

2017年1月20日

博士学位審査 論文審査報告書 (課程内)

大学名 早稲田大学
研究科名 大学院人間科学研究科
申請者氏名 梅沢 侑実
学位の種類 博士 (人間科学)
論文題目 (和文) 腱振動刺激による運動錯覚特性の人間工学的評価
論文題目 (英文) Ergonomic Evaluation Regarding Property of Kinesthetic Illusion by Vibration Stimuli on Human Tendon

公開審査会

実施年月日・時間 2016年12月9日・13:00-14:00
実施場所 早稲田大学 100号館 第1会議室

論文審査委員

	所属・職位	氏名	学位 (分野)	学位取得大学	専門分野
主査	早稲田大学・教授	藤本 浩志	博士 (工学)	早稲田大学	福祉工学
副査	早稲田大学・教授	野嶋 栄一郎	博士 (人間科学)	大阪大学	教育工学
副査	早稲田大学・准教授	百瀬 桂子	博士 (工学)	早稲田大学	生体情報工学
副査	国立特別支援教育総合研究所・主任研究員	土井 幸輝	博士 (人間科学)	早稲田大学	人間情報工学

論文審査委員会は、梅沢侑実氏による博士学位論文「腱振動刺激による運動錯覚特性の人間工学的評価」について公開審査会を開催し、以下の結論を得たので報告する。

公開審査会では、まず申請者から博士学位論文について30分間の発表があった。

1 公開審査会における質疑応答の概要

申請者の発表に引き続き、以下の質疑応答があった。

1.1 質問：第2章～4章で行われた実験で得られた錯覚生起に適した振動周波数は、第5章における実験でどのように活かしたのか。

回答：第5章における実験において、刺激パターンを生起させる際の最大周波数に対応させた。

1.2 質問：第5章の実験について、水平面上に描く運動であるが、これは普段行っている運動ではない。日常動作と乖離しているため、想定しにくいのではないか。

回答：今回は、評価のしやすさから二次元平面上の手先の運動としたが、普段なじみのない動作であるために、知覚がしづらかった可能性も考えられる。例えば、遠くにある対象物に手を伸ばすリーチング動作のように、日常動作における動作の錯覚については、運動錯覚インタフェースの具体的な用途を決めた上での次の研究課題として位置づけられる。

- 1.3 質問：第2章～第4章における実験で、錯覚生起に適した刺激条件を明らかにしている。個人差を含めて、どういう条件でどういう錯覚が生起させることができるのかを確定させることがこの研究の意義だと思うが、その点について何かコメントはあるか。

回答：本論文の研究意義は、錯覚生起に適した刺激条件とそのときの錯覚特性を明らかにすることにある。錯覚生起に適した刺激条件については、本論文内で着目した3つ部位については、それぞれほぼ100%の割合で錯覚が生起する振動周波数、振動振幅、押込力を記載している。錯覚の内容についても、錯覚による関節可動域は、極端な伸展位、屈曲位でない範囲であれば、腱振動刺激によって伸展、屈曲錯覚を提示可能である。また、反応時間と錯覚角度は個人差が大きいということもわかったため、本論文内ではその平均値とともに、標準偏差も明記した。

- 1.4 質問：使用した刺激装置は錯覚生起のために必要十分であるか。今後、装置を改良していく余地があるのか。

回答：本論文内では、現状で手に入りやすい振動モーターや振動発生機の中で、錯覚生起に必要な装置を用いることができたと考える。しかし、今後装置を改良する余地は残されている。例えば、皮膚表面の振動が錯覚に与える影響を小さくするため、振動の知覚がされないような改良が望まれる。

- 1.5 質問：運動錯覚現象について、能動性を加味した応用についてはどのような場面を想定することができるか。

回答：運動意図があると、錯覚が増強することがわかっている。実際の運動実行時は、運動意図と感覚フィードバックがあることから、運動意図を加えれば、実際の運動時に近い体験をできる可能性がある。このことから、運動意図を加えたりハビリプログラムとしての応用を想定することができる。

