 3) Upadhy B, Haykowsky MJ, Eggebeen J, et al.: Exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction: more than a heart problem. *J Geriatr Cardiol*, 2015, 12: 294-304.
- 4) Wüst RC, Degens H: Factors contributing to muscle wasting and dysfunction in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2007, 2: 289-300.
- 5) He J, Watkins S, Kelley DE: Skeletal muscle lipid content and oxidative enzyme activity in relation to muscle fiber type in type 2 diabetes and obesity. *Diabetes*, 2001, 50: 817-823.
- 6) Shachar SS, Williams GR, Muss HB, et al.: Prognostic value of sarcopenia in adults with solid tumours: a meta-analysis and systematic review. *Eur J Cancer*, 2016, 57: 58-67.
- 7) Sadoyama T, Miyano H: Frequency analysis of surface EMG to evaluation of muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1981, 47: 239-246.
- 8) Kupa EJ, Roy SH, Kandarian SC, et al.: Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *J Appl Physiol* 1985, 1995, 79: 23-32.
- 9) 永田 晟, 室 増男: 表面筋電パワー・スペクトルのパターン分類—静的・動的運動様式との関連—. *人間工学*, 1982, 18: 35-42.
- 10) Petrofsky JS, Lind AR: Frequency analysis of the surface electromyogram during sustained isometric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1980, 43: 173-182.
- 11) Li W, Sakamoto K: The influence of location of electrode on muscle fiber conduction velocity and EMG power spectrum during voluntary isometric contraction measured with surface array electrodes. *Appl Human Sci*, 1996, 15: 25-32.
- 12) 加藤 浩, 藤野英次郎, 上島隆秀・他: 随意収縮強度別 (% MVC) による表面筋電図周波数特性. *理学療法科学*, 1998, 25: 425-431.
- 13) Johnson MA, Polgar J, Weightman D, et al.: Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci*, 1973, 18: 111-129.
- 14) 加藤 浩, 岩本幸英, 神宮司誠也・他: 股関節疾患患者における股関節中殿筋の組織学的・筋電図学的特徴—筋線維タイプと筋電図パワースペクトルとの関係—. *理学療法科学*, 2002, 29: 178-184.