

プリズム基底方向が姿勢維持に与える影響

金澤 正継*・魚里 博***・浅川 賢***・川守田 拓志***

* 北里大学 大学院医療系研究科

〒 252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1

** 北里大学 医療衛生学部

〒 252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1

(受付：2012年2月14日；受理：2012年9月21日)

Effect of Prism Base Directions on Posture Stabilization

Masatsugu KANAZAWA*, Hiroshi UOZATO***, Ken ASAKAWA***
and Takushi KAWAMORITA***

* Department of Visual Science, Kitasato University Graduate School of Medical Sciences
1-15-1 Kitasato, Minami-ku, Sagamihara-shi, Kanagawa 252-0373, Japan

** Department of Orthoptics and Visual Science, Kitasato University School of Allied Health Sciences
1-15-1 Kitasato, Minami-ku, Sagamihara-shi, Kanagawa 252-0373, Japan

(Received 14 February 2012; Accepted 21 September 2012)

The eye's position was changed by adding 1Δ (prism diopter) prism according to a various direction of base and we investigated the effect of prism base directions on posture stabilization. The subjects were 8 healthy volunteers and the sway of the center of gravity was measured with stabilometer UM-BAR II (UNIMEC) during 1 min. Visual acuity of each eye was perfectly corrected by glasses and it was compared with the condition used 1Δ prism at a time when it was changed from Nasal to Infra-Nasal (total 360 degrees) per 45 degrees only the dominant eye. In the results of position vector, anterior sway increased at base Superior and posterior sway increased at base Infra-Temporal and Inferior in particular ($p < 0.05$). These results suggest that prism effect of vertical degree influenced the posture stabilization and that this change relies upon fusional area and phoria adaptation.

1. はじめに

重心動揺検査は、重心位置から身体動揺の程度や性質、方向、速度、周波数成分などを測定、解析することで、姿勢維持などの平衡機能を客観的かつ数量的に総合判定するものである^{1,2)}。主として耳鼻咽喉科の診断に用いられている³⁾が、視覚入力と姿勢維持の関連性についても、Edwards⁴⁾による報告以来、数多く研究されている⁵⁻⁸⁾。

Matheron^ら⁸⁾は、1Δ (プリズムディオプター)の上下斜位に対してプリズム矯正を行ったところ、重心位置の安定につながったと報告してお

り、両眼視機能への影響因子である眼位との関連性を示している。眼科臨床においては、眼鏡矯正の際に瞳孔間距離とレンズ光学中心が異なることで水平方向の、左右眼の光学中心に対する不適切な眼鏡フィッティングにより上下方向の、両者の複合的な要因により斜め方向のプリズム効果が生じる。この場合も眼位変化を生じさせ、両眼視機能が阻害されることで、姿勢維持へ影響することが指摘されている^{9,10)}。特に上下方向の融像域¹¹⁾は水平に比して狭いため、その影響は大きいと推察される。これらのことから眼位や融像域は、両眼視だけでなく、姿勢維持にも影響すると考えられる。

一方、眼位に異常がない場合、片眼にプリズムを装用させると、左右眼の網膜像にずれ、すなわち両眼視差を生じさせることができる。両眼視差に対して、融像が可能であれば両眼単一視は保たれ、不可能な場合は複視を生じる。このように眼位に異常がない場合は融像の関与が大きい、その過程は水平方向と上下方向において異なるとされている¹²⁾。

以上のように、眼位の基礎偏位やその融像域、融像の過程は、水平および上下方向によって異なることが知られている¹¹⁻¹⁵⁾のもの、先行研究では、水平方向⁹⁾あるいは上下方向¹⁰⁾を個別に検討しているのみで、斜め方向を含めた基底方向別の検討を行っていない。したがって、同一被験者に対してプリズム効果による擬似的な眼位異常を基底方向別に検討する必要があると考えられる。

さらに、プリズム効果により発生した眼位異常は、phoria adaptation によって代償される^{16,17)}ため、プリズム効果の影響も継時的に変化する可能性があるが、時系列ごとの重心位置の変化を検討した報告はない。phoria adaptation^{16,17)}とは、プリズムを通した状態で被験者固有の眼位を保とうとする順応現象のことである。

