

半側空間無視の近位・遠位空間無視を統合的に治療可能な

没入型 VR 治療システムの開発

Development of the VR-based treatment system that promotes attentional disengagement and movement for near and far space unilateral spatial neglect

○ 安田和弘（早大） 室井大佑（亀田リハビリテーション病院） 大平雅弘（横浜新緑総合病院） 岩田浩康（早大）

Kazuhiro YASUDA, Waseda University
Daisuke MUROI, Kameda Rehabilitation Hospital
Masahiro Ohira, Yokohama Shin-midori General Hospital
Hiroyasu IWATA, Waseda University

Abstract: Unilateral spatial neglect (USN) is the failure to report, respond, or orient to novel or meaningful stimuli that are presented on the side opposite to a brain lesion. It is associated with stroke and is more severe following right hemisphere damage. In this study, we introduced a VR-based movable slit system to promote concurrent attentional disengagement and attentional movement to the side contralateral to the lesion for the near and far space USN. Six patients with USN received the intervention, and a "Pre-Post" design was used to assess the effects of the system. The results showed significant improvements in the BIT for the far space neglect, and marginally improvements for the near space neglect. These findings suggest the possibility that the VR-based movable slit system could improve the exploration ability in patients with USN.

Key Words: Stroke, Unilateral spatial neglect, Attention, Virtual reality, Head mounted display

1. はじめに

半側空間無視 (Unilateral Spatial Neglect: 以下, USN) は, 大脳半球病巣と反対側の刺激を発見・報告すること, 反応すること, 向くことの障害である⁽¹⁾. また, 右半球に脳血管障害が発生した患者の約4割が USN を併発し, 様々な後遺症のリハビリテーションが困難となることで, 日常生活復帰の阻害要因となる.

USN に対する治療として視覚走査訓練が広く行われており, 高いエビデンスが報告されている⁽²⁾. この視覚走査訓練は, 注意を無視側へ移動させる介入であるが, 非無視側の視覚刺激からの「解放」は考慮されておらず, 非無視側への注意の引き付けが解消されないという問題がある. また, 左 USN 患者は注意が自動的に, 一貫して右側に引き寄せられる症状を有することも報告されている⁽³⁾.

我々は, USN 患者における非無視側からの注意の「解放」と無視側への注意の「移動」を同時に支援する USN 治療支援システムを開発してきた⁽⁴⁾. 本システムの特徴は, 可動スリットと呼称する視覚誘導映像により, 非無視側の視覚刺激を徐々にブラックアウトしていき, 見える領域を無視側へ拡大させていくことで注意を無視側に誘導するシステムである. これまでの結果, 左 USN 患者 10 名において本システムを適用したところ, 訓練前後で探索課題において即時的な改善効果を認めた⁽⁴⁾.

開発した可動スリットでは, スクリーン上に映像を投射することで視覚刺激を呈示したが, 臨床では遠位空間 (身体から離れた空間), 近位空間 (身体近傍の空間) の無視が独立または共存する症例が存在する⁽⁵⁾. 実際, 近位と遠位空間の神経回路は異なり, 近位空間は下頭頂小葉, 遠位空間は上側頭回, 側頭葉内側部が関わることを示唆されており⁽⁵⁾, 臨床徴候および神経回路の差異からも両空間無視

に対して有効な治療戦略を講じる必要性が高い.

これを克服する手段として, 本研究では可動スリットシステムに基づき遠位・近位空間無視に対して, 統合的に治療可能な没入型 VR 治療システムを提案し, 無視症状を呈する患者に対して適用評価したので報告する.

2. 方法

2.1 実験参加者

発症経過期間 32-129 日目の 6 人の左 USN を呈する脳卒中患者 (71.6±13.2 歳) を本研究の対象とした. 本研究は早稲田大学および亀田総合病院, 横浜新緑総合病院の倫理審査委員会の承認を得て実施し, 全ての患者から紙面にて同意を得た.

2.2 システム構成

機器は, ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift Development Kit 2, Oculus VR, Inc.), および手指モーションキャプチャ (Leap Motion, Leap Motion, Inc.) から構成される (Fig.1). システムではセンサとモーションキャプチャによって頭部と手指の運動をトラッキングしているため, VR 空間内に患者の動きを反映している.



