

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：14602

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20072

研究課題名(和文)「力を抜く」調節に関わる動作・神経メカニズムの解明

研究課題名(英文)Elucidation of the motor control and neural mechanisms involved in "force relaxation"

研究代表者

大高 千明(Ohtaka, Chiaki)

奈良女子大学・工学系・専任講師

研究者番号：00783929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：身体を巧みにコントロールすることは、さまざまな動作を意図したとおりに遂行する上での基礎的な要素であることから、「グレーディング能力(筋出力調節能力)」の一端を担う「力を抜く」調節の難しさを解明することは非常に重要である。バイオメカニクス的手法と近赤外線分光法を用いた神経科学的手法を統合し、随意的な筋出力の「力を入れる」調節と「力を抜く」調節におけるパフォーマンス特性と調節方略の比較から、動作・神経メカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「力を抜く」調節の難しさについて、どのくらいの変化をさせた際に、いかなる要因によって引き起こされているのかは、不明瞭な点が多く残されている。本研究における学術的意義としては、調節前の状態がパフォーマンスに及ぼす影響について、パフォーマンスと神経活動特性の関係性を評価したことから、「力を抜く」調節の動作・神経メカニズムの一端を明らかにすることができた点である。

社会的意義としては、目的に応じて身体を調節する能力について、将来的には発達過程・加齢変化・可塑的变化を提供し、子どもから大人まで汎用できる新たな評価法を確立できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Since skillful control of the body is a fundamental element in performing various movements as intended, it is very important to elucidate the difficulty of force relaxation, which is a part of the grading ability (voluntary force control ability).

By integrating biomechanical and neuroscientific methods using near-infrared spectroscopy, we investigated the behavioral and neural mechanisms by comparing performance characteristics and strategies in the voluntary control of force generation and force relaxation.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：力の抜き グレーディング 筋出力調節 運動制御 バイオメカニクス 近赤外線分光法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

私たちヒトは、状況に応じて自らの力を発揮することによって動作を遂行している。これまでスポーツや教育現場においては、「全力で」パフォーマンスをすること、「一生懸命」取り組むことに対する評価が重視されており、最大努力での筋出力能力やメカニズムについて焦点が当てられてきた。しかしながら、実際にはスポーツ場面に限らず日常生活においても、対象物に合わせて力を出し分けることや、相手に合わせて力を加減することなど、全力で物事に取り組むことだけでなく、目的に応じて筋出力を調節することで多くの動作を遂行している。つまり、筋出力を意図した通りに調節できるかどうかは、さまざまな動作を巧みに遂行する上で最も基礎となる要素であることから (Kato et al., 2014; Li, 2013)、筋出力を正確にグレーディングする能力は非常に重要である。さらに動作は、主動筋の収縮量と弛緩量をそれぞれ適切に調節することによって成り立っていることから、「力を入れる」調節と「力を抜く」調節の両方を正確にグレーディングできる能力が必要不可欠である。

しかしながら、例えばスポーツ場面において、とっさに上手く力を抜くことや力を緩めることは困難であるように、とりわけ「力を抜く」調節は、「力を入れる」調節よりも難しいとされている。しかしながら、「グレーディング能力」に着目した研究については、これまで主に「力を入れる」調節に着目されたものがほとんどである。なおかつ「力を抜く」調節に関する知見としては、「力を入れる」調節とは異なる現象、特性がみられることの報告に留まっており、なぜ「力を抜く」調節が難しいのか、その明白な根拠については明らかにされておらず、「力を抜く」調節に関する動作・神経メカニズムについては未だ不明瞭な点が多く残されている。

したがって、研究開始当初の背景から、「力を抜く」調節に関する動作・神経メカニズムを解明することは、ヒトの動作メカニズム解明の根幹に関わる重要な研究課題であると捉え、本研究では、随意的な筋出力調節に関する基礎的研究データを提示し、「力を入れる」調節との比較から、「力を抜く」調節の難しさについて検討することとした。