以上の背景を踏まえ本研究では、各基底方向におけるプリズム効果が姿勢維持に及ぼす影響について、時系列ごとの重心位置の変化とともに検討した。

2. 対 象

対象は、屈折異常以外に眼疾患のない年齢20~30歳(23.6±4.0歳、平均±標準偏差、以下、同様)の男性5名、女性3名、計8名16眼とした。レンズ交換法による自覚的屈折度数(等価球面值)は、右眼-1.47±3.19D、左眼-1.28±3.01D、円柱度数で右眼平均-0.38±0.48D、左眼平均-0.34±0.45D、両眼に有意差はなかった。被験者はMaddox正切尺による自覚的斜視角において、上下偏位がなく水平偏位が3Δ以内の者、立体視検査(Titmus stereo tests)において、40arcsecまで正答できた者、

および視覚への依存度と平衡機能を評価するロンベルグ率(重心動揺総軌跡長の閉眼開眼比)^{1,3)}が2未満の者とした。

3. 方 法

重心動揺検査の方法は、日本平衡神経科学会(現、日本めまい平衡医学会)の基準¹⁸⁾に従い、測定は明るさ(約500lx)が均等の静かな部屋で行った。被験者の姿勢については、両上肢が体側に接した自然な姿勢をとり、両脚閉足直立を保つように指示した。

測定機器には、平衡機能計UM-BAR II(ユニメック社)¹⁹⁾を用い、視点については眼の高さに合わせ、距離2mに設置した十字視標(5cm×5cm)³⁾を固視させた(図1)。記録時間は60秒間、サンプリング周波数は20Hzとした。

条件ごとに3回の測定を行い、3回の測定値による3群間において統計学上の有意差がみられなかったため、疲労の影響は無視できる程度と考え、測定結果は平均値を採用した。

条件は完全屈折矯正レンズ装用をcontrolとし、Hole-in-card testにて優位眼を決定した上で、優位眼にのみ1Δのプリズムを基底内方から45°ずつ(内方、上内方、上方、上外方、外方、下外方、下方、下内方)変化させて装用させたときの8方向(計360°)の値と比較した。プリズム基底方向の表記は左右眼で統一するため、基底内方をNasal(以下、N)、基底上内方をSupra-Nasal(以下、SN)、基底上方をSuperior(以下、S)、基底上外方をSupra-Temporal(以下、ST)、基底外方をTemporal(以下、T)、基底下外方をInfra-Temporal(以下、IT)、基底下方をInferior(以下、I)、基底下内方をInfra-Nasal(以下、IN)とした(図2)。

8種類の基底方向は被験者ごとに装用順を変えてランダムに行い、装用後ただちに重心動揺検査を開始した。被験者の水平偏位については、複視の自覚症状がなく、立体視検査において40arcsecを正答しており、臨床においても無視できる程度の眼位ずれ²⁰⁾であったため、プリズ

