

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350773

研究課題名(和文)水泳競技における近代4泳法中の筋活動量の比較 - MRI画像を用いて -

研究課題名(英文) Comparison of muscular activation mass between four major swimming styles - evaluation utilizing MRI image -

研究代表者

仙石 泰雄 (SENGOKU, Yasuo)

筑波大学・体育系・助教

研究者番号：30375365

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、近代4泳法を泳いだ際の全身各筋の筋活動量の違いを分析することを目的とした。表面筋電図法を用いて20秒間の全力泳中の上腕二頭筋・上腕三頭筋・大腿直筋・大腿二頭筋の筋活動量を分析した結果、クロール泳および背泳ぎは大腿二頭筋の活動量が高いこと、背泳ぎは上腕二頭筋の活動量が低いこと、バタフライは上腕三頭筋の活動量が高いこと、平泳ぎは各筋の活動量が中程度であることが明らかとなった。またMRI画像を用いて200m全力泳における各泳法の腹直筋・脊柱起立筋・大腰筋・腹斜筋群の筋活動量を分析したところ、クロールとバタフライは腹直筋の活動量が高いこと、背泳ぎは脊柱起立筋の活動量が高いことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The present study was intended to analyze the difference of muscular activity between the four major swimming styles. By investigating the muscular activity of biceps brachii, triceps brachii, rectus femoris, and biceps femoris during a 20 sec maximal effort swim utilizing surface electromyography, it was clarified that the muscular activity of biceps femoris was high in front crawl and backstroke, muscular activity of biceps brachii was low in backstroke, triceps brachii muscular activity was high in butterfly, and all muscular activity mass was moderate in breaststroke. Furthermore, by evaluating the muscular activity of rectus abdominis, irector spinar, psoas major, and internal oblique during 200m all out swim utilizing MRI image, it was indicated that rectus abdominis muscular activity was high in front crawl and butterfly, and muscular activity of irector spinar was high in backstroke.

研究分野：水泳コーチング学

キーワード：水泳運動 筋活動量

## 1. 研究開始当初の背景

我々は、泳種目の違い(クロール、バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ)により、漸増負荷運動中の血中グルコース濃度の応答が異なるか分析したところ、バタフライと背泳ぎは、クロール泳の先行研究<sup>1)</sup>と類似した生理応答が観察されたのに対し、平泳ぎにおいてのみ陸上運動と同様に高強度運動を実施した際に血中グルコース濃度が上昇する傾向が認められた<sup>2)</sup>。平泳ぎの特徴として、他の泳法と異なり下肢動作で大きな推進力が発揮される点があげられる。そのため、平泳ぎでは下肢筋の動員量が他の泳法より多くなる可能性が考えられ、各泳法中における全身の筋活動量の違いが高強度運動中の代謝応答に関与している可能性がある。しかしながら、これまでの研究では、表面筋電図法によって各泳法の筋活動量は分析されているものの、4泳法間の筋活動量の比較は行われていない。さらに筋の深層部および深層筋における各泳法中の筋活動量は明らかとされていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、水泳競技で用いられる近代4泳法(バタフライ・背泳ぎ・平泳ぎ・クロール)を泳いでいる際の、全身各筋における筋活動量の違いを比較することを目的とした。本研究課題を達成するために2つの研究課題を設定した。

[研究課題 I] 表面筋電図法を用いた近代4泳法中の筋活動量の比較

[研究課題 II] MRI 画像を用いた近代4泳法中の筋の深層部における筋活動量の比較

## 3. 研究の方法

(1) 研究課題 I として表面筋電図法を用いた近代4泳法中の筋活動量を比較するために2つの実験を行った。

水中で表面筋電図を測定するためには、電極の防水処理が不可欠となる。正確な水中筋電図データを収集する上で、まず本研究で使用する電極の防水処理法の妥当性を検証した。

実験には、9名の健常成人男性が参加した。対象者は、利き腕における2秒間の等尺性掌屈運動を1分間の休憩を挟みながら10回実施した。運動中、対象者の肘は固定具によって固定した。固定された腕は水槽の中に置かれた。等尺性掌屈運動は、水槽上部に設置したロードセルのレバーアームを押す試技とした。

