

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13908

研究課題名(和文) 先行刺激による反射的行動促進で実現するつまずき転倒リスク低減

研究課題名(英文) Risk reduction of human fall by using anticipatory tactile stimuli to facilitate reactive motion

研究代表者

岡本 正吾 (Okamoto, Shogo)

名古屋大学・工学研究科・講師

研究者番号：10579064

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)：把持力調整を題材として、先行皮膚刺激が反射的行動に働きかけるための条件を調査するとともに、類似の現象を足部・脚部でも生じさせ、歩行中のつまずきに対する回避行動を促す可能性を調査した。

把持力調整に関しては、把持物体に加わる外力が比較的小さく、把持力増加の開始に100 ms以上の遅延を要するような条件では、皮膚への先行刺激は、把持力調整を促進する効果がみとめられた。一方で、遅延が、100 ms以下である場合、先行刺激による促進効果は認められなかった。

歩行中のつまずきについては、つまずきを任意に誘導する実験を行い、つまずき易い状態が発生することを示した。

研究成果の概要(英文)：On the subject of grip adjustment, we investigated the conditions for which anticipating tactile stimulation effectively facilitates human reactive actions. Furthermore, the same or similar principles were attempted to apply for avoidance behavior against fall by stumbling.

The anticipating tactile stimuli facilitated the prehension correction when the reactive increase in grip force begins 100 ms or longer after the commencement of perturbative force to the handle. In contrast, the tactile stimuli exhibited little influence on reactive motion for the rapid perturbation to the handle.

We also conducted walking trials on a treadmill while restricting ankle motions with taping. Certain indices presented that the subjects were more at risk of falling. Some modifications of experimental conditions remain to be studied before we test the function of anticipating tactile stimuli.

研究分野：ハプティクス

キーワード：運動 把持 歩行 皮膚刺激 安全

1. 研究開始当初の背景

2013年に、申請者らは指への先行触刺激により無意識的に把持物の落下を防止する把持力調整が促進されることを発見した [Okamoto, IEEE World Haptics, 2013]. 把持物体への振動が増加するわずか 50 ms 前に、把持指の腹に機械的振動刺激を提示することで、本来~130 ms を要する把持力調整の遅延が~20 ms 減少した。先行する触刺激によって認知を伴わない反射的行動が促進されることはこれまでに報告がなかった。先行刺激による反応時間の短縮は知られた現象であるが、それらは認知を伴う単純応答課題および選択課題の応答の遅延が、先行刺激によって短縮されることを示していた。

障害物の無い平坦な地面における転倒の原因としてもっとも多いのは、足趾を地面に引っ掛けることによるつまずきである。つまずき防止には、歩行中のクリアランス(足底と地面の最短距離)を保つことが基本である。つまずきからの反射的復帰行動は、第一に足の送り出しを継続するための足部背屈と膝屈曲から成る。何らかの方法によって、この反射的復帰行動を促進できれば、転倒防止に寄与すると期待される。

2. 研究の目的

課題 1) 把持力調整を題材として先行刺激によりどの神経回路を事前に賦活することが反射的行動の促進(遅延の減少)につながるかを特定する。先行刺激を提示する体の部位を変え、刺激する神経回路を変えながら、把持力調整の促進を観察することにより、これを実現する。

課題 2) 先行刺激によりつまずき刺激に対する復帰反応が促進されることの実証を、その条件(事前刺激の位置・タイミングなど)を特定しながら実現する。また、そのための実験環境を構築する。

3. 研究の方法

3.1 把持力調整を題材として反射的行動を促進するための先行刺激の特定

図1の装置を用いて、拇指・示指に把持されているハンドルに不意の振動刺激(上方向に引っ張る)を与えた。ハンドルには、指腹を刺激するための振動子を内蔵した。これとは別の身体部位にも振動刺激子を配置した。

振動を開始する直前(既に実績のある 50 ms を中心に探索を別途行う)に、先行信号として、皮膚刺激を提示した。そして、その後の振動的外力に対する把持力調整を計測した。計測には、ハンドルに内蔵された力覚センサおよび、ハンドルを駆動するモータのエンコーダを用いた。モータへの指令およびデータ計測は、DAQ カード(PCI-6221, National Instruments)により 10 kHz のサンプリング周期で行った。

把持ハンドルには、高精度のロードセルが搭載されており、指とハンドルの間に掛かる

作用力の内、把持方向および振動方向に加わる力を計測した。

3. 2 脚・足部への先行刺激によるつまずきからの回避行動の促進

トレッドミル上で歩行中の遊脚期に底屈刺激もしくはつまずき易い条件を与え、反射的な復帰行動を計測した。このとき、下腿や前足部への先行皮膚刺激の有無で、被験者の反射的行動が異なるかどうかを観察する。

4. 研究成果

4. 1 把持力調整を促進する振動触刺激の条件

図2に把持力増加の観察実験における全試行での遅延の平均値と標準偏差を刺激条件ごとに示す。把持力増加の遅延は、振動のみの条件(条件2)において顕著に大きかった。この条件において、遅延の平均値は 229 ms であり、この値は、振動触刺激の開始時からの遅延として換算すると 279 ms となる。これが、振動刺激に対する随意的な応答の遅延である。次に、荷重のみの条件(条件1, 平均値: 139 ms)が大きく、荷重と振動の条件(条件3と4, 平均値: 116, 117 ms)がそれに続いた。条件3と4における遅延の差はほとんど無かった。すなわち、振動触刺激による、20 ms 程度の促進が確認された。条件3と4の遅延は、随意的な反応時間に比べて十分に早い反応であり、条件2-4では、被験者の随意的な応答が寄与していたと考える余地は少ない。図3に、ある試行でのハンドルの動きおよびハンドルに作用する力、先行刺激の様子を例示する。

