

ペグボード課題における
手指の巧緻性と前頭前野の活動

橋 廣

愛知東邦大学

ペグボード課題における 手指の巧緻性と前頭前野の活動

橘 廣*

目 次

はじめに

I 問題と目的

1. 操作性の高さと機能的左右非対称性に関する研究
2. ペグボード課題

II 研究Ⅰ 操作性の高さと機能的左右非対称性

1. 目的
2. 方法
3. 結果と考察

III 研究Ⅱ 近赤外線分光法（NIRS）を用いた検討

1. 目的
2. 方法
3. 脳機能計測
4. 結果と考察

IV 総合的考察

むすびにかえて

はじめに

料理・裁縫・編み物・木工作などは、複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作活動で、操作性の高い活動である。一方で、つかむ、拾うといった到達・把握運動、押すだけ、触れるだけといった操作性の低い手指活動もある。近年は便利な食品や既製品などが容易に手に入り、操作性の高い手指の活動で、目的を持って創りあげるといったような機会、生活の中で手指の巧緻性が必要とされる機会が減少している。

情動の制御、行動の抑制、論理的な思考、他者の気持ちを思いやるなど、高次の思考活動に関係する脳領域が前頭前野であるが、子どもたちの前頭前野の機能低下が報告されてきている。脳機能研究から、何かを創り出すことを目的に、あるいは時間的空間的に考えながら手指を使うことが前頭前野の活性化に効果的であることが確かめられている。

手指の操作活動を検討した筆者のこれまでの左右の手の機能的非対称性に関する研究から、その発達過程や一側化の程度が、操作性の高さにより異なることが示された。操作性の高さ、巧緻性（細かな対象操作能力、器用さ）の要因に注目しながら、本稿では、脳卒中のリハビリテーシ

* 愛知東邦大学人間健康学部

ョンの作業療法の一部として使用されるなど、広く使用されているペグボードを用いた実験により、手指活動の機能的左右非対称性と、ペグボード課題遂行時の前頭前野の活動を検討した。

I 問題と目的

1. 操作性の高さと機能的左右非対称性に関する研究

前頭前野が衝動的行動など不適切な行動の抑制にも関わることが認められているが^[1]、近年、日本の子どもたちの前頭前野の機能低下が抑制性制御などの研究により指摘されている^[2]。

言語活動のとらえにくい発達初期の段階においても大脳皮質の機能的成熟過程をよく反映する^[3]とされる手の活動の役割は重要である。

これまで筆者は手指の活動を中心とした機能的左右非対称性の発達に関する研究を行ってきた。左右の手の機能的非対称性が出現するのは、どのような手の活動内容で、どの時期であるのか、どのような要因に影響されるのかを、縦断的研究・横断的研究で検討してきた^[4, 5, 6]。これらの研究結果から共通して示されたことは、操作活動の基礎となるような手の活動では、生後まもない時期より機能的左右非対称性がみられた(継時性・巧緻性を要する活動は右手優位、空間性を要する活動は左手優位で、各半球の特徴がみられた)。またモノを扱うという点で操作性の高いレベルの活動(積み木の積み上げのような複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作)では、発達初期から一側化(一方の手への極端な偏り)がみられ、その後大きな優位性の変動はない。他方、操作性の低いレベルの活動(リーチングやボール拾いなど)では、一側化の程度は低く、左右の手による明確な差異がみられず、左右の手の機能的優位性も変動しやすい。即ち言語発達(例えば初語)、運動発達(例えば独立歩行開始)、環境からの要因(例えば右利きへの指導)などによって機能的優位性が影響を受け変動していた。さらに、乳児期の縦断的研究では、同日でありながら、操作性の高い活動であるほど、左右の手の使用頻度や器用さにおける差異が大きくなるということが観察された^[4]。積み木重ねに関しては、利き手のまだ確立しない1歳児より一側化がみられることは他の研究でも報告されている^[7]。

