

## Short Report

## 静的立位姿勢制御における視覚外乱適応

## 仮説立てのための探索的予備実験結果

内山応信<sup>1</sup><sup>1</sup> 秋田県立大学総合科学教育研究センター

ヒトの静的立位姿勢制御における視覚外乱（プリズムレンズによる垂直方向逆転視野）への適応に関する知見は殆ど無い。当探索的予備実験の目的は、上記視覚外乱に対する静的立位姿勢制御における適応の有無を確認することであった。健康成人3名が2種類の視覚条件のもと静的立位姿勢を1分間保持する足圧中心（COP）動揺測定に参加した。視覚条件は、開眼条件（コントロール条件）（2試行）、及びプリズム条件（プリズムレンズ装用）（10試行）であった。検者は、両条件の各試行における立位中の被験者のCOP動揺を記録し、視覚外乱に対する静的立位姿勢制御における適応の有無を確認した。プリズム条件におけるCOP動揺の総軌跡長は、1試行目にコントロール条件に比して顕著に増大した後、試行の反復とともに回復する傾向にあった。一方、プリズム条件におけるCOP動揺の平均周波数は、試行の反復とともに高値を示す傾向にあった。これら予備実験結果に示された静的立位姿勢制御の視覚外乱（プリズム）に対する適応傾向について、今後、結論の一般化のための推測統計を用いた更なる検討が必要である。

**キーワード：**静的立位姿勢制御，視覚外乱，プリズム適応，健康成人

このショートレポートは、秋田県立大学における研究費助成制度「科研費チャレンジ」の助成金を利用し、平成30年度科研費基盤Cの採択に向けて実施した、少数被験者を対象とした予備実験の結果をまとめたものである。当予備実験結果は、平成30年度科研費基盤C申請書に記述する実験仮説案のブラッシュアップのために用いられた。なお、当予備実験の研究背景は下記の通りであった；

高齢者の約30%は年に一度転倒し、25%は認知症になる。これらは高齢化が進む日本の社会保障費を圧迫するためその予防法の確立が喫緊の課題となっている。このような中、認知症高齢者は健康者の8倍転倒し易いことが明らかにされている（Allan, Ballard, Rowan, と Kenny, 2009）。軽度認知症（MCI）であっても、認知機能の中の「注意を分配制御する機能」（背外側前頭皮質と下前頭回の機能）等が低下するため、歩行（主課題）中に計算等（副課題）を行う二重課題を体験すると、副課題による干渉を受

け主課題の遂行がおろそかになり、歩行中にバランスを失ったり歩行速度が低下する。更に認知症が重度化すれば、立位や歩行から転倒する確率が大幅に高まる（河野と山中, 2012）。換言すれば、ヒトの運動機能低下、及び認知機能低下は、相互に関連し合い、同時的に生じる（Montero-Odasso, Verghese, Beauchet, と Hausdorff, 2012）と言える。

また、年々増加するMCI者の約半数はアルツハイマー病に進行する。一方MCIは予防介入の効果も高い。よってMCI者を精度高くスクリーニングすることは、重症化予防の点で極めて重要である。しかし、決定的かつ簡便なMCIスクリーニング法はない。

このような背景を受け、筆者はヒトの立位姿勢制御機能をはじめとする各種運動機能と、認知機能との関連を詳細に調べ、その知見を活かし簡便なMCIスクリーニング方法を提案することを目的とする研究計画を立案した。この研究案の詳細は、平成30年度科研費基盤研究C採択課題（課題/領域番号

18K11102) の成果報告書等を参照のこと。

なお当予備実験は、上記の研究目的を達成するための一基礎検討項目として実施された。当予備実験の目的は、視覚外乱（プリズムレンズ装用による垂直方向逆転視野）に対するヒトの姿勢制御における適応の有無を確認することであった。実験仮説は、次の通りであった；ヒトは、静的立位姿勢保持中における視覚外乱の影響を受け、外乱直後に姿勢の安定性が乱れるが試行反復とともに回復（適応）する。

## 方法

### 被験者

被験者は、健常成人 3 名（年齢  $23.0 \pm 0.8$  歳；身長  $168.8 \pm 8.4$  cm；体重  $61.7 \pm 7.7$  kg）（平均値  $\pm 1$  標準偏差）であった。実験実施に先立ち、検者は全被験者に対し、研究の趣旨、方法、プライバシー保護、並びに自らの意志により実験参加を回避できることを口頭、及び文章で説明した。なお、当予備実験は秋田県立大学におけるヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認（18-04）を得て行われた。

