

## ◎原著

# 半側空間無視に対する没入型バーチャルリアリティを用いた 評価システムの最小可検変化量の検証

Validation of the minimum detectable change of an evaluation system using immersive virtual reality  
for unilateral spatial neglect.

川口俊太郎<sup>1</sup>, 江見翔太<sup>1</sup>, 安田和弘<sup>2,3</sup>

## 要 旨

3D Ball Test は没入型バーチャルリアリティ (iVR) を用いて、近位空間と遠位空間の両空間の無視症状を同時に評価できるように開発されたシステムである。これまで我々は本システムの開発、および有用性・相対信頼性について検証しているが今回、引き続き Bland Altman 分析を用いた 3D Ball Test の Minimal Detectable Change (MDC) の算出を目的とした計測を行ったので報告する。対象者は、当院の回復期リハビリテーション病棟に入院中の半側空間無視症状が認められる脳卒中患者 12 名 (65.5 ± 12.5 歳) とした。結果、3D Ball Test には系統誤差が存在しないことが確認され、MDC は近位空間で 0.40 m<sup>2</sup>、遠位空間で 1.12 m<sup>2</sup> と空間ごとに異なっていた。本研究により iVR を用いた半側空間無視評価システムの MDC が算出され、個々の患者の変化スコアを解釈することが可能となった。

キーワード：脳卒中、半側空間無視、没入型バーチャルリアリティ、評価、MDC

## 1. はじめに

半側空間無視(以下、Unilateral Spatial Neglect : USN)は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<sup>1,2)</sup>。また USN は機能的転帰の悪化や日常生活活動と関連することが報告されており<sup>3-5)</sup>、運動機能回復にも悪影響を及ぼす可能性がある<sup>6)</sup>。そのため、USN による無視症状を正しく判定することは非常に重要となる。

USN の発生率は 10 ~ 80% とばらつきがあることが報告されているが<sup>7)</sup>急性期においては 70 ~ 80% 程度と高頻度で出現すると言われている<sup>8)</sup>。

また USN は、多種多様な症候群であり自分の身体を中心に無視側を無視する身体中心無視や物体を中心に無視側を無視する物体中心無視が存在する。また手の届く範囲(以下、近位空間)と手の届かない範囲(以下、遠位空間)で異なる症状を呈することが知られており、USN 患者の 28 ~ 47% で近位空間のみの無視が存在し、24 ~ 28% で遠位空間のみの無視が出現することが明らかになっている<sup>9-11)</sup>。

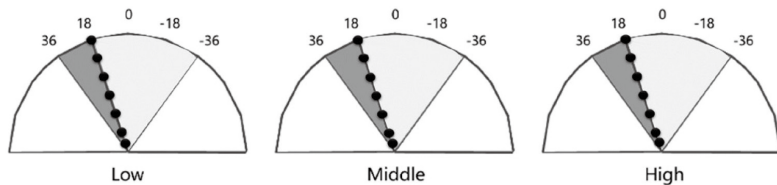
USN の標準的な臨床評価は、行動性無視評価試験(以下、Behavioural inattention test : BIT)を中心とした紙と鉛筆を使用した評価法が広く用いら

1)：苑田会ニューロリハビリテーション病院 リハビリテーション科

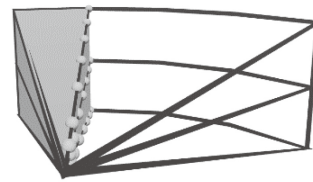
2)：東京保健医療専門職大学 リハビリテーション学部

3)：早稲田大学理工学術院総合研究所

投稿日：2024 年 4 月 25 日 採択決定日：2025 年 1 月 10 日 公開日：2025 年 3 月 31 日



A 視線の高さ別 2D マッピング



B 無視領域の 3D マッピング

図 1 3D ball Test の評価結果

A は、グレー部分が無視領域、白の部分が認知領域  
B は、グレー部分が無視領域、白の部分が認知領域

れている。しかし、この評価法にはいくつかの制限がある。①評価できる空間が近位空間の小さなスペースに限定される。②検査に多くの時間を要す。③手作業による分析が必要である。これらの制限は、USN 発生率のばらつきの一因になっているだけでなく、遠位空間も含めた実空間を想定した評価ができておらず、臨床評価と生活場面の USN 症状との乖離を引き起こす可能性がある<sup>12,13)</sup>。

