

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月 15日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300232

研究課題名（和文） ミラーシステムに注目した全身運動学習の脳機構解析

研究課題名（英文） Analysis of brain mechanism of whole body motor learning with special regards to mirror system

## 研究代表者

彼末 一之（KANOSUE KAZUYUKI）

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50127213

研究成果の概要（和文）：できない動作を観察やイメージした場合、脳はどのような反応が見られるのかについて検討した。後方宙返りのイメージを行っているときに、一次運動野へ経頭蓋的磁気刺激を加え、大腿の筋から得られる誘発筋電図を記録した。後方宙返りができる被験者では安静時より大きな誘発筋電図が得られるが、出来ない被験者では変化がなかった。つまり、出来ない運動はイメージもできないのである。さらにトレーニングで後方宙返りができるようになると誘発筋電図にも変化が現れた、つまりイメージもできるようになった。

研究成果の概要（英文）：In this study, how brain worked is analyzed when actions that could not been done was imagined. When subjects imagined the action of back flip transcranial stimulation was applied to the primary motor cortex. Motor evoked potential was enlarged as compared during resting in subjects who could do the action, but no such enlargement was observed in those who could not do. This means that the action that cannot be done, cannot be imagined either. Furthermore, in the subjects who could do the back flip after 1 month training, motor evoked potential became larger, meaning imaging of the action became possible.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23年度	2,100,000	630,000	2,730,000
22年度	3,100,000	930,000	4,030,000
21年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：運動学習、経頭蓋的磁気刺激、後方宙返り

## 1. 研究開始当初の背景

新しい運動スキルはいかに集中しても最初上手にはできない。ところが上手い人のマ

ネをしながら練習を重ねると、やがて意識せずとも動作が迅速、的確になってくる。このような運動学習は体育教育やスポーツの根

幹であり、その機序を明らかにすることは教育・コーチング、さらに広くはリハビリテーションの観点からも非常に重要な課題である。運動学習は「体で覚える」などと表現されるが、「脳」の働きであることはいまでもない。その機序の解明は脳科学にとっても大きなテーマである。これまで運動学習の研究（特に動物での研究）は実験方法上の制約からボタンを「押す」、指で「叩く」、眼球運動といった単純な動作に注目したものに限られ、簡単な動作の組み合わせを学習する「順序学習」の解析が主である。ヒトを対象とした研究でも、神経科学的な研究（MRI、PETなど）ではやはり測定方法上の制約から、解析は指や手の運動が大部分で、スキルの学習ではなく順序学習に焦点が絞られているのが実情である。

一方、体育やスポーツにおける練習の多くはそれまで全く行ったことのない新しい動作を円滑・迅速に行うことを目標としている。この種の学習に関連して最近注目されているのがミラーニューロンと呼ばれる一群のニューロンで、運動前野など運動指令を筋へ送る神経回路の中に存在する。ミラーニューロンは、例えばサルが目の前のエサを「抓む」といった特定の動作を行うときに反応する。そして興味深いことにこのニューロンは他の個体と同じ動作をするのを「見たとき」にも同様な反応を示す(Rizzolatti, 1988)。ヒトでのMRIを用いた解析では特定の動作（指のタッピングなど）を行うとき、そして同じ動作を他人が行うのを見たときにも活性化（BOLD信号が増加）する脳部位が運動前野、下頭頂小葉を中心に確認されており、「ミラーシステム」と呼ばれている（ヒトではニューロンは記録できないので「システム」と呼ばれる）。動作を行っても、見ても活性化するミラーシステムは「観察学習

imitation」に重要な役割をはたすと考えられている (Carroll & Bandura, 1982; Rizzolatti, 2005)。

スポーツの技能獲得に関連する最近の研究(Calvo-Merino et al., 2005)によれば、バレエダンサーにバレエの動きのビデオを見せたとき、背側運動前野などミラーシステム関連領域の活性がバレエの未経験者よりも高くなった。これは練習によって新たなミラーシステムの要素が形成されることを示唆している。しかしバレエの動きは未経験者にもイメージはでき、またジャンプや回転など、要素となる動きはぎこちないにしても何とか出来る。事実、未経験者でもバレエの動きを見るとミラーシステム関連領域の活性は上がっている(Calvo-Merino et al., 2005)。それでは、①全く出来ない（イメージすら難しい）動作を見たときにミラーシステムはどのように働くだろうか。さらに、②出来ない動作を学習する過程で、パフォーマンス向上とミラーシステムの活動はどう対応するだろうか。また、③一旦学習した難しい動作に関係するミラーシステムは、引退したスポーツ選手のようにその動作をすることがなくなるとどのように変化するだろうか。本研究の目的はこのようなミラーシステム形成（および消退？）のプロセスをヒトで検証することである。

