

内 容 目 次

主 論 文

The developed MMG/EMG Hybrid Transducer reflects Muscle Strength during
Dynamic Exercise – Pedaling of Recumbent Bicycle –
(MMG/EMG ハイブリッドセンサは筋力を反映する
ーリカンベントバイク・ペダリングへの適応ー)

福原 真一、渡辺 彰吾、岡 久雄

Advanced Biomedical Engineering (in press)

参 考 論 文

Electrically induced mechanomyograms reflect inspiratory muscle strength in
young or elderly subjects
(横隔膜筋音図は吸気筋力を反映する)

渡辺 彰吾、野嶋 一平、東江 優那、渡邊 龍憲 福原 真一、藤長 武士、岡 久雄

Respiratory Investigation 54(6) 436-444 2016

Estimating the minimum stimulation frequency necessary to evoke tetanic
progression based on muscle twitch parameters
(強縮を誘発する最小刺激頻度を収縮パラメータから推定する)

渡辺 彰吾、福原 真一、藤長 武士、岡 久雄

Physiological Measurement 38(3) 466-476 2017

主 論 文

The developed MMG/EMG Hybrid Transducer reflects Muscle Strength during Dynamic Exercise – Pedaling of Recumbent Bicycle – (MMG/EMG ハイブリッドセンサは筋力を反映する ーリカンベントバイク・ペダリングへの適応ー)

[緒言]

筋音図 (MMG) は筋収縮を定量的に評価できる生体情報の一つであり、以前から多くの研究が行われてきた。一般的に、MMG は筋収縮中に発生する微細な振動を皮膚表面に装着した加速度計等で計測した信号である。筋収縮時の電氣的活動を反映する筋電図 (EMG) に対して、MMG は機械的活動を反映する信号と認識されている。したがって、MMG と EMG を同時計測することにより、正確な筋収縮評価を行うことができる。しかし、MMG はこれまで一般的に利用されることが少なかった。その理由の一つとして、体動時や運動時の計測が難しいためであった。

こうした背景に基づいて、本研究では、動的運動中であっても MMG と EMG を同時計測できる MMG/EMG ハイブリッドセンサシステムと解析方法を開発・提案した。本システムによって、リハビリテーションやスポーツ科学等の分野での MMG と EMG を用いた筋収縮評価が期待できる。また、本システムをリカンベントバイクのペダリング運動に適応し、内側広筋の筋収縮評価を行った。

[MMG/EMG ハイブリッドセンサシステム]

図 1A に MMG/EMG ハイブリッドセンサを示す。MMG センサ部はフォトフレクタを使用し、皮膚表面の 3mm 上に配置されるように設計した。皮膚表面の微細な変化を計測し、これを変位 MMG (displacement-MMG: dMMG) として記録した。本システムには以下のような特徴がある。(1) センサ底部に EMG ディスポーザブル電極の取



図 1 MMG/EMG ハイブリッドセンサシステム

付け (2) センサ内部に電気電子回路とストレージ (SD カード) の内臓 (3) Bluetooth® を介したセンサとコンピュータ端末の通信 (4) 容易にセンサを筋に取り付けるための専用のベルト (図 1B) (5) 最大 5 つのセンサを操作できるリアルタイム計測・制御ソフトウェア (図 1C)

これらから、MMG/EMG 計測のためのシステムを構築することができた。

[解析方法]

筋収縮評価のための新たな解析手法を提案した。図 2 にリカンベントバイク・ペダリング中の dMMG と EMG の生波形およびスペクトル波形例を示す。動的運動中の dMMG の詳細な解析方法は以下の通りである。まず、3 回のペダリングを解析対象とし、dMMG から平均値を差し引いて直流成分を除去した。次に、対象波形を離散フーリエ変換してパワースペクトルを求めた。最後に、100Hz 以下の面積値を算出した。この値を $dMMG_{FT}$

