

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03990

研究課題名（和文）脳卒中患者の潜在的運動イメージを顕在化させる評価・訓練手法の開発

研究課題名（英文）Fundamental Research on a development of assessment and training methods to make an implicit motor imagery explicit for stroke rehabilitation.

研究代表者

武田 湖太郎（Takeda, Kotaro）

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：50618733

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：脳卒中後の運動麻痺改善を目的としたMental Practice（運動を想像する訓練）の手段として、手の心的回転課題が注目されてきた。この課題では、被験者は潜在的に自身の手の運動を想像することが示唆されてきたが、運動をイメージしない方略で課題を遂行する場合もある。本研究では、手の心的回転課題を繰り返すことが方略に与える影響を調査した。その結果、約半数の健康成人が、課題の繰り返しによって方略を運動イメージから他の方略へ変化させたことが明らかとなった。また、本研究では課題遂行方略をコントロールするためのVRシステムを開発し、運動イメージをより誘発しやすい環境を整えるための取り組みを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳卒中後の運動麻痺では様々なリハビリ法が提案されているが、重度麻痺患者では選択肢が少ない。数少ない選択肢のひとつとして運動イメージ訓練があるが、実際の運用場面では、運動を想起させることが難しく、さらには外部から運動を想像できているかを評価することも難しい。提示された手画像の左右を判別するだけの「手の心的回転課題」は、潜在的に自身の運動を想像するため運動イメージ訓練方法のひとつとして期待されてきた。一方で運動イメージ以外の方略で課題を遂行する場合もあり、方略についての基盤的な研究が必要であった。そこで本研究では、方略を変更する人数比やその特性を明らかにするとともに、方略を誘導する方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：The hand mental rotation task has been highlighted as a form of mental practice (motor imagery training) aimed at enhancing motor function following stroke-induced paralysis. It has been suggested that participants implicitly imagine their own hand movements during the task, though some may execute it without employing motor imagery. This study examined the impact of repeated hand mental rotation tasks on participants' strategies. Results revealed that approximately half of the healthy participants shifted their strategies from motor imagery to alternative approaches through task repetition. Additionally, a VR system was developed in this study to manage strategies, with efforts directed toward establishing an environment conducive to eliciting motor imagery more effectively.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：運動イメージ 心的回転課題 課題遂行方略 リハビリテーション

### 1. 研究開始当初の背景

脳卒中後のリハビリテーションの主要な目的のひとつは運動麻痺の改善であり、運動障害に対するニューロリハビリテーションのひとつとして、Mental Practice (運動イメージ訓練) が注目されてきた。運動イメージ訓練とは、身体的な運動によるリハビリテーションではなく体の動きを想像することによるリハビリテーションのひとつである。運動イメージ中には、実際の運動で動員される神経システムが活性化することが古くから知られており、特に運動実施が困難な脳卒中患者のリハビリテーションへの応用が期待されている。この臨床応用のためには、障害された自身の四肢が動いていることを想像する一人称の運動イメージが重要となる。しかし、一人称の運動イメージを想起させること(およびその確認)は難しく、これは「自身の手や足の運動をイメージしてください」といった教示により解決できる問題ではない。

一人称の運動イメージを想起させやすい課題として「手の心的回転課題」が注目されている。これは回転された1枚の手画像を見て左手か右手かを判断する課題である。この課題遂行時には、潜在的に提示された画像へ自身の手を重ねあわせる運動をイメージしていること(一人称運動イメージ)が示唆されている。これまでの多くの先行研究では、手画像の左右判断の時間(応答時間, Response Time, RT)を測定することによりこの課題遂行方略を推定している。例えば、自身の手を提示画像へ重ね合わせるイメージを行う場合、指尖が体の内側に向いている手画像への応答は外側に向いている画像よりも速いという、Medial-Lateral Effect と呼ばれる RT 特性がみられ、運動をイメージしていることの根拠とされている。この Medial-Lateral Effect は、実際に動かすことの難しい方向では、運動の想像においても時間がかかるという特性を表している。このことから、手の心的回転課題が潜在的に一人称運動イメージを促す課題であるとして、リハビリテーションへの応用に期待されてきた。