Fig. 1 VR-based USN treatment system

VR 環境はソフトウェア（Unity，Unity Technologies）を用いて独自開発された。近位・遠位空間の無視の治療を行うため、2種類の環境を開発した。近位遠位治療に用いる共通した仮想空間の部屋（20 m×20 m×8 m）を用意し、その中に机を用意した（Fig.2a）。

近位無視治療環境では、机の上の手指モーションキャプチャによる参加者の手の移動範囲内に3つのオブジェクトを設置した。参加者が自身の手を動かすことでVRの手を移動させることができ、VRの手が設置したオブジェクトに接触すると赤く着色される（Fig.2b）。

遠位無視治療環境では、部屋の奥の壁面に7つの視覚刺激を設置した（Fig.2c）。視覚刺激は、時間経過とともに順に左方へと点滅していき、各視覚刺激の点滅時間は6秒であった。

遠位・近位 VR 環境で注意を左方へ誘導するために、移動するスリットを付加し、患者が見える映像を徐々に左方へ誘導した（Fig.2d）⁽⁴⁾。スリットの動きは時間経過とともに参加者を中心として155°回転する（回転スリットの認識可能角度を45 deg、回転速度を2.58 deg/sと一定にした：1分間で155°回転）。

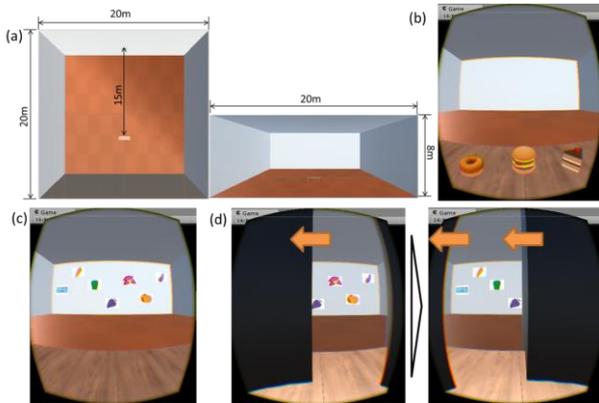


Fig. 2(a)-(d) Virtual reality environment for the intervention

2.3 介入方法

参加者は椅坐位姿勢をとった。介入は2つのプログラムで構成された。最初の“点滅刺激回答”プログラムでは、遠位無視治療環境を用いた。参加者は時間経過とともに順に点滅していく壁面に存在する7つの視覚刺激に目を向け、声に出して回答した。次の近位無視治療環境ではオブジェクトに対するリーチ課題を実施した。参加者はVRの手を机の上に存在する3つのオブジェクトに伸ばすことで触れた。各プログラムは1分間（1 走査）×3セット行い、プログラム間では30秒のインターバルを設けた。

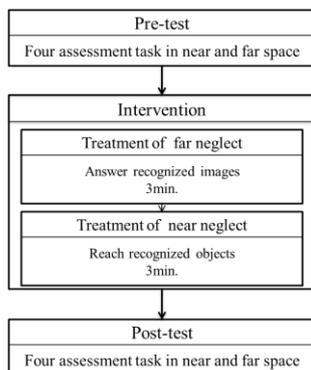


Fig.3 Clinical test flow

2.4 評価・解析

参加者は、BIT 行動性無視検査日本版に基づいた線分抹消課題、星印抹消課題、文字抹消課題、線分二等分課題を介入の直前と直後に近位空間（紙面上）、遠位空間（プロジェクターにより画像が投影されたスクリーン）で行った。患者からスクリーンまでの距離は約2.5 mであった。線分抹消課題、星印抹消課題、文字抹消課題では、BIT の計算方法に基づき、抹消した個数を計算した。線分二等分課題では、二等分点から真の midpoint までの偏倚率を計算し、これをもとに BIT 得点を算出した。集めた BIT 得点の合計値を算出し、介入前後の無視症状を比較するためにウィルコソンの符号順位検定を行った。有意水準は5%に設定した。

3. 結果

近位空間の BIT では、介入前に比べて介入後に無視症状が軽減する傾向が得られた（p<0.1）（Fig.3）。

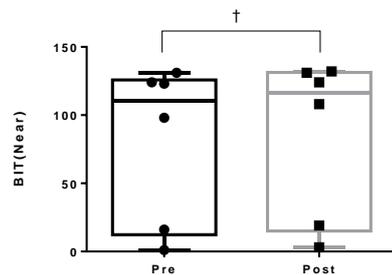


Fig. 3 BIT scores at pre/post intervention (near space)