対象者は、この運動を3つの条件下で行った。すなわち、空気中で電極防水処理を行わずに行う条件(NT)、電極防水処理を施して空気中で行う条件(T)、電極防水処理を施して水中で行う条件(WT)であった。試技条件間は、20分以上の休憩を挟んで行った。WT条件において、水深は前腕と手が完全に浸水するように設定した。水温は、29 から 32 の範囲に設定した。

掌屈運動中の発揮筋力は、ロードセル(LUX-B-2KN-ID, KYOWA Inc.)を用いて測定した。事前に対象者は5秒間の最大随意収縮運動を行い、その際の最大発揮筋力を測定した。2秒間の掌屈運動における発揮筋力は、同一の運動を10回反復するために最大発揮筋力の40%に設定した。

上記の実験で検証した表面筋電図測定法を用いて、近代4泳法の各泳法における筋活動量の特徴を明らかにすることを目的に実験を行った。

本実験には、大学水泳部に所属する男子競泳選手7名が参加し、各泳法中における筋電図測定を行った。対象者は、実験用回流水槽(五十嵐工業社製)にて、事前に測定された最大努力時の85%の泳速度に設定された流速下で20秒間泳ぐ試技を各泳法で実施した。筋電図の被験筋は、上腕二頭筋・上腕三頭筋・大腿直筋・大腿二頭筋の4筋とした。本実験では泳ぎが安定した4ストロークの筋電図データを分析対象とした。筋電図データは、アーチファクト成分を除去した後、整流化して1ストロークの積分値をそのストローク時間で除した単位時間あたりの筋放電量(iEMG/T)を算出し、4ストロークの平均値を筋活動量の指標とした。なおiEMG/Tは、最大等尺性運動時の値で標準化(%MVC)した。

(2) 研究課題 II では、表面筋電図法では測定することのできない深層筋の筋活動量も分析するためMRI画像を用いて近代4泳法中の筋活動量を分析した。

対象者は、大学水泳部に所属する男子競泳選手2名とした。対象者は、屋内50mプールにて200mレースを想定した全力泳を各泳法で実施した。各試技は、疲労の影響を受けないようにするため、試技間を最低2日以上開けて実施した。

MRI撮像は、永久磁石式全身用MRI装置(G-scan brio, Esaote社製)を用いて試技前の安静時(Pre)と試技終了後(Post)に撮像し、T2強調画像を得た。被験筋は、上腕部を上腕二頭筋・上腕三頭筋、体幹部を腹直筋・脊柱起立筋・大腰筋・腹斜筋群、大腿部を大腿二頭筋・大腿四頭筋・内転筋群とした。撮像部位は身体右側とし、上腕の中間部、第三腰椎と第四腰椎の間、大腿の近位30%部とした。また事前に、上腕部は肩峰から上腕骨外側上顆までの距離にかけて中間の位置、大腿部は大転子から大腿骨外側上顆までの距離にかけて近位30%をメジャーで同定した。同定した画像を図1~3に示す。

## 4. 研究成果

(1) 表面筋電図法を用いた筋活動量の比較

本研究で使用する電極の防水処理法の妥当性を検証した結果、3条件間における発揮筋力およびRMSに有意な差は認められなかった。そのため、本実験で用いた電極防水処理法は水中環境での測定に十分妥当であり、

EMG 信号の振幅値とスペクトル特徴量に影響を与えないことが明らかとなった。

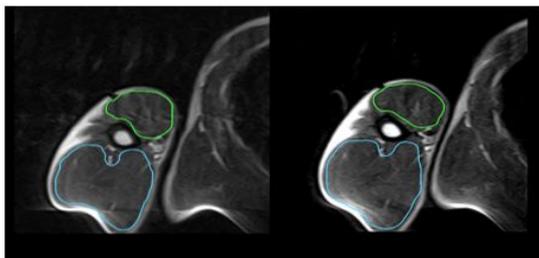


図 1 上腕の横断画像(左:Pre,右:Post)

