

# 仮想現実システムでの視覚フィードバックは幻肢の歪みを是正する Virtual reality system improved phantom limb representation

大住倫弘<sup>1)</sup>, 住谷昌彦<sup>2)</sup>, 猪俣一則<sup>3)</sup>

Michihiro Osumi, Masahiko Sumitani, Kazunori Inomata

1) 畿央大学大学院健康科学研究科,

2) 東京大学医学部附属病院緩和ケア診療部/麻酔科・痛みセンター, 3) 株式会社KIDS

1. Kio University, 2. The University of Tokyo Hospital, 2. KIDS Corporation

m.ohsumi@kio.ac.jp

## 概要

四肢切断後には、失った四肢があたかも存在しているような“幻肢”を経験する。しかしながら、この幻肢の形・大きさの歪み（テレスコーピング現象）は、幻肢痛リハビリを阻害することから、どのようなリハビリ手続きによってこれが是正されるのかを明確にしておく必要がある。我々は、幻肢痛を有する単一症例において、歪んだ幻肢のサイズに合わせた視覚像を仮想空間内で付加することが、幻肢の歪みを是正する最も効率的なリハビリ手続きであることを明らかにした。

キーワード：幻肢，幻肢痛，テレスコーピング現象

### 1. 幻肢の歪みがリハビリを阻害する

四肢切断後の症例は、失った四肢が存在しているかのような意識があり、このような意識の中で経験している肢を幻肢（phantom limb）と呼ぶ。この幻肢の形・大きさが切断前の肢と全く同じこともあれば、断端部に幻肢が埋まるくらい短く感じることもあり、このような幻肢の形・大きさの歪みは、テレスコーピング現象と呼ばれている。幻肢の形態が視覚-体性感覚の統合プロセスで生成されることを考えると（Schmalzl et al. 2014）、四肢からの求心路が断たれている切断者にテレスコーピング現象が生じることは決して稀有ではない。加えて、この歪んだ幻肢に“ねじられるような”、“締め付けられるような”痛みが生じることも多く（Pirowska et al. 2014）、これは“幻肢痛（phantom limb pain）”と総称され、四肢切断後症例の生活の質を低下させる。

幻肢痛に対する治療において、ミラーセラピーと呼ばれるリハビリ手段が有名であり、身体の正中線上に置かれた鏡に健肢を映して動かすと、あたかも幻肢が動いたように感じられ、幻肢痛が緩和する（Sumitani et al. 2008）。しかしながら、テレスコーピング現象が生じている症例（幻肢の長さが歪んでいる症例）においては、鏡に映した健肢と幻肢の長さが一致しないために、幻肢を動かしているような錯覚が得られにくく、ミラー

セラピーによる鎮痛効果が得られにくい（Foell et al. 2014）。そのため、テレスコーピング現象が生じている症例に対しては、まずは幻肢の歪んだ長さを是正するようリハビリ手続きを考えなければならない。

そこで我々は、仮想空間に投影した幻肢の視覚像の付加が、幻肢のテレスコーピング現象を是正することができるのかを検証した。

### 2. 症例紹介・リハビリ手続き

対象となった症例は、上腕切断後に幻肢痛が生じた40代男性である。本症例の幻肢にはテレスコーピング現象が認められ、上腕の断端部から手部が密着しているような短い幻肢を有していた。本症例に、仮想的な幻肢の視覚像を付加するために、赤外線カメラ（Kinect for Windows, Leap motion）で取得した健肢の運動情報を左右反転して、その3D-CG映像をHead Mounted Display（HMD）へ映写した。この仮想現実システムで両手運動をすると、仮想幻肢の視覚像が付加されるため、あたかも幻肢を動かしているような体験をすることが可能となる（Osumi et al. 2019）。また、この仮想現実システムでは、仮想幻肢の長さを自由に操作することができ、Not adjusted conditionでは「健肢と同じサイズの仮想幻肢」、Adjusted conditionでは「健肢よりも短く、幻肢よりも長い仮想幻肢」でリハビリを実施した。



Not adjusted condition Adjusted condition

図1：歪んだ幻肢にあわせた仮想幻肢でのリハビリ

テレスコーピング現象が生じている幻肢の長さを定量的に測るために、健肢の人差し指に磁気センサ (3-SPACE FASTRAK; Polhemus Inc.) を装着した状態で、幻肢の位置をポインティングしてもらい、その3次元座標を約20分間のリハビリタスク前後で比較した。仮想空間でのリハビリタスクは、ボール拾い・8の字トレース・ブロック積みなどであり、症例は両手でこれらのタスクを実施するように指示され、幻肢を随意的に動かしているような錯覚を体験した。

### 3. リハビリ結果・考察

仮想現実システムに対する没入感アンケートにおいて、Not adjusted condition と Adjusted condition の間には差がなく、どちらも中等度の没入感が得られていた。本症例の短くなっていた幻肢は、Not adjusted condition でのリハビリ後では是正されなかったが、Adjusted condition でのリハビリタスク後では、幻肢が  $5.53 \pm 1.07\text{cm}$  長くなっていた。また、幻肢痛の軽減率にも設定条件間で差があり、Not adjusted condition (軽減率 29%) よりも Adjusted condition (軽減率 67%) のほうが幻肢痛の緩和が得られた。

