

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：32653

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500631

研究課題名(和文) 上肢訓練ロボットへの振動刺激による運動錯覚の応用

研究課題名(英文) Effect of a sensory-enhancing robot-aided rehabilitation system with tendon vibration

研究代表者

和田 太 (Wada, Futoshi)

東京女子医科大学・医学部・准教授

研究者番号：10341512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：健康者5名を対象に振動刺激が上肢ロボット訓練中に運動感覚を増強する条件を検討した。前腕の回内運動では回外筋、回外運動では回内筋への100～150Hzの振動刺激が効果的であった。次に健康者6名を対象に上肢ロボットによる前腕の回内外運動中に与えた振動刺激が運動関連野の脳内酸素動態に与える影響を多チャンネル近赤外線光測定装置で検討した。回外運動中に回内筋に100Hzの振動刺激を与え場合、受動運動及び能動アシスト運動共に6例中4例で運動感覚の増強が見られた。振動刺激によるOxy-Hbの増加は、受動運動では2例に、能動アシスト運動では、運動感覚の増強のあった4例に見られた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to develop a sensory-enhancing robot-aided rehabilitation system with tendon vibration for the upper limbs. The pilot study included 5 healthy subjects. Vibration stimuli at 100-150 Hz delivered to the dominant arm pronator enhanced the sensation of supination movement during robot-aided forearm pronation/supination exercise. Next study was performed to determine whether vibration could change a cortical activation pattern during robot-aided forearm pronation/supination in normal healthy subjects. Vibration stimuli at 100-Hz delivered to the pronator during supination of the forearm. We measured the cortical activation of the motor area during robot-aided exercise by means of a near-infrared spectroscopic imaging system. Vibration stimuli enhanced oxy-Hb increases in 4 of 6 subjects in the active-assisted mode, while the enhancement in oxy-Hb increases was observed only in 2 of 6 subjects in the passive mode.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：振動刺激 ロボット リハビリテーション 受動運動 能動アシスト運動 脳賦活 回内外運動

1. 研究開始当初の背景

(1)近年、脳卒中患者のリハビリテーション(以下リハ)にてロボット支援上肢訓練の効果が報告され、その有用性が注目されている。リハ訓練支援ロボットは下肢用よりも上肢用が安価であることから、マンパワー不足が懸念されるリハの現場での活躍が期待されている。

(2)脳卒中後の麻痺の機能回復には感覚刺激が重要な役割を果たしているが、上肢訓練支援ロボットでは感覚刺激が十分に提供できていない。我々は、ロボット支援上肢訓練中に感覚刺激として腱への振動刺激に注目した。以前より、腱に約 100Hz 程度の振動刺激を加えると運動を伴わなくとも運動を生じている感覚(運動錯覚)を生じ^①、運動関連野が賦活することが報告されている^②。この現象は他動運動でも確認されている^③。ロボット支援上肢訓練にこの振動刺激を併用するとその訓練効果が増強することが期待されるが、まだ十分明らかになっていない。

2. 研究の目的

(1)ロボット支援上肢訓練において腱への振動刺激が運動感覚を効果的に増強する振動刺激の条件(振動刺激の周波数、振動刺激の部位、刺激を行う運動)を健常被験者にて策定する。ロボットは鏡像での前腕の回内外運動を支援できる Bi-Manu-Track (Reha Stim, Germany)を使用する(図1)。

(2)ロボットによる前腕の回内外の運動中に腱へ振動刺激を加え、それによる効果は、腕の動く感覚の Visual Analog Scale (VAS) による主観的評価と脳内酸素の状態を計測できる多チャンネル近赤外線測定装置(NIRS: near-infrared spectroscopy)の測定による客観的評価で明らかにする。



図1 上肢訓練支援ロボット (Bi-Manu-Track)

3. 研究の方法

(1)他動での振動刺激条件の策定(肘屈伸)
 ①対象 健常被験者5名
 ②方法 各被験者の肘部の上腕二頭筋腱あるいは上腕三頭筋腱に振動子(人工喉頭ボイスコイルモーター)を置き、開発した振動刺

激システムで振動を与えながら、他動による肘の屈伸運動を行う(肘屈曲 60° ~0°、10°/秒)(図2)。運動感覚の増強の程度を主観的評価にて5段階(0:増強無し~5:とても増強した)で評価した。

