

令和 5 年 5 月 11 日現在

機関番号：33916

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19826

研究課題名（和文）義足に対する注意に着目した義足の身体化メカニズム解明

研究課題名（英文）Embodiment of prosthetic foot focusing on attention to the prosthetic foot

研究代表者

会津 直樹（Aizu, Naoki）

藤田医科大学・保健衛生学部・助教

研究者番号：80780775

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の助成によって、2つの研究論文を掲載することができました。一つ目は、脳損傷がない一側下肢の切断患者の義足に対する注意を調べた研究では、義足に対する注意が歩行能力に合わせて増加することを示しました。二つ目は、健常者を対象とした研究では、健常者の手と足の身体特異性注意は触覚能力を支持し、運動制御に密接な関係があることを示しました。自己身体には潜在的に注意が向けられており、自己身体に注意を向けることで末梢からの感覚情報を調整し、運動制御を促進することを示すことができました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、自己身体ではない義足においても、自己身体と同様に注意をむけて歩行制御するという適応的な変化が認められました。さらに、身体特異性注意は触覚能力を支持し、運動制御を促進することを示しました。リハビリテーション医療における意義は、身体特異性注意を測定することで、切断者の歩行が自立したのかどうか判断する指標の一つとなることです。学術的意義は、身体特異性注意が道具の身体化の指標の一つとなる可能性を示しました。さらに、運動能力を改善するための身体特異性注意への介入という新たな可能性を示すことができました。

研究成果の概要（英文）：This research grant allowed us to publish two research papers. The first, a study examining attention to prosthetic foot in unilateral lower limb amputees without brain damage, showed that attention to prosthetic foot increased with walking ability, and this study was published in Scientific Reports. Second, a study of healthy adults showed that body-specific attention to the hands and feet supports tactile sensation and is closely related to motor control, and this study was published in Frontier in Systems Neuroscience. These findings showed that attention is potentially directed to the self-body and that attention to the self-body parts supports sensory information from the limb and facilitates motor control.

研究分野：神経心理学

キーワード：身体特異性注意 切断者 義足 注意 健常者

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、「下肢切断者は失った自己身体の代償として使用する義足をどのように使いこなしていくのか」という「問い」を検証する。

下肢切断者は義足歩行を獲得することが非常に重要である。その理由は、義足歩行を獲得者は非獲得者よりも生存率が増すこと (Johannesson 2004)、さらに、再切断の可能性が低くなる (Johannesson 2009, 2010) ことがある。このように、義足歩行の獲得は重要であるが、道具である義足は自己身体ではないため、義足歩行の獲得に難渋する。その理由として、自己身体ではない義足を操作する際うまく制御することができず、歩行中に転倒が生じることが少なくない。転倒による恐怖心の増加は歩行獲得期間を延長させる原因になり、義足歩行獲得に至らない症例も存在する。切断者が義足歩行を獲得することは、切断者の生命予後を延長することに加えて、高騰する医療費の削減につながる。

近年、「道具の身体化」が着目されており、ヒトが道具を正確に扱う能力は、脳が道具を身体の一部として表象すると考えられている。「道具の身体化」とは、道具使用時に、道具の先まで身体が拡張して知覚される現象のことであり、サルを直接記録した研究では、道具を用いた動作が熟達すれば、脳は道具を自己身体の一部であるかのような反応を示すことが報告されている (Iriki 1998, 2004)。このことは、ヒトにおける下肢切断者においても同様に、義足歩行が熟達すれば、義足を自己身体として認識する「義足の身体化」が生じることが考えられる。しかしながら、ヒトにおける「義足の身体化」は明らかになっていない。

ヒトの運動制御において、潜在的に自己身体に注意を向け、身体の情報を更新し、正確な運動を実行していることが考えられている。我々は、視覚刺激検出課題を用いて、自己身体に向けた注意を客観的に測定する方法を確立してきた。そして、脳卒中片麻痺者の麻痺手では、運動機能が悪く発症からの期間が長い患者ほど麻痺手に対する注意がより低下していることを報告し (Aizu et al. *Neurology* 2018)、さらに、運動機能の改善によって麻痺手に対する注意が増加することを示した (第9回 Motor Control 研究会若手奨励賞受賞 2015)。このことは、末梢の使用頻度によって適応的に変化する注意システムが脳に存在することを示唆している。

