



脳損傷後に生じる半側空間無視の 3 次元的マッピング化に成功

— バーチャルリアリティ技術で高次脳機能障害に挑む —

2021 年 1 月 12 日

ポイント

- 脳損傷後に生じる半側空間無視に対して、VR 空間内で標的探索課題を行うことで患者の無視領域を 3 次元的に描写することに成功。
- 得られたデータから、半側空間無視を有する患者の遠位・近位の無視領域が異なること、さらに高さによっても無視領域が変化することを示唆。
- 3 次元的な病態解釈、患者ごとの無視特性に応じたリハビリテーションへ応用が可能。

脳卒中リハビリテーションにバーチャルリアリティ技術で挑む——。早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科 教授の岩田浩康氏、同大学 理工学術院総合研究所 客員主任研究員の安田和弘氏、総合機械工学科 加藤遼一・佐武陸史らは、脳卒中による半側空間無視患者に VR 空間内で標的探索課題を行うことで無視領域の 3 次元的マッピング化に成功したことを報告しました。この実験結果は、半側空間無視の病態理解、個別リハビリテーションの導出など、広く応用が可能であり、また、将来的には遠隔リハビリにも利用することができます。本研究成果は、科学・医学系の学術出版社である IOS Press（オランダ）の神経リハビリテーション専門誌「NeuroRehabilitation」（2020 年 7 月 16 日）に掲載されました。

背景

半側空間無視（Unilateral Spatial Neglect : USN）^{※1} は脳血管障害によって生じる高次脳機能障害の一種です。半側空間無視を発症すると脳の損傷部位と反対側にある刺激を無視してしまします。多くの患者は右脳損傷により左側空間を無視し、日常生活においては食事の左半分に気付かずに食べ残してしまう、左側にある障害物に気付かずにぶつかってしまう等の問題が生じます。これまでの USN 研究では、3 次元的な無視領域の描写は技術的に困難であったため、その立体的な性状については不明瞭なままでした。その解明に向けて研究チームは、無視領域の 3 次元的な視覚化・定量化が可能となる VR システムを開発しました。一般的に USN 評価では、紙面やイラスト課題、行動評価を用いて症状を定量化するため、視空間領域で立体的に USN 症状を把握するには不向きでした。そこで今回、没入型 VR を利用することで、VR 空間内で標的探索課題を実施し、無視領域の 3 次元的なマッピング化を試みました。

今回の実験の概要と結果

実験概要

- 没入型 VR を用いて仮想空間内で標的探索課題をおこなうことで、3 次元的に無視領域を特定可能となる評価システムを開発した (図 1)。
- 開発したシステムを使用して、USN 患者を対象とした概念実証試験を実施し、3 次元的に無視領域を視覚化・定量化した。