上述した問題を解決するために、我々は没入型バーチャルリアリティ(以下、immersive Virtual Reality : iVR)を用いた USN 評価システム(以下、3D Ball Test)の開発を行った。iVR とは、専用の Head Mount Display(以下、HMD)を装着し視界の 360° を覆い、ユーザーが限りなく現実に近い 3 次元空間にいるかのような体験を可能とする技術である。

3D Ball Test では、この技術を応用し、近位空間・遠位空間の異なるエリアに加え、上下方向の USN 症状を同時に描写し、無視領域を 3 次元空間内でマッピング(図 1)が可能となっていた<sup>14-16)</sup>。本評価システムは、iVR を用いることで視覚的な情報量を限定できることや、簡単な受け答えのみで評価できるようにし、その他の高次脳機能障害や認知機能障害の影響を受けにくくなるよう配慮した。さらに、およそ 5 分以内で評価が可能であり、その結果をコンピューター上で解析することができる。

3D Ball Test は、我々が新たに開発した評価システムであり、すでに 3D Ball Test と BIT、CBS との相関関係について検討を行っている<sup>17)</sup>。しかし、相対信頼性は複数の測定値間の一致の程度に

表 1 患者属性

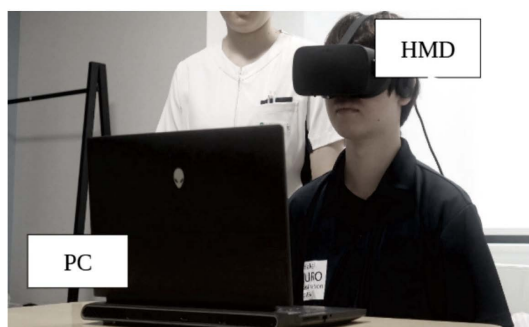
No	年齢	性別	発症後期間	病型	BIT	MMSE
1	80	M	111	CH	80	26
2	77	M	65	CI	110	26
3	61	F	175	CI	52	28
4	70	M	143	CI	136	18
5	54	F	31	CH	142	27
6	83	M	106	CH	27	13
7	87	M	83	CI	133	16
8	71	M	43	CH	67	30
9	52	M	104	CH	61	29
10	54	M	53	CH	78	15
11	71	F	30	CI	116	27
12	44	M	109	CH	138	30

についての情報は得られるが、それらの測定値が内包する誤差の量や種類に関する情報を得ることはできない<sup>18)</sup>。臨床現場では、計測結果が誤差の範囲か真の変化かを判断することは、非常に重要である。そのため、本研究の目的は 3D Ball Test の最小可検変化量(以下、Minimal Detectable Change ; MDC)を検証することとした。

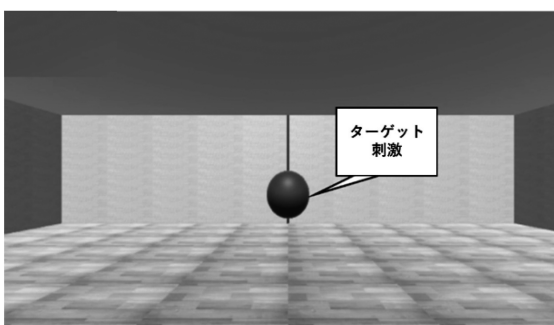
## 2. 対象および方法

### 2-1 対象

対象は、回復期リハビリテーション病棟に入院しており研究の協力が得られた脳卒中患者 12 名(65 ± 12.5 歳)とした。発症後期間は、82.6 ± 44 日、平均 BIT スコアは 97.5 ± 37.3、平均 MMSE スコアは 23.7 ± 4.9 であった。対象者の属性やその他の高次脳機能評価については表 1 に示す。選択基準としては紙面上、日常生活における USN 症状を認める患者を取り込むため各評価のカットオフ<sup>19,20)</sup>を参考に以下に設定した。i) 画像所見



