

規則課題と不規則視覚刺激課題における脳内活動の左利き者の比較 －機能的 MRI の分析－

了徳寺大学健康科学部理学療法学科¹

首都大学東京 人間健康科学研究科²

植草学園大学 理学療法学科³

清瀬リハビリテーション病院⁴

松田雅弘¹, 塩田琴美¹, 宮島恵樹¹, 高梨 晃¹, 野北好春¹, 川田教平¹,

渡邊 修², 来間弘展², 妹尾淳史², 村上仁之³, 渡邊 壘⁴

要旨

【はじめに】我々は、規則的に提示する視覚刺激と不規則的に提示する視覚刺激を使い、その刺激に追随するように手の把握運動を行わせた右利き被験者の報告を行ったが、今回左利き被験者の脳内神経活動を機能的 MRI で検討した。

【対象および方法】対象は神経学的な疾患の既往のない左利き健常成人9名（平均年齢27.6歳）であった。MRIはGE社製1.5T臨床用MR装置を使用した。被験者は、MRI装置内で仰臥位となり、鏡を通して、30秒間、1Hzの視覚刺激（規則課題）、または不規則な間隔で提示される視覚刺激（不規則課題）後に、その都度、手の把握運動を利き手で行うように指示した。全被験者データを重ね合わせ、uncorrectedによって有意水準0.001にて有意な活動部位を算出した。

【結果】規則課題では両側補足運動野・前頭前野・帯状回運動野、右感覚運動野、左小脳の賦活が認められた。不規則課題では両側補足運動野・前頭前野・帯状回運動野・感覚運動野・大脳基底核・小脳の賦活が認められた。課題間を比較すると今回定めた関心領域すべてにおいて不規則課題で活動範囲が大きく、信号強度が強かった。また、感覚運動野・小脳の賦活は規則課題で片側にみられ、不規則課題では両側にみられた。

【考察】今回の結果から、規則課題よりも、不規則課題で神経活動が広汎に及んでいた。右利き者でも今回の結果と同様に活動がひろがったことから、左利き者でも同様の神経機構が働くことが示唆された。今後、リズムの変動と運動の特性による脳内活動について更に知見を深めていきたいと考えている。

キーワード：機能的MRI, 視覚刺激, 外的フィードバック, 規則不規則課題

A Comparison of Neural Mechanisms in the Brain upon Pre-determined Responses to Periodic and Aperiodic Stimuli in Left-handed Subjects – a Functional MRI Study-

Tadamitsu Matsuda¹, Kotomi Shiota¹, Shigeki Miyajima¹, Akira Takanashi¹, Yoshiharu Nogita¹,

Kyohei Kawada¹, Shu Watanabe², Hironobu Kunuma², Atsushi Senoo², Yoshiyuki Murakami³, Rui Watanabe⁴

Department of Physical therapy, Faculty of Health Science Ryotokuji University.¹

Graduate School of Human Health Science, Tokyo Metropolitan University²

Department of Physical Therapy, Uekusa University³

Department of Physical Therapy, Kiyose Rehabilitation Hospital⁴

Abstract

[Purpose] We compared neural activity in the brain, monitored by functional MRI (fMRI), during a hand-clenching task performed in response to periodic and aperiodic visual stimuli in left-handed healthy subjects.

[Subjects and Methods] Subjects were 9 left-handed healthy adults (mean age : 27.6) with no significant medical history or current medical problems. fMRI images were obtained from subjects in a supine position in a 1.5-T MR scanner. Subjects performed a clench-unclench dominant hand task, in synchrony with the appearance of a visual stimulus under two conditions, periodic (1Hz) and aperiodic (mean frequency of 1Hz), viewed through a mirror. In statistically comparing the effects of the two conditions on region-specific brain activation, the level of significance was $p < 0.001$ for differences within group analysis.

[Results] The periodic task activated the bilateral supplement motor area, bilateral prefrontal cortex, bilateral cingulate motor area, right sensorimotor cortex, and the left cerebellum. The aperiodic task activated the bilateral supplement motor area, bilateral prefrontal cortex, bilateral cingulate motor area, bilateral sensorimotor cortex, bilateral cerebellum, and the bilateral basal ganglia. Activity was significantly more extensive during performance of the aperiodic task. In particular, the aperiodic task demonstrated bilateral hemisphere activation, while the periodic task showed activation in only one hemisphere.

[Conclusion] Compared with the periodic task, activation of the brain was significantly more extensive during the aperiodic task. These results suggest that since the left-handed subjects showed the same extension of neural mechanisms as right-handed subjects, left-handed subjects may induce the same neural activity as right-handed subjects. In future study, we will continue to examine neural activity induced by rhythm changes and particular movements.

