

令和元年6月19日現在

機関番号：82670

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21693

研究課題名（和文）肢位の違いが腱振動刺激による運動錯覚に与える影響の解明

研究課題名（英文）Does the joint angle influence the motion illusion evoked by tendon vibration?

研究代表者

大島 浩幸 (Ohshima, Hiroyuki)

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部開発第三部生活技術開発セクター・副主任研究員

研究者番号：20751126

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、腱振動刺激により生じる運動錯覚現象の自在な制御を可能にするために、振動刺激条件と運動錯覚現象の関係を体系化することである。従来の研究は明瞭な運動錯覚を誘発させるために最適な刺激の部位や方法が検討されており、刺激提示時の肢位の違いによる運動錯覚の質と量への影響については報告されていないことに着目した。研究の結果、刺激提示時の肢位の違いは、錯覚の鮮明度、伸展の角度、伸展の角速度の主観評価に影響を与えることが明らかになった。しかしながら、刺激提示時の肢位の違いは、錯覚の潜時と持続時間には影響を与えないことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

卓越した身体技能の習得は、スポーツや身体表現の分野だけでなく、スキルを要求されるあらゆる分野で避けては通れない。本研究の成果により、運動主体の運動感覚の伝達という運動学習における本質的な課題を解決する突破口となる可能性がある。従来の学習者の試行錯誤に依存する学習手法を脱して、スポーツ、リハビリ、技能伝承などあらゆる運動学習領域に対して新たな方法論の確立に向けた基礎的なデータを取得することができた。また、本研究で得られたデバイスは、バーチャルリアリティやハプティクス等の異分野での運動感覚提示デバイスとして広く波及することも期待される。

研究成果の概要（英文）：It is well known that vibrating the tendon of human limbs evokes the illusion of motion. There are no previous reports on the influence of joint angle in motion illusion evoked by tendon vibration. Therefore, we compared the motion illusion under two different joint angle by subjective assessment in three aspects: the strength of illusion, range of extension, and velocity of extension. The results showed that all three aspects were affected by the joint angle. In addition, we compared the motion illusion under two different joint angle in two more aspects quantitatively: the latency and duration. The results indicate that the latency and duration of the motion illusion were not affected by the joint angle.

研究分野：身体運動科学

キーワード：知覚運動協応 感覚運動変換 感覚受容器 深部感覚 感覚入力 関節運動 姿勢 知覚運動学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間は現実に運動しなくても、腱に振動刺激を与えることで一人称的に運動した感覚を知覚することが知られている。この現象を運動学習に利用すると、目標とする運動を実施した場合の運動感覚が得られるため、運動学習における道しるべとすることが可能となり、従来の試行錯誤的な運動学習から脱却できる可能性がある。しかしながら現状では、腱振動刺激に対する運動錯覚現象の詳細な知覚特性が十分に解明されていないため、提示される運動感覚を自在に制御することが難しく、実用的な運動感覚提示手法の確立に至っていない。そこで本研究は、運動錯覚現象の知覚特性を詳細に検討し、運動錯覚現象の定量的な制御を可能にする振動刺激条件を体系化することを目指して開始された。

2. 研究の目的

本研究の目的は、腱振動刺激により生じる運動錯覚現象の自在な制御を可能にするために、振動刺激条件と運動錯覚現象の関係を体系化することである。従来の研究が明瞭な運動錯覚を誘発させるための最適な刺激の部位や方法が検討されてきた。身体各セグメントに生じる重力トルクは肢位に依存するため、運動錯覚の量と速度は刺激提示時の身体各関節の肢位に影響を受ける可能性がある。そこで本研究では、運動錯覚の誘発量を制御するために必要となる重要な知覚特性の一つである運動錯覚の質と量に対する肢位の違いの影響を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、平成 28 年度から平成 30 年度の 3 年間で実施した。初年度は、振動刺激の各種パラメータを定量的に制御可能な小型の腱振動刺激提示装置、および刺激提示部の各関節の肢位を定量的に制御可能なアームレスト部、加速度ピックアップから刺激量を定量化するための計測部からなる刺激量定量化装置の開発を行い、その装置の運動錯覚誘発装置としての有効性を被験者実験により確認した。平成 29 年度は、開発した装置を用いて刺激提示時の肢位が運動錯覚の量と速度に与える影響を検討した。最終年度は、平成 29 年度と同様の実験系を用いて、刺激提示時の各関節の肢位が運動錯覚の潜時と持続時間に与える影響を検討した。以上の実験で明らかになった結果から、振動刺激条件とそれにより生じる運動錯覚の関係を体系化した。