遠位空間の BIT では、介入前に比べて介入後に無視症状は有意に改善した（p<0.05）（Fig.4）。

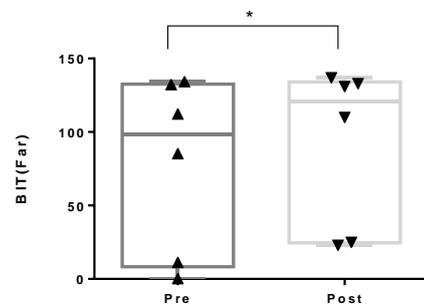


Fig. 4 BIT scores at pre/post intervention (far space)

4. 考察

本研究では USN を有する患者を対象として、遠位・近位空間無視の治療が可能な没入型 VR 治療システムの効果を検証した。介入前後の BIT 合計点数の比較から、遠位空間において有意な改善が得られたが、近位空間は改善傾向に留まった。この探索課題の効果に関して、本システムでは右空間をブラックアウトすることで非無視側刺激への注意の引き付けを解放し、さらにスリットが左方へ偏移することで、無視側への探索行為を促した。視覚性注意のネットワークとして、腹側経路は受動的注意に、背側経路は能動的注意にそれぞれ関与することが知られており、半側空間無視では双方の機能的連結が破綻している⁽⁶⁾。本システムを用いることで、右方空間のブラックアウトは、主に腹側経路における受動的注意、スリットの移動と探索課題の組み合わせは、背側経路の能動的注意のネットワークを連続的

に賦活したことが効果に影響したのかもしれない。

遠位空間と近位空間における効果の違いに関して、システムと課題の特性が影響を与えている可能性が考えられる。近位空間では、手指モーションキャプチャから動きを投影させたものの、自己身体との空間的一致度、触覚フィードバックは考慮されていなかった。また、近位空間ではリーチング課題を用いたため、遠位課題ほど BIT との類似性が高い課題ではなかった。そのため、注意の選択的な移動能力として汎化しなかった可能性が考えられる。

臨床現場では、大半の介入が机上やディスプレイを用いて実施するものが多く、遠位空間に対する介入は物理的な制約から困難なことが多い。また、近位空間においても、3次元空間で非無視側刺激をブラックアウトさせる等の環境設定はできない。本システムでは、没入型 VR システムを用いて、実空間に極めて近い形で可動スリットを実装した。そのため、机上の介入だけでは実現できない両空間における可動スリットシステムの応用が可能となり、この手法は USN に対する新たな治療戦略の可能性を拓くものである。

実験制約として、遠位・近位空間の介入が直接的に各々の空間における無視症状の改善に関与したかを明確にできない。そのため今後は、画像診断と臨床評価指標から患者病態を明確にしたうえで、介入条件を設定、効果検証する必要がある。

5. まとめ

USN 患者における注意の問題、具体的には、非無視側の注意の「解放」と無視側方向への注意の「移動」に着目した可動スリットを基盤とする VR 治療システムを開発した。USN 患者への臨床試験にて、本システムを用いた訓練前後で、探索を行う課題において遠位空間において有意な改善、近位空間で改善傾向がみられた。本結果から案出した VR システムにより USN 患者の探索能力を即時的に改善できることを示唆した。

謝辞

本研究の一部は早稲田大学理工学研究所奨励研究費（研究番号 16C-13）により実施されました。ここに謝意を表します。また、臨床試験にご協力いただいた患者様、及び亀田リハビリテーション病院、横浜新緑総合病院リハビリテーション科スタッフの皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) K.M. Heilman, R.T. Watson, E. Valenstein and K. Heilman, Neglect and related disorders, *Clinical Neuropsychology*, vol. 3, pp. 279-336, 1993.
- (2) M.L. Rohling, M.E. Faust, E. Mark, B. Brenda, G. Demakis, Effectiveness of cognitive rehabilitation following acquired brain injury: A meta-analytic re-examination of Cicerone et al.'s (2000, 2005) systematic reviews, *Neuropsychology*, Vol 23(1), pp.20-39, 2009.
- (3) E. Ladavas, A. Petronio, C. Umiltà, The deployment of visual attention in the intact field of hemineglect patients, *Cortex*, vol. 26, pp.307-317, 1990.
- (4) 竹内貴哉, 安田和弘, 姫野好美, 黒木洋美, 岩田浩康, 注意の解放と移動を促す USN 治療支援システムの開発ー注意誘導スリットによる即時的効果の検証ー, *ライフサポート学会誌*, Vol.28No.3, 2016.
- (5) F.H. Previc, The neuropsychology of 3-D space, *Psychological Bulletin*, vol.124, pp.123-163, 1998.

- (6) M. Corbetta, G.L. Shulman, Spatial neglect and attention networks, *Annu.Rev.Neurosci*, vol.34, pp.569-599, 2011.