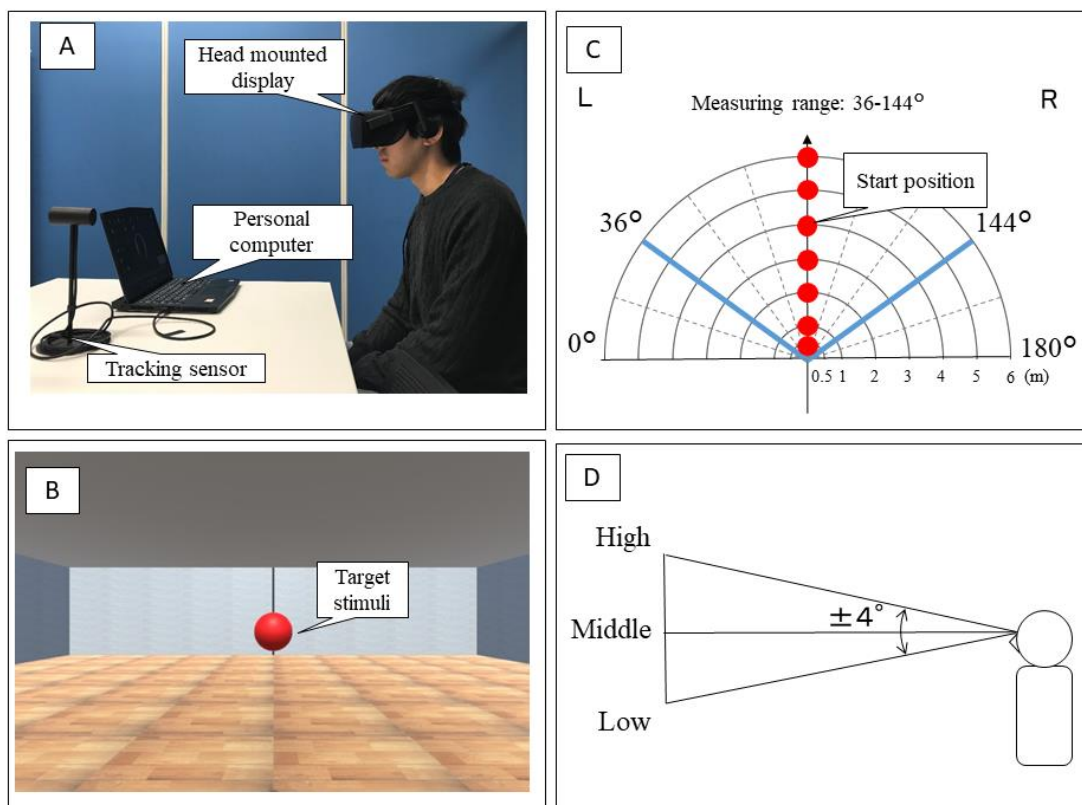


図 1 開発されたシステムの概要

図 1A: 患者は安定した座位でヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、頭部を正中位に保持。図 1B・C: 標的は半径 6 m, 36-144 度の範囲で球体がランダムに出現。患者は VR 空間内で標的が認識できるかを回答。図 1D: B の課題を異なる 3 段階の高さ (患者の目線から $\pm 4^\circ$) 計測し、3 次元座標データとして認識可能な領域を記録。

実験結果

- 運動麻痺により紙面評価が困難な USN 患者でも、HMD を用いた標的探索課題により 3 次元的に無視領域の計測と描写が可能であることがわかった (図 2)。
- また、計測されたデータから、遠位空間・近位空間^{*2}で無視程度が異なることが明らかとなり、高さにおいても認識可能な領域が変化することがわかった。

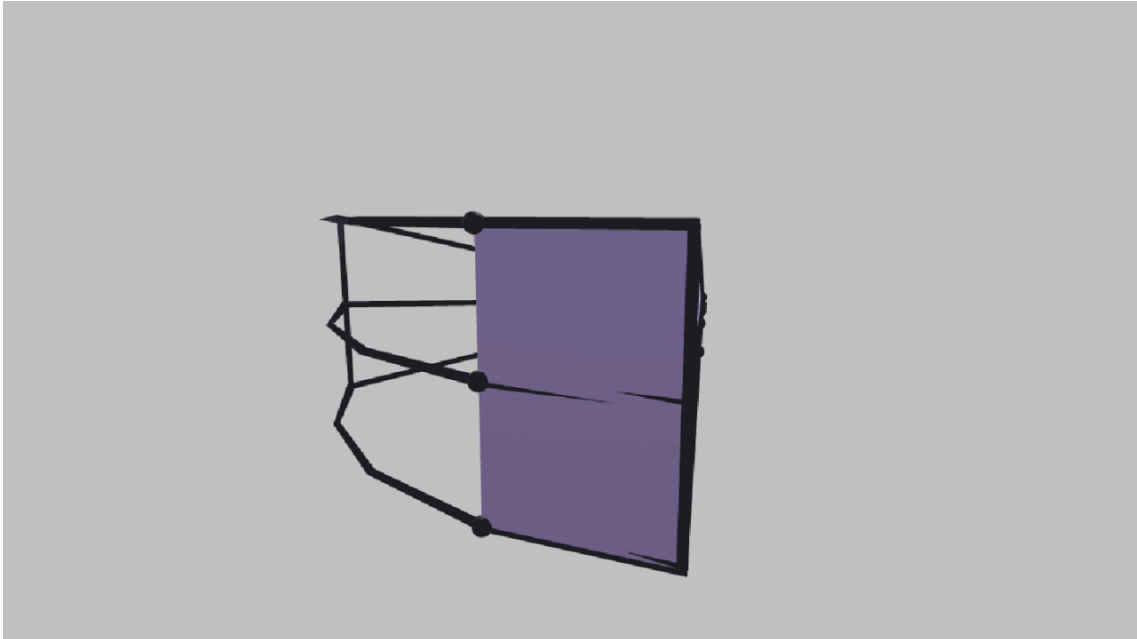


図2 座標データから構築された無視症状の3Dマップ（クリックで動画閲覧可能）

以上の概念実証試験から、VR技術を用いて、仮想空間内で標的探索課題を実施することで、3次元的に無視領域を描写可能であること、奥行き・高さにより症状の個別性があることが示唆されました。

今後の展望

今回開発されたVR空間内の標的探索課題は、市販のVRシステムとPCで実現でき、簡便且つ安全に計測できることから、リハビリテーション現場への応用、その遠隔化も期待されます。また、CTやMRI等の画像所見と照合することにより、病巣と症状の因果関係の究明に貢献します。今後は、患者個別の症状の描写についてさらに研究を進めるとともに、本結果を利用したUSNリハビリテーションの提案を検討します。

補足資料

1. 実験手続きの概要

実験参加者は、HMDを装着し、仮想空間内で標的の認識課題を行います。課題は1施行およそ5分間で、課題中は仮想空間内に赤い標的がランダムに呈示され、患者は標的が認識できるかについて回答します。認識することが可能であった標的の3次元座標データに基づき、無視領域および認識領域を判別します。標的の認識課題中に頭部は正中位に保持され、頸部運動がでないように固定した状態で課題を行います。