Keywords : functional magnetic resonance imaging, visual stimulation, periodic-aperiodic, motor task, externally-triggered

1. 目的

近年の非侵襲脳計測技術の進歩により、ヒトの脳計測から機能の解明、さまざまな情報を解読することが可能となった¹⁾。非侵襲脳計測法は、電気・磁気の変化を計測するものと血流・代謝の変化を計測するものの2つに大別できる。電気・磁気型には、頭皮上の電極から電位を計測する脳波 (electroencephalogram ; EEG) や、頭部の周囲に配置された SQUID センサを用いて脳からの磁場を計測する脳磁場計測法 (magnetoencephalography ; MEG) があり、神経活動の膜電位の変化を反映した信号を受け取るため、時間解像度は高いが、空間解像度は低い。血流・代謝型の計測手法には機能的磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging ; fMRI) やポジトロン断層法 (positron emission tomography ; PET) があり、神経活動の上昇に伴う代謝量や血流量の変化を捉えており、直接的な脳に起こる電気活動を捉えるものではない。電気・磁気で計測する EEG や MEG と異なり、時間解像度は低い、空間解像度は高い。それ以外でも近赤外分光法 (near-infrared spectroscopy ; NIRS) による研究報告が近年理学療法士のなかでも多くみられ、頭表から近赤外線を照射し、その吸光特性から血流や酸素消費を計測する方法で、空間解像度は fMRI より劣るが、簡便なセンサで計測が可能のため歩行時など運動でも計測可能である^{2, 3)}。

運動系を司る主な中枢神経系の構造は、一次運動野 (一次感覚野)、その前方の運動前野 (背側、腹側)、一次運動野の内側部の前方に位置する補足運動野 (supplementary motor area : SMA proper)、その前方の前補足運動野 (pre-SMA)、補足運動野と前補足運動野の下方に位置する帯状皮質運動野 (cingulate motor area : CMA)、そして大脳基底核、小脳およびこれらを結び付ける神経線維である。現在までに、これらの生理解

剖学的機能および病態に関し実に多くの知見が蓄積された。さらに、一次運動野の後方に一次感覚野があり、この両者は合わせて感覚運動野 (sensorimotor cortex : SMC) とされ、近年の PET, fMRI, NIRS などの脳機能イメージングの発展により、随意運動の制御に感覚と運動が密接に関連している報告されている^{4~5)}。fMRI は、1989 年小川誠二により発見⁷⁾された BOLD (blood oxygen level dependent) 理論に基づき、還元ヘモグロビン濃度の差を画像化したものである。これにより非侵襲的に局所の脳血流量を反映した画像が得られる。すなわち、脳の神経活動が活性化すると、局所酸素消費量が増加する。これによって、当該領域の還元ヘモグロビン濃度は一時的に増加するが、引き続きそれを上まわる組織への血流増加が生じる。その結果、還元ヘモグロビン濃度は相対的に低下する。還元ヘモグロビンは常磁性物質として強力な T2 短縮作用を有するため、その濃度の低下する状況は MR 信号を増強させる。これが BOLD 効果である。非侵襲的に局所の脳血流量を反映した画像を得られることから、脳機能画像研究、さらにその臨床応用が広く行われている^{8, 9)}。

リハビリテーション医学において、随意運動や認知・高次脳機能における脳活動を明らかにすることは重要な研究テーマの 1 つであり、近年の技術進歩にともなって脳内機構は明らかになりつつあるが十分に解明されていない。この際、脳機能イメージングによる脳の画像化は有力な手段となりうる。随意運動制御に関する大脳皮質運動関連領域の研究は、脳障害患者の観察やサルなどの実験動物を用いた神経生理学的研究や神経解剖学的研究などから明らかになってきた。大脳の機能的構造に関して、Brodmann は 1909 年の著書の中で、神経細胞のタイプの局在と大脳皮質内の層状構造に関する、自らの神経解剖学的な研究成果を要約している。そこで、細胞構築上の分析に基づいて、人間の脳を 47 の機能的な領域に区別することを提唱し、中心溝の直前の脳回を area4 (一次運動野)、直後の脳回を area3, 1, 2 (一次感覚野) とした。このように大脳の局在が理解されてから、脳機能の面の研究は促進した。片側の随意運動は片側の感覚運動野によって支配されているが、必ずしも左右対称的な大脳運動関連領域の制御を受けていないとする研究もあり、さらに利き手、運動の複雑性、運動の習熟度などの影響を受けることが報告されている^{10~12)}。このように運動機能に関する研究は多くの報告がみられ、随意運動に関して明らかになりつつある。機器の進化と脳科学の発展によって、リハビリテーションに脳機能から得られた知見が数多く取り入れられ、科学性のある運動療法が実施されている³⁾。また、近年 BMI (brain machine interface) という脳内に電極を埋め込み、麻痺になった四肢を脳の指令によって機械を利用して動かすことが可能になってきている。この技術の発展にも脳機能イメージングは大きく寄与している¹³⁾。