一方で、手の心的回転課題における課題遂行方略は、自身の上半肢動作を想像する運動イメージのみとは言えず、提示された手画像自体を正立方向へ回転させる視覚イメージを用いる場合があることが、これまでの報告により示されてきた。この方略の違いは手画像の表裏で顕著に表れる。手掌画像では Medial Lateral Effect がみられ運動イメージ方略が示唆されるのに対し、手背画像では回転角度に比例した応答時間特性がみられ視覚イメージ方略が示唆される。これまでの報告から年齢や性別によっても応答時間特性の相違がみられる可能性があり、単純に手画像を提示するだけでは運動イメージが誘発されないケースがあり、これまでの知見では手の心的回転課題はリハビリテーションの手法として十分な情報が提供されていない。

### 2. 研究の目的

#### 年齢と方略の関係

本研究ではまず、手の心的回転課題における課題遂行方略に関し、年齢の影響を調査した。

#### 課題の繰り返しと方略の関係

介入効果の検証にあたり、手の心的回転課題を繰り返すことによる単純な影響を調査する必要があった。そこで本研究は、心的回転課題の繰り返しによって RT や方略がどのような影響を受けるのかを明らかにすることを目的とした。

#### 介入手法の開発

手の心的回転課題における課題遂行方略をコントロールするため、自身の手を動かして課題を遂行しているかのように感じる映像をヘッドマウントディスプレイで提示する介入手法を開発することを最終的な目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究における手の心的回転課題では、すべて同じ実験セットを用いた。具体的には、参加者は静音環境にてディスプレイ前に着座し、ディスプレイに表示された矢印または手の画像(図1)の左右を判別した。提示された画像の左右に応じて、左右の示指でそれぞれキーボードの F キーまたは J キーを押して回

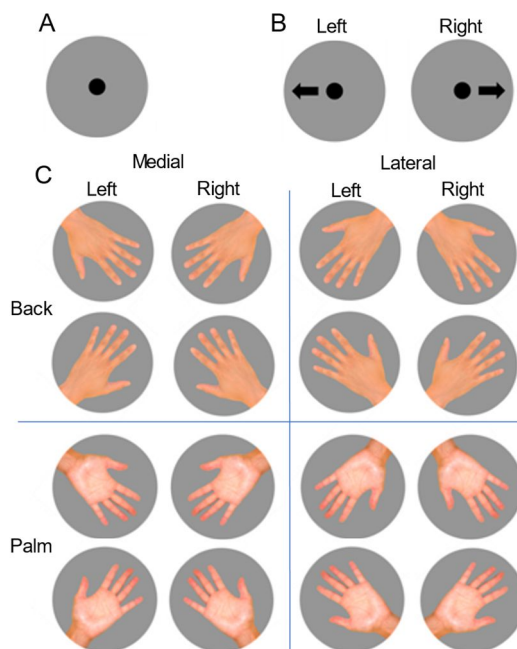


図1 手の心的回転課題で使用した手画像  
実験課題では、2秒間の注視点(A)の後に1枚の画像が提示された。参加者は、矢印(B)が提示された場合にはその左右を、手画像(C)が提示された場合には左手か右手かを判断した。

答した画像の提示および画像呈示からボタン押しまでの RT の測定には E-Prime 3.0 を用いた。矢印は左右それぞれ 16 回がランダムに提示され、各方向において後半 8 回の平均 RT を、(単純な左右判断からボタンを押すまでの) 運動生成時間と定義した。手画像への RT から運動生成時間(同方向への矢印への平均 RT)を減算し、手の心的回転にかかった時間 ( $\Delta RT$ ) とした。各手画像について、平均  $\Delta RT$  をその正答率で除算して inverse efficiency score (IES) を算出した。手掌・手背それぞれの画像について、Medial 画像(指尖が体の内側に向いている手画像)と Lateral 画像(指尖が体の外側)にまとめて平均  $\Delta RT$  (IES) を算出した。

#### 年齢と方略の関係

307 名の右手利きのボランティアが参加し、若年(15-29 歳、61 人)、中年(30-59 歳、108 人)、高齢(60~88 歳、138 人)の 3 グループに分けられた。手の心的回転課題の平均  $\Delta RT$  (IES) について、各群において、パフォーマンスによる群分けを行った(平均  $\Delta RT$  の短い Short 群、中程度の Medium 群、平均  $\Delta RT$  の長い Long 群)。

手画像では、図 1C の 16 種類の画像(左右  $\times$  手掌・手背  $\times$  4 方向)がランダムに提示される試行を 1 set として、4 set の繰り返し課題(合計 64 試行)を行った。手掌画像と手背画像それぞれにおいて、年齢群  $\times$  パフォーマンス群  $\times$  方向(内側画像・外側画像)の 3 要因分散分析を用いて Medial 画像と Lateral 画像への応答時間の比較を行い、年齢やパフォーマンスにより課題遂行方略に違いがあるのかを検証した。