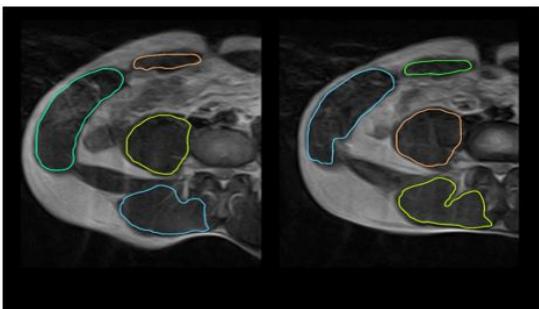


図 2 体幹部の横断画像(左:Pre,右:Post)

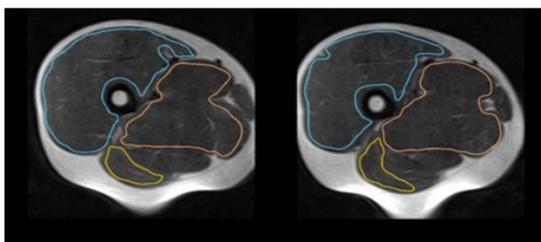


図 3 大腿部の横断画像(左:Pre,右:Post)

妥当性が検証された水中表面筋電図法を用いた近代 4 泳法中の筋活動量の分析結果を図 4 に示す。

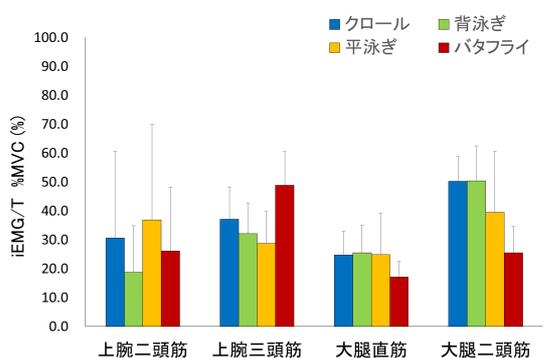


図 4 表面筋電図法で測定した近代 4 泳法中の筋活動量

クロール泳の iEMG/T は、上腕二頭筋が  $30.6 \pm 30.0\%$ 、上腕三頭筋が  $37.1 \pm 11.1\%$ 、大腿直筋が  $24.7 \pm 8.1\%$ 、大腿二頭筋が  $50.2 \pm 8.6\%$ であった。背泳ぎ iEMG/T は、上腕二頭筋が  $18.8 \pm 16.2\%$ 、上腕三頭筋が  $32.1 \pm 10.5\%$ 、大

腿直筋が  $25.5 \pm 9.5\%$ 、大腿二頭筋が  $50.4 \pm 12.0\%$ であった。平泳ぎの iEMG/T は、上腕二頭筋が  $36.9 \pm 33.0\%$ 、上腕三頭筋が  $28.8 \pm 11.0\%$ 、大腿直筋が  $24.9 \pm 14.4\%$ 、大腿二頭筋が  $39.5 \pm 21.1\%$ であった。バタフライの iEMG/T は、上腕二頭筋が  $26.2 \pm 22.1\%$ 、上腕三頭筋が  $48.8 \pm 11.6\%$ 、大腿直筋が  $17.1 \pm 5.4\%$ 、大腿二頭筋が  $25.5 \pm 9.1\%$ であった。各筋における泳法間に比較では、すべての筋において有意な主効果が確認された ( $p < .05$ )。これらの結果、各泳法において以下のような筋活動量の特徴があると考えられた。1) クロールおよび背泳ぎは、大腿二頭筋の活動量が平泳ぎおよびバタフライの泳法と比較して高い。2) 背泳ぎは、上腕二頭筋の活動量が他の泳法と比較して低い。3) バタフライは、上腕三頭筋の活動量が他の泳法と比較して高く、大腿直筋および大腿二頭筋の活動が他の泳法と比較して低い。4) 平泳ぎの泳法は、上肢および下肢の 4 筋において同程度の値が示され、他の泳法と比較して中程度の値であった。

(2) MRI 画像から評価した各対象者におけるクロール泳 (Fr)、バタフライ (Fly)、背泳ぎ (Ba) および平泳ぎ (Br) の筋活動量を表 1、2 に示す。

