

肩・肘関節を協調させた運動の錯覚提示を目的とした装置開発

Device for Inducing Kinesthetic Illusion

that Coordinates Shoulder and Elbow Joint Movements

○ 梅沢侑実(早大) 土井幸輝(特総研) 中川剣人(東大) 藤本浩志(早大)

Yumi UMESAWA, Hiroshi FUJIMOTO, Waseda University
Kouki DOI, National Institute of Special Needs Education
Kento NAKAGAWA, The University of Tokyo

Abstract: Motor imagery is important in motor learning. It is also notable as an approach for sensorimotor rehabilitation. We focused on kinesthetic illusion as a training method for forming clear motor images. In this study, we developed an interface device for providing kinesthetic illusion, which is induced by vibrating muscle tendons, that coordinated shoulder and elbow joint movements. First, we produced a vibrating device with four vibrators. The vibration is generated by the rotation of motors having eccentric weights. Each motor can be independently controlled using an exclusive software. Second, we produced structures that attach the vibrators to muscle tendons firmly. Finally, we performed an experiment to evaluate the kinesthetic illusion device. The results showed that by using the device, it was possible to induce kinesthetic illusion that coordinates shoulder and elbow joint movements. This device can potentially be used for forming clear motor images during rehabilitation.

Key Words: Kinesthetic illusion, Motor imagery, Interface Device

1. はじめに

運動イメージとは、ある運動を実際の動きを伴わずに想起することをいう。運動イメージをする際には、運動実行時と同様の神経機構が賦活されるため⁽¹⁾、随意運動が困難な患者のリハビリテーションとしても着目されている。しかしながら、麻痺等で四肢が動かなくなった場合に、運動イメージが想起しにくくなるのが指摘されている⁽²⁾。そのため、運動イメージの想起を支援する方法を検討することが求められる。

そこで著者らは、四肢の関節運動に関わる筋に振動刺激を提示すると、当該関節が伸展、または屈曲するように感じる錯覚(以下、運動錯覚)⁽³⁾に着目した。例えば、肘関節を固定させた状態で、上腕二頭筋の腱に70-100Hz程度の振動刺激を提示すると、肘関節が伸展しているかのように錯覚する⁽³⁾。運動錯覚のメカニズムは、筋肉の伸張を検知する筋紡錘が、振動刺激に対しても応答することで生起するとされている⁽⁴⁾。この運動錯覚現象は、実際の運動を伴わずとも関節が伸展、屈曲する感覚が得られるため、運動イメージを想起する際の手がかりとなる可能性がある。

運動錯覚に関する先行研究では、単関節に着目した研究⁽⁵⁾が多い。運動錯覚が運動イメージ想起の支援となるためには、単関節のみではなく、複数の関節を協調させた運動の錯覚も提示可能であることが望ましい。2011年に行われたRollらの研究では、肩関節・肘関節を同時に刺激し、二関節を協調させた運動の錯覚が生起可能であることが報告されている⁽⁶⁾。しかしながら、Rollらの研究では、複数の関節を協調させた運動錯覚を生起させる詳細な振動刺激条件や、機械特性については明らかでない。また、実用化を目指した運動錯覚提示装置の開発については未だ検討されていない。

そこで著者らは、肩関節・肘関節を組み合わせた上肢の運動錯覚を提示可能な装置を開発し、肩関節・肘関節を協調させた運動錯覚を提示可能であるかを確認したので報告する。

2. 運動錯覚提示装置の開発

肩関節・肘関節を組み合わせた上肢の運動錯覚を提示するには、複数の振動子を持ち、振動を個別で制御可能な振動刺激提示装置が必要である。また、振動提示中は、肩・肘関節の屈伸筋の腱に振動子を押し当て、ずれないように固定しておくことも重要である。以下、振動刺激提示装置と振動子固定機構の開発について詳細を述べる。

