

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：34309

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01439

研究課題名(和文) 運動錯覚と運動イメージを同期させたニューロリハビリテーションデバイスの開発

研究課題名(英文) Development of neuro-rehabilitation device with synchronized Kinesthetic Illusion and motor imagery

研究代表者

兒玉 隆之 (Kodama, Takayuki)

京都橘大学・健康科学部・准教授

研究者番号：80708371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、運動錯覚生成メカニズムに及ぼす運動イメージ能力の影響を解明し、ニューロリハビリテーション介入時に運動イメージ能力を高めながら、感覚運動機能を改善させる効果的な脳内神経機能再編成システムを構築することであった。振動刺激時の脳内神経活動についてMicrostate法解析を行った結果、錯覚誘起には運動イメージ能力が影響を及ぼすことが明らかとなった。また、脳卒中片麻痺患者に対して、我々が開発した脳波周波数パターン認識型システムを用いた介入を実施した結果、感覚運動関連脳領域の神経活動性に向上を認め運動主体感も改善を認めた。以上より、本システムの介入手法としての有用性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study was to clarify the effects that motor imagery ability has on the mechanism of generating a kinesthetic illusion and to clarify the functional differences between the two. A further goal was to also produce a therapeutic system for effective cerebral neuro-reorganization that improves sensorimotor function while enhancing movement visualization ability during a neurorehabilitation intervention. We analyzed cerebral neural activity microstates during a vibratory stimulus. As a result, motor imagery ability was shown to affect the inducement of the illusion of motion. In addition, as a result of implementing an intervention using a brain wave frequency pattern recognition system that we developed in patients with hemiplegic stroke, we found an increase in neural activity in sensorimotor brain regions and an improvement in the sense of agency. These results suggest that this system is useful as an intervention method.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：脳波 神経生理学 運動イメージ BCI

### 1. 研究開始当初の背景

脳血管疾患後の神経機能回復促進を目的としたニューロリハビリテーションには、運動イメージや振動刺激など多くの手法が報告されている。我々は、振動刺激によって誘起される運動錯覚(Goodwin GM, et al. Brain 1972)を用いた介入により、その効果検証を行ってきた。その結果、感覚運動皮質領野では、運動錯覚時、自動運動を行っているときと同様の神経情報処理機構を形成している可能性を報告した(Kodama T, et al. 2011; 児玉ら, 2014)。

しかし、運動錯覚には運動イメージ能力が要求される(Ehrsson HH, et al. 2003; Naito E, et al. 2002) ことが明らかであるものの、本能力が運動錯覚生成過程にどのような影響を及ぼすのかは明確にされていなかった。もし運動イメージ能力が錯覚創出に不可欠なものであるとした場合、運動イメージは自分自身が能動的に動かしているという自己主体感が重要となるため、イメージしたものが上手くいったかどうかという答えを同期的に入力(フィードバック)させることで、学習による高い効果を生み出せるものと考えられた。このことにより、より強力に感覚運動機能の再編へ向けた神経基盤の構築が可能になる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、運動錯覚生成過程における脳内神経活動領野を明らかにすることで運動イメージ能力との関連性を明らかにし、本能力を高めることのできる治療システム(ニューロリハビリテーションデバイス)を創出し臨床応用していくことである。具体的には以下の2つの研究テーマを設定した。

テーマ : 振動刺激時の脳内神経活動について、脳波イメージング解析法である Microstate 法を用いた解析を行い、運動錯覚生成過程における脳内神経活動領野を明らかにし、同定された脳領野の神経活動性と運動イメージ能力の関連性について検証する。  
テーマ : 運動イメージ能力を高めるための装置・システムを確立させる。

### 3. 研究の方法

テーマ : 運動障害および感覚障害のない健康男性を対象に、課題条件として、振動刺激条件、感覚刺激条件およびボタン押し条件の三条件を設定し、脳波計測により脳神経活動を捉えた。振動刺激条件は、右上腕二頭筋腱に対して振動を加えた。刺激回数は合計10回とし、一回の刺激時間域は、先行研究結果に準じ10秒間と設定した。被験者には、右上腕二頭筋腱に振動刺激を加え(始点)運動錯覚が惹起された時点(終点)で被験者自身にてボタンを押してもらった。始点から終点までの期間を運動錯覚が誘起されるまでの期間(Illusioning duration; ID)と設定した。感覚刺激条件は、感覚情報の統制条件と