4. 研究成果

(1) 先行研究における実験系の問題点

従来の研究では、刺激量を加振機の無負荷時の基礎特性により定量化していた。しかし、この方法の問題点として以下の 2 点が挙げられる。1 点目は、験者が加振機の接触子を実験参加者の刺激提示部に押し付ける際に、験者が把持することで生じる振動の吸収・抑制が考慮されていない点である。2 点目は、接触子が刺激部位を押し込むことで生じる負荷が考慮されていない点である。そこで、新たに接触子が刺激部位を押し込む量を定量化する方法を考案し、その妥当性を検討した。

実験系

本研究では、取回しが容易なシステム構成が求められるため、手のひらサイズの加振機 (WaveMaker-Mobile, 旭製作所) を用いた。加えて、従来研究で一般的に用いられてきたレーザ変位計の利用も実験系の制約上困難であったため、図 1 に示すように接触子に加速度ピックアップを貼付し振動を定量化する方法を検討した。

振動周波数は 100 Hz とし、接触子の先端にレーザ変位計のレーザを照射し 1000 Hz で接触子の振動を計測した。同時に接触子に加速度ピックアップを貼付し、同じく 1000 Hz で加速度を計測した。加速度の 2 回微分により変位を算出し、レーザ変位計での計測データと比較した。

結果

振動子の振動に起因する加振機本体の振動が発生するため、正確な振幅推定が困難であった。

(2) 刺激量定量化装置の開発

(1) の実験で明らかになった課題を解決するために、刺激量定量化装置を開発した。この装置に求められる主要な仕様は 3 点である。1 点目は求める刺激提示箇所には正確な刺激提示が可能で、2 点目は加振機の振動が求める刺激提示箇所以外に及ばないこと、3 点目は接触子の身体への押し込み量を定量化可能なことである。

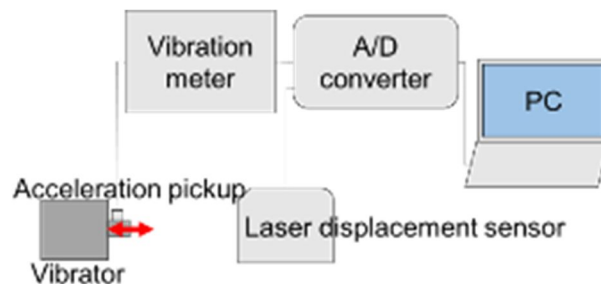


図 1 加速度からの接触子の振幅推定精度の検証のための実験系



図 2 刺激量定量化装置．正面（左），側面（中），天面（右上），加振機固定部（右下）

開発装置の基本仕様

装置は，図 2 に示すように 3 つの部分で構成される．

- 加振機架台
- アームレスト
- 計測部

①，②は共にアルミフレームで組んだ．振動絶縁のためにそれぞれ別パーツとした（特注品，NIC オートテック）．また，振動抑制のために複数の梁を渡し，加振機を固定する芯棒は加振機が固定された方向以外の三方向から梁を渡すことで振動対策を行った．加振機は固定する芯棒を上下にスライドさせることで高さが可変であり，刺激部位の微細な調整が可能である．の計測部は，加速度ピックアップ（710-D，EMIC）の値は振動計（UV-16，Rion）経由で A/D 変換器（USB-6000，National Instruments）を経て PC に収録される．