2. 距離や高さによる無視症状の違い

没入型 VR によって計測された高さごとの「遠位・近位空間の無視領域」を示すのが図 3 です。扇形の弧の長さは 6m を取りました。遠位・近位空間の無視症状を比較すると、患者は、近位空間では無視症状が出現しませんでした。遠位空間になるにつれて症状が観察されました。さらに高さの違いにより無視傾向が異なり、低位置になると症状が軽減しました。このことから、遠位・近位のみならず高さにおいても無視症状が異なる可能性が示されました。また、患者は身体的能力の制約から紙面評価が困難であったことから、このような制約下でも新たな手法を用いることで無視症状が定量化できることが示されました。

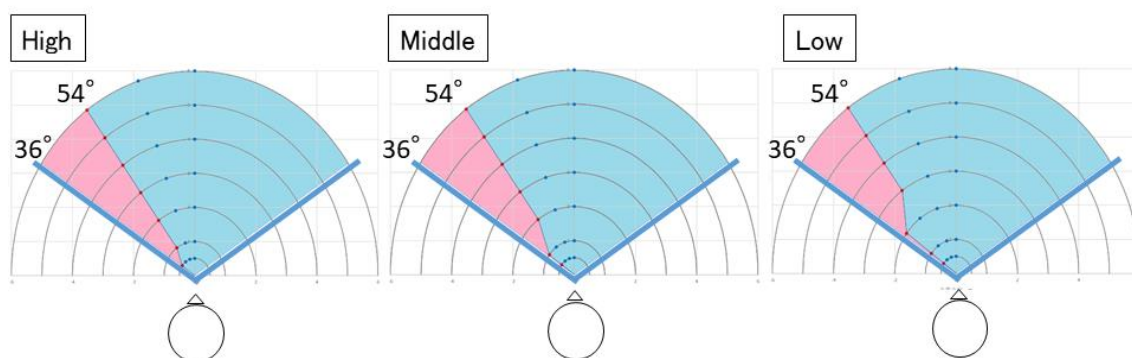


図 3 各高さにおける無視領域を描写したダイアグラム

3. なぜ無視症状が空間領域によって異なるのか

遠位や近位空間無視と脳損傷部位との関連性に関しては、未だ明確な結論は得られていません。一部の報告によると、頭頂部の損傷は遠位空間無視、側頭部や前頭部は近位空間無視に関連することが示唆されています。これは視覚情報処理経路における第一次視覚野から頭頂葉の経路である背側経路^{*3}と、第一次視覚野から側頭葉の経路である腹側経路^{*3}に対応しています。このような仮説から、3 次元的な空間領域で無視症状が異なったのは、対象となった USN 患者における病巣部位の影響が考えられます。また、遠位・近位空間では中枢神経内で表現される座標系が異なることが予測されます。遠近および高さにより無視症状が異なる背景には、このような情報処理過程と病巣の密接な関連が考えられますが、そのメカニズム解明については今後の研究課題です。

用語 解説

※1 半側空間無視

われわれは日常生活において対象となる物体や環境に適切に注意を向けなければ情報を正確に認知することができない。主には右脳が損傷することにより、損傷部位と対側へ注意を向けることが困難になる症状は半側空間無視 (Unilateral Spatial Neglect) と呼ばれており、例えば、食事を食べ残してしまう、移動中に左側の障壁にぶつかってしまう等の問題が

生じる。USN を有する患者では、リハビリテーションを著しく阻害することから、日常生活自立度が低下することがわかっている。

※2 空間領域による無視症状のサブカテゴリ

USN の病態は、空間領域からいくつかのサブタイプに分類される。身体を中心とした空間表象は大別して、自己が占める空間、つまり身体そのものにより規定される自己身体空間 (personal space)、身体表面から手をリーチングした数十 cm の範囲で身体を取り巻く近位空間 (peripersonal space)、そして手の届く範囲より外の遠位空間 (extrapersonal space) の 3 つに区分される。これらの空間領域の無視は症例により程度が異なり、各々の空間領域で無視症状が乖離して生じることが過去研究により報告されている。

※3 視覚情報処理における背側・腹側経路

視覚情報は外側膝状体から後頭葉の一次視覚野 (V1) へと伝えられ、さらに二次視覚野 (V2) から側頭葉へと向かう視覚経路 (腹側経路) と頭頂葉へ向かう視覚経路 (背側経路) に分かれる。背側経路は物体の位置把握や物体に手を伸ばすなどの動作に関与する (where/how 経路)。一方で、腹側経路は外界の物体形状を認識する役割を果たす (what 経路)。

掲載論文

科学誌 IOS Press 「NeuroRehabilitation」 (2020 年 7 月 16 日)

URL : <https://www.iospress.nl/journal/neurorehabilitation/>

掲載論文名 : Development and proof of concept of immersive virtual reality system to evaluate near and far space neglect in individuals after stroke: A brief report

著者 : 安田和弘 (RISE), 加藤遼一・佐武陸史 (総合機械工学科), 川口俊太郎 (苑田会リハビリテーション病院), 岩田浩康 (創造理工学研究科)