

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：35309

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17780

研究課題名(和文) 歩行改善を促す身体認知変容の神経基盤の解明

研究課題名(英文) Neural basis of body cognition change contributing to gait improvement

研究代表者

伊藤 智崇 (Ito, Tomotaka)

川崎医療福祉大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：90587297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず歩行時の身体の適応性と認知機能との関係を調べた。その結果、認知機能評価の一つである心的回転(mental rotation: MR)課題において身体部位を回轉變換させる能力と、未経験の歩行環境への適応能力との間には関連があることが示された。次に、歩行の適応学習時とMR課題時に共通して活動する後部頭頂葉(posterior parietal cortex: PPC)に着目し、歩行の適応学習過程におけるPPCの機能的な役割を調べた。その結果、PPCが歩行中の下肢の力のコントロールのばらつきを減らす役割を果たしていることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、歩行の適応能力とMR課題における空間認識力との関係が明らかとなった。この成果は、身体と認知の相互作用に関する理解を深めるものであり、リハビリテーションの効果を向上させるための新たなアプローチ方法の開発にも貢献する可能性がある。さらに、歩行の適応学習過程におけるPPCの機能的役割が明らかになったことは、ヒトが環境や課題に応じて身体を適応させるための神経基盤の理解に繋がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Herein, we examined, for the first time, the relationship between individual adaptability during walking and cognitive functions. The results revealed a correlation between the ability to mentally rotate body part images during a mental rotation (MR) task a well-known cognitive assessment and the ability to adapt to unfamiliar walking environments. Subsequently, we focused on the posterior parietal cortex (PPC) which is commonly activated during adaptive learning on walking and MR tasks and investigated the functional role of the PPC in the adaptive learning process associated with walking. In conclusion, PPC plays an essential role in reducing the variability of force control in the lower limbs during walking.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：運動適応 運動学習 歩行 左右分離型トレッドミル 大脳皮質 心的回転 運動イメージ 身体認知

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

身体機能と認知機能は密接に関連していることが知られている。リハビリテーション医療の分野では、多くの研究で身体表象や身体機能・能力と心的回転 (mental rotation: MR) によって評価される空間認識力との関連性が示されている (Nico et al., 2004; Scandola et al., 2019)。しかしながら、身体の適応性と空間認識力との関連についての研究は希少であり、これまでの研究は主に上肢運動に焦点を当てたものであった。

左右分離型トレッドミル (以下、トレッドミル) は、左右のベルト速度を異なる速さに調整することができ、新たな歩行環境における身体の適応性を評価することが可能である。このトレッドミルを用いた歩行の適応学習過程における脳活動の研究では、小脳以外にも後部頭頂葉 (posterior parietal cortex: PPC) や補足運動野などの大脳皮質領域の活動が観察されている (Hinton et al., 2019)。これらの脳領域は、MR 課題時にも活動する (Hamada et al., 2018) 共通の脳領域であることから、歩行時の身体の適応性と空間認識力は関連することが推測された。しかしながら、これまでにこの関連性を明らかにした研究は存在せず、歩行のようなダイナミックな運動におけるヒトの適応性と関連する認知的要因については調べられていなかった。また、小脳が適応的学習において主要な役割を果たすことは広く知られているが、歩行の適応学習過程における大脳皮質領域の機能的な関与については不明な点が多かった。

2. 研究の目的

研究 1 では、MR 課題の反応時間 (response time: RT) と歩行の適応的学習能力との関連について明らかにすることを目的とした。その結果を受けて、研究 2 では、MR 課題において機能的関与が報告されている PPC に注目し、経頭蓋直流電気刺激 (transcranial direct current stimulation: tDCS) を使用して、歩行の適応学習過程における PPC の機能的役割を明らかにすることを目的に実験を行った。