## 2. 研究の目的

以上のような観点から、本研究では以下の点を明らかにすることが目的である。

テーマ1. 未経験者には遂行・イメージが困難な体操の技を見たときに、体操選手と未経験者で脳の活動がどのように異なるかを明らかにする。

テーマ2. 未経験者がそのような技を練習して行く過程でその技を見たときの脳活動がどのように変化するかを明らかにする。

テーマ 3. 体操の引退選手が高難度な技を見たときに、脳活動が技の経験や引退後の時間とともにどのように異なるかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

**実験 I** 被験者は宙返り経験者 9 名、未経験者 9 名であった。被験者は椅子に座らせ、正面に置かれたモニターでジャンプと宙返りの映像を見せた。見方は、ただ見るだけの観察条件と自身が行っているかの様にイメージしながら見るイメージ条件を行わせた。磁気刺激は安静時域値の 1.2 倍の強度で刺激し、静止立位姿勢[control]、ジャンプ時[jump]、宙返り(ジャンプ)時[somersault (J)]、宙返り(抱え込み)時[somersault (T)]のタイミングで刺激した。運動誘発電位(MEP)は大腿直筋から記録した。記録した MEP は control の振幅を 100%として標準化し、二元配置分散分析を行った。また、control と課題を比較するため一元配置分散分析を行い、効果量も算出した。

**実験 II** 実験 I に参加した宙返り未経験者を対象とし、事前に作成した指導プログラムに沿って 2 ヶ月間の宙返りトレーニングを行った。1 ヶ月後 [Middle]、2 ヶ月後[Post]に実験 I と同様の実験を行い、Pre は実験 I のデータとした。被験者は週に 2 回計 16 回のトレーニングを行った。毎トレーニング後にはビデオ撮影を行い、主観評価と客観評価を行うことでトレーニング効果を記録した。指導プログラムはトレーニング期間に合わせてコントロールし、Middle 直前にトランポリンを用いて補助により宙返りを体験させ、Post までには完全に一人で行えるようにした。

### 4. 研究成果

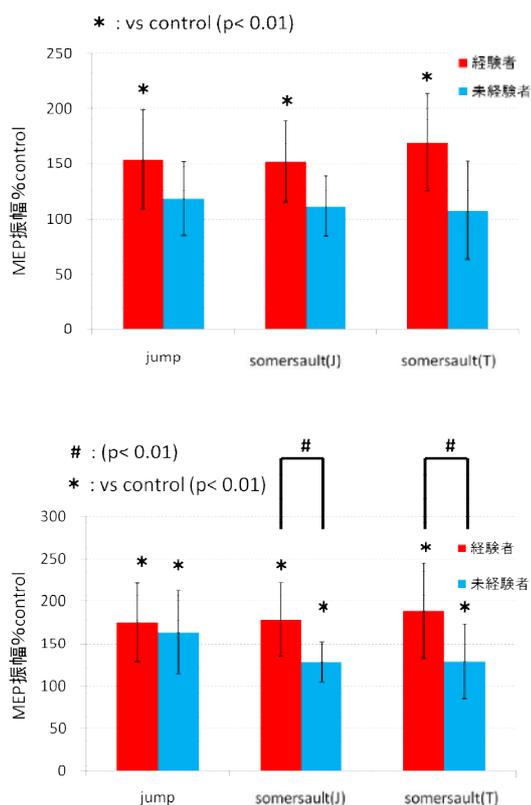


図 1 経験者と未経験者の MEP 振幅の平均  
観察条件 (上) イメージ条件(下)

**実験 I** 観察条件において経験者には control と課題の間に全ての課題で有意な増加が見られた(それぞれ  $P < 0.05$ )。しかし、未経験者には control と課題の間に変化はなかった(それぞれ  $P > 0.05$ )。イメージ条件では両群ともに control に比べ、全課題で増加した(それぞれ  $P < 0.05$ )。また、両群間で jump には差がなく ( $P > 0.05$ )、somersault (J)、somersault (T)には有意な差があった(それぞれ  $P < 0.0167$ )。

**実験 II** 被験者はトレーニングにより宙返りを習得したことが主観評価や客観評価からわかった。MEP 測定時の観察条件において control と各課題を比較した結果、Pre では全ての課題で差が無かった(それぞれ  $P > 0.05$ )。それに対し、Middle と Post におい

