

氏名	内山 応信
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博甲第921号
学位授与の日付	平成19年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	足圧中心動揺からみた直立姿勢制御と視覚の関係
論文審査委員(主査)	出村 慎一(教育学部・教授)
論文審査委員(副主査)	矢倉 公隆(教育学部・教授), 川幡 佳一(教育学部・教授), 寺沢 なお子(教育学部・助教授), 増田 和実(教育学部・助教授)

Abstract

The purpose of this study was to examine the relationship between the visual system and upright standing postural control. The center of pressure (COP) measurements were conducted using a high visual acuity group with a mean binocular acuity of 1.3 ($n = 9$) and a low visual acuity group with a mean binocular acuity of 0.2 ($n = 17$) in the first and second examinations. Seventeen healthy young adults with low visual acuity (< 0.3) were studied in the third examination. In the fourth examination, 15 healthy males underwent COP and electrooculogram measurements under two sets of conditions while controlling their eye movements.

A visual cue in the central visual field suppresses body sway velocity, thus contributing to postural stabilization, while a variety of visual fields affect sway velocity and a variety of visual acuities affect sway frequency. The power spectrum of the COP sway changes with visual acuity or resolution in the central visual field. Furthermore, it was suggested that extraretinal information such as the efferent copy or extraocular muscle proprioceptors with eye movements contribute to stabilizing upright standing posture, in similar measurement conditions to the general equilibrium test.

I. 序論

転倒をせずに2足の直立姿勢を維持するために、ヒトは狭い支持面の内側に身体の重心の位置と運動量（モーメント）を維持、制御している。このような姿勢制御は、頭部と身体の動きに関する前庭器、視覚器および体性感覚器からの情報を、上位中枢において空間的・時間的に統合し、適切に反応することで成り立つ。これらの感覚系のうち、前庭と体性感覚系は身体内部の状況を検出（内受容器）するが、視覚は唯一外部環境と自己との相対的位置変化を検出するといった特徴を持つ。

視覚は姿勢制御において重要な役割を持ち、暗室や閉眼条件において視覚入力が増断されると、足圧中心（center of pressure: COP）動揺は著しく増大することが多くの研究者によって報告されている。また、視力や視野等、視覚機能の側面（視力や視野）の機能低下であっても日常生活に支障をきたし、姿勢制御にも影響を及ぼす。特に高齢期には直立姿勢の維持に貢献する体性感覚および前庭器系の機能低下により、相対的な視覚の貢献度が増加し、開閉眼差が顕著に増大する。しかし、視覚による直立姿勢の制御機序は、視野別の姿勢制御様式の相違をはじめとして、十分明らかにされていない。

具体的には、直立姿勢制御における視野（中心および周辺視野）、および眼球運動の役割については、先行研究において統一された見解が得られていないこと、また、それらの報告では直立姿勢制御特性としてのCOP動揺変数の選択に偏りがあることが挙げられる。

さらに、視覚により得られる感覚入力の変化は、直立姿勢制御様式の変化との関係が強く、ひいては高齢者の転倒事故を惹起するリスクファクターの一つとしても数えられている。まず、上述の問題点を解決することにより、高齢者やめまい患者の転倒防止に役立つ基礎的知見を得ることも可能と考えられる。

本研究では、多角的観点を持つ COP 動揺変数を用い、視覚機能（視力と視野）を変化させた時、姿勢制御系はいかなる影響を受けるのか、また視力や視野の変化といった視覚で捉える映像の鮮明さや映像の量や質のみならず、視覚器（眼球）の運動機能（視覚運動機能）と直立姿勢制御との関係を、眼電位（electro-oculography, EOG）を利用して検討することを目的とした。