2. 研究の目的

「力を抜く」調節の難しさの解明に向けて、随意的な筋出力のグレーディング課題を用いて「力を入れる」調節と「力を抜く」調節のパフォーマンス特性と調節方略についてバイオメカニクス的手法および神経科学的手法を統合的に用いて包括的に明らかにすることを目的とした。

「力を入れる」調節と「力を抜く」調節をそれぞれ筋出力の増加時と減少時とし、調節前の筋出力量を「スタートレベル」、目標となる筋出力量を「ターゲットレベル」、スタートレベルからターゲットレベルまでの筋出力調節量を「変化量」と定義する (図1)。本研究では具体的に、次の2つの実験について研究期間内に検証した。

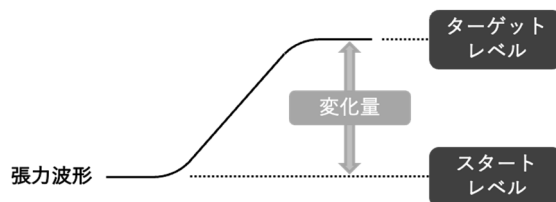


図1. 課題用語の定義

【実験1】スタートレベルの大きさがグレーディング特性に及ぼす影響について

異なるスタートレベルから同じターゲットレベルへ調節する場合、スタートレベルの大きさが減少時のグレーディング特性 (正確性、素早さ) に及ぼす影響について張力と筋活動を指標に用いて明らかにする。張力と筋活動の関係性からグレーディングの効率についても評価することができる。

【実験2】「力を抜く」調節に関する神経メカニズムについて

スタートレベルおよび変化量の大きさが同じ場合、増加および減少時のグレーディング特性と、神経活動特性について、張力と近赤外線分光法 (NIRS) を指標に用いて検討する。運動関連領域 (一次運動野、補足運動野、運動前野) の脳血流動態を評価することで、神経メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

【実験1】

右利き脚の成人女性19名を対象とした。被験者は座位姿勢をとり、筋力測定器のプレート上に右脚を固定した。運動課題は右脚による等尺性脚伸展動作を用いた張力のグレーディングとした。最大随意収縮力 (MVC) を基準に、異なるスタートレベル (30%、50%、70%MVC) から、同じターゲットレベル (20%MVC) へ力を減少させる課題を実施した。手順は、MVCの測定後、3種類いずれかのスタートレベルを保持した後、LED刺激の呈示に対して、素早くかつ正確にターゲットレベルに調節した。被験者は、ターゲットレベルに関する視覚的フィードバック情報無しで課題を行った。張力および表面筋電図 (外側広筋) を記録した。張力データから、正確性について、ターゲットレベル (20%MVC) と各被験者のMVCで相対値化した張力平均値 (%MVC) との誤差 (恒常、絶対、変動誤差) を、素早さについては刺激呈示から調節開始までの反応時間、調節開始から終了までの調節時間を算出した。表面筋電図データからは、張力に対する筋活動量の割合を算出した。

【実験 2】

右利きの成人女性 20 名を対象とした。被験者は座位姿勢をとり、机上に固定された握力計を把持した。運動課題は、利き手(右手)および非利き手(左手)による等尺性の把持動作を用いた張力のグレーディングとした。MVC を基準に、同じスタートレベル 20%MVC からターゲットレベル 30%MVC へ力を増加させる課題と、10%MVC へ減少させる課題を実施した。手順は、MVC の測定後、LED 刺激の呈示に合わせて、スタートレベルからターゲットレベルへの出力調節を繰り返して行った。張力データからは、グレーディングの素早さについて、刺激呈示から調節開始までの反応時間、調節開始から終了までの調節時間を算出した。NIRS データからは、左右半球の運動前野、一次運動野、頭頂連合野における酸化ヘモグロビンを記録し、潜時および振幅を算出した。