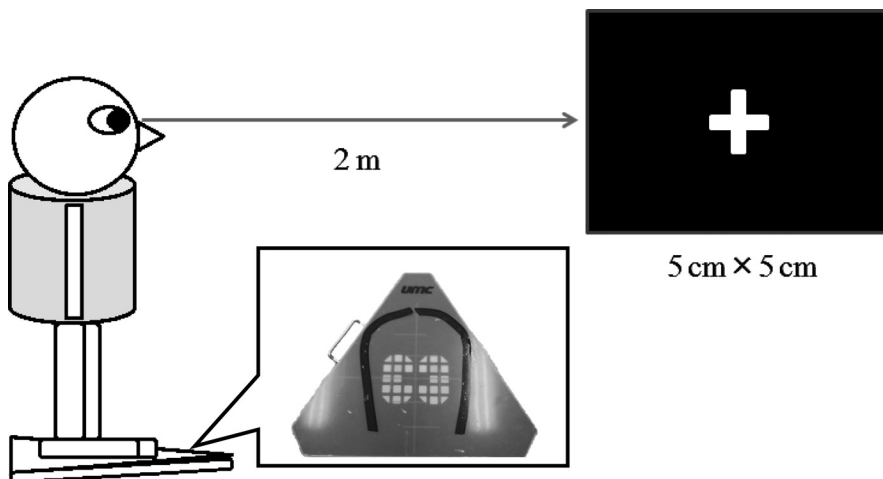


図1 平衡機能計 UM-BAR II (ユニメック社) と実験の概要図。

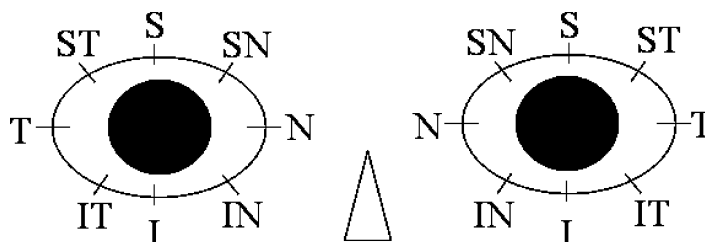


図2 各基底方向の表記

基底内方：N 基底上内方：SN 基底上方：S 基底上外方：ST 基底外方：T
 基底下外方：IT 基底下方：I 基底下内方：IN。

ムによる眼位矯正は行わずに測定を行った。なお、プリズム装用時を含めて、測定中に複視を自覚した被験者はいなかった。

検討項目には、重心動揺軌跡から算出した重心動揺総軌跡長 (mm, 以下, 総軌跡長, 図3左図)²¹⁾と平均位置ベクトル^{1,22)} (% , 以下, 位置ベクトル, 図3右図) の2項目を用いた。両項目ともに測定時間内に記録された重心動揺軌跡図から自動的に算出される。重心動揺軌跡図は、縦軸 (Y軸) が前後方向の、横軸 (X軸) が左右方向の足圧中心位置座標を表し、Y軸とX軸がともに0の地点を原点として記録される。総軌跡長により60秒間直立の足圧中心の総距離が評価できる。一方、位置ベクトルにより8区域ごとの重心動揺距離を算出することで、各区域ごとの重心動揺の大きさから身体動揺の程

度や性質、方向を評価できる²²⁾。解析は、 i が60秒間のある時点、 k が重心動揺軌跡図を8分割したある区域、 X が重心動揺軌跡図の原点から左右方向への変位、 Y が同じく原点から前後方向への変位、 \bar{X} が左右方向における重心動揺軌跡図の原点、 \bar{Y} が前後方向における重心動揺軌跡図の原点、 L が重心動揺軌跡図の原点から重心位置までの変位の総和、 n が重心位置の測定された回数 (全測定点で $n=1201$) であり、 L_k, N_k が8分割した各領域での L, N としたとき、以下の式で求めた。

総軌跡長 (mm)

$$= \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}$$

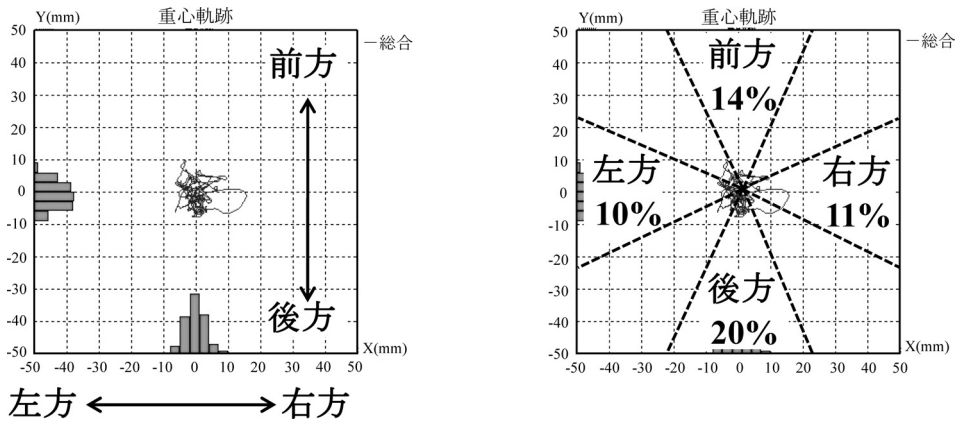


図3 重心動揺軌跡図(左図：総軌跡長, 右図：位置ベクトル)