パーキンソン病にみられる運動障害は、すくみ足、小刻み歩行などの歩行が乱れ、歩行運動の開始や終止、方向転換において顕著となるが、一方、一定速度の運動を維持することには、ほとんど問題がない。この神経機構の一端は、従来、大脳基底核と補足運動野 (SMA) を結ぶ神経線維が担っているとされてきたが、他の神経領域の関与についての報告は少ない。パーキンソン病は協調性のある動作に問題が生じる^{14, 15)}。O' Reilly ら¹⁶⁾によると、小脳と被殻のネットワークは時間-空間的な処理を必要とする課題に強く関連するとの報告もみられる。彼らはこれらの構造は脳内の時間的な概念を作り出すと報告している。このように脳内でペースやタイミングに関わる分野に関して諸家の報告がみられる。

また、外的刺激誘導性 (externally-triggered) 運動と自分のペースで行う (self-paced) 運動感覚モダリティーの違いに関わらず、反対側の SMA、運動前野 (premotor area : PM)、一次運動野、帯状回運動皮質、一次体性感覚野が賦活する¹⁷⁾。自分のペースで開始する運動は PM より SMA の活動が強いことが報告されている¹⁸⁾。視覚性の応答刺激を用いた課題において、もっとも顕著な準備関連活動を示す領域は PM である。このように自己ペースで行う自発運動と、外的刺激による運動の違いについても多くの報告がみられ、特に

SMA と PM, または小脳などの内部ループの活動がみられる報告も数多くみられる^{17,19)}.

以前, 筆者らは右利き被験者による規則・不規則視覚刺激に対する把握運動時の脳内機構について研究を行い, 規則課題よりも不規則課題では全脳の活動が増加することや, 不規則課題で小脳・SMA などの前運動領域の内部ループの活動の向上がみられるという報告をした²⁰⁾. 今回, 左利き被験者に規則的に提示する視覚刺激と不規則的に提示する視覚刺激を使い, その刺激に追従するように手の把握運動を行わせ, その脳内神経活動を fMRI にて定量的, 定性的に比較した.

II. 対象と方法

1) 対象

対象は神経学的な疾患の既往のない左利き健常成人 9 名 (18 ~ 29 歳, 平均年齢 21.5 歳) であった. 利き手は全員, エディンバラ利き手テスト²¹⁾ にてラテラリティ係数 70% 以上の左利きであることを確認した. また, すべての対象者に実験の趣旨を説明し, 参加することの承諾を得た. 本研究は東京都立保健科学大学 (現首都大学東京) の倫理審査の承認を得た.

2) 方法

【課題】

被験者は MRI 装置内で仰臥位となり, 30 秒間鏡を通して提示される刺激に対してその都度, 手の把握運動を利き手である左手で行わせる課題を設定した. 視覚的に提示される課題は 2 種類設定した. 第 1 課題は「規則課題」とし 1Hz の視覚刺激を与え, 第 2 課題は「不規則課題」とし不規則な間隔で提示される視覚刺激を 30 秒間提示した (図 1). MRI 装置に入る前にすべての課題を行う前に, 実験課題を MRI 室内で確実に遂行できるため練習を 5 分行った.

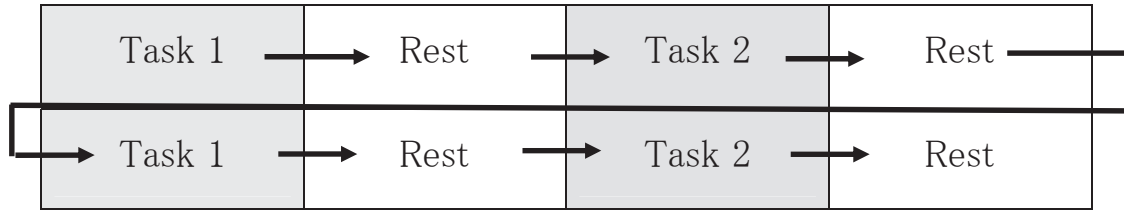
【課題の撮像デザイン】

スキャン時間はこれらの課題および安静を各々 30 秒間とし, 3 種類の課題はランダムに配置し, 各課題間は安静を挟む (ブロックデザイン) ようにして撮像した (図 2). MRI の中では被験者は仰臥位とし, フォームパットで頭部をヘッドレストに固定し, 防音用にヘッドホンを装着させた. どの課題時も被験者には開眼にさせ, 両上肢は体幹側面に安楽に置くように指示し, 課題中は体側側面にて把握運動を実施させた.

