

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：93901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26650177

研究課題名(和文)微小振動付与による操作性向上効果のメカニズムの解明

研究課題名(英文)Effect of the Low-Amplitude Oscillation Applied to the Control Device under Hypofunction in Muscle Spindles

研究代表者

向江 秀之(MUKAE, HIDEYUKI)

株式会社豊田中央研究所・研究推進部 グループ連携室・主任研究員

研究者番号：00374091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：我々のこれまでの研究により、操作デバイスに微小振動(わずかに感じるレベル)を付与し、デバイスを介して操作の主働筋をわずかに刺激することにより、トラッキング作業の精度が向上する場合があることが分かった。そこでこの効果を汎用的に利用するために、本研究では正の効果が得られる振動条件と、そのメカニズム(筋紡錘に確率共鳴現象が生じ、その機能が向上した効果と仮定)の解明を目的とした。実験の結果、筋紡錘のみ機能低下している場合に操作精度が低下したことから、正の効果に筋紡錘が関与していること、そして振動条件には、操作の主働筋のある部位の共振周波数が含まれる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：For the elderly people whose motor functions have decreased, it is important to find suitable methods for improving operation accuracy of the vehicle or machine. From our previous research, the accuracy of tracking operation was significantly improved by applying the suitable oscillation to the control device. We hypothesize it is caused by "the stochastic resonance phenomenon" in muscle spindles of the agonist muscles. To support our hypothesis, we evaluated the effects of the low amplitude oscillation applied to the control device under temporary hypofunction in the muscle spindles.

研究分野：人間工学

キーワード：筋紡錘 確率共鳴 振動 操作

1. 研究開始当初の背景

機器の操作において振動などのノイズは、操作のふられや手の痺れによる不快感など、これまで操作を阻害するものと考えられてきた。しかし近年、ヒトが感じない強さの微小な振動や電気などのノイズを皮膚に加えると、その部位の触覚が敏感になり¹⁾、さらに足裏への微小な刺激により身体のバランス制御が改善され、重心動揺が減少する²⁾などの正の効果が報告されており、ヒトの感覚など非線形なシステムにおいて、適度な強さのノイズ刺激は感覚を増強する効果(確率共鳴現象)があることが示唆されている。

このノイズ付与による感覚増強効果が機器の操作においても生じ、操作性や精度が向上するならば、手術ロボットのように繊細な操作が要求される作業や、加齢による感覚機能低下により、慣れ親しんだ機器の操作を難しく感じるようになった高齢者への有益な支援技術になると考えられる。

さらに、操作デバイスへのノイズ付与にてその効果が得られれば、身体に刺激装置を取り付ける必要が無いため、実用性やコスト面でも有利である。言い換えると、ノイズという不要なものを用いて、ヒトの潜在的な能力を引き出す、新しい発想の支援技術としての可能性があると考えている。

そこで申請者らは、操作デバイスに微小な振動を付与することにより、操作精度が向上する場合があることを実験的に明らかにしてきた³⁾。

2. 研究の目的

本研究では、上記の微小振動付与の効果を汎用的に利用するために、以下を目的とする。

1) 正の効果が得られる振動条件の抽出

2) 正の効果のメカニズム(筋紡錘の寄与)の解明。なおここでは、操作部位の筋に振動刺激が伝わることにより、筋紡錘に確率共鳴現象が生じた効果と仮定している。

3. 研究の方法

1) 正の効果が得られる振動条件の抽出

操作の主働筋がある前腕の共振周波数など複数の振動(10, 20, 40Hz)を操作デバイスに付与し、トラッキング作業の成績を比較した(被験者8名)。

図1Aに本実験に用いた操作デバイスを示す。被験者正面にディスプレイがあり、把持するグリップ(35mm)を右腕の正面に配置し、右前腕の回内、回外動作にて操作した。その回転角は、ディスプレイ上の追従マーカーの水平移動に変換して表示した(図1B参照)。トラッキング作業の目標マーカーは、ディスプレイ上にて回転角 $\pm 30\text{deg}$ の範囲を一定速(5deg/s)にて左右に往復した。

