

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300210

研究課題名(和文) 随意性の低い効果器の訓練及び非侵襲脳刺激法による随意性向上と神経基盤の変化

研究課題名(英文) Neural basis of motor control and learning in non-dexterous effectors by sports training and non-invasive brain stimulation

研究代表者

荒牧 勇 (Aramaki, Yu)

中京大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：40414023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、非利き手や足など随意性の低い効果器を対象として、その随意性を向上させ、その随意性向上に伴う神経基盤の変化を明らかにする研究を行った。足によるボールリフティングや非利き手による投球訓練により、運動制御・学習に重要な役割を果たす小脳の灰白質量が増加することが明らかとなり、成人でも脳構造が発達する証拠を示した。また、一次体性感覚・運動野への非侵襲的な経頭蓋直流電気刺激により、足関節の関節可動域を変調することに成功し、ヒト運動システムに対する神経モジュレーションの可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to elucidate the neural basis of motor control and learning in non-dexterous effectors such as non-dominant hand or foot. Using MRI, voxel based morphometry analysis revealed that the grey matter volume in cerebellum increased by the training of non-dominant hand pitching and lower-limb ball-juggling. It suggests that, even in adult, the brain structure can develop by sports training. In addition, the non-invasive transcranial direct current electrical stimulation (tDCS) of the primary sensorimotor cortex succeeded in modulating the range of motion of the ankle joint. It shows the possibility of tDCS for neuromodulation of human movement system.

研究分野：スポーツ脳科学

キーワード：MRI VBM tDCS 小脳 随意性 リフティング 投球 関節可動域

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトは自らの身体を随意的に動かす神経システムを有しているが、全身のそれぞれの効果器に対する随意性は効果器により大きく異なる。例えば、非利き手は、利き手に比べて大きく随意性が劣るし、足は手に比べて随性が劣る。また耳を動かす筋肉である耳介筋のように、本来は神経回路があるものの、使う必要がないために多くの人で随意性の欠落した痕跡器官と呼ばれるような効果器もある。

ヒトの運動学習・運動発達を研究する上では、利き手を用いたリーチング課題などで新しい力場や視覚変換場を学習する実験パラダイムが主流である。こうした実験により、新しい力場や視覚変換場などを学習する神経メカニズムがしらべられてきた。

しかし、すでに十分な随意性をもつ利き手に、このような学習を行わせるだけでは、運動制御の根源的な問題である、随意性の獲得の神経基盤を明らかにすることは難しい。

そこで、非利き手や足など随意性の低い効果器を対象として、その随意性を向上させ、その随意性向上に伴う神経基盤の変化を明らかにする研究を行うこととした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、随意性の低い効果器に対して、訓練や機器介入により随意性を獲得させ、その随意性向上にともなう神経基盤の変化を明らかにすることである。この目的のために、以下の3つの研究を行った。

### 2 - 1 リフティング練習による脳構造の発達

手に比べて随意性の低い足の随意性向上を目的として、サッカーのリフティングの訓練によるリフティング回数の向上に伴う訓練前後の脳神経系の変化を脳構造画像解析により明らかにする研究を行った。

### 2 - 2 左手投球訓練による脳構造の発達

右手に比べて随意性の低い左手の随意性向上を目的として、非効き手である左手によるハンドボール投球訓練を行い、投球速度やコントロールの向上に伴う訓練前後の脳神経系の変化を脳構造画像解析により明らかにする研究を行った。

### 2 - 3 経頭蓋直流電気刺激による足関節柔軟性の向上

随意性向上を脳への非侵襲刺激により向上させる手法を開発するために、一次体性感覚・運動野（経頭蓋直流電気刺激の刺激分解能の限界により、ここでは一次体性感覚野と一次運動野を合わせて一次体性感覚・運動野と呼ぶ）に対する経頭蓋直流電位刺激が足関節の関節可動域の向上に及ぼす効果を調べた研究を行った。

## 3. 研究の方法

### 3 - 1 リフティング練習による脳構造の発達

10人の被験者に対し、週3回、1回につき15分間のサッカーリフティング訓練を4週間行った。訓練期間の前後に一度ずつ、3テスラMRIを用いて、T1強調脳構造画像を計測した。脳画像解析はVoxel based morphometryの手法を用いた。

