

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：34522

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11454

研究課題名（和文）力発揮調整に伴う脊髄運動ニューロンの興奮性動態の解明

研究課題名（英文）The excitability of the spinal motor neurons by the coordinated exertion of force

研究代表者

関 和俊（SEKI, Kazutoshi）

流通科学大学・人間社会学部・教授

研究者番号：30552210

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、運動習慣の有無、加齢差、利き手・非利き手の違いが力発揮調整能に関わる脊髄運動ニューロンの興奮性について明らかにした。運動課題は等尺性の筋力維持、漸増・漸減時の筋力増減とし、各20秒間の掌握運動を行わせた。安静レベルから加齢の影響を受け、高齢者の脊髄運動ニューロンの興奮性は若年者に比して有意に高値を示した。また、各々運動習慣、加齢や利き手・非利き手の影響は、掌握運動の運動強度に依存して、差異が生じることが示唆された。以上のことから、力発揮調整に伴う脊髄運動ニューロンの興奮性動態には個人間（運動習慣の有無、加齢）・個人内（利き手・非利き手）の差が影響することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者は運動習慣の影響は関係なく、若年者と比べて安静時から運動神経の興奮が高い状態であった。力発揮の調整能力およびそれらを制御する運動神経の働きは、運動習慣の有無、加齢の影響のみならず利き手・非利き手による差が観察された。また、高齢者は、力発揮後20秒間は運動神経の興奮状態の残存傾向を示した。以上のことから、力発揮調整に関わる運動神経の制御システムには、個人間・個人内差があることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify that the excitability of the spinal motor neurons associated with force adjustment based on 1) exercise habits, 2) aging, 3) dominant and non-dominant hands. The exercise tasks consisted of 1) an isometric muscle strength maintenance task, and 2) a gradual muscle strength increase/decrease task, and participants were asked to perform 20-second grip exercises. The effects of aging were seen from the resting level, and the excitability of the spinal motor neurons of the elderly group showed significantly higher values than the young. It was suggested that its depend on the exercise intensity of the grip exercise with 1) exercise habits, 2) aging, 3) dominant and non-dominant hands each cause differences. These results suggested that the excitability of the spinal motor neurons by the coordinated exertion of force are affected by inter-individual (exercise habits, aging) and intra-individual (dominant and non-dominant hands) differences.

研究分野：運動生理学

キーワード：力発揮調整能 脊髄 運動ニューロン F波 加齢 運動習慣 利き手・非利き手

1. 研究開始当初の背景

力発揮調整能は、ヒトの運動パフォーマンスに密接に関わるにもかかわらず、いまだ解明されていない部分があり、さらに運動習慣の有無および加齢差による神経-筋系の亢進度合いについての報告も見当たらない。

そこで、我々は、科学研究費補助金(若手研究B:H29~H31年度)を受け、「力発揮調整能は脊髄運動ニューロンの興奮性変化と連動する」について、**掌握運動における力発揮調整能および脊髄運動ニューロンの興奮性**の指標である誘発筋電図F波(F波出現率)から検討を行った。それらの結果から、力発揮調整能および脊髄運動ニューロンの興奮性は、筋力維持課題や漸増・漸減時における筋力増減課題において、各々運動習慣や加齢の影響が観察された。さらに、脊髄運動ニューロンの興奮性は、力発揮中のみではなく、力発揮直後においても運動習慣の有無(運動習慣有者よりも運動習慣無者)、加齢(若年者よりも高齢者)の影響を受け、興奮性が高いままであった。しかしながら、力発揮後の時間経過における様相は不明であり、更なる検討の必要性が生じた。さらに、利き手・非利き手には運動制御機能に差が生じることから、個人内における様相を明らかにする意義も唱えられた。

以上のことから、個人間(運動習慣の有無、加齢)・個人内差(利き手・非利き手)から力発揮加減の調整能を脊髄運動ニューロンの興奮性から総合的に把握し、運動前・中・後の時間経過に伴う神経-筋系の亢進度合いの特徴を把握することができると考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

