

上腕伸展・屈曲の運動錯覚ジェネレータの開発

早大大学院 ○友田達也, 早大理工学術院 上杉繁, 三輪敬之

Development of Illusory Kinesthesia Generator for Extension and Flexion of Upper Arm

○ Tatsuya TOMOTA, Graduate School, Waseda Univ.
Shigeru WESUGI, and Yoshiyuki MIWA, Faculty of Science and Engineering, Waseda Univ.

Abstract: It is important to direct attention to kinesthesia to create a new physical action in sports and dancing. Authors focus attention on significance of kinesthesia, and utilize illusory kinesthesia by vibrating tendon to separate kinesthesia itself from physical action. To investigate how illusory kinesthesia is influenced by vibrating position and by passive rotation of the upper arm, and to find out a clue as to design of a system stimulating to create a kinesthesia, authors developed Illusory Kinesthesia Generator which vibrates two parts of upper arm and which moves the arm toward extending or bending direction, and carried out a pilot experiment. Results of experiment indicate several characteristic patterns as to dynamic change of kinesthesia.

1. はじめに

スポーツやダンスなどにおいて、パフォーマンスや表現力向上のために新たな身体運動を創出するには、身体の内的な運動の感覚を介して、運動イメージと実際の運動との関係を新たに生成することが重要である。このような問題に取り組むために、著者らは運動の感覚のはたらきに着目し、運動の感覚そのものを身体運動とは分離して変化させる方法として、腱振動刺激による運動錯覚と上腕の伸展方向への他動運動を組み合わせる装置をこれまでに開発した。そして、上腕を他動運動する際の上腕の初期位置、動かす回数、速度の変化による運動の感覚への影響について調べてきた¹⁾。

本研究ではさらに、伸展・屈曲の両方向への自由度を高めた運動の感覚の変化を、身体外部から促す方法について調べるために、錯覚刺激と他動運動の方向を自在に操作可能な運動錯覚創出ジェネレータを開発し、基礎的な実験を行ったので報告する。

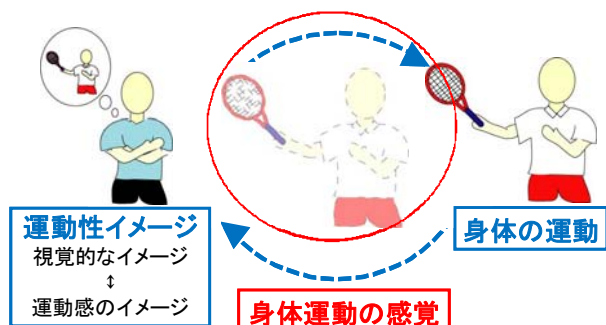


Fig.1 Relations among motor image, kinesthesia, and physical action

2. 運動錯覚創出ジェネレータの開発

運動の感覚そのものを実際の運動から分離する手法として、Goodwin らが発見した腱振動刺激による運動錯覚²⁾に着目した。筋肉の腱に 100 [Hz]程度の振動刺激を与え、反射による筋肉の収縮を妨害すると、あたかも筋が伸展したかのような運動錯覚が創出する。さらに、この運動錯覚が生じている腕を他動運動させることで運動の感覚が変化することも報告されており、運動の感覚のメカニズムに関する研究が進められている³⁾。本研究では、上腕の伸展・屈曲方向への運動の感覚を変化させるために、上腕二頭筋、上腕三頭筋に同時に与える振動刺激を制御し、伸展・屈曲方向に上腕を外部から他

動的に動かすことが可能なシステムの開発に取り組んだ。

システムの全体構成を図 2 に示す。本システムは、二部位に振動刺激を付与する振動刺激装置、腕を外部から動かす腕位置制御機構、そして運動の感覚の変化を表現する運動感覚追従機構から構成される。以下、詳細について述べる。

振動刺激装置は、錯覚を生じやすい振動刺激（振動数 70 ~ 100 [Hz], 振幅 1~2 [mm]) を、上腕の筋に正確に与える必要がある。そこで、偏心錘 10 [g]をモータ（最大連続トルク 14.2 [mNm], 最大連続トルク時の回転数 6030 [rpm]) で回転して振動する装置を開発し、三次元ジョイントと、バネを用いたサスペンションでフレームに固定することで、自在に位置を移動させ、腕に押し当てやすい機構とした。

