

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 12 月 12 日現在

機関番号：34309

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25882038

研究課題名(和文)脳血管疾患患者の振動刺激による運動錯覚が及ぼす脳内神経活動および機能的連関の解明

研究課題名(英文)EEG Analyses of Source Localization and Functional Connectivity of Kinesthetic Illusion Elicited by Tendon Vibration on stroke patients

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) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳血管障害患者に対する振動刺激によって、脳内に惹起される運動錯覚が脳神経活動へ及ぼす影響を、神経生理学的指標として脳波 $\mu$ 波を用いたeLORETA解析により検討した。その結果、安静時は感覚運動領野、補足運動野における $\mu$ 波の発現を認めた。振動刺激時においては、健康者と同様に感覚運動領野の有意な $\mu$ 波の発現は認めなかった。以上より、運動障害をもつ脳血管障害患者においても、振動刺激がもたらす運動錯覚は感覚運動領野の神経活動性を高めることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to examine the influence of vibratory stimulation-induced kinesthetic illusion on brain function with hemiparetic stroke patients by using EEG analysis. As a neurophysiological index to evaluate brain function, the  $\mu$ -rhythm, which is present mainly in the kinesthetic cortex and is attenuated by movement or motor images, was used. Calculated data were compared using analyses of Source Localization by the eLORETA. The results showed that, in the resting condition, the kinesthetic cortical  $\mu$ -rhythm appeared in the sensorimotor cortex and supplementary motor cortex. On the other hands, in the vibratory stimulation condition, no  $\mu$ -rhythm appeared as well as healthy individuals in the sensorimotor cortex. These findings suggested that kinesthetic illusion increases the neural activities of the sensorimotor cortex.

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 神経科学 振動刺激 LORETA 脳血管患者

### 1. 研究開始当初の背景

厚生労働省「平成23年人口動態統計の概況」によると、死因別死亡総数のうち脳血管疾患は、全体の9.9パーセントを占めている。一方で、救命率も上昇しているが、その後の運動障害や感覚障害など様々な機能障害により、寝たきりを含めた要介護状態に陥る原因疾患の第1位も占めており、その対策が急務となっている。近年、神経機能回復の促進を目的にしたリハビリテーションとして、ニューロリハビリテーション(神経リハビリテーション)が発展してきている。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による運動錯覚を運動感覚再獲得のための促進刺激として用いたものがある。運動錯覚とは、実際の随意運動を行わずとも四肢が動いたかのように創出される脳内錯覚であり、この脳内の感覚運動情報により惹起される運動錯覚は、感覚野や運動野を包括した感覚運動領野の興奮を意味し、その神経活動を運動制御や習熟に応用することは有効とされている。これまで健常者の脳内感覚運動領野では、四肢への振動刺激を行った場合に四肢の自動的な筋収縮運動時と同様の脳内神経活動を誘発されることが報告されているが、活動領野間の機能的な関連性や脳機能障害患者との比較検討はなされていない。これらの解明は、感覚運動障害を呈する患者に対する脳内神経ネットワークの再構築への有用なニューロリハビリテーションの確立への一助となる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、振動刺激による運動錯覚が、脳機能へどのような影響を及ぼすか脳波脳機能イメージングにより神経活動領域を空間的に捉え、それらの機能的連関を検討するとともに、健常者と脳機能障害患者の機能的差異を明らかにすることである。具体的には以下の2つの研究テーマを設定した。  
テーマ：健常者の運動錯覚時における活動領野の機能的連関に関して検討する。  
テーマ：脳機能障害患者の運動錯覚時における脳内神経情報処理機構を検討し、両者の機能的差異を明らかにする。

