

氏名・（本籍） 彦坂 幹斗（愛知県）

学位の種類 博士（スポーツ科学）

報告番号 甲 第148号

学位授与年月日 2022（令和4）年3月19日

学位授与の要件 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）

第4条第1項該当

論文題目 両手同時筋力発揮の神経制御に関する研究

審査委員（主査） 荒 牧 勇

山 田 憲 政

大 家 利 之

博士学位審査の経過報告

学位審査委員会
（主査） 教授 荒牧 勇

本学位審査委員会（2021年11月 17日設置）は、彦坂 幹斗氏から提出された博士学位請求論文『両手同時筋力発揮の神経制御に関する研究』について下記のとおり審査したことを報告する。

記

- ・ 2021年11月17日：博士学位請求論文の受理、審査委員会の設置
- ・ 2021年11月19日：第1回学位審査委員会（論文の概要・構成についての確認、審査日程打ち合わせ）
- ・ 2021年12月1日：第2回学位審査委員会（論文の評価、問題点の整理）
- ・ 2021年12月6日：第3回学位審査委員会〈稟議〉（論文修正の確認）
- ・ 2021年12月8日：研究科委員会にて最終試験
- ・ 2022年1月12日：第4回学位審査委員会〈稟議〉（学位審査報告書の最終確認）
- ・ 2022年1月19日：博士課程委員会において審査結果の報告

論文の公示：2022年1月26日～2022年2月2日

合否の判定：2022年2月10日 博士課程委員会

以上

論文審査および最終試験の結果

1. 論文審査の結果

(1) 提出論文の概要

本研究は、左右の手に特異的な相互干渉が生じる両手同時運動の制御メカニズムについて調査した研究である。スポーツで重要視される筋力発揮に着目し、両手同時筋力発揮が脳のレベルでどのように制御されているのかについて、実験的な操作により、脳神経系を変調させ、その結果として表出する運動の変化を観察することで明らかにすることを目的とした。

第1章では、両手同時運動に関する先行研究を精査し、両手同時筋力発揮の運動制御システムについて調査することがスポーツパフォーマンスの向上やリハビリテーションの促進として役立つという実用的意義、多様な両手運動の神経メカニズムを理解するという科学的意義という2つの研究意義を導き出した。

第2章では、同じ手の筋力発揮において、片手の時と両手同時の時では、運動制御のための脳領域が異なるという仮説を検証する実験を行なった。具体的には、「片手筋力発揮時に特異的な領域、両手同時筋力発揮時に特異的な領域、片手筋力発揮時も両手筋力発揮時のどちらにも共通の領域がある」という仮説を設定し、片手筋力発揮によって生じた神経筋疲労が、片手筋力発揮と両手同時筋力発揮に及ぼす影響を調べることでこの仮説を検証した。右利きの健常成人男性16名を対象に、片手握力が最大握力の50%強度を発揮できなくなるまで維持する片手疲労課題を行い、その前後で片手の最大握力と両手同時の最大握力を計測した。疲労課題は、「左手疲労条件」または「右手疲労条件」が無作為に行われた。その結果、右手疲労条件において、右片手握力の疲労による筋力低下よりも、両手で握った時の右握力の疲労による筋力低下の方が少ないことが明らかとなった。これは、右手については、片手握力発揮の疲労は、両手同時握力発揮に完全には影響しないことを示している。このメカニズムとして、右片手筋力発揮による疲労は、片手固有の力生成領域と片手運動でも両手運動でも力生成に動員されるオーバーラップ領域の出力を低下させるが、この状況で両手同時筋力発揮をすると、一部が疲労しているオーバーラップ領域とまだ疲労していない両手固有の力生成領域からの出力が生じるため、筋力の低下が抑えられたと考えられる。

