

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：34605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16381

研究課題名(和文) 求心路遮断性疼痛における感覚・運動表象の定量化とバーチャルリアリティ訓練の効果

研究課題名(英文) Quantitative evaluation of sensorimotor representation and rehabilitation with virtual reality system for patients with deafferentation pain

研究代表者

大住 倫弘 (Osumi, Michihiro)

畿央大学・健康科学部・特任助教

研究者番号：70742485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、求心路遮断性疼痛患者の「患肢の運動表象」の定量的評価方法を確立し、バーチャルリアリティ(Virtual Reality: VR)リハビリの効果と神経メカニズムに明らかにすることを目的とした。本研究によって、定量化された患肢の運動表象と求心路遮断性疼痛との間に有意な相関関係があることが確認された。そして、VRリハビリは患肢の運動表象と求心路遮断性疼痛を同時に改善させることも明らかにした。また、これらの効果は健肢の感覚運動情報の利用によってもたらされることが脳波解析によって示唆された。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to establish the objective evaluation of movement representation in patients with deafferentation pain, additionally verify the effect and neural mechanism of rehabilitation with virtual reality system. The present study revealed that movement representation of affected hand correlated with deafferentation pain. The movement representation and deafferentation pain improved in parallel through the VR rehabilitation. These improvements would be brought from referencing sensorimotor information of intact hand in analyzing electroencephalogram.

研究分野：理学療法

キーワード：求心路遮断性疼痛 バーチャルリアリティ

### 1. 研究開始当初の背景

求心路遮断性疼痛とは、痛覚受容器、侵害受容線維、脊髄、視床および大脳皮質をつなぐ痛みの伝導路のいずれかが傷害され、感覚機能が障害されているにも関わらず、その身体部位に耐え難い自発痛や痺れを伴うような痛みのことである。これは、腕神経叢引き抜き損傷・脊髄損傷・四肢切断・脳卒中などに伴って発症することが多く、慢性疼痛になりやすいことが知られている。求心路遮断性疼痛（腕神経叢引き抜き損傷後疼痛、脊髄損傷後疼痛、四肢切断後の幻肢痛）に対して、あたかも患肢が動いているような鏡像を観察させることによって、「患肢の運動表象」が獲得された後に痛みが軽減したことが報告されている（Sumitani et al. Rheumatology 2008）。したがって、求心路遮断性疼痛に対するリハビリテーションでは、「患肢の運動表象」の獲得が目標となる。しかしながら、過去の研究では「患肢の運動表象」が症例の主観的な内省報告のみで評価されており、治療前やリハビリテーションによってどのように維持・改善したのか定量的に評価されていない。そのため、リハビリ後の疼痛緩和が何によってもたらされているのかが不明確である。

### 2. 研究の目的

本研究では、「患肢の運動表象」の定量的評価方法を確立し、バーチャルリアリティ（Virtual Reality: VR）を用いたリハビリが「患肢の運動表象」に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。また、VR リハビリ中の脳波を計測することによって、VR リハビリの効果メカニズムを神経科学的に明らかにし、VR リハビリのさらなるシステム改良を行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### [ 患肢の運動表象の定量評価 ]

我々は患肢の運動表象を定量評価するために、腕神経叢引き抜き損傷後疼痛を有する9名を対象に、両手干渉課題（Bimanual Coupling Task: BCT）を実施した。BCTでは、健肢の示指でタブレットPC上に直線を描くのと同時に、患肢の示指で円を描こうとするように指示した（実際には動かすことが出来ない）。健肢で描く直線が円形に歪むことが、患肢の運動表象が健肢の運動へ干渉していることを意味しているため、健肢で描く直線の円形の歪みを数値化して幻肢の随意運動を定量化した。なお、健肢で描く直線の歪みの数値化にはOvalization Index(x軸[SD]/y軸[SD])を用いて、主観的に感じている求心路遮断性疼痛の程度（Numerical Rating Scale: NRS）との相関関係を調査することによって、運動表象と求心路遮断性疼痛の直接的な関係について明らかにしようとした。