### 3. 研究の方法

以下、テーマ毎に方法および成果を記す。  
(1)右利きの健常者20名(男性11名、女性9名)に対して、安静状態での脳波をコントロール条件(以下、安静)として計測後、課題条件として、右上腕二頭筋健への振動刺激条件(以下、振動刺激)、右肘伸展自動運動条件(以下、自動運動)、感覚刺激条件(以下、感覚刺激)の3条件を設定し脳波 $\mu$ 波を計測した。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。神経生理学的指標として用いた $\mu$ 波は、感覚運動領野直上で認められる10~13 Hz(Guido D, et al.2006)付近のHigh帯域成分で、実際の運動や運動イメージなどにより減衰(Pfurtscheller G, et al.1997)し、実際に四肢の自動的な筋収縮運動を行った際に特異的な変化を認めることがこれまで報告されている(Muthukumaraswamy SD, et al.2004)。各条件での脳波計測実施後、周波数解析にて算出された $\mu$ 波周波数帯域のデータを用いて、脳内神経活動の三次元イメージング解析法である exact Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (eLORETA)解析(Pascual-Marqui RD.2002)による空間的解析を行い、脳内神経活動を条件間で比較検討した。さらに、各条件におけるeLORETA解析結果をもとに、感覚運動関連領野の中で神経活動性の高かった領域(つまり $\mu$ 波が減衰した領域)のプロードマンエリア(BA)およびMNI座標を求める。

求められた領域間の機能的連関(コヒーレンス値)をeLORETA-connectivity analysis(Pascual-Marqui RD.2007)プログラム内のLagged connectivity解析により算出し、振動刺激と他の課題条件における機能的連関の強さの違いを比較検討した。有意(統計学的有意水準は5%)に強い機能的連関を認められた脳領域間には、脳画像イメージング内に線状のワイヤーが描画された。

(2)右利きの脳血管障害患者10名(男性5名、女性5名)(平均年齢 $61.3 \pm 3.8$ 歳)(以下、患者)を対象とした。いずれも認知機能障害および出血、梗塞による視床の後内・外腹側核、表在感覚および深部感覚情報伝導路に障害がなく感覚障害のないことを確認した。対象者には、ヘルシンキ宣言に則り本研究の主旨と内容、および個人情報の漏洩に注意することについて紙面および口頭にて説明し、理解を得た上で書面への署名にて同意を得た。実験に際し、リラックスのできる安静座位状態を設定した。そして右上腕二頭筋健へ振動刺激機器をセッティングした状態で、コントロール条件としての安静と課題条件として振動刺激の2条件下で脳波計測を実施した。計測データおよび脳イメージング解析については、テーマの解析と同じ手法にて行った。

### 4. 研究成果

(1)振動刺激と各条件を比較した結果について、振動刺激と感覚刺激の神経活動を比較した結果、振動刺激に比較し感覚刺激ではBA4およびBA6に $\mu$ 波の有意な増大を認め、感覚刺激に比較し振動刺激では左BA3、1、2およびBA7での $\mu$ 波の有意な増大を認めた(図1)。自動運動と振動刺激の神経活動を比較した結果、自動運動では振動刺激に比較し前頭前野BA10およびBA46での $\mu$ 波の有意