このような乳児を対象とした研究結果の「操作性の高い活動であるほど左右差が顕著になるのか」ということを確認するため、右利き大学生50名を対象に、さまざまな大きさの6面ダイスの積み上げ課題及び豆運び課題を通して、操作性の高さと機能的左右非対称性の関係性を検討した。結果は、操作性の高いほど左右差が顕著になることが、乳児期の研究結果と同様に、大学生を対象とした操作活動に関する実験においても認められた。指でダイスを積み上げる操作性の最も低い課題では左右差はみられなかった。また箸を用いた豆運び課題においても、把持・移動が困難な小豆が、大豆より所要時間も長くなり左右差もより顕著になった^[8]。ヒト以外の霊長類の研究でも、巧緻性を要する操作性の高い活動で左右差が顕著で、手の機能分化がみられ、餌へのリーチングのような操作性の低い活動では、左右同程度に可能で差がみられないことが示されている。^[9, 10]

このようなことから、操作性の低い活動では左右の手に差がみられないことから両半球が関

わっていることが考えられ、複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作性の高い活動では左右差が大きくなることから、限定された脳領域での賦活が示唆されるが、近赤外線分光法（NIRS）を用いた実験により検討する。

2. ペグボード課題

手指の巧緻性、即ち細かな対象操作能力を測定するためによく用いられているのが、作業療法の現場や玩具として広く使用されているペグボード課題である。

手指の巧緻性をペグボードを用いて測定した研究では、例えば次のような研究がある。Geertsら^[11]は、14カ月児、18カ月児、25カ月児を対象に操作活動の質的発達を検討し、カップや箱にキューブを把持し入れる条件より、ペグボードにペグを把持し入れる条件で顕著な一側化（右手優位）がみられたと報告している。またGasserら^[12]は、5歳～18歳を対象としたさまざまな運動課題で、ペグボード課題が最も一側化が顕著であったと報告している。ペグボードは機能的左右非対称性が明確に現れやすい課題であると思われることから、本研究では、脳卒中のリハビリテーションの作業療法の一部として使用されるなど、広く使用されているペグボードを用いた実験を行う。

なお、本研究では巧緻性を要する操作性の高い手指活動と操作性の低い手指活動を比較することが目的であるため、実験に協力していただく参加者は、利き手の強さの程度による要因ができる限り影響しないようにするため、完全な右利きのみを対象とした。

Oldfield^[13]のエディンバラ利き手テストでは、利き手を連続体としてとらえ、右利きから左利きまでの程度の強さを、ラテラルティ指数（LQ）により、完全な右利き（全項目右手使用）が100点、完全な左利き（全項目左手使用）が-100点、右利き傾向と左利き傾向が等しいものが0点とされている。このOldfieldのテストを基にしたSakano^[14]の分類方法では、書字、描画、ボール投げ、ハサミ、ハブラシの5項目についてラテラルティ指数（LQ）を算出して、LQ100～80を右利き、LQ60～0を両手利き、LQ-20～-100を左利きとしている。本研究では、利き手の強さの程度による要因の影響をできるだけ避けるために、完全な右利き（ラテラルティ指数100）の大学生を対象とする。

II 研究 I 操作性の高さと機能的左右非対称性

1. 目的

手指活動の機能的左右非対称性は操作性の高さに関係する可能性をこれまでの研究で示してきた。即ち、モノを扱うという点で操作性の高いレベルは、複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作で、発達初期より一側化がみられる。中間のレベルでは優位側はあるが、どちらの手でも遂行可能である。操作性の低いレベルでは、一側化の程度は低く、発達のにも機能的優位性が変動しやすいことが示唆された。本研究では、手指の巧緻性に関して、作業療法などの現場や脳卒中上肢機能検査などの一部として多く使用されているペグボードを用いて検討した。

2. 方法

参加者：ラテラルティ指数が100となる右利き大学生32名（男子学生16名、女子学生16名）。

課題：ペグボード（酒井医療株式会社製，SOT-2103）は、縦に4個の穴が5列計20個あけられたボードに棒状のペグを差し込むもので、ペグの両端は赤と青2色となっている。左右各々の手指で、40秒間に、赤と青交互になるよう外側から内側に渦巻状に差し込み、何本ペグを挿入できるかで評価した。