て有意な増大が見られた(それぞれ  $P < 0.05$ )。二元配置分散分析の結果、期間という要因で増加傾向が見られた( $P = 0.053$ )。イメージ条件では control と各課題を比較した結果、全ての期間において有意な増大が見られた(それぞれ  $P < 0.05$ )。また、二元配置分散分析の結果、期間において増加傾向が見られ、効果量も大きかった( $P = 0.09$ ,  $\eta^2 = 0.13$ )。

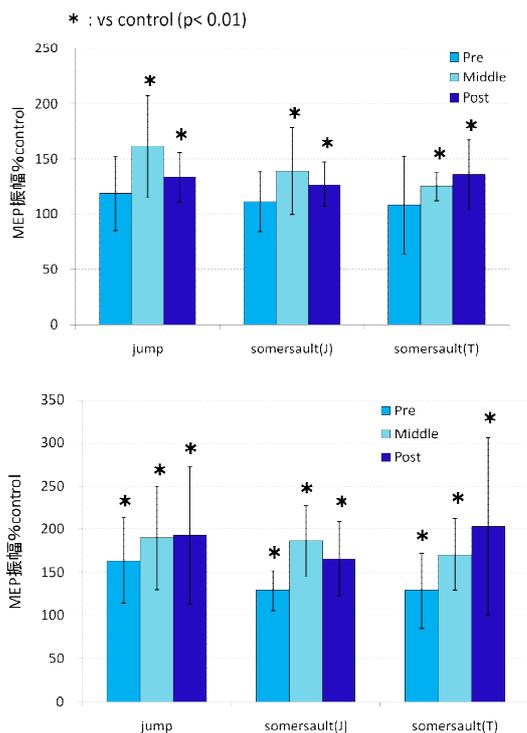


図2 トレーニングにおける MEP の変化  
観察条件(上) イメージ条件(下)

観察条件では実験 I から宙返り経験の有無により皮質脊髄路の興奮性が異なることが示唆された。しかし、実験 II からその要因は単なる宙返りではなく宙返りを含むトレーニングによる効果であったと考えられる。そのため観察条件における皮質脊髄路の興奮性を变化させた要因は指導プログラムの中にあると考えられる。イメージ条件では、実験 I から未経験の動作であっても“イメージすること”によって皮質脊髄路の興奮性が増大することが示唆された。また、その興奮性

は未経験者よりも経験者の方が大きく、実験 II から未経験者でもトレーニングにより増加させることができると考えられた。

観察やイメージにおいて宙返り経験者と未経験者では皮質脊髄路の興奮性が異なることが明らかとなった。また、トレーニングにより技能レベルが上がることでその興奮性は増大することが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① N. Mizuguchi, M. Sakamoto, T. Muraoka, N. Moriyama, K. Nakagawa, H. Nakata, and K. Kanosue (2012) Influence of somatosensory input on corticospinal excitability during motor imagery. *Neuroscience Letters*, in press.
- ② Nobuaki Mizuguchi, Hiroki Nakata, Yusuke Uchida, and Kazuyuki Kanosue (2012) Motor imagery and sport performance. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 1, 1-9.
- ③ M. Sakamoto, N. Moriyama, N. Mizuguchi, T. Muraoka, and K. Kanosue (2012) Modulation of corticospinal excitability in the course of acquiring action sequences by observation. *Plos One*, being submitted.
- ④ N. Mizuguchi, M. Sakamoto, T. Muraoka, K. Nakagawa, S. Kanazawa, H. Nakata, K. Kanosue (2011) Object-specific modulation of corticospinal excitability during motor imagery of actions with objects. *PLoS ONE*, 6 (10), e26006.
- ⑤ M. Sakamoto, T. Muraoka, N. Mizuguchi, and K. Kanosue (2009) Combining observation and imagery of an action enhances human corticospinal

excitability. *Neuroscience Research*,  
65 23-27.

⑥N. Mizuguchi, M. Sakamoto, T. Muraoka,  
and K. Kanosue (2009) Influence of  
touching an object on corticospinal  
excitability during motor imagery. *Exp.*  
*Brain Res.* 196(4):529-35.

⑦M. Sakamoto, T. Muraoka, N. Mizuguchi,  
and K. Kanosue (2009)  
Execution-dependent modulation of  
corticospinal excitability during  
action observation. *Exp. Brain Res.*  
199(1):17-25.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

彼末 一之 (KANOSUE KAZUYUKI)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号：50127213

### (2) 研究分担者

土屋 純 (TSUCHIYA JUN)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号：60236908  
坂本 将基 (SAKAMOTO MASANORI)  
熊本大学・教育学部・講師  
研究者番号：80454073