して、右上腕二頭筋筋腱移行部内側の皮膚に対し振動を加えた。ボタン押し条件は、IDにはボタン押し運動に関連した神経活動が混入しているため、本条件を統制条件として設定した。これらの条件の回数および時間は振動刺激条件と同じとした。脳波記録は日本光電社製 Neurofax を使用した。計測部位は、国際10-20法に基づき両耳朶を基準電極とし19部位から導出した。

条件統制されたデータから運動錯覚が誘起されるまでの脳神経活動を検証するために、脳内情報処理過程に伴い脳神経活動の異なった段階を捉える Microstate segmentation 解析と LORETA 解析を用いて、運動錯覚が誘起されるまでの脳神経活動について時間的空間的解析を行った。さらに、Japanese MIQ-R (JMIQ-R)を用いて、課題前に運動イメージ能力評価を実施し、同定された脳神経活動領域の神経活動値、ID および JMIQ-R について、その関連性を検討した。

テーマ : これまで我々は、運動イメージ時には左右肢によらず補足運動野が両側同期的に活動することを報告し、それらを基盤とした脳波周波数パターン認識型システム(特開2017-102504)を基盤としたBCIを開発した。本システムの有効性を検証すべく、延髄梗塞により左片麻痺を呈した症例に対してトレーニングを実施した。方法として、まず健側肢手指の伸展運動を運動イメージさせ、その時の脳波周波数パターンをセンシングする。次に患側肢手指の伸展運動を運動イメージさせ、そのイメージ時の脳神経活動が、センシングされた脳波周波数パターンと一致した際、患側手指上のモニター上の自身の手指画像が伸展方向へ動くようにシステムを設定した。このことを10分間のトレーニング時間の中で、より多く成功させるよう学習させた。

### 4. 研究成果

テーマ : 各 Microstate において優位に高い神経活動を示した脳領域は、Microstate1 および4ではSMA(BA6)であった(図1)。Microstate2ではprimary sensorimotor areaにおけるM(BA4)(図2)、Microstate3ではInferior parietal lobule (IPL)(BA39)、Microstate5はVentrolateral prefrontal cortex(VLPFC)(BA45)であった。

ID、神経活動値およびJMIQ-Rの関連性においては、JMIQ-Rの点数とSMAの神経活動値の間に有意な正の相関を認めた。また、IDとSMA、VLPFC、M および IPL の間に有意な負の相関を認め、また各領域の神経活動値の間に有意な正の相関を認めた。一方、IDとJMIQ-Rの点数の間には有意な相関関係を認めなかった。

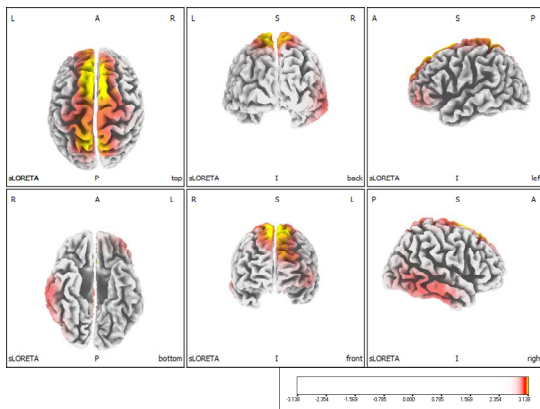


図 1

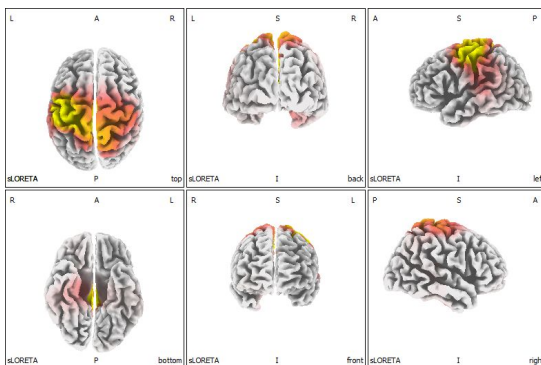


図 2

以上の結果から、運動錯覚誘起時、感覚や運動を司る脳領域の神経活動性を高め、その領域の一つである補足運動野が運動イメージ想起能力と関連をもつことが明らかとなり、運動錯覚誘起には運動イメージ能力が影響を及ぼす可能性が導かれた。