A 計測風景



B 3D Ball Test で使用される仮想空間

図2 計測風景、3D Ball Test の仮想空間

上、右大脳半球に病巣が認められるもの、ii) 線分二等分試験で無視症状が認められるもの、iii) Catherine Bergego Scale(以下、CBS)観察法にて減点項目があるもの、iv)発症後1カ月以上のものとした。除外基準はI)同名半盲のもの、II) 著明な視力低下により評価が困難なもの、III)VR酔いによる気分不快の訴えがあるものIV)研究に同意が得られなかったもの、V)眼球運動麻痺等により追視が困難なもの、VI)研究内容および実施手順を理解できなかった者とした。

## 2-2 使用機器

本装置は、HMD Oculus Rift (Oculus Rift, Oculus VR, LLC.United States)、PC から構成される。VR空間はソフトウェア(Unity, Unity Technologies, United States)を用いて独自開発されたものを使用した(図2)。

## 2-3 評価システム

本システムでは、患者からの距離に応じた無視の程度を測定することを目的として以下を考慮した。

### 1) 同心円状にオブジェクトを配置

距離に応じた無視の有無を調べることを目的とするため、オブジェクトの出現位置を患者から等距離に配置する必要がある。また、無視症状を定量化するため矢状軸を中心とした水平面上にオブジェクトを配置する必要がある。そこで格子点上にオブジェクトを表示する。

### 2) 出現座標の設定

近位空間と遠位空間の両方を調べる必要があるため、本システムでは手の届く0.5mと1.0mを近位空間、手の届かない3.0mと6.0mを遠位空間と定義し、それぞれの距離にオブジェクトが出現するようにした。また重症度の評価のため頭部を中心とし、左右にそれぞれ45°の範囲にオブジェクトが表示され、分解能を18°としてオブジェクトを表示した。また、High/Middle/Lowの3種類の高さごとに無視領域の違いを評価するために異なる3種類の平面上にオブジェクトが提示されるようにした。6mの位置でオブジェクトの高さが1.6mになるように設定した平面をHigh、高さが1.2mになるように設定した平面をMiddle、高さが0.8mの位置になるように設定した平面をLowとした(図3)。

### 3) 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の改善につながる事がわかっている。そのため、この視覚誘導の要素を排除するため、物体を一つずつランダムな位置に表示する。

### 4) 無視症状の評価

無視領域は、チェックされた位置とチェックされなかった位置を境界として行う。

無視の重症度に関しては面積を用い定量化した。評価する領域の総面積は、近位空間7.41m<sup>2</sup>、遠位空間59.34m<sup>2</sup>の計66.75m<sup>2</sup>とした。

面積は、対象者の視点位置と無視領域境界の3点の座標から以下の式を用い算出した。

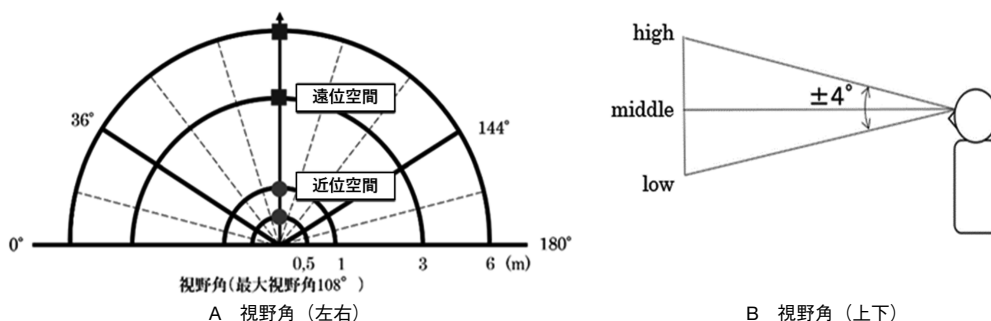


図3 3D Ball Testの視野角

$$\text{面積} = \frac{1}{2 | (x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3) |}$$