個人間・個人内差から力発揮加減の調整能を『脊髄運動ニューロンの興奮性』から総合的に把握し、運動前・中・後の時間経過に伴う神経-筋系の亢進度合いを解明し、運動習慣の有無、加齢、利き手・非利き手における各特長を把握することを目的とした。

3. 研究の方法

研究目的達成のために、2つの実験を設定した。

(1) 研究課題1: 『筋力維持課題が力発揮調節能と誘発筋電図F波に及ぼす影響

- 運動習慣の有無、加齢差および利き手・非利き手からの検討 -

実験対象者は健康な若年男性19名(運動習慣を有する者9名(年齢 20 ± 1 歳)、無い者10名(年齢 19 ± 1 歳))、健康な高齢者男性19名(運動習慣を有する者9名(年齢 75 ± 4 歳)、無い者10名(年齢 75 ± 5 歳))とした。運動習慣を有する若年男性は大学硬式野球部に所属する者、高齢男性は週2回以上バドミントンまたはテニス実施者であった。ここでは、習慣的に上肢運動を実施している者を運動習慣有者と定義した。また、運動習慣がない若年男性および高齢男性はウォーキング程度の実施者であった。

運動課題は20秒間の**掌握運動**とし、**掌握運動条件**はコントロール(安静・握力計を持つのみ)・低強度(20%MVC(最大随意収縮: maximal voluntary contraction))・中強度(40%MVC)・高強度(60%MVC)の4条件をランダムに測定した。また、各掌握運動後、力発揮後の時間経過における様相を明らかにするために120秒間の回復を測定した。

測定項目は、力発揮調整能およびF波出現頻度(脊髄の興奮性の指標)とした。力発揮調整能の評価は、各目標筋力値と筋力発揮値の相対誤差とした。F波の刺激部位は正中神経(手根部)とし、被験筋は短母指外転筋(非掌握運動側)とした。F波出現頻度は安静、掌握運動、回復(120秒を各20秒間で評価)の各20秒間に得られた20波形のうちF波と判別可能な波形を対象とし、その割合を求めた。利き手側・非利き手側の順番については、それぞれ対象者毎にランダムに実施し、各側の掌握運動4条件終了後に十分な休息を与えた後に、同日に、もう片方を同様の方法にて実験を実施した。

(2) 研究課題2: 『漸増・漸減負荷課題が力発揮調節能と誘発筋電図F波に及ぼす影響

- 運動習慣の有無、加齢差および利き手・非利き手からの検討 -

実験対象者は健康な若年男性19名(運動習慣を有する者9名(年齢 20 ± 1 歳)、無い者10名(年齢 19 ± 1 歳))、健康な高齢者男性17名(運動習慣を有する者9名(年齢 75 ± 4 歳)、無い者8名(年齢 75 ± 5 歳))とした。運動習慣の有無については研究課題1と同様であった。

測定項目、刺激部位、被験筋、F波出現頻度の評価および利き手側・非利き手側の順番は研究課題1と同様とした。

運動課題は、目標とする%MVCまで20秒間で達する様に徐々に力を入れ、目標筋力達成後20秒間で力を抜く**掌握運動**とした。各掌握運動後、120秒間の回復を測定した。測定条件はコントロール(安静・握力計を持つのみ)・低強度(20%MVC)・中強度(40%MVC)・高強度(60%MVC)の

4 条件をランダムに測定した。力発揮調整能の評価は、目標とする%MVC 用の三角波に合わせて力の増減を行い、その三角波に対する実際の評価の筋張力の相対誤差から評価を行った。

4. 研究成果

(1) 研究課題 1: 『筋力維持課題が力発揮調節能と誘発筋電図 F 波に及ぼす影響

- 運動習慣の有無、加齢差および 利き手・非利き手からの検討 -

力発揮調整能は、各運動条件(低強度:20%MVC、中強度:40%MVC、高強度:60%MVC)において、加齢差や利き手側・非利き手側の違いは観察されなかった。若年者のみ、運動習慣有者が無者よりも低・中強度の力発揮調整能力が有意に優れていた($P<0.05$)。