縦軸 (Y 軸) が前後方向の, 横軸 (X 軸) が左右方向の足圧中心位置座標を表し, Y 軸と X 軸がともに 0 の地点を原点として記録される. また, Y 軸が正の値のときは前方向を, 負の値のときは後方向を表し, X 軸が正の値のときは右方向を, 負の値のときは左方向を表す (左図の矢印). 各軸のヒストグラムは, Y 軸, X 軸ごとに重心位置の確率密度分布が算出され, 図に表示される. 左図の中央に描かれた線が測定された重心動揺軌跡で, その全長が総軌跡長を示す. 右図の黒線で区切られた領域は, 位置ベクトルの 8 区域を表し, 位置ベクトルはそれぞれの区域で測定された回数とその測定点から原点までの距離によって算出される. 前後左右方向の下の数値は, 実際に計測された位置ベクトルの結果を示した.

$$L_k = \sum_{i=1}^{N_k} \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2}$$

位置ベクトル (%)

$$= (L_k / N_k) \div \sum_{k=1}^8 (L_k / N_k) \times 100$$

なお, 時系列における変化を検討するために, 60 秒間の測定結果から 10 秒ごとの総軌跡長をそれぞれ算出して比較した.

比較検討は, プリズム装用前と装用後の 2 群間とし, 統計学的解析は, 60 秒間の総軌跡長と位置ベクトルについて, Wilcoxon の符号付順位検定を行った. また, 時系列における変化は, 同一条件における 10 秒ごとの総軌跡長について反復測定分散分析 (repeated measure ANOVA) と多重比較検定法である Scheffé 検定を行った. 各検定における有意水準は 5% 未満とした.

4. 結 果

各基底方向における総軌跡長には変化が認め

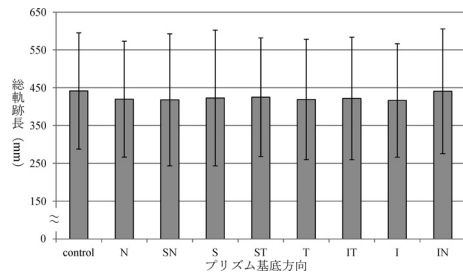


図4 各基底方向のプリズムを装用した 60 秒間の総軌跡長の平均値. 図内のエラーバーは各値の標準偏差を示す. 縦軸は総軌跡長を示し, 横軸はプリズム装用前 (control) およびそれぞれの基底方向においてプリズム装用後を示す.

られず, 統計学的解析の結果として有意差は認められなかった (図4). 一方, 位置ベクトルでは, プリズム装用後に変化がみられた. 左右方向の動揺では, 基底方向に関係なく減少傾向がみられ (図5), 右方向では N, SN, ST, I, 左方向では SN, S, T, IT, I において, 有意な低下を認めた ($p < 0.05$). 前後方向の動揺では, N 以外の基底方向において増加傾向がみられ, 前方向では SN, S, ST, T, IT, 後方向では S, IT, I におい

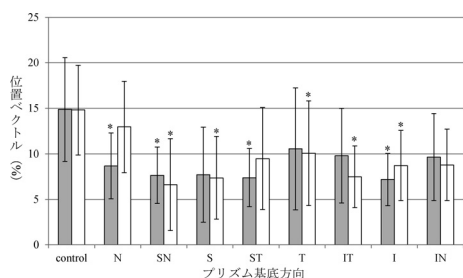


図5 各基底方向のプリズムを装用した左右方向の位置ベクトルの平均値。

■は右方の測定値，□は左方の測定値を表す。図内のエラーバーは各値の標準偏差を示し，*の印は統計学的有意差を示す ($p < 0.05$)。縦軸は位置ベクトルを示し，横軸はプリズム装用前 (control) およびそれぞれのプリズム基底方向を示す。

