

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：35309

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K19967

研究課題名（和文）運動中の筋機能を評価できる筋収縮パフォーマンスIndexの開発

研究課題名（英文）Study of indices reflecting muscle contraction performance during dynamic exercise

研究代表者

福原 真一（Fukuhara, Shinichi）

川崎医療福祉大学・医療技術学部・講師

研究者番号：70745497

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、筋収縮時の入出力関係を反映する筋音図と筋電図を同時計測・評価することによって、動的運動中における筋の性能（パフォーマンス）を表す指標を確立することを目的とした。アスリート群とコントロール群を対象に、ペダリング中の内側広筋の筋音図と筋電図をMMG/EMGハイブリッドセンサを用いて同時計測した。

その結果、アスリート群は運動負荷に対して高出力、高安定性を有していたことから、筋音図と筋電図による複合的なアプローチによって得られた指標は運動中の筋パフォーマンスを反映するパラメータとなる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究結果により、スポーツや運動の実施と評価を簡単に結び付けることが可能であり、運動継続のモチベーションを高める効果が考えられることから、さらなるスポーツ人口の増加が見込め、我が国のスポーツ立国戦略の一翼を担えるものと期待される。

また、ロコモティブシンドロームやサルコペニア等の筋の機能的評価にも応用可能であり、患者の治療やリハビリテーションなど、多くの運動器に関する分野で筋機能の客観的評価を可能にすると考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to establish new absolute indices to describe muscle contraction performance during dynamic exercise by combining EMG and displacement MMG (dMMG). Study participants were eight healthy male non-athletes (controls) and eight male athletes. EMG and dMMG of the vastus medialis were measured for 30 s during four cycles of recumbent bicycle pedaling (30, 60, 90, and 120 W). Muscle contraction performance was verified with the slope of regression line (SRL) and the residual sum of squares (RSS) obtained from EMG and dMMG correlation.

Athletes had significantly higher SRL and significantly lower RSS than controls. The average value divided by SRL and RSS was higher in athletes than in controls. The indices presented by the combined approach of EMG and dMMG showed a clear contrast between the investigated groups and may be parameters that reflect muscle contraction performance during dynamic exercise.

研究分野：医用生体工学

キーワード：筋音図 筋電図 筋パフォーマンス ペダリング

1. 研究開始当初の背景

日々のトレーニングや運動療法による運動能力の向上を把握するために、検査者、アスリート、患者にとって非侵襲的かつ簡便な評価が求められている。とりわけ、筋機能の評価は最大筋力や繰り返し回数、最高タイム等の量的な項目で評価されることが多い。これらの方法は、被験者のモチベーションや検査者の経験によって結果に大きく影響する可能性がある。一方、対象とする筋を直接的に評価できる生体信号として筋電図 (Electromyography : EMG) や筋音図 (Mechanomyography : MMG) が用いられてきた。EMG は筋収縮のトリガーとして働くのに対して、MMG は皮膚表面に置いた加速度計等によって筋の機械的な振動や変位を計測したものであり、筋収縮の最終的な証となる。言い換えれば、EMG と MMG は筋収縮時における入出力関係として振る舞うことができる。我々は以前から変位筋音図 (displacement-MMG : dMMG) と EMG を同時計測可能な MMG/EMG ハイブリッドセンサ (図1) を開発してきた。これまで、動的運動時の EMG と MMG を用いた複合的な評価について言及した報告は極めて少ない。



図1 MMG/EMG ハイブリッドセンサ

2. 研究の目的

本研究では、ペダリング運動を対象に上記システムから得られる EMG と MMG の複合的なアプローチによって筋収縮時の筋のパフォーマンスを反映する新たな評価指標を開発し、その有用性を検証することを目的とした。加えて、上記システムを一部改良し、dMMG による筋収縮機能の評価のリアルタイムモニタリングを実現可能なものを目指す。本研究によって、スポーツやリハビリテーション分野において、運動に基づくトレーニングや治療戦略に役立つことが期待される。

