

原 著

半側空間無視に対するプリズム順応過程における 主観的正中面位置の変化

松藤佳名子*¹ 三木淳司*^{2*3*4}

要 約

半側空間無視に対するプリズム順応に関する報告は多数あり、その多くがプリズム順応に肯定的である。根本的メカニズムは徐々に解明されつつあるとは言え、いまだ明らかではない部分も多い。本研究では、半側空間無視に対するプリズム順応により主観的正中面の位置がどのように変化するかを測定し、無視の改善との関連を検討した。対象は、左半側空間無視を示す半側空間無視群9名、対照群9名である。プリズム順応は20Δのフレネル膜プリズムを両眼に基底左方で装着した状態で、30cmの距離、正面、左右10°、および20°の位置に呈示したターゲットを100回程度タッチする方法で行った。プリズム順応過程の各段階で主観的正中面を視覚と体性感覚の2つのモダリティで測定した。さらに、無視の改善を評価するために行動性無視検査日本版通常検査を行った。統計学的検定にはMann-WhitneyのU検定、Wilcoxonの符号付順位検定を用い、有意水準は5%未満とした。ベースラインでの主観的正中面位置は、視覚、体性感覚ともに半側空間無視群が有意に右方に偏位していた。プリズム順応過程での主観的正中面の位置の変化は半側空間無視群の視覚モダリティで大きな個人差を認めた。残効時に無視の改善を認めた被検者4名の主観的正中面は両モダリティともベースラインに比較して左方へ移動していた。特に視覚的正中面は無視が改善しなかった被検者とは有意差を認めた。無視が改善した要因として、自己の身体中心座標の左方への移動と左空間での注意の改善が考えられた。

1. 緒言

我々が空間を把握するためには視覚、聴覚、触覚などの感覚モダリティによる情報が必要である。それぞれの情報によって構成された視空間、聴空間、触空間が統合的に働き整合的な単一の空間が表現されることになるが、ヒトは空間表現において複数の感覚モダリティの中でも主に視覚を使っている。さらに、我々が空間を自由に動き回るためには物体の位置とともに自分の位置を定めることが必要である。空間は脳内で、身体のどこか、あるいは空間内のどこかを原点とした空間座標系として表現されている。座標系には、網膜中心、眼球中心、頭部中心、身体中心、身体部位中心などの自己を中心とした座標系と、身体外の、目標とする物体の中での相対的な位置を中心とした物体中心座標系や、環境の中で

の自己の位置を表現する環境中心座標系がある。これらの座標系は、主に頭頂葉や運動前野など四肢運動、眼球運動に関わる脳内の複数の領域で表現され、並列的に処理され統合されている。視空間はこのような複数の座標系から得られた情報を頭頂葉で統合して表現されていると考えられている。この空間把握が障害されていると考えられているのが半側空間無視(Unilateral spatial neglect, 以下USN)である。

USNは大脳半球損傷後に認められる高次脳機能障害の1つであり、病巣と反対側空間の刺激に対して報告したり、反応したり、その方向を向いたりすることが障害される病態と定義される¹⁾。USNは両側に生じうるが、空間性注意機能の側性化により右半球損傷後に生じる左USNとして起こることがほとんどである。発現機序に関しては諸説があるが、

*1 福岡国際医療福祉学院 視機能療法学科 *2 川崎医科大学 眼科学1教室

*3 川崎医科大学病院 眼科 *4 川崎医療福祉大学 医療技術学部

(連絡先) 松藤佳名子 〒814-0001 福岡市早良区百道浜3-6-40 福岡国際医療福祉学院 視機能療法学科

E-mail: matsufuji@takagigakuen.ac.jp

空間性注意の右方への病的な偏りが原因であるという注意障害説が有力である。USN には、自己の身体を基準として空間の半側を無視する、環境を基準にして空間の半側を無視する、物体を基準として物体の半分を無視するなどのタイプがあり、これらのタイプの中でも身体の中を基準に半側を無視する自己中心の無視が多数を占めている。自己を中心とした空間把握の指標には、まっすぐに自分の正面を指す主観的正中面が用いられるが、左 USN では主観的正中面が右方に偏位している症例が多いことから、自己を中心とした空間把握の障害のために身体中心座標が右方へ偏っていると推測されている。