腕位置制御機構として、肘と同軸で回転する小手に取り付けた紐を、ギヤードモータ（減速比 531:1, 最大連続トルク 6 [Nm]) と、ギア比が 2:1 のギアボックスで直径 100[mm]のプーリーを回転して巻き取る機構を開発した。また小手の回転軸には、エンコーダが取り付けられており、小手の角度を計測することができる。

運動感覚追従機構は、創出した運動の感覚にあわせて動かすよう指示した非錯覚側の腕の動きを計測するための装置である。小手と並列に置かれて、同軸上で回転する軸に取り付けた棒の角度をエンコーダで計測する。

また、PC 上からは、新たに開発した GUI によってモータコントローラ (iXs Research 社製, iMCs01)を制御することで、振動刺激装置 2ch の振動数、腕位置制御機構の目標位置、速度を変更することが可能であり、エンコーダ 3ch の計測も行う。

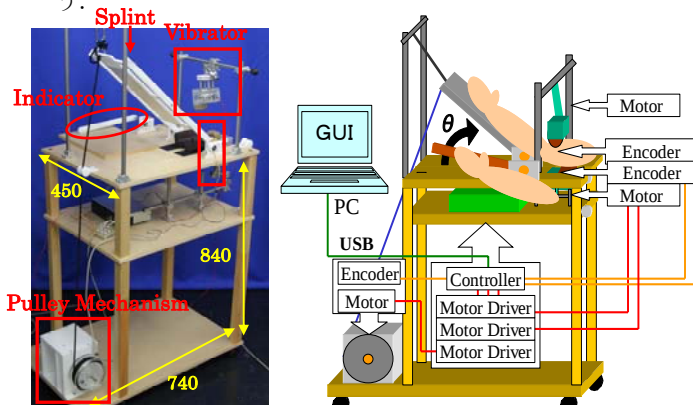


Fig.2 Schematic diagram of illusory kinesthesia generator

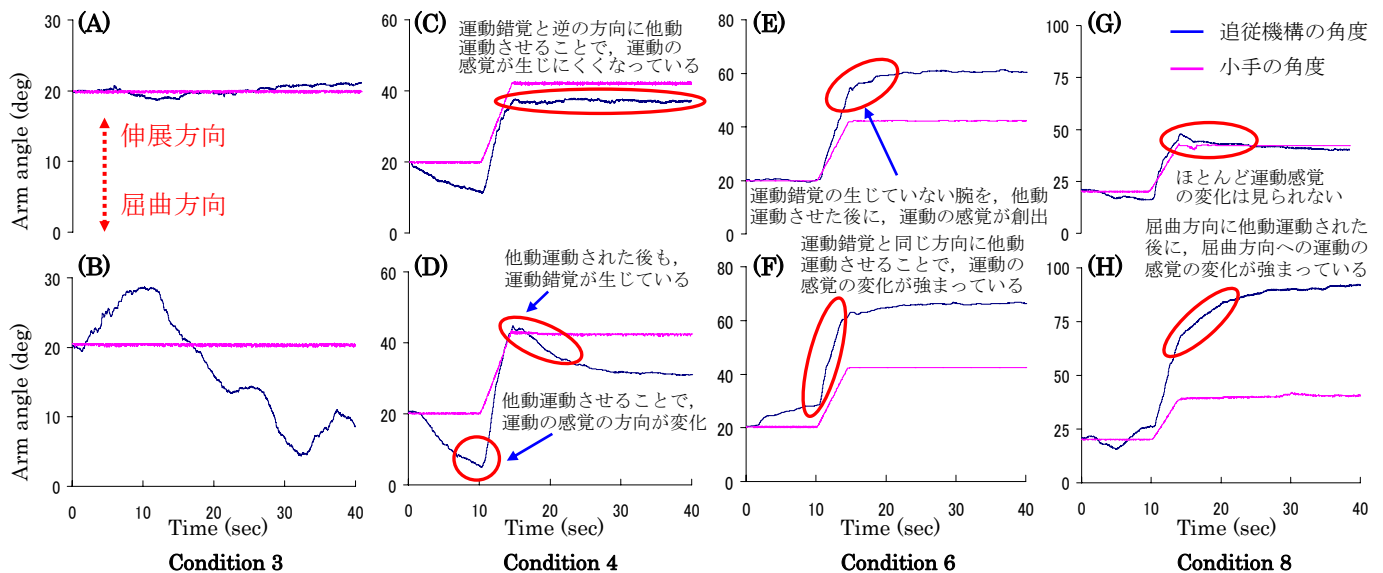


Fig.3 Temporal responses of illusory rotational position of upper arm and rotational position of indicator