- 1.6 質問：最大錯覚角度の計測には恣意性が入っているのではないか。

回答：最大錯覚角度は、錯覚が生起したときのみ計測を行い、被験者には、錯覚角度の大小に優劣はなく、あくまで感じた動きを忠実に再現してもらうよう指示していた。そのため、被験者が錯覚角度を再現する際に、恣意的に調整したとは考えにくい。また、再現精度について、肘関節を実際に伸展させた際の再現精度を確認したところ、誤差は1度程度であり、高い精度で再現ができていた。

- 1.7 質問：第5章で得られた実験では、条件とした図形の定義はどのようにしているのか。研究者にとって都合がいい図形を選択しているのではないか。この実験結果の一般性はどのようなところに位置づけられるのか。

回答：第5章の実験では、複数関節に同時刺激を与え、それらを協調させた結果生じ

る運動のパターンを認知させることが可能であるという点に、一般性がある。条件とした図形は、一般的によく使用される簡単な幾何学図形という観点から選定した。刺激パターンは実際の動作から個別に作成しており、今後、さらに一般性を高めるためには、二関節を協調させた任意の運動を錯覚として提示可能にする次の研究が必要となると考える。

2 公開審査会で出された修正要求の概要

2.1 博士学位論文に対して、以下の修正要求が出された。

- 2.1.1 博士論文の中に、リハビリ専門家との交流についても加筆してほしい。
なぜ、下肢ではなく上肢にしたのかについても説明するべきである。
 - 2.1.2 第5章で描かせた図形の大きさを記載するべきである。
 - 2.1.3 第5章で提示した刺激のパターンの作成方法についても記載するべきである。
 - 2.1.4 第5章の評価指標を、適切な語句に変更するべきである。
 - 2.1.5 今後の展望で、下肢への応用についても（先行研究を引用しながら）触れた方がよい。
- 2.2 修正要求の各項目について、本論文最終版では以下の通りの修正が施され、修正要求を満たしていると判断された。
- 2.2.1 第1章「1.4 本研究の目的」に、理学療法士の方に、本研究について助言をいただき、上肢に着目した理由を加筆した。
 - 2.2.2 第5章「5.2.2 (3) 提示する振動周波数パターンの作成」に、図形の大きさを加筆した。
 - 2.2.3 第5章「5.2.2 (3) 提示する振動周波数パターンの作成」に、提示刺激パターンの作成方法を加筆した。
 - 2.2.4 第5章「5.2.4 評価指標」以降、判別のしやすさに関する評価指標を「図形判別の容易性」という語句で示すように修正した。
 - 2.2.5 第6章「6.3 今後の展望」に、下肢への応用の可能性について、先行研究に触れながら加筆した。

3 本論文の評価

- 3.1 本論文の研究目的の明確性・妥当性： 本論文は、運動錯覚現象を工学的に利用するための基礎的知見を取得することが目的であると、明確に示されている。また、先行研究において錯覚生起に適した詳細な刺激条件や錯覚特性が明らかになっておらず、運動錯覚の工学的利用が達成されていないことから、目的設定には妥当性があると考えられる。
- 3.2 本論文の方法論（研究計画・分析方法等）の明確性・妥当性： 第2章で錯覚生起に関わる要因について複数検討した上で、第3,4章では要因を絞って錯覚特性の評価項目を増やし、詳細な評価を行っている。また、第5章では同時刺激による複雑な運動

錯覚の評価実験を行っている。これらの研究計画は、実験参加者への配慮や得られた知見をもとにさらに研究を進展させ順序立てて実験が推進されるよう適切に策定されている。また、各実験結果についても、実験参加者数や目的に沿った適切な分析がなされている。なお、本博士学位論文の内容を構成する研究は、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認(承認番号：2012-186(2);2014-264;2014-243)を得ている。