2-1 振動刺激提示装置

肩・肘関節屈伸筋の腱の計4か所に同時に振動刺激を提示できるよう、4チャンネルの振動刺激提示装置を開発した。本体は電源ユニットと制御ユニットにわけ、電源ユニットは幅350×高さ55×奥行250[mm]、制御ユニットは幅240×高さ180×奥行290[mm]のアルミケースに格納した(Fig.1)。振動刺激は安価で小型であるDCモーターの軸に、偏心錘を取り付けることで、モーターの回転に伴い生成可能にした。4つのモーターの回転数を独立して制御するため、各モーターに制御モジュールを接続した(Fig.2)。



Fig.1 Vibrating device

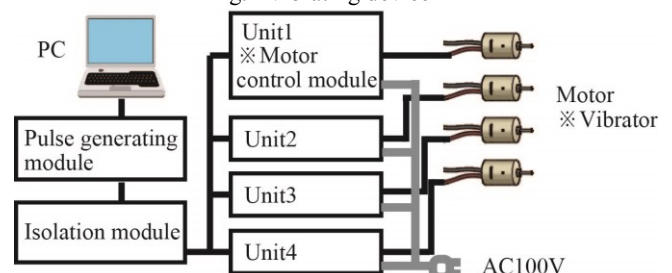


Fig.2 Control unit

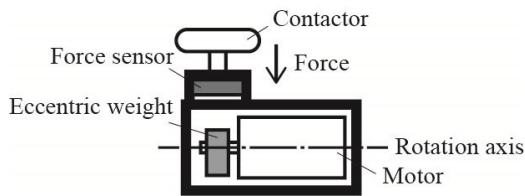


Fig.3 Mechanism of the vibrator

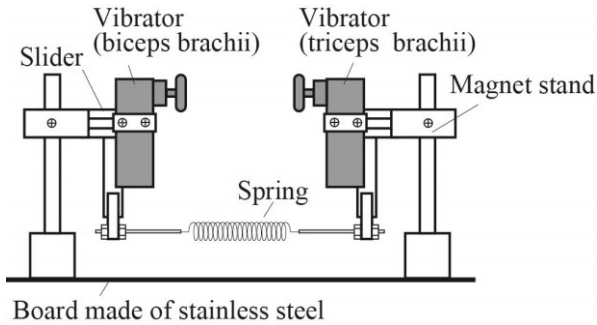


Fig.4 The structures which fix the vibrator

振動子の構造を Fig.3 に示す。モーターには直径 20mm アクリル円板を取り付け、皮膚との接触子とした。また、錯覚生起時の振動周波数と押し込み力を計測するため、接触子とモーターの間に力センサを取り付け可能にした。

2-2 振動子固定機構の開発

振動子固定機構の概要を Fig.4 に示す。著者らの予備実験により、上肢と固定面の接触面積が大きくなると錯覚が生じにくくなることが分かっている。また、振動中に上肢が少し動いてしまっても、振動子と腱との位置関係がずれない工夫が必要である。そのため、振動子の接触子(直径 20mm のアクリル円板)のみが皮膚に触れ、上肢が少し動いてしまった場合にも、その動きに付随して振動子が動くような機構を製作した。具体的には、ステンレス板の上にマグネットスタンドをたて、スタンドに滑らかに動くスライダを設置した。スライダにネジ穴を空け、振動子を固定できるようにした。また、2つの振動子をバネで繋ぐことにより、屈筋、伸筋の腱にあてる振動子を任意の押し込み力で固定し、実験参加者の腕の太さによって2つの振動子の幅を調節できるようにした。