使用装置は GE 社製 1.5T 臨床用 MR 装置 (Signa Horizon) を使用した (図 3). fMRI の測定には標準ヘッドコイルを用い Echo Planar 法 (GRE type) にて, TR (ms) /TE/FA (deg) = 5000/90.5/60, FOV240mm, スライス厚 6mm (スライドキャップ 0mm), スライス枚数 25, マトリックスサイズ 128 × 128 の条件で撮像した.

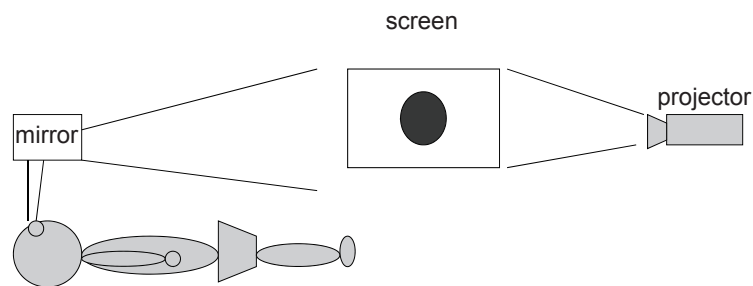
測定データは Matlab (Math Works) 上の統計処理ソフトウェア SPM2 (Wellcome Department of CognitiveNeurology, London) を用いて解析を行なった. 解析はまず被験者の体動による位置補正, 各被験者のタライラッハ空間への脳の標準化, Gaussian filter による平滑化 (FWHM: 8 mm) を実施した. その後, 集団解析にて被験者全員 (9 人) の脳画像をタライラッハ標準脳の上に重ね合わせて, MR 信号強度が uncorrected で有意水準 ($p < 0.001$) をこえる部位を求めた.

更に, 関心領域 (Region of Interests; ROI) は, 感覚運動野 (SMC), 補足運動野 (SMA), 大脳基底核, 小脳, 後頭葉, 前頭前野 (Brodmann area 9, 10, 11, 46: prefrontal cortex), 帯状回運動野 (CMA) とし, WFU PickAtlas (<http://www.fmri.wfubmc.edu/cms/software>) を用いて抽出した.



- ※ task1 と task2 は被験者によって規則課題と不規則課題をランダムとした
- ※ 1ブロックは30秒とした

図 1. 研究ブロックデザイン



- ・被験者は背臥位になりスクリーンに映し出される映像を確認し、視覚刺激（赤い丸）の入力で利き手で把握運動を行う。
- ・視覚刺激は規則的・不規則的に入力を行う課題を施行

図 2 MRI 装置内の実験環境

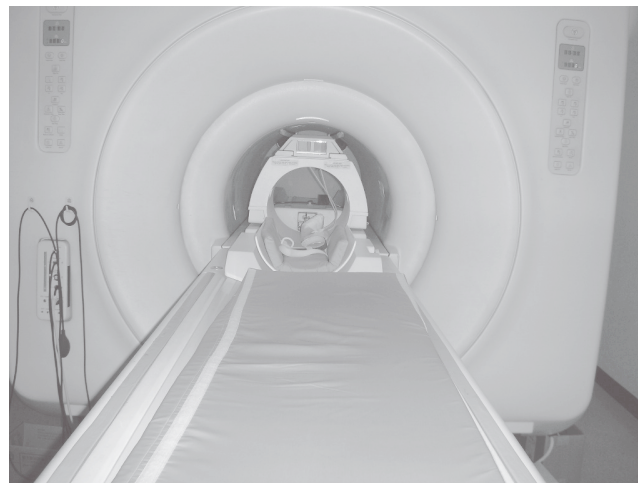


図 3 GE 社製 MRI 装置

III. 結果

規則課題では両側補足運動野，両側前頭前野，両側帯状回運動野，右感覚運動野，左小脳の賦活が認められた（図 4，表 1）。不規則課題では両側補足運動野，両側前頭前野，両側帯状回運動野，両側感覚運動野，両側大脳基底核，両側小脳の賦活が認められた（図 5，表 1）。課題間を比較すると今回定めた関心領域すべてにおいて不規則課題で活動範囲が大きく，信号強度が強かった（表 1）。また，感覚運動野・小脳の賦活は規則課題で片側にみられ，不規則課題では両側にみられた（表 1）。

