



バーチャルリアリティを用いた脳卒中患者体験による 患者への理解の変化

金民教¹⁾, 金谷崇文¹⁾, 矢崎友基¹⁾, 畑田 裕二¹⁾, 葛岡英明¹⁾, 鳴海拓志¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {mingyo-kim, kanaya-nii, niwatoro, hatada, kuzuoka, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: 脳卒中の病態は多様であり, 物理的な器具による障害者体験は教育に有用だが, 表現できる病態に限界がある. 本研究では, 体験者の脳卒中患者への理解を推進することを目的として, 身体の片側の随意的な運動ができなくなる片麻痺, 及び左右片側の視空間の認知が障害される半側空間無視を体験できる VR システムを開発した. 体験後の主観評価や非構造化インタビューを通して体験システムの有効性を検証した.

キーワード: 患者体験, 脳卒中, 教育, 医療, 半側空間無視, 麻痺

1. はじめに

厚生労働省の統計によれば, 2023 年時点で日本における脳血管疾患の推計患者数は 188 万人に上る [1]. 医療従事者のみならず, 家族や仕事の同僚など患者の支援者において, 患者への理解を目的とした教育へのニーズが高まっている. 特定の病態への理解を促進する教育手法の一つとして, その病態を疑似的に体験する疑似体験が有効であることが知られている. 例えば, 四肢を物理的に拘束することで脳卒中による痙性麻痺を疑似体験させる, アイマスクで視覚を遮断することで全盲を疑似体験させるなどの方法が用いられてきた. しかし, 脳卒中後の複雑な症状を, 物理的な手法のみで再現することには限界がある.

本研究では, 物理的な手法で再現が難しい脳卒中特有の症状のうち, 体験なしでは理解が難しいと考えられる片麻痺の回復過程で観察される, 運動時に意図していない関節が決まったパターンで一緒に動いてしまう「共同運動」と, 空間の片側を認識することが困難になる「半側空間無視」を体験できるバーチャルリアリティ (VR) シミュレーションを開発した. 本稿では, 提案シミュレーションによる体験が健常成人参加者の脳卒中の症状に対する認識や介助方法への理解にどのような変化をもたらすかを調査した結果について報告する.

2. 関連研究

VR 技術を用いた障害シミュレーションはその有効性から高い注目を集めている. Jiang ら (2024) [2] は, 障害者を対象として, 360 度動画を視聴した後に, VR を活用した障害体験と物理的な障害体験についてインタビューを実施した. その結果, VR を活用した障害体験は単なる「障害のふり」を超え, 体験者に当事者としての視点を与えられると報告している. 彼らの研究では, この当事者視点の獲得が共感や支援行動といったポジティブな社会的変化を引き出す上で有効であることが示されている. 上田ら (2020) [3] は, VR 空

間において体験者の視野外で環境を操作し, 記憶との不整合を生じさせることで, 認知症の記憶障害を巧みにシミュレーションした. この体験は, 健常者の記憶障害者に対する支援動機を高める上で有効であったと報告されている. VR 体験の効果は, 提示される視覚情報だけでなく, 入出力インタフェースにも影響されることが示されている. Chowdhury ら (2019) [4] は, 多発性硬化症患者の移動体験を 4 つの条件 (VR/ディスプレイ × 車椅子の車輪を用いた操作/コントローラ) で比較した. その結果, ディスプレイよりも VR で情報が提示される場合と, 汎用コントローラよりも車椅子の車輪を用いた入力操作を行った場合の方が, 体験者の無意識的なバイアスを低減させる効果が高いことを明らかにした. これらの先行研究は, VR が障害理解を促進するツールであること, そしてその効果が症状の再現方法やインタフェース設計に大きく依存することを示唆している.

3. 実験

3.1 体験シナリオ

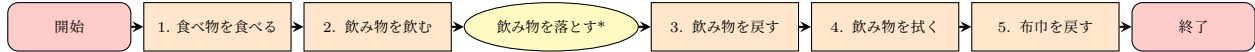
実験では, 片麻痺および半側空間無視の症状を再現した「症状あり条件」と, それらの症状を再現しない「症状なし条件」の VR 体験条件を用意した. 理解の促進のため, 体験者が自分の体を動かして体験するようにした [4].