3. 運動錯覚の評価実験

開発した運動錯覚提示装置を用いて、肩・肘関節の運動を協調させた錯覚を生起させる実験を行った。

3-1 方法

実験には5名(男性2名、女性3名、平均年齢 20.8 ± 1.8 歳)の協力を得た。実験参加者は椅子に座らせ、肩関節を 90° 外転させ 150° 水平伸展し、肘関節を 105° にした姿勢を保持してもらった。その状態で、肩の屈伸筋、肘の屈伸筋の腱にそれぞれ異なるタイミングで最大100Hzの振動を提示し(Fig.3)、水平面上に、手先で○(正円)、▽(正三角形)、□(正四角形)等の幾何学図形6種類を描く錯覚を生起させた。実験参加者には、描いたように感じた図形が、見本として示した図形とどの程度近似していたかをVAS(Visual Analog Scale)を用いて1-100%で評価してもらった。6種類の図形を描く錯覚を生起させる振動提示は3回連続で行い、全試行18試行であった。また、実験中は視聴覚情報が錯覚の生起に与える影響を除去するため、実験参加者にはアイマスクと耳栓を装着させた。

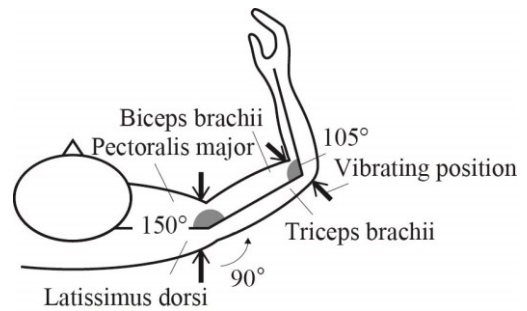


Fig.5 Vibrating muscle and experiment posture

3-2 結果と考察

ここでは、6種類の図形の中でも、正円、正三角形、正四角形の結果を述べる。正三角形を描く錯覚は最も近似度が高く、平均で60%程度であった。次に近似度が高かったのは正四角形を描く錯覚であり、近似度は50%弱であった。また、正円を描く錯覚は最も生起しにくく、近似度は20%に留まった。条件の中で正三角形の近似度が比較的高い理由は、肩、肘の関節が順に動く動作であったため、振動刺激による錯覚が知覚しやすいと考えられる。正円の近似度が低い理由は、肩、肘の関節の運動が滑らかに連動する必要がある、その切り替えが振動刺激によってうまく提示できなかったと考えられる。

4. 結論と今後の課題

本研究では、リハビリテーションにおける運動イメージ想起の支援となることを目指し、筋肉の腱への振動刺激により生起する運動錯覚を肩・肘関節で同時に提示可能な装置を開発した。運動錯覚提示装置は、4チャンネルの振動刺激装置と、振動刺激提示中に上肢の関節を固定させる機構によって構成され、この装置を用いて、肩・肘両関節による協調運動の錯覚生起の有無を調べた。その結果、近似度は低いものの錯覚生起することを確認できた。今後は、肩・肘関節を協調させた運動錯覚の内容について詳細に評価し、その再現性や精度について検証する必要がある。

参考文献

- (1) Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M, Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills, *J Neurophysiol*, vol. 74, No.3, pp.1037-1045, 1995.
- (2) 北地雄, 原島宏明, 宮野佐年, 脳卒中片麻痺者における歩行の運動イメージと歩行能力および歩行自立度との関連, *理学療法科学*, Vol.29, No.1, pp.25-31, 2014.
- (3) Goodwin, G.M., McCloskey, D.I., Matthews, P.B.C., The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents. *Brain*, 95, pp.705-748, 1972.
- (4) Ben Greenstein., Adam Greenstein., 大石実(訳), 神経の解剖と生理, *メディカル・サイエンス・インターナショナル*, 2001.
- (5) 友田達也, 上杉繁, 三輪敬之, 上腕への腱振動刺激と他動運動による過伸展錯覚の特性, *日本バーチャルリアリティ学会論文集*, Vol.14, No.3, pp.361-369, 2009.
- (6) Chloe Thyron, Jean-Pierre Roll., Predicting any arm movement feedback to induce three-dimensional illusory movements in humans. *J Neurophysiol*, 104, pp. 949-959, 2010.