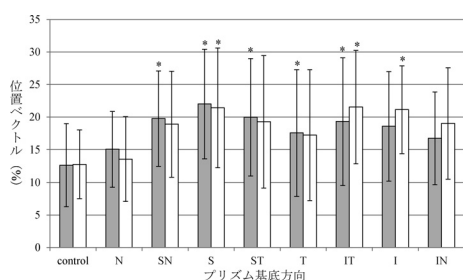


図6 各基底方向のプリズムを装用した前後方向の位置ベクトルの平均値。

■は前方の測定値，□は後方の測定値を表し，*の印は統計学的有意差を示す ($p < 0.05$)。図内のエラーバーおよび，縦軸，横軸の項目は図5と同様である。

て，有意な増加を認めた ($p < 0.05$)。特にS, IT, Iにおいて，前方向ではプリズム装用前12.6%から装用後にそれぞれ22.0%, 19.3%および18.6%へと，後方向では同じく装用前12.8%から装用後21.4%, 21.6%および21.2%へと大きく増加していた ($p < 0.05$, 図6)。

次に，時系列における変化を検討した結果，SNにおいて10秒間の総軌跡長が，測定開始後0~10秒では 83.5 ± 33.6 mmであったが，10~20秒では 68.1 ± 27.3 mmへと，Tにおいて測定開始後0~10秒では 83.0 ± 28.7 mmであったが，20~30秒では 69.9 ± 23.7 mmへと減少していた ($p < 0.05$)。Nでは，測定後0~10秒の測定値が

73.7 ± 28.1 mmと各基底方向のうち最小値を示した。30秒以降の10秒間の各範囲では65~69 mmの間で推移し，10秒ごとの総軌跡長にほとんど変化がみられなかった。一方，位置ベクトルにおいて変化が大きかったS, IT, Iにおいては，測定開始から総軌跡長に減少の傾向がみられたものの，統計学的な有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。

5. 考 察

本研究では，プリズムの基底方向による重心位置の差異を評価することで，各基底方向におけるプリズム効果が姿勢維持に及ぼす影響を，時系列ごとの重心位置の変化とともに検討した。

まず60秒間の総軌跡長において，統計学的な有意差はみられない結果となった。プリズム装用前と装用後において，重心動揺軌跡に変化をみた代表例を図7aに示し，位置ベクトルの全例における平均値を図7bに示す。時田ら²³⁾は，このような重心動揺軌跡を前後拡大型と分類している。前後拡大型がみられた場合，抗重力筋（下腿三頭筋：ひらめ筋，腓腹筋）の緊張低下，脊髓固有反射の低下が疑われると報告されている²³⁾。本研究では健常者に1Δのプリズムを装用させることによって，それと同様の重心動揺軌跡がみられ，それに伴い位置ベクトルは，前後方向への動揺が増加し，左右方向の動揺は減少する結果となった。総軌跡長に変化がみられなかった理由として，総軌跡長では平衡機能の性質のうち動揺の方向あるいは偏りを反映していないという欠点があること，位置ベクトルにおける前後方向の動揺の増加と左右方向の動揺の減少が同程度であり，1Δのプリズム効果では全体的な動揺の大きさに変化がなかったことが挙げられる。また先行研究では，伸張反射の亢進により総軌跡長は増大するとの報告²⁴⁾や視覚入力前後方向への動揺を制御する^{25,26)}との見解が示されている。今回，総軌跡長に変化がみられず，位置ベクトルにおいて前後方向の動揺が増加したことから，本研究における位置ベクトルの変化が伸張反射による影響ではな