本研究において、感覚運動皮質領域の活動性を高める介入には、運動イメージ能力が影響を及ぼすことが明らかとなったことで、実施時、同期的に運動イメージを付与することがニューロリハビリテーションのアプローチ創出の有用なコンセプトとなる結果を見出したものと考えられる。

テーマ：トレーニング成功回数は1週目の平均回数は10回であったが、最終週は60回と向上した。また、評価項目としてのFMA、運動主体感に関するNRS、HADSおよびBPDSの全ての評価で改善を認めた。LORETAでは、初回に比較し最終回時の方が両側補足運動野を中心とした感覚運動関連領域の有意に高い神経活動性を認めた。

感覚運動障害を有する患者においては、「大脳半球間相互機能のアンバランスの修正」が重要な治療原則となり、補足運動野を中心とした感覚運動関連領域の活動同期性は機能予後と関係するとされる。本結果からトレーニングが奏効する可能性を見いだせたことは、本システムの介入手法の有用性を示すものと考えられた。なお、本研究結果は、第22

回日本ペインリハビリテーション学会学術大会(神戸市)で発表し、優秀賞を受賞した。

## 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8件)

Imai R, T Kodama, et al.: Effects of illusory kinesthesia by tendon vibratory stimulation on the postoperative neural activities of distal radius fracture patients. *Neuroreport*. 28(17), 1144-1149, 2017. (査読有)

<http://doi.org/10.0.4.73/WNR.0000000000000874>

T Kodama, et al.: The association between brain activity and motor imagery during motor illusion induction by vibratory stimulation. *Restor Neurol Neurosci*. 35(6), 683-692, 2017. (査読有)

<https://dx.doi.org/10.3233%2FRNN-170771>

<https://doi.org/10.1589/jpts.28.419>

瀧川美優, 兒玉隆之ら: 新しい上肢機能評価法「ペットボトルキャップテスト」の開発. *ヘルスプロモーション理学療法研究* 7(3), 133-137, 2017. (査読有)

<https://doi.org/10.9759/hppt.7.133>

山下拳人, 兒玉隆之ら: 親和・非親和のコミュニケーションの違いが脳内神経活動へ及ぼす影響. *ヘルスプロモーション理学療法研究* 7(1), 29-34, 2017. (査読有)

<https://doi.org/10.9759/hppt.7.29>

Katayama O, Osumi M, Kodama T, Morioka S: Dysesthesia symptoms produced by sensorimotor incongruence in healthy volunteers: an electroencephalogram study. *J Pain Res*. 9, 1197-1204, 2016. (査読有)

<https://doi.org/10.2147/JPR.S122564>

中村浩一, 兒玉隆之ら: 超音波パルスドプラによるストレッチング効果の血行動態解析. *ヘルスプロモーション理学療法研究* 6(3), 123-126, 2016. (査読有)

<https://doi.org/10.9759/hppt.6.123>

Kodama T, et al.: Effects of vibratory stimulation-induced kinesthetic illusions on neural activities in patients with stroke. *J Phys Ther Sci*. 28(2), 419-425, 2016. (査読有)

松尾奈々, 村上貴士, 日沖善治, 貝本拓也, 窓場勝之, 兒玉隆之: 地域在住の難治性疼痛患者に対する聴覚ニューロフィードバックトレーニングの効果。

理学療法科学 30(5), 759-764, 2015.  
(査読有)  
<https://doi.org/10.1589/rika.30.759>

〔学会発表〕(計 12 件)

片山脩, 松尾奈々, 兒玉隆之: 頸髄損傷後疼痛に対するニューロフィードバックトレーニングの効果 - シングルケースデザインによる検討 -, コラッセふくしま(福島市), 2017, 11.18-19

片山脩, 兒玉隆之: 脳幹梗塞後にしびれが出現した症例に対する脳波を用いた運動イメージ介入の効果 - 重度片麻痺症例に対する効果の検討 -, コラッセふくしま(福島市), 2017, 11.18-19