3. 研究の方法

実験対象者は現役で部活動を実施しているアスリート7名(20.3±0.5歳、身長:173.0±5.9cm、体重:63.4±8.4kg):アスリート群、競技歴がなく日常的な運動を一切実施していない非アスリート8名(21.3±0.9歳、身長:166.6±5.8cm、体重:56.7±8.4kg):コントロール群とした。対象とする筋は右内側広筋とし、皮膚を前処理した後、MMG/EMG ハイブリッドセンサを取り付けた。被験者は座位でペダリング可能なリカンベントバイクに着座し、ペダリングを行った。被験者は背もたれに密着させ、つま先をベルトで固定した(図2)。

ペダリング(ケイデンス:30rpm、負荷:30、60、90、120W、受動的関節運動)中の EMG と dMMG を 30 秒間、サンプリング 1kHz で同時計測した。解析は EMG と dMMG の平均エネルギー値を算出し、EMG は最大値、dMMG は受動的関節運動の値で規格化した。さらに、それらの回帰直線の傾きと残差平方和を算出した。最後に、回帰直線の傾きを残差平方和で除し、この値を運動時の筋収縮能を決定する動的筋パフォーマンス指標と定義した。

データはすべて平均値±SD で表した。データの統計解析は SPSS Statistics 24.0 (IBM, NY, USA) を用いた。データの正規性は Shapiro-wilk 検定を用いて評価した。2 群間(アスリート vs. コントロール)および負荷間の差は二元配置分散分析で評価した。有意差が認められた場合、グループ間比較は Sidak 法で行った。さらに、その他の 2 群間比較は Student's t 検定を行った。EMG と dMMG の相関は、ピアソンの相関検定を用いて調べた。

本研究は川崎医療福祉大学倫理委員会の承認(承認番号 19-013)を得て実施した。



図2 リカンベントバイク

4. 研究成果

EMG と MMG は負荷とともに増加した。EMG はすべての負荷においてコントロール群とアスリート群との間で有意差は見られなかったのに対して、dMMG は 120W でアスリート群がコントロール群よりも有意に大きかった ($p < 0.05$) (図 3)。

EMG と dMMG の相関関係から、アスリート群の回帰直線は強い正の相関を認め、コントロール群よりも有意に大きい傾きが得られた ($p < 0.01$)。また、線形回帰モデルとデータの差を評価する残差平方和に関して、アスリート群はコントロール群よりも有意に小さかった ($p < 0.01$) (図 4)。加えて、傾きを残差平方和で除した値はアスリート群とコントロール群との間で明らかな差が認められた ($p < 0.01$) (図 5)。

これらの結果から、運動に対して高いパフォーマンスを有する筋は一定課題における運動時に安定した筋収縮を実現し、運動に対する優れた制御機能を備えていることが分かった。これらの指標を考慮し、運動中の筋パフォーマンスを表す指標として DMPI (dynamic muscle performance index) = 回帰直線の傾き / 残差平方和と定義した。

本研究では、EMG と MMG を組み合わせることによって、運動中における筋の性能を評価できる指標が得られることに着目した。DMPI は直接的かつ鋭敏に運動中の筋パフォーマンスを反映する指標になりうる。今後、これらの指標を実用可能なものにしていくためにさらなる基礎データの蓄積が必要である。