な減少を認めた。運動感覚皮質上での  $\mu$  波に有意差は認めなかった(図2)。表1には神経活動部位およびMNI座標を示す。

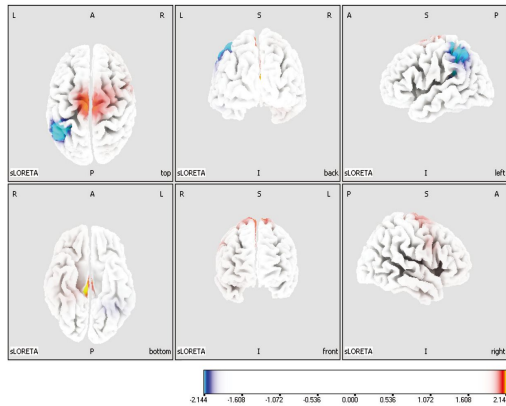


図1

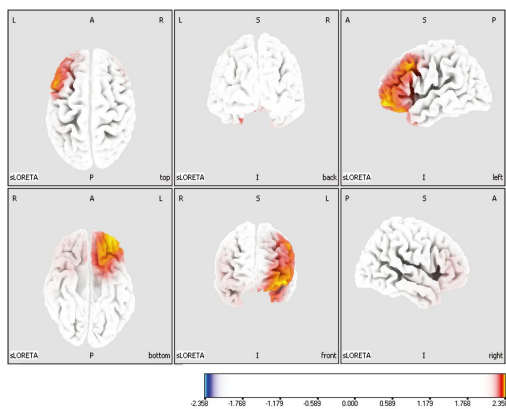


図2

表1  
eLORETA解析により求められた各条件の  
神経活動部位およびMNI座標

課題条件	p	MNI coordinates			脳葉	領域	Brodmann Area
		x	y	z			
感覚刺激 > 振動刺激	<0.05	-37	-33	65	左頭頂葉	中心後回	3
		-50	-25	59	左頭頂葉	中心後回	1
		-34	-39	66	左頭頂葉	中心後回	2
		-30	-57	55	左頭頂葉	上頭頂小葉	7
振動刺激 > 感覚刺激	<0.05	-18	-26	76	右前頭葉	中心前回	4
		20	-33	76	右前頭葉	中心前回	4
		-15	-5	71	左前頭葉	中前頭回	6
		11	9	70	右前頭葉	中前頭回	6
		-41	45	9	左前頭葉	中前頭回	10
自動運動 > 振動刺激	<0.05	-46	31	25	左前頭葉	中前頭回	46

また、活動を認めた領域の機能的連関について、安静と振動刺激を比較した結果、振動刺激で BA6 を中心とする三領域間の有意に強い機能的連関を認めた(図3)。自動運動と振動刺激の比較では、自動運動で左半球 BA4 - BA6 間に有意に強い連関を認めたが、他領域の同側内および左右間には有意差を認めなかった(図4)。

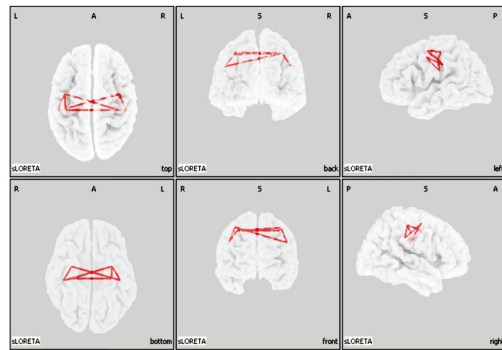


図3

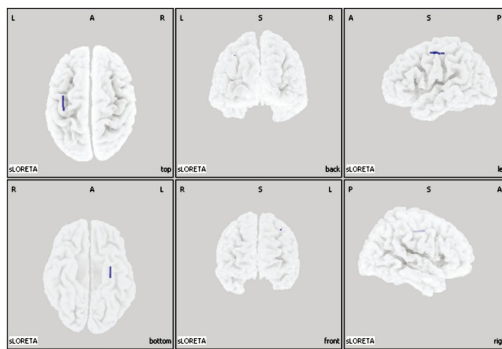


図4

これらの結果は、脳波研究の視点から、運動実行機能の中心領域となる BA4 や、運動イメージ創出や運動経験の記憶貯蔵といった、いわば運動実行への神経基盤としての役割を担う BA6 を、振動刺激は賦活させることを明らかにしたものである。さらに自動運動との機能的差異が、BA4 と BA6 の間の機能的連関の強さである可能性をも明らかにした。

(2)患者では、振動刺激における  $\mu$  波周波数帯域での脳内神経活動性は、他の大脳皮質領域に比較し後頭葉の有意に高い神経活動を認めたが、感覚運動領野の有意な神経活動は認めなかった(図5)。

