

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：15401
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011 ～ 2012
課題番号：23650325
研究課題名（和文） 運動イメージによる運動機能改善効果—大脳皮質脳活動 バイオフィードバックの応用
研究課題名（英文） Effect of motor imagery on motor dysfunction - biofeedback of cerebral cortical activity
研究代表者 松川 寛二 (MATSUKAWA KANJI) 広島大学・医歯薬保健学研究院・教授 研究者番号：90165788

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、運動イメージによりパーキンソン患者の空間認知能が改善することを明らかにした。次に、近赤外分光イメージング法を用いて、随意運動イメージと関連する脳活動領域を探索した。その結果、大脳皮質前頭前野の脳活動は上肢運動には反応せずその運動イメージで増加すること、逆に、頭頂部の運動野領域は上肢運動には反応したが運動イメージでは反応しないことを明らかにした。前頭前野脳活動を用いれば運動イメージを可視化できるので、この脳情報の feedback は運動イメージを利用したリハビリテーション診療に貢献できることが示唆された。

## 研究成果の概要（英文）：

This study revealed using Parkinson's patients that motor imagery improved the reaction time in response to a metal rotation task of a hand. In order to determine the cerebral cortical areas in relation to motor imagery, the responses in the oxygenated hemoglobin concentration of various cortical regions were mapped during voluntary arm cranking and during motor imagery of the exercise using near infrared spectroscopy in humans. We found that activity of the prefrontal cortex did not increase during voluntary arm-cranking exercise but significantly increased during motor imagery of the exercise, whereas activity of the temporal motor cortical areas increased during voluntary arm-cranking exercise but not during motor imagery of the exercise. Therefore it is suggested that motor imagery can be visualized by the activity of the prefrontal motor cortex, whose feedback may be useful to strengthen the effects of motor imagery treatment on motor dysfunctions in rehabilitation.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野： 統合生理学

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： 1) リハビリテーション 2) 運動イメージ 3) 大脳皮質脳活動  
4) 大脳皮質前頭前野 5) バイオフィードバック 6) 運動機能の改善

## 1. 研究開始当初の背景

能動的な立位動作や二足歩行はヒト日常所作の基礎をなし *Quality of Life* と直結する。パーキンソン病、脊髄小脳変性症、脳血管障害等による運動失調の進行と共にこれらの動作は困難となる。しかし自らの身体空間や動作に対する運動イメージを前以って獲得できると、一時的に運動失調が消失することが報告された(宮口英樹、作業療法ジャーナル 41: 1046-1049, 2007)。この臨床所見は、損傷を受けた神経回路とは異なる、新たな神経回路網が運動イメージにより一時的に構築され運動制御を行う可能性があることを示唆した。また、立位動作や二足歩行などの運動中には、循環系適応が起こり健常者では起立性低血圧などを防ぐが、運動失調者ではこの循環調節能も害われている可能性があり、そのため二次的に運動失調を起こしたとも考えられる。運動イメージが、運動機能のみならず、循環生理機能の中樞性調節に貢献する可能性もある。もし大脳皮質活動を連続的に計測し脳内の運動イメージを定量化・可視化できるならば、その信号を患者にバイオフィードバックすることでより効果的なリハビリテーション治療に貢献できるだろうと着想した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、能動的な上肢運動機能検査に対応した動作分析および心血管応答の評価システムを開発し、次に近赤外分光イメージング(NIRS)を用いて運動イメージと関連する大脳皮質脳活動を同定することであった。また、もし大脳活動をフィードバックすれば、運動機能に変化するかについて調べることであった。より具体的な研究目的を以下に箇条書きする。

(1) 健常者および運動失調者の上肢運動機能検査に対応した動作分析および心血管応答の評価システムを新たに開発する。

(2) 運動イメージの有無による運動機能や循環機能の相違について客観的に検証する。

(3) 比較的無拘束な条件下で、大脳皮質脳活動を記録する方法として、近赤外分光イメージング(NIRS)がある(Miyai et al. Neuroimage 14: 1186-1192, 2001)。大脳皮質脳活動の変化を全頭型NIRSによりリアルタイムで計測し運動イメージに関連した脳活動