主観的正中面はプリズム順応 (Prism adaptation, 以下 PA) によっても移動する。PA は側方変換視野実験の1つで、心理学ではよく使われる手法である。楔形プリズムを装着し視野を側方に偏位させることによって被験者に視覚と体性感覚間の感覚不一致をもたらし、不一致条件下における行動上および感覚知覚上の変化の過程を観察するものである。初めに左 USN に対するプリズム順応を報告したのは Rossetti et al.²⁾ であった。左 USN 患者の両眼に基底左方のプリズムを装着させ、視野を10度右に移動させた状態でターゲットを50回指差させると、最初はターゲットよりも右の位置を指すが、次第に右に移動した視覚に到達運動が順応していき、プリズムを外した後2時間、無視に改善が見られたと報告した。以来、USN に対する PA の効果を示した多くの報告^{3,5)} がある。PA を実施する場合、straight-ahead pointing, もしくは open loop pointing を PA の前後に行い順応の成立を確認するが、左 USN 症例に閉瞼または暗室で straight-ahead pointing を行うと元々右方にあった主観的正中面が PA 後には左方へ移動したと報告している。この場合、主観的正中面は順応の成立を確認するために PA 前後に測定されているだけである。確かに順応現象の記述において一般的に PA 後プリズムを外した状態(残効, aftereffect) を第一義的に扱うが、詳細にはある段階から他の段階への変化も検討の対象となる⁶⁾。ま

た、閉瞼もしくは暗室で自分の正面だと思う方向を指ささせる体性感覚的な主観的正中面を測定していることが多く、視覚的正中面を測定している報告は少ない。しかし、主観的正中面は感覚モダリティによって異なることがあり得るので、体性感覚的正中面と視覚的正中面は同一ではない可能性がある。

そこで、今回は、左 USN の体性感覚的主観的正中面、および視覚的主観的正中面の位置の変化を明らかにすることを目的とし、PA 過程の各段階で同一被験者において体性感覚と視覚という2つのモダリティで主観的正中面を測定したので報告する。なお、PA は複数回のセッションを実施することによって無視の改善効果が数週間持続する^{4,5,7)} と言われているが、1セッションでも効果がある^{2,3)}。今回は PA 過程での主観的正中面の位置の変化を明らかにすることを目的としているため、複数回行う必要はないと考え、PA は1回のみとした。

2. 対象および方法

2.1 対象

USN 群は、左 USN を有する男性7名、女性2名、計9名である。USN の確認には行動性無視検査日本版 (Behavioral inattention test, 以下 BIT) 通常検査を使用した。USN 群の9名全員が BIT 通常検査の合計点がカットオフ点以下、もしくは1つの課題においてカットオフ点以下であり、日常生活場面で USN による障害を認めていた。測定時の年齢は 50~82歳で平均 68.4 ± 11.1 歳、全員右利きであった (表1)。対照群は、屈折異常以外の眼疾患、頭蓋内疾患を有さない健常者9名で、年齢は42~77歳、平均 54.7 ± 11.6 歳、全員右利きであった。

2.2 方法

本実験には、光学式タッチパネルを搭載した液晶ディスプレイを用いた。主観的正中面は、視覚的主観的正中面と体性感覚的主観的正中面の2種類を測定した。視覚的正中面の測定では、眼前30cmの距離に設置したディスプレイ上に、視角 1.5° の赤色円形のターゲットを被験者の眼の高さで左右の端から反対の端へ移動させた。ターゲットの出現位置は左右