#### 課題の繰り返しと方略の関係

右手利きの健常若年成人 42 人が参加した。正答率が 50% 以下の画像があった 2 人、課題中に寝てしまった 2 名を解析から除外した。手の心的回転課題の終了後に、どのような方略で課題を遂行したかについての聞き取り(内観調査)を行い、参加者を運動イメージ(MI)群、視覚イメージ(VI)群、MI から VI へ変更した(MI-VI)群、VI から MI へ変更した(VI-MI)群に分けた。

手画像では、図 1C の 16 種類の画像がランダムに提示される試行を 1 set として、32 set の繰り返し課題(合計 512 試行)を行った。各 16 種類の手画像について、それぞれ繰り返し回数 32 回のうち前後各 16 回の平均  $\Delta RT$  を、その正答率で除算して inverse efficiency score (IES) を算出した。平均  $\Delta RT$  に関し、手掌画像と手背画像それぞれにおいて、方略群  $\times$  前後半  $\times$  方向(内側画像・外側画像)の 3 要因分散分析で比較した。また、外側画像と内側画像との RT の差(difference in  $\Delta RT$ )を算出し、2 要因分散分析(方略群  $\times$  前後半)による比較を行った。

### 4. 研究成果

#### 年齢と方略の関係

手背画像では(図 2A)、平均 RT の長い中年群や高齢群で、Medial 画像よりも Lateral 画像の RT が長いという Medial-Lateral Effect が見られ、一般に視覚イメージで課題を遂行する画像においても運動イメージで課題を遂行する場合があることが明らかとなった。

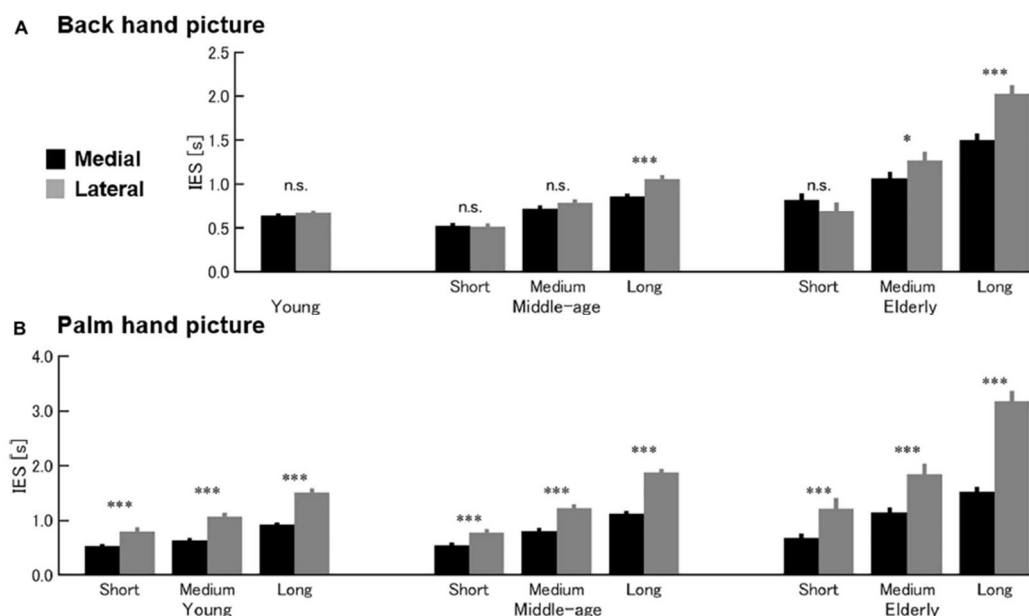


図 2 年齢・パフォーマンスによる方略の違い

Medial, 指尖が内側を向いた画像; Lateral, 外側を向いた画像.