いずれの条件も, 先に 30 秒間自由にオブジェクトを操作し, その次に操作空間の中央に設置されたしきり越しにオブジェクトを左右に 2 回往復させる練習を行う. 本体験では, 食事場面を想定した一連のタスクで構成されたシナリオを体験する. シナリオの内容は, 「症状あり条件」と「症状なし条件」で一部異なる. 詳細なシナリオのフローチャートは図 1 に示す.

3.1.1 片麻痺症状の再現

脳卒中の片麻痺の症状は, VR 内の体験者の関節の角度に線形的な変形を加えることで実装した. 体験者の関節の角度はハンドトラッキングの結果からインバースキネマティクス

症状なし



症状あり

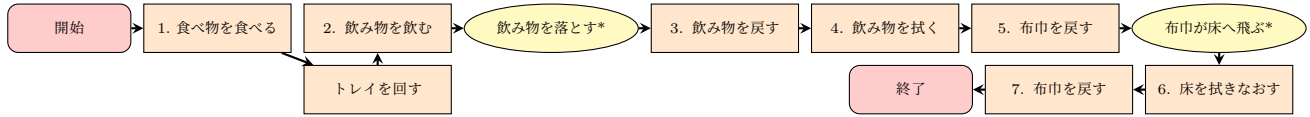


図 1: 体験シナリオのフローチャート (*のイベントは強制発生)

(IK) によって推定した。片麻痺の共同運動を再現するため、特定の関節 (以下, Source) の動きが、別の関節 (以下, Target) の動きを誘発するモデルを実装した。これは, Source 関節の回転量 (ΔS) に 3×3 行列の重み (Source Weight, $\mathbf{W}_S$) を乗じ、その値を Target 関節の角度 ($\mathbf{T}_{\text{actual}}$) に加算することで実現される。また、 3×3 行列の Target 関節の動きを反映させる重み (Target Weight, $\mathbf{W}_T$) を単位行列の $\mathbf{I}$ とスカラー値 α を用いて $\mathbf{W}_T = \alpha \mathbf{I}$ に設定した。 α は Target 関節の回転量の反映率で、 $\alpha \in [0, 1]$ にすることで麻痺による筋出力低下を表現した。また、共同運動の重症度を調整するパラメータとして $s \in [0, 1]$ を導入した。この値は Source 関節が Target 関節へ及ぼす影響の度合いを制御する。 s が 1 のとき、Source 関節の回転量のすべてが Target 関節の動きへの影響の演算に利用される。 s が 0 のときは、Source 関節の影響は完全に無効化され、共同運動しなくなる。

本研究では簡便のため、図 2 のようにを前方に伸ばす動作において、上腕を前方に挙げる動作である肩関節の挙上が意図しない肘関節の屈曲と、上腕を外側に挙げる肩関節の外転を引き起こす共同運動に限定して再現をした。

Target 関節の最終的な回転角度ベクトル $\mathbf{T}_{\text{paralysis}}$ は、式 (1) を用いて算出した。

$$\mathbf{T}_{\text{paralysis}} = \mathbf{W}_S(s \cdot \Delta S) + \mathbf{W}_T \mathbf{T}_{\text{actual}} \quad (1)$$

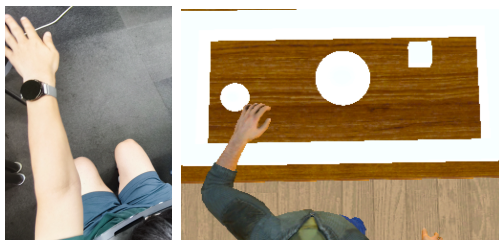


図 2: 現実の手と症状ありの VR 体験内の手の比較

3.1.2 半側空間無視の再現

半側空間無視の症状は、VR 空間内の一部のオブジェクトを、図 3 のように体験者の視野から選択的に非表示にすることで再現した。実際の半側空間無視の患者が症状を自覚しにくいという特徴を踏まえ、本システムでは健常な体験者であっても、オブジェクトが非表示になっていることを即座には知覚できないように設計した。

