

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：34318

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350678

研究課題名(和文) ヒト上肢運動時における運動単位の動態解明

研究課題名(英文) Elucidation of motor unit dynamics during human upper limb exercise

研究代表者

赤澤 淳 (Jun, Akazawa)

明治国際医療大学・保健医療学部・講師

研究者番号：10460742

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)：本研究においては、上肢運動時における運動単位の活動動態を解明することを目的として研究を遂行した。得られた成果は次の通りである。(1) 肘を屈曲する運動時において、単一運動単位の活動電位波形のデコンポジションを行うシステムを試作し、重畳波形が出現する場合においても適用可能であることを示した。(2) 運動時に抽出した単一運動単位の活動電位波形からテリトリを推定するシステムを試作し、運動単位のサイズを推定することが可能であることを示した。(3) 活動電位波形のデコンポジション、運動単位のサイズを推定するシステムを上肢運動時に適用して、運動単位の活動動態を解析した。

研究成果の概要(英文)：We studied the dynamics of motor units (MUs) during exercise of upper limbs. The results were as follows. (1) In the case of elbow flexion exercise, a system was constructed to decompose surface motor unit action potentials (SMUAPs). In addition, it was shown that decomposition was possible even when superimposed SMUAP waveforms appeared. (2) A system for estimating the SMUAP territory during elbow flexion exercise was demonstrated and it was shown that it was possible to estimate the size of the MUs. (3) We applied the system to decompose SMUAPs and to estimate the size of MUs during the elbow flexion exercise, and analyzed the MU dynamics.

研究分野：人間医工学

キーワード：マルチチャンネル表面筋電図 上腕二頭筋短頭 運動単位

## 1. 研究開始当初の背景

近年においては健康，スポーツへの関心が高まっている．また，特にアスリートの競技能力を向上させるために運動生理学の知見を取り入れる試みは世界的に行われており，ヒト動作時において大きな役割を担う上腕部について，その神経筋の機能的最小単位である運動単位の詳細を知りたいというニーズは極めて高い．

## 2. 研究の目的

運動単位の活動を記録する方法として筋電図がある．肘を屈曲するような運動時においては，皮膚表面にある表面電極と筋線維群（運動単位）との距離が変化する．このため，運動単位の活動電位波形のデコンポジション（同定）が困難であるとの理由から，表面筋電図を用いて運動時における運動単位の生理学的なメカニズムを解析する研究はほとんど行われていない．我々は肘を屈曲する動作時における運動単位の生理学的なメカニズムを解明するシステムを構築し，運動単位の動態を解明することを目的とする．

## 3. 研究の方法

### (1) 計測システム

計測装置の概要を図 1 (a)に示す．被験者には肘を屈曲する動作に対して負荷が加わった状態において，一定の速度で肘を屈曲するように指示した．マルチチャンネル表面電極は上腕二頭筋短頭を対象として貼付した．筋電図の計測に使用した 8 チャンネル双極誘導のマルチチャンネル表面電極を図 1 (b) に示す．1 本の電極は直径 1mm のステンレス棒であり，電極の中心間の距離

を 2.54mm とした．双極誘導の信号はアンプで増幅した(周波数帯域;10 ~800Hz , ゲイン ; 70dB )．計測した角度信号と，8 チャンネル表面筋電図を A /D 変換(サンプリング周波数 10kHz ) し，計算機に取り込んだ．