- 3.3 本論文の成果の明確性・妥当性： 本論文では、研究課題として設定した刺激条件と錯覚特性の関係について、運動錯覚の生起率、明瞭度が有意に高まる刺激条件、また、その際の反応時間、最大錯覚角度が明確に示されている。得られた結果についても先行研究の知見や神経生理の観点から論理的な考察がなされており、運動錯覚を工学的に利用するための基礎知見として、妥当性のある結果が得られている。
- 3.4 本論文の独創性・新規性： 本論文は、以下の点において独創性・新規性がある。
 - 3.4.1 本論文では、人の感覚神経機能の解明の手段として用いられることが多かった腱振動刺激による運動錯覚現象を、工学的に応用することを目的とし、その基礎知見の取得を目的と置いた点について、独創性があるといえる。また、刺激条件に対する錯覚特性を明らかにし、その知見をもとに複数箇所と同時に刺激提示可能な装置を独自に開発した上で実験を実施した点についても、独創性が高いと考えられる。
 - 3.4.2 本論文では、ヒトの運動錯覚の生起率、明瞭度を最大化する振動条件について、複数の要因に着目して検討を行っている点、また、指、肩関節において刺激条件を細かく変更した際の錯覚特性を明らかにしている点について、新規性が高いと考えられる。
- 3.5 本論文の学術的意義・社会的意義： 本論文は以下の点において学術的・社会的意義がある。
 - 3.5.1 本論文では、今までの研究において詳細には明らかにされていなかった人の運動錯覚現象について、その特性を物理的に計測が可能な刺激量と関係づけて評価した点において、新規性・独創性があり、学術的な意義があると考えられる。
 - 3.5.2 運動錯覚はリハビリテーション機器やバーチャルリアリティにおける運動覚提示機器としての利用が期待できる。本論文の成果である錯覚生起に適した条件を採用することによって、高い生起率で錯覚を生起させることが可能になる。また、その際の反応時間や最大錯覚角度が明らかになっている。これらの知見は、運動錯覚を工学的に利用する際の機器設計時の指針となることが期待できる点で、社会的意義が高いと考えられる。
- 3.6 本論文の人間科学に対する貢献： 本論文は、以下の点において、人間科学に対する貢献がある。
 - 3.6.1 本論文では、ヒトの運動錯覚特性を工学的に利用するための基礎的知見として、刺激条件に対するヒトの錯覚特性について、定量的な評価が行われた。本論文では、物理的に計測が困難であるヒトの錯覚特性について、刺激量と対応づけて定量的に明らかにしており、さらに、その結果が必ずしも刺激強度と1:1の対応で

はなかったことを示している。これらの点から、人の感覚特性に合った機器設計をするには、刺激量と感覚量との関係を詳細に明らかにすることの重要性を示唆しており、この点において、人間科学の発展に貢献するものと考えられる。

3.6.2 本論文では、筋肉の腱への振動刺激により、特定の受容器に刺激を提示することによって運動錯覚を生起させた。実際の運動知覚は複数の感覚モダリティからの感覚刺激が統合してなされるため、本研究で評価された運動錯覚特性は、特定の感覚刺激によって生じる運動知覚の特性であるといえる。これは、人の感覚刺激と知覚メカニズムの解明に寄与する知見であり、この点において、人間科学のさらなる発展に貢献するものである。

4 本論文の内容（一部を含む）が掲載された主な学術論文・業績は、以下のとおりである。

1. 梅沢侑実, 土井幸輝, 藤本浩志: 2014 肘伸展錯覚を誘発するための上腕二頭筋の腱への最適振動刺激条件, 日本感性工学会論文誌, 13 巻 2 号, 427-432 頁.
2. 梅沢侑実, 土井幸輝, 藤本浩志: 2016 肩関節水平屈曲錯覚の生起に適した振動周波数条件と錯覚特性, 日本感性工学会論文誌, 15 巻 3 号, 313-318 頁.
3. 梅沢侑実, 土井幸輝, 藤本浩志: 2016 振動刺激による人差し指屈曲錯覚の生起と錯覚特性, 人間工学, 52 巻, 2 号, 88-95 頁.

5 結論

以上に鑑みて、申請者は、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上