#### [ バーチャルリアリティリハビリの実施 ]

VRシステムでは、Microsoft Kinect を用いて人体の各関節の回転角度を取得し、取得された情報の中から健側上肢の情報を抽出し、健側上肢の左右反転映像をヘッドマウントディスプレイに出力した。つまり、健肢の運動と時間的・空間的に一致して患肢が動く視覚フィードバックを与えることができるような実装になっている。対象者はこのプロセスを通じて、患側上肢を自分の意図通りに動かしている仮想体験が可能となる。またヘッドマウントディスプレイには加速度計がセッティングされており、頭頸部の運動に伴って視界が変化するためリアリティがより増幅するようになっている。さらに、バーチャルリアリティシステムでは、ゲーム性のある課題（ボールに触れる・風船を割る）を付与することができるため、没入感や課題志向性を増幅させることが可能である。このVRシステムを用いたリハビリを、腕神経叢引き抜き損傷後疼痛を有する8名に約10分間実施し、VR リハビリ前後の運動表象および疼痛の変化および関係性を調査した。

#### [ VR リハビリ中の脳波計測 ]

腕神経叢引き抜き損傷後疼痛を有する2名を対象に、32ch脳波記録システム（ActiveTwo, BopSemi B.V）を用いて、VR リハビリ中の脳波活動を計測した。得られた脳波データからα波帯域における振幅二乗コヒーレンス値を算出した。コヒーレンスを算出する際には、脳波データの2チャンネルから得られた時系列データXとYを重複がないように1秒単位のセグメントに分けた。各セグメントに対して、1HzごとのステップでHanning Windowを用いて離散フーリエ変換（Fast Fourier Transform）を適用した。実際のコヒーレンス値  $C_{XY}(f)$  は、クロススペクトル密度  $P_{XY}(f)$  をパワースペクトル密度  $P_{XX}(f)$  と  $P_{YY}(f)$  で割った値として算出される。

### 4. 研究成果

#### [ 定量化した運動表象と疼痛との関係 ]

BCTによって定量化された運動表象は、求心路遮断性疼痛の強度と有意な相関関係にあった。このことは、運動表象の損失が疼痛を増悪させていることを示唆している結果であり、求心路遮断性疼痛に対するリハビリのターゲットを定めることができた点で臨床的意義がある（本研究成果はOsumi et al. Neurosci Lett 2015に掲載されている）

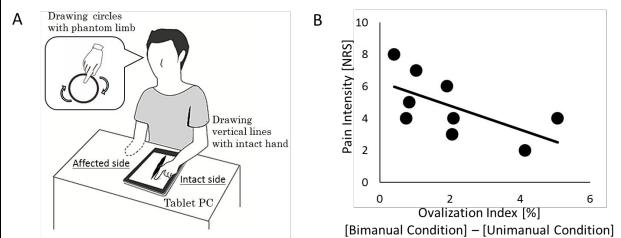


図1：(A) 両手干渉課題  
(B) 求心路遮断性疼痛と運動表象との関係

一方で、「患肢をイメージの中でどれだけ動かすことができるか」についての主観的評価も実施したが、求心路遮断性疼痛の程度および定量的化された運動表象との間にはいずれも有意な相関関係が認められなかった。このことは、患肢の運動表象を主観的に聴取する評価方法の曖昧さを示す結果であり、的確に運動表象を捉えるためには、本研究のような定量的かつ客観的な評価方法が必要であるということが考えられた。

〔バーチャルリアリティによる改善〕

10分間のVRリハビリによって、患肢の運動表象と求心路遮断性疼痛の強度が即時的に改善した。また、運動表象の改善と疼痛の軽減との間には有意な相関関係が認められた。これらの結果は、VRリハビリが運動表象を再構築させることに有用であるだけでなく、運動表象の再構築は求心路遮断性疼痛を緩和させるということを示している。VRシステムそのものへの注意によって痛みが減少したと指摘されることも多いが、今回の結果のように運動表象の改善と鎮痛効果が相関関係にあることは、鎮痛効果は注意によるものではないことがいえる。一方で、VRリハビリによって改善しない症例が1名存在していた。症例の内観聴取から、イメージの中で患肢を動かそうとすると痛みを感じてしまうような症例には、即時効果が得られにくいということが考えられた。このことについては今後の更なる検討が必要である。(本研究成果は Osumi et al. Eur J Pain 2017 に掲載されている)