3. 研究の方法

(1) 研究 1 では、若年健常成人 31 名を対象とした。MR 課題では、左右の手掌面、手背面、足底面、足背面、および矢印画像を用いた。手、足、矢印画像のモニターへの提示は別々に行った。身体部位の画像は、各画像を 45° ずつ回転させた 8 つの画像を用いた (図 1)。対象者は左右の判断を行い、そのために要した RT を測定した。身体部位画像の RT から矢印画像の RT を減じて ΔRT を算出した。さらに、手背面、足背面の三人称画像 (135°、180°、225°) の平均 ΔRT 、手掌面、足底面の一人称画像 (0°、45°、315°) および三人称画像の平均 ΔRT からそれぞれ手背面、足背面の一人称画像の平均 ΔRT を減じ、除することで ΔRT 変化率を算出した。適応的学習能力の評価には左右分離型トレッドミルを用いた。右ベルト速度：左ベルト速度が 1：3 および 3：1 の 2 つの条件を設定し、対象者を 2 群に振り分けた。非対称な歩行を 5 分間行い、トレッドミル内の床反力計にて得られた 1 歩行周期中の左右後方成分ピーク値のデータから左右対称性の指標である symmetry index (SI) を算出した (Yokoyama et al., 2018)。SI の変化が増加後に安定した状態となった時点を変曲点として求め、変曲点までの歩行周期数を 200 歩行周期で除することで、各対象者の学習能力 (%) を評価した。統計学的解析では、身体部位画像の ΔRT 変化率と歩行の学習能力との関連性を検討するために相関分析を行った。

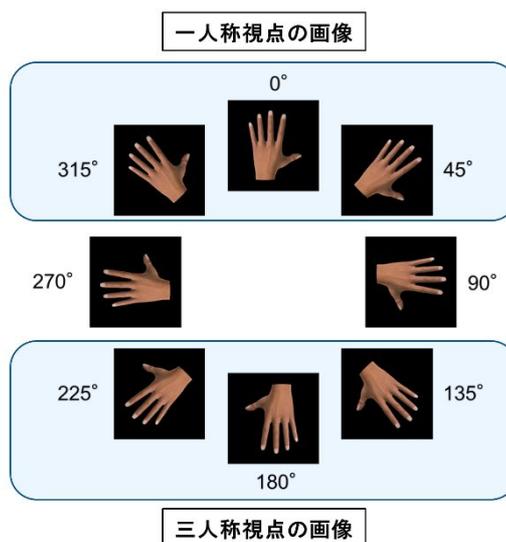


図1 提示画像例

(2) 研究 2 では、研究 1 とは異なる若年健常成人 32 名を対象とした。脳刺激には tDCS を用い、刺激強度は 2 mA とした。刺激条件は、左 PPC に陽極刺激を行い、右小脳に陰極刺激を行う PPC 促進条件と、右頬筋に陽極刺激を行い、右小脳に陰極刺激を行うコントロール条件の 2 条件とした (図 2)。対象者をランダムに 2 群に振り分けた。実験手順は、まず、左右分離型トレッドミルの両側のベルト速度が 0.5 m/s の条件で 2 分間歩行を行った (ベースライン歩行)。次に、安静座位にて tDCS を開始し、10 分間刺激を行った後、刺激を継続しながらトレッドミルの左ベルト速度が 0.5 m/s、右ベルト速度が 1.5 m/s の条件で非対称な歩行を 15 分間行った (適応歩行)。tDCS と適応歩行は同時に終了し、その後再び、両側のベルト速度が 0.5 m/s の条

件で5分間歩行を行った(再適応歩行)。トレッドミル内の床反力計を使用して、左右後方成分ピーク値の変遷を測定し、適応歩行開始からの最初の50歩行周期(初期適応)と、適応歩行終了前の最後の50歩行周期(終期適応)の値を抽出した。これらの値を用いて初期適応と終期適応時の変動係数(データのばらつき)を算出した。さらに、2群間で歩行時のばらつきに差がないことを確認するため、ベースライン歩行時の変動係数についても算出した。統計学的解析では、ベースライン歩行時の下肢制御のばらつきを検査するために2元配置分散分析(群×側性)を用いた。また、PPCが適応歩行時の下肢制御のばらつきに与える影響を検査するために3元配置分散分析(群×側性×時期)を用いた。