被験者はグリップ回転にて追従マーカーを操作し、目標マーカーに重ねた状態を維持した。この2つのマーカーの偏差を作業成績(追従誤差)とし、サンプリング周期60Hzにて記録した。振動は、グリップの回転方向に付与した。

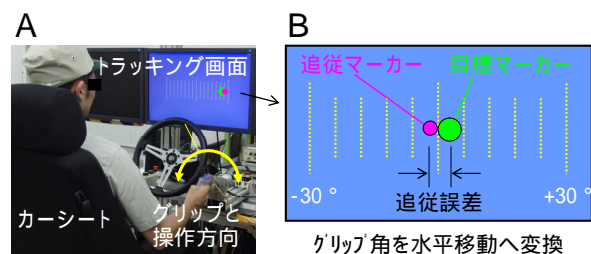


図1 A: 実験装置の外観、B: トラッキング作業の画面

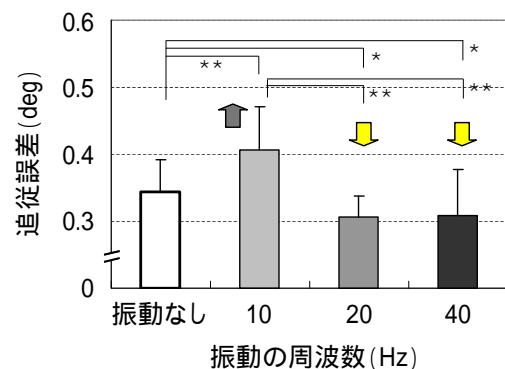


図2 グリップ回転速度5deg/s時の、追従誤差の周波数条件間比較(N=8の平均値と標準偏差*:p<0.05 **:p<0.01)

実験の結果を図2に示す。振動付与なしと比較して、前腕の共振周波数(20Hz~40Hz)の付与にて追従誤差が減少し、操作精度が向上した結果を得た。

2) 筋紡錘の寄与(メカニズム)の解明

微小振動付与の効果のメカニズム解明として、申請者の仮説である筋紡錘の感度向上による効果の検証実験を行った。

上肢の筋冷却により筋紡錘の機能を低下させ⁴⁾、その回復状態と操作成績との対応から、筋紡錘の寄与について考察する。

グリップに付与する振動は、振幅0.008Nmの20Hzサイン波(以下:振動あり)と振動なしの2条件とした。

筋冷却は、水温6℃の氷水に右腕を上腕まで浸し、15分間維持した。皮膚温は前腕の2ヶ所、深部温1ヶ所を計測した。冷却後、60秒間の休憩と60秒間のトラッキング作業を交互に14回行った。計測した追従誤差は、皮膚温を軸に整理した。