開発装置の妥当性の検証

振動抑制効果の検証

振動は，100 Hz，1.2A で 10 秒間とした．図 3 に示すように，接触子は鉛直方向 1 軸，加振機筐体，加振機架台，アームレストは 3 軸の加速度を計測した．

その結果，図 4 に示すように接触子の振動に対して各部位の振動は微小であり，加振機の振動が他の部位に影響しないことが確認された．

運動錯覚誘発効果の検証

実験参加者

40 歳の健常女性 2 名と 33 歳の健常男性が参加した．実験参加者には実験参加の前に書面でインフォームドコンセントを行った．本研究は所属機関の倫理審査を経て実施された．

実験刺激

実験参加者の利き腕（右腕）の上腕二頭筋腱に 100 Hz で 30 秒間の振動刺激を与えた．実験参加者はアイマスクとイヤーマフを装着し，他器官からの刺激を遮断した．

実験手順

- i. 実験に先立ち，インフォームドコンセントを実施
- ii. 実験参加者に，実際に運動することなく肘関節の伸展を知覚することを伝達
- iii. 刺激提示後，実験参加者は錯覚の有無を回答

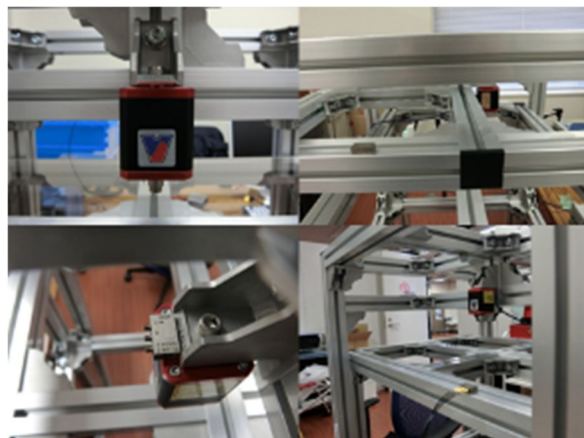


図 3 振動抑制効果の検証のための実験系．接触子（左上），加振機筐体（左下），加振機架台（右上），アームレスト（右下）．

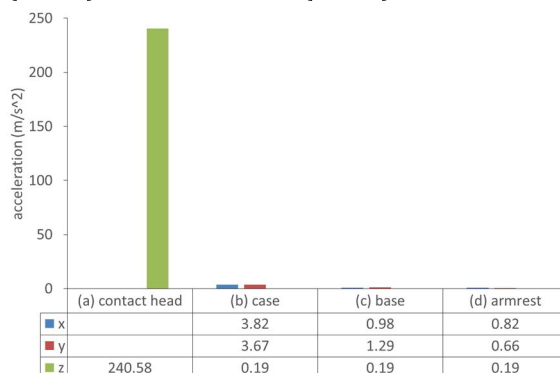


図 4 振動抑制効果の検証結果

表 1 錯覚誘発機能の検証結果

| 実験参加者番号 | 錯覚の有無 |
|---------|-------|
| #1 | 有 |
| #2 | 有 |
| #3 | 有 |

その結果，表 1 に示すように全 3 名の実験参加者が錯覚を生じたと回答した．

無負荷時と負荷時の振幅の定量化の検証検証のため，無負荷時として 1 つ目の実験データ，負荷時として 2 つ目の実験データを用いた．その結果，負荷時は無負荷時に対して 90.1%の加速度値を示した．

