

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：33917

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17866

研究課題名（和文）リラックス動作の個人差を生む神経メカニズムの解明

研究課題名（英文）individual differences and neural mechanisms for muscle relaxation

研究代表者

加藤 孝基（KATO, KOKI）

南山大学・経済学部・准教授

研究者番号：10750771

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：2018年度および2019年度を中心に、筋の弛緩に関わる個人差について、様々な筋を対象とした網羅的な実験を行った。具体的には、各筋の収縮および弛緩の筋活動を、様々な基準を設けて定量化し、個人差や部位差を比較検討した。その結果、収縮及び弛緩の筋活動動態は様々な筋によって異なり、さらに個人差はいくつかのパターンに分類されることが明らかになった。また、2019年度には、筋のリラックスに関わる総説論文を国際誌に発表した。2020年度は、covid-19の影響により十分な実験が出来なかったが、2021年度からは、反応時間に関する実験を行い、陸上短距離走者と一般人との違いを詳細に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで神経生理学の研究では、動物やヒトのある程度の個人差は無視し、集団を平均化したものを比較することで、その特徴やメカニズムを明らかにしてきた。それに対し、本研究は、複雑な動作が上手く出来る人と出来ない人の“個人差”に着目した。得られた成果は、スポーツや楽器演奏、リハビリなどのあらゆる場面において、“なぜか自分だけ出来ない”という人に対し、学習を手助けする貴重な知見となるだろう。さらに、ヒューマンインターフェース（ヒトの動作とより協調した機械の開発）や高齢者のQuality of Lifeの向上（日常生活動作遂行能力を維持・増進させるトレーニング法の開発）にも貢献できるだろう。

研究成果の概要（英文）：In 2018 and 2019, we conducted some experiments on various muscles to determine individual differences for muscle relaxation. Specifically, muscle activity during contraction and relaxation of each muscle was quantified using various criteria. The results revealed that the muscle activity of contraction and relaxation differed among the various muscles and that individual differences were classified into several patterns. In 2019, we published a review article on muscle relaxation in an international journal. In 2020, we were unable to conduct sufficient experiments due to the covid-19, but from 2021, we executed several experiments about reaction time and clarified in detail the differences between short distance track and field runners and the general population.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：筋弛緩 反応時間 筋活動 TMS

1. 研究開始当初の背景

日常生活におけるあらゆる場面で、我々は複数の筋を同時に収縮・弛緩し、制御する。中でも複雑な動作を伴うスポーツやリハビリテーション、楽器演奏等の現場では、力を入れること(収縮)よりも“力を抜く(弛緩)ことが難しい”といわれている。弛緩が難しいことの要因を考えるうえで、複数肢協調動作における弛緩という視点は必要不可欠である。例えば、雲梯で右手を放しながら(右手筋の弛緩)左手で支えるとき(左手筋の収縮)、右手筋の弛緩および左手筋の収縮は相互に影響してしまう。これまでの研究で、複数肢を用いた動作では、ある筋の収縮は他肢の筋活動や神経機構に影響を及ぼすことが知られている(Swinnen, 2002)。申請者はこの現象とは反対に、“ある筋の弛緩を行うと、他肢の特定の筋が収縮しづらい状態になる”ことを明らかにした(Kato et al., 2019)。具体的には、同側(右手-右足)および対側(右手-左足等)で収縮と弛緩を同時に行う単純反応課題において、ある肢の弛緩を行うと他肢の収縮筋の活動が低下し、反応時間も長くなることや(Kato et al., 2014; Kato et al., 2016)、経頭蓋磁気刺激法(Transcranial magnetic stimulation: TMS)を用いた実験より、足関節筋の弛緩時に、同側の手関節筋を支配する皮質脊髄路興奮性が安静時よりも低下し(加藤ら、2012)、この皮質脊髄路興奮性の低下には、大脳皮質の抑制回路が関与すること(Kato et al., 2016)を明らかにした。複数肢協調動作における収縮・弛緩の他肢への影響こそが、いわゆる一般的にいわれる“リラックスが難しい”要因の一つなのだろう。ところで、スポーツや楽器演奏を行う際、動作の習得や熟練度には必ず個人差が生じる。これまでの我々の研究においても、単純反応課題における弛緩動作が、スムーズに出来る人もいれば、出来ない人もいた。神経生理学の研究では、動物やヒトのある程度の個体差は無視し、集団を平均化したものを比較することで、その特徴やメカニズムを明らかにしてきた。本研究は、複雑な動作が上手く出来る人と出来ない人の“個人差”に着目する。

