

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350529

研究課題名(和文)5×5変位筋音アレイセンサによる筋収縮様相の機能的・形態的解明

研究課題名(英文)Consideration of functional and structural aspect of muscle contraction using 5x5 displacement MMG array transducer

研究代表者

岡 久雄 (Oka, Hisao)

岡山大学・保健学研究科・教授

研究者番号：80116441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：骨格筋は運動神経からの電気信号によって収縮するが、筋線維は筋原線維の集合であり、紡錘筋や羽状筋など二/三次元的な収縮様相は不明な部分が多い。そこで既開発の二次元的に計測できる5×5変位MMGアレイセンサを用い、多極筋電図と組み合わせて筋の機能的収縮様相を考察し、また超音波エコーによる筋の形態的収縮様相を計測して、筋の二次元的収縮様相を機能的・形態的視点に立って考察した。また本法をスポーツ科学分野や臨床医学分野への適用の可能性を探った。

研究成果の概要(英文)：The skeletal muscle contracts based on the electrical signal through motor nerve. Though the muscle cells are fibrillary sets, the two or three dimensional aspect of muscle contraction is known insufficiently, because there are spindle-shaped muscle or pennate muscle. In this study, the muscular functional aspect was measured using 5×5 displacement MMG (mechanomyogram) array transducer, which has been already developed and could measure two dimensionally. Furthermore, the structural aspect of muscle was measured using the ultrasonic echo equipment. And we have considered the muscle contraction two-dimensionally based on the functional and structural viewpoints and discussed whether these transducers and method were possibly applied to the fields of sport science and clinical medicine.

研究分野：生体医工学

キーワード：筋音図 筋電図 MMG EMG 筋収縮 変位筋音図

1. 研究開始当初の背景

筋収縮の基本単位である運動単位 (MU) は、遅筋線維 (ST) を支配し、収縮速度が遅く発揮張力が小さい S-MU と、速筋線維 (FT) を支配し、収縮速度が速く発揮張力が大きい F-MU、さらに耐疲労特性から FF-MU と FR-MU に分類される。皮膚表面で導出される表面筋電図はこれら運動単位の活動電位の時間的、空間的な加算波形であるが、表面筋電図は筋線維表面を伝播する活動電位で、筋を収縮させる入力信号に過ぎない。

一方、筋収縮によって筋内圧力が増加し、圧力波が伝播すると皮膚表面が振動する。これを加速度計やマイクロフォン、変位計などで測定したものが筋音図 (MMG: mechanomyogram) であり、筋の機械的な収縮機能を直接反映する。しかし、表面筋電位の多点計測や解析に比べて、筋音信号の二次/三次元的な計測・解析は十分に行われていない。

著者らは H22~24 年度科研費 (基盤 (B) 22300157) の支援を受けて、5×5 の変位筋音アレイセンサを製作し、5cm 四方 25 点の変位 MMG を計測することに成功した。本アレイセンサは予め 25 個のセンサが 1 枚のフレキシブル基板上にセットされ、対象とする筋の皮膚上に設置するだけで簡便に変位 MMG を多点計測することができる。上記三年間ではアレイセンサの製作および多点計測技術に多くの時間を費やしたが、25 点の MMG を 0.1ms 毎に計測できるようになったので、誘発筋音図 (電気刺激により誘起された変位 MMG 単収縮波形) の時系列解析も行えるようになり、単収縮波形の伝搬様相の基礎的解析も行った。本研究では、筋収縮の機能的・形態的収縮様相をさらに解明し、スポーツ科学分野や臨床分野への適用の可能性を探る。

2. 研究の目的

本研究では、開発した 5×5 の変位筋音アレイセンサを用いて、筋の機能的収縮様相および形態的収縮様相を一元的に解明した。次に本アレイセンサをスポーツ科学分野や臨床医学分野への適用の可能性を探った。

まず、(1) 変位筋音アレイセンサを用いて、筋の機能的収縮様相および形態的収縮様相を一元的に解明する。すなわち、①筋収縮を引き起こす入力信号である 64ch の多極筋電図と、既開発の 5×5 変位 MMG アレイセンサを用いて、筋収縮の結果である変位筋音図の両者を計測することによって、筋の機能的収縮様相を同定した。そして、②超音波エコーで筋の収縮状態を観察することによって、筋の形態的収縮様相を明らかにした。③両者を比較・検討することによって、筋の二次元的収縮様相を、機能的・形態的観点に立って検討した。