以上から，開発装置に求められる 3 点の仕様を満たすことが確認された．

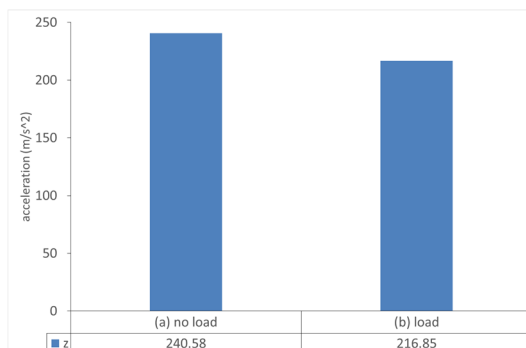


図 5 無負荷時と負荷時の加速度データ

(3) 主観評価

実験参加者

40 歳の健常女性 2 名と 33 歳の健常男性が参加した．実験参加者には実験参加の前に書面でインフォームドコンセントを行った．本研究は所属機関の倫理審査を経て実施された．

実験刺激

(2) に示した刺激量定量化装置を用いて，実験参加者の利き腕（右腕）の上腕二頭筋腱に 100 Hz で 30 秒間の振動刺激を与えた．実験は，肘関節 0°屈曲条件（条件 A）と 30° 屈曲条件（条件 B）の 2 条件で行った．実験参加者はアイマスクとイヤーマフを装着し，他器官からの刺激を遮断した．

実験手順

実験に先立ち，インフォームドコンセントを実施

実験参加者に，実際に運動することなく肘関節の伸展を知覚することを伝達

予備実験を実施し，運動錯覚が生じる適切な振幅と部位を確認

2 つの肢位条件で刺激を提示

条件 A: 肘関節 0°屈曲（図 6 左）

条件 B: 肘関節 30°屈曲（図 6 右）

刺激提示後，4 問の主観評価を実施

- i. 錯覚の有無
- ii. VAS による錯覚の鮮明度
(1: 動いた気がする, 5: はっきりと動いた)
- iii. 両条件間の伸展の角度の比較
- iv. 両条件間の伸展の角速度の比較

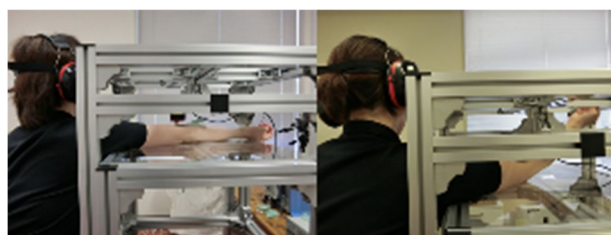


図 6 実験条件．条件 A（左），条件 B（右）.

結果

表 2 に示したように，3 名の全実験参加者が両条件で錯覚を生じたと述べた．3 名の内 1 名は条件 A で錯覚の鮮明度が 3 であり，他の 2 名は 2 であった．3 名の全実験参加者が条件 B で 5 であった．次に伸展の角度に関しては，3 名の全実験参加者が条件 A より条件 B でより大きく知覚した．最後に伸展の角速度に関しては，3 名の内 2 名の実験参加者が条件 A より条件 B でより高く知覚し，他の 1 名は両条件で同等であった．

以上から，肢位の違いは，錯覚の鮮明度，伸展の角度，伸展の角速度の主観評価に影響を与えることが明らかになった．

表 2 2 つの肢位条件下での錯覚の主観評価

| 実験参加者番号 | 錯覚の有無 | | 錯覚の鮮明度 | | 伸展の角度 | 伸展の角速度 |
|---------|-------|---|--------|---|-------|--------|
| | A | B | A | B | | |
| #1 | 有 | 有 | 3 | 5 | A < B | A = B |
| #2 | 有 | 有 | 2 | 5 | A < B | A < B |
| #3 | 有 | 有 | 2 | 5 | A < B | A < B |

(4) 客観評価

実験参加者

41歳の健常女性2名と34歳の健常男性が参加した。実験参加者には実験参加の前に書面でインフォームドコンセントを行った。本研究は所属機関の倫理審査を経て実施された。

