

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750309

研究課題名(和文)高齢者における運動単位の活動特性とトレーニングに対する適応に関する研究

研究課題名(英文) Motor unit activation properties in elderly and its adaptation to exercise training

研究代表者

渡邊 航平 (Watanabe, Kohei)

中京大学・国際教養学部・准教授

研究者番号：20630990

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)：本研究では加齢にともなう筋力低下のメカニズムを探るため、筋肉の動きをコントロールしている「運動単位活動」(運動神経の働き)に着目した研究を行った。これまで、方法の制約から評価が難しかった「運動単位活動」を多チャンネル表面筋電図法という新たな手法を用いることで評価を試みた。その結果、高齢者では若齢者とは顕著に異なる非常に特徴的な運動単位の活動パターンを有すること、最大筋力と運動単位の活動パターンには非常に強い関係性があることが明らかになった。これらのことは、これまで筋力低下の主要な要因として注目されてきた筋肉量の低下に加えて、「運動神経の働き」も重要な要因であることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：We investigated motor unit (motoneuron) activation properties in elderly in order to clarify the mechanisms of age-related muscle strength loss. Our study with new developed method, i.e. multi-channel surface electromyography, showed a characteristic motor unit activation properties in elderly subjects comparing with young subjects. Also, motor unit activation properties were significantly correlated with maximal force in elderly subjects, but not in young subjects. These results suggest that the motor unit activation properties also contribute to age-related muscle strength loss.

研究分野：運動生理学

キーワード：加齢 運動単位 筋電図

### 1. 研究開始当初の背景

加齢にともなう筋力や筋機能の低下は、加齢性筋萎縮および神経筋制御機構の機能低下といった“形態的要因”と“神経的要因”の加齢変化によって引き起こされる。そのため、その発生機序の解明や対抗措置の考案には、これらの両要因から検討する必要がある。形態的要因については詳細なデータが多く発表されているが、神経的要因については明らかにされていない点が多く、定量的な評価手法も確立されていないという現状がある。神経的要因に関する最も詳細な生理学的情報は“運動単位”の活動であり、その“動員”と“発火頻度調節”によって活動が制御されている。しかしながら、これらを分離して定量的に解析することは、従来の表面筋電図法や筋内筋電図法では困難とされてきた。

このような方法論的制約に対して、近年、2次元平面上に配列された複数の表面電極群と特殊な解析算法を併用することによって、運動単位の動員と発火頻度調節を分離して定量的に評価できる手法が開発され、応用され始めている。

### 2. 研究の目的

本研究は、高齢者における神経筋制御機構と運動トレーニングがそれに及ぼす影響を明らかにするため、多チャンネル表面筋電図法という新たな手法を用いて運動単位(運動神経細胞とその支配下にある筋線維群)の活動特性を詳細に調べるものであった。具体的な目的は以下の通りである。

- 1) 高齢者と若齢者の運動単位の活動特性を比較すること
- 2) 運動単位の活動特性の加齢変化における筋群間差を明らかにすること
- 3) 筋力トレーニングが高齢者における運動単位の活動特性に及ぼす影響を明らかにすること

### 3. 研究の方法

研究課題 1: 運動単位の活動特性は高齢者と若齢者で何が異なるか?

(実験 1) 若齢者 14 名および高齢者 15 名を被験者とした。外側広筋を対象として 64 個の表面電極が 2 次元平面上に配列された電極群を用いて多チャンネル表面筋電図を記録した。等尺性収縮での膝関節伸展運動において最大随意筋力発揮(MVC)および最大下筋力での運動課題を行わせた。

得られた筋電図信号から個々の運動単位の活動電位を検出し、運動単位の発火頻度と動員閾値を算出し、動員閾値ごとの運動単位の発火頻度を若齢者と高齢者で比較した。また、最大筋力と発火頻度との関係も評価した。

研究課題 2: 運動単位の活動特性の加齢変化は筋群間で違いがあるか?

(実験 2) 加齢にともなう運動単位の活動特性の変化について筋群間差を明らかにするため、上肢と下肢の筋群間(上腕二頭筋と外側広筋)での運動単位の解析を実施し、比較した。研究課題 1 と同様の被験者を対象とし、外と上腕二頭筋において、研究課題 1 と同様に運動単位の活動特性を定量的に評価し、筋間で加齢変化を比較した。

研究課題 3: 運動介入が運動単位の活動特性に与える影響は高齢者と若齢者で異なるか? 筋力トレーニングが高齢者における運動単位の活動特性に及ぼす影響について調べるため、トレーニング介入を行い、高齢者と若齢者での比較を行う予定であったが、被験者の都合で以下のような 2 つの実験を行うこととなった。