● Pre rehabilitation ● Post rehabilitation

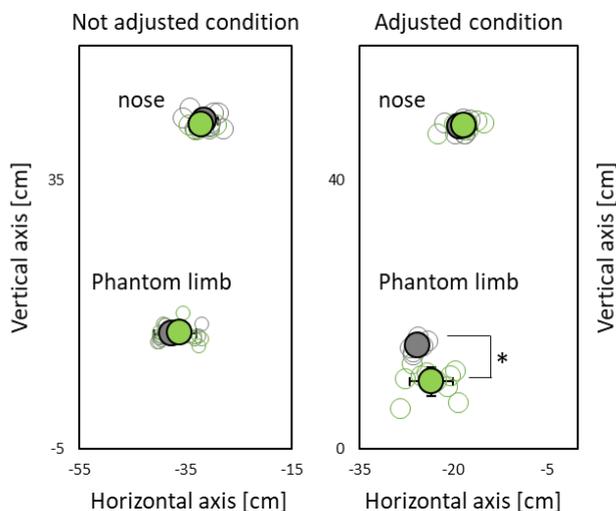


図2：仮想幻肢のサイズ設定によるリハビリ効果

仮想現実システムでのリハビリタスクの結果、Adjusted condition 「健肢よりも短く、幻肢よりも長い仮想幻肢」で実施したほうが、テレスコーピング現象を是正させやすい傾向にあった。ヒトの身体表象は視覚情報によって更新されることが知られているが (Botvinick et al. 1998), その空間情報が現実の肢とかけ離れてしまうと身体表象の更新が得られにくい

(Tsakiris et al. 2010). Not adjusted condition では、健肢と同じ長さの仮想幻肢が視覚的に付加されており、本症例の有する幻肢の長さとはかけ離れていたため、リハビリタスク後も幻肢の長さが是正されなかったと考える。一方で、Adjusted condition では、本症例の幻肢の長さに近い仮想幻肢が視覚的に付加されたため、身体表象が更新されやすかったと考える。加えて、テレスコーピング現象が生じている幻肢痛に対するリハビリ効果は乏しいはずであるが (Foell et al. 2014), Adjusted condition では幻肢痛の軽減が認められた。先行研究においても、断端に埋まっている幻肢を特殊な錯覚手続きによって是正すると幻肢痛が軽減したと報告されていることから (Schmalzl et al. 2011), 幻肢の歪みと幻肢痛の間には密接な関係が存在しているのかもしれない。いずれにしても、このような幻肢の歪みがあると、ミラーセラピーのようなリハビリ効果を阻害することから (Foell et al. 2014), 仮想幻肢の長さを自由に調整できる仮想現実システムの意義は大きい。

以上のことから、本症例のリハビリ経験から、それぞれの症例の幻肢の長さに応じた仮想幻肢の視覚フィードバックは、テレスコーピング現象を是正させ、さらには幻肢痛を緩和させることが示唆された。

### 4. 引用文献

- [1] Botvinick M, Cohen J (1998) "Rubber hands 'feel' touch that eyes see" *Nature*, Vol.391, No.6669, pp.756.
- [2] Foell J, Bekrater-Bodmann R, Diers M, Flor H (2014) "Mirror therapy for phantom limb pain: brain changes and the role of body representation" *Eur J Pain*, Vol.18, No.5, pp.729-739.
- [3] Pirowska A, Wloch T, Nowobilski R, Plaszewski M, Hocini A, Ménager D (2014) "Phantom phenomena and body scheme after limb amputation: a literature review" *Neurol Neurochir Pol*. Vol.48, No.1, pp.52-59.
- [4] Schmalzl L, Kalckert A, Ragnö C, Ehrsson HH (2014) "Neural correlates of the rubber hand illusion in amputees: a report of two cases", *Neurocase*, Vol. 20, No.4, pp.:407-420.
- [5] Schmalzl L, Thomke E, Ragnö C, Nilseryd M, Stockselius A, Ehrsson HH (2011) "'Pulling telescoped phantoms out of the stump": manipulating the perceived position of phantom limbs using a full-body illusion" *Front Hum Neurosci*.Vol.5, pp.121.
- [6] Sumitani M, Miyauchi S, McCabe CS, Shibata M, Maeda L, Saitoh Y, Tashiro T, Mashimo T (2008) "Mirror visual feedback alleviates deafferentation pain, depending on qualitative aspects of the pain: a preliminary report" *Rheumatology (Oxford)*, Vol.47, No.7, pp.1038-1043.
- [7] Tsakiris M, Carpenter L, James D, Fotopoulou A (2010) "Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects" *Exp Brain Res*, Vol.204, No.3, pp.343-352.
- [8] Osumi M, Inomata K, Sumitani M et al (2019) "Characteristics of Phantom Limb Pain Alleviated with Virtual Reality Rehabilitation." *Pain Med*. Vol.20, No.5, pp.1038-1046.