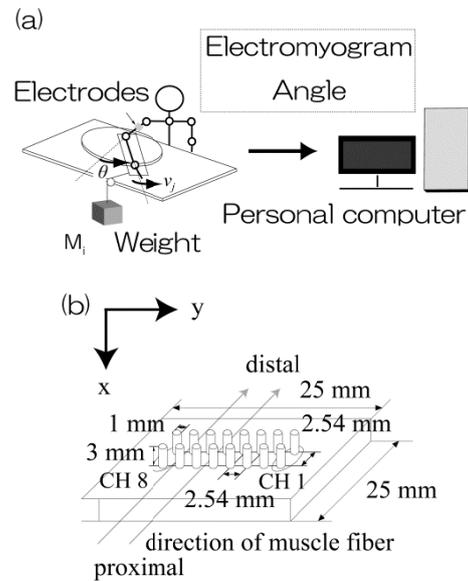


図 1 計測システムの概要

### (2) アルゴリズム

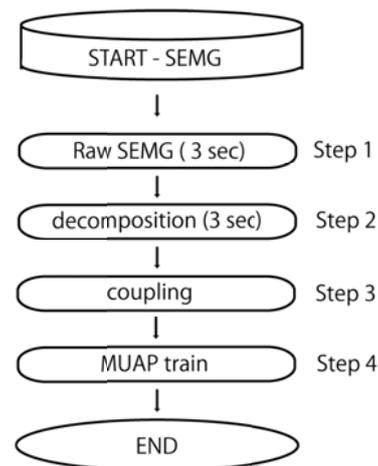


図 2 運動単位の活動電位波形を同定し，MUAP Train を作成するアルゴリズム

計測したマルチチャンネル表面筋電図を解析するアルゴリズムを図2に示す。マルチチャンネル表面筋電図を用いて計測を行う時間は30秒である。運動時においては、皮膚表面とマルチチャンネル表面電極との距離が変化する。このため、活動電位波形の変化が少ない3秒毎に活動電位波形の同定を行い(Step 1~3), 最終的に30秒間のMUAP trainの作成を行う(Step 4)。

### (3) 重畳波形に対応したデコンポジション

マルチチャンネル表面筋電図においては、筋に対する負荷が大きくなるにつれて、単一運動単位の活動電位波形が重なる重畳波形が現れやすくなる。ここでの重畳波形における運動単位の活動電位波形を同定する手法は、2つの単一運動単位の活動電位波形のテンプレートを加算することによりパーソナルコンピュータ上で作成した重畳波形と実際に計測した重畳波形における波形の差を比較する方法を適用した。

### (4) 運動単位のテリトリ推定

マルチチャンネル表面筋電図から運動単位の活動電位波形を抽出し、パーソナルコンピュータにおいて解析を行うことにより、計測した運動単位の活動電位波形のテリトリを推定することが可能である。計測した活動電位波形から運動単位のテリトリを推定する方法を図3に示す。計測した運動単位の活動電位波形(図3(a))から各チャンネルの活動電位波形の最大値および最小値を抽出し(図3(b)), SMUAPプロファイルを作成する(図3(c)は最大値, 図3(d)は最小値のSMUAPプロファイル)。この計測

によるSMUAPプロファイルとシミュレーションにより作成したものとの差を解析することにより、運動単位のテリトリを推定する(図3(e))。

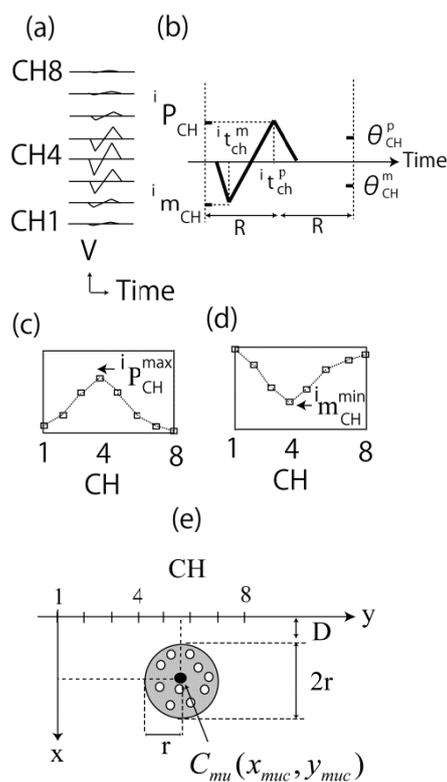


図3 運動単位のテリトリ推定方法

## 4. 研究成果

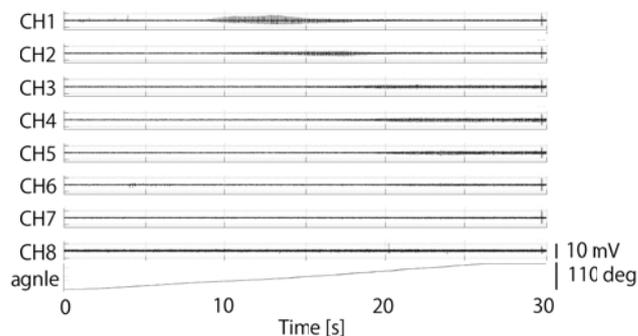


図4 上腕二頭筋短頭のマルチチャンネル表面筋電図と肘の角度。

図4のマルチチャンネル表面筋電図は、表面電極と運動単位との位置が時間の経過とともに変化することを示す。10秒付近に現れた活動電位波形の塊が時間の経過と共にCH1からCH8の方向にシフトしていることが確認できる。