2. 研究の目的

筋収縮および筋弛緩を行う単純反応課題を様々な筋を対象として網羅的に行い、各筋特有の筋活動動態や、それに関わる個人差を明らかにする。これまでの先行研究では、筋活動やフォースセンサーを用いて、反応時間や筋活動を算出してきた。しかしながら、対象とする筋や反応時間の算出方法、強度などが研究間で異なるため、統一した見解は得られていない。そこで本研究では、各筋の収縮および弛緩の筋活動を、様々な基準を設けて定量化し、筋活動の点から個人差や部位差を明らかにすることを目的とした(研究)。さらに、研究 の結果をもとに他肢で収縮を同時に行う際に弛緩がスムーズにできない被験者の筋活動をタイプ別に分類し、それに関わる神経活動を、TMS および機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて明らかにし(研究 実験1)、さらにその各神経活動タイプをもとに、筋弛緩をスムーズに行えない被験者に、経頭蓋直流電気刺激(tDCS)を用いて脳活動を操作し、弛緩動作の学習が促進するか否かを検討することである(研究 実験2)。

しかしながら、covid-19の影響により研究 を十分に遂行できる環境でなかったために、反応時間に関する以下の代替実験を行うこととした(研究)。外的刺激に対する中枢神経処理能力は、反応時間の構成要素でもある前筋運動時間を用いて評価することができる。筋弛緩時の神経機構を明らかにする手掛かりの一つとしてこの前筋運動時間を用いることができる。本研究では、筋弛緩にさきがけて、収縮時の前筋運動時間を明らかにすることとした。これまでの研究で、アスリートは前筋運動時間が短縮することが報告されているが、その要因は明らかにされていない。本研究では、スポーツの中でも特に素早い反応が求められる陸上競技短距離走者の前筋運動時間を計測し、一般人との違いを明らかにした(研究 実験1)。さらに、TMSを用いて、被験者各筋の潜時を計測し、より詳細に情報処理の神経メカニズムを解明した(研究 実験2)。

3. 研究の方法

研究 の被験者は、健常な成人男性10名とした。指関節、手関節および肘関節を対象とし、全5動作(指屈曲・手屈曲・手伸展・肘屈曲・肘伸展)を行った。被験者は、音合図に素早く反応して収縮もしくは弛緩を行った(図1)。それぞれの課題は50%MVCの標的強度で行い、試技中の主働筋の筋活動から収縮・弛緩課題の反応開始時間・反応完了時間・反応開始から反応完了にかかる時間(所要時間)を解析した(図2)。

