【速報】

没入型仮想現実による半側空間無視の評価システム
-近位・遠位空間無視に着目した無視領域定量化の試み-

Development of the 3D Evaluation System for Unilateral Spatial Neglect Using
Immersive Virtual Reality -An Explorative Study to Detect the Area of Neglect in Near
and Far Space-

加藤遼一(学生会員), 安田和弘(正会員)*, 萩原晨功(非会員)**,

川口俊太郎(非会員)***, 岩田浩康(正会員)**

Ryoichi Kato, Kazuhiro Yasuda*, Akinori Hagiwara**,
Shuntaro Kawaguchi***, Hiroyasu Iwata**

Abstract

USN is one of the sequelae of stroke, and it is the failure to response or report to meaningful stimuli which are presented on the opposite side to a cerebral hemisphere lesion. These symptoms can exist for near and far spaces combined or independently, and it is important to provide evaluation system for near and far space neglect. Therefore, we developed the system which enable evaluate both near and far space neglect with immersive virtual reality (iVR), and we performed a validation study in USN patients. As a result, we realized to describe the aspect of USN in both near and far space. In this report, the applicability of an evaluation system using iVR is shown; however, the reliability and validity must be confirmed for groups, and proof of clinical usefulness must be established.

Key Words

Stroke, Unilateral spatial neglect, Immersive virtual reality (iVR), Evaluation system

1. はじめに

半側空間無視(Unilateral Spatial Neglect:USN)とは、脳出血や脳梗塞などの脳血管障害を起因とする高次脳機能障害である。

USN は、大脳半球病巣と反対側の刺激を報告すること、反応すること、向くことの障害であると定義されている¹⁾。USNを発症すると、病巣と反対側の空間を無視することで、様々な情報を見落と

2018年12月14日受付

2019年2月14日掲載決定

早稲田大学創造理工学部総合機械工学科,

〒162-0042 東京都新宿区早稲田町27

早稲田大学グリーンコンピューティング・システム研究機構

40号館603

*早稲田大学理工学術院総合研究所理工学研究所,

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

**早稲田大学創造理工学研究科 総合機械工学専攻,

〒162-0042 東京都新宿区早稲田町27

***苑田会リハビリテーション病院

〒120-0006 東京都足立区谷中5-9-11

Department of Modern Mechanical Engineering,
Waseda University, 40-603 Green Computing
System Research Organization, 27 Wasedamachi,
Shinjuku-ku, Tokyo 162-0042, Japan

*Research Institute for Science and Engineering,
Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku,
Tokyo 169-8555, Japan

**Graduated School of Creative Science and
Engineering, Waseda University, 40-603 Green
Computing System Research Organization, 27
Wasedamachi, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0042,
Japan

***Sonoda Medical Corporations, 5-9-11, Yanaka,
Adachi-ku, Tokyo, 120-0006, Japan

し、日常生活に多大な支障をきたす。

USN 症状は多くの場合、患者の身体中心を軸に左側を無視する「身体中心無視」と焦点を当てた物体の中心を軸に左側を無視する「物体中心無視」が発症するとされている^{2,3)}。加えて USN 症状は、身体近傍空間における近位空間無視と身体外空間における遠位空間無視が存在することがわかっている。これらの無視症状について、USN 患者のうち 53~71% は近位空間無視あるいは遠位空間無視のどちらか一方を呈していることが報告されている⁴⁾。そのため、USN に対する介入は、近位空間である机上のみでは十分ではなく、遠位空間無視も考慮した遠近両空間の介入を実施する必要性が高い。

これまで我々は、没入型仮想現実空間 (immersive Virtual Reality:iVR) を用いて無視空間に介入するために、病巣側の空間の情報をシャットアウトする「可動スリット」⁵⁾ やオブジェクトの右端から Cue によって左端に視覚誘導を促す「Cueing システム」⁶⁾ を開発し、臨床現場において患者に適応してきた。

しかしながら、これまでの経緯において、実際の生活空間に即した形で近位空間無視や遠位空間無視といった USN 症状を定量的に評価することが実現されていなかった。現状の USN 評価では、行動性無視検査 (Behavioural inattention test:BIT)⁷⁾ が広く用いられている。しかし、従来の USN 症状の評価手法の大半が、机上による紙面テストであり、この評価方式では、症状の記述として不十分であることが指摘されている⁸⁾。先述のとおり、紙面による近位空間にのみアプローチされた評価手法では遠位空間における無視を定量化することができていない。実際、近位空間と遠位空間では中枢における責任領域が異なる^{9,10)}。そのため、神経心理学的側面からも近位空間と遠位空間に対して適切な評価法が必要である。そこで、本研究では USN の主要なサブカテゴリである「身体中心無視」の症状に着目し、iVR の利点を活用することで、近位空間および遠位空間において USN 症状の評価を可能とするシステムを開発した。さらに、開発したシステムを用いて患者に対する適応性の確認試験を行なったので報告する。