片山脩, 兒玉隆之: 延髄梗塞後にしびれが出現した症例に対する脳波を用いた新たな運動イメージ介入の効果, 第 22 回日本ペインリハビリテーション学会学術大会, 神戸商工会議所(神戸市), 2017, 9.30-10.1

Katayama O, Kodama T, et al.: The influence of sensorimotor incongruence on dysesthesia and motor control, The 10th Congress of the European Pain Federation EFIC, Copenhagen, 2017, 9.6-9

溝本恭久, 片山脩, 兒玉隆之ら: 脳血管性パーキンソンズム患者のすくみ足に対する多重課題下歩行訓練の効果 - 脳波を用いた神経生理学的検討 -, 第 51 回日本作業療法学会, 東京国際フォーラム(東京), 2017, 9.22-24

Ohsug H, Madoba K, Kodama T: DO COGNITIVE TASKS AFFECT BRAIN ACTIVATION DURING THE RESTING-STATE? 32nd International Alzheimer's Association International Conference, Kyoto, 2017, 4.26-29

Katayama O, Osumi M, Imai R, Kodama T, Morioka S: Neural network of dysesthesia symptoms produced by sensorimotor incongruence in healthy volunteers. A functional connectivity analysis. Society for Neuroscience 45th Annual Meeting Neuroscience 2016, San Diego, 2016, 11.12-16

Katayama O, Osumi M, Imai R, Kodama T, Morioka S: Neural network of dysesthesia produced by sensorimotor incongruence: A functional connectivity analysis. 16th World Congress on Pain, パシフィコ横浜(横浜市), 2016, 9.26-30

奥埜博之, 兒玉隆之, 河島則天: 狭い間口通過時に生じるすくみ足の発現機序の検討 - 歩行中の EEG 計測を用いて -. 第 51 回日本理学療法学会学術大会, 札幌コンベンションセンター(札幌市), 2016, 5.27-29

兒玉隆之ら: 運動イメージ時の脳波周波数パターンは両側同期性に出現する - 脳波周波数パターンセンシングシステムを用いた BCI の創出を目指して -. 第 51 回日本理学療法学会学術大会, 札幌コンベンションセンター(札幌市), 2016, 5.27-29  
大杉紘徳, 兒玉隆之ら: 脳血管疾患患者の安静時脳内神経活動とその機能的連関の検討. 第 18 回日本ヒト脳機能マッピング学会. 京都大学(京都市), 2016, 3.07-08

Y Sato, T Kodama, et al.: Neural mechanisms of body language: Does body language share common neural mechanisms with vocal language? Society for Neuroscience 44th Annual Meeting Neuroscience 2015, Chicago, 2015, 10.17-21

〔図書〕(計 3 件)

Takayuki Kodama, Hideki Nakano (2017), *Chapter 9. Neuroscience-based Rehabilitation for Stroke Patients*, Toshiaki Suzuki(ed.), Neurological Physical Therapy, InTech, London, pp. 137-156.

Hideki Nakano, Takayuki Kodama (2017), *Chapter 1. Understanding Neural Mechanisms of Action Observation for Improving Human Motor Skill Acquisition*, Phakharawat Sittiprapaporn(ed.), Electroencephalography, InTech, London, pp. 1-10.

Hideki Nakano, Takayuki Kodama (2017), *Strategies and Underlying Brain Mechanisms of Motor Learning*, Kathryn Bell and Corey Russell(eds.), Motor Learning: A Review and Directions for Research, Nova Science Publishers, New York, pp. 109-126.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tk-lab.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

兒玉 隆之 (KODAMA Takayuki)  
京都橘大学・健康科学部・准教授  
研究者番号: 80708371

(2) 研究分担者

村田 伸 (MURATA Shin)

京都橘大学・健康科学部・教授  
研究者番号：00389503

中野 英樹 (NAKANO Hideki)  
京都橘大学・健康科学部・助教 C  
研究者番号：60605559

(3)連携研究者

森田 喜一郎 (MORITA Kiichiro)  
久留米大学・高次脳疾患研究所・客員教授  
研究者番号：20140642