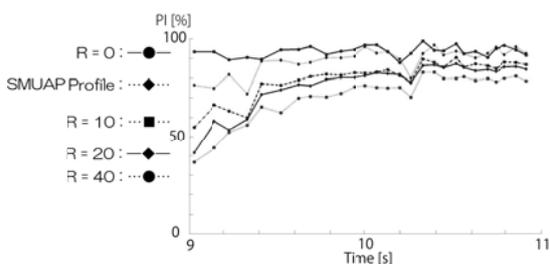


図5 活動電位波形を切り抜く範囲 R と波形の一致度 PI との関係

運動単位の活動電位波形の同定はテンプレートマッチングを用いて行う。図5はテンプレートの長さ R, SMUAP プロファイルを用いたときの波形の一致度 PI [%] との関係を示す。R の値が大きくなるほど、PI の値が小さくなっている。

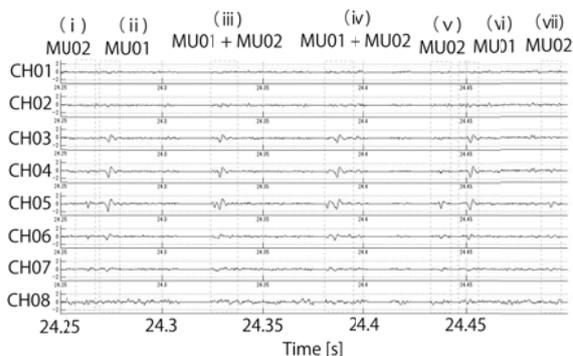


図6 活動電位波形の同定結果

方法で示したアルゴリズムに従い、運動単位の活動電位波形を同定した結果を図6に示す。二つの運動単位(MU1, MU2)について重畳波形 ((iii), (iv)) を含めて、熟練者が目視において確認した結果と同じようにパーソナルコンピュータ上で同定されている。

シミュレーションにより作成した SMUAP プロファイルと比較することにより計測した各運動単位のテリトリを推定した結果を図7に示す。肘を屈曲させる動作に伴い、表面電極と運動単位との位置関係が変化していることが確認できる。ここでの x 軸(II), y 軸(I) は図1に示した座標軸と対応している。

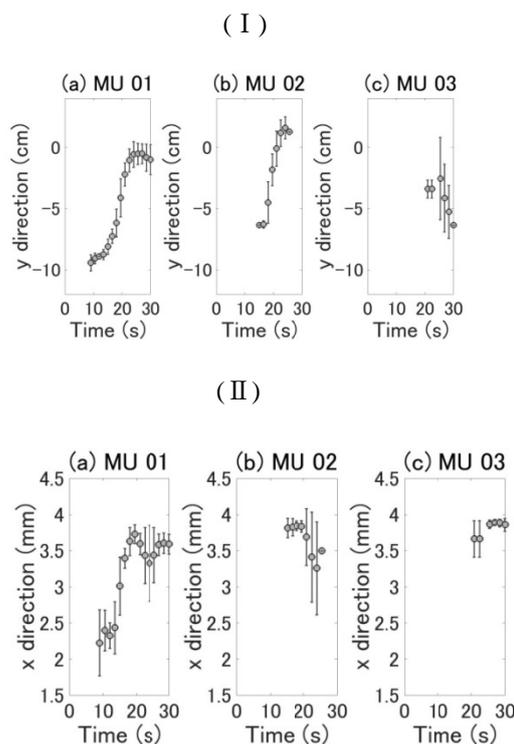


図7 運動単位のテリトリ推定

先に述べたアルゴリズムに従い、肘を0°から約110°まで変化させたときの、上腕二頭筋短頭における3つの単一運動単位の

活動動態を解析した結果である SMUAP トレインを図 8 (a)に示す. 図 8 (a)で活動状態を示された運動単位の活動電位のある特定の時間における活動電位波形の形状を図 8 (b)に示す. 構築したシステムにより, 3つの運動単位がどの角度においてどのような時間間隔で活動しているかを確認することができる.

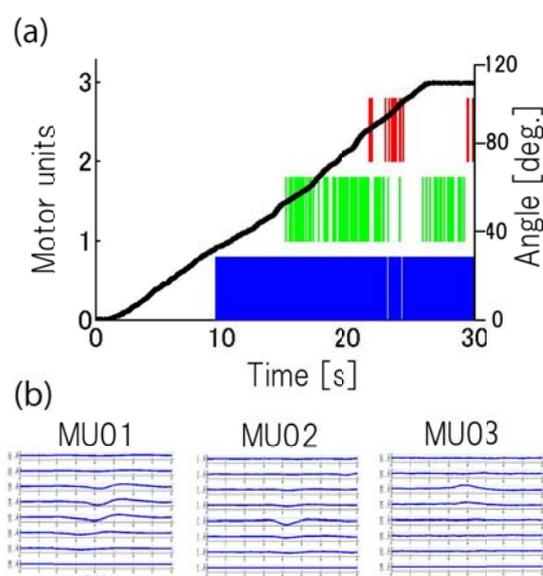


図 8 3つの運動単位の SMUAP トレイン

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者には下線)

### 【書籍】(計 1 件)

J. Akazawa, M. Yoshida, T. Okamoto, K. Taniguchi : Seamless Healthcare Monitoring: Advancements in Wearable, Attachable, and Invisible Devices. Part I Electromyogram, Springer. pp.83-100. 2018.