表1 USN 群の基礎情報

性別	年齢	PA までの期間	損傷部位	
男性7名	68.4 ± 11.1 歳	5.1 ± 2.4 ヵ月	右中大脳動脈領域	2
			右視床-被殻	2
			右中大脳動脈領域・側頭葉	1
			右視床・脳室	1
			右側頭頭頂葉	1
女性2名			右側頭葉・前頭葉	1
			右後頭葉	1

交互とした。被検者には眼は自由に動かしてよく、自分の正面だと感じる位置にターゲットが到達したときに停止ボタンを操作するように教示した。なお、刺激の光により周囲が可視できないように、Neutral Density Filter ND2.00を通して固視した。

体性感覚的正中面では、眼前30cmの距離に設置したディスプレイの何も提示されていないタッチパネル画面の自分が正面と思う位置を右示指で示すように教示した。このとき、被験者は上部のカバーにより腕、指先、および指した位置は確認できなかった。

全て暗室にて行い、被検者は座位あるいは車椅子座位で、頭部を顎台で固定して計測した。1つの課題について5回測定し平均値を代表値とした。主観的正中面は、プリズムを装着していない状態 (A: ベースライン)、プリズム装着直後 (B: 直接効果)、PA 後のプリズム装着下 (C: 順応)、プリズムを外した直後 (D: 残効)、1時間後 (E)、1日後 (F) に測定した。また、BIT 通常検査をベースラインと PA 直後プリズムを外した状態で実施した。

PA 課題にも上記の液晶ディスプレイを用いた。ターゲットは直径1.0°の赤色円形の刺激で、眼前30cmの距離の前額平行面上、正面、左右10°、20°の位置に配置した。両眼に20 prism diopter (Δ) のフレネル膜プリズムを基底左方に貼付した眼鏡を使用した。20 Δ は11.3°に相当し、基底左方であるため、この眼鏡を装着して見ると物体は右方に11.3°シフトして見える。過去の研究では色々な度数のプリズムが用いられているが、10 Δ のような小さなプリズム度数では効果がないことが報告されて

いる⁸⁾。現在では10°ないし15°偏位させるプリズムが多く使われている。今回使用したフレネル膜プリズムの場合は偏位量に応じて視力が低下する。15°以上偏位させるために必要な30 Δ の膜プリズムではターゲットやBITの線や文字等が見にくくなると判断したため、今回の実験では20 Δ を用いた。被検者はプリズム眼鏡を装着した状態でディスプレイ上のターゲットに対し到達運動を行った。被検者には、右示指で胸骨前面を指差した位置から開始し、正面、左右10°、20°の位置でランダムに点灯したターゲットに触れるように教示した。明室で行い、被験者はカバーのために腕の動きは見え、到達時のみ自分の右示指を見ることができるといった視覚的フィードバックがある状態であった。上記プリズム眼鏡を装着した状態で指差すために、初めは実際のターゲット位置よりも右を指すが、視覚的フィードバックが与えられているので徐々に順応し、ターゲットに到達できるようになる (図1)。到達運動は100回程度行った。