今回は、High/Middle/Lowの総面積を用いMDCの解析を行った。

#### 2-4 評価方法及び手順

USN 症状を有する脳卒中患者 12 名を対象に同一検査で一日空け計 2 回測定を行い、計測を行った。評価は検査者 2 名で行い、1 名は患者への指示とシステムの操作、1 名は対象患者の頭部が動かないようにサポートした。頭部の固定は画面奥の壁に表示される中心線を基準として中心線が偏位しないように PC モニターにて HMD 内の映像をモニタリングしながら評価した。上記の方法でも頭部の固定が困難な患者がいれば本人・家族に了承を得た上でヘッドレスト付き車椅子を使用して、ヘッドレストと徒手にて頭部の固定を行った。検査者は規定した位置に対象患者を座らせ HMD を装着し、視線位置のキャリブレーションを行う。VR 空間内でランダムな高さ・距離に表示されるオブジェクトを正確に捉えられているかを口頭で確認し「はい」もしくは「いいえ」で回答させた。10 秒以上探索しても発見できない場合は、認識できていないと判断し処理した。なお、学習効果を考慮して結果のフィードバックは本研究の全行程終了時に行うものとした。

#### 2-5 研究手順及び統計処理

座標情報は自動で PC に記録され、得られたデータを解析して評価した。近位空間と遠位空間

表 2 3D Ball Test の空間別 SEM、MDC

	SEM	MDC
近位空間 (m <sup>2</sup> )	1.7	11.2
遠位空間 (m <sup>2</sup> )	3.5	23.1
両空間合計 (m <sup>2</sup> )	4.2	27.1

をそれぞれの無視量を m<sup>2</sup>(高値：無視が重症)で表し、各々の測定結果を比較検討した。

MDC の算出は、Bland Altman 分析を行った。二つの測定値間の差を y 軸、二つの測定値の平均を x 軸とする Bland Altman plot を作成し、系統誤差である加算誤差、比例誤差の有無を検討した。加算誤差は、測定値の差の平均の 95% 信頼区間を算出し、この区間が 0 を含まない場合、正負いずれかの固定誤差が存在すると判断した。比例誤差は回帰分析を行い有意性の有無を確認し判断した。本研究は系統誤差も認められなかったため、測定誤差 (standard error of the mean : SEM) = SD / √n から MDC (式 MDC = SEM \* 1.96 \* 1.41) を求めた。

#### 2-6 倫理的配慮

倫理的配慮として、対象者には目的と方法について、文書と口頭にて説明を行い、研究の参加に対する同意書を得た。なお、本研究は苑田会倫理審査委員会(承認番号 114 号)と早稲田大学倫理審査委員会の承認を受け実施した。