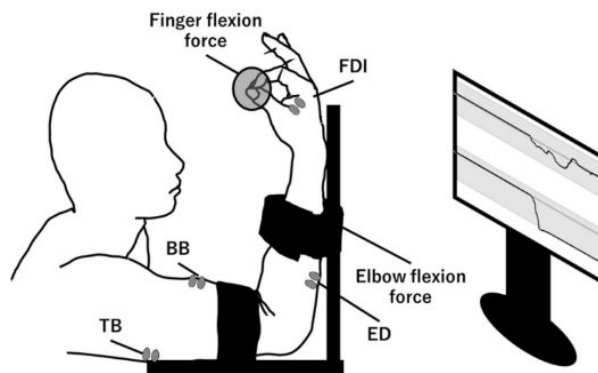


図 1

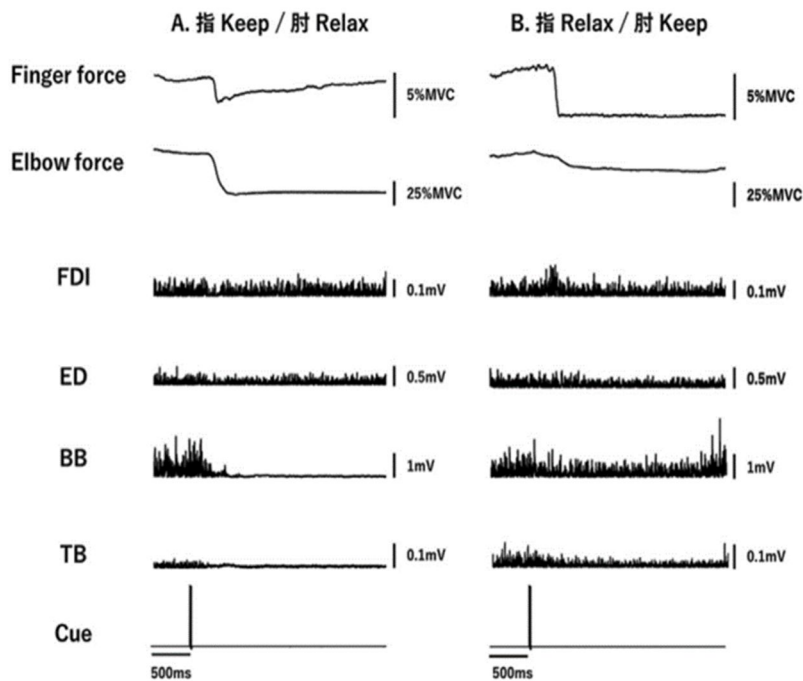


図 2

本研究は、上述の通り、covid-19 の影響により閉鎖環境での実験が困難であったために、反応課題に関するさらなる研究を行った(研究)。外的刺激に対する中枢神経処理能力は、反応時間の構成要素でもある前筋運動時間(Premotor time; PMT)を用いて評価することができる。筋弛緩時の神経機構を明らかにする手掛かりの一つとしてこの前筋運動時間を用いることができる。本研究では、筋弛緩にさきがけて、収縮時の前筋運動時間を明らかにすることとした。これまでの研究で、アスリートはPMTが短縮することが報告されているが、その要因は明らかにされていない。本研究では、スポーツの中でも特に素早い反応が求められる陸上競技短距離走者のPMTを計測し、一般人との違いを明らかにした(研究 実験1)。被験者は、陸上競技短距離走者(9名)と一般人(10名)とし、音合図になるべく素早く反応して膝関節伸展動作を行った(図3)。音合図前の500msから音合図後の2999msまでの計3500ms間のEMGを記録し、課題1回ずつPMTを、以下の通り算出した(図4)。まず、得られたEMGデータを整流化し、EMG信号の音合図前500ms間の平均値と標準偏差(SD)を算出し、平均値+3SDをPMTの閾値とした。整流化したEMG信号が設定した閾値を10ms連続して上回り続けた時間をPMTとした。課題25回のPMTを算出し、25回の平均値と標準偏差を算出した。また25回の試技で平均値±3SD外の試技のデータは、外れ値として除外した。