統計学的検定には Mann-Whitney の U 検定、Wilcoxon の符号付順位検定を用い、有意水準は5%未満とした。

本研究は医療法人社団高邦会倫理委員会、白十字病院倫理委員会の承認を受けて実施した。

3. 結果

3.1 ベースラインでの主観的正中面位置

両群のベースラインでの主観的正中面位置を図2に示す。USN 群はモダリティに関わらず主観的正

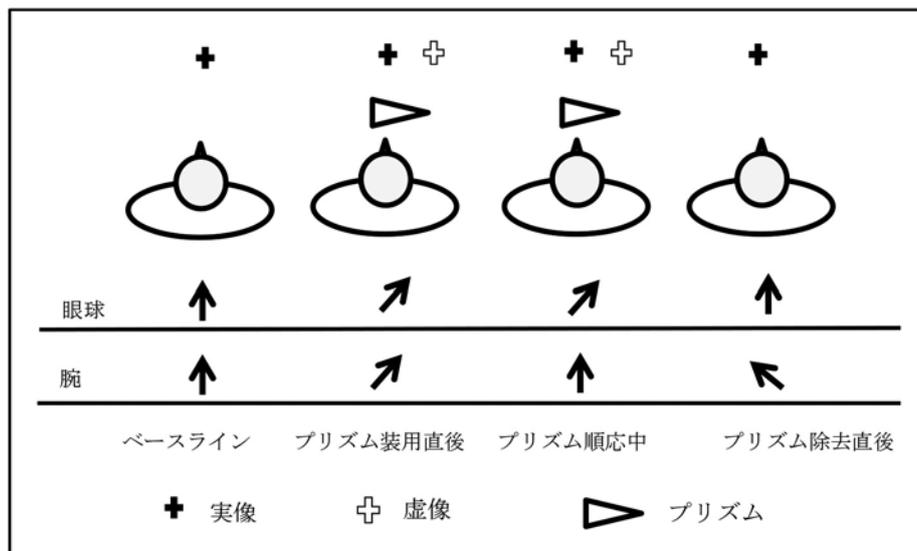


図1 プリズム順応過程における視線の方向と到達運動の方向

プリズム装着直後は右方に移動した虚像を固視するため、虚像に向けて到達運動を行うが、順応すると実像に向けて到達運動を行うようになる。プリズムを除去した直後は順応効果が残っているため、正面のターゲットを固視しながらも、到達運動は左方へ向かう。

中面は右方へ偏位し、対照群では体性感覚的正中面は左方へ偏位し、視覚的正中面は0度付近にあった。表2に検定結果を示すが、USN群ではモダリティによる主観的正中面の位置に有意差を認めず (Wilcoxonの符号付順位検定, $p=0.313$)、対照群では視覚的正中面に比較して体性感覚的正中面の位置は有意に左方へ偏位していた (Wilcoxonの符号付順位検定, $p=0.0381$)。視覚的正中面、体性感覚的正中面とも2群間に有意差を認め、USN群は対照群に比較して主観的正中面が右方へ偏位していた (Mann-WhitneyのU検定, 視覚 $p=0.046$, 体性感覚 $p=0.0003$)。また、USN群では視覚的正中面において出現方向により差を示す被検者がいたが、統計的有意差は認めなかった (Wilcoxonの符号付順位検定 $p=0.066$)。

3.2 PA過程における主観的正中面位置の変化

主観的正中面の変化を図3に示す。視覚的正中面については、 20^Δ を基底左方に装用しているときに眼球が物理的な正中である 0° を向いていれば、

ターゲットが中心から左方 11.3° の位置にあるときに中心窩に投影されるので、 -11.3° を 0° と換算した。

USN群は対照群に比較して個人差が大きく、特に視覚的正中面においてその傾向は顕著であった。

3.3 プリズム順応前後のBITの変化

PA後にBIT通常検査で改善を示した被検者は4名(1~4)で、改善した課題は抹消課題、模写課題、描画課題であった。改善を示した被検者と示さなかった被検者を比較すると、改善を示した被検者では、図4に示すように残効時の視覚的主観的正中面位置がベースラインから左方へ移動していた (Mann-WhitneyのU検定, $p=0.014$)。体性感覚的主観的正中面位置も残効時では7名がベースラインよりも左方へ移動していたが、改善の有無には関連を認めなかった (Mann-WhitneyのU検定, $p=0.327$)。