本体験のシナリオにおいて、半側空間無視は 2 つのタスクで表現した。第 1 に、体験者の正面に配置されたトレイ上にある物体のうち、左半分の空間に置かれたコップを非表示にした。第 2 に、床にこぼれた飲み物の染みのうち、左半分の非表示にする。これらの非表示オブジェクトは、体験者が特定の条件を満たした際に表示されるように設定した。実際の患者が特定の条件下で対象を認知する状況を模倣することで、半側空間無視を再現した。

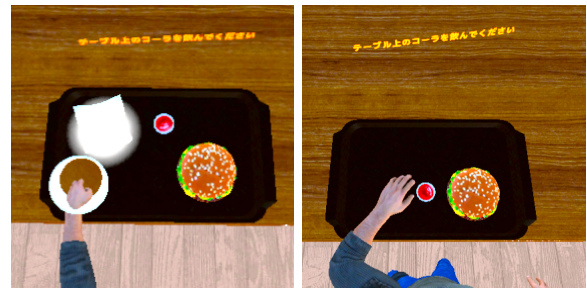


図 3: 半側空間無視の再現 (左: 症状なし, 右: 症状あり)

3.2 実験手順

実験参加者は医療従事経験のない右利きの健常成人 10 人 (全員男性・年齢 24 ± 1.93) であり、症状なし条件、症状あり条件の順で 2 つの VR 体験を行った。はじめに、参加者は脳卒中および本 VR 体験で再現される片麻痺、半側空間無視について、説明資料をもとに解説を受けた。次に、体験者は事前評価として、VR 酔いを評価する Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) および、自己効力感を測定する General Self-Efficacy (GSE) 尺度の看護版 [5] に回答した。その後、脳卒中の理解に関する構造化インタビューを実施した。インタビュー終了後、参加者は、まず症状なし条件の VR 体験を行った。体験直後、VR 体験における身体化感覚を評価する Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) に回答した。続いて、症状あり条件の VR 体験を行った。体験後、SSQ、VEQ、看護版 GSE 尺度の順で質問紙に回答した。

体験中は、麻痺を補う健常部位の運動 (代償運動) を分析するために、体幹前傾を表す胸骨の移動速度と z 軸回転の角速度を取得した。

最後に、体験前のインタビューを引用して半構造化インタビューを実施し、2 つの VR 体験を通して脳卒中に対する理解がどのように変化したかを調査した。

4. 実験結果

4.1 アンケートの結果

VEQ について、ウィルコクソンの符号順位検定の結果、症状の有無で Agency に有意差 ($p = 0.004$) がみられたが、Ownership, Change では有意差はみられなかった (図 4). GSE スコアについては体験前後で有意差は見られなかった (図 5).

4.2 トラッキングデータ

今回体験の内容が症状ありとなしで異なるため、一律的な解析ではなく、共通のタスクに対してトラッキングデータの比較を行った。共通タスクとして以下の 3 つを使用した。

- 食べ物を食べる・飲み物を戻す・布巾を戻す

ウィルコクソンの符号順位検定を行った結果、胸骨の移動速度については有意差は見られなかったが ($p = 0.131$), z 軸回転速度では有意差 ($p = 0.020$) が確認された (図 6).

4.3 インタビュー

本体験がどのような変化をもたらしたかを質的に評価するため、参加者に半構造化インタビューを行った。半構造化インタビューをテーマ分析した結果から、3 つのテーマと 9 つのサブテーマがまとめられた。

4.3.1 脳卒中患者に対する認識への効果

参加者は体験を通じて、脳卒中患者が置かれている状況への理解を深めた。このテーマは以下の 3 つのサブテーマから構成された。

- 半側空間無視に対する新たな理解と支援動機の形成：日常生活上の問題に対する具体的な気づきは、患者を積極的に支援しようとするモチベーションの向上に繋がった。一部の参加者 (ID1,4,7) は、体験中に自身が半側空間無視の状態にあることを即座に知覚できなかった経験から、患者自身が困難を認識できていない可能性に気づきを得て、能動的な支援の必要性を認識していた。
- 患者の困難や感情への具体的共感：体験後には全員が患者の立場から共感を示し、体験中の状況に対して「困る (ID3)」「申し訳ない (ID6)」「恥ずかしい (ID9)」という具体的な感情を示す参加者もいた。
- 麻痺症状への過度な深刻視の緩和：今回体験した「リハビリが進んだ状態の麻痺」は、パラメータが弱かった限界から、運動障害が想像よりも少ないと感じられていた (ID1,2,3,5,6,7,8,9)。一部の参加者 (ID2,5,8,9) は、運動障害を軽く認識したために、患者が自力で日常生活ができる可能性を感じ取っていた。