これらのことから、自己身体の代償として用いる義足においても、義足を使用した歩行を熟達するために、義足に対して注意が向いていくことが考えられる。しかしながら、切断者が義足に対してどの程度注意を向け、義足を制御しているのかは明らかになっていない。本研究では「義足歩行が熟達すれば、義足に対する注意が増加するだろう」という仮説を検証する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は「義足使用の熟達度によって義足に対する注意がどのように変化しているのか明らかにする」ことである。これが明らかになれば、義足に対する注意を通して、「義足の身体化」の間接的な指標になり、ヒトで初めて「道具の身体化」を表すことが可能になる。自己身体ではない義足を自己身体として脳が認識する義足の身体化メカニズムの解明は、認知神経科学の分野をさらに発展させる可能性がある。

リハビリテーションの際に、切断者の義足歩行がいつ習熟したのか判断が難しい。つまり、切断者の義足歩行が安全にできるかどうか判断する指標が存在していない。判断に誤り、転倒が生じてしまうことによる恐怖心の増強により義足歩行が獲得できないことは生存率の低下 (Johannesson 2004) や再切断の可能性が高くなる (Johannesson 2009, 2010)。「義足に対する注意」は切断者が義足を制御する際に用いる機能であると考えられる。よって、この指標が明らかになれば、切断者の義足歩行の習熟度が明らかになり、安全な歩行が可能かどうか判断できる。そして切断者の早期の社会復帰につながる。

本研究の遂行により、「義足に対する注意」という視点から切断者の義足歩行の習熟度を予測できるようになるため、義足に対する注意を効果的に促進するリハビリテーション手法の開発に関与でき、さらなる研究分野を開拓することが可能となる。

さらに、健常者の自己身体への注意（身体特異性注意）を測定し、運動機能や感覚機能と比較することで、身体特異性注意がヒトにおいてどのような役割があるのかを明らかにすることができる。

### 3. 研究の方法

#### 実験 1

対象：新規下肢切断者で義足歩行を習得した患者 11 名

方法：視覚刺激検出課題にて測定を行った。パーソナルコンピューター（以下 PC）にて視覚刺激検出課題を作成し、頭上のプロジェクターから視覚刺激を机上の左右の位置に提示させる。切断者は机の前の椅子に座り、台の上に義足または健足を置く。切断者は視覚刺激が提示されたらできるだけ早く利き手でボタンを押し、反応時間を記録した。条件は、①台の上に義足を置き、義足を視覚刺激が提示される位置に近づける条件（義足条件）、②台の上に健足を置き、健足を視覚刺激が提示される位置に近づける条件（健足条件）、③切断側、非切断側空間での注意の偏りがなかったかを確認する統制条件の 3 つとした（図 2）。義足歩行の習熟度を評価するために歩行速度や使用している杖の数、義足への身体化の指標を質問紙、歩行の自立度を Functional Independence Measure を用いて評価した。

測定のタイミングは、義足歩行がなんとかできるようになった時期（初期）と義足歩行が自立した時期（最終期）で縦断的に義足への注意と歩行能力を測定しました。

#### 実験 2

対象：手および足の身体特異性注意の測定するために健常者 27 名ずつ

方法：実験 1 と同様の視覚刺激検出課題を用いた。健常者の左右の手および足のいずれかを台の上に位置する。対象者はできるだけ早く利き手でボタンを押す課題である。そして、運動機能として手では巧緻動作と最大力発揮課題を測定し、足ではバランス能力と関係する足趾把持力と立ち幅跳びを測定した。さらに、感覚機能として手と足の触覚閾値を評価した。

### 4. 研究成果

#### 実験 1

初期では義足への注意は残存している健足への注意と比較して有意に低下していたが、最終期では増加し、残存している健足への注意と差を認めなくなった。さらに、義足への注意は義足の使用期間と相関し、義足を使用すれば使用するほど義足への注意が増加することを示した。これらのことから、義足への注意と歩行能力との密接な関係を示し、義足への注意がリハビリテーションの Goal 設定の目安になる可能性を示しました。さらに、義足の身体化を身体特異性注意を通して明らかにすることができる可能性を示した。本研究は *Scientific reports* に 2022 年に掲載された。