変化を捉える。この信号を被験者に視覚的にBiofeedbackすることで運動機能や循環機能の改善に繋がるか否かを調べる。

## 3. 研究の方法

健常者および運動失調者の上肢運動機能検査に対応した動作分析および心血管応答の評価システムを新たに開発し、運動イメージの有無による運動機能や循環機能の違いについて客観的に検証した。大脳皮質全体の脳活動を全頭型NIRSで計測し、運動イメージに関連した脳活動変化の場所や大きさを同定した。次に、この脳活動の信号を被験者に視覚Biofeedbackすることで、運動機能や循環機能に変化するか否かを調べた。具体的な研究方法を以下に記載する。

### (1) H23年度

#### ① 動作分析・循環応答評価システムの開発

健常者ならびに運動失調者にも適用できるような上肢運動機能検査(Modified STEF)を用いた動作分析および心血管応答の評価システムを新たに開発した。このシステムを使って、運動イメージの有無による運動機能や循環機能の変化について客観的な検証を試みた。動作分析のために、ビデオ撮影と無線テレメータシステムを用いて筋電図を記録した。また、心血管応答を解析するために、心電図および指尖血圧計(Finometer)を用いて動脈血圧、心拍出量、末梢血管抵抗等を記録した。

#### ② 大脳皮質脳活動の計測

上肢運動時にみられる大脳皮質脳活動を全頭型NIRSイメージング装置(FOIRE-3000、下図)および2チャンネルNIRS装置(NIRO-200)によりリアルタイムで計測した。



全頭型近赤外分光イメージング  
プローブを装着した様子

具体的には、NIRSを用いて、大脳皮質全体または前頭前野の局所酸素化ヘモグロビン動態(Oxy-Hb)および脱酸素化ヘモグロビン動態(Deoxy-Hb)を同時記録した。Oxy-Hbは組織血流量に比例し、間接的に神経細胞の活動を反映すると考えられている。いずれの近赤外光イメージング装置も比較的無拘束な条件下で大脳皮質 Oxy-Hbを計測できる。

## (2) H24 年度

### ① 運動イメージの効果

上肢運動機能検査中にみられる運動機能や心循環機能に関して、自らの身体空間や動作に対する運動イメージの有無による違いがあるか否かについて客観的に再検証した。

### ② 運動イメージに伴う大脳皮質脳活動

運動イメージのみを単独で与えた場合にみられる大脳皮質脳活動変化の場所や大きさを明らかにした。そして、上肢運動機能検査中にみられる大脳皮質脳活動と運動イメージの関係を調べた。更に、上記で同定した場所の脳活動信号を被験者に視覚Biofeedbackすることで、運動機能や循環機能が改善するか否かを調べた。

### ③ 運動イメージの臨床応用実践

中枢性運動機能障害を有するパーキンソン病患者に、筋活動を意識させる運動イメージを取り入れたダンス介入プログラムを実施した。空間認知機能を調べる手のメンタルローテーション課題に対するスコアを介入前後で比較した。

## 4. 研究成果

以下に、本研究の成果を箇条書きする。

(1) 上肢随意運動としてエルゴメーターを用いた上肢回転運動解析システムを開発した。このシステムを使って、腕クランキング運動中の回転角度・発揮された筋力・筋電図に関する情報を計測できた。運動の開始・終了および運動量の大きさやその時間経過を精密に解析できた。実験中の循環動態(心拍数・動脈血圧・心拍出量・血管抵抗など)を連続的にモニターし解析できるようにした。