4. 考察

体性感覚的主観的正中面を左方へ移動させる手段

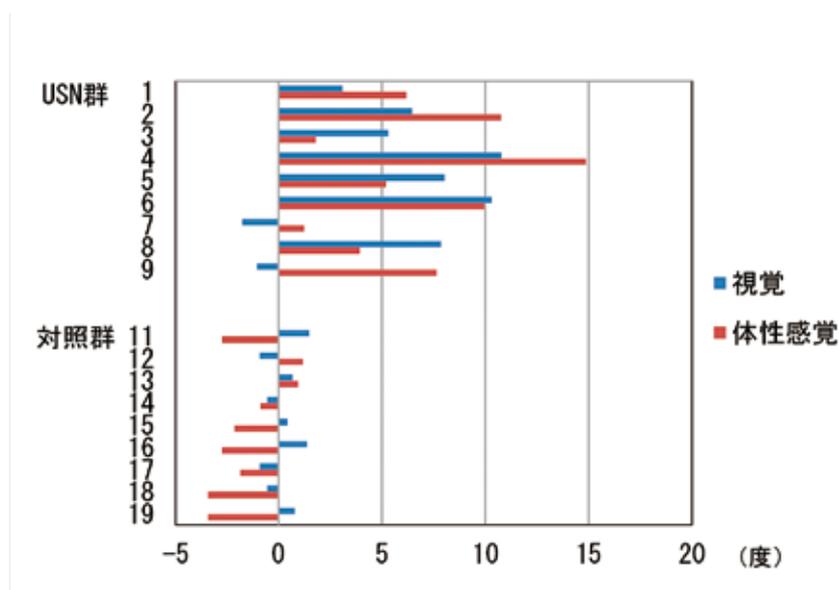


図2 ベースラインでの主観的正中面位置

USN群：1~9 対照群：11~19

-は左方, +は右方を示す

USN群はモダリティに関わらず主観的正中面は右方へ偏位している。対照群では体性感覚的正中面は左方へ偏位し、視覚的正中面は0度付近にあった。

表2 ベースラインでの主観的正中面

群	モダリティ	平均±標準偏差			
USN群	視覚	5.45±4.55	1	3*	
	体性感覚	5.37±6.05			
対照群	視覚	0.20±0.96	2*		4*
	体性感覚	-1.68±1.74			

