

## 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21日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700517

研究課題名（和文） 運動学習に影響を及ぼす姿勢制御の学習メカニズムの解明

研究課題名（英文） Learning mechanisms on postural control contributing to motor learning

研究代表者

齊藤 展士 (SAITO HIROSHI)

北海道大学・大学院保健科学研究院・助教

研究者番号：60301917

研究成果の概要（和文）：リーチ動作を繰り返し行い、トレーニングしたときの上肢の運動パフォーマンスの改善と姿勢制御の変化との関係、およびその繰り返しの効果を調べた。繰り返しにより姿勢制御は変化し、その変化は運動パフォーマンスの改善と比べ早期に起こった。また、その繰り返しの効果は3ヶ月以上持続した。さらに、運動パフォーマンスの改善は反対側へ汎化した。これらの結果から繰り返しにより姿勢制御にも学習が起こることがわかった。その姿勢制御の学習に中枢神経系が関与していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We examined the relationship between improvement in reaching performance and change in postural control and the retention of training effects and the generalization to the contralateral arm. Postural responses changed before improvements in reaching performance occurred. The changes in APAs were significantly correlated with improvements in reaching performance. The improvements in performance were retained after discontinuation of training for three months and were generalized to the left arm opposite to have been trained. The changes in APAs were also retained for three months. These results suggest the involvement of the central nervous system in controlling postural muscle activities and improving performance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2080,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション・姿勢制御・運動学習

## 1. 研究開始当初の背景

目的動作に対する運動学習の研究や姿勢制御の研究は数多くなされているが、姿勢制御システムの学習過程に関する研究はほと

んどなされていない。しかしながら、Stapleyら(Neuroreport 1998, 他)のグループは、床に置かれた物体に立位から手を伸ばす課題において、予測的な姿勢筋活動と身体移動速度

との間に密接な関係があることを明らかにし、運動パフォーマンスに予測的な姿勢筋の活動が関与することを示唆している。また、Schmitzら(Exp Brain Res 2002, 他)のグループは姿勢制御ストラテジーの発達過程を小児(4-10歳)と成人で比較し、姿勢筋の活動様式に違いを報告した。これは、運動学習により姿勢筋の活動様式に変化が生じる可能性を示唆している。本来、姿勢制御システムは、目的動作を効率よく遂行するためのシステムであるはずなので、今後、姿勢制御システム解明を目指す研究にとって、目的動作の学習との関連性が主要な研究動向になると推測される。今回の課題と研究方法(研究計画・方法参照)を用いることにより、国内外に先んじた研究を行い、姿勢制御メカニズムのさらなる解明に寄与することを目指している。

## 2. 研究の目的

(1) 姿勢筋は姿勢の安定化のために働く。つまり、身体重心の移動を最小限にとどめようとする働きを持つ(Slijper & Latash, Exp Brain Res, 2000)。このため、リーチング課題時の経時的な身体重心移動を調べることが姿勢制御メカニズムの詳細な解明に必要である。このことも含め、本研究課題の目的は、運動学習課題としてリーチングを反復して行わせた時の運動パフォーマンスと姿勢筋や身体重心移動から推定される姿勢制御システムの学習過程の関係を明らかにすることを目指す。

(2) 健常者がリーチングする運動前、運動直後、運動後の各局面におけるパフォーマンスに対する姿勢筋活動や身体重心移動の学習過程を明らかにする。具体的には、運動のパフォーマンス(運動時間、運動のピーク速度、正確性)と姿勢制御(筋活動の潜時や筋活動量、身体重心移動距離、足圧中心移動距離)との相関、各々の学習曲線や時間経過などを詳細に調べ、姿勢制御システムの学習過程を明らかにする。また、高齢者も対象とし、健常者と詳細に比較することで、運動学習時の姿勢制御に対する加齢の影響や小脳の役割を調べ姿勢学習のメカニズムの解明を目指す。

(3) 従来の姿勢制御研究における大きな疑問として、中枢神経系から出力される姿勢制御に対する指令が目的動作に対する運動指令と同等の指令か(single-process control)、あるいは異なる指令か(dual-process control)は未だ明らかでない。本研究の学術的な特色は、運動学習の研究で最もよく用いられるリーチング課題を使って、姿勢制御メカニズムの学習過程を調べることにより、姿勢制御に対する指令を特定できることにある。つまり、上肢を動かす