### 実験条件

被験者は 2 種類の視覚条件の下、静的立位姿勢を保持する実験に参加した。視覚条件は、開眼及びプリズム条件であった。それぞれの条件の試行回数は、前者が 2 試行、後者が 10 試行であり、開眼条件、プリズム条件の順に実施された。

開眼条件において、被験者は 1 分間、視野角（水平及び垂直約 55 度）の統制されたゴーグルを装着した状態で眼前 3m の白色スクリーン上、眼の高さに設置された注視点（直径 3cm）を固視し、出来るだけ安定した立位姿勢を保持するよう指示された。

プリズム条件において、被験者は 1 分間、視野角（水平 55 度、垂直 32 度）の統制されたプリズムレンズ（Inversing Prism, T.K.K.162a, 竹井機器）を装着した状態で、開眼条件と同様に立位を保持した。

両条件において、被験者の疲労の影響を除外するために、各試行間に 1 分間の座位安静姿勢での休憩時間を設けた。また、倫理的配慮及び安全確保の観点から、両条件実施に先立ち、被験者がプリズムレ

ンズを通した視覚入力下における感覚運動系の制御に慣れるための familiarization 期間 5 分を設けた。

## 測定方法と測定器

### 足圧中心動揺の測定.

被験者の静的立位姿勢保持中における姿勢の安定性を評価するために、被験者の足底面に設置されたフォースプレート（9260AA6, KISTLER）により足圧中心（Center of foot Pressure: COP）動揺の時系列を測定し、サンプリング周波数 20Hz でパソコンに記録した。被験者の足底表在の体性感覚入力を減少させ、COP 動揺に視覚外乱の影響を生じさせ易くすることを目的として、フォースプレート表面には軟面（5cm 厚のフォームラバーCGT バランスパッド、インターリハ）が敷かれた。

COP 動揺測定は、Kapteyn ら（1983）の検査基準に準拠した。即ち、被験者は裸足でフォースプレート上に立ち、閉足位（但し、プリズム条件における安全性を考慮し、立位時の安定性を向上させるために両条件において 3cm 両足を離した）をとり、両腕を体側に垂らした。COP 動揺測定の各試行において、検者は、被験者の立位が安定したこと確認した後、1 分間の COP 動揺測定を開始した。

## 解析方法

### COP 動揺総軌跡長の解析.

まず、両条件の各試行において測定された各被験者の COP 動揺時系列から、COP 動揺総軌跡長（cm）を求め、これら総軌跡長について、被験者ごとに開眼条件 2 試行の平均値を基準（100%）としたときのプリズム条件各試行の相対比（%）を求めた。

次に、相対比の試行に伴う変動の有無を確認するために、便宜的に、プリズム条件 1~10 試行の相対比に対し直線回帰式を当てはめ、得られた回帰係数  $a$  について、不偏推定値  $U_a^2$  を用いて有意性の検定を行った（ $\alpha = 0.05$ , 両側）。

### COP 動揺スペクトルの解析.

COP 動揺の殆どの周波数成分は 2.0Hz 以下に含まれ（Duarte と Zatsiorsky, 2002）、重心動揺国際基準（Kapteyn ら, 1983）でも最高周波数を 10.0Hz と定義しており、当予備実験の COP 動揺時系列にも

10.0Hz のローパスフィルターを適用した。その後、高速フーリエ変換によりスペクトル密度（対数値）を求めた。続いて、得られたスペクトルの 0.1~10.0Hz の範囲から平均周波数（Mean power frequency: MPF）を求めた。

前述の総軌跡長と同様の方法で、MPF についても相対比を求め、直線回帰式を当てはめ、回帰係数 a の有意性の検定を行った（ $\alpha = 0.05$ , 両側）。

### 結果と考察

#### COP 動揺総軌跡長の視覚外乱への適応の有無

図 1 は、プリズム条件における COP 動揺総軌跡長の相対比を示している。まず 3 名の被験者の回帰係数はいずれも有意（ $p < .05$ ）であり、回帰直線の傾きが 0 ではないことが確認された。いずれの係数も小さいが負の値であったことから、試行の反復とともに COP 動揺軌跡長が減少する、つまり視覚外乱の影響が試行とともに減り、姿勢が安定化する＝適応する可能性が示唆された。但し、1 試行目と 2 試行目以降の値に大きな相違のある被験者もあり、結論の一般化にはこのような局面の相違、個人差等も考慮し、多人数被験者での推測統計が必要となる。