II. 研究課題

先行研究における問題点、および妥当な研究手法の選択結果をもとに、解決すべき研究課題を4つ設定した。まず、明確な結論が得られていない視野の役割について、被験者の視機能（視力、視野）を考慮し検討した（研究課題 I）。その結果、COP 動揺のパワースペクトルに視力差の影響が認められたことから視力差による COP 動揺パワースペクトルの変化を精査した（研究課題 II, および III）。次に、先行研究でも殆ど検討されていない眼球運動と直立姿勢制御との関係を検討した（研究課題 IV）。

- | | |
|----------|--|
| 研究課題I: | 視力および視野条件が直立姿勢制御に及ぼす影響 |
| 研究課題II: | 視力および視野条件が直立姿勢制時のCOP動揺周波数特性に及ぼす影響
—動揺因子によるCOP動揺解析—
—異なる視力の2群による検討— |
| 研究課題III: | 視力および視野条件が直立姿勢時のCOP動揺周波数特性に及ぼす影響
—時的な視力矯正による検討— |
| 研究課題IV: | 眼球運動と直立姿勢制御との関係 —眼電位 (EOG) とCOP動揺による検討— |

III. 研究方法

1. 被験者

研究課題 I, II の被験者は健常大学生男子 11 名, 女子 15 名の計 16 名であり, 裸眼で両眼視力が 1.0 以上の者を高視力群 (G1), 0.3 以下の者を低視力群 (G2) とした. 研究課題 III の被験者は裸眼視力 0.3 以下の健常大学生男子 7 名, 女子 10 名の計 17 名であり, 視力矯正具 (コンタクトレンズ) の装用時の平均矯正両眼視力は 1.0 以上であった. 研究課題 IV の被験者は, 健常大学生男子 15 名であった.

2. 測定装置

- 1) COP 動揺: 測定にはアニマ社製の重心動揺測定器 G5500 を用いた. この測定器はテコの原理を応用して水平面上の二等辺三角形の各頂点におかれた 3 個の垂直荷重センサ一値から垂直加重の作用中心点を算出し, 水平面の重心位置として計測するものである.
- 2) 視覚機能 (視力・視角): 視力は SS-3, SCREENOSCOPE (TOPCON) を用いて左右と両眼を, 視野は手動式弧状視野計 T.K.K.101 (竹井機器工業) を用いて白色視標, 動標法により左眼および右眼の視角 (°) 8 方向を測定した.
- 3) 眼球運動: EOG は EE5800 (NEC メディカル) を用いて, 左右眼の EOG (水平および垂直方向成分) を測定した. EOG はデジタルレコーダ (DR-F1, TEAC) を介することにより, デジタルデータとしてパソコンに記録した.

3. 測定手順および実験条件

- 1) COP 動揺: 研究課題 I~III では, 図 1-1 に示す実験条件のもと, The Committee for Standardization of Stabilometric Methods and Presentation の重心動揺検査基準に従った (但し, 視標の有無, および視野は実験条件により異なる). 大まかに, 被験者は Romberg 姿勢をとり 3m 前方の視標を注視しながら 1 分間の立位を維持した. 測定は, 各実験条件につき, 1 分の休憩をはさみ 3 回ずつ実施した. 研究課題 IV では図 1-2 に示す実験条件下で, 視標までの距離を 1m として COP 動揺を測定した.