(実験 3-1) 被験者は若齢者 10 名であり、6 週間の筋力トレーニングを上腕二頭筋(アームカール、70%1RM、10 回×3 セット、週 3 回)に対して実施し、8 週間の脱トレーニング期間も設けた。トレーニング開始 2 週間前、トレーニング開始時、トレーニング開始 2 週間後、トレーニング開始 4 週間後、トレーニン

グ開始 6 週間後、トレーニング終了 4 週間後、トレーニング終了 8 週間後、にそれぞれ最大筋力、最大下筋力発揮時の多チャンネル表面筋電図、筋厚を計測した。なお、被験者は片腕のみをトレーニングし、非トレーニング側と比較した。

(実験 3-2) 被験者は高齢者 50 名であり、被験者はトレーニング群とコントロール群に分けられた。トレーニング群は 6 週間の筋力トレーニングを下肢筋群(レッグプレス、70%1RM、10 回×3 セット、週 2 回)に対して実施した。トレーニング開始 2 週間前、トレーニング開始時、トレーニング開始 2 週間後、トレーニング開始 4 週間後、トレーニング開始 6 週間後、にそれぞれ最大筋力、最大下筋力発揮時の多チャンネル表面筋電図、筋厚を計測した。

#### 4. 研究成果

(実験 1) 図 1 左は若齢者 1 名の運動単位活動の解析結果であり、横軸に力の大きさ、縦軸には 1 つ 1 つの運動単位の発火頻度(興奮性)を示している。発揮する力を大きくするのに伴って活動を始める運動単位の数が増えるとともに、1 つ 1 つの運動単位の発火頻度も増加する様子が観察できる。ここでは活動が始まった筋力の大きさによって運動単位を 3 つに色分けして示しており、小さい筋力で活動が始まった運動単位(赤色もしくは青色)は、大きい筋力で活動が始まった運動単位(青色もしくは緑色)と比べて、高い発火頻度であることがわかる。一方、図 1 右に示した高齢者 1 名のデータでは、発揮する力を大きくするのに伴って活動を始める運動単位の数が増え、1 つ 1 つの運動単位の発火頻度が増加する点で若齢者と同じ様なパターンが観察されるが、発火頻度の増加が小さく、異なる筋力で活動が始まった運動単位の間において若齢者のような発火頻度の違いはなかった。

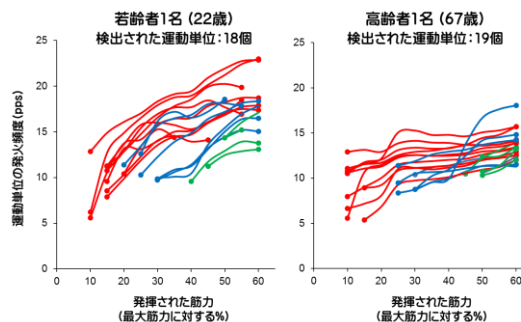


図 1

図 2 には被験者全員の平均データを示しているが、図 1 に示した 1 名分の典型例と同様に高齢者では発火頻度が低く、異なる筋力で活動が始まった運動単位の発火頻度に差異がない、といった特徴が見出された。

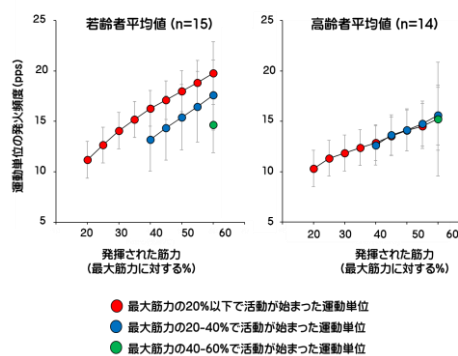


図 2

図 3 には運動単位の発火頻度と最大随意筋力(その人が最大で発揮できる 100%の力の大きさ)との関係を示している。運動単位の発火頻度は最大筋力の 20%以下で活動が始まった運動単位の最大筋力の 60%におけるものであり、この研究内で最も発火頻度が上がった時点となる。このデータでは、高齢者において最大随意筋力が大きい人ほど運動単位の発火頻度が高いという強い関係性が見られたが、若齢者ではそのような関係性は観察されなかった。このことは、加齢にともなう筋力低下の規定因子として、運動単位の発火頻度といった神経的要因が強く関与している可能性を示している。以上の結果から、高齢者では特徴的な運動単位の発火パターンを有すること、最大随意筋力と運動単位発火頻度には非常に強い関係性があることが明らかになった。なお、本研究の成果は