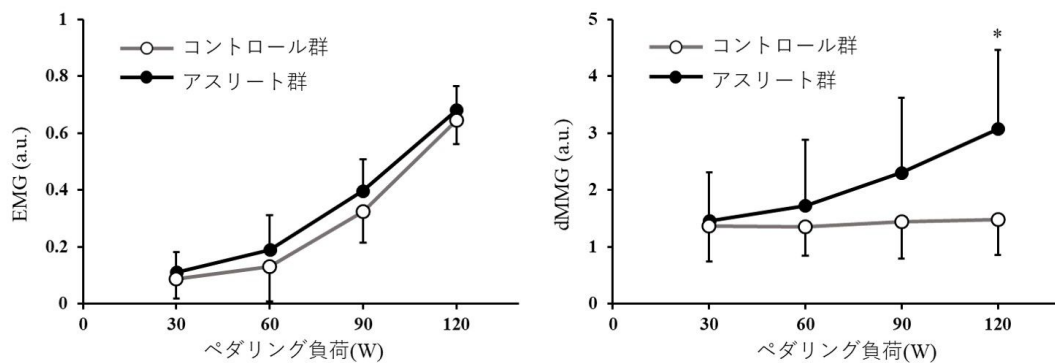


図 3 ペダリング負荷と EMG、dMMG の関係 (* $p < 0.05$)

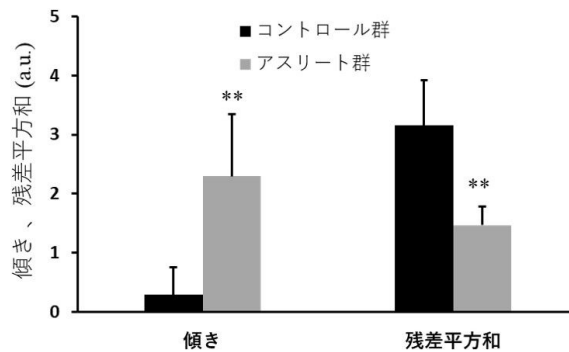


図 4 回帰直線と残差平方和におけるコントロール群とアスリート群の比較 (** $p < 0.01$)