3. 実験

開発したシステムを利用し、振動刺激を与える部位と、伸展・屈曲方向への他動運動の条件を変えることで、運動の感覚の変化を調べる実験を行った。閉眼状態における腕の伸展、屈曲方向への追従性についての調査と、コントロール条件として振動刺激のみを与える条件についても合わせて実験を行った。実験条件を表1にまとめる。

Table 1 Experiment conditions

	振動刺激を与える部位	小手の位置 [degree]	小手を動かす方向	小手の速度 [degree/s]	実験時間[s]
追従試験1	なし	20→40	屈曲方向	5	15
追従試験2	なし	20→0	伸展方向	5	15
条件1	上腕二頭筋	20	なし	0	40
条件2	上腕三頭筋	20	なし	0	40
条件3	二頭筋・三頭筋	20	なし	0	40
条件4	上腕二頭筋	20→40	屈曲方向	5	40
条件5	上腕二頭筋	20→0	伸展方向	5	40
条件6	上腕三頭筋	20→40	屈曲方向	5	40
条件7	上腕三頭筋	20→0	伸展方向	5	40
条件8	二頭筋・三頭筋	20→40	屈曲方向	5	40
条件9	二頭筋・三頭筋	20→0	伸展方向	5	40

以上の実験条件において、被験者4名（健康な成人男子、22～26歳）を対象に、各条件につき3回、左腕に振動刺激を与えた実験を行った。実験中は、錯覚が生じている左腕の運動の位置に一致するように、反対側の右手で計測するための棒を操作するように指示した。

追従試験1、2の結果から、閉眼状態における左腕と指示棒の角度の最大誤差の平均と標準偏差を計算すると、伸展では -0.3 ± 5.0 [deg]、屈曲では -0.4 ± 4.4 [deg]の精度で追従できることが分かった。紙面の都合により、屈曲他動運動の条件に着目した結果について主に報告する。条件3、4、6、8の結果の一例を図3に示す。

上腕二頭筋と上腕三頭筋に同時に振動刺激を与え、伸展・屈曲の錯覚を同時に生じさせた場合では、運動の感覚としては図3(A)の結果のように、運動の感覚の変化がほとんど生じない状態や、あるいは図3(B)のように、時間に伴って伸展、屈曲方向に運動の感覚が大きく変化する事例が見られた。このような伸展・屈曲両方向へ運動錯覚が生じている状態において、上腕を屈曲運動させると、図3(H)のように屈曲方向へ

の運動の感覚が強まる現象が、4人中3名で見られた。

錯覚の生じている方向と逆の方向に上腕を他動運動させると、図3(C)のように、始めは運動錯覚が生じているが、他動運動させた後には運動の感覚がなくなってしまう現象が見られた。または、図3(D)のように始めよりも弱い運動の感覚が生じる事例が見られた。

そして錯覚の生じている方向と同じ方向に、上腕を他動運動させる条件では、図3(E)、(F)の結果のように、始めに錯覚が生じている、生じていないに関わらず他動運動させた後に実際の運動よりも強い運動の感覚が生じる事例が多く見られた。

なお、伸展他動運動の条件においても、上記に述べたような屈曲他動運動の条件と同じような傾向が観察された。

4. まとめ

新たな身体運動を創出するための身体の運動の感覚の重要性に着目し、運動錯覚と他動運動を組み合わせることで、運動の感覚の創出を促す方法を考案し、運動錯覚創出ジェネレータを開発した。振動刺激の位置と他動運動の方向を外部から変化させることで、動きの方向に自由度のある運動の感覚を創出する可能性を確認した。この結果を踏まえ、運動の感覚の変化が身体運動や身体イメージに与える影響についてさらに検討していきたい。

謝辞

本研究の一部は、2006年度科学研究費補助金（課題番号18700127）によって行われた。

参考文献

- 1) 友田, 上杉, 三輪 : 腱振動刺激による運動錯覚創出インタフェースの開発; ヒューマンインタフェースシンポジウム2007 (2007)
- 2) Goodwin, G.M., McCloskey, D.I., Matthews, P.B.C.: The contribution of muscle afferents to kinesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents; Brain, Vol.95, Issue.4, pp.705-748 (1972)
- 3) Cordo, P.J., Gurfinkel, V.S., Brumagne, S., Flores-Vieira, C.: Effect of slow, small movement on the vibration-evoked kinesthetic illusion; Brain, Vol.167, pp.324-334 (2005)