ための運動指令と姿勢制御に対する指令が同等であるならパフォーマンスと姿勢制御は同様の学習過程をたどると考えられるが、パフォーマンスと予測的な筋活動の学習過程は同等でないはずだ。中枢神経系は目的動作に対する運動指令とは異なる指令を姿勢筋に出力して姿勢を制御していると仮説を立て、検証を試みる。

## 3. 研究の方法

(1) 健常者を対象とした。リーチングはThomasら(J. Neurophysiology 2005)が用いた立位からのリーチング課題を改訂して用いた(図1)。被験者は床反力計の上に裸足で静止立位を保ち、肩の高さでリーチ動作可能な最大距離に設置された直径2cmの目標物へ向け、音刺激後にできるだけ素早く、そして正確にリーチングを開始するよう要求された。目標物は2N以上の力が加わるとブザーが鳴り、そのリーチングは失敗とした。非常に精度の高いリーチングを要求し、何度も反復して行うことでパフォーマンスを向上させた。また、姿勢制御の学習がどのくらい保持されるかを検討するために、同様の手法で同じ被験者に対し3日連続で課題を行った後、休息を1日取り、その翌日に再度、データを収集し比較した。さらに、3ヶ月後にも同様の手法でデータを収集した。

(2) 被験筋は左右の体幹筋と下肢筋の合計12筋(前脛骨筋、腓腹筋、大腿直筋、大腿二頭筋、腹直筋、脊柱起立筋)から表面筋電計により導出し、身体重心の位置や各関節の運動軌跡を三次元動作解析装置にて記録した。

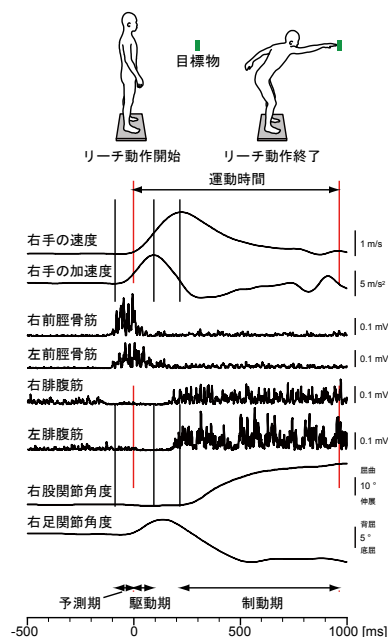


図1. リーチ動作の概略図

(3) リーチングのパフォーマンス (運動時間, 運動の最大速度, 正確性) に対する各局面での筋活動や身体重心移動距離の変化を調べた. 特に, フィードフォワードの姿勢制御システムの学習過程が運動時間にどのように関与するかを解明した. そのため, 各姿勢筋の予測的な活動や抑制の潜時と筋活動量を検討した.

#### 4. 研究成果

(1) リーチ動作の繰り返しによりパフォーマンスのパラメーターである運動時間は有意に短縮し ( $p < 0.01$ ), 運動速度は増加した ( $p < 0.01$ ) (図2). 一方, 予測期における姿勢制御のパラメーターである前脛骨筋の活動開始時間は有意に先行し ( $p < 0.01$ ), その積分筋電位は有意に増加した ( $p < 0.01$ ) (図2).

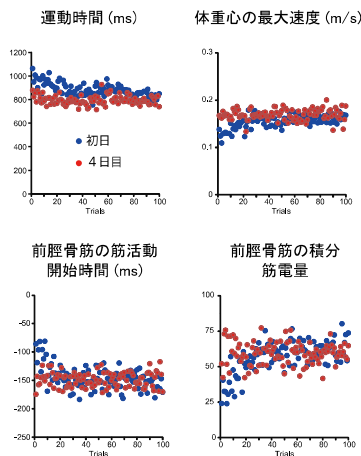


図2

(2) 駆動期において足関節背屈角度 ( $p < 0.01$ ) が制動期において股関節屈曲角度が ( $p < 0.05$ ), とともに有意に増加した (図3). 駆動期の前脛骨筋と制動期の腓腹筋の積分筋活動量は有意に増加した (それぞれ  $p < 0.01$ ) (図3).

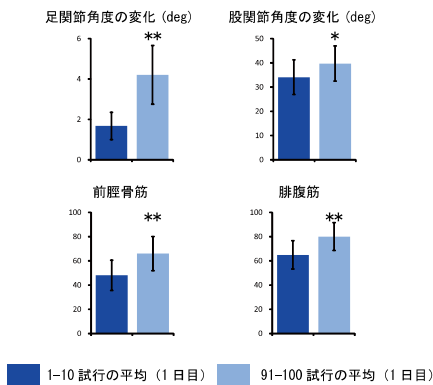


図3

(3) リーチ動作のパフォーマンスと予測的姿勢制御のパラメーターの間には有意な相関が認められた ( $r = 0.46-0.62$ , それぞれ  $p < 0.01$ ) (図4). また, 姿勢制御のパラメーターはパフォーマンスのパラメーターより早期に変化が起こった (表1).