### 3. 結果

全ての被検査者は 3D Ball Test を完遂し、脱落者はいなかった。また計測時間は、5 分程度であり VR 酔い等の有害事象はなかった。MDC は、近位

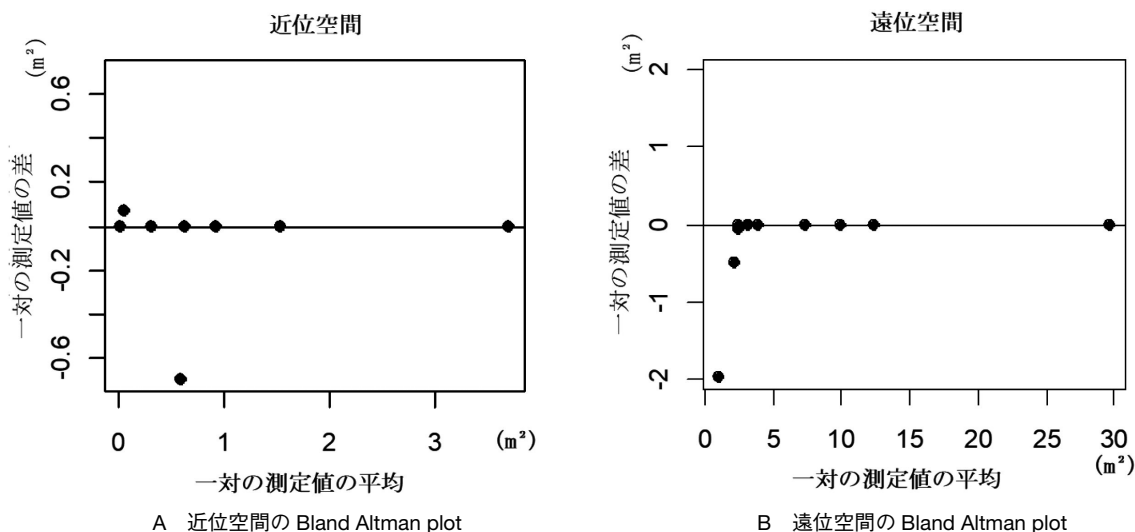


図4 空間別 Bland Altman plot

空間で  $0.40 \text{ m}^2$ 、遠位空間で  $1.12 \text{ m}^2$  であった。MDCの結果は表2、Bland-Altman plotは図4に示す。

#### 4. 考察

我々は、iVRを用いて近位空間と遠位空間のUSN症状を同時に評価することができる3次元的な評価システムを報告した。3D ball Testの特徴は、無視症状を立体的に描出できる点および従来の紙面上の評価と比較し簡便であり患者に対する計測の負担が低いことである。脳卒中発症早期は、全身状態の不安定であり、意識障害や様々な高次脳機能障害により従来の紙と鉛筆を使用した評価が困難なケースも多い。しかし、3D Ball TestはiVRにより外界の視覚情報を遮断し3次元空間内に没入させることができるため、評価に集中しやすい環境を作り出すことができる。加えて、従来の評価手法では、正確に評価を行えない近位、遠位空間のUSN症状を捉えることを可能とした

本研究では、我々が開発した3D Ball TestのMDCを検証するため、USN症状を有する脳卒中患者12名を対象に同一検者で一日空け計2回測定を行い、計測結果をBland Altman分析で解析した。

結果として、系統誤差は存在しないことが確認

された。MDCは、近位空間で  $0.40 \text{ m}^2$ 、遠位空間で  $1.12 \text{ m}^2$  であった。絶対的信頼性は誤差の種類の有無、そしてその範囲を統計的に推定することであり、研究家あるいは臨床家としての意思決定の手段として用いることができる。MDCが明らかになったことは、個々の患者の変化スコアを解釈するのに重要な知見である。

研究限界として、半側空間無視は覚醒状態の影響<sup>21)</sup>や日差変動が起こることも想定される。しかし、本研究では覚醒状態や日差変動に対する配慮ができていないため結果が過大もしくは過少数値になっている可能性がある。今後の課題としてMDCは、患者に発生した変化の量が測定誤差を超えているかどうかを判断するために知る必要がある重要な特性だが、変化が臨床的に意味のあるものかどうかを知ることはできない。そのため、サンプルサイズを増やし3D Ball Testの臨床的に意義のある最小変化量 Minimal Clinically Important Differenceを検証していきたいと考えている。