1 : $p=0.313$ 2 : $p=0.0381$ 3 : $p=0.046$ 4 : $p=0.0003$

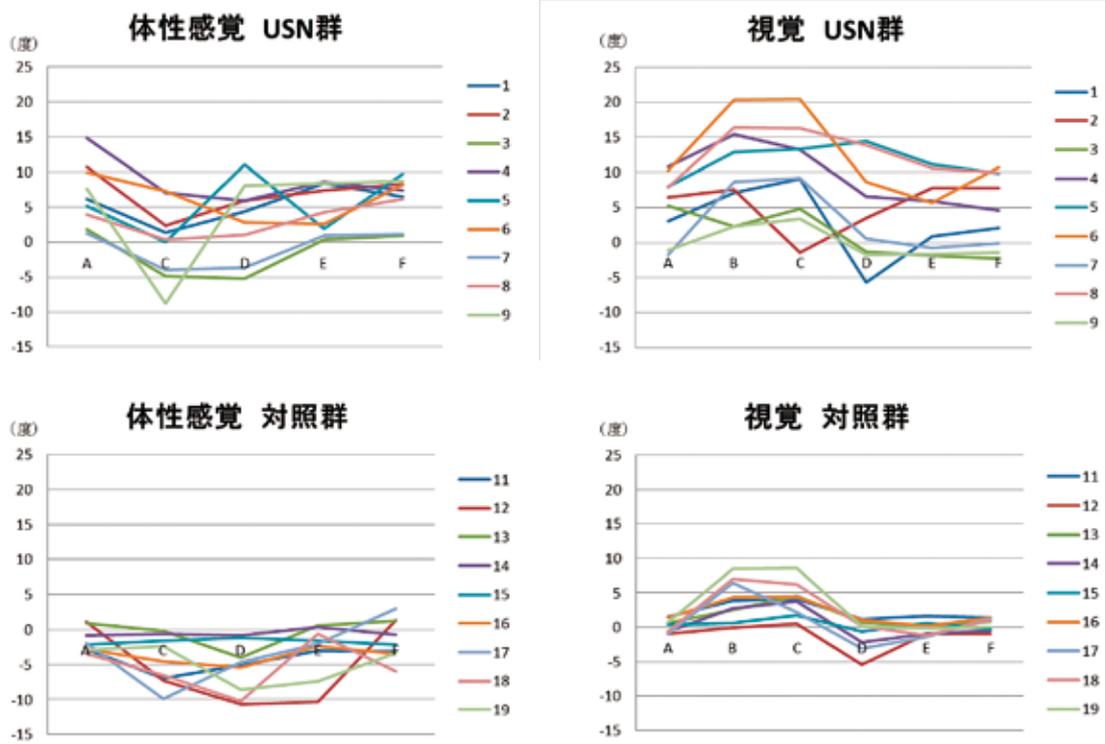


図3 PA過程における主観的正中面位置の変化

USN群：1～9 対照群：11～19

A：プリズムを装着していない状態（ベースライン） B：プリズム装着直後（直接効果）

C：PA後のプリズム装着下（順応） D：プリズムを外した直後（残効）

E：1時間後 F：1日後

体性感覚についてはBはAと同じであるため測定していない。

として体幹の左回旋⁹⁾と左後頸部筋振動刺激¹⁰⁾が報告されている。頭部を正面に体幹を左に回転させると主観的正中面は左方へ移動して無視が改善し、同様に、左後頸部筋に振動刺激を与えると主観的正中面が左方へ移動し、机上検査でも無視が改善したと報告した。これは、体幹の左回旋では左後頸部筋が伸展しており、左後頸部筋の振動刺激では自己受容器である筋紡錘が刺激され筋が伸展したという錯覚を生じるためと考えられている。これらの結果から、USNの主観的正中面は体幹に依存していると推察されているが、いずれも、自己を中心とした空間表現に自己受容感覚情報が深い関わりを持っていることを示している。

プリズムによる視野の側方移動実験では到達運動課題を用いるのが一般的であるが、腕の到達運動では物体はまず網膜中心窩に投影されるので網膜中心座標で位置が表現される。その後、眼球中心座標、頭部中心座標、身体中心座標に変換される。今回は20Δを基底左方に装着したので、プリズムを通過した光は基底方向へ屈折し、網膜中心窩よりも左領域

に結像する。正面に呈示された像は右方に移動し(虚像)、その虚像を注視するために眼球は右方へ回転し、中心窩で虚像をとらえる。つまり、プリズムを装着している間は眼球は右方に回転している。外眼筋にも筋紡錘やゴルジ腱器官、矢来状神経終末などの自己受容器が存在し、筋肉の伸縮を感覚して眼球の動きと眼球の位置を視中枢に伝えているので¹¹⁾、眼球の位置に対して相対的に頭部と体幹は左方に向いていると知覚することになる。そして、PAが完成すれば、新たな対応関係が成立し、右方へ11.3°回転した眼球の位置と正面へ到達運動をする腕の方向は一致している。その後、プリズムを除去すると、脱順応が進み元の対応関係に戻っていくが、残効が存在する間は正面に向けた眼球の位置に対し体幹が左方に向いていると感覚する。本研究でもUSN群では順応中は9名、残効時には7名において体性感覚的な主観的正中面の左方への移動を認めた。プリズム装用に関係なく、順応中と残効が存在する間は眼球と体幹の向きは新たな対応関係を構築し、体幹の左回旋や左頸筋の振動刺激と同様に、左方に向いて