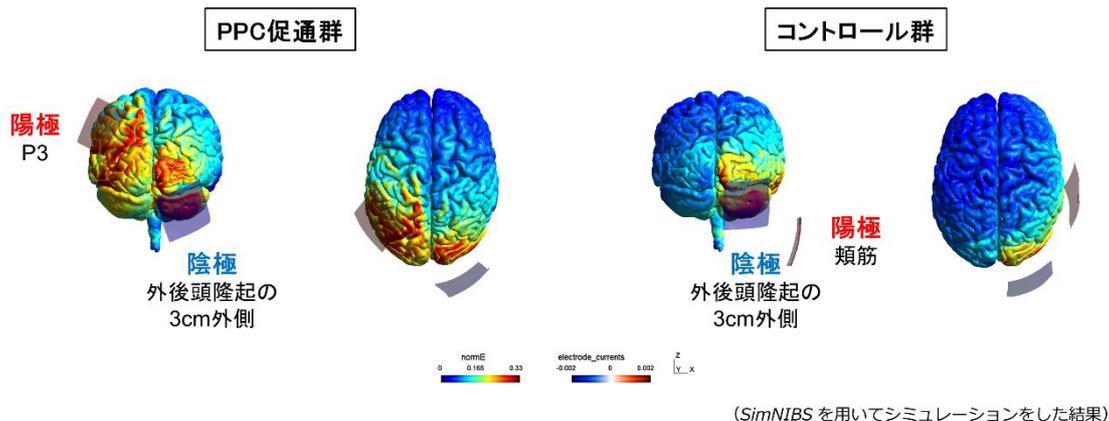


図2 tDCSの刺激条件

4. 研究成果

(1) 手背面と足背面の三人称画像の ΔRT 変化率は、歩行の適応的学習能力と関連することが示された(図3)。これは、身体部位の画像を2次的に回転変換させるプロセスが歩行時の適応能力と密接に関わっていることを示唆している。一方で、手掌面と足底面の一人称画像や三人称画像の ΔRT 変化率と歩行時の適応能力の間には関連が認められなかった(図3)。これは、身体部位画像の2次的な心的回転プロセスとは異なり、3次的な心的回転プロセスにはより複雑な認知過程が関与する可能性を示している。以上の結果から、空間的に身体状況を認識し、その身体の運動を素早くシミュレーションする能力自体が歩行時の身体の適応性と関連していることが明らかとなった。

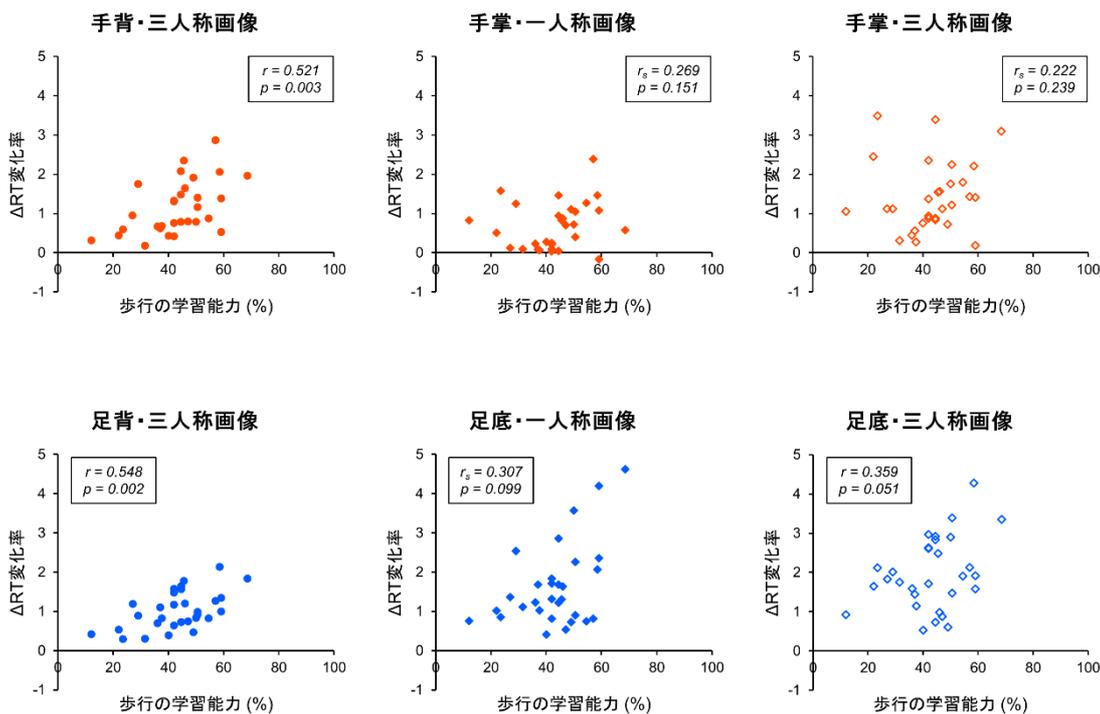


図3 各 ΔRT 変化率と歩行の学習能力との関連

(2) ベースライン歩行時の下肢制御のばらつきについて検討した結果、群 (PPC 促進群とコントロール群) と側性 (左右脚) の間には交互作用や主効果は認められなかった (図 4 左)。したがって、tDCS 介入前の歩行能力は両群間で同等であったといえる。一方、適応歩行時の下肢制御のばらつきを検討した結果、側性 (左右脚) と時期 (初期適応と終期適応) の間には交互作用があり、また群 (PPC 促進群とコントロール群) の主効果が認められた (図 4 右)。これは、PPC が歩行の適応学習過程において下肢の力学的制御に影響を与えたことを示しており、PPC は歩行時の身体の適応性と関連する重要な脳領域である可能性が考えられた。