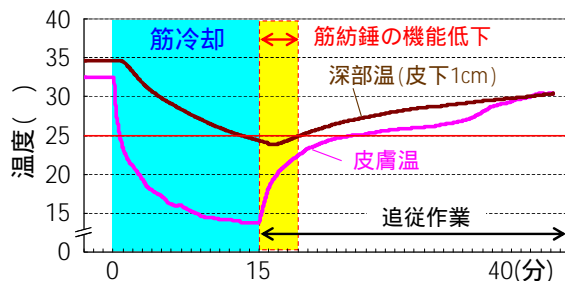


図3 筋冷却時の皮膚温と深部温の変化の例

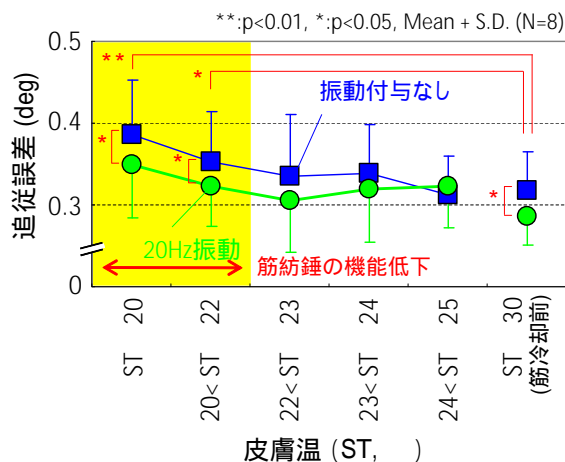


図4 皮膚温と追従誤差の対応(N=8の平均値と標準偏差 *:p<0.05 **:p<0.01)

被験者は年齢27~39歳の健康な男性8名である。図3に筋冷却時の皮膚温と深部温(皮下1cm)の変化の例を、図4に皮膚温と追従誤差の関係を示す。

図4より、振動あり/なし条件ともに、追従誤差は筋冷却終了後に増加し、皮膚温の回復とともに筋冷却前の水準に戻る傾向を示している。筋冷却前との比較では、筋紡錘のみ機能低下していると考えられる22以下(深部温25以下)との差が有意であり、微小振動付与の正の効果は、筋紡錘と関連があることが示唆された。

さらに各皮膚温にて振動あり/なしの差を比較した結果、22以下、および筋冷却前にて有意差が得られた(p<0.05)。このことから、筋紡錘の機能低下時においても微小振動付与の正の効果があることが示唆された。

4. 研究成果

本検討の結果、

- 1) 正の効果を得られる振動条件として、操作の主働筋がある上肢部位の共振周波数が含まれる可能性と、
- 2) 筋紡錘のみの機能低下時(深部温25以下)にて追従成績が低下したことから、操作精度向上に筋紡錘が寄与している可能性が示唆された。

<引用文献>

- 1) Collins JJ et al. Noise-enhanced tactile sensation. Nature, 383: 770, 1996
- 2) Priplata AA et al. Noise-enhanced balance control in patients with diabetes and patients with stroke. Ann Neurol, 59(1): 4-12, 2006
- 3) 向江秀之, 安河内朗. ステアリングへの微小振動付与が追従作業に及ぼす影響. 日本生理人類学会誌, 18(3): 115-124, 2013

- 4) 崎田正博ほか. 足底, 下腿個別冷却後の立位姿勢制御に関する研究. 理学療法科学, 21(4): 341-347, 2006

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Mukae H, Yasukouchi A., Effect of Low-Amplitude Oscillation Applied to the Control Device of a Tracking Operation, AHFE2014 conference book, Advances in Ergonomics in Design, Usability & Special Populations Part I, p179-184, 2014 (査読有)

[学会発表](計4件)

向江秀之, 確率共鳴現象の操作への応用 ~ 操作デバイスへの微小振動付与の効果 ~ , 第3回「触知覚原理に基づく触覚技術の産業・医療応用」研究会, 2015年11月24日, 名古屋工業大学, 愛知県・名古屋市

Mukae H, Yasukouchi A., Effect of the Low-Amplitude Oscillation Applied to the Control Device under Hypofunction in Muscle Spindles, 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, July 29, 2015, Las Vegas, USA

向江秀之, 安河内朗, ステアリング模擬操作への微小振動付与の効果-第4報 筋紡錘冷却による振動付与効果のメカニズム検討-, 日本生理人類学会第71回大会, 2014年11月1日, 神戸大学, 兵庫県・神戸市

Mukae H, Yasukouchi A., Effect of Low-Amplitude Oscillation Applied to the Control Device of a Tracking Operation, 5th International Conference on Applied Human Factors

and Ergonomics, July 22, 2014, Krakow, Poland

6. 研究組織

(1)研究代表者

向江 秀之 (MUKAE, Hideyuki)

株式会社豊田中央研究所・研究推進部
グループ連携室・主任研究員

研究者番号: 00374091