いと感覚された体幹により身体中心座標が左方へ移動すると解釈できる。

一方、視覚的主観的正中面の変化をみると USN 群は対照群に比較して個人差が大きい結果となった。BIT 通常検査にて改善を示した4名は残効時に視覚的正中面がベースラインに比較して左方へ移動していた。一般的に視覚的な残効は非常に小さいものであるが、対照群と比較してこの残効は大きく、単純に自己中心座標の移動としては考えにくい。左 USN の障害メカニズムとして空間性注意の右方への偏位が推察されている。空間性注意とは外界と自己の空間的關係の中で意識を適切な対象に集中し、また必要に応じて移動していく過程であるが、USN は空間性注意の中でも注意の開放と移動が障害されていると考えられている¹²⁾。本研究の USN 群も対照群に比較してベースラインでの視覚的主観的正中面が右方へ大きく偏位していたが、これは空間性注意の右方偏位を反映していたと考えられる。無視の改善を示した4例の視覚的主観的正中面が残効時に大きく左方へ移動したのは、空間性注意の右方偏位が PA により矯正された可能性が考えられる。

PA は心理学や神経科学の分野で古くから研究されている手法であり、PA により変化するのは、手足や首の自己受容感覚ないし位置感覚なのか、視覚

と運動の協応関係なのか、それとも運動学習なのかという問題を論点として長い間展開されてきたが、現在では運動学習であると考えられている。しかし、到達運動の適応メカニズムは複雑であり、いまだ解明されていない部分も多い。USN においては、PA により移動した視覚と到達運動による体性感覚との誤差が感覚—運動間の可塑性に働きかけ、さらに高次の空間表象機能を再構築し、方向性注意が変容される結果、無視症状が改善されると推測されている。USN に対する PA に関する報告は多数あり、その多くが肯定的なものである。しかし、PA を行っても改善が特定の課題に限られていたり¹³⁾、改善を認めない症例がいたり¹⁴⁾と、PA の評価は一定していない。対象や実施方法、回数、評価の方法など PA には解決すべき問題も多いが、USN に対する PA のメカニズムを解明するためには PA の過程で何が変化しているのかを明らかにすることも重要であると考ええる。

今回は単独の PA の結果であるので、リハビリテーションとして複数回のセッションを行う PA と異なる面もあると考えられるが、PA により無視が改善する要因として身体中心座標の左方への移動と空間性注意の改善が推察された。

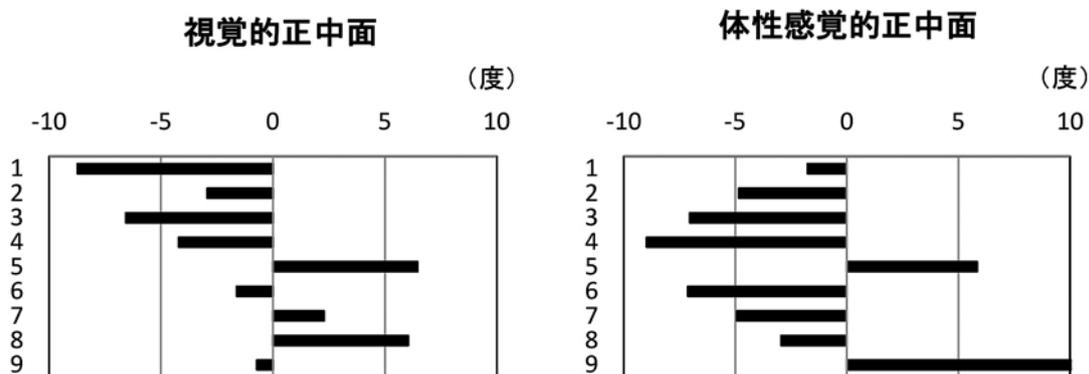


図4 USN 群における PA 直後プリズム除去 (D) でのベースラインからの変化量

1~4: BIT にて改善 (+) 5~9: BIT にて改善 (-)

PA 後に BIT 通常検査で改善を示した被検者1~4は、残効時の視覚的主観的正中面位置がベースラインの主観的正中面位置よりも左方へ移動していた。

文 献

- 1) Heilman KM, Watson RT and Valenstein E: Neglect and related disorders. In Heilman KM, Valenstein E eds, *Clinical Neuropsychology*, 3rd ed, Oxford University Press, New York, 279-336, 1993.
- 2) Rossetti Y, Rode G, Pissella L, Farné A, Li L, Boisson D and Perenin MT: Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature*, 395, 166-169, 1998.
- 3) Rode G, Rossetti Y and Boisson D: Prism adaptation improves representational neglect. *Neuropsychologia*, 39,