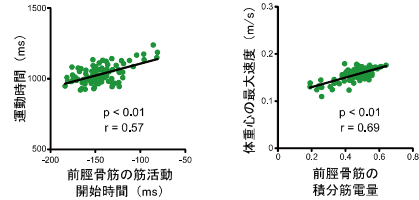


図4

表1

	試行回数	
運動時間	36.3 ± 18.6	**
前脛骨筋の筋活動開始時間	18.1 ± 7.6	
体重心の最大速度	34.4 ± 17.7	*
前脛骨筋の積分筋電量	19.6 ± 6.5	

\*  $p < 0.05$   
\*\*  $p < 0.01$

(4) これらのパラメーターにおいて一日, 休憩した後の4日目においても有意に学習効果が保持された (それぞれ  $p < 0.05$ ) (図5, 6). さらに, 3ヶ月後でも, 運動時間や前脛骨筋の予測的な筋活動開始時間など一部のパラメーターではトレーニングの持続効果が有意に保持されていた (それぞれ  $p < 0.05$ ) (図5, 6).

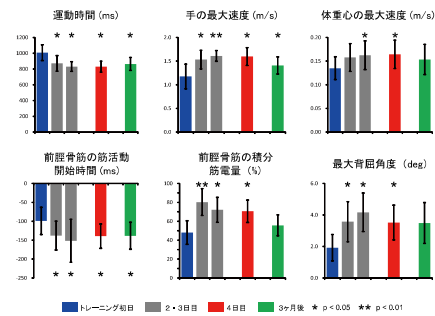


図5

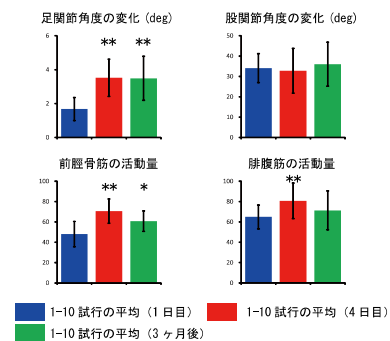


図6

(5) リーチ動作に必要な前方への推進力を生み出す予測的な前脛骨筋の筋活動が繰り返により増加し、足関節背屈角度も増加した。その結果、運動速度が増加し、運動時間が短縮したと考えられる。また、パフォーマンスと予測的姿勢制御の間には有意な相関が認められ、姿勢制御の変化がパフォーマンスの改善に影響を与えた可能性が示唆された。さらに、パフォーマンスの改善や予測的姿勢制御における学習は、少なくとも数日は保持されたことから、これらの学習は筋や運動ニューロンの末梢性の変化によるものではなく、中枢神経系の関与を示唆している。

リハビリテーションの場面において、患者に目的動作を繰り返し行わせることで能力改善を目指す。しかしながら、立位における上肢運動能力の改善を目指す場合、適切な姿勢調節がなされなければ繰り返したとしても機能的な上肢運動の獲得は困難である。これまで、姿勢調節システムの学習に関する研究は極めて少なく、繰り返により姿勢調節に学習が起こるのか、その学習がどのくらい持続するのかはよく理解されていない。これらを理解することは、目的動作の改善や姿勢の安定化により適切な治療を提供するための一助となるはずであり、非常に重要な課題である。このような大切な分野の研究であるにも関わらず、国内においてこの分野の研究はほとんどなされていない。そのため、本研究が国内におけるさきがけであろう。国外においてはいくつかの研究グループが姿勢学習に関する研究を行なっているが、床移動刺激に対する反応的姿勢制御の研究であったり、体幹や下肢ではない上肢の位置(姿勢)の制御の研究であったりと本研究とは目的が異なる。それ故、本研究は目的動作の学習と姿勢学習との関連性を調査する初めての国際的な研究に位置づけられ、高いインパクトを持つ。

今後、高齢者や小脳疾患患者においても同様に調べることで姿勢学習における加齢の影響や小脳の役割が解明できると考え、既に準備を進めている。

#### 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4件)

- ① Saito H, Kominami Y, Yamanaka M, Takeda N, Fukushima J: Effects of repetitive reaching movements on performance and postural control. *J. Physical Therapy Science* 23: 569-574, 2011.