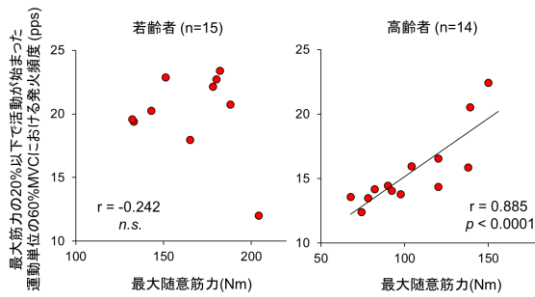


図 3

American Aging Association の official journal である AGE に原著論文として掲載された (Watanabe et al. 2016, AGE: 38, 48)。(実験 2) 外側広筋と同様に上腕二頭筋から得られた多チャンネル表面筋電図データを解析にかけた結果、ほとんど運動単位を検出することが出来なかった。これは外側広筋と上腕二頭筋では筋の構造が同様ではないことなどが理由として挙げられ、我々が用いている多チャンネル表面筋電図法による運動単位の解析には対象とする筋が制約されるという方法論的限界が存在していることが明らかとなった。

(実験 3-1) トレーニング側は、トレーニング期間にともなって最大筋力が増大した。それにとまって最大筋力発揮中の筋電図の振幅値も増大した(図 4)。一方、多チャンネル表面筋電図のパターン変化を評価するために算出された相関係数はトレーニング期間中に変化しなかった(図 5)。これらのデータから筋力トレーニングでは運動単位の動員パターンに大きな変化はなく、発火頻度などが主に適応することを示唆している。なお、本研究の成果は European Journal of Applied Physiology に原著論文として掲載された (Watanabe et al. 2014 Eur J Appl Physiol: 115, 1801-1807)。

(実験 3-2) トレーニング群およびコントロール群ともに被験者全員が実験日程を無事に終了したが、被験者募集の関係で試験開始が計画より遅れたため、本研究課題の期間内でデータ解析および公表が完了しなかった。

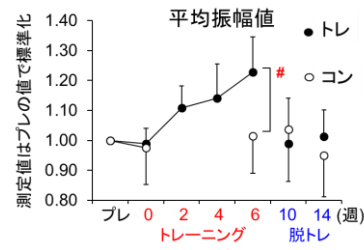


図 4

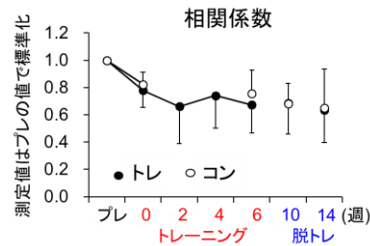


図 5

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- 1) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Effect of aging on region-specific functional role and muscle geometry along human rectus femoris muscle. Muscle and Nerve in press (査読有)
- 2) Ando R, Tomita A, Watanabe K, Akima H: Knee joint angle and vasti muscle electromyograms during fatiguing contraction. Clinical Physiology and Functional Imaging (in press) (査読有)
- 3) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Effect of aging on regional neuromuscular regulation within human rectus femoris muscle during stair ascent and descent. Gait and Posture 52:26-32, 2017 (査読有)
- 4) 西川祐一, 渡邊航平ら: パーキンソン病患者における等尺性筋収縮時の空間的な筋活動分布パターンの特徴. 理学療法科学 32(2): 329-333, 2017 (査読有)
- 5) Nishikawa Y, Watanabe K, Takahashi T, Hosomi N, Orita N, Mikami Y, Maruyama H, Kimura H, Mastumoto M: Sex differences in variance of multi-channel surface