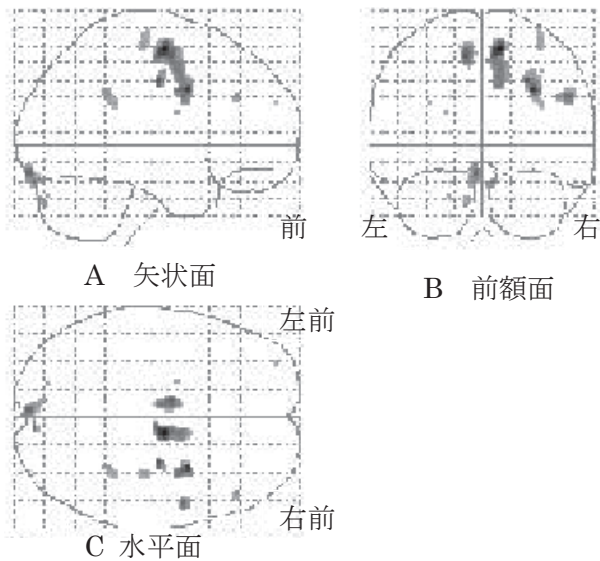


図4 規則課題時の集団解析の脳賦活部位 (n=9)

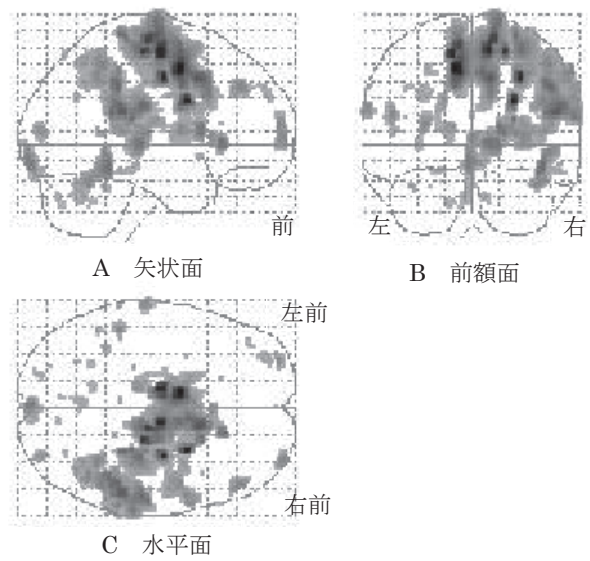


図5 不規則課題時の集団解析の脳賦活部位 (n=9)

表1 各課題時の脳内活動の比較 (集団解析 n=9)

領域 (脳半球 e: R, right; L, left)	規則課題					不規則課題				
	t-value	Cluster size	x	y	z	t-value	Cluster size	x	y	z
感覚運動野 (R)	4.74	2	34	-24	62	8.74	276	28	-34	68
感覚運動野 (L)	0					5.62	6	-66	-20	24
補足運動野 (R)	12.84	194	10	-10	58	14.37	1059	10	-12	60
補足運動野 (L)	8.33	104	-10	-6	54	16.26	895	-10	0	48
前頭前野 (R)	5.76	7	52	4	28	6.87	146	48	40	34
前頭前野 (L)	4.59	1	-32	58	26	6.74	60	-28	62	14
大脳基底核 (R)	0					8.42	435	10	-24	2
大脳基底核 (L)	0					6.40	78	-12	-26	12
帯状回運動野 (R)	5.46	4	-8	-6	50	10.61	522	12	12	42
帯状回運動野 (L)	6.84	52	10	0	42	11.98	331	-8	0	44
視覚野 (R)	5.98	2	8	-88	-20	6.23	26	2	-92	-12
視覚野 (L)	6.58	20	-4	-92	-18	7.82	47	-2	-92	-12
小脳 (R)	0					6.69	43	40	-56	-26
小脳 (L)	5.64	7	-10	-82	-36	5.96	71	-38	-46	-26

注: t-value ; 信号強度、x, y, z 座標 ; MNI (Montreal Neurological Institute) 座標による脳部位

各 ROI における賦活範囲と、その ROI 内における最も信号強度の強かった MNI 座標を提示した。

IV. 考察

現在までに随意運動・認知機構の脳機能に関する知見は数多く報告されており、リハビリテーションの技術に多く反映されている。リハビリテーションにおいて脳機能の解明は、脳血管障害患者、中枢神経に障害