### 3 - 2 左手投球訓練による脳構造の発達

被験者17名に対して、4週間にわたり、週に3日、一回50球、非利き手の左手によるハンドボール投球を行った。被験者は椅子に座り、左手で7m先の的の中心を目標に投球を行った。訓練期間の前後に一度ずつ、3テスラMRIを用いて、T1強調脳構造画像を計測した。脳画像解析はVoxel based morphometryの手法を用いた。

### 3 - 3 経頭蓋直流電気刺激による足関節柔軟性の向上

8名の被験者に対して、足の次体性感覚・運動野（実際にはその直上と想定される頭頂部Cz）に対して、経頭蓋直流電気刺激を20分間1mAの強度で行った。刺激様式は、anode, cathode, shamの3条件とした。各刺激様式の経頭蓋直流電気刺激の前後に足関節の可動域を計測した。

## 4. 研究成果

### 4 - 1 リフティング練習による脳構造の発達

4週間のリフティングの訓練により、運動制御・学習に関連する左小脳、物体の運動を認知する運動視に関わるMT/V5の灰白質量が増加した。左小脳の発達の解釈としては、訓練により、リフティング回数の向上が見られたが、随意性の低い左足によるリフティングの回数も向上しているため、左足の随意性の向上に伴ってそれを制御する左小脳のが発達し、灰白質量が増えたものと推測される。MT/V5の発達については、ジャグリングの訓練によってMT/V5の灰白質量が増加すると報告する先行研究があり、手と足で違うものの、本研究でも物体の動きを認知する必要があるタスクであるため、運動視に関するMT/V5の灰白質量が増大したものと考えられる。本研究成果は、成人であっても、運動トレーニングにより、脳の構造が発達する証拠となる。

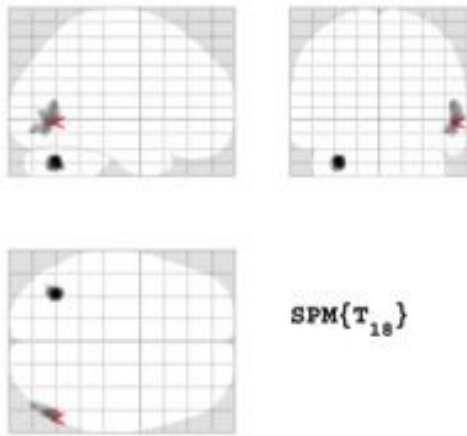


図1 リフティングの訓練で灰白質が増加する脳部位

#### 4 - 2 左手投球訓練による脳構造の発達

本実験は、4 - 1のリフティング訓練により左小脳の灰白質量が増大するという結果の解釈として、左足の随意性が向上したという推測を実験的に検証するためのものである。すなわち、リフティング訓練が右足も左足も使用したために、左小脳の構造的発達が、左足の随性の増加によるものと必ずしもいえない点があったが、本研究により左手だけを徹底的に訓練することで左小脳の灰白質量が増大すると予想した。

この予想通り、4週間の非利き手による投球訓練の結果、左小脳の灰白質量の増大が観察された(図2)。投球速度、投球精度ともに向上しており(図3)、非利き手による投球能力の向上は左小脳の灰白質の構造的発達に支えられていることが明らかとなった。本研究成果も、成人であっても、運動トレーニングにより、脳の構造が発達する証拠となる。

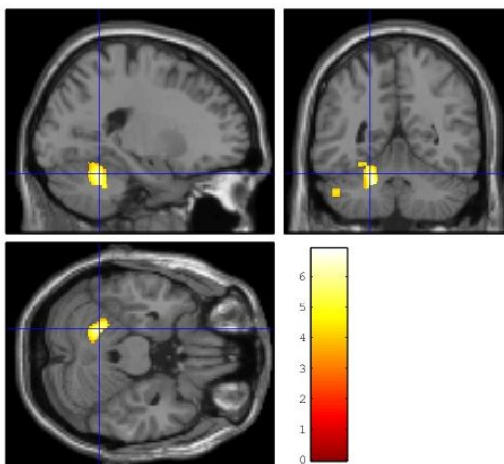


図2 左手投球訓練により左小脳の灰白質量が増加

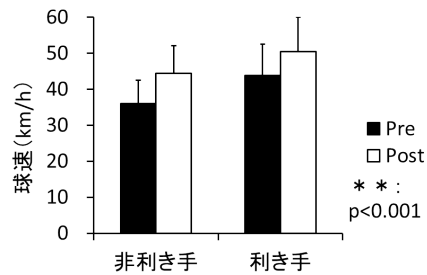
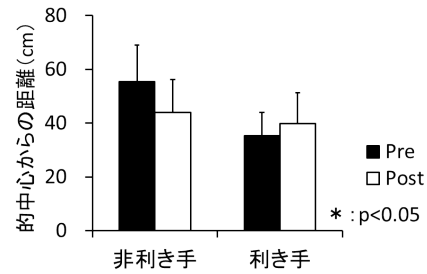