図 1 に筋力維持課題時における F 波出現頻度の結果を示した。脊髄運動ニューロンの興奮性指標である F 波出現頻度は、運動課題前の安静レベルから加齢の影響を受け、運動習慣の有無および利き手側と非利き手側の違いは関係がなく、高齢者は若年者に比して有意に高値を示した($P<0.05$: 若年 運動習慣有 利き手側 $29.4 \pm 16.4\%$ 、非利き手側 $29.2 \pm 16.9\%$ 、運動習慣無 利き手側 $35.0 \pm 15.2\%$ 、非利き手側 $29.6 \pm 14.2\%$ 、高齢 運動習慣有 利き手側 $50.8 \pm 22.9\%$ 、非利き手側 $45.6 \pm 22.6\%$ 、運動習慣無 利き手側 $59.4 \pm 20.6\%$ 、非利き手側 $50.8 \pm 24.1\%$)。

運動課題中では、若年者は把握運動なし(コントロール)および低強度条件では、運動習慣の有無、利き手側と非利き手側の違いにおける群間差は観察されなかった。一方、中・高強度条件では、運動習慣有群の非利き手側のみ、運動習慣無群の利き手側・非利き手側において、掌握運動中の F 波出現頻度が有意に増加した($P<0.05$: 安静 vs. 掌握運動中)。回復期においては、掌握運動直後に安静レベルに戻った。