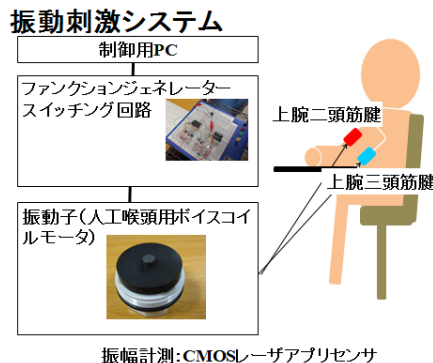


図2 振動刺激条件の策定(肘屈伸)

振動刺激は次の2条件で策定した。

- ・条件1 定電圧
周波数: 25, 50, 100, 150, 200, 300 (Hz)
 - ・条件2 定振幅(全振幅 0.5mm)
- 表1の周波数と電圧

周波数[Hz]	25	50	100	150	200	300
電圧[V]	1.8	1.9	2.8	8.7	9.0	9.0

表1 定振幅での条件

(2)ロボット支援訓練での振動刺激条件の策定(前腕回内外)

①対象 健常被験者5名
 ②方法 各被験者の利き手を振動刺激する。回内筋の刺激には円回内筋尺骨頭、回外筋の刺激には外側上顆に振動子をホルダーで固定する。60秒間のレスト、60秒間のBi-Manu-Trackによる回内外運動の課題からなるセッションを2回連続して行う(図3)。それぞれのセッションの最後に運動感覚の増強の程度を Visual Analogue Scale (VAS) にて(0:増強無し~10cm:とても増強した)評価する。

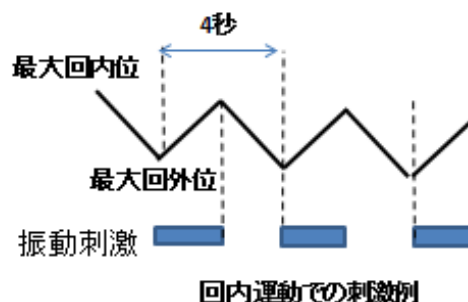


図3 振動刺激条件の策定(前腕回内外)

運動様式は、被験者がロボットに動きを任せる他動運動と、非利き手でロボットのハンドルを自ら動かして、利き手の動きを補助しながら利き手を動かすアシスト能動運動の2つについて検証する。検証する刺激部位、刺激を行う運動、刺激の周波数の組み合わせは表3の通り。

刺激部位	刺激を行う運動	刺激の周波数[Hz]
回内筋	回内	50, 100, 150
回外筋	回外	
回内筋	回外	
回外筋	回内	

表3 刺激の部位、運動、周波数の組合せ

(3) 振動刺激時の脳内酸素動態

①被験者 健康成人7名
 ②方法 (2) ロボット支援訓練での振動刺激条件の策定(前腕回内外)の結果を元に、各被験者の利き手側の回内筋にホルダーで固定した振動子で回外運動時にのみ100Hzで刺激を与える。セッションは5分間の安静後、Bi-Manu-Trackによる回内外運動60秒とレスト120秒のタスクを3回繰り返す。各セッションの最後に運動感覚の増強の程度をVisual Analogue Scale (VAS)にて評価する。また、上肢の運動関連野の部分に相当する大脳皮質の直上の頭部皮膚にNIRS (ETG-100, 日立メディコ)のプローブを左右24ch設置する。NIRSは各セッションの開始から終了まで連続で計測する(図4)。振動刺激とロボット支援訓練の様式の組み合わせを表4に示す。各条件の施行順はランダムとした。

計測したOxy-Hbのデータについて、3回のセッションを加算平均した。振動刺激による効果はOxy-Hbについて振動刺激ありの条件の値から振動刺激なしの条件の値を引いた(受動運動及びアシスト受動運動時)。