図3 左手投球訓練による左手投球速度と精度が向上

#### 4 - 3 経頭蓋直流電気刺激による足関節柔軟性の向上

一次体性感覚・運動野への cathode 刺激により、足関節の関節可動域の増加が観察された。同部位への cathode 刺激はレーザー刺激に対する痛みの閾値を上げる(痛みに鈍くなる)ことが先行研究により報告されており、本研究でも、関節可動域の上限に対する痛みの閾値が上がることにより、関節可動域が増加したものと考えられる。本研究の成果は、経頭蓋直流電気刺激により、随意運動制御に重要な感覚を制御することが可能であることをあきらかにし、ヒト運動システムへの非侵襲的な神経モジュレーションの可能性を示した。

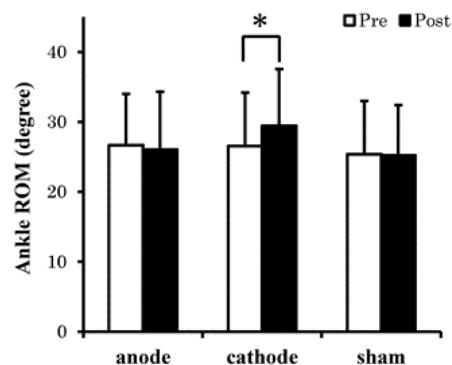


図4 頭頂部への cathode 刺激による足関節関節可動域の増加

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)

1. 荒牧勇 トレーニングによる脳構造の変化 体育の科学 66, 5-10, 2016. 査読なし
2. Yu Aramaki The neural basis of bimanual coordination. Ingenious convergence of dance culture II pp.110-131, 2015. 査読なし
3. Hamaguchi M, Asada H, Aramaki Y and Kitagawa K. Characteristics of *Zanshin* of Kendo Practitioners: Examination of the Relationship between Eye Blinking and CNV Resolution Time. Int. J Sports and Health Science. 12: 53-60, 2014. 査読あり
4. 荒牧勇 両手同時操作の神経基盤 日本生理人類学会誌 19(3): 173-177, 2014 査読あり
5. 伊奈 嵩紘, 田中 悟志, 石橋 豊, 荒牧 勇, 定藤 規弘, 岩田 彰 機能的MRIを用いた視聴覚刺激同期判断課題における非同同期判断に関わる脳活動の検討 日本感性工学会論文誌 13, 1-6, 2014 査読あり
6. 大家利之, 荒牧勇, 北川薫 間欠的短時間高強度運動におけるアクティブリカバリーとパッシブリカバリーがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響. 体育学研究. 58, 463-471, 2013. 査読あり
7. Ohya, T., Aramaki Y., and Kitagawa K. Effect of duration of active or passive recovery on performance and muscle oxygenation during intermittent sprint cycling exercise. Int. J. Sports Med. 34(7):616-22, 2013. 査読あり

[学会発表](計21件)