### 課題の繰り返しと方略の関係

課題終了後の内観調査（顕在的な課題遂行方略の調査）では、手背画像については 38 人中 37 人が VI 方略であった（1 人は MI 方略）。手掌画像については、38 人中 18 人が MI 群（最初から最後まで MI 方略で課題遂行した群）、18 人が MI-VI 群（課題の途中で MI から VI へ方略を変えた群）となり、VI 群、VI-MI 群はそれぞれ 1 人であった。この結果は、顕在的な意識としては、手背画像では先行研究どおり VI 方略で課題を遂行し、かつその方略が繰り返しによって変化しないこと、そして手掌画像では多くが先行研究どおり MI 方略で遂行していたこと、そしてそのうち約半数が方略を変化させたことを示唆している。

顕在的な課題遂行方略で十分なサンプルサイズとなったのは手掌画像における方略群（MI 群と MI-VI 群）であったため、分散分析ではこの 2 群間で比較を進めた。

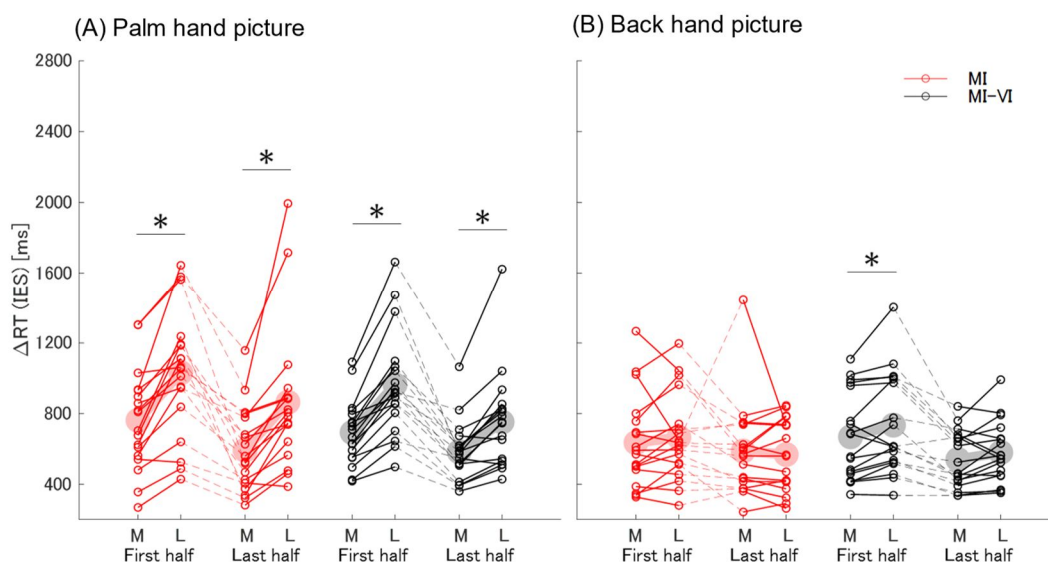


図 3 手掌（Palm）と手背（Back）における応答時間

M, medial (指先が内側を向いた画像); L, lateral (外側を向いた画像); First half, 前半 16 回の平均 DRT; Last half, 後半 16 回; light-red and gray plots, 16 人の平均値。

手掌画像（Palm）では、MI 群・MI-VI 群ともに、前半・後半のいずれも Medial 画像が Lateral 画像よりも短い  $\Delta RT$  となり、両群ともに Medial-Lateral Effect がみられた（図 3A）。一方、Lateral 画像への  $\Delta RT$  と Medial 画像への  $\Delta RT$  の差では、MI 群において前後半の有意差が無く、MI-VI 群において有意な減少がみられた（図 4A）。これらの結果から、方略を変更した群においては、試行の繰り返しによって内側・外側の差がなくなる VI 方略へ変化しつつも、Medial-Lateral Effect が残存していた（MI 方略が継続していた）ことを示している。手の心的回転課題における運動イメージは潜在的であるとされており、顕在的に方略を変化させたとしても運動イメージを含めた総合的な左右判別を行っていることを示唆している。

手背画像では、一般に VI 方略（Medial 画像と Lateral 画像で  $\Delta RT$  の差が無い）で遂行されると言われているが、MI-VI 群では前半 16 回の試行において Medial-Lateral Effect がみられ（図 3B）、運動イメージを併用した課題遂行が示唆された。これは、MI-VI 群は課題遂行方略を試行錯誤していたことが表れていると考えられる。