(2) 上肢随意回転運動時にみられる大脳皮質脳活動のモニターとして、全頭型52チャンネル

NIRSおよび前額部用2チャンネルNIRSにより局所酸素化ヘモグロビン量(Oxy-Hb)を記録した。大脳皮質前頭前野のOxy-Hb量は、随意運動の開始に約10秒先行して増加をはじめた。運動遂行と共に、大脳皮質前頭前野のOxy-Hb量は低下に転じた。対照的に、頭頂部運動野のOxy-Hb量は、随意運動中に増加したけれども、運動に先行した変化を示さなかった。

(3) 脳Oxy-Hb量から推測した大脳皮質前頭前野の脳活動は、ハンドグリップなど単純な上肢運動には殆ど反応しないが、その運動イメージ中に増加することを観察した。また前頭前野脳活動の大きさは運動イメージに関する主観的鮮明度と相関を示した。対照的に、頭頂部運動関連領域は、上肢運動にはよく反応したが、運動イメージには殆ど反応しなかった。以上の結果から、大脳皮質前頭前野の脳活動を用いて運動イメージを可視化できることを明かにした。

(4) パーキンソン病患者に運動イメージを取り入れたダンス介入プログラムを実施したところ、空間認知機能を調べる手のメンタルローテーション課題に対する反応時間は介入後に有意に短縮した。

以上の研究成果から、大脳皮質前頭前野の脳活動は上肢運動には殆ど反応しないがその運動イメージ中に増加することが判明した。逆に、頭頂部運動野領域は上肢運動にはよく反応したが運動イメージには殆ど反応しなかった。それ故、大脳皮質前頭前野の脳活動を用いて運動イメージを可視化できることを明かにした。また前頭前野脳活動は上肢随意運動に約10秒先行して増加するという特徴をもち、運動時の自律神経系や循環器系の調節とも関連することが示唆された。運動イメージを取り入れた介入プログラムをパーキンソン病患者に実施したところ、運動イメージで空間認知機能が改善されることを明かにした。しかし、前もって与えた運動イメージが運動機能を強化・改善するか否かに関しては、有意な研究結果は未だ得られず、将来に残された研究課題である。

今後の研究推進策として、リハビリテーション臨床現場において利用可能な携帯型NIRSを開発し大脳皮質脳活動を連続計測できることが大切である。脳内の運動イメージを定量化・可視化できるならば、その信号を患者にfeedbackすることでよりEvidence-basedな効果的なりハビリテーション診療に貢献できると思われる。

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9件)

1) Matsukawa K, Ishii K, Liang N, Endo, K. Have we missed that neural vasodilator mechanisms may contribute to exercise hyperemia at onset of voluntary exercise? *Frontiers in Physiology* 4: 23, 2013, 査読有 (DOI: 10.3389/fphys.2013.00023)

2) Matsukawa K, Liang N, Ishii K. Central command: feedforward control of the sympathoadrenal system during exercise. *J Phys Fitness Sports Med* 1: 573-577, 2012, 査読有 (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpfsm>)

3) Matsukawa K, Ishii K, Kadowaki A, Liang N, Ishida T. Differential effects of central command on aortic and carotid sinus baroreceptor-heart rate reflexes at the onset of spontaneous, fictive motor activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 303: H464-H474, 2012, 査読有 (DOI: 10.1152/ajpheart.01133.2011)

4) Ishii K, Liang N, Oue A, Hirasawa A, Sato K, Sadamoto T, Matsukawa K. Central command contributes to increased blood flow in the non-contracting muscle at the start of one-legged dynamic exercise in humans. *J Appl Physiol* 112: 1961-1974, 2012, 査読有 (DOI: 10.1152/jappphysiol.00075.2012)

5) 松川寛二. 運動と心拍動リズムの自律神経調節. *体育の科学* 62: 252-259, 2012, 査読無し (<http://www.kyorin-shoin.co.jp>)

6) Matsukawa K. Central command control of cardiac sympathetic and vagal efferent nerve activity and the arterial baroreflex during spontaneous motor behavior in animals. *Exp Physiol* 97: 20-28, 2012, 査読有 (DOI: 10.1113/expphysiol.2011.057661)