1. 荒牧勇 Voxel-based Morphometry in

Sports. 第93回日本生理学会公募シンポジウム「アスリートの脳：その秘密を探る研究の最前線」(札幌)2016.3.23

2. 新海陽平、中川恵理、吉本隆明、北田亮、定藤規弘、荒牧勇 アーチェリー競技者の試合時の実力発揮能力と島皮質灰白質容積の関係 包括脳ネットワーク冬のシンポジウム(東京、日本)2015.12.18
3. Yu Aramaki The neural basis of bimanual coordination. International Symposium of the Korean Society of Dance (Seoul, Korea) 2015. 11.7 論文集 Ingenious convergence of dance culture II pp.110-131
4. 荒牧勇 身体運動・スポーツを支える神経基盤 日本体力医学会東海地方会学術集会シンポジウム「運動と脳機能」(名古屋)2015.3.7
5. Mizuno T., Aramaki Y. Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation over Primary Somatosensory Cortex Increase Joint Flexibility. Society for Neuroscience 44<sup>th</sup> Annual meeting. (Washington, DC, USA) 2014. 11.16
6. 荒牧勇 スポーツと脳構造 日本心理学会第78回大会(同志社大学)2014.9.10
7. 新井翔太、荒牧勇 非利き手での投球トレーニングによる同側小脳の発達日本体育学会第65回大会(岩手大学)2014.8.28
8. 荒牧勇 スポーツと脳構造 スポーツの認知神経科学-身体運動、知覚、そして時間-(慶応大学日吉)2014.8.11
9. 荒牧勇 脳構造からみるスポーツ Motor Control 研究会シンポジウム「スポーツと脳」(筑波大学)2014.8.8
10. 荒牧勇 協調運動の神経基盤 ネアンデルタールとサピエンス交替劇の真相第9回研究大会(東京大学)2014.5.10
11. 荒牧勇 両手同時操作の運動制御 日本

- 生理人類学会第 69 回大会 ( 京都、日本 )  
2013.10.26
12. 坂口結子、高橋篤史、荒牧勇、高橋繁浩  
北川薫 中学・高校競泳選手における試  
合期前と鍛錬期前の形態的・体力的変化  
第 68 回日本体力医学会大会( 東京、日本 )  
2013.9.22
  13. 原田健次、下嶽進一郎、高橋陽花、菅原  
翔、北田亮、定藤規弘、荒牧勇 陸上競  
技短距離選手と長距離選手の尾状核にお  
ける構造的差異 第 7 回 Motor control  
研究会 ( 東京、日本 ) 2013. 9.6
  14. 水野貴正、荒牧勇 体性感覚野への経頭  
蓋直流電気刺激が足関節の柔軟性に及ぼ  
す影響 第 7 回 Motor control 研究会( 東  
京、日本 ) 2013. 9.6
  15. 大家利之、原田健次、荒牧勇 サッカ  
ーのリフティング訓練による脳灰白質の  
局所的変化 日本体育学会第 64 回大会  
( 滋賀( 立命館大学 )、日本 ) 2013. 8.30  
研究奨励賞受賞
  16. 水野貴正、荒牧勇 体性感覚野への経頭  
蓋直流電気刺激は足関節の最大背屈角度  
を増大させる 日本体育学会第 64 回大  
会( 滋賀( 立命館大学 )、日本 ) 2013. 8.30
  17. 原田健次、下嶽進一郎、荒牧勇 陸上競  
技短距離選手と長距離選手における動機  
づけと脳構造の違い 日本体育学会第 64  
回大会( 滋賀( 立命館大学 )、日本 ) 2013.  
8.29
  18. 荒牧勇 スポーツを脳科学する 第 8 回  
NEXT30 産学フォーラム( 中部経済連合会  
主催 )( 豊田、日本 ) 2013.7.23
  19. 伊奈嵩紘、田中悟志、石橋豊、荒牧勇、  
定藤規弘、岩田彰 視聴覚メディア間の  
同期判断に関わる脳活動の検討 ~  
Functional MRI を用いた脳活動による  
QoE の評価に向けて ~ コミュニケーシ  
ョンクオリティ研究会 ( 福岡、日本 )  
2013.3.11
  20. 荒牧勇 MRI でヒトの筋肉をみる、脳を  
みる 第一回中京大学 6 研究所研究交流  
会 ( 名古屋、日本 ) 2013.1.28
  21. 大家利之、荒牧勇、北川薫 間欠的短時  
間高強度運動におけるアクティブリカバ  
リーの運動強度とピークパワー減少率と  
の関係 . 第 10 回日本フットボール学会  
( 東京、日本 ). 2012.12.22
- 〔 図書 〕 ( 計 2 件 )
1. 荒牧勇 スポーツスキルの脳科学 ( 分担  
執筆、大築立志・工藤和俊・中澤公孝編 )  
杏林書院 ( 近刊 )
  2. 荒牧勇 メディカルフィットネス Q&A ( 分  
担執筆、社会保険研究所、2014 年 4 月、2  
ページ )
- 6 . 研究組織
- (1) 研究代表者  
荒牧勇 ( Aramaki Yu ) 中京大学・スポーツ  
科学部・教授  
研究者番号 : 40414023