4.3.2 脳卒中患者介助の理解への効果

資料からの知識を体験を通じて再構成できたことで、参加者の脳卒中患者介助に対する見解に変化が見られた。このテーマは以下の 3 つのサブテーマに分類される。

- 支援方法における予防的視点の獲得：体験前は「患者が困ったときにどう助けるか」という介助者視点の発

想が主であったが、体験後は「どうすれば患者を困らせないか」という予防的な工夫に関する視点からの回答が増加した (ID1,5,6,9)。

- 症状理解の具体化と誤解の訂正：体験前、半側空間無視に対して「空間的に認識しづらくなる」という説明から、「片側が完全に見えなくなる」と想像していた参加者がいた。しかし、体験を通じて、視覚障害の見えなさは異なる、より実際の病態の理解へと認識が修正されていた (ID1,2,7)。麻痺に関しては、腕を普段より大きく動かす必要があり、そのため腕や肩が疲れるとの回答が見られ、参加者は障害によって生じるより具体的な不便を認識するようになっていた (ID3,4,5,9,10)。
- 実践的知識の不足の自覚と介助での自信の変化：体験を通じて患者への理解が深まった一方で、自分の知識や技術がまだ不十分であるという自覚による自信の低下 (ID4,5,10)、また思い浮かんだ介助方法をその場で試すことができないため自信に変化がなかったとの意見が見受けられた (ID3,5,6)。

4.3.3 脳卒中体験の改善要素

参加者からは、教育効果を最大化するために、以下の 3 つの要素を求める意見が挙げられた。

- 体系的なデブリーフィング（振り返り）の重要性：体験後のインタビューを通じて、シミュレーションの意図や症状の深い意味を理解できたという意見が多かった。このことを踏まえ、体験直後に体系的な解説と振り返りの時間を設けることが学習効果の向上に有効であるという意見が出た (ID2,5,7)。
- 介助方法について試行錯誤を行える機能：体験中に思いつく介助方法を、その場で実践し、その有効性を確認する機会を望む声が多くあった (ID4,5,6)。
- 体験シナリオの多様化による一般化の恐れ解消：今回の体験が「回復過程の麻痺」といった限定的な状況であったため、これが脳卒中患者の一般的な状態であるという誤った印象を与えかねないという懸念が示された。より多様な麻痺の程度やリアルな動き、そしてシナリオを提供する必要性が指摘された (ID2,3,5,6,9)。

5. 考察

片麻痺については、体験者から想像より不便ではなかったという意見が多く出た。これは参加者がタスクを遂行できるように配慮し、麻痺の程度を意図的に軽度設定したためであり、これにより障害体験が限定的になった可能性が考えられる。一方で、インタビューでは肩の疲れ、トラッキングデータでは体幹前傾という片麻痺に対する代償運動が確認され、実際の患者に特徴的な動きの再現が確認された。一部の参加者に対しては、想定より不便ではなかった体験が、障害があっても生活は自立できるという印象を与える効果があった。