7) Matsukawa K, Nakamoto T, Liang N. Electrical stimulation of the mesencephalic ventral tegmental area evokes skeletal muscle vasodilatation in the cat and rat. *J Physiol Sci* 61: 293-301, 2011, 査読有 (DOI: 10.1007/s12576-011-0149-8)

8) Nakamoto T, Matsukawa K, Liang N, Wakasugi R, Wilson LB, Horiuchi J. Coactivation of renal sympathetic neurons and somatic motor neurons by chemical stimulation of the midbrain ventral tegmental area. *J Appl Physiol* 110: 1342-1353, 2011, 査読有 (DOI: 10.1152/jappphysiol.01233.2010)

9) 宮口英樹、中西一、中津留正剛. 運動イメージの臨床応用. *作業療法ジャーナル* 45: 864-872, 2011, 査読有 (<https://www.miwapubl.com>)

[学会発表] (計18件)

1) 松川寛二、梁楠、石井圭、遠藤加菜. Spontaneous fictive motor activity 時の中脳腹側被蓋野の局所血流量変化について. 第90回日本生理学会大会、2013年3月27日～3月29日、東京都

2) 石井圭、松川寛二、梁楠、遠藤加菜、井手迫光弘. 自発運動時の骨格筋における高次中枢性コリン作動性血管拡張の証明. 第90回日本生理学会大会、2013年3月27日～3月29日、東京都

3) 遠藤加菜、山根結、石井圭、井手迫光弘、梁楠、松川寛二. 片脚運動時の対側非活動肢における筋血流応答. 第90回日本生理学会大会、2013年3月27日～3月29日、東京都

4) 井手迫光弘、松川寛二、石井圭、石田知子、遠藤加菜、梁楠. セントラルコマンドは自発運動時に大動脈血圧 Spontaneous fictive motor activity 時の中脳腹側被蓋野の局所血流量変化について. 第90回日本生理学会大会、2013年3月27日～3月29日、東京都

5) 梁楠. 運動イメージに伴うヒト一次運動野の興奮性の変化およびその臨床的意義について. 第90回日本生理学会大会シンポジウム21: リハビリテーションと運動機能回復、2013年3月27日～3月29日、東京都

6) 石井圭、松川寛二、梁楠、遠藤加菜、井手迫光弘. セントラルコマンドは自発運動開始期に活動筋血流量を増加させる. 第64回日本生理学会中国四国地方会、2012年10月27日～10月28日、高知市

7) 井手迫光弘、松川寛二、石井圭、梁楠、遠藤加菜. 自発運動開始時の心拍応答に対する頸動脈洞血圧受容器反射および大動脈血

圧受容器の役割は異なる。第 64 回日本生理学会中国四国地方会、2012 年 10 月 27 日～10 月 28 日、高知市

8) Ishii K, Matsukawa K, Liang N, Oue A, Hirasawa A, Sato K, Sadamoto T. Central command contributes to increased blood flow in the non-contracting muscle during motor imagery and voluntary one-legged exercise. 2012 American Physiological Society Intersociety Meeting: the Integrative Biology of Exercise VI. 2012 年 10 月 10 日～10 月 13 日, Westminster, Colorado, USA

9) 中西一、山根直哉、木下遙、中津留正剛、林辰博、内山将哉、石附智奈美、原田俊英、木村浩彰、宮口英樹。健常者との比較によるパーキンソン病患者の運動イメージ想起能力について。第 13 回日本認知神経リハビリテーション学会学術集会、2012 年 10 月 13 日、広島市

10) 宮口英樹。日常生活場面の観察と脳の機能解剖を生かす。第 32 回近畿作業療法学会(招待講演)、2012 年 10 月 7 日、大阪市

11) 宮口英樹。中枢神経障害を理解する 3 つの視点—機能解離、二重解離、運動イメージ。第 46 回日本作業療法学会(招待講演)、2012 年 6 月 15 日～6 月 17 日、宮崎市