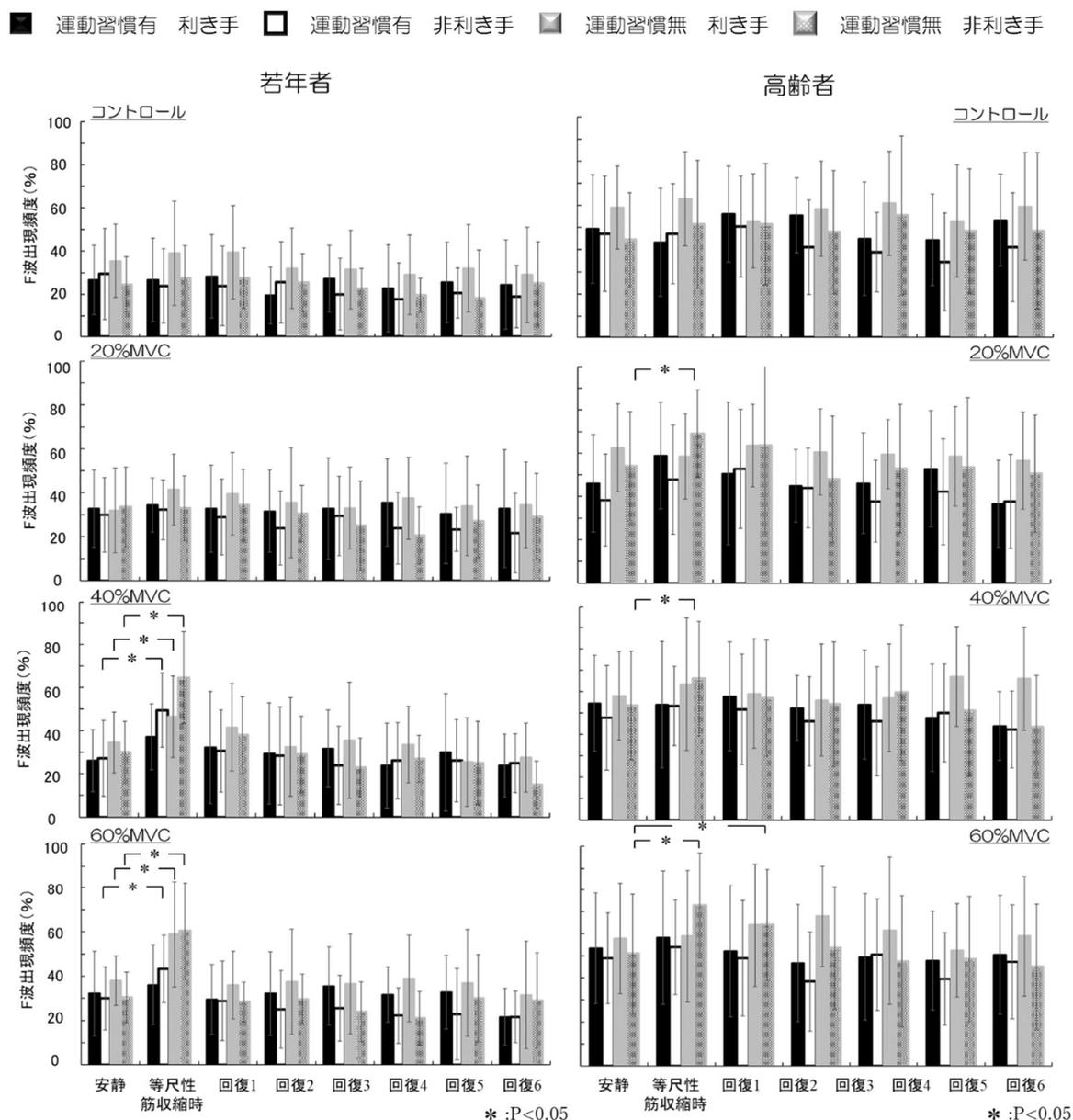


図 1. 筋力維持実験における F 波出現頻度 -安静、等尺性筋収縮時、回復 (120 秒間)、-

高齢者は、安静レベルから F 波出現頻度が高いため、運動習慣有群の利き手側・非利き手側ともに運動強度の影響は観察されなかった。一方で、運動習慣無群の非利き手側のみ掌握運動の影響を受け、F 波出現頻度が有意に増加した ($P < 0.05$: 安静 vs. 掌握運動中)。また、運動習慣無群においてのみ、掌握運動直後 20 秒間は高値を示したままで、それ以降に脊髄運動ニューロンの興奮性は安静レベルまで戻った。

以上の結果から、安静レベルから脊髄運動ニューロンの興奮性には生理的加齢の影響があること、筋力維持課題時の掌握運動において、加齢差、運動習慣の有無、利き手と非利き手の違いがそれぞれ観察された。

(2) 研究課題 2: 『漸増・漸減負荷課題が力発揮調節能と誘発筋電図 F 波に及ぼす影響

- 運動習慣の有無、加齢差および利き手・非利き手からの検討 -』

力発揮調整能は、漸増時の低強度条件において、運動習慣有・若年者の利き手側および非利き手側と比べて、運動習慣有・高齢者は有意に調整力が劣っていた ($P < 0.05$)。その他は統計学的な差は観察されなかった。漸減時は、低強度条件において、運動習慣有・若年者の利き手側および非利き手側と比べて、運動習慣有・高齢者は有意に調整力が劣っていた ($P < 0.05$)。中強度および高強度条件は、低強度条件と同様に、運動習慣有・若年者の利き手側および非利き手側と比べて、運動習慣有・高齢者は有意に調整力が劣っていた ($P < 0.05$) が、運動習慣無においても、若年者と比べて高齢者は有意に調整力が劣っていた ($P < 0.05$)。

図 2 に漸増漸減負荷実験における F 波出現頻度の結果を示した。F 波出現頻度は、研究課題 1 と同様に、運動課題前の安静レベルから生理的加齢の影響を受け、運動習慣の有無および利き手