次に、(2) 本アレイセンサをスポーツ科学分野や臨床分野への適用の可能性を探っ

た。④スポーツ科学分野においては、等尺性収縮を行った場合、また筋疲労を生じるような場合に適用して考察した。⑤臨床分野においては、スポーツ科学やリハビリテーション分野で使用するリカンベントバイク運動時の筋音・筋電信号計測を試みた。

3. 研究の方法

本研究の目的は既開発の 5×5 の変位筋音アレイセンサを用いて、筋の機能的収縮様相および形態的収縮様相を一元的に解明することであり、さらに本センサをスポーツ科学分野や臨床分野への適用の可能性を探ることである。

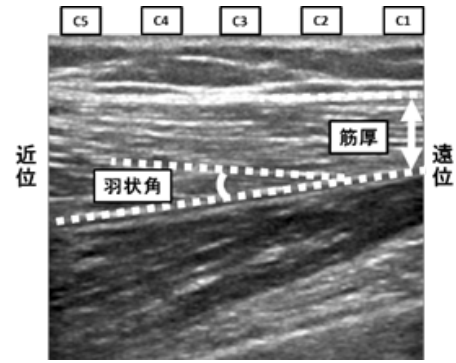
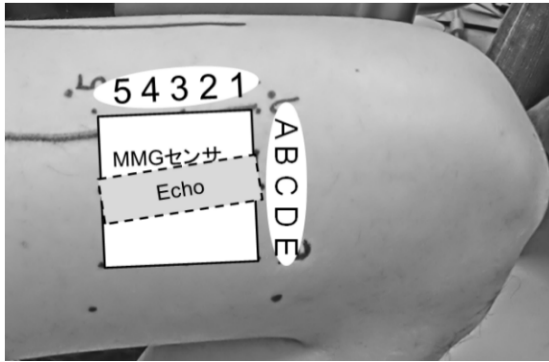
(1) 変位アレイセンサを用いて、筋の機能的収縮様相および形態的収縮様相を一元的に解明 ① 64ch の多極筋電計 (OT Bioelettronica 製, EMG-USB2 64) を用いて、筋収縮を引き起こす入力信号である筋電図を測定し、二次元筋電位マップを得る。また既開発の 5×5 変位 MMG アレイセンサを用いて、25 点の変位筋音信号の随意収縮波形や単収縮波形を得る。これらを比較・検討することによって、筋の機能的収縮様相について考察した。② また超音波エコー装置を用い、B/M モードで撮影することにより、実際に筋のどの部分で、何 mm 程度線維方向や側方に収縮・拡大変形しているのかを測定し、画像処理によって筋の形態的収縮様相を検討した。

(2) 本手法をスポーツ科学分野や臨床分野への適用の可能性を探った。③ スポーツ科学分野への適用にあたって、等尺性収縮を行った時の筋音信号—筋電信号—超音波エコー像の比較を行った。このとき、本アレイセンサのみならず、著者らが既に開発している筋音・筋電ハイブリッドセンサも活用して、さらに考察した。筋疲労の評価においても、これまで著者らが提唱してきた「筋収縮パフォーマンス指標 (筋音信号/筋電信号)」の有効性を確認した。④ 臨床分野においては、スポーツ科学やリハビリテーション分野で使用するリカンベントバイクで、負荷を変えたときの筋音信号—筋電信号を計測し、評価を試みることによって、本法の臨床分野への可能性を探った。本研究の実施にあたっては、岡山大学倫理委員会での承認、並びに被験者へのインフォームドコンセントを厳重に行って実施した。