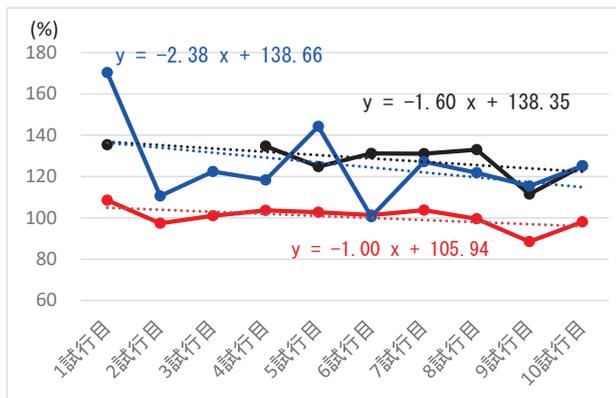


図 1 プリズム条件における COP 動揺総軌跡長相対比の視覚外乱に対する適応の様子。青、赤、及び黒色の線は 3 名の被験者のデータを示す。黒色線で示された被験者の 2 及び 3 試行目はエラーデータのため解析から除外された。

#### COP 動揺スペクトルの視覚外乱への適応の有無

図 2 は、プリズム条件における COP 動揺スペクトル密度 MPF の相対比を示している（COP 動揺総軌跡長にエラーデータのあった被験者は解析から除外

された）。回帰係数は、COP 動揺総軌跡長相対比と同様にいずれも有意（ $p < .05$ ）で、回帰直線の傾きが 0 ではないことが確認された。回帰係数はいずれも小さいが正の値であったことから、試行の反復とともに COP 動揺スペクトルの平均周波数が高周波数側へシフトする可能性が示唆された。但し、COP 動揺総軌跡長の結果と同様、COP 動揺スペクトルに関しても、結論の一般化には残された課題は多い。

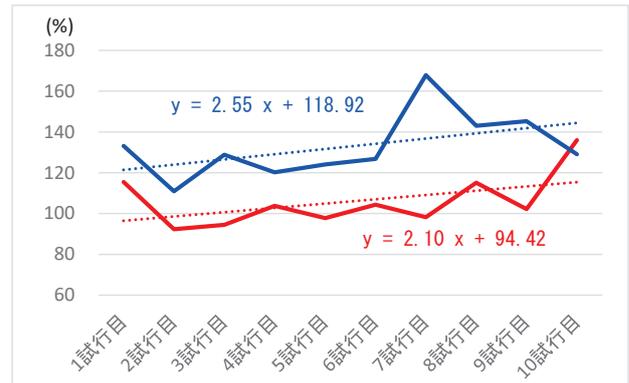


図 2 プリズム条件における COP 動揺スペクトル密度 MPF 相対比の視覚外乱に対する適応の様子。

ヒトは、立位姿勢制御において視覚、前庭感覚、及び体性感覚からの入力を利用し（Fransson, Kristinsdottir, Hafström, Magnusson, と Johansson, 2004; Vuillerme, Pinsault, と Vaillant, 2003）、これら各感覚系は、COP 動揺の特定の周波数帯域に関与することが分かっている（Soames と Atha, 1982）。図 2 に示された、COP 動揺スペクトル MPF の高周波数帯域への移動傾向は、被験者が立位姿勢制御に利用する各種感覚系へのウェイト付けを変化させた可能性を示唆する。Duarte と Zatsiorsky (2002), Lestienne, Soechting, と Berthoz (1977), Fukuoka, Tanaka, Ishica, と Minamitami (1999) は、視覚入力は、立位姿勢制御における低周波数帯域（約 1.0Hz）で利用されると報告している。一方、Golomer, Cremieux, Dupui, Isableu, と Ohlmann (1999) は、0.3 から 1.0Hz 程度の比較的高い周波数帯域は、体性感覚や前庭器系の働きに敏感であると報告している。これらの知見を考慮すると、図 2 の結果は、被験者がプリズム条件の試行反復とともに、視覚系へのウェイト付けを減らし（低周波数帯域の COP 動揺が減少し）、体性感覚系または前庭感覚系へのウェイトを増やした