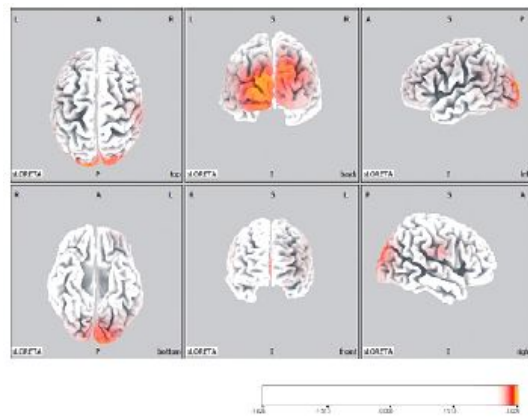


図5

さらに、振動刺激と安静における  $\mu$  波帯域

の脳内神経活動を比較した結果、安静に比較し振動刺激の方が後頭葉および前頭前野の有意な増加を認めたが、感覚運動領野およびBA6は安静が有意に増加した(図6)。

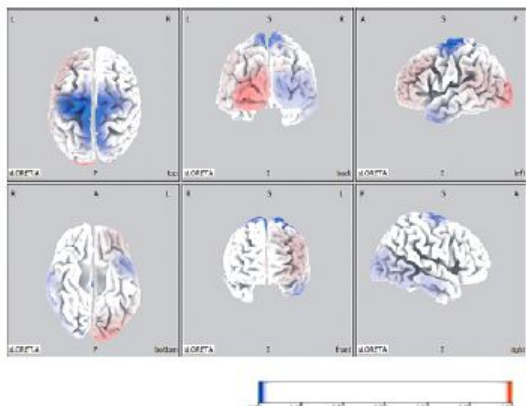


図6

これらの結果から、振動刺激は脳血管障害患者においても運動錯覚を創出し、感覚運動領野、BA6の神経活動性を高めることを示唆するとともに、運動錯覚における運動イメージの重要性が導かれた。

一連の結果から、運動錯覚の脳領野へ及ぼす影響が明らかとなり、運動錯覚を運動実行の神経基盤へと繋げるためにはこれらの領域のネットワーク性を高めていくことの重要性も示唆された。今後、治療手段としての確立を目指すためには、健常者と患者の運動錯覚創出過程における活動領域を検討し、補足運動野(BA6)のもつイメージ想起能力との関係を検討することが重要であると考えられる。

#### 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7件)

大杉紘徳, 村田伸, 兒玉隆之: 理学療法と脳内神経機構. 行動科学 53(2), 155-163, 2015.(査読有)

<http://www.jabs.jp/index.html>

Oh sugi H, Ohgi S, Kodama T: Physical activity affects cognitive function in view of prefrontal cortex activation. The journal of Allied Health Sciences 5(2), 69-77, 2014.(査読有)

<http://dx.doi.org/10.15563/jallied-healthsci.5.69>

楠元史, 今井亮太, 兒玉隆之ら: メンタルローテーション課題における脳活動と反応時間の関係 -EEGを用いて-. 理学療法科学 29(4), 479-483, 2014.(査読有)

<http://dx.doi.org/10.1589/rika.29.479>

兒玉隆之ら: 脳血管障害患者の脳内神経活動に振動刺激が及ぼす影響. ヘルスプロモーション理学療法研究 4(3), 13-18, 2014.(査読有)

<http://dx.doi.org/10.9759/hppt.4.13>  
兒玉隆之ら: 振動刺激による運動錯覚時の脳内神経活動および機能的連関. 理学療法学 4(2), 43-51, 2014.(査読有)

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009816769>  
Nakano H, Osumi M, Ueta K, Kodama T, et al.: Changes in electroencephalographic activity during observation, preparation, and execution of a motor learning task. Int J Neurosci. 123(12), 866-875, 2013.(査読有)

<http://dx.doi.org/10.3109/00207454.2013.813509>

[学会発表](計2件)

Oh sugi H, Kodama T: Altered body composition is associated with cognitive decline. 10<sup>th</sup> Congress of the EUGMS. The Netherlands, Rotterdam, 2014, 9.17-19

兒玉隆之ら: 振動刺激による運動錯覚惹起までの脳神経活動に関する時間的解析の試み-Microstate segmentation解析を用いて-. 第49回日本理学療法学会大会. パシフィコ横浜(神奈川県横浜市), 2014, 5.30-6.1

[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