をおった患者だけではなく運動障害を呈する患者にとっても必要不可欠である。セラピストが運動を教示したり、リズムを取りながら運動を促すときに外的視覚刺激などの教示刺激を利用することが多い。特に、パーキンソン病では線を歩行路に引く視覚刺激、歩行時に下肢を挙げるリズムの聴覚刺激を有効に加えることで、運動の円滑さが変化することが知られている。その刺激を利用してリハビリテーションを遂行することで、パーキンソン病特有の空間的・時間的な障害に対して改善を試みている。また、中枢神経障害や運動障害を呈する患者に対しても規則正しいリズムでの運動の促しと、不規則なリズムで応用となる運動を促すこともリハビリテーションの臨床で多用される。筆者ら明らかにした右利き者の同様の研究の結果²⁰⁾を参考に、今回、左利き者へ視覚刺激の頻度を変化させて運動を促すことが脳内活動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし研究を行った。

今回の2種類の外的視覚刺激による手の把握運動で、規則課題よりも不規則課題で脳内活動は全脳で活動が拡大した(図4, 5)。先行研究では、自己ペースでの運動と外的刺激によるペースの運動を比較すると、自己ペースによる運動で反対側のSMA、運動前野、SMC、帯状回運動野の活動がみられたが、規則的に視覚刺激を与えた課題では最も運動前野の活動が影響を及ぼしていた¹⁷⁾。また、規則的な刺激による課題よりも不規則課題で右小脳、左SMC、左SMAの活動の増加した報告がされている¹⁹⁾。筆者の右利き者の同様の研究²⁰⁾も、不規則課題でSMC、SMA、小脳の賦活が増大した。これらのことから、規則的視覚刺激よりも不規則視覚刺激による運動においてSMA、SMC、帯状回運動野の活動がより増加することが今回の結果より示唆された(図4, 5, 表1)。特に、脳活動は不規則刺激による運動は、次の運動に対する運動準備システムをより活性化させることで運動の準備を行うため、規則刺激の同一頻度で運動を行うよりも脳活動が拡大することが考えられる。特に脳活動の全体的な広がりには、より多くの領域の活動の統合も要求され、課題としても高度であることが、右利き者の同様の報告²⁰⁾からも考えられる。

今回の結果よりSMCの活動は規則課題より不規則課題で両側性に広い活動がみられた(図4, 5, 表1)。左手の運動の場合、随意運動の指令を行っているのは、右SMC領域である。今回規則課題では左手の随意運動を指令している右SMCのみに、不規則課題で両側SMCの活動が増大した(図4, 5, 表1)。複雑な運動時に対側SMCのみではなく、両側の活動も要求されることは先行研究でも報告²²⁾されており、不規則課題では運動の難易度が高いことが考えられ、今回はその報告を支持する結果であった。右利き被験者を対象とした私達の先行研究においても不規則課題で両側性の活動が確認²⁰⁾でき、不規則課題がより規則課題より運動の要求度は高いと考えられた。

不規則刺激による指のタッピング課題で小脳-視床-皮質システム(cerebello-thalamo-cortical system)のニューロン活動の活性化が関与する報告がされている¹⁹⁾。今回の研究結果より、不規則課題で小脳-視床-皮質を含む小脳-大脳の大脳全体の活動の広がりみられた(図4, 5, 表1)。小脳-視床-皮質システムの活動は実行と外部情報(視覚・感覚など)の間で自己内部におけるモニターに必要なことや、運動企画するために必要な情報を処理する機構としての関与が考えられる²³⁾。今回の結果より、小脳も不規則課題で活動が増加していた(図4, 5, 表1)。指のタッピング運動によるfMRIの報告では、外側小脳と虫部はより活動がみられ、不規則課題では小脳の活動が増加するだけではなく、視床や他の運動に関連する部位の活動が増加するとされている¹⁹⁾。脳内の神経システムは小脳虫部と小脳-視床-皮質システムが不規則課題に影響を与えていると考えられる。この小脳と視床の活動の相互関係は運動の要素に予測できない因子がはいることで、不規則の外乱刺激とのエラーを確認するような場合に関係してくる。また、同様の不規則の課題で対側の腹外側視床と同側の小脳の活動が向上することは、運動のシステムとエラー検出に関連していることが考えら