#### 実験 2

手や足部の身体特異性注意は、運動制御と触覚機能と密な関係を認めた。具体的には、手の身体特異性注意が低い群よりも高い群の方が運動制御がより必要な巧緻運動課題が容易に行えた。しかしながら、運動制御をそれほど必要としない最大力発揮課題では手の身体特異性注意が低い群と高い群では差を認めなかった。このことから、手の身体特異性注意が運動制御において非常に重要な役割があることが明らかになった。さらに、感覚機能である触覚では、手の身体特異

性注意が高い群よりも低い群で触覚閾値が低い、つまり、触覚の弁別能力が高い結果が得られた。この結果は足部においても同様な結果が得られた。このことは、触覚の弁別能力が低い健常者では身体特異性注意を向けることで触覚情報を脳へ届けるための支持機能であることが示唆された。足部の身体特異性注意では側性化が認められ、特に軸足である左足では、身体特異性注意とバランス能力と密接な関係を示す足趾把持力との間に相関を認め、足趾把持力が弱いほど身体特異性注意量が多くなることを示した。さらに、足部の身体特異性注意は運動制御をそれほど必要としない立ち幅跳びの結果とは関係しなかった。足趾把持力が弱いとバランス能力が低いとの研究があることから、左足では、足趾把持力が弱い場合に身体特異性注意を高める適応的变化が生じ、この適応的变化は姿勢制御に役立つために起こるものと考えられた。これらの結果から、身体特異性注意は感覚機能を支持し、運動制御を促進していることを示した。本研究は、*Frontiers in systems neuroscience* に 2022 年に掲載された。

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 Naoki Aizu, Ryoji Otaki, Kazuhiro Nishii, Takumi Kito, Runhong Yao, Kenya Uemura, Shin-Ichi Izumi, Kouji Yamada	4. 巻 15
2. 論文標題 Body-Specific Attention to the Hands and Feet in Healthy Adults	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnsys.2021.805746	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 Naoki Aizu, Yutaka Oouchida, Kouji Yamada, Kazuhiro Nishii, Shin-Ichi Izumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Use-dependent increase in attention to the prosthetic foot in patients with lower limb amputation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 12624-12624
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-16732-z	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7件（うち招待講演 4件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Naoki Aizu, Ryoji Otaki, Kouji Yamada, Shin-ichi Izumi
2. 発表標題 Adaptive change of body-specific attention to paretic hand in stroke patients
3. 学会等名 第99回日本生理学会大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 会津直樹
2. 発表標題 身体特異性注意の変容様式からみた運動機能障害者における超適応メカニズム
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 会津直樹, 西井一宏, 鬼頭 巧, 姚 潤宏, 山田晃司
2. 発表標題 運動制御に関与する足部の身体特異性注意
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 会津直樹
2. 発表標題 運動制御に関与する身体特異性注意の特性
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会 専門理学療法必須発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 会津 直樹, 大内田裕, 出江紳一
2. 発表標題 義足に対する注意の使用頻度に依存した増加 義足の運動制御メカニズム解明
3. 学会等名 第24回 日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 会津直樹
2. 発表標題 運動機能障害による身体特異性注意の変容メカニズム
3. 学会等名 リハビリテーション科学・スポーツ科学研究交流会 教育講演（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 会津 直樹
2. 発表標題 片麻痺者の麻痺肢の身体特異性注意の変容 -学習性不使用を表す試み-
3. 学会等名 第10回日本ニューロリハビリテーション学会学術集会 シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐藤房郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 医歯薬出版株式会社	5. 総ページ数 339
3. 書名 新人理学療法士のためのスキルアップガイド 疾患別理学療法からチーム医療・研究まで 「切断」「義足」「難治生疼痛と異常知覚」「中枢神経領域での研究の進め方」分担執筆(会津直樹)	

〔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
---------	---------