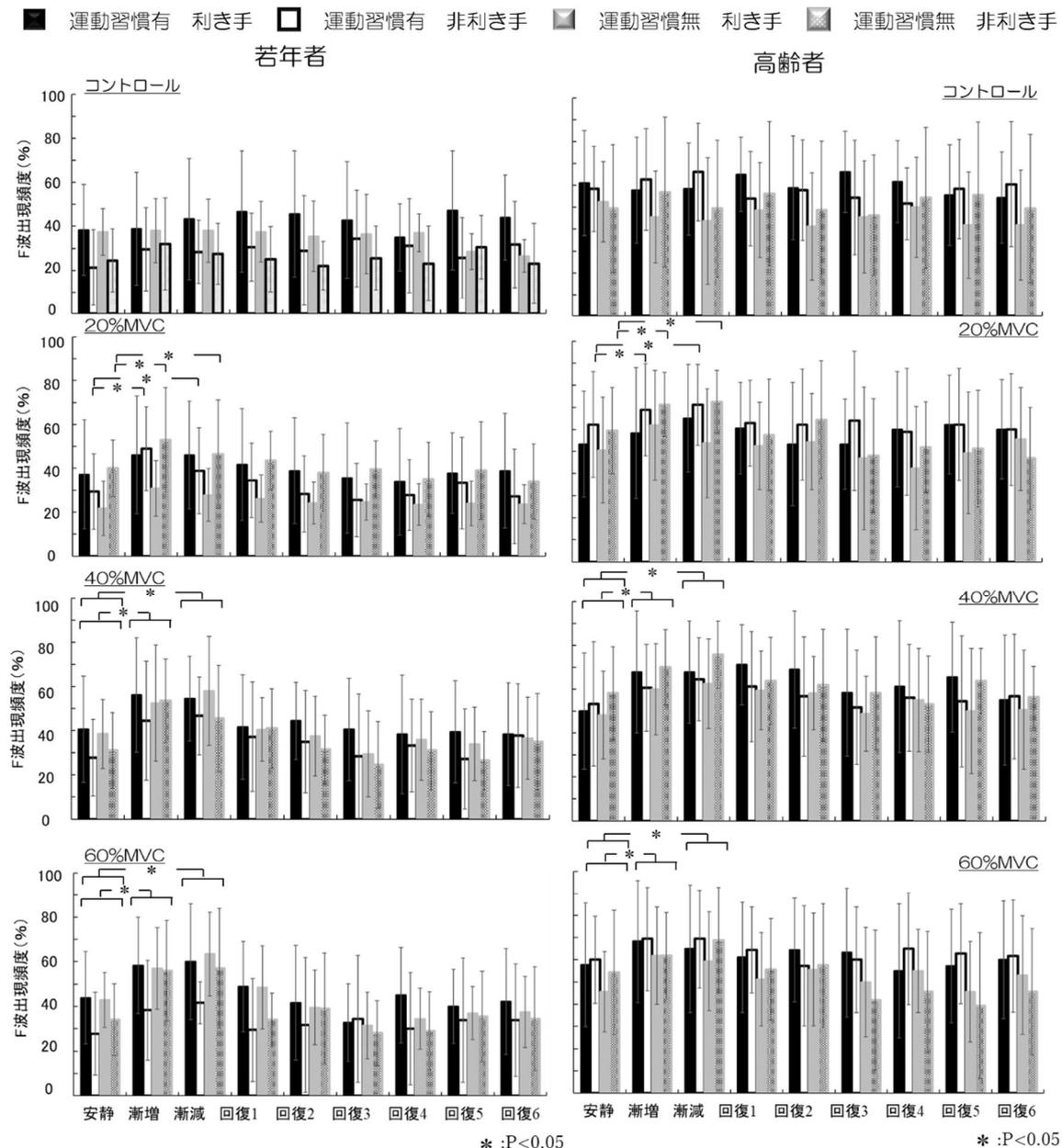


図 2. 漸増漸減負荷実験における F 波出現頻度 -安静、漸増時、漸減時、回復 (120 秒間) -

と非利き手の違いは関係がなく、高齢者は若年者に比して有意に高値を示した ($P < 0.05$: 若年 運動習慣有 利き手側 $40.0 \pm 21.8\%$ 、非利き手側 $26.5 \pm 17.1\%$ 、運動習慣無 利き手側 $40.4 \pm 14.4\%$ 、非利き手側 $32.4 \pm 15.7\%$ 、高齢 運動習慣有 利き手側 $55.6 \pm 24.9\%$ 、非利き手側 $58.5 \pm 22.4\%$ 、運動習慣無 利き手側 $49.2 \pm 19.4\%$ 、非利き手側 $55.3 \pm 23.9\%$)。

運動課題中では、若年者および高齢者ともに、運動習慣の有無に関係なく、非利き手側は低強度条件から、利き手側は中強度条件から、漸増・漸減ともに安静レベルより有意に高値を示した ($P < 0.05$)。しかしながら、運動習慣の有無、利き手側と非利き手側の違いにおける群間差は観察されなかった。また、掌握運動後のF波出現頻度はすべて安静レベルに戻った。

以上の結果から、研究課題1と同様に、安静レベルから脊髄運動ニューロンの興奮性には生理的加齢の影響があること、漸増・漸減負荷課題の掌握運動において、加齢差、運動習慣の有無、利き手と非利き手の違いがそれぞれ観察された。

表1に、本研究から得られた成果を示した。運動習慣の有無、加齢、利き手・非利き手の影響から、「力の発揮加減の調整能」に関わる脊髄運動ニューロンの興奮性の適応は、等尺性筋力維持課題、漸増・漸減時における筋力増減課題において、各々運動習慣、加齢や利き手・非利き手の影響は、掌握運動の運動強度に依存して、脊髄運動ニューロンの興奮性に差異が生じることが示唆された。以上のことから、力発揮調整に伴う脊髄運動ニューロンの興奮性動態には個人間(運動習慣の有無、加齢)・個人内差(利き手・非利き手)が影響することが示唆された。