(高周波数帯域の COP 動揺が増加した)ためと解釈される。

リーチング等上肢動作を用いた感覚運動系における視覚外乱 (プリズム) 適応の先行研究によると, 適応には感覚運動系の①視覚座標系と関節座標系の recalibration, 及び②認知の調整が関与する (Bock, 2005; Clower と Boussaoud 2000). 静的立位姿勢制御のプリズム適応に関しても, 当予備実験で残された課題 (適応の個人差, 適応の時間的的局面) に加え①②両要因との関連も併せ検討を進めるべきであろう。

### 結論

このショートレポートは, 少人数被験者を対象とした静的立位姿勢制御の視覚外乱適応に関する探索的予備研究の結果であり, 注意深く解釈・活用する必要がある。

当予備実験の実験仮説は概ね採択され, 用いた実験システムにより, ヒトの静的立位姿勢制御における視覚外乱 (プリズムレンズによる垂直方向逆転視野) に対する適応現象を捉え得ることが確認された。

### 文献

Bock, O. (2005) Components of sensorimotor adaptation in young and elderly subjects. *Exp Brain Res.*, 160, 259-263.

Clower, D., Boussaoud, D. (2000) Selective use of perceptual recalibration versus visuomotor skill acquisition. *J Neurophysiol.*, 84, 2703-2708.

Duarte, M., & Zatsiorsky, V.M. (2002) Effects of body lean and visual information on the equilibrium maintenance during stance. *Exp Brain Res.*, 146, 60-69.

Fukuoka, Y., Tanaka, K., Ishica, A., & Minamitami, H. (1999) Characteristics of visual feedback in postural control during standing. *IEEE Trans Rehabil Eng.*, 7, 427-434.

Fransson, P.A., Kristinsdottri, E.K., Hafstrom, A., Magnusson, M., & Johansson, R. (2004) Balance control and adaptation during vibratory

perturbations in middle-aged and elderly humans. *Eur J Appl Physiol.*, 91, 595-603.

Golomer, E., Cremieux, J., Dupui, P., Isableu, B. & Ohlmann, T. (1999) Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neurosci Lett.*, 267, 189-192.

Kapteyn, T.S., Bles, W., Njiokiktjien, C.J., Kodde, L., Massen, C.H. & Mol, J.M. (1983) Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. *Agressologie*, 24, 321-326.

河野禎之, 山中克夫 (2012) 「施設入所高齢者における転倒・転落事故の発生状況に関する調査研究」『老年社会科学』34 (1), 3-15.

Lestienne, F.G., Soechting, J., & Berthoz, A. (1977) Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Exp Brain Res.*, 28, 363-384.

Allan, L.M., Ballard, C.G., Rowan, E.N., Kenny, R.A. (2009) Incidence and prediction of falls in dementia: a prospective study in older people. *PLoS One.*, 4(5), e5521.

Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O., Hausdorff, J.M. (2012) Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J Am Geriatr Soc.*, 60(11), 2127-2136.

Soames, R.W., & Atha, J. (1982) The spectral characteristics of postural sway behaviour. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 49, 169-177.

Vuillerme, N., Pinsault, N., & Vaillant, J. (2005) Postural control during quiet standing following cervical muscular fatigue: effects of changes in sensory inputs. *Neurosci Lett.*, 378, 135-139.

〔平成 30 年 6 月 30 日受付〕  
〔平成 30 年 7 月 10 日受理〕

## Static Postural Control Adaptation to Visual Perturbations An exploratory experiment to generate hypotheses

---

Masanobu Uchiyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Research and Education Center for Comprehensive Science, Akita Prefectural University*

The adaptation of the static postural control of human beings under visual perturbations using inversion prism lenses has scarcely been studied. The present exploratory and preliminary experiment attempted to examine the presence or absence of postural adaptations. The authors measured the center of foot pressures (COPs) in three healthy young adults who were placed in an upright standing posture for one minute under two visual conditions: the open-eyes (OE) condition as a control context (two trials) and the prism condition, which required participants to wear inversion prism lenses (10 trials). A tester calculated adaptations by recording and analyzing the COP time series in both conditions. In the prism condition, the COP path length exhibited a declining trend of recovery after exhibiting considerably larger values than the OE condition during the first trial. In contrast, the COP mean power frequency exhibited a rising trend with the repetition of trials. These adaptation trends observed in the preliminary experiment require further examination using inferential statistics for them to be generalized.

**Keywords:** static postural control, visual perturbation, prism adaptation, healthy young adults