- ② Kikuro Fukushima, Teppei Akao, Hiroshi Saito, Sergei A. Kurkin, Junko Fukushima, Barry W Peterson: Representation of Neck Velocity and Neck-Vestibular Interactions in Pursuit Neurons in the Simian Frontal Eye Fields. *Cerebral Cortex* 20:1195-1207, 2010.
- ③ 齊藤展士: 前頭眼野追跡眼球運動ニューロンに対する頸部固有受容器からの入力. *北海道医学雑誌* 84: 349-366, 2009.
- ④ Fukushima K, Kasahara S, Akao T, Saito H, Kurkin S, Fukushima J, Peterson BW. Reafferent Head-Movement Signals Carried by Pursuit Neurons of the Simian Frontal Eye Fields During Head Movements. *Ann NY Acad Sci* 1164: 194-200, 2009.

[学会発表] (計11件)

- ① Saito H, Fukushima J: Learning effects and generalization on performance and anticipatory postural adjustments during repetitive reaching training. The 34th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, PACIFICO YOKOHAMA, Yokohama, 2011.9.
- ② Saito H, Fukushima J, Yamanaka M, Takeda N: LEARNING EFFECTS ON PERFORMANCE AND ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS DURING REPEATED REACHING. The 16th International Congress of WCPT, RAI Convention Centre, Amsterdam, 2011.6.
- ③ 齊藤展士, 穴迫翔, 小西智也, 福島順子, 山中正紀, 武田直樹: リーチ動作を反復させた時のパフォーマンスと予測的姿勢制御における学習効果. 第46回日本理学療法学会大会, シーガイアコンベンションセンター, 宮崎市, 2011.5.
- ④ 小野寺智亮, 中川健二, 長船沙耶加, 上埜敬介, 土田芳彦, 齊藤展士: 大腿骨近位部骨折術後早期の移動能力について. 第46回日本理学療法学会大会, シーガイアコンベンションセンター, 宮崎市, 2011.5.
- ⑤ 小西智也, 穴迫翔, 山中正紀, 武田直樹, 齊藤展士: 立位で重錘を離れた時の足圧中心と体重心の制御. 第46回日本理学療法学会大会, シーガイアコンベンションセンター, 宮崎市, 2011.5.

- ⑥ 小野寺智亮, 尾山陽平, 岩田典子, 菅野佑介, 土田芳彦, 齊藤展士: 大腿骨近位部骨折患者における SLR 能力と移動能力の関係. 第 61 回北海道理学療法士学術大会. 札幌コンベンションセンター, 札幌市, 2010. 11.
- ⑦ Saito H, Fukushima J, Yamanaka M, Takeda N: EFFECTS OF REPEATED REACHING ON ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS. 11th International Congress of the Asian Confederation for Physical therapy. SANUR PARADISE HOTEL, Bali, Indonesia, 2010.10.
- ⑧ 齊藤展士, 山中正紀, 武田直樹: リーチ動作の繰り返しによる下肢の筋活動と関節運動の変化. 第 45 回日本理学療法学術大会. 長良川国際会議場, 岐阜市, 2010. 5.
- ⑨ Saito H, Akao T, Kurkin S, Fukushima K. Properties of neck proprioceptive responses of pursuit neurons in the caudal part of the frontal eye fields (FEF) of alert monkeys. 36<sup>th</sup> International congress of physiological sciences. Kyoto International Conference Center, Kyoto, 2009.7.
- ⑩ 齊藤展士, 福島順子, 山中正紀, 武田直樹, 岡田陽子, 今泉有美子: リーチ動作を反復した時の姿勢制御の学習による変化. 第 44 回日本理学療法学術大会, 東京国際フォーラム, 東京, 2009.5.
- ⑪ Saito H, Fukushima J. Effects of repetition of whole body reaching on anticipatory postural adjustments. Society for the Neural Control of Movement, 19<sup>th</sup> Annual Meeting, Waikoloa Beach Marriott Resort and Spa, Hawaii, 2009.4.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齊藤 展士 (SAITO HIROSHI)  
北海道大学・大学院保健科学研究所・助教  
研究者番号: 60301917

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

福島 順子 (FUKUSHIMA JUNKO)

北海道大学・大学院保健科学研究所・教授  
研究者番号: 40208939

山中 正紀 (YAMANAKA MASANORI)  
北海道大学・大学院保健科学研究所・教授  
研究者番号: 40166757

武田 直樹 (TAKEDA NAOKI)  
北海道大学・大学院保健科学研究所・教授  
研究者番号: 80227032