2. 半側空間無視評価システム

2.1 評価システム

評価システムの機能的要求は以下の通りである。

A) 球座標系の用意

患者の眼球位置を原点として、近位空間と遠位空間の両方における無視を測定するため、手の届く距離として 0.5, 1.0[m] を設定し、届かない距離として 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0[m] を設定した (Fig.1)。また、患者の身体正中位を 0° とし、 -90° から $+90^\circ$ の 11 段階で偏角を測定できるようにした。さらに視線高さを基準に -4° , 0° , $+4^\circ$ の 3 段階の高さによる測定を可能とした (Fig.2)。

B) オブジェクトのランダム表示

物体の移動による視覚誘導が症状改善に繋がることが分かっている。そこで本システムは視覚誘導を起こさないために、物体の出現順序をランダムとした¹¹⁾。

C) 測定時間の短縮化

脳卒中患者は体力が著しく低下している場合がある。USN の性

質上、身体中心線を基準に左側を無視することが多いため、初期出現位置を偏角 $\theta = 0^\circ$ とし、各半径距離における回答に応じて次の出現位置を無視側、あるいは非無視側に移動するようにアルゴリズムを設定した。

D) 運動機能に依らない測定手法

脳卒中患者は運動麻痺を有している場合や認知障害を併発している場合があり、従来の BIT では測定が不可能な患者が存在した。そこで本システムでは口頭による回答方式と低認知負荷で済むように赤色の無機質なオブジェクトが見えたかどうかを測定した。なお、虚偽の回答に備えて、見えた場合にはどこにあるのかヒアリングを都度行なった。

Fig. 1 Coordinate of target stimuli appearance

A stimuli target appeared in concentric circles centering around the patient's head. It was displayed between 36° and 144° (measured every 18°).

Fig. 2 Setting of height

Based on the height of the patient's view, three stages of height were set (angles of $\pm 4^\circ$ with the eye as the basis).

2.2 システム構成

本装置は HMD (Oculus Rift (Oculus Rift, OculusVR, LLC., United States)), PC から構成される (Fig.3)。VR 空間はソフトウェア (Unity, Unity Technologies, United States) を用いて開発された。VR では、評価システムに用いる空間が提示され、患者は一人称視点から観察する (Fig.4)。無視評価システムでは、患者の近位空間および遠位空間における無視領域の変化を記述するため、

被験者を中心に7距離の同心円を設け、それぞれの同心円上にオブジェクトが出現するように設定した(Fig.1). また、各オブジェクトの座標と回答が結果として記録される。

Fig. 3 System overview

System is consisted of head mounted display (HMD), personal computer, and tracking sensor.

Fig. 4 Patient viewpoint

A sphere (0.11 m) appeared in the room ($14 \times 7 \times 3$ m) located within the VR spaces. The sphere appeared at angles at distances of 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, and 6.0 m from the patient.

3. 適応性の確認試験

本システムを用いて患者の無視症状を記述するために、USNを示す患者に対して、適応性の確認を行なった。

3.1 方法

A) 対象

左 USN を呈した患者 2 名を対象として実施した。試験参加者には臨床試験について紙面を用いて説明を行い、同意を得た。また、本試験は早稲田大学、苑田会リハビリテーション病院の倫理審査委員会の承認を得て実施された。

B) 評価環境

試験では、患者ごとの無視特性を捉えることを目的とするため、第 3 者(理学療法士)によって患者の頭部を固定し、運動機能や姿勢の個人差が影響しないように配慮された状況で、視野角内における無視範囲を測定した。

C) 分析手法

試験より得られる、各回答結果と座標データを元に分析を行な

った。ここで得られる座標データには距離と角度の情報が記録されており、これにより認知空間および無視空間を特定する。結果は Fig.1 の座標系にそれぞれの領域を反映することで描写した。回答に応じて 2 つの領域に分け、それぞれ見えた範囲を認知範囲として青色、見えなかった範囲を無視範囲として赤色で描写した。

3.2 結果

測定した結果を Fig.5 に示す。Fig.5 に示すダイアグラムは高さごとに分け、右から低い空間(Low)、目線高さの空間(Middle)、高い空間(High)における認知および無視範囲を表している。患者 A の近位空間では無視が確認できないことに対して、遠位空間になると無視が出現した。さらにこの傾向は、高さの違いにより無視が出現する距離が異なり、低位置ほど遠位を無視する傾向であった。患者 B では遠近共に無視が発生していることから、近位空間無視と遠位空間無視の両方を呈しており、すべての高さにおいて、患者からの距離により無視領域が異なっていた。

Fig. 5 Result of the clinical test

The upper of the diagram describe the result of patient A, and the lower one describes the result of patient B. Blue area is recognition area of each patient, and red area is neglect area. Right graph describes low space, center one describes middle space, and left one describes high space.