### 【雑誌】(計 2 件)

① J. Akazawa, R. Okuno, "Investigation of a multichannel surface electromyogram

analysis method considering superimposed waveforms in a elbow flexion movement.", BIOSIGNALS, 査読有, 3, pp.195-200, 2018.

② J. Akazawa, R. Okuno: SMUAP Decomposition Method Considering Estimated Distance from Surface Electrodes to Motor Unit during Voluntary Isovelocity Elbow Flexion, BIOSIGNALS, 査読有, 1, pp.255-257, Lisbon, Portugal, 12 - 15 January, 2015

### 【学会発表】(計 12 件)

① J. Akazawa, R. Okuno: Classification of Surface Motor Unit Action Potentials During Low-Level Dynamic Contractions, IEEE 2016, 査読有, Orlando Florida USA, Paper FrCT1.5, 16-20 August, 2016.

② J. Akazawa, R. Okuno: SMUAP Decomposition based on Sequentially-Modified Template Matching Method during motion, IEEE 2015, 査読有, FrFPoT1.2, 25-29 August, 2015.

③ J. Akazawa, R. Okuno: SMUAP Decomposition Method Considering Territory of MU during Voluntary Isovelocity Elbow Flexion. Technical program of 13th Polish Japanese Seminar on Biomedical Engineering, 査読有, Osaka, Japan, 2 - 5 November, 2014

④ 赤澤淳, 岡本武昌: Kinect を用いたバランスボード上での安定性評価方法の検討, 第 25 回 日本柔道整復接骨医学会学術大会抄録集, 査読無し, 仙台, P.73, 11 月, 2016.

⑤ 赤澤淳, 奥野竜平: 運動単位活動電位

の可視化手法を用いた動作時における  
デコンポジション法の提案, 第 71 回  
日本体力医学会抄録集, 査読無, 岩  
手・盛岡, P.156, O-30-2E-01, 9 月 24  
日, 2016.

- ⑥ 赤澤淳, 岡本武昌: 肘屈曲動作時における運動単位活動電位の重畳波形を考慮した表面筋電図解析法の検討, 第 24 回 日本柔道整復接骨医学会学術大会抄録集, 査読無し, 新潟, P.76, 11 月, 2015.
- ⑦ 橋本龍也, 安井徳孝, 赤澤淳, 池内隆治, 岡本武昌: iPhone の加速度センサーを用いた走動作に関する研究, 第 17 回日本スポーツ整復療法学会大会号, 査読無, 兵庫, P.115, 9 月, 2015.
- ⑧ 赤澤淳, 池内隆治, 岡本武昌: Kinect を用いたリアルタイム生体機能評価システムの構築—バランストレーニングについての検討—, 第 17 回日本スポーツ整復療法学会大会号, 査読無, 兵庫, P.110, 9 月, 2015.
- ⑨ 赤澤淳, 奥野竜平: 肘屈曲動作時における運動単位活動電位波形の形状変化を追跡する逐次型同定法の検討, 第 70 回 日本体力医学会抄録集, 査読無, 和歌山, P.203, O-06-1D-01, 9 月, 2015.
- ⑩ 赤澤淳, 岡本武昌: マルチチャンネル表面筋電図を用いた肘屈曲動作における運動単位動態計測法の検討, 第 23 回日本柔道整復接骨医学会学術大会抄録集, 査読無し, 東京, P.90, 11 月, 2014.
- ⑪ 赤澤淳, 奥野竜平, 岡本武昌: 運動時における運動単位活動電位の形状変化に着目した同定法の提案, 第 16 回日本

スポーツ整復療法学会大会号, 査読無  
し, 東京, P.98, 10 月, 2014.

- ⑫ 赤澤淳, 奥野竜平: マルチチャンネル表面筋電図の類似度に着目した上腕二頭筋屈曲における運動単位動態計測法の検討, 第 69 回 日本体力医学会抄録集, 査読無し, 長崎, P.214, P-1-P-160, 9 月, 2014.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤澤 淳 (AKAZAWA Jun)

明治国際医療大学・保健医療学部・講師

研究者番号: 10460742

### (2) 研究協力者

奥野 竜平 (OKUNO Ryuhei)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号: 90294199