表 1 対象者 A における近代 4 泳法中の安静時 - 運動後の T2 変化率

変数	Fr	Fly	Ba	Br
上腕二頭筋	7.4	13.0	21.8	9.1
上腕三頭筋	4.6	2.6	2.9	5.7
脊柱起立筋	1.0	4.1	22.5	16.0
腹斜筋群	1.6	4.5	12.0	17.1
大腰筋	3.0	17.1	12.8	17.6
腹直筋	17.2	13.2	11.7	12.6
大腿直筋	3.4	8.1	6.9	8.1
大腿二頭筋	3.8	8.5	21.9	4.0
内転筋	5.5	5.0	8.2	3.5

表 2 対象者 B における近代 4 泳法中の安静時 - 運動後の T2 変化率

変数	Fr	Fly	Ba	Br
上腕二頭筋	18.7	11.0	13.1	10.2
上腕三頭筋	10.7	8.6	2.1	4.0
脊柱起立筋	11.8	3.4	4.9	11.5
腹斜筋群	15.7	10.1	17.9	2.2
大腰筋	9.2	4.0	2.2	8.6
腹直筋	19.9	15.7	6.4	3.7
大腿直筋	19.0	6.5	7.1	7.6
大腿二頭筋	9.1	5.6	1.8	8.9
内転筋	8.1	2.0	6.4	14.3

本研究の結果，クロールは上腕二頭筋・大腿四頭筋・腹直筋が主に動員されること，バタフライは上腕二頭筋と上腕三頭筋が主に動員されること，背泳ぎは上腕二頭筋・脊柱起立筋・大腿二頭筋が主に動員されること，平泳ぎは脊柱起立筋が主に動員される特徴が示唆された。

本研究において表面筋電図法およびMRI画像をもちいて近代4泳法中の筋活動量の比較し，各泳法の筋活動量の特徴を分析した。その結果，両測定法間において同様の筋活動量の特徴は示されなかった。これは，各試技における運動強度の違いが影響していると考えられる。表面筋電図法を用いたデータは，短時間の全力泳の特徴を示しており，MRI画像を用いたデータはより持続的に高い強度で泳ぎ続けた際の筋活動量の特徴を示していると考えられる。

#### <引用文献>

Yasuo Sengoku, Kazuteru Nakamura, Tsuyoshi Takeda, Yoshiharu Nabekura, Shozo Tsubakimoto, Glucose response after a ten-week training in swimming, International Journal of Sports Medicine, 32,2011, 835-838  
仙石 泰雄, 門田 理代子, 安藤 邦彬, 椿本 昇三, 競泳競技における種目の違いが漸増負荷泳中の血中グルコース濃度の動態に与える影響, 筑波大学体育科学系紀要, 35, 2012, 193-198

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計1件)

Keisuke Kobayashi, Hideki Takagi, Shozo Tsubakimoto, Yasuo Sengoku, Suitability of electrodes waterproofing treatment in underwater surface electromyography measurement, 筑波大学体育系紀要, 査読有, 40, 2017, pp. 65-70,  
[https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=41444&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=83](https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=41444&item_no=1&page_id=13&block_id=83)

##### [学会発表](計2件)

小林 啓介, 仙石 泰雄, 吉岡 利貢, 山田 眞崇, 椿本 昇三, MRIを用いた泳運動における筋活動評価の試み-ドルフィンキック泳を対象として-, 第70回日本体力医学会大会, 2015年9月19日, 和歌山県民文化会館(和歌山県和歌山市)  
小林 啓介, 仙石 泰雄, 吉岡 利貢, 「近代4泳法中の筋活動量の比較」, 第70回日本体力医学会大会, 2015年9月19日, 和歌山県民文化会館(和歌山県和

歌山市)

##### [その他]

ホームページ等  
一般社団法人日本スイミングクラブ協会・電子かわら版, 4泳法を泳いだ時の筋活動量の特徴,  
<http://www.sc-net.or.jp/kawara/files/pdf/20170325.pdf>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

仙石 泰雄 (SENGOKU, Yasuo)  
筑波大学・体育系・助教  
研究者番号: 30375365

##### (2)研究分担者

吉岡 利貢 (YOSHIOKA, Toshitsugu)  
環太平洋大学・体育学部・講師  
研究者番号: 60508852