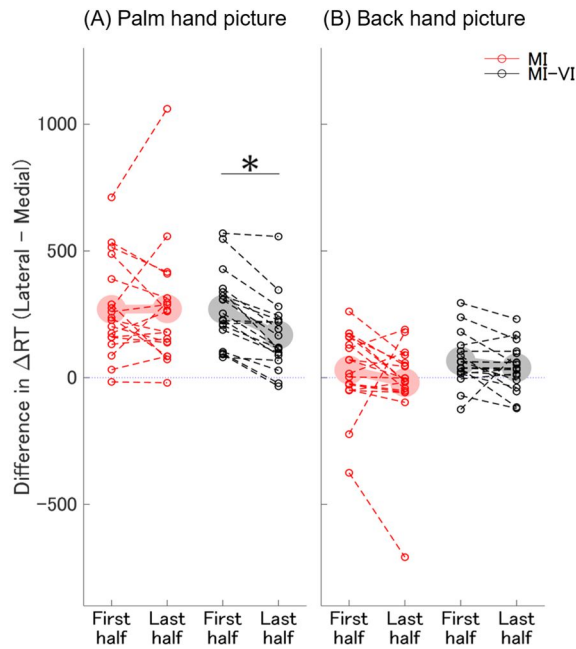


図4 手掌 (Palm) と手背 (Back) における Difference in DRT  
 First half, 前半 16 回の平均 DRT; Last half, 後半 16 回; light-red and gray plots, 16 人の平均値.

#### 介入手法の開発

本研究では、手の心的回転課題の方略を被験者に意識させる仮想現実 (Virtual Reality, VR) のシステムを構築した。図 5AB は、それぞれヘッドマウントディスプレイ装用下で再生される映像であり、実際の課題で用いるコンピュータと自身の手が表示されている。この VR システムでは、手画像が提示された際に自身の手をその画像に重ね合わせるような映像 (図 5A, MI 方略を再現)、または提示された手画像自体が正立位置 (指尖が上を向く方向) へ自動的に回転する映像 (図 5B, VI 方略を再現) を描画する。これらの映像の閲覧により手の心的回転課題の方略をコントロールすることが可能となるかが今後の展開となる。

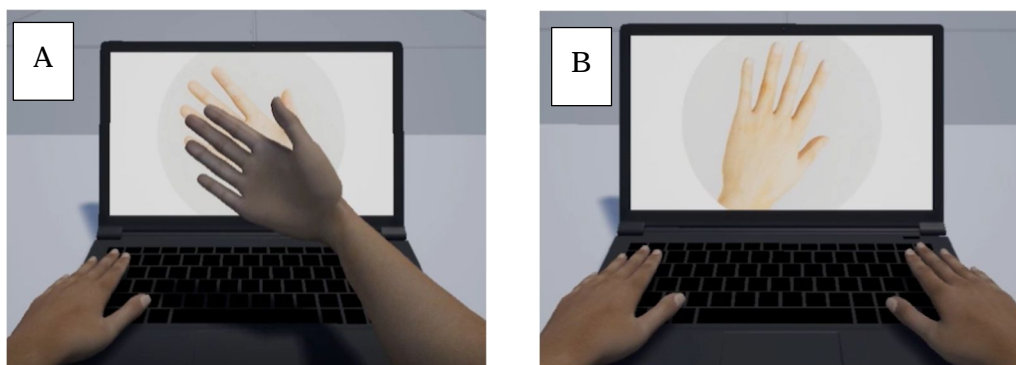


図5 自身の手を提示画像に重ね合わせる映像 (VR システムのキャプチャ画像, A) と提示画像自体が正立位置まで回転する映像 (VR システムのキャプチャ画像, B)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nagashima Izumi, Takeda Kotaro, Harada Yusuke, Mochizuki Hideki, Shimoda Nobuaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Age-Related Differences in Strategy in the Hand Mental Rotation Task	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 615584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2021.615584	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mochizuki Hideki, Takeda Kotaro, Sato Yutaka, Nagashima Izumi, Harada Yusuke, Shimoda Nobuaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Response time differences between men and women during hand mental rotation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0220414
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0220414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nagashima Izumi, Takeda Kotaro, Shimoda Nobuaki, Harada Yusuke, Mochizuki Hideki	4. 巻 13
2. 論文標題 Variation in Performance Strategies of a Hand Mental Rotation Task on Elderly	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 252
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2019.00252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長島泉, 武田湖太郎, 望月秀樹, 原田祐輔, 矢倉義久, 下田信明
2. 発表標題 年代によって手の心的回転課題遂行方略は異なる-遂行時間を用いて分けた群による検討
3. 学会等名 第11回日本ニューロリハビリテーション学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田湖太郎
2. 発表標題 手の心的回転課題時の運動イメージとリハビリテーション
3. 学会等名 第8回健康福祉システム開発研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	下田 信明  (Shimoda Nobuaki)  (00275786)	東京家政大学・健康科学部・教授   (32647)	
研究分担者	加藤 健治  (Kato Kenji)  (30771216)	国立研究開発法人国立長寿医療研究センター・健康長寿支援ロボットセンター・室長   (83903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------