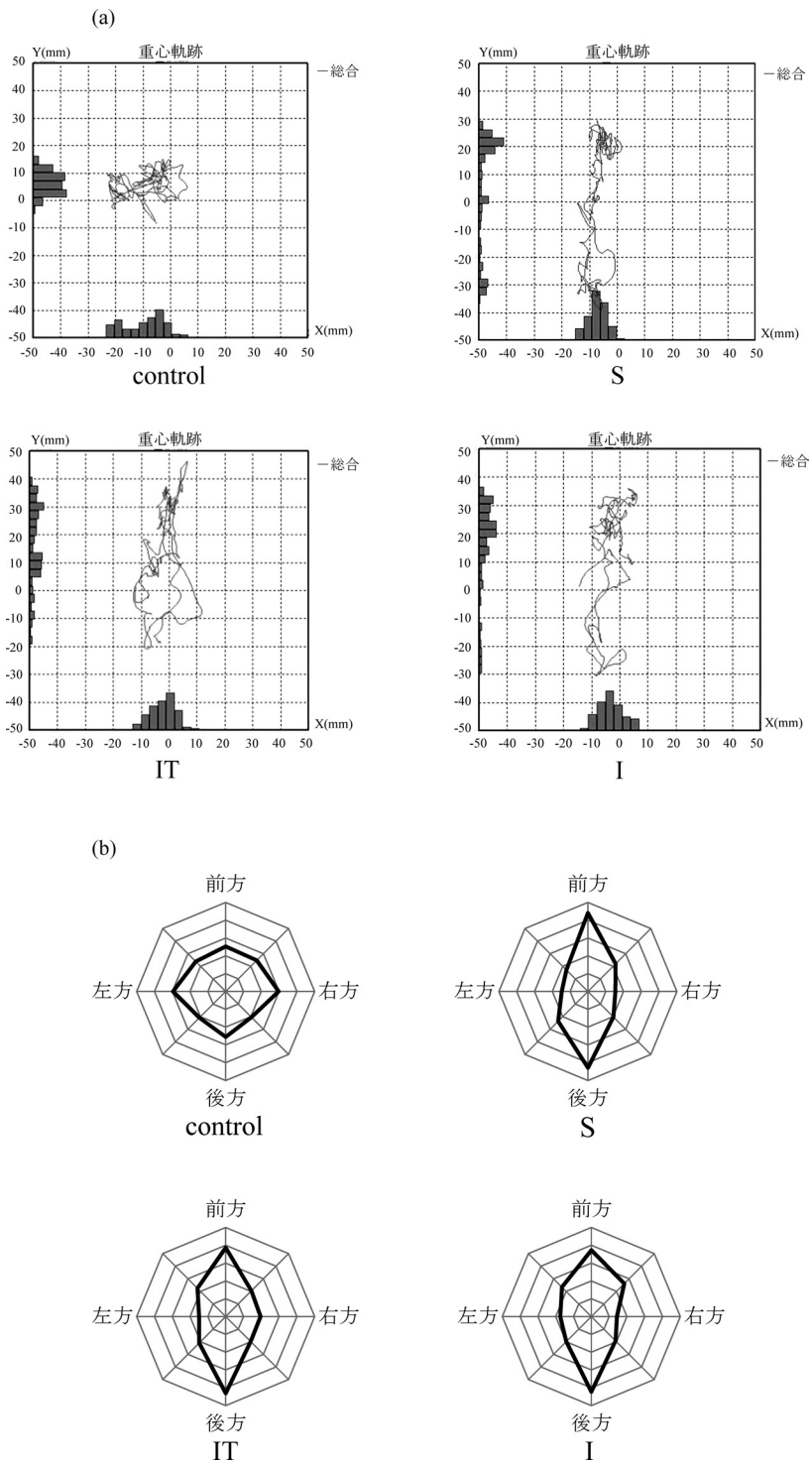


図7 重心動揺軌跡図の代表例 (a) と各方向における位置ベクトルのレーダーチャート (b). プリズムの基底方向は、代表して上方 (S), 内外方 (IT) および下方 (I) を提示した. a は同一被験者から得られた重心動揺軌跡図で, 縦軸および横軸は図3と同様である. プリズム装用前 (control) から装用後になると, 重心動揺軌跡が前後方向に延長していることがわかる. b は全例の平均値をグラフに表しており, 1目盛が5%刻みで提示した. 位置ベクトルの結果においても, 重心動揺軌跡図と類似した変化が得られた.