(1) 箸使用課題：割り箸を使用してペグを差し込む。

(2) 指課題：第1指と第2指でペグを差し込む。

課題の順序、左右の手の順序を参加者間でカウンタバランスした。

3. 結果と考察

箸使用課題と指課題において、40秒間のペグ挿入本数の平均値をFigure 1に示す。

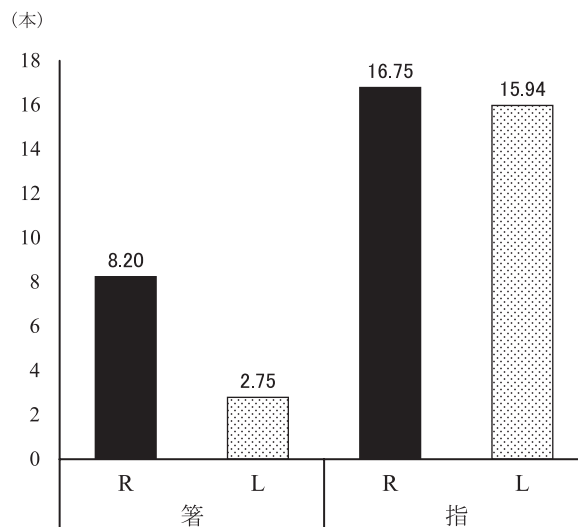


Fig. 1 40秒間のペグ挿入本数

課題(箸・指)×手(左・右)の分散分析を行ったところ、課題の主効果 ($F(1, 31) = 1364.2, p < .01$)、手の主効果 ($F(1, 31) = 509.12, p < .01$)、課題×手の交互作用 ($F(1, 31) = 125.95, p < .01$) において有意差があった。右手においては、課題による単純主効果が有意で ($F(1, 31) = 540.06, p < .01$)、左手においても、課題による単純主効果が有意であった ($F(1, 31) = 1409.76, p < .01$)。さらに、各課題において左右差を検討した。箸使用課題では、手による単純主効果が有意 ($F(1, 31) = 490.18, p < .01$)、指課題でも手による単純主効果が有意 ($F(1, 31) = 10.42, p < .01$) となった。

課題間では、箸使用課題と指課題ではペグ挿入本数に顕著な差がみられた。道具である箸を用

いず直接指でペグを差し込む指課題の方が、挿入本数が多く操作性の低い容易な課題であった。左右差に関しては、操作性の高い箸使用課題では左右差が顕著で、非利き手である左手のペグ挿入本数が非常に少ない。一方、操作性の低い指課題では右手が優位であるが、箸使用課題ほどの左右差はみられない。

このような操作性の高い箸使用課題と操作性の低い指課題では、脳活動ではどのような差異がみられるのであろうか。次に、近赤外線分光法（NIRS）を用いた検討を行う。

Ⅲ 研究Ⅱ 近赤外線分光法（NIRS）を用いた検討

1. 目的

操作性の高い道具（箸）使用課題と操作性の低い指課題遂行時では、前頭前野の活動（血液量変化）にどのような差異がみられるかを、研究Ⅰで平均的な結果を示した参加者を対象として検討した。

2. 方法

参加者：ラテラルリティ指数が100となる右利きで、研究Ⅰの実験において、参加者32名のうち、ペグ挿入本数が平均値（箸使用課題：右手8本・左手2本、指課題：右手17本・左手16本）を示し、本研究の趣旨と近赤外線分光法について説明し、賛同が得られた男子大学生2名。

課題：研究Ⅰと同様に、ペグボードを用いた箸使用課題と指課題を40秒間行った。

3. 脳機能計測

計測にはSpectratch社製OEG-16を使用した。プローブ配置は、国際10-20法に従い、プローブマトリックスの中心にFpzが来るように設置した。各チャンネル部位はFigure 2に示した。安静期間中及び課題遂行中の参加者の前頭前野の血液量変化を計測した。

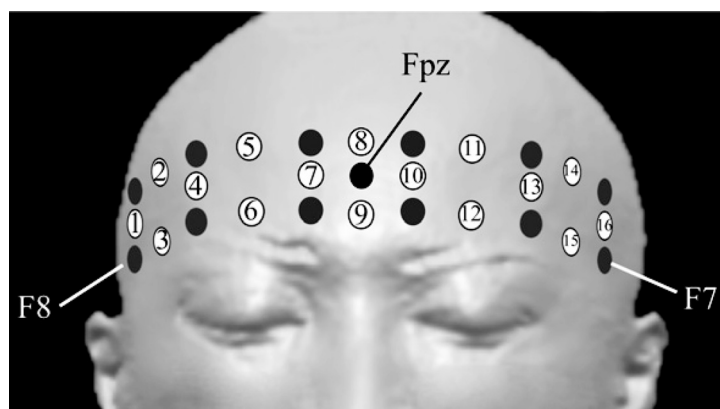


Fig. 2 計測プローブ配置と計測チャンネル番号

4. 結果と考察

課題遂行時の酸素化ヘモグロビン量 (oxyHb, 単位: mmol/mm) を分析した。課題開始時のベースラインを0となるように設定し、施行時との差から算出されたデータを解析した。各チャンネルにおける課題遂行時 (課題開始10秒後から課題終了までの30秒間) の酸素化ヘモグロビン量の平均値をFigure 3に示した。なお課題開始直後は、箸を安定的に把持することが難しいため10秒間はデータから除去した。