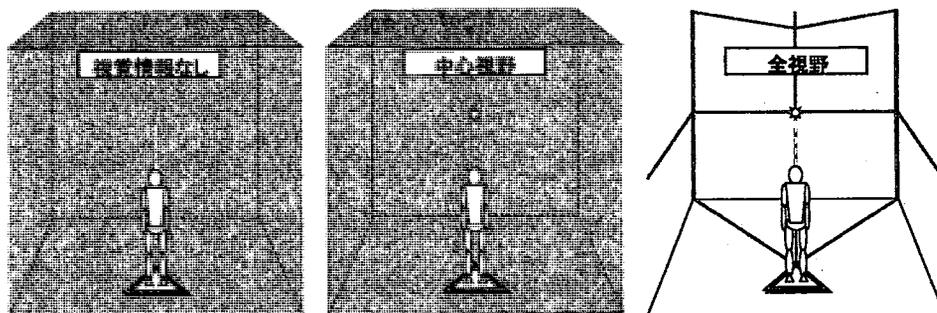
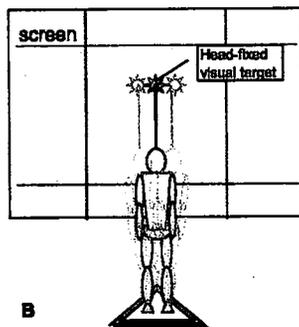
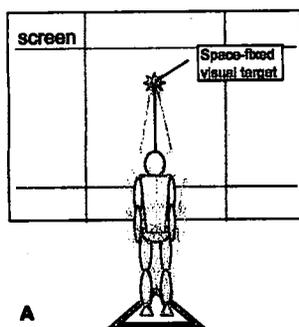


図1-1 研究課題I~IIIにおける実験条件



- A: 空間固定視標条件
 頭部動揺により眼球運動が生じる。
 眼球運動によりretinal slipは生じない。
- B: 頭部固定視標条件
 頭部動揺により眼球運動は殆ど生じない。
 頭部動揺によりretinal slipが生じる。

Note. Retinal slip: 視覚による求心性情報

図1-2 研究課題IVにおける実験条件

- 2) 視覚機能 (視力・視角) : 視力 : 被験者は座位姿勢にて、裸眼あるいは矯正眼により両眼で検査器中に提示される文字(E)を注視した。検者は、Eのサイズが大きいものから小さいものへと順に提示してゆき、被験者がEの開いている方向が知覚できる大きさまでを計測した。左右両眼視力の検査順は、乱数表を用いて決定し、2回ずつ測定した。; 視野 : 被験者は座位姿勢にて、視野計の中心に位置する白色の注視点を見続けた。検者は、左右眼における8方向の視野の端から中心(注視点)に向けて白色のポイントを動かし、被験者が視野の中に検者の動かすポイントを知覚した時点の角度(°)を測定した。
- 3) 眼球運動 : 検者は被験者の両目の外側、利き目の上下、および前額面に皿電極を貼付した。利き目判定は中村と斉藤(1999)の方法に従った。電極装着前には、あらかじめ市販の紙やすりで皮膚の角質層を除去しエタノールで洗浄した。次に被験者に頭頸部固定具を装着した後、各被験者の眼球の回転角度(°)によるEOG(μV)の校正を行った(左右上下の各方向 10°)。スクリーンとして被験者前方1mに白い平面(高さ:2×幅:3m)を設置した。これらの準備後、COP動揺測定と同期して測定を行った。なお、被験者の瞬きがをしないよう指示した。

4. 変数

- 1) COP動揺 : 直立姿勢制御特性を評価するために、先行研究により信頼性の保証されたCOP動揺4因子(F1:動揺速度因子;F2:前後方向動揺因子;F3:左右方向動揺因子;F4:高周波数帯域動揺因子)を用いた。各動揺因子は因子得点が高いほど因子の特徴が強いと判断できる(例:F1の高い因子得点は、COP動揺速度が高いことを意味する)。
- 2) 視覚機能 : 視力(左右および両眼)、視角(左右眼それぞれ8方向、と8方向平均角)(°)、視野面積(左右眼それぞれ8領域、および8領域平均面積)(cm^2)を選択した。
- 3) 眼球運動 : 眼球運動角度時系列の平均値を、各時系列における各サンプリングポイントの値から除算し、整流処理を行った後、1分間(1試行)の積分値を総データ数で除算し、サンプリングポイント毎の平均眼球運動角度(°)を求めた。