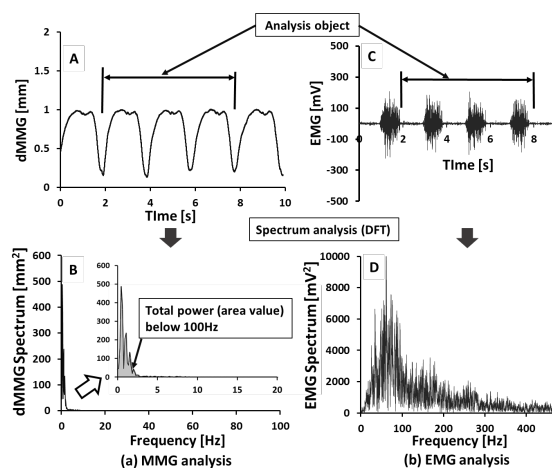


図 2 解析方法

とした。EMG についても dMMG と同様な解析手法を適応した。500Hz 以下のパワースペクトルの面積値を算出した。この値を EMG_{FT} とした。正規化 $dMMG_{FT}$ は、計測値を後述するパッシブペダルの $dMMG_{FT}$ の平均値で、正規化 EMG_{FT} は計測値を最大値で除することによって算出した。

[方法]

被験者は健康な成人男性 4 名 (25.5 ± 7.0 歳) とした。MMG/EMG ハイブリッドセンサを右内側広筋 (VM) に取り付け、センサと大腿を専用ベルトで固定した。被験者は、リカンベントバイクに着席し、両足をペダルに固定した。被験者に対して、ペダリング中に上半身を動かさないように指示した。

被験者はメトロノームに合わせて 60 rpm でペダリングした。回転速度が一定になった後、10 秒間計測を行った (サンプリング周波数: 1 kHz)。ペダル負荷は 51 W、68 W、80 W、99 W、108 W とした。被験者が筋力を発揮せずに、第三者がペダルを回転させる「パッシブペダル」についても計測を行った。各ペダリング 4 回ずつ計測し、実験の間には十分な休息時間を設けた。

[結果]

図 3 に dMMG と EMG の生波形を示す。dMMG と EMG は動的運動中においても安定した波形であった。EMG はパッシブペダルで平坦な波形を示し、波形の振幅はペダル負荷とともに増加した。dMMG はすべてのペダル負荷で周期的な波形が見られた。波形の振幅は、パッシブペダル、68 W、108 W の順に増加し、68 W から 108 W の間は微小な増加であった。

図 4 と図 5 にペダル負荷と $dMMG_{FT}$ 、 EMG_{FT} および正規化 $dMMG_{FT}$ 、正規化 EMG_{FT} との関係を示す。 $dMMG_{FT}$ と EMG_{FT} は、ペダル負荷が大きくなる（動的筋力の増加）につれて増加した。運動中の筋力は、図 5 に示すように、正規化された $dMMG_{FT}$ からベース値の「1.0」を差し引くことで得られた。さらに、正規化 $dMMG_{FT}$ と正規化 EMG_{FT} は線形近似され、ペダル負荷と強い相関を有していた。

一般的に、EMG は健常者に対する筋力評価に用いられている。正規化 $dMMG_{FT}$ と正規化 EMG_{FT} は正の相関を示した（図 6）。特に被験者 1 と 2 は強い相関が見られた。これらの結果から、正規化 $dMMG_{FT}$ が筋力を反映することを示した。