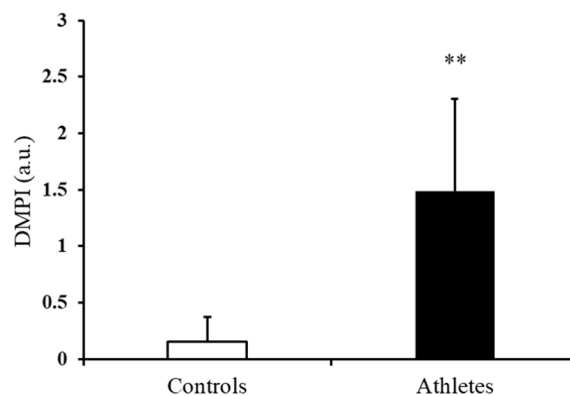


図 5 コントロール群とアスリート群における DMPI の比較 (** $p < 0.01$)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 中山 淳、幸田 仁志、福原 真一、岡 久雄	4. 巻 35(4)
2. 論文標題 MMG / EMG ハイブリッドセンサを用いた高齢者における上腕二頭筋の筋機能評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 リハビリテーション・エンジニアリング	6. 最初と最後の頁 160-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24691/resja.35.4_160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shinichi Fukuhara, Hisao Oka	4. 巻 8
2. 論文標題 A simplified analysis of real-time monitoring of muscle contraction during dynamic exercise using an MMG/EMG hybrid transducer system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 185-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.8.185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 岡 久雄、福原 真一	4. 巻 102(8)
2. 論文標題 筋音図を用いた身体動作の計測・評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 754-757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小野 紗佑里、片田 俊介、福原 真一	4. 巻 7
2. 論文標題 経皮的心肺補助装置におけるシミュレーション教育の効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本シミュレーション医療教育学会雑誌	6. 最初と最後の頁 83-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.50950/jasehp.2019-07-15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinichi Fukuhara, Hisao Oka	4. 巻 180(9)
2. 論文標題 Pedaling stroke length effects on the muscle mechanical and electrical activity during recumbent cycling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gazzetta Medica italiana - archivio per le Scienze Mediche	6. 最初と最後の頁 455-463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0393-3660.20.04516-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinichi Fukuhara, Takaki Kawashima, Hisao Oka	4. 巻 11
2. 論文標題 Indices reflecting muscle contraction performance during exercise based on a combined electromyography and mechanomyography approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-00671-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件(うち招待講演 0件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 小野 紗佑里、福原 真一、正木 久男
2. 発表標題 臨床工学技士の業務を中心とした補助循環シミュレーションの教育手法の考案と評価
3. 学会等名 第34回医療福祉研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吾郷 竜一、岩田 知穂、前田 拓郎、井川 明帆、田野 俊平、岡 久雄、福原 真一
2. 発表標題 足漕ぎ車椅子の治療効果について ~脳挫傷にて下肢の弛緩性麻痺を呈した患者への導入~
3. 学会等名 回復期リハビリテーション病棟協会2020年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野 紗佑里、木口 友、福田 実咲、又川 桂、阿部 翔吾、宇野 愛花、掛谷 和生、本田 浩輝、福原 真一
2. 発表標題 ECMOにおけるシミュレーション教育の効果 (第2報)
3. 学会等名 第8回日本シミュレーション医療教育学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinichi Fukuhara, Hisao Oka
2. 発表標題 Estimation of muscle contraction performance by ratio of displacement-mechanomyogram and electromyogram during recumbent bicycle pedaling
3. 学会等名 The 23rd International Society of Electrophysiology and Kinesiology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原 真一、岡 久雄
2. 発表標題 筋音 / 筋電比による運動中の筋収縮パフォーマンスの検証
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原 真一、河島 隆貴、佐藤 宏樹、岡 久雄
2. 発表標題 変位筋音図による力調節安定性の検出
3. 学会等名 第42回日本生体医工学会中国四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡 久雄、福原 真一
2. 発表標題 筋音・筋電図による上腕二頭筋の等尺性収縮の評価
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡 久雄、福原 真一
2. 発表標題 ペダリング中における大腿四頭筋の収縮機能のリアルタイムモニタリング
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisao Oka, Shinichi Fukuhara
2. 発表標題 Mechanomyogram and Electromyogram Measurement during Isometric Contraction of a Biceps Brachii Muscle
3. 学会等名 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisao Oka, Shinichi Fukuhara
2. 発表標題 Contribution of the Quadriceps Femoris Muscle for Recumbent Bicycle Pedaling, Evaluated by an MMG/EMG Hybrid Transducer
3. 学会等名 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原 真一、小野 紗佑里、田中 智之、藤岡 志延、古子 永遠、渡邊 恵里子、木口 友、又川 桂、阿部 翔吾、福田 実咲
2. 発表標題 ECMOの機械的合併症を模擬できるシミュレーションシステムの開発
3. 学会等名 第7回日本シミュレーション医療教育学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河島 隆貴、石田 弘、岡田 裕、福原 真一
2. 発表標題 筋音/筋電ハイブリッドセンサによる等速性膝伸展時の筋疲労評価
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 真一、岡 久雄
2. 発表標題 運動中の筋パフォーマンスを反映する新たな評価指標の確立 筋音 / 筋電図による複合的アプローチ
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 真一、榎本 敦樹、小田 由布子、岡寺 菜香、熊谷 亮哉、杉野 太軌
2. 発表標題 筋電図に基づいた人工心肺の鉗子操作における筋活動の特性分析
3. 学会等名 第11回中四国臨床工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 真一、小山 智也、枝村 優真、山岡 明加、柳田 恵佑、堀内 優之介
2. 発表標題 ECMOにおける教育の体系化を目指したシミュレーションシステムの開発
3. 学会等名 第11回中四国臨床工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinichi Fukuhara, Hisao Oka
2. 発表標題 Opposing responses of electromyography and mechanomyography with increasing pedaling cadence
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 真一
2. 発表標題 人工心肺用鉗子操作における筋電図学的分析
3. 学会等名 第35回医療福祉研究報告会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岡 久雄 (Oka Hisao) (80116441)	岡山大学・ヘルスシステム統合科学研究科・特命教授(研究) (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	河島 隆貴 (Kawashima Takaki)	川崎リハビリテーション学院・理学療法学科・助教	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関