れる。これらの発見は他の報告を支持する結果となった^{24, 25)}。小脳 - 視床 - 皮質システムの投射は中心前回と前運動野との結びつきを裏付けている。

第2指のタッピング運動を視覚刺激 1.5Hz による規則刺激課題・不規則刺激課題で、左楔前部、右小脳核・小脳虫部、左腹外側視床核、左 SMC、両側前補足運動野と左 SMA の活動がみられたとされている¹⁹⁾。また、1Hz 程度のゆっくりとした頻度の運動教示による運動は、SMA の活動の変化に関連しているとの報告がある²⁶⁾。Thickbroom *et al*²⁷⁾ は運動のオペレーションの外的刺激を入れた規則よりも不規則課題で SMA がより活動が認められたとしている。今回、図 4, 5 より、SMA と他のエリアは不規則課題の活動量の増加がみられた。SMA は随意運動の開始・準備、企画に関連している²⁸⁻³⁰⁾ ため、規則課題では運動の複雑性が減ることから、次の運動のタイミングを予測することが遅い頻度だと活動が減少する²⁷⁾。この報告は今回の結果を支持でき、不規則課題で次のタイミングを予測する必要があったため SMA の活動が顕著であったと考えられる。私達が行った右利き被験者の同様の研究でも不規則課題で SMA の活動は顕著であった²⁰⁾。

今回の研究で、不規則課題で両側前頭前野、前運動野の活動が顕著であった(図 5, 表 1)。これは以前、筆者らが右利き者で報告したことと同様の結果となった²⁰⁾。このことから、運動野と連結している補足運動野などの前運動野と、前頭前野の連結による相互作用や活動を増加させることが考えられる。しかし、前運動野と前頭前野の神経結合は視覚刺激に対する注意を向けることや、次の動きをモニターするようなどに強く活動をともなう。脳の前頭部は視覚や時間・空間的な注意を要求されているときに活動することが知られている²³⁾。不規則視覚刺激では規則課題よりも、より早く予期するために時間的な注意を必要とする。外部の感覚刺激による誘導と刺激によるトリガーによって前運動野の活動が明らかになる³¹⁾。それ故に、私達は前運動野の活動を含む神経機構の一端が明らかになったことが考えられる。

大脳基底核は前頭前野と連結し、両領域が参加することでヒトの全体の行動を制御している²³⁾。今回の結果より、不規則課題において被殻を含む大脳基底核・前頭前野の活動は増加した(図 4, 5, 表 1)。大脳基底核が前頭連合野を含む注意を必要とする関連部分に応じて活動が増加したものと考えられた。また、前頭前野は短期の運動記憶・視覚運動課題・運動企画のような認知的側面を含んでいる²³⁾。今回の私達の研究で、大脳基底核の活動の増加は不規則課題による運動で明らかであったことから、視覚運動課題で注意に関連した影響があったものと考えられる。

右利き者でも不規則課題で大脳、小脳の広い領域で活動の増加がみられた私達の報告²⁰⁾ と、今回の左利き者は同様の結果となった。どちらの利き手であっても外部刺激を加える際に、規則的な刺激による運動を促すのか不規則な刺激による運動を促すのかを憂慮しなくてはならない事がわかった。特に前運動野を含めた広い領域の活動を促したい場合に、不規則な視覚刺激を利用した運動教示によって多くの脳内活動を促せるものと考えられる。また、規則的刺​​激後の単純な運動を促したとして、その後の運動をより変容させていくために不規則な課題に移行していくことで、脳活動の増大後、運動学習を促し運動のバリエーションが増加することが考えられる。今後、リハビリテーション分野で外部刺激を与える場合に考慮すべき一要因になると示唆された。

運動前領域への経路は、固有受容器誘導性、または視覚誘導性課題の運動学習にとって極めて重要であるとされ、不規則な刺激による視覚誘導性の運動学習の促進などが示唆された。今回の結果より右利き者同様の神経システムが左利き者にもあり、視覚刺激後の活動で規則的な刺激と不規則的な刺激の脳内活動の特徴を理解したうえで、運動教示として利用していくことにより運動学習の促進を図れることが示唆された。