実験刺激

2)に示した刺激量定量化装置を用いて、実験参加者の利き腕(右腕)の上腕二頭筋腱に100Hzで30秒間の振動刺激を与えた。実験は、肘関節0°屈曲条件(条件A)と30°屈曲条件(条件B)の2条件で行った。実験参加者はアイマスクとイヤーマフを装着し、他器官からの刺激を遮断した。

実験手順

実験に先立ち、インフォームドコンセントを実施

実験参加者に、実際に運動することなく肘関節の伸展を知覚することを伝達

予備実験を実施し、運動錯覚が生じる適切な振幅と部位を確認

2つの肢位条件で刺激を提示

条件A: 肘関節0°屈曲(図6左)

条件B: 肘関節30°屈曲(図6右)

実験参加者に刺激提示中に錯覚が生じたら押し釦(C2U, オムロン)を押すよう求めた。釦はA/D変換器を通じてPCに保存された。電圧は釦を押さないと0V, 押すと1.5Vが記録された。

結果

表3に示したように、3名の全実験参加者で錯覚の潜時、持続時間ともに両条件間で有意な差は認められなかった。以上から、肢位の違いは、錯覚の潜時、持続時間に影響を与えないことが明らかになった。

表3 2つの肢位条件での錯覚の潜時と持続時間

| 実験参加者番号 | 錯覚の潜時 | | 錯覚の持続時間 | |
|---------|-------|-----|---------|--------|
| | A | B | A | B |
| #1 | 9秒 | 7秒 | 刺激終了まで | 刺激終了まで |
| #2 | 15秒 | 5秒 | 刺激終了まで | 刺激終了まで |
| #3 | 9秒 | 11秒 | 刺激終了まで | 刺激終了まで |

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

大島 浩幸、後濱 龍太、武田 有志、島田 茂伸、VE酔いを考慮した注視点に追従する雲台の至適速度の検討、ヒューマンインタフェース学会論文誌、査読有、19巻2号、185-188
DOI: https://doi.org/10.11184/his.19.2_185

[学会発表](計 7 件)

大島 浩幸、島田 茂伸、腱振動刺激による運動錯覚を用いた新規運動学習手法の確立に向けた基礎的検討、ニューロリハビリテーションシンポジウム2018、2018

Hiroyuki OHSHIMA, Shigenobu Shimada, Does the limb position influence the motion illusion evoked by tendon vibration?, The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'18), 2018

Hiroyuki OHSHIMA, Shigenobu Shimada, Does the limb position influence the motion illusion evoked by tendon vibration?, The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'18), 2018

Hiroyuki OHSHIMA, Shigenobu Shimada, Development of a system to quantify the depth of tendon stimulus for the illusion of motion achieved by a vibrator, The IUPESM World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering (WC2018), 2018

大島 浩幸、島田 茂伸、腱振動刺激による運動錯覚時の刺激量定量化装置の設計、日本スポーツ心理学第44回大会、2017

大島 浩幸、視線追従型雲台システムの開発、平成29年度SAITECオープンラボ、2017

Hiroyuki OHSHIMA, Shigenobu Shimada, Quantification of the depth at which the vibrator pushes the tendon to evoke the motion illusion, The 2nd Asian Conference on Ergonomics and Design (ACED2017), 2017

大島 浩幸、後濱 龍太、武田 有志、島田 茂伸、視線入力による雲台のパン・チルト制御手法の開発、日本人間工学会第57回大会

[その他]

報道情報：東京 JOBS - 人間の特性を活かしたものづくりを支える、MXTV、2017
大島 浩幸、山田 巧、人間・製品・環境の特性を包括した高付加価値な生活製品の開発・評価
の支援拠点を狙って - 特集 地域のものづくりと公設試験研究機関、労働の科学、依頼原稿、
73巻7号、402-405
DOI: <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021629044/>

6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：島田 茂伸

ローマ字氏名：Shimada Shigenobu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。