図4に、ハンドルへの振動的荷重を変化させた場合に、先行する振動触刺激の効果を示す。振動的荷重が小さい場合、先行刺激は有意に把持力調整に作用し、把持力増加の開始

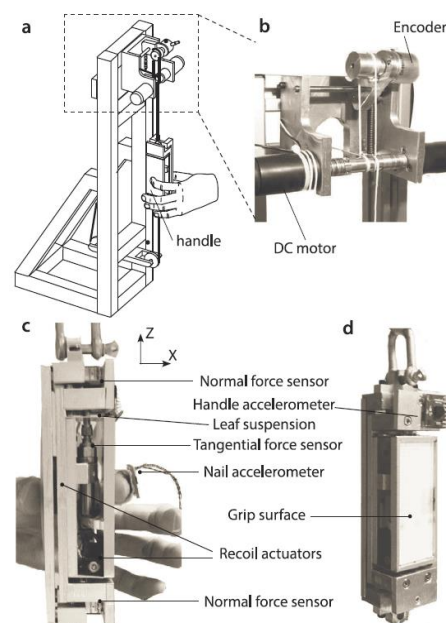


図1 実験装置

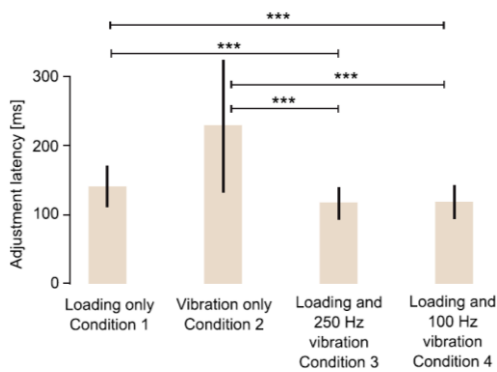


図 2 振動的刺激の後に生じる把持力増加
先行刺激の遅延。先行刺激の有無による比
較。***: $p < 0.001$.

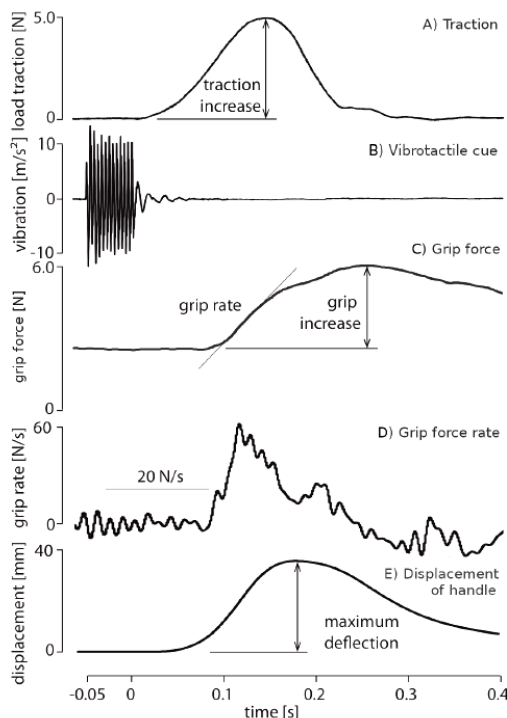


図 3 振動刺激および把持力変化の例

を早めた。例えば、最も緩やかな振動刺激である Traction level 5 のときは、先行刺激によって平均 7 ms の促進が認められた。一方、最も急速な振動刺激である Traction level 1 のときは、先行刺激の効果は認められなかった。振動刺激が十分に急峻である場合には、先行刺激による反応促進は生じないと言える。

先行刺激による反応課題の成績向上を説明する一つの理論に、Race model があるが、実験結果がこれに該当するかどうかを統計的に検証した。その結果、把持力調整の促進は、Race model で説明できる以上であり、促進を説明する原理は他に存在することが示唆された。

4. 2 歩行中につまずきを生じさせる実

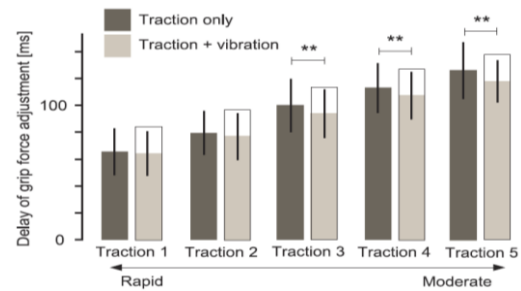


図 4 異なる振動強度下での先行刺激の効果
の比較。**: $p < 0.01$.

験

トレッドミルでの歩行中につまずきを生じさせる、もしくは生じやすくなる統制として、前脛骨筋および腓腹筋の収縮を拘束する目的で、下腿にテーピングを施す方法 [Ullauri, IEEE ICORR, 2015] を試した。その結果、遊脚期の足部が底屈傾向になり、つまずき易い状態に導くことができた。しかしながら、回避行動を観察するためには、実際につまずきを誘発する必要があるが、実験ではつまずきが生じるには至らなかった。つまずきを生じさせるためにはさらなる工夫が必要であり、継続して取り組む。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- Shogo Okamoto, Michael Wiertelwski, and Vincent Hayward, Anticipatory vibrotactile cueing facilitates grip force adjustment during perturbative loading, IEEE Transactions on Haptics, vol. 9, issue 2, pp. 233-242, 2016. (査読あり)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ:

http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 正吾 (名古屋大学, 大学院工学研究科, 講師)

研究者番号: 10579064

(2) 研究分担者

関 和彦 (国立研究開発法人国立精神・神経
医療研究センター, モデル動物開発研究部,
部長)

研究者番号 : 00226630