12) 中津留正剛、宮口英樹、中西一、和田太、蜂須賀健二。パーキンソン病患者におけるイメージ課題早期の特徴—JMIQ-R、KVIQ を用いた健常高齢者との比較。第 46 回日本作業療法学会、2012 年 6 月 15 日～6 月 17 日、宮崎市

13) Matsukawa K, Ishii K, Kadowaki A, Liang N, Ishida T. The effect of central command on arterial baroreflex function at the onset of spontaneous, fictive motor activity in decerebrate cats. 第 89 回日本生理学会大会、2012 年 3 月 29 日～3 月 31 日、松本市

14) Ishii K, Matsukawa K, Liang N, Oue A, Hirasawa A, Sato K, Sadamoto T. Central command induced bilateral increases in muscle blood flow during motor imagery and on-legged voluntary cycling. 第 89 回日本生理学会大会、2012 年 3 月 29 日～3 月 31 日、松本市

15) Naito Y, Takabatake S, Tanaka H, Ishizuki C, Miyaguchi H. Difficulties and

innovations for activities of daily living in Parkinson's disease patients. The 5<sup>th</sup> Asia Pacific Occupational Therapy Congress, 2011 年 11 月 23 日～11 月 24 日, Chiang Mai, Thailand

16) Nakanishi H, Kinoshita H, Yamamoto T, Ishizuki C, Miyaguchi H. Therapeutic effect of motor image for fracture patient. The 5<sup>th</sup> Asia Pacific Occupational Therapy Congress, 2011 年 11 月 23 日～11 月 24 日, Chiang Mai, Thailand

17) Hashimoto H, Takabatake S, Naito Y, Miyaguchi H, Tanaka H. Dance exercise for Parkinson's disease. The 5<sup>th</sup> Asia Pacific Occupational Therapy Congress, 2011 年 11 月 23 日～11 月 24 日, Chiang Mai, Thailand

18) Matsukawa K. Animal investigation into the role of central command in exercise. The Physiological Society Symposium, 2011 年 7 月 11 日～7 月 14 日, Oxford, UK

〔図書〕(計 5 件)

1) 松川寛二。文光堂、スタンダード生理学(第 3 版)第 15 章:運動機能、2013 年、印刷中

2) 小峰秀彦、松川寛二。真興交易医書出版部、身体運動と呼吸・循環機能:II 部循環機能、第 3 章:運動時の心臓自律神経活動調節、2012 年、p211-p217

3) 中西一、榎尾富未香、宮口英樹。三輪書店、パーキンソン病はこうすれば変わる:運動イメージの評価、2012 年、p79-p81

4) 中西一、石附智奈美、宮口英樹。三輪書店、パーキンソン病はこうすれば変わる:運動イメージ早期の臨床応用、2012 年、p97-p99

5) 宮口英樹、高畑進一。三輪書店、パーキンソン病はこうすれば変わる:パーキンソンダンスの効果、2012 年、p102-p112

〔その他〕  
ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/matsulab/>  
(広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・基礎生命科学部門・生理機能情報科学研究室)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松川 寛二 (MATSUKAWA KANJI)  
広島大学・医歯薬保健学研究院・教授  
研究者番号：90165788

### (2) 研究分担者

宮口 英樹 (MIYAGUCHI HIDEKI)  
広島大学・医歯薬保健学研究院・教授  
研究者番号：00290552

### (3) 連携研究者

梁 楠 (LIANG NAN)  
広島大学・医歯薬保健学研究院・助教  
研究者番号：70512515

### (4) 研究協力者

遠藤 加菜 (ENDO KANA)  
広島大学・医歯薬保健学研究院・助教  
研究者番号：60584696

石井 圭 (ISHII KEI)  
広島大学・医歯薬保健学研究科・大学院生