V. 謝辞

今回協力して頂いた被験者の皆様に心から謝辞を申し上げます。

文献

- 1) 堀川友慈, 神谷之康:脳情報の記録と判読—非侵襲計測と神経デコーディング—. 総合リハ, 38 (11): 1025-1030,2010
- 2) 宮井一郎, 久保田競:脳卒中リハビリテーションにおける NIRS 機能画像. 臨床精神医学,33 (6): 767-772,2004
- 3) 森岡周:神経科学と EBPT -脳損傷後の神経可塑性と運動学習の脳内機構-. 理学療法学, 36 (8): 440-443,2009
- 4) Kawashima R,et al. : Regional cerebral blood flow changes of cortical motor areas and prefrontal areas in humans related to ipsilateral and contralateral hand movement, Br Res , 623 : 33-40, 1993
- 5) Rao SM,et al. : Functional magnetic resonance imaging of complex human movements, Neurology, 43 : 2311-2318, 1993
- 6) Roland PE, et al : Different cortical areas in man in organization of voluntary movements in extrapersonalspace, J Neurophysiol, 43 : 137-150, 1980
- 7) Ogawa S, Lee TM, et al. : Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. Proc Natl Acad Sci ,87 : 9868-9872,1990
- 8) 豊倉穰: 随意運動と脳の機能画像 -機能的 MRI の知見を中心に-. 医学のあゆみ, 203 (9) : 757-762,2002
- 9) 梅津篤司・他: Functional MRI による手指複雑運動施行時の脳賦活部位の検討. 臨床放射, 45 (12) : 1515-1523,2000
- 10) Kim SG, et al. : Functional magnetic resonance imaging of motor cortex : hemispheric asymmetry and handedness . Science, 261 : 615-617,1993
- 11) Halsey JH, et al : Regional cerebral blood flow comparison of right and left hand movement. Neurology ,29 : 21-28,1979
- 12) 豊倉穰・他:左利きの両手運動における感覚運動野と補足運動野の活性化 -機能的 MRI による分析-. リハ医学, 36 (2) : 119-123,1999
- 13) 里宇明元: Brain Machine Interface 研究の方向性とリハビリテーション. リハビリテーション医学, 47 (2) : 75-79 ,2010
- 14) Pastor MA, et al. : Time estimation and reproduction is abnormal in Parkinson's disease. Brain, 115 : 211-215, 1992
- 15) O'Boyle DJ, et al. : The accuracy and precision of timing of self-paced, repetitive movements in subjects with Parkinson's disease. Brain, 119 : 51-70, 1996
- 16) O'Reilly JX,et al. : The cerebellum predicts the timing of perceptual events. J Neurosci, 28 : 2252-2260,2008
- 17) Gerloff C, et al.. : Functional coupling and regional activation of human cortical motor areas during simple, internally paced and externally paced finger movements. Brain, 121, : 1513-1531,1998
- 18) 来間弘展・他: 手指対立運動に関するリズム音の影響 -機能的MRI による小脳の賦活について -.

理学療法科学 ,20 (1) : 1-5,2005

- 19) Lutz K, et al. : Tapping movements according to regular and irregular visual timing signals investigated with fMRI. *Neuroreport*, 11 : 1301-1306, 2000.
- 20) Matsuda T, et al. : Neural mechanism in brain upon pre-determined response to periodic and aperiodic stimuli –analysis of visual stimulation of movement. *J Phy The Sci* ,22 (2) : 189-194, 2010
- 21) Oldfield RC : The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9 : 97-113, 1971
- 22) 松田雅弘・他 : 手指対立運動における感覚運動野の賦活に関する左右差の検討—機能的 MRI による分析—. *理学療法科学* ,21 (4) : 387-393,2006
- 23) 松村道一, 森谷敏夫, 小田伸午監訳 : ヒトの動きと神経科学, 市村出版, 東京, 42-119,2002
- 24) Hore J, Villis T : A cerebellar-dependent efferents copy mechanism for generating appropriate muscle responses to limb perturbations. pp24-35, In : Bloedel JR, ed. *Cerebellar Functions*. Berlin : Springer, 1984
- 25) Horne MK, Butler EG : The role of the cerebello-thalamo-cortical pathway in skilled movement. *Prog Neurobiol*, 46 : 199-213,1995
- 26) Toma K, et al. : The role of the human supplementary motor area in reactive motor operation. *Neurosci Lett*, 344 : 177-180, 2003
- 27) Thickbroom GW, et al. : The role of the supplementary motor area in externally timed movement : the influence of predictability of movement timing. *Brain Res*, 874 : 233-241,2000
- 28) Deecke L, Kornhuber HH : An electrical sign of participation of the mesial ‘supplementary’ motor cortex in human voluntary finger movement. *Brain Res*, 159 : 473-476,1978
- 29) Tanji J, Shima K : Role for supplementary motor area cells in planning several movements ahead. *Nature*, 371 : 413-416,1994
- 30) Thut G, et al. : Internally driven vs. externally cued movement selection : a study on the timing of brain activity. *Brain Res Cogn Brain Res*, 9 : 261-269,2000
- 31) Goldberg G : Supplementary motor area structure and function : review and hypotheses, *Behav Brain Sci*, 8 : 567-615,1985