1—16のすべてのチャンネルの酸素化ヘモグロビン量において、課題 (箸・指) × 手 (左・右) の分散分析を行ったところ、課題の主効果 ($F(1, 29) = 1204.38, p < .01$) は顕著な有意差がみられ、箸と指の課題の違いによって酸素化ヘモグロビン量の平均値に大きな差異がみられ、箸使用課題で顕著な酸素化ヘモグロビン量の変化がみられた。しかし、手の主効果 ($F(1, 29) = 0.20, ns$)、課題×手の交互作用 ($F(1, 29) = 2.40, ns$) においては有意差はみられなかった。

すべてのチャンネルの分析では有意差がみられなかったが、7—10チャンネルの前頭極に限定した酸素化ヘモグロビン量について、課題 (箸・指) × 手 (左・右) の分散分析を行ってみると、課題の主効果 ($F(1, 29) = 102.05, p < .01$)、手の主効果 ($F(1, 29) = 64.77, p < .01$)、課題×手の交互作用 ($F(1, 29) = 812.00, p < .01$) において有意差があった。右手においては、課題による単純主効果が有意で ($F(1, 29) = 266.94, p < .01$)、左手においても、課題による単純主効果が有意であった ($F(1, 29) = 6.28, p < .05$)。さらに、各課題において左右差を検討したところ、箸使用課題では、手による単純主効果が有意で ($F(1, 29) = 208.84, p < .01$)、指課題でも手による単純主効果が有意 ($F(1, 29) = 13.63, p < .01$) となった。

操作性の高い箸使用課題では、前頭前野腹外側領域とその周辺領域に有意な血液量増加が認められ、特に非利き手での箸使用課題において、賦活したチャンネル数が多く、より広範囲の活性化がみられた。一方、操作性の低い指課題では、有意な血液量増加は認められず、左右差もみられなかった。