4. 考察

本研究では、仮想空間内で USN 症状を遠位・近位空間で評価するシステムを開発し、適応性の確認を行なった。2 名の USN 患者を対象に検証を行った結果、遠位・近位空間における無視症状の定量化、視覚化することを実現した。BIT 試験の実施が困難であった 2 名で無視領域を描写できたため、本システムの適応における意義と応用可能性が示された。

患者 A では近位空間無視がなく遠位空間無視のみを呈していることが読み取れた。さらにこの患者は高位置ほど患者から近い位置で無視が発生し、低い位置になると、より遠位から無視が出現していた。ペリパーソナルスペースとは身体周囲空間とされ、身体だけではなく、物と行為を含んだ三要素が相互依存的に関わり合って形成されており、一般的に近位空間の定義である身体近傍空間と類似した空間のことを指す¹²⁾。患者 A のように、近位空

間無視を持たない患者では低い空間ほど認知領域が広く、高い位置ほど狭くなることが推測され、この仮説が正しいならば、高さごとに無視領域を評価する必要性が高いことが示唆される。

患者Bは近位空間無視と遠位空間無視の両方を呈するケースであるが、各高さにおいて無視領域は直線的に出現するのではなく、各距離により領域が異なっていた。これは、遠近両方に無視が存在するが、その形態は必ずしも患者Aのような直線的な様相になるわけではなく、複雑な様相を示す可能性があると言える。このことから、患者ごとに立体的な無視領域を把握することが非常に重要であると示唆される。

以上より、2名の患者の無視様相を描写できたことから、本システムの適応性が高いことが示唆された。また、BITが実施困難な患者に適応することができ、従来試験よりも本システムによる測定の方が実施可能な対象数が増えると考えられる。さらに立体的に無視領域の測定を可能とする本システムの有用性は高いことが示唆された。しかし、今回得られた試験結果については妥当性の証明が不十分であるため、測定患者数を増やし、BIT試験との比較等から妥当性検証試験を行う必要がある。

5. まとめ

本研究では、USNを呈する患者の症状を評価するシステムを開発し、適応性の確認試験を行なった。開発したシステムは従来評価手法では困難であった遠位・近位空間の評価を可能とし、さらに患者ごとの無視範囲を描写することに成功した。今後は、本システムによって測定される無視領域の結果が正しいのか妥当性検証を行う必要がある。

謝辞

本研究は立石財団の助成のもと研究が実施されました。ここに謝意を表します。また、本システムの適応性の確認試験にご協力いただいた患者様、及び苑田リハビリテーション病院のスタッフの皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) KM. Heilman, "Neglect and related disorders", *Clinical Neuropsychology* 1993;3:279-336.
- 2) Y. Yue, W. Song, S. Huo, M. Wang, "Study on the Occurrence and Neural Bases of Hemispatial Neglect With Different Reference Frames", *Archive of Physical Medicine and Rehabilitation* 2012;93(1):156-162.
- 3) J. Medina, V. Kannan, MA. Pawlak, JT. Kleinman, M. Newhart, C. Davis, JE. Heidler-Gary, EH. Herskovits, AE. Hillis, "Neural substrates of visuospatial processing in distinct reference frames: evidence from unilateral spatial neglect." 2008;21:2073-2084.
- 4) N. Van der Steep, JM. Visser-Meily, LJ. Kappelle, PL. de Kort, KD. Huisman, AL. Eijssackers, M. Kouwenhoven, S. Van der Stigchel, TC. Nijboer, "Exploring near and far regions of space: distance-specific visuospatial neglect after

- stroke", *J.Clin.Exp.Neuropsychol* 2013;35:799-811.
- 5) K. Yasuda, D. Muroi, M. Ohira, H. Iwata, "Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: a pilot study.", *Top Stroke Rehabil* 2017;24(7):533-538.
- 6) A. Hagiwara, K. Yasuda, K. Saichi, D. Muroi, S. Kawaguchi, M. Ohira, T. Matsuda, H. Iwata, "Development of a visual cueing system using immersive virtual reality for object-centered neglect in stroke patients", *Proceeding of The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)*, (in press).
- 7) 石合純夫, "BIT 行動性無視検査日本版", 新興医学出版, 東京, 1999.
- 8) T. Ogourtsova, WS. Silva, PS. Archambault, A. Lamontagne, "Virtual reality treatment and assessments for post-stroke unilateral spatial neglect: A systematic literature review.", *Neuropsychol Rehabil* 2017;27:409-454.
- 9) L. Fogassi, V. Gallese, L. Fadiga, G. Luppino, M. Matelli and G. Rizzolatti, "Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex(area F4)", *J.Neurophysiol* 1996;76: 141-157.
- 10) G. Rizzolatti, M. Matelli and G. Pavesi, "Deficits in attention and movement following the removal of postarcuate(area 6) and prearcuate(area 8) cortex in macaque monkeys", *Brain* 1983; 106(Pt 3):655-673.
- 11) 竹内貴哉, 安田和弘, 姫野好美, 中村幸浩, 黒木洋美, 岩田浩康, 半側空間無視治療のための注意の解放と移動を促す視覚誘導システムの開発と臨床評価, 第31回ライフサポート学会大会(LIFE2015), 2F1-03, 2015.
- 12) 榎本玲子, 山上精次, "空間認知の身体化課程とその機序をめぐって", 専修人間科学論集.心理学編 2011; 1(1) 61-69.