第3章では、頭皮上に固定した電極から脳へ非侵襲的で微弱な電流を与える、経頭蓋直流電気刺激(tDCS: transcranial Direct Current Stimulation)が片手握力と両手握力に与える影響を調査した。右利きの健常成人男性21名を対象に、tDCSを用いて、右一次運動野に陽極刺激、左一次運動野に陰極刺激を与える「RaLc条件」、右一次運動野に陰極刺激、左一次運動野に陽極刺激を与える「RcLa条件」、疑似的な偽刺激を与える「Sham条件」を無作為に実施し、刺激後の片手の最大握力と両手同時の最大握力を計測した。その結果、RcLa条件では両手で握った時の左右の握力がSham条件よりも大きかった。また左右の片手握力もSham条件よりもRcLa条件の方が大きかった。tDCSの極性依存効果を仮定した場合、一次運動野への陽極刺激は皮質脊髄路の興奮性を高めるため、RcLa tDCSは、左一次運動野からの運動出力を増大させることが予想される。右利きの左一次運動野は右一次運動野よりも両手を神経支配していることが、機能的磁気共鳴画像法、脳波、経頭蓋磁気刺激を用いた研究から明らかとなっている。従って、本実験で得られた知見の可能性の1つとして、左一次運動野から両手への運動出力の増大が両手同時の筋力発揮を増強させたと推測される。

第4章では、上記の2つの研究結果を神経回路と力生成システムの2つの観点から両手同時筋力発揮の神経制御について考察し、その知見のスポーツやリハビリテーションへの応用可能性について議論した。そして、第5章では、左一次運動野から両手へ運動指令を伝達する神経回路が、力生成システムにおける

両手固有の力生成領域を構成していると推察した。最終的に、これらの一連の研究から得られた知見は、右利きにおける左半球の両側性支配という仮説を支持するものであることを確認し、両手同時筋力発揮における左右の手の相互干渉を生み出す脳神経メカニズムであることを結論づけた。

(2) 提出論文の評価

本論文は、先行研究の詳細な整理から研究仮説の導出がなされ、独創的な実験により仮説の検証に取り組んでいる。得られたデータの解析、結果の考察も合理的であり、博士論文としての質は高い。

本論文が評価できる点は、第一に、仮説の検証のための実験操作の工夫である。研究課題1では疲労、研究課題2ではtDCSによる脳刺激を用いることで、特定の実験課題の遂行に特異的な変化を見出した。

本論文が評価できる第二の点は、得られた結果の社会への応用可能性の高さである。特にtDCS刺激の筋出力増加効果が全身運動にどのように現れるかについては不明であったため、本研究により、刺激した一次運動野と反対側だけでなく、両側で示されたことは、スポーツ分野やリハビリ分野において意義が大きい。一方でtDCSがスポーツにおいてドーピングにあたるのか否か、また、リハビリにおいて、副作用はないのか、については、今後も十分な検証が必要である。

(3) 提出論文と既刊論文との関係

本論文の主要な部分は学術誌に掲載された以下の論文を再構成して書かれている。

1. Mikito Hikosaka and Yu Aramaki, Neuromuscular Fatigue in Unimanual Handgrip Does Not Completely Affect Simultaneous Bimanual Handgrip, *Frontiers in Human Neuroscience*; in press
(主に第二章を構成)
2. Mikito Hikosaka and Yu Aramaki, Effects of Bilateral Transcranial Direct Current Stimulation on Simultaneous Bimanual Handgrip Strength, *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 2021; DOI: 10.3389/fnhum.2021.674851
(主に第三章を構成)

2. 最終試験の結果

2021年12月8日に博士論文最終試験を実施した。その内容は、研究の目的と意義、研究デザインや分析方法、結果の解釈など本研究に直接関わる内容にとどまらず、体育学研究全般にわたって専門領域に関する知識と理解度、研究に対する論理的な展開能力などについて、その学識と研究能力を確認しようとするものであった。その結果、これらの事項に関し十分な学識と研究能力とを有していると判定した。

3. 学力の確認

本論文の提出者は、本研究科博士課程において所定の単位を取得し、かつ本研究科の指導指針に則り、英文誌を含む学会誌に筆頭著者として複数の原著論文を発表していることから、博士の学位を授与されるに値する学力を有すると確認した。

4. 結論

本学位審査委員会は、提出された博士学位請求論文が博士(スポーツ科学)の学位に値するものであり、かつ論文提出者はその専門領域に関する十分な学識と研究能力を有することから、博士(スポーツ科学)の学位を授与するのに適格であると判断した。以上