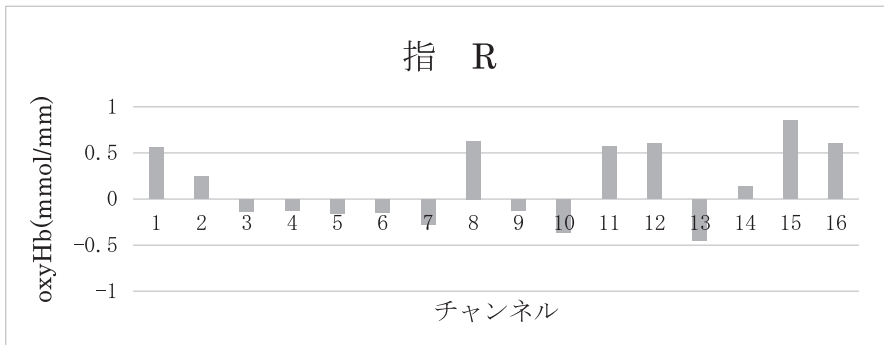
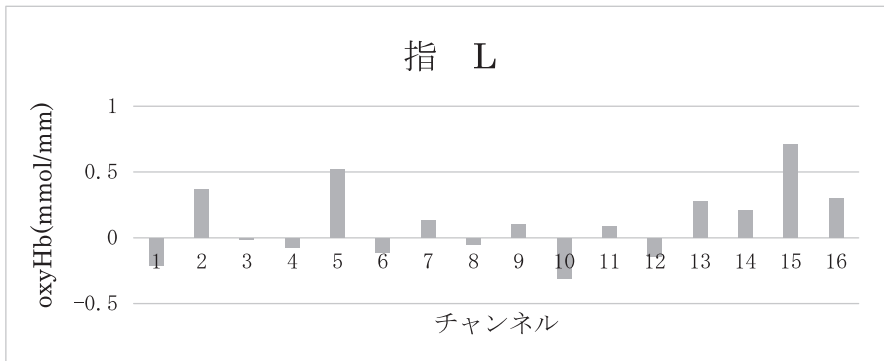
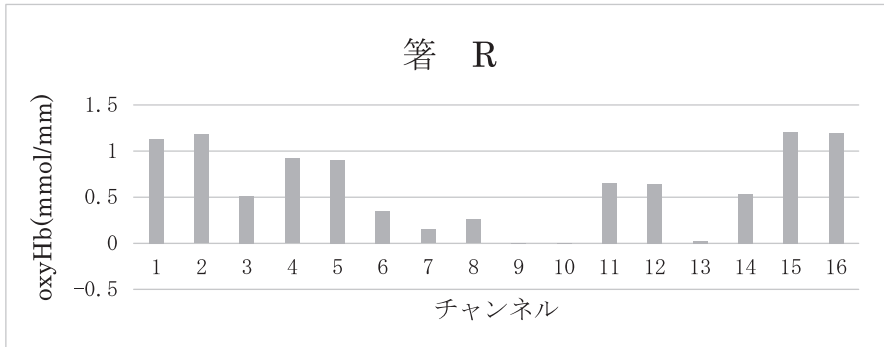
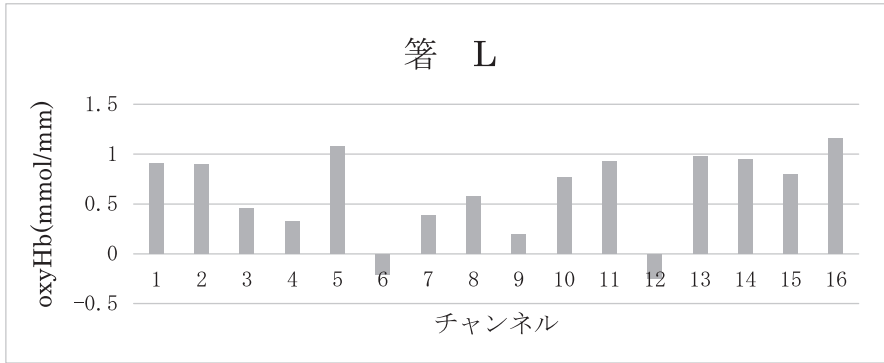


Fig. 3 課題遂行時の酸素化ヘモグロビン量の平均値

IV 総合的考察

研究Ⅰにおいて、これまでの筆者の研究結果と同様に、ペグボードを用いた実験においても、操作性の高い活動では、左右の手の活動の差異は大きくなり、操作性の低い活動では顕著な左右差がみられないということが示された。操作性の高い手指活動で左右差が顕著であるのは限定された脳領域が活性化しているのであろうか、操作性が低く容易な課題では、遂行量（ペグボード課題でのペグの挿入本数）は多くなり、左右差がみられないのは、両半球にわたる広範囲の脳賦活によるものであろうか、研究Ⅱにおいて近赤外線分光法を用いた実験により検討した。研究Ⅱの結果からは、操作性の低い手指活動では左右の前頭前野がともに活性化していないことで左右差がみられなかったのではないかと考えられる。一方、操作性が高い道具使用課題で、遂行量は少なくなるが左右差が顕著にみられたのは、非利き手の方がより広範囲に脳賦活がみられることで、左右差がみられたのではないかとということが示唆された。

本研究では参加者数が少なく、今後対象人数を増やし詳細な検討が必要であるが、高次な思考活動に関係する前頭前野を活性化するには、操作性の低い容易な直接指で触れる活動より、道具を用いて非利き手で行う操作性の高い活動が効果的であることが示唆された。

むすびにかえて

高次な機能をする前頭前野を活性化させるには、考えながら手指活動をすることが有効であるという多くの研究報告がある。脳の活性化、脳の発達の促進、認知症の予防、脳のトレーニングなどそれぞれに応じ、効果的に活用できるような手指の操作活動はどのような方法があるかを検討している。