4. 研究成果

【実験 1】

各変数について、スタートレベル(30%、50%、70%MVC)を要因とした一元配置分散分析を行い、スタートレベルの大きさがグレーディング特性に及ぼす影響を検討した。

正確性について、恒常誤差ではスタートレベルの有意な主効果が認められ、多重比較の結果、30% が 50%、70%MVC よりもマイナス方向に有意に大きい傾向がみられた。絶対誤差についてはスタートレベルの有意な主効果は認められなかった(図 2)。これらのことから、スタートレベルが小さい場合に、力を減少し過ぎる傾向が示された。本研究の課題では、スタートレベルが小さい場合は、変化量も小さいことから、僅かに力を減少させる際に正確性が低下することが推察される。

素早さについて、反応時間では、スタートレベルの主効果は認められなかった。調節時間については有意な主効果が認められ、多重比較の結果、全てのレベル間で有意な差が認められ、30% < 50% < 70%MVC となった(図 3)。つまり、スタートレベルによらず反応時間は一定であり、スタートレベルが大きいほど調節時間は延長することが示された。

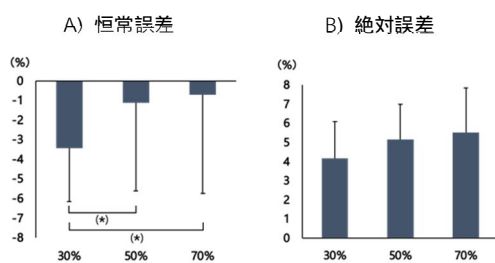


図 2. 正確さ (*: p < 0.1)

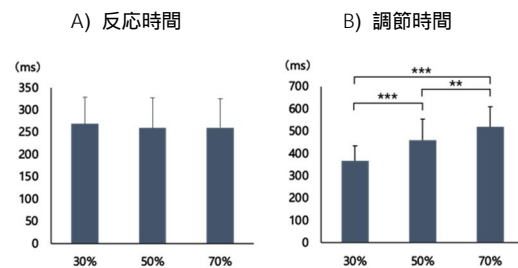


図 3. 素早さ (**: p < 0.01, ***: p < 0.001)

張力に対する筋活動量の割合については、スタートレベルの有意な主効果が認められ、多重比較の結果、70% が 30%、50%MVC よりも有意に大きかった。つまり、スタートレベルが大きい場合に、筋活動量は大きくなった。このことから、少ない筋活動量で大きな張力を保持することを効率が良いと定義するならば、力の減少時においては始めに保持する力が大きい方が非効率な調節になることが示された。

【実験 2】

張力データの変数については、左右(右手、左手)と課題(増加、減少)を要因とした二元配置分散分析を行い、利き手および非利き手がグレーディング特性に及ぼす影響を検討するとともに、増加および減少時における特性の比較を行った。反応時間については、課題の主効果が認められ、減少課題が増加課題よりも有意に長くなった(図 4)。調節時間については、課題の有意な主効果は認められなかった。このことから、減少時の方が、増加時よりも反応時間は延長することが確認された。

酸化ヘモグロビンについては、各課題において左右(右手、左手)と側性(同側、対側)を要因とした二元配置分散分析を行い、増加および減少時の特性比較を行った。ピーク潜時について、増加課題では、頭頂連合野領域について、左右と側性の交互作用が認められ、下位検定の結果、左手では同側が対側よりも有意に長かった。一次運動野領域と運動前野領域においては、有意な主効果および交互作用は認められなかった。減少課題では、運動前野領域について、側性の主効果が認められた。下位検定の結果、左手の同側が対側よりも有意に長かった。一次運動野領域と頭頂連合野領域においては、有意な主効果および交互作用は認められなかった。

これらのことから、ピーク潜時は増減時の違いはみられず、脳半球間で有意差がみられ、同側が対側よりも長くなった。この結果は、脳梁の経路に要した時間を反映している可能性が推察さ