表1. 本研究成果の一覧表

運動習慣の有無と利き手・非利き手からの検討

(若年者と高齢者は運動習慣の有無に関係なく、安静時から生理的加齢の影響があるため、加齢差の検討は除外)

研究課題1:筋力維持実験(20秒間等尺性筋収縮)

運動習慣の有無からの検討	若年者		高齢者	
	運動習慣有 利き手 vs. 非利き手	運動習慣無 利き手 vs. 非利き手	運動習慣有 利き手 vs. 非利き手	運動習慣無 利き手 vs. 非利き手
力発揮調整能	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.
脊髄α運動ニューロンの興奮性	低 < 高 非利き手側が高値 (40%60%MVC)	低 < 高 非利き手側が高値 (40%MVC)	群間差 なし.	低 < 高 非利き手側が高値 (20%40% 60%MVC) 掌握運動後 20秒間は高値
利き手・非利き手からの検討	若年者		高齢者	
	利き手 運動習慣有 vs. 無	非利き手 運動習慣有 vs. 無	利き手 運動習慣有 vs. 無	非利き手 運動習慣有 vs. 無
力発揮調整能	優 > 劣 運動習慣有群が 力発揮調整能が高い	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.
脊髄α運動ニューロンの興奮性	低 < 高 運動習慣無群が高値 (40%60%MVC)	低 < 高 運動習慣無群が高値 (40%60%MVC)	群間差 なし.	低 < 高 運動習慣無群が高値 (20%40% 60%MVC) 掌握運動後 20秒間は高値

研究課題2:漸増漸減負荷実験(各20秒間漸増・漸減)