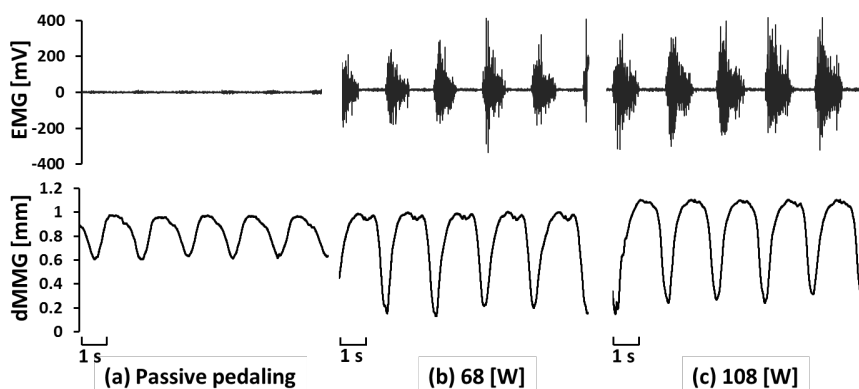


図 3 dMMG と EMG の生波形

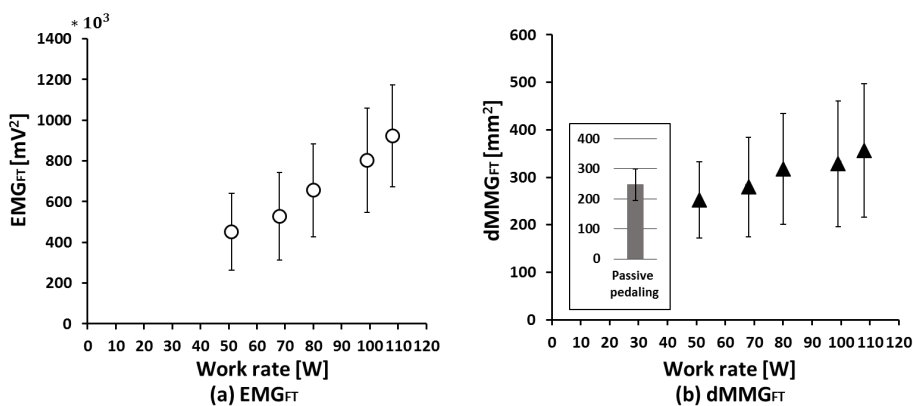


図 4 ペダル負荷と EMG_{FT} 、 $dMMG_{FT}$ の関係

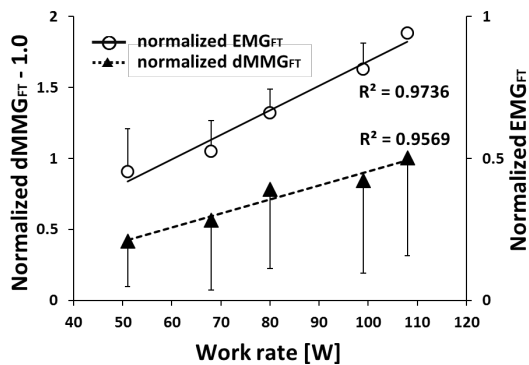


図5 ペダル負荷と規格化 EMG_{FT} 、規格化 $dMMG_{FT}$ の関係

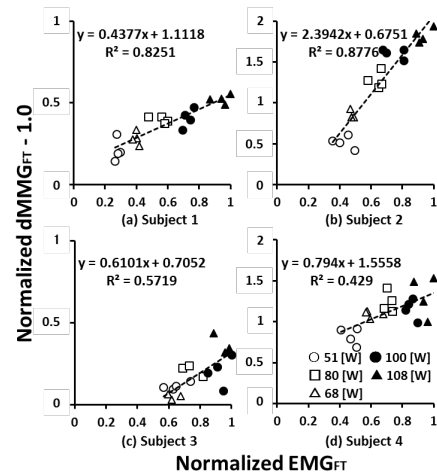


図6 規格化 EMG_{FT} と規格化 $dMMG_{FT}$ の関係

[考察]

MMG/EMG ハイブリッドセンサシステムは、動的運動中に安定した波形を計測することができた。 $dMMG$ は筋の形態変化すなわち、生理学的筋断面積の変化を示している。つまり、 $dMMG$ は力発揮時の運動単位の動員を検出し、筋収縮の状態を示す指標になると考えられる。解析によって得られた $dMMG_{FT}$ は、筋の単軸方向の変位と振動成分の積分値であり、筋収縮におけるパワーを示している。しかし、運動中の $dMMG_{FT}$ は受動的な関節運動による筋断面積の変化を含んでいる。したがって、動的運動中の筋力は受動的な関節運動の $dMMG_{FT}$ を基準として、正規化 $dMMG_{FT}$ を算出することによって決定することができる。

パッシブペダルにおいて、 EMG は平坦な波形を示した一方、 $dMMG$ は下肢の受動的な伸展・屈曲に伴う筋断面積の変化のために、周期的な波形として現れた。さらに、筋収縮による筋断面積の増加は、 $dMMG$ の振幅の増加として反映された。つまり、動的運動時の $dMMG$ は、パッシブペダルの $dMMG$ に筋収縮の成分が重畳した信号といえる。図4、5に示すように、ペダル負荷に応じて $dMMG_{FT}$ および EMG_{FT} の増加が見られたことから、これらはペダリングを持続させるために必要な活動電位と、筋力を反映していると考えられる。正規化 $dMMG_{FT}$ は正規化 EMG_{FT} と強く相関していたが、健常者を対象としているため、妥当な結果であるといえる。また、被験者間(被験者1、2と被験者3、4)の相関の差は、ペダル負荷における筋の予備力の差を示していると考えられる。これらの結果から、正規化 $dMMG_{FT}$ は動的運動中の筋力を反映していることが示唆された。

[結論]

本研究において、MMG/EMG ハイブリッドセンサによって得られた MMG が動的運動中の筋力を反映することを示した。MMG/EMG ハイブリッドセンサシステムと解析方法は動的運動中の筋収縮評価に有用であった。