条件	振動刺激	ロボット支援訓練
1	なし	動きなし
2	なし	受動運動
3	なし	アシスト能動運動
4	あり	受動運動
5	あり	アシスト能動運動

表4 振動刺激とロボット訓練

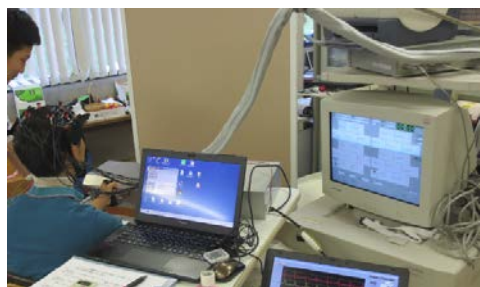


図4 計測風景

4. 研究成果

(1) 振動刺激条件の策定(肘他動屈伸時)

定電圧における運動感覚の増強は、肘伸展時においては上腕二頭筋腱への刺激、肘屈曲時においては上腕三頭筋腱への刺激で顕著であった(図3)。周波数では、肘伸展時は100、肘屈曲時は150Hzにピークがあった。

定振幅でも定電圧での結果と同様に運動感覚の増強は、肘伸展時においては上腕二頭筋腱への刺激、肘屈曲時においては上腕三頭筋腱への刺激で顕著であった。周波数では150Hzにピークがあった。

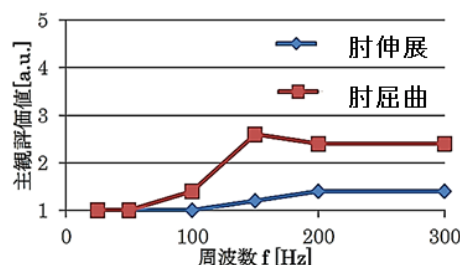


図5 定電圧時(上腕二頭筋腱刺激時)

(2) 振動刺激条件の策定(前腕回内運動時)

ロボットを用いた前腕回内外運動時に振動刺激で生じる運動感覚の増強は以下の通りであった。

他動運動時には、回内運動では回外筋への刺激が、回外運動では回内筋の刺激がより大きく増強した(図6)。刺激の周波数では100Hzでその増強効果が大きかった

一方、アシスト能動運動では、回外運動において回外筋への刺激の場合、より大きく増強したが、回内運動では刺激筋による違いは見られなかった(図7)。刺激の周波数では100(～150)Hzでその増強効果が大きかった

肘の屈伸の場合は、運動方向と拮抗する筋への刺激が有効であったが、前腕の回内外の運動では刺激筋と運動方向の関係はやや不明確な関係であった。その原因として、刺激部位が近接していることも原因の一つと考えられた。

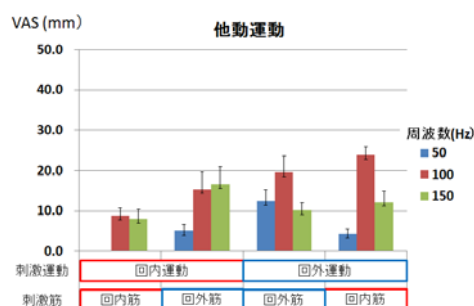


図6 他動運動時の運動感覚増強

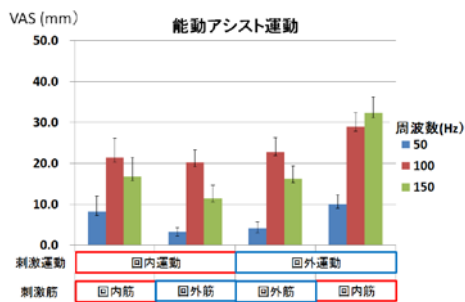


図7 アシスト能動運動時の運動感覚増強

(3) 振動刺激時の脳内酸素動態の変化
被験者の内1名は途中で研究参加を辞退され6名の実施となった。

① 運動感覚増強の増強

振動刺激を行っていない条件(条件1~3)では運動感覚の増強はなかった。受動運動に振動刺激を加えた条件(条件4)では、VASで 0.5 ± 0.4 の増強、アシスト能動運動に振動刺激を加えた条件(条件4)では、VASで 1.6 ± 1.4 の増強がみられた。しかし、2例では振動刺激による運動感覚の増強は視られなかった。振動刺激条件の策定(前腕回内運動時)に比べ、その増強の程度も小さかった。これにはNIRS用プローブの頭部への装着やプロトコル等の影響もあった可能性がある。