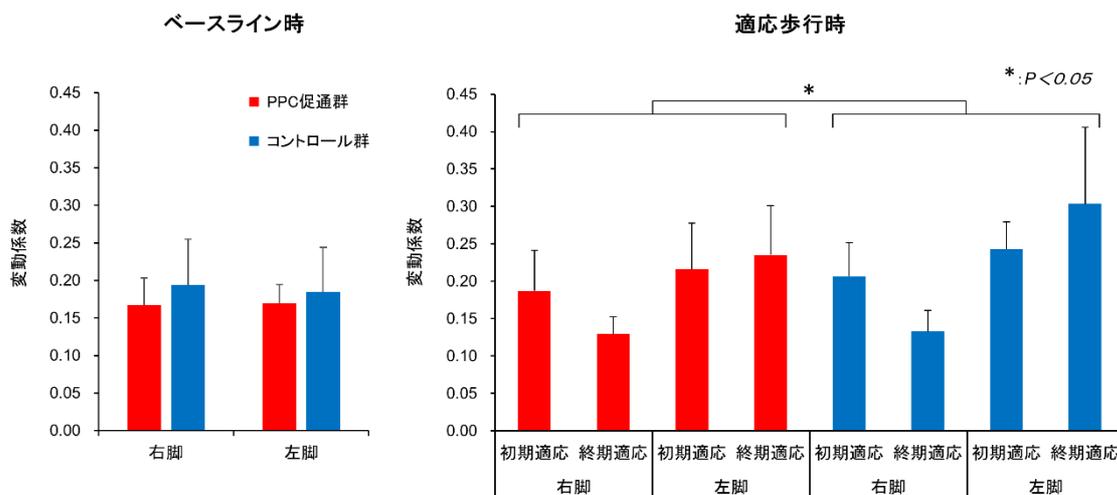


図4 PPC促進群とコントロール群の変動係数

<参考文献>

1. Nico D, Daprati E, Rigal F, Parsons L, Sirigu A. Left and right hand recognition in upper limb amputees. *Brain*. 2004; 127: 120-132.
2. Scandola M, Dodoni L, Lazzeri G, et al. Neurocognitive Benefits of Physiotherapy for Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2019; 36(12): 2028-2035.
3. Hinton DC, Thiel A, Soucy JP, Bouyer L, Paquette C. Adjusting gait step-by-step: Brain activation during split-belt treadmill walking. *Neuroimage*. 2019; 202: 116095.
4. Hamada H, Matsuzawa D, Sutoh C, et al. Comparison of brain activity between motor imagery and mental rotation of the hand tasks: a functional magnetic resonance imaging study. *Brain Imaging Behav*. 2018; 12(6): 1596-1606.
5. Yokoyama H, Sato K, Ogawa T, Yamamoto S, Nakazawa K, Kawashima N. Characteristics of the gait adaptation process due to split-belt treadmill walking under a wide range of right-left speed ratios in humans. *PLoS One*. 2018; 13(4): e0194875.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 紙上真徳、伊藤智崇、小池康弘、松本昌樹、木村大輔、椿原彰夫	4. 巻 30
2. 論文標題 歩行の運動イメージ能力に関する評価方法間の関係性の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 川崎医療福祉学会誌	6. 最初と最後の頁 503-512
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Ito Tomotaka, Kamiue Masanori, Hosokawa Takayuki, Kimura Daisuke, Tsubahara Akio	4. 巻 16
2. 論文標題 Individual differences in processing ability to transform visual stimuli during the mental rotation task are closely related to individual motor adaptation ability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2022.941942	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤智崇、紙上真徳、細川貴之、木村大輔、澳昂佑、椿原彰夫
2. 発表標題 身体部位を用いたメンタルローテーションの反応時間と歩行の学習能力との関連
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤智崇、紙上真徳、椿原彰夫
2. 発表標題 後部頭頂葉に対する経頭蓋直流電気刺激が歩行の適応学習に与える影響
3. 学会等名 第6回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤智崇, 椿原彰夫, 細川貴之, 木村大輔, 澳昂佑, 吉村学
2. 発表標題 歩行の適応過程における後部頭頂葉の機能的役割に関する検討
3. 学会等名 第52回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2022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

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