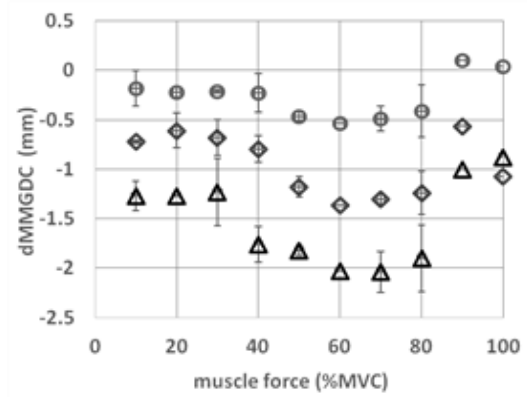
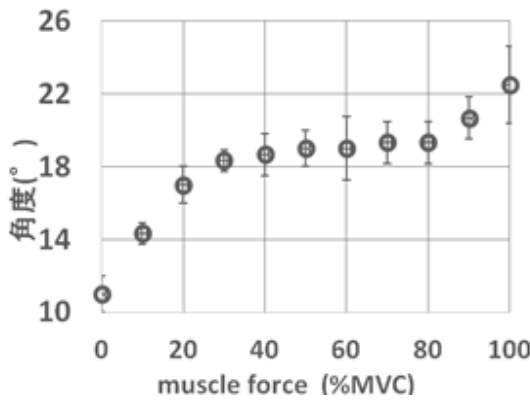
4. 研究成果

(1) 変位アレイセンサを用いた、筋の機能的収縮様相および形態的収縮様相の検討

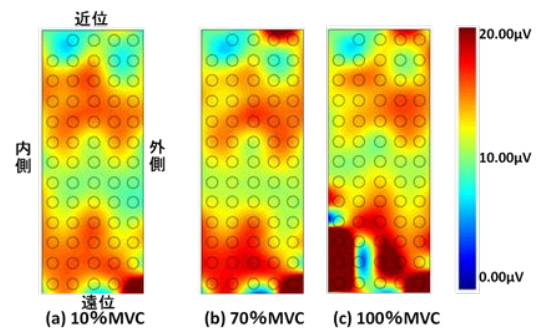
図 1 は、実験内容の説明を十分に行い、同意を得た筋疾患の既往歴のない 20 代健常男性において、椅座位をとらせ、膝関節 60 度屈曲位で 0~100%MVC を 10%MVC 毎に 11 段階を各 3 回 OKC 運動させたときの、外側広筋における (a) 測定部位 (変位筋音, 超音波エコー) と、エコーによる羽状角の測定法 (深層



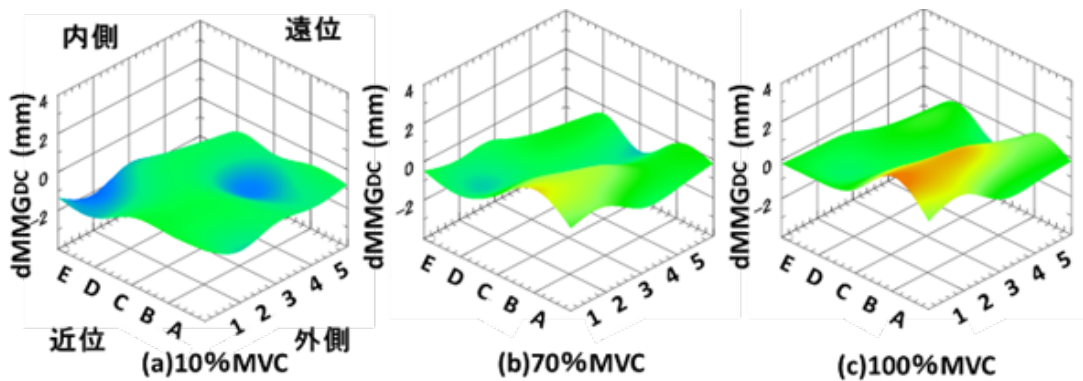
(a) アレイセンサとエコーの測定箇所 (b) エコーによる羽状角の求め方
 図1 外側広筋における5×5筋音アレイセンサと超音波エコーの測定