本稿では、左右差が顕著にみられる課題であり、脳機能のリハビリテーションにも使用されているペグボードを用いて検討した。操作性の低い活動ではペグの挿入本数に左右差はみられないが、巧緻性が求められる操作性の高い手指の活動はペグの挿入本数に顕著な左右差がみられた。このことは、巧緻性が求められる操作性の高い手指活動は、限定された脳領域が活性化していることを示唆しているのではないかと、また操作性の低い手指活動は両半球の広範囲の脳の活性化がみられるのではないかと考えていた。しかし、前頭前野の活動を近赤外線分光法（NIRS）を用いて検討したところ、操作性の低い手指活動では前頭前野の活性化が、両半球ともにほとんどみられないという結果となった。一方、巧緻性の求められる操作性の高い手指活動は、前頭前野腹外側領域とその周辺領域に顕著な血液量増加がみられ、特に操作のより困難な非利き手で前頭極を含むより広範囲の血液量増加がみられ、脳賦活範囲に左右差があることが示唆された。この結果からは、スマホの長時間使用が現代的な課題となっているが、前頭前野の脳賦活の少ない操作性の低い手指活動を長時間行うことの問題も考慮すべきではないかと思われる。本研究では参加者数が少なく、より詳細な検討が必要である。

脳をバランスよく使うために手指操作課題を通じて行うことも可能であろう。手指操作に関する研究の成果は、手指操作が必要な玩具や道具により脳の発達を促すような情報を提供できるも

のと思われる。脳の発達をふまえた教育や障がい児教育、認知能力の改善、脳機能リハビリテーションにも役立てられるのではないかと考えられる。手指の動きが可能であれば、寝たきりであってもトレーニングも可能であり、脳機能の回復につながる可能性がある。また手指操作が脳の発達を促進する可能性もある。手指操作の基礎的な研究が、脳の発達や健康に役立てればと思う。

本研究は、JSPS科研費基盤研究C「前頭前野の活性化に関連する手指の遊びの検討」（課題番号：15K01780）の助成を受けた。

引用文献

- [1] Fuster, J. M. 1997 *The prefrontal cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal-lobe*. 3rd ed., Raven Press.
- [2] 寺沢宏次・西條修光・柳沢秋孝・篠原菊紀・根本賢一・正木健雄 2000 go/no-go実験による日本の子どもの大脳活動の変化について—日本の69', 79', 98', 中国の84'との調査結果と比較して— *文理シナジー*, 5, 14-27.
- [3] 西村 学・松野 豊 1978 「手指運動の発達ならびにそれと言語発達との関連をめぐって」『東北大学教育学部研究年報』第26巻、225-244.
- [4] 橘 廣 2009 「乳児の手の活動における機能的左右非対称性：出生から1歳までの縦断研究」『発達心理学研究』第20巻、第1号、55-65.
- [5] 橘 廣・岩砂真一 2001 「胎向、生後3日以内の頭部の向きと、乳児期の手の活動の関係」『心理学研究』第72巻、177-185.
- [6] 安丸 廣 1981 「幼児の手指操作における機能的左右非対称性」『心理学研究』第52巻、145-151.
- [7] Marschik P.B., C. Einspieler, A. Strohmeier, B.Garzarolli and H.F.R. Prechtel, 2007 A longitudinal study on hand use while building a tower. *Laterality*, 12, 356-363.
- [8] 橘 廣 2011 「手の活動における機能的左右非対称性と操作性の高さ」『東邦学誌』第40巻、1号、141-152.
- [9] Hopkins, W. D., & Russell, J. L. 2004 Further evidence of a right hand advantage in motor skill by chimpanzees (Pan troglodytes). *Neuropsychologia*, 42, 990-996.
- [10] Hopkins, W. D. 1991 Handedness and laterality in apes and monkeys. In A. Ehara, T. Kimura, O. Takenaka & M. Iwamoto (Eds.), *Primate today*. Amsterdam: Elsevier Science. Pp. 271-274.
- [11] Geert, W.K., Einspieler, C., Dibiasi, J., Garzarolli, B., & Bos, A.F. 2003 Development of manipulative hand movements during the second year of life. *Early Human Development*, 75, 91-103.
- [12] Gasser, T., Rousson, V., Caffisch, J., & Jenni, O. 2010 Development of motor speed and associated movements from 5 to 18 years. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52, 256.
- [13] Oldfield, R. C. 1971 The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- [14] Sakano, N. 1982 *Latent left-handedness: Its relation to hemispheric and psychological functions*. Jena: VEB Gustav-Fischer Verlag Jena.

受理日 平成30年10月5日