く、むしろ視覚入力の影響にあったと考えられる。すなわちプリズム効果が生じた場合、時田ら²⁷⁾が述べているように視覚的に変位・運動の変化が認識しやすい左右方向の動揺は随意的に制御された一方で、前後方向の変化は左右方向に比べて認識しにくく、プリズム効果により動揺が増加したと推察される。2Δのプリズムを用いた Matheron らの検討¹⁰⁾においても、本研究と類似した結果が得られているが、条件は基底下方 (I) のみであった。本研究では、1Δのプリズム効果であっても前後方向の動揺が増加する結果となり、そのうち基底上方 (S)、下外方 (IT)、下方 (I) のときに最も姿勢維持に影響が大きかった。このように前後方向で動揺が増加したのは、眼位の基礎偏位および融像域の2つの要因が考えられる。しかし眼位の基礎偏位が姿勢維持に影響するのであれば、今回の対象は水平方向の眼位ずれ (3Δ以内) のみを有するため、水平方向へのプリズム効果が生じた場合に、位置ベクトルの変化が大きくなるはずである。そのため、位置ベクトルが変化した要因として、融像域の関与が大きいと考えられる。概して上下方向の融像域¹¹⁾は約 1.4° (3Δに近似) と水平方向²⁸⁾に比較して開散方向では約 1/2、輻輳方向では 1/10 程度とされており、上下方向のプリズム効果による姿勢維持への影響が大きかったものと考えられる。

次に時系列における変化を検討すると、測定開始から 10 秒までの総軌跡長が特に大きく、開始から 30 秒で安定する傾向がみられ、その結果は基底上内方 (SN) および基底外方 (T) において顕著であった。また基底内方 (N) では最小値を示し、プリズム効果による影響が最も少なかった。一方、基底上方 (S)、下外方 (IT)、下方 (I) では、測定開始から有意な変化が認められず、プリズム効果に対して順応に時間を要する傾向がみられた。すなわちプリズム効果に対する姿勢の順応は、水平方向の場合に短時間で行われ、上下方向の場合により長い時間がかかる傾向にあり、その要因として、上下方向と水平方向では phoria adaptation に要する

時間が異なる^{16,17)}ためと考えられた。

6. 結 論

両脚閉足直立時において、基底方向別にプリズム効果が姿勢維持に与える影響を検討した。その結果、基底方向によらずプリズム効果が生じた場合、前後方向の動揺が増加した。また、上下方向のプリズム効果が生じた場合にその変化は顕著であり、姿勢維持において順応しにくい傾向が得られた。そのため、水平方向よりも上下方向のプリズム効果が生じた場合、姿勢維持へ与える影響はより大きくなることが明らかとなった。その要因として、融像域および phoria adaptation との関係が示唆され、融像域が狭く順応しにくい方向へプリズム効果が生じた場合、姿勢維持に与える影響が増加する可能性がある。そのため、上下方向のプリズム効果には配慮を要すると考えられた。

文 献

- 1) 日本平衡神経科学会運営委員会：重心動揺検査の Q & A, *Equilibrium Research*, **55**, 64-77, 1996.
- 2) 時田 喬：めまい・平衡障害—基本的検査 重心動揺検査で何がわかるか, *Modern Physician*, **19**, 147-152, 1999.
- 3) 田口喜一郎：重心動揺の記録. 檜 學, 渡辺 勇 (編)：臨床耳鼻咽喉科・頭頸部外科全書 めまい・平衡失調 [5-B]. 金原出版, 158-175, 1989.
- 4) S. Edwards: Body sway and vision, *Journal of Experimental Psychology*, **36**, 526-535, 1946.
- 5) V. Anand, J. Buckley, A. Scally and D. B. Elliott: The effect of refractive blur on postural stability. *Ophthalmic & Physiological Optics*, **22**, 528-534, 2002.
- 6) K. Asakawa, H. Ishikawa, T. Kawamorita, Y. Fujiyama, N. Shoji and H. Uozato: Effects of dominance and visual input on body sway, *Japanese Journal of Ophthalmology*, **51**, 375-378, 2007.