(a) 羽状角 (b) 変位筋音図 (C1:○, C3:◇, C5:△)
 図2 外側広筋において、%MVCを変えたときの羽状角と変位筋音図

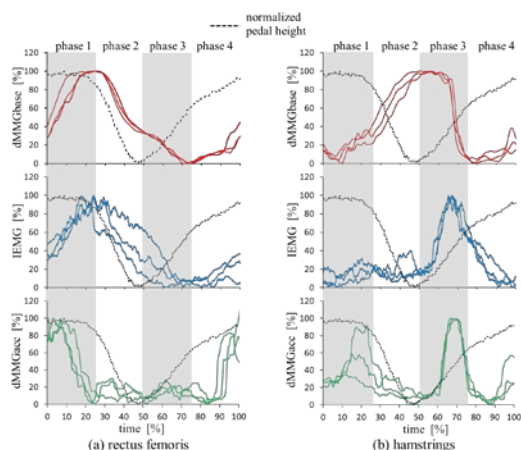


(a) 筋電図



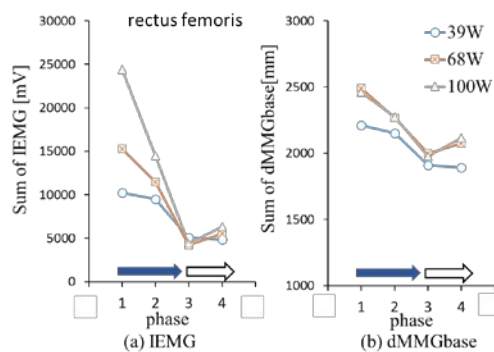
(b) 変位筋音図

図3 大腿直筋において、%MVCを変えたときの変位筋音図と筋電図



(a) 筋電図と変位筋音波形

図4 リカンベントバイクで負荷を変えたときの筋電および変位筋音図の変化



(b) 負荷を変えた場合

の腱膜と筋束がなす角度)である。図2は% MVC を増加させたときの外側広筋の(a)羽状角の増加の様子を示したものである。(b)はアレイセンサを用いて同部位を測定した時の、25カ所の内、C1, C3, C5における変位筋音の大きさを表したものであり、60%MVCあたりを中心にしたん小さくなるが、その後%MVCの増加と共に、変位筋音は増加することがわかる。

図3は大腿直筋において同様な運動を行った時の(a)64ch多極筋電図(間隔は縦横8mm)、(b)5×5変位筋音アレイセンサによる筋音マップを示したものである。一つの運動ニューロンから生じる神経軸索は筋の中で枝分かれし、多数の筋繊維に神経筋接合部を作り、筋によって、また個人によってさまざまな分布をしている。神経筋接合部が狭い範囲に集中している場合を神経支配帯と呼ぶが、図3(a)、(b)の中央部に見られることがわかる。

(2) 本手法のスポーツ科学分野や臨床分野への適用の可能性

変位筋音図と筋電図をスポーツ科学や臨床分野に適用した例を示す。本研究のテーマである5×5変位筋音アレイセンサと多極筋電図を用いるべきであるが、下肢筋に5×5変位筋音アレイセンサを貼付するし、リカンベントバイクを使用すると、センサ位置がずれることがわかった。そこで、同一点における両者の関係を明確にすることを優先し、同一測定部位における筋音信号と筋電信号の関係を求めた。図4はリカンベントバイクの負荷を、39, 68, 100[W]と変えたときの、右大腿直筋とハムストリングの(a)筋電および変位筋音波形(3周期分の重ね書き)と、(b)負荷を変えたときの筋電図と変位筋音図の大きさの様子を示したものである。

膝関節の最大屈曲時(膝が最も胸部に近くなる)を起点として、90度ずつ分割したのをPhase 1~Phase 4とし、また2秒に一回転でペダリングした。同図より、ペダルを踏む(Phase 1~2)と筋電および筋音図は最大値を、ペダルを引き上げる(Phase 3~4)

と減少していることがわかる。また大腿直筋とハムストリングは拮抗筋であるが、その通りの波形が得られていた。一方、負荷を増加させると両信号は大きくなるが、筋電図は全体として大きくなっているのに対し、68~100[W]における変位筋音図は増加していないことがわかる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

① Shinichi Fukuhara, Hisao Oka, Development of MMG / EMG hybrid transducer for muscle contraction evaluation, Proceedings of Life Engineering Symposium 2015, LE2015, 査読無, 2015, 3C1-6

② Hisao Oka and Yuto Konishi, Simultaneous measurement of displacement MMG and EMG during isometric muscle contraction, Proceedings of Life Engineering Symposium 2014, LE2014, 査読無, 2014, 2B2-1