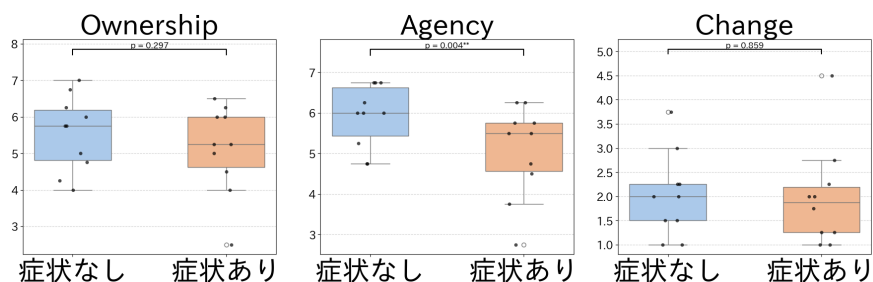


図 4: 症状の有無による VEQ

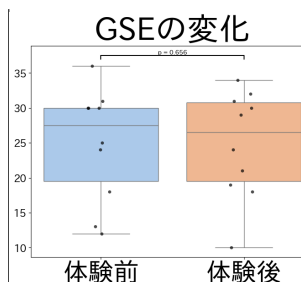


図 5: 体験前後の GSE

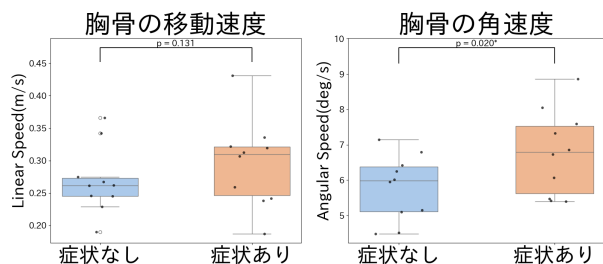


図 6: 胸骨の移動速度及び z 軸の角速度

自己効力感で有意な差が得られなかった理由として、インタビューにおいて「まだ理解できない部分が存在する可能性」「介助実践で試す機会がないため自信には繋がらない」との回答から、単一の病態の体験や患者側の体験だけでは自己効力感の向上を図ることが難しいことが示唆された。

一方で、半側空間無視のシミュレーションは、症状を自覚できないため違和感が生じないという、実際の患者の病態を再現できていた。参加者は体験中にシステム内で指摘されるまで、もしくは体験後の説明まで症状に気づけなかった。この病態の再現性が参加者に強い印象を残し、症状への深い理解及び患者の感情への共感を促せた可能性がある。

インタビューの分析からは、本シミュレーションが参加者の認識に変化をもたらしたことが明らかになった。本研究で得られた最も重要な知見の一つは、参加者が体験を通じて、患者としての不便を予め防ぐための「予防的視点」を獲得したことである。これは、従来のような「他者として何をすべきか」という外部からの支援者視点ではなく、「患者からは世界がどう見えているか」という当事者の一人称視点で思考するようになった認識的変容を指す。

しかし、多くの参加者が指摘した通り、麻痺の程度には大きな個人差が存在する。今回の体験のみで障害像が一般化されることを避けるためにも、今後は複数の障害レベルを体験できるシミュレーションを用意することが不可欠であると考えられる。

6. 終わりに

本研究では、脳卒中特有の麻痺と半側空間無視のシミュレーションを実装し、体験を通じて参加者の介助に対する理解と障害への認識が深化する効果を確認した。技術的貢献と

して、柔軟な強度調整が可能な共同運動の実装法を提案した。加えて、参加者の多くが自覚しないほど再現性の高い半側空間無視を実現し、このリアリティが病態への理解の変容を促進したことを示した。

今後は、明確になった改善点にアプローチすることを課題とする。具体的には、体験シナリオを多様化させることによって、病態への認識の画一化を解消すること、そして体験者が考案した介助方法を試せる機会を設けることにより、より教育効果の高いツールへと発展させることが期待される。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2013)、JST さきがけ (JPMJPR22S9) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 厚生労働省, “患者調査 令和 5 年患者調査 全国編 Z156 第 1 5 6 表 総患者数, 性・年齢階級 (5 歳) × 傷病分類別.” <https://www.e-stat.go.jp/>.
- [2] Z. Jiang, A. Meltzer, and X. Zhang, “Using virtual reality to implement disability studies’ advocacy principles: Uncovering the perspectives of people with disability,” vol. 39, no. 6, pp. 1592–1612.
- [3] 上田 悠人, 井村 誠孝, “視野外 vr 空間操作による認知症疑似体験システム,” vol. 25, no. 3, pp. 236–244.
- [4] T. I. Chowdhury, S. M. S. Ferdous, and J. Quarles, “Vr disability simulation reduces implicit bias towards persons with disabilities,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, pp. 3079–3090, 2019.
- [5] L. E. George, L. W. Locasto, K. A. Pyo, and T. W. Cline, “Effect of the dedicated education unit on nursing student self-efficacy: A quasi-experimental research study,” *Nurse Education in Practice*, vol. 23, pp. 48–53, Mar. 2017.