膝関節屈曲動作

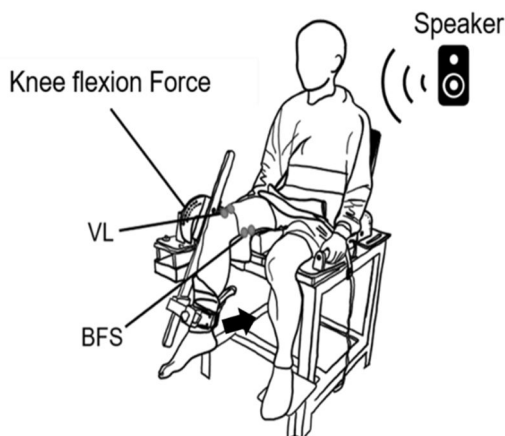


図 3

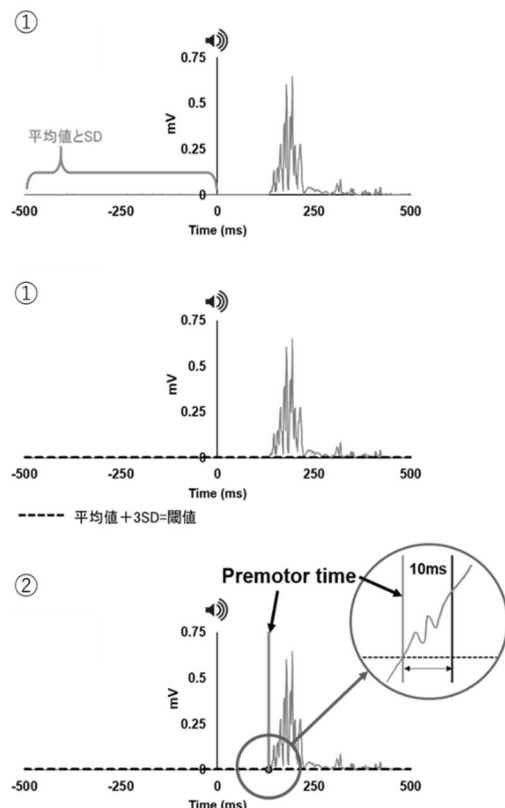


図 4

さらに、TMS を用いて、被験者各筋の運動誘発電位 (Motor evoked potential ; MEP) 潜時を計測し、より詳細に情報処理の神経メカニズムを解明した (図 5 ; 研究 実験 2)。実験 1 と同じ被験者は、安静状態にて一次運動野膝関節筋の支配領域に TMS を用いて刺激した。大腿二頭筋短頭の EMG を筋電計により測定し、MEP 潜時を測定した。

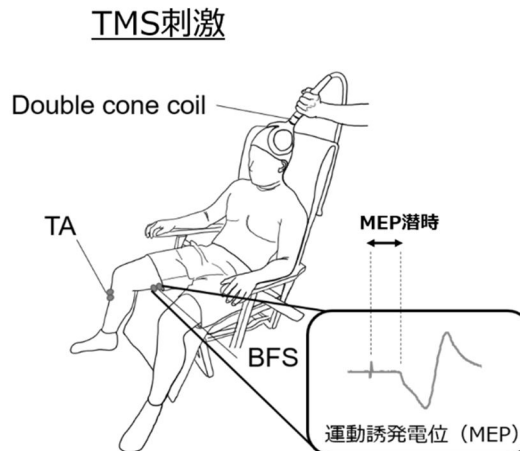


図 5

4 . 研究成果

研究 の結果、反応完了時間において、収縮課題と弛緩課題の間に有意な正の相関が認められた。しかしながら指屈曲動作のみ有意な相関が認められなかった。これらの結果より、素早い収縮を行う人は素早い弛緩を行うことが考えられる。これは、筋肉の収縮と弛緩の制御には共通のメカニズムが存在することが考えられる。また、指屈曲動作においては、日常的に頻繁に使用し、精緻な神経メカニズムが備わっていることから、個人差が認められなかったと考えられる。収縮及び弛緩の筋活動動態は様々な筋によって異なり、さらに個人差が認められることが本研究より明らかとなった。

研究 実験 1 の結果、短距離走者は、一般人よりも音刺激に対する PMT が短縮することが明らかとなった (図 6A)。さらに、研究 実験 2 の結果、TMS 刺激による MEP の出現潜時は各筋において両群で差が認められなかったことから (図 6B) 一次運動野以降の伝達能力ではなく、それ以前の情報処理・選択・企画といった運動準備段階の能力が前筋運動時間短縮に影響を及ぼすことが示唆された。

研究 および研究 の結果より、収縮動作や弛緩動作は素早くできる人とそうでない人が存在し、それらの能力は相関することや、素早く反応することが求められる熟練者は、情報処理能力に長けていることが明らかになった。

得られた成果より、単純な動作を行う際であっても、その動作には個人差が大きく存在し、前頭前野等での処理能力が関与していることを示唆している。今後、スポーツや楽器演奏などの現場において、より複雑な動作を行う際の有用な情報となるだろう。特に、周りは出来ているのに“なぜか自分だけ出来ない”という未熟練者にとって、その動作習得や学習を大きく手助けする貴重な知見となるだろう。また、中枢神経系の疾患からのリハビリテーション (痙縮罹患者の弛緩体得には個人差が大きい) においてもその応用が期待できる。