運動習慣の有無からの検討	若年者		高齢者	
	運動習慣有 利き手 vs. 非利き手	運動習慣無 利き手 vs. 非利き手	運動習慣有 利き手 vs. 非利き手	運動習慣無 利き手 vs. 非利き手
力発揮調整能	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.
脊髄α運動ニューロンの興奮性	群間差 なし 利き手・非利き手ともに 運動強度に依存し、高値 (非利き側は低強度から高値)	群間差 なし 利き手・非利き手ともに 運動強度に依存し、高値 (非利き側は低強度から高値)	群間差 なし 利き手・非利き手ともに 運動強度に依存し、高値	群間差 なし 利き手・非利き手ともに 運動強度に依存し、高値
利き手・非利き手からの検討	若年者		高齢者	
	利き手 運動習慣有 vs. 無	非利き手 運動習慣有 vs. 無	利き手 運動習慣有 vs. 無	非利き手 運動習慣有 vs. 無
力発揮調整能	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.	群間差 なし.
脊髄α運動ニューロンの興奮性	群間差 なし 運動習慣有・無ともに 運動強度に依存し、高値	群間差 なし 運動習慣有・無ともに 運動強度に依存し、高値	群間差 なし 運動習慣有・無ともに 運動強度に依存し、高値	群間差 なし 運動習慣有・無ともに 運動強度に依存し、高値

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takahara Terumasa, Yamaguchi Hidetaka, Seki Kazutoshi, Onodera Sho	4. 巻 17
2. 論文標題 Modulation of subjective peripheral sensation, F-waves, and somatosensory evoked potentials in response to unilateral pinch task measured on the contractile and non-contractile sides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0261393
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0261393	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 Takahara Terumasa, Yamaguchi Hidetaka, Seki Kazutoshi, Onodera Sho	4. 巻 21
2. 論文標題 Sensory gating and suppression of subjective peripheral sensations during voluntary muscle contraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BMC Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12868-020-00592-2	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 該当する

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 利き手と非利き手の違いが等尺性維持課題時における誘発筋電図F波に及ぼす影響
3. 学会等名 第31回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高原 皓全、山口 英峰、関 和俊、小野寺 昇
2. 発表標題 男女における随意運動時の主観的末梢感覚変化
3. 学会等名 第91回日本体力医学会中国・四国地方会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 運動習慣の有無と利き手と非利き手の違いが等尺性維持課題時における力発揮調整能および誘発筋電図F波に及ぼす影響
3. 学会等名 第38回日本体力医学会近畿地方会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 加齢差と運動習慣の有無が等尺性維持課題時における誘発筋電図F波に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島 秀武、関 和俊、内田 敬治、水口 寛彦
2. 発表標題 中高齢者の両手指タッピング運動による手指巧緻性の評価
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高原 皓全、山口 英峰、関 和俊、小野寺 昇
2. 発表標題 片側上肢筋力発揮が同側および対側上肢の主観的末梢感覚および体性感覚誘発電位に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 運動習慣の有無が等尺性維持課題における誘発筋電図F波の変化
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口 英峰、西村 一樹、高原 皓全、國佐 菜、玉里 祐太郎、関 和俊、小野寺 昇
2. 発表標題 体温の日内変動と筋力の運動性について
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高原 皓全、関 和俊、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 片側上肢筋力発揮が同側および対側上肢の主観的末梢感覚と脊髄 運動ニューロンの興奮性に及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 加齢差に伴う力発揮増減課題が誘発筋電図F波に及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 運動習慣の有無に伴う力発揮増減課題が力発揮調整能及び誘発筋電図F波に及ぼす影響
3. 学会等名 第35回日本体力医学会近畿地方会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関 和俊、高原 皓全、山口 英峰、小野寺 昇
2. 発表標題 加齢差と運動習慣の有無における握力の力発揮切替に伴う誘発筋電図F波の変化
3. 学会等名 第28回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2021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
研究分担者	高原 皓全 (TAKAHARA Terumasa) (20641327)	吉備国際大学・社会科学部・准教授 (35308)	
研究分担者	山口 英峰 (YAMAGUCHI Hidetaka) (30388996)	吉備国際大学・社会科学部・教授 (35308)	
研究分担者	小野寺 昇 (ONODERA Sho) (50160924)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授 (35309)	

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
---------	---------