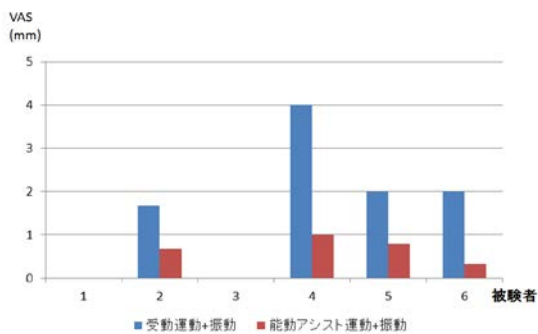


図8 運動感覚増強の増強
(3) 振動刺激時の脳内酸素動態の変化)

② 脳内酸素動態

振動刺激によりOxy-Hbの変化には個人差があった。受動運動では、振動刺激時によりOxy-Hbが上昇したのは2/6例、能動アシスト運動では4/6例であった。能動アシスト運動にてOxy-Hbの上昇が見られた4例では運動感覚増強の増強を伴っていた。

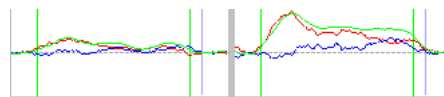


図9 アシスト能動運動時のoxy-Hb(赤:振動刺激時—振動刺激なし),被験者2

被験者	1	2	3	4	5	6
受動運動	→	↑	→	→	↑	→
能動アシスト運動	→	↑	→	↑		

表5 振動刺激時の各運動時のOxy-Hb上昇

<引用文献>

①Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PB. : Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution by muscle spindles to perception, Science. 175(4028): 1382-1384. 1972
 ②Naito E, Nakashima T, Kito T, Aramaki Y, Okada T, Sadato N: Human limb-specific and non-limb-specific brain representations during kinesthetic illusory movements of the upper and lower extremities. Eur J Neurosci; 25(11): 3476-3487, 2007
 ③Cordo PJ, Gurfinkel VS, Brumagne S, Flores-Vieira C: Effect of slow, small movement on the vibration-evoked kinesthetic illusion. Exp Brain Res; 167(3):324-334, 2005
 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計8件)

①和田 太、吉川真理、上肢ロボット支援訓練における振動錯覚が運動感覚に及ぼす影響—健常者での予備研究、第53回日本リハビリテーション医学会学術集会、2016年06月10日、京都国際会議場(京都)
 ②和田 太、ロボット支援訓練の現状、平成27年防府リハビリテーションカンファレンス、2016年2月06日、山口県立総合医療センター(防府)
 ③和田 太、ロボットが支援するリハビリテーションの現状と展望、第36回日本リハビリテーション医学会中国・四国地方会、2015年12月20日、岡山コンベンションセンター(岡山)
 ④和田 太、リハビリテーション訓練支援ロボットの臨床応用—課題と展望、LIFE2015、2015年9月08日、九州産業大学(福岡)
 ⑤松澤卓美、和田親宗、和田 太、上肢ロボット支援訓練への腱振動刺激の応用、第6回

日本ニューロリハビリテーション学会学術集会、2015年2月21日、秋田ビューホテル（秋田）

⑥ Futoshi Wada, Takumi Matsuzawa, Chikamune Wada, Development of a sensory-enhancing robot-aided rehabilitation system with tendon vibration, APSOM & ISRN 2014, 2014年10月28日～10月30日, Taipei (R. O. C.)

⑦和田 太、越智光宏、蜂須賀研二、ロボットリハビリテーションの現状と展望、第43回日本臨床神経生理学会、2013年11月7日、三翠園（高知）

⑧松澤卓美、和田親宗、和田 太、上腕への振動刺激による運動錯覚現象の創出に関する試み、第55回北九州医工学会学術者会議、2013年10月25日、北九州学術研都市産学連携センター（北九州）

〔図書〕（計0件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 太 (WADA Futoshi)
東京女子医科大学・医学部・准教授
研究者番号：10341512

(2) 研究分担者

和田 親宗 (WADA Chikamune)
九州工業大学・生命体工学研究科・准教授
研究者番号：50281937

(3) 研究協力者

松澤卓美 (MATSUZAWA Takumi)
吉川真理 (YOSHIKAWA Mari)
中津留正剛 (NAKATSURU Masataka)
中山陽子 (NAKAYAMA Yoko)