- 1250-1254, 2001.
- 4) Frassinetti F, Angeli V, Meneghello F, Avanzi S and Làdavas E : Long-lasting amelioration of visuospatial neglect by prism adaptation. *Brain*, **125**, 608-623, 2002.
 - 5) Serino A, Barbiani M, Rinaldesi M and Làdavas E : Effectiveness of prism adaptation in neglect rehabilitation. *Stroke*, **40**, 1392-1398, 2009.
 - 6) 太城敬良:変換視野条件下の順応. 大山正, 今井省吾, 和気典二編, 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, 東京, 172-177, 1994.
 - 7) Chen P, Goedert KM, Shah P, Foundas AL and Barrett AM : Integrity of medial temporal structures may predict better improvement of spatial neglect with prism adaptation treatment. *Brain Imaging and Behavior*, **8**, 346-358, 2014.
 - 8) Turton AJ, O' Leary K, Gabb J, Woodward R and Gilchrist ID : A single blinded randomised controlled pilot trial of prism adaptation for improving self-care in stroke patients with neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, **20**, 180-196, 2010.
 - 9) Karnath HO, Schenkel P and Fisher B : Trunk orientation as the determining factor of the 'contralateral' deficit in the neglect syndrome and as the physical anchor of the internal representation of body orientation in space. *Brain*, **114**, 1997-2014, 1991.
 - 10) Karnath HO, Christ K and Hartje W : Decrease of contralateral of neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline. *Brain*, **116**, 383-396, 1993.
 - 11) 向野和雄 : 外眼筋自己受容器系の働き. 日本視能訓練士協会誌, **17**, 212-220, 1989.
 - 12) Ishiai S, Seki K, Koyama Y and Izumi Y : Disappearance of unilateral spatial neglect following a simple instruction. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, **63**, 23-27, 1997.
 - 13) Humphreys GW, Watelet A and Riddoch MJ : Long-term effects of prism adaptation in chronic visual neglect: A single case study. *Cognitive Neuropsychology*, **23**, 463-478, 2006.
 - 14) Rousseaux M, Bernati T and Saj A : Ineffectiveness of prism adaptation on spatial neglect signs. *Stroke*, **37**, 542-543, 2006.

(平成29年5月9日受理)

Shift in Subjective Median Plane Position during Prism Adaptation Process for Unilateral Spatial Neglect

Kanako MATSUFUJI and Atsushi MIKI

(Accepted May 9, 2017)

Key words : unilateral spatial neglect, prism adaptation, subjective median plane, reference frame

Abstract

In the current study, how subjective median plane position shifts depending on prism adaptation (PA) for unilateral spatial neglect (USN) was measured and the relationship between the shift and improvement of the neglect was examined. The subjects were 9 persons with left USN in USN group and 9 persons in control group. The subjective median plane was measured by two modalities, i.e. visual sense and somatic sense at each stage of PA process. At the time of baseline, both visual and somatic senses significantly deviated in the right direction in USN group in a comparison of the two groups. In the shift of subjective median plane position during PA process, large individual difference was observed in visual sense modality of USN group. The subjective median plane of four subjects who showed improvement in neglect at the time of aftereffect had shifted in the left direction in both modalities compared with that at the time of baseline. A shift of central coordinate of the body in the left direction as well as improvement in attention at left space was believed to be factors for the improvement in neglect.

Correspondence to : Kanako MATSUFUJI

Department of Orthoptics

Fukuoka International College of Health and Welfare

Fukuoka 814-0001, Japan

E-mail : matsufuji@takagigakuen.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.27, No.1, 2017 97 – 104)