#### 5. 結論

本システムは、VR酔いなどの有害事象もなく、臨床現場で安全に活用可能であることを示唆された。研究結果よりiVRを用いた3D Ball Testの

MDC が明らかとなった。これは、3D Ball Test を用いた USN 症状の変化を解釈する一助となる。

## 6. 利益相反

開示すべき利益相反はない。

### 文献

- 1) Heilman, K M.: Disorders of visual attention, Bailliere's Clinical Neurology, 2(2): 389-413, 1993.
- 2) 石合純夫：失われた空間—半側空間無視を考える—, 高次脳機能研究, 34 (3) : 273-280, 2014.
- 3) Appelros, P, Karlsson, GM, Seiger, A, Nydevik, I.: Neglect and anosognosia after first-ever stroke: incidence and relationship to disability, Journal of rehabilitation medicine, 34: 215-220, 2002.
- 4) Jehkonen, M, Laihosalo, M, Kettunen, JE.: Impact of neglect on functional outcome after stroke: a review of methodological issues and recent research findings, Restorative Neurology and Neuroscience, 24: 209-215, 2006.
- 5) Vossel, S, Weiss, PH, Eschenbeck, P, Fink, GR.: Anosognosia, neglect, extinction and lesion site predict impairment of daily living after right-hemispheric stroke, Cortex, 49: 1782-1789, 2013.
- 6) Chen, C, Leys, D, Esquenazi, A.: The interaction between neuropsychological and motor deficits in patients after stroke, Neurology, 80: 27-34, 2013.
- 7) Bowen, A, Hazelton, C, Pollock, A, Lincoln, NB.: Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke, Cochrane Database of Systematic Reviews, 7: 2013.
- 8) 杉原勝宜, 新舎規由, 田谷勝夫, 石神重信：特集 半側空間無視リハビリテーション, 総合リハビリテーション, 29 : 23-28, 2001.
- 9) Yuehong, Yue, Weiqun, Song, Huo, Maobin, Wang.: Study on the Occurrence and Neural Bases of Hemispatial Neglect With Different Reference Frames, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 93(1): 156-162, 2012.
- 10) Previc, FH.: The neuropsychology of 3-D space, Psychological Bulletin, 124(2): 123-164, 1998.
- 11) N, Van der, Stoep, T, C, W, Nijboer, S, Van der, Stigchel.: Multisensory interactions in the depth Plane in front and rear space: A review, Neuropsychologia, 70: 335-349, 2015.
- 12) Perez-Marcos D, Ronchi R, Giroux A, Brenet F, Serino A, Tadi T, Blanke O. An immersive virtual reality system for ecological assessment of peripersonal and extrapersonal unilateral spatial neglect. J Neuroeng Rehabil. 20(1): 20-33, 2023.
- 13) Ogourtsova T, Souza Silva W, et al.: Virtual reality treatment and assessments for post-stroke unilateral spatial neglect: A systematic literature review. Neuropsychol Rehabil. 27: 409-454, 2017.
- 14) 加藤 遼一, 萩原 晨功, 安田 和弘, 川口 俊太郎, 他：没入型仮想現実による半側空間無視評価システムの構築. 第34回ライフサポート学会大会 LIFE2018. OS2-4, 2018.
- 15) 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, Topics in Stroke Rehabilitation, 24(7): 533-538, 2017.
- 16) S, Kawaguchi, K, Yasuda, T, Kobayashi, S, Emi, et al.: Clinical assessment of immersive virtual reality system to evaluate near and far space neglect in individuals after stroke, a case report, ISPRM, 2019.
- 17) 廣瀬久美子, 安田和弘, 川口俊太郎, 岩田浩康：没入型バーチャルリアリティを用いたUSN評価システムとBIT・CBSとの関連性の検討. 第6回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会 2022.
- 18) 下井俊典：評価の絶対信頼性. 理学療法科学 26 (3) : 451-461, 2011.
- 19) Bergego, C, Azouvi, P, Samuel, C, et al.: Validation d'une échelle d'évaluation fonctionnelle de l'héminégligence dans la vie quotidienne. l'échelle CB. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 38(4): 183-189, 1995.
- 20) 石合純夫：半側空間無視を解決する—BITからdeep testへ—. 高次脳機能研究, 24(3) : 232-237, 2004.
- 21) Funk, J., Finke, K., Müller, H. J., et al.: Systematic biases in the tactile perception of the subjective vertical in patients with unilateral neglect and the influence of upright vs. supine posture. Neuropsychologia, 48 : 298-308, 2010.

---

**Abstract:**

The 3D Ball Test is an immersive virtual reality (iVR) system developed to simultaneously assess unilateral spatial neglect in both near and far space. Following the development of this system, we have previously verified its usefulness. We now report on the measurement of the Minimal Detectable Change (MDC) of the 3D Ball Test using BlandAltman analysis. The subjects were 12 stroke patients ( $65.5 \pm 12.5$  years old) with unilateral spatial neglect who were admitted to the Recovery Rehabilitation Unit of our hospital. The results confirmed that there was no systematic error in the 3D Ball Test, and the MDC was  $0.40 \text{ m}^2$  in the near space and  $1.12 \text{ m}^2$  in the far space, which differed from space to space. The MDC of the iVR-based unilateral spatial neglect assessment system was calculated in this study, allowing interpretation of the change scores for individual patients.

**Key words:** stroke, unilateral spatial neglect, immersive virtual reality, evaluation, MDC