- electromyography distribution of the vastus lateralis muscle during isometric knee extension in young adults. *European Journal of Applied Physiology* 117(3): 583-589, 2017 (査読有)
- 6) Watanabe K, Holobar A, Kouzaki M, Ogawa M, Akima H, Moritani T. Age-related changes in motor unit firing pattern of vastus lateralis muscle during low-moderate contraction. *AGE* 38:48, 2016 (査読有)
- 7) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Regional neuromuscular regulation within human rectus femoris muscle during gait in young and elderly men. *Journal of Biomechanics* 49(1): 19-25, 2016 (査読有)
- 8) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Effect of electrode location on task-dependent electromyographic responses within the human biceps femoris muscle. *Journal of Applied Biomechanics* 32(1): 97-100, 2016 (査読有)
- 9) Ando R, Nosaka K, Inami T, Tomita A, Watanabe K, Blazeovich AJ, Akima H: Difference in fascicle behaviors between superficial and deep quadriceps muscles during isometric contraction. *Muscle Nerve* 53: 797-802, 2016 (査読有)
- 10) Watanabe K, Sato T, Mukaimoto T, Takashima W, Yamagishi M, Nishiyama T. Electromyographic analysis of thigh muscles during track cycling on a velodrome. *Journal of Sports Sciences* 16: 1-10, 2015 (査読有)
- 11) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Spatial EMG potential distribution of biceps brachii muscle during resistance training and detraining. *European Journal of Applied Physiology* 115 (12): 2661-2670, 2015 (査読有)
- 12) Watanabe K, Kouzaki M, Ando R, Akima H, Moritani T. Non-uniform recruitment along human rectus femoris muscle during transcutaneous electrical nerve stimulation. *European Journal of Applied Physiology* 115(10): 2159-2165, 2015 (査読有)
- 13) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Heterogeneous neural activation within human rectus femoris muscle during pedaling. *Muscle & Nerve* 52 (3), 404-411, 2015 (査読有)
- 14) Tomita A, Ando R, Saito A, Watanabe K, Akima H: Effect of interelectrode distance on surface electromyographic signals of vastus intermedius muscle in men and women. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25: 841-6, 2015 (査読有)
- 15) Saito A, Watanabe K, Akima H: Coordination among thigh muscles including the vastus intermedius and adductor magnus at different cycling intensities. *Human Movement Science* 40: 14-23, 2015 (査読有)
- 16) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Regional neuromuscular regulation within human rectus femoris muscle during gait. *Journal of Biomechanics* 47(14), 3502-3508, 2014 (査読有)
- 17) Watanabe K, Taniguchi Y, Moritani T. Metabolic and cardiovascular responses during voluntary pedaling exercise with electrical muscle stimulation. *European Journal of Applied Physiology* 114 (9), 1801-1807, 2014 (査読有)
- 18) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Non-uniform surface EMG responses to change in joint angle within rectus femoris muscle. *Muscle & Nerve* 50 (5): 794-802, 2014 (査読有)

19) Miyamoto T, Fukuda K, Watanabe K, Hidaka M, Moritani T: Gender difference in metabolic responses to surface electrical muscle stimulation in type 2 diabetes. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25(1): 136-142, 2014 (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

1) 渡邊航平, Ales Holobar, 神崎素樹, 小川まどか, 秋間広, 森谷敏夫: 高齢者と若齢者では運動単位の発火パターンが顕著に異なる. 第 71 回日本体力医学会大会, 2016 年 9 月 24 日, 岩手県民情報交流センターほか, 岩手県盛岡市

2) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T: Region-specific neuromuscular activation within rectus femoris muscle and lower extremity kinematic characteristics in elderly during gait. 第 24 回日本バイオメカニクス学会(国際セッション)・奨励賞, 2016 年 9 月 9 日, 立命館大学, 滋賀県南草津市

3) 渡邊航平: 加齢が階段昇降中における大腿直筋の活動部位差に及ぼす影響. 日本体育学会第 67 回大会, 2016 年 8 月 25 日, 大阪体育大学, 大阪府泉南郡

4) 渡邊航平, 神崎素樹, 森谷敏夫: 加齢が歩行時における大腿直筋の部位依存的な活動制御パターンに及ぼす影響. 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ほか, 和歌山県和歌山市

5) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T: Spatial distribution pattern of surface electromyography within human rectus femoris muscle on overground vs. treadmill walking. 25th Congress of the International Society of Biomechanics, 2015 年 7 月 14 日, Glasgow, Scotland

6) 渡邊航平, 神崎素樹, 森谷敏夫: 筋力トレーニングおよび脱トレーニングが単一筋

内活動分布に及ぼす影響. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014 年 9 月 20 日, 長崎大学, 長崎県長崎市

7) 渡邊航平, 佐藤孝之, 向本敬洋, 高嶋渉, 山岸道央, 西山哲成: ヴェロドローム走行中における自転車競技者の大腿部筋群活動パターン. 第 23 回日本バイオメカニクス学会大会, 2014 年 9 月 13 日, 国立スポーツ科学センター, 東京都赤羽市

8) 渡邊航平: ヒト大腿直筋における運動単位動員閾値の部位差. 日本体育学会第 65 回大会, 2014 年 8 月 27 日, 岩手大学, 岩手県盛岡市

9) Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T: Non-uniform SEMG distribution in human rectus femoris muscle during walking with various speed and grades. 20th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 2014 年 7 月 16 日, Rome, Italy

[図書] (計 2 件)

1) 渡邊航平: 生活支援ロボットに向けた材料・センサ・デバイス・アクチュエータ・バッテリー技術「筋電図処理」, 生活支援ロボット技術(寺嶋一彦監修), 609 頁, 情報機構, 2015

2) 渡邊航平: 運動と末梢神経「筋電図」(分担執筆), ニュー運動生理学 I (宮村実晴 編), 376 頁, 真興交易(株)医書出版部, 2014

[その他]

ホームページ等

<http://kwatanabe.net/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 航平 (Kohei Watanabe)

中京大学・国際教養学部・准教授

研究者番号: 20630990