③ Yuto Konishi, Takumu Hattori, Hideo Nakamura, Hisao Oka, Masaki Yoshida, Accuracy of Estimated Muscle Fiber Direction with High-Density surface EMG Electrodes, Proceedings of Life Engineering Symposium 2014, LE2014, 査読無, 2014, 2B2-6

④ H. Oka, Y. Konishi, T. Kitawaki, N. Ichihashi, and M. Yoshida, Development of Multichannel Array Transducer of Displacement Mechanical-Myogram, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE (IEEE Xplore® Digital Library), 査読有, 2013, 5899-5902, DOI:10.1109/EMBC.2013.6610894

[学会発表](計12件)

① Hisao Oka and Shin-ichi Fukuhara, Evaluation of Muscle Contraction using 5×5 MMG Array Sensor, 64 Channel sEMG Multichannel Sensor and Ultrasonic Image Equipment, The XXI Congress of the

International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK 2016), Chicago, USA, 2016年7月5日

② Hisao Oka and Shin-ichi Fukuhara, New Mechanomyogram / Electromyogram Hybrid Transducer for evaluation of muscle contraction during cycling-wheelchair exercise, The XXI Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK 2016), Chicago, USA, 2016年7月5日

③ Shinichi FUKUHARA, Takeshi FUJINAGA, Shogo WATANABE, Hisao OKA, Evaluation of Skeletal Muscle Contraction during Pedaling of Recumbent Bicycle using MMG / EMG Hybrid Transducer, 第55回日本生体医工学会大会, 富山県富山市, 2016年4月27日

④ 岡久雄, 小西 有人, 筋音/筋電同時計測による等尺性筋収縮の評価, 計測自動制御学会・第3回電気生理運動学研究会(第15回日本電気生理運動学会大会), 横浜市, 2014年9月6日

⑤ Hisao Oka, Shota Ichihashi, Natsumi Arisawa, Shin-ichi Fukuhara, Evaluation of skeletal muscle contraction with EMG and MMG during the elbow joint exercise, 第54回日本生体医工学会大会, 名古屋市, P3-3-23-E, 2015年5月9日

⑥ Hisao Oka, Junda Shen and Yuto Konishi, SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF A MECHANOMYOGRAM AND AN ELECTROMYOGRAM USING AN MMG/EMG HYBRID TRANSDUCER, ISEK 2014 Biennial Congress, Rome, ITALY, 2014年7月17日

⑦ Hisao Oka and Yuto Konishi, MEASUREMENT OF 5 × 5 MECHANOMYOGRAPHIC SIGNALS AND 64-CHANNEL ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS, ISEK 2014 Biennial Congress, Rome, ITALY, 2014年7月17日

⑧ Hisao Oka and Yuto Konishi, Muscle contraction evaluation by the simultaneous measurement of MMG and EMG, 第53回日本生体医工学会大会, 仙台国際センター(宮城県仙台市), 2014年6月25日

⑨ 岡久雄, 小西 有人, 北脇 知己, 運動中のMMG/EMG同時計測, 第34回バイオメカニズム学術講演会, 埼玉県所沢市, 2013年11月16日

⑩ Hisao Oka, Yuto Konishi, Tomoki Kitawaki, Simultaneous measurement of displacement MMG/EMG during exercise, The 1st Symposium on Life Engineering (BPES2013), 横浜市, 2013年9月12日

⑪ 岡久雄, 小西 有人, 5×5アレイセンサによる変位筋音の測定, 第2回電気生理運動学研究会(第14回日本電気生理運動学会大会), 大阪市, 2013年7月7日

⑫ Hisao Oka, Yuto Konishi, Tomoki Kitawaki, Noriaki Ichihashi, Masaki Yoshida,

Development of Multichannel Array Transducer of Displacement Mechanical-Myogram, The 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'13), Osaka, Japan, 2013年7月6日

[その他]

ホームページ等

「筋音信号による筋の機能の評価」

http://www.okayama-u.ac.jp/user/fhs/kyouin_meibo/dm/DM/oka/research_03.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡久雄 (OKA HISAO)

岡山大学・大学院保健学研究科・教授

研究者番号: 80116441

(2) 研究分担者

北脇 知己 (KITAWAKI TOMOKI)

岡山大学・大学院保健学研究科・准教授

研究者番号: 40362959

(3) 連携研究者