- 7) 矢吹明子, 長谷部佳世子, 平井美恵, 今井小百合, 松尾俊彦, 大月 洋: 外斜視患者におけるプリズム装用後の重心動揺と重心位置(続報), 日本視能訓練士協会誌, **38**, 151-156, 2009.
- 8) E. Matheron and Z. Kapoula: Vertical phoria and postural control in upright stance in healthy young subjects, *Clinical Neurophysiology*, **119**, 2314-2320, 2008.
- 9) E. Isotalo, Z. Kapoula, P. H. Feret, K. Gauchon, F. Zamfirescu and P. M. Gagey: Monocular versus binocular vision in postural control. *Auris Nasus Larynx*, **31**, 11-17, 2004.
- 10) E. Matheron, T. T. Lê, Q. Yang and Z. Kapoula: Effects of a two-diopter vertical prism on posture, *Neuroscience Letters*, **423**, 236-240, 2007.
- 11) 山本裕子, 新井牧恵: 上下および回旋方向の融像域について. 眼科臨床医報, **69**, 1382-1384, 1975.
- 12) J. T. Enright: Unexpected role of the oblique muscles in the human vertical fusional reflex. *The Journal of Physiology*, **451**, 279-293, 1992.
- 13) 山田文子, 内海 隆, 大辻順子, 信組明子, 谷口尋絵: 正常高齢者における水平眼位分布とその臨床的意義, 眼科臨床医報, **99**, 238-239, 2005.
- 14) 大辻順子, 内海 隆, 山田文子, 谷口尋絵: 正常高齢者における垂直眼位分布, 眼科臨床医報, **99**, 554-556, 2005.
- 15) 長山郁生, 岡部陽三, 瀧口哲也, 梅田良三: 眼位による重心動揺の偏位, 耳鼻咽喉科臨床, **79**, 1695-1701, 1986.
- 16) 渡邊久美子, 原 直人, 庄司信行, 小手川泰枝, 向野和雄, 清水公也: Phoria Adaptationの年齢による変化, あたらしい眼科, **23**, 273-276, 2006.
- 17) J. B. Eskridge: Adaptation to vertical prism. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, **65**, 371-376, 1988.
- 18) 日本平衡神経科学会: 重心動揺検査の基準, *Equilibrium Research*, **42**, 367-369, 1983.
- 19) 藤川孝満, 田里 博, 谷田惣亮, 治郎丸卓三, 七里展子, 小澤拓也: 中間支持関節等にかかる歩行時負荷強度の定量化, *The Journal of Clinical Physical Therapy*, **13**, 46-50, 2010.
- 20) M. Scheiman and B. Wick: *Clinical management of binocular vision—heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, second edition*, Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- 21) 今岡 薫, 村瀬 仁, 福原美穂: 重心動揺検査における健常者データの集計. *Equilibrium Research Suppl.*, **12**, 1-84, 1997.
- 22) 五島桂子: 重心動揺検査の検討—コンピュータ分析における検査項目と正常域—, *Equilibrium Research*, **45**, 368-387, 1986.
- 23) 時田 喬, 徳増厚二, 今岡 薫, 村瀬 仁, 福原美穂: ニューラルネットを用いた健常者の重心動揺の分類, *Equilibrium Research*, **60**, 181-187, 2001.
- 24) 宮下浩一: 前庭脊髄反射の再検討, 信州医学雑誌, **47**, 129-138, 1999.
- 25) 時田 喬, 松岡豊彦, 早野洋司, 田口拓雄, 島田六郎: 頭部並びに重心動揺記録計による立ち直り反射検査, 耳鼻咽喉科臨床, **65**, 443-456, 1972.
- 26) M. Lacour, J. Barthelemy, L. Borel, J. Maqnan, A. Chays and M. Ouaknine: Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy, *Experimental Brain Research*, **115**, 300-310, 1997.
- 27) 時田 喬, 伊藤八次, 今岡 薫, 福原美穂: 直立維持における随意性の検討, *Equilibrium Research*, **62**, 212-219, 2003.
- 28) 進藤真紀, 柴田優子, 中山奈々美, 川守田拓志, 魚里 博: ヘッドマウントディスプレイを用いた新しい両眼視機能検査装置の使用経験, 視覚の科学, **32**, 90-94, 2011.