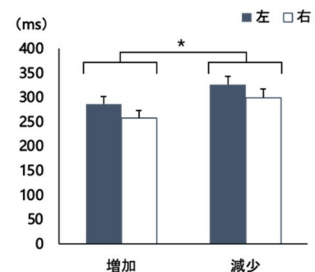


図 4. 反応時間 (課題 *: p < 0.05)

れる。

ピーク振幅について、増加課題では、運動前野領域において、左右と側性の交互作用が認められ、下位検定の結果、右手では、対側の方が同側よりも有意に大きかった。一次運動野領域と頭頂連合野領域においては、有意な主効果および交互作用は認められなかった。

減少課題では、運動前野領域において左右と側性の交互作用が認められ、下位検定の結果、左手では同側が対側よりもマイナス方向に有意に大きく、右手では対側が同側よりもマイナス方向に有意に大きかった。さらに対側において、右手が左手よりもマイナス方向に有意に大きかった。頭頂連合野領域では側性の主効果が認められたが、下位検定の結果、有意な差はみられなかった。一次運動野領域においては、有意な主効果および交互作用は認められなかった。

これらのことから、ピーク振幅については増減時で特性が異なっていたことが明らかとなった。筋出力調節の増減時において運動前野内の酸化ヘモグロビン量の変化が重要な役割を担っており、特に減少時の方が増加時よりも大きく関係する可能性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ohtaka Chiaki, Fujiwara Motoko	4. 巻 51
2. 論文標題 Force control characteristics for generation and relaxation in the lower limb.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Motor Behavior	6. 最初と最後の頁 331-341
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00222895.2018.1474337	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 Ohtaka Chiaki, Fujiwara Motoko	4. 巻 22
2. 論文標題 Relationship between the subjective and objective parameters for accurate force generation and relaxation.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research Journal of Sport Science in Nara Women's University	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） なし	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 大高千明、藤原素子	4. 巻 57
2. 論文標題 始めに保持する力の有無が出力のグレーディング特性に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人間工学	6. 最初と最後の頁 34～41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5100/jje.57.34	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 Ohtaka Chiaki, Fujiwara Motoko	4. 巻 17
2. 論文標題 Force control characteristics for generation and relaxation compared between the upper and lower limbs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Human Sport and Exercise	6. 最初と最後の頁 181～196
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14198/jhse.2022.171.17	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 Naoko, Ohtaka Chiaki, Kato Koki, Kubo Hiroko, Nakata Hiroki.	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 1-15
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 -

〔学会発表〕 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大高千明、藤原素子
2. 発表標題 始めに保持する力の有無が出力のグレーディング特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大高千明、重松咲、藤原素子
2. 発表標題 握力発揮における調節能力の発達過程: 力を入れる場合と力を抜く場合の比較から
3. 学会等名 日本発育発達学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷部楓美、小野夏純、三浦舞子、佐藤夢女、大高千明、藤原素子
2. 発表標題 等尺性脚伸展動作を用いた周期的な出力およびタイミングの制御
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野夏純、長谷部楓美、三浦舞子、大高千明、藤原素子
2. 発表標題 上肢による両側同時力発揮時の運動制御特性: 左右で出力が異なるグレーディング課題を用いて
3. 学会等名 第26回バイオメカニクス学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大高千明、室海七大、杉浦晴佳、佐藤夢女、藤原素子
2. 発表標題 始めに保持する力の大きさが「力を抜く」グレーディング特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本人間工学会第63回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷部楓美、小野夏純、三浦舞子、佐藤夢女、大高千明、藤原素子
2. 発表標題 等尺性脚伸展動作を用いた周期的な出力およびタイミングの制御
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大高千明、福井あかり、藤原素子
2. 発表標題 学童期における運動調節能力の発達特性
3. 学会等名 日本発育発達学会第19回大会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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