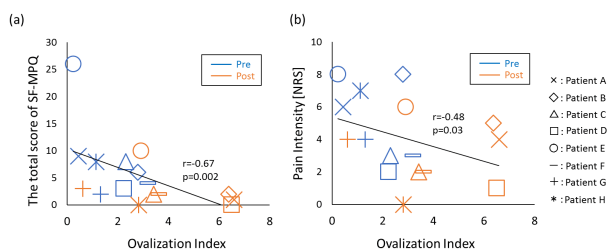


図2：VRリハビリによって改善した運動表象と求心路遮断性疼痛

〔VRリハビリ効果の神経メカニズム〕

VRリハビリ実施中では、左右の感覚運動野(C3/C4領域間)のコヒーレンスが高まっていた。この結果は、左右の感覚運動野の活動の同期性が高まったことを意味している。VRリハビリ後には求心路遮断性疼痛が2症例とも不十分ながら改善していたことを考えると、VRリハビリが中枢神経系に作用した結果として、求心路遮断性疼痛が改善したことが考えられる。さらに、両半球間での脳活動の同期性が向上していたことから、VRリハビリによる患肢の運動表象の再構築には、健肢の感覚運動情報の利用が関係しているのではないかと示唆された。

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4件)

1. Osumi M, Ichinose A, Sumitani M, et al. (全9名) Restoring movement representation and alleviating phantom limb pain through neurorehabilitation with a virtual reality system. *European Journal of Pain*. 2017. 21(1):140-147
2. Osumi M, Sumitani M, Kumagaya S, Morioka S. Optimal control of reaching is disturbed in complex regional pain syndrome: a single-case study. *Journal of Pain Research*. 2017. 10:167-173
3. 大住倫弘, 森岡周. ニューロリハビリテーション. *MEDICAL REHABILITATION*. 2016. 204:40-44.
4. Osumi M, Sumitani M, Wake N, et al. (全8名) Structured movement representations of a phantom limb associated with phantom limb pain. *Neuroscience Letters*. 2015. 25(605):7-11

〔学会発表〕(計7件)

1. Osumi M, Ichinose A, Sumitani M, et al. (全9名) Restoring movement representation through neuro-rehabilitation with a virtual reality system alleviate phantom limb pain. 16th World Congress on Pain. 2016年9月28日. パシフィコ横浜(横浜)
2. 大住倫弘. 痛みの認知的側面を考慮した運動療法. 第8回日本線維筋痛症学会. 2016年9月18日. KFC Hall&Rooms (東京)
3. 大住倫弘, 住谷昌彦, 大竹祐子, 熊谷晋一郎, 森岡周. 複合性局所疼痛症候群における知覚運動協応の分析 運動学的データを用いて. 第51回日本理学療法学会. 2016年5月28日. 札幌コンベンションセンター(札幌)
4. 大住倫弘. 難治性疼痛に対するニューロリハビリテーション. 第55回近畿理学療

法学会大会. 2015 年 11 月 22 日 . 神戸国際会議場 (神戸)

5. 大住倫弘, 住谷昌彦, 和気尚希, 佐野佑子 他 (全 9 名). Virtual Reality System を用いたリハビリテーションによって幻肢の随意運動が再構築され幻肢痛が緩和する. 第 8 回運動器疼痛学会学術集会. 2015 年 12 月 12 日 . 名古屋国際会議場 (名古屋)
6. 大住倫弘, 住谷昌彦, 和気尚希, 佐野佑子 他 (全 9 名). Motor representation of the limb with brachial plexus avulsion injury is directly associated with neuropathic pain intensity. 第 50 回日本理学療法学会学術大会. 2015 年 6 月 5 日 . 東京国際フォーラム (東京)

〔図書〕(計 1 件)

1. 大住倫弘 . 文光堂. 臨床思考を踏まえる理学療法 プラクティス 感覚入力で挑む「感覚・運動機能回復のための理学療法アプローチ - 慢性疼痛の場合 -」. 2016 年 11 ページ分.

〔その他〕

1. UTokyo Research バーチャルリアリティを用いた幻肢痛の新しい治療 <http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/utokyo-research/research-news/effective-rehabilitation-of-phantom-limb-pain-with-virtual-reality.html>
2. 畿央大学プレスリリースバーチャルリアリティを用いた幻肢痛のニューロリハビリテーション [http://www.kio.ac.jp/nrc/kio\\_osumi\\_press\\_2016](http://www.kio.ac.jp/nrc/kio_osumi_press_2016)

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

大住 倫弘 ( Osumi, Michihiro )  
畿央大学・健康科学部・特任助教  
研究者番号 : 70742485