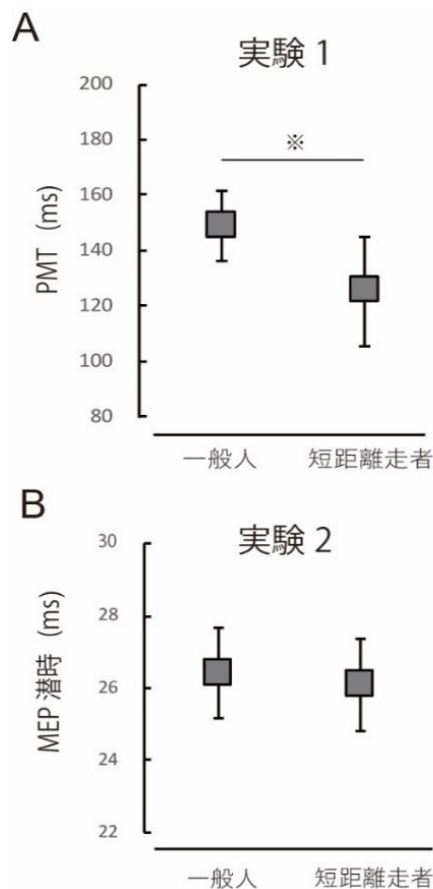


図 6

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Mizuguchi N, Tsuchimoto S, Fujii H, Kato K, Nagami T, Kanosue K.	4. 巻 11
2. 論文標題 Recognition capability of one's own skilled movement is dissociated from acquisition of motor skill memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-96381-w.	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 Fluthmann N, Kato K, Breuer J, Bloch O, Vogt T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Sports-Related Motor Processing at Different Rates of Force Development	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Motor Behavior	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00222895.2022.2033676.	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
1. 著者名 Qi W, Nakajima T, Sakamoto M, Kato K, Kawakami Y, Kanosue K.	4. 巻 9
2. 論文標題 Walking and Finger Tapping Can Be Done With Independent Rhythms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-43824-0.	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 Shironouchi F, Ohtaka C, Mizuguchi N, Kato K, Kakigi R, Nakata H.	4. 巻 707
2. 論文標題 Remote effects on corticospinal excitability during motor execution and motor imagery.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neuroscience Letters	6. 最初と最後の頁 707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neulet.2019.134284.	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 Yokoyama N, Ohtaka C, Kato K, Kubo H, Nakata H.	4. 巻 14
2. 論文標題 The difference in hemodynamic responses between dominant and non-dominant hands during muscle contraction and relaxation: An fNIRS study.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0220100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0220100.	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 Kato K, Vogt T, Kanosue K.	4. 巻 10
2. 論文標題 Brain Activity Underlying Muscle Relaxation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2019.01457.	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

1. 著者名 Vogt T, Kato K, Fluthmann N, Bloch O, Nakata H, Kanosue K.	4. 巻 18
2. 論文標題 Performance control in one consecutive motor task sequence - pproaching central neuronal motor behaviour preceding isometric contraction onsets and relaxation offsets at lower distinct torques.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 the Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions	6. 最初と最後の頁 1-8
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 該当する

1. 著者名 Zheng Y, Muraoka T, Nakagawa K, Kato K, Kanosue K.	4. 巻 236
2. 論文標題 Effect of salient points in movements on the constraints in bimanual coordination.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 1461-1470
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 Fluthmann N, Kato K, Bloch O, Kanosue K, Vogt T.	4. 巻 237
2. 論文標題 Effects of longer vs. shorter timed movement sequences on alpha motor inhibition when combining contractions and relaxations.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 101-109
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 該当する

1. 著者名 加藤孝基	4. 巻 22
2. 論文標題 複数肢協調動作における筋弛緩の制御	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 バイオメカニクス研究	6. 最初と最後の頁 14-18
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 無
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 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Tsutsumi K., Kato K, Kanosue K
2. 発表標題 The effect of muscle relaxation on sustained contraction force of other muscles in the limb
3. 学会等名 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Vogt T, Kato K, Kanosue K
2. 発表標題 Controlling neuromuscular performance
3. 学会等名 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kato K and Kanosue K
2. 発表標題 Why is muscle relaxation difficult in sports?
3. 学会等名 第9回アジア・オセアニア生理学会連合大会 & 第96回日本生理学会合同大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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