IV. 研究結果の概要

本研究における各検討課題の結果から以下の結論が得られた。

研究課題I: 視力および視野条件が直立姿勢制御に及ぼす影響

—動揺因子によるCOP動揺解析—

視力、視角および視野面積の性差、そして視力差による視角と視野面積の差は無いことが確認された。上述の予備課題結果を踏まえ、信頼性の高いCOP動揺4因子を用い、視力差が様々な視野条件においてCOP動揺に及ぼす影響を検討した結果、視力差の影響はCOP動揺周波数特性に現れ、高視力者は視野が狭いほど高周波動揺を示すが、低視力者は視野の影響を殆ど受けない。

研究課題II: 視力および視野条件が直立姿勢制時のCOP動揺周波数特性に及ぼす影響

—異なる視力の2群による検討—

異なる視力の2群について、3視野条件間のCOP動揺スペクトルの変化傾向の違いを詳細に検討した結果、視力差は前後方向動揺の周波数特性に反映された。高視力者の前後方向動揺の周波数特性は、周辺視野情報の有無によって変化し、視野が広いほど低周波数動揺が増えると推察される。一方低視力者は、視野条件による影響を殆ど受けない。

研究課題Ⅲ： 視力および視野条件が直立姿勢時のCOP動揺周波数特性に及ぼす影響
——一時的な視力矯正による検討——

視力矯正具の着脱による一時的な視力差が、3視野条件間のCOP動揺スペクトルの変化傾向に及ぼす影響を検討した結果、低視力者は、視力矯正具による一時的な視力矯正によって前後方向COP動揺の周波数特性が変化すること、裸眼時には視野の変化の影響を殆ど受けないが、視力矯正時には、周辺視野情報が得られると1.0Hzといった極低周波数帯域の動揺が増加することが明らかにされた。研究課題Ⅱの結果を併せて考慮すると、視力差によりCOP動揺パワースペクトルに変化が認められたことから、視覚を始めとする各種感覚器の献度を変化させ、姿勢制御が行われている可能性が示唆される。

研究課題Ⅳ： 眼球運動と直立姿勢制御との関係 ——眼電位(EOG)とCOP動揺による検討——

網膜上の最も感度の高い中心窩で、眼前の平面上に固定された対象物を注視しながら直立姿勢を維持する場合、眼球運動により生じる網膜外の感覚情報が視覚による求心性情報よりも、COP動揺の速度、前後および左右方向の動揺量を減少させるのに貢献する可能性がある。平衡機能検査時において、視標を提示することは、ヒトの直立姿勢の平衡維持に重要な眼球運動の機能の評価の意味も含むと推察される。

V. 総括

中心と周辺視野の直立姿勢制御における役割について、被験者個々人の視覚機能を考慮して、多角的な観点を持つCOP動揺4因子およびCOP動揺時系列のパワースペクトルにより検討した。視野の役割について検討した結果、中心視野情報のみでも、視覚情報のない条件に比べ動揺速度が有意に減少し、姿勢の安定化に貢献することが明らかにされた。中心視野に周辺視野情報が加わると、動揺速度はさらに低下した。また、視力差の影響は、COP動揺4因子のうち、高周波数帯域動揺因子にのみ認められ、高視力者は視野が制限されると、低視力者よりも高周波数帯域動揺が増加する傾向が窺えた。この結果を踏まえ、視力差がCOP動揺パワースペクトルに及ぼす影響を精査した。高視力群と低視力群という2群を用いた場合でも、低視力者に対し視力矯正具を着脱させた場合でも、視力差は前後方向のCOP動揺パワースペクトルに影響を及ぼし、視力が低いよりも高い場合には、視野が広いほど低周波数帯域の動揺が増大した。更に、眼球運動と直立姿勢制御間の関係を調べた結果、眼前の視標を注視している状況では、視野周辺に生じる求心性感覚入力よりも眼球運動による遠心性コピーや外眼性体性感覚情報が姿勢の安定化に貢献することが示唆された。一般的な平衡機能検査の測定条件下において、これまで不明瞭であった視覚の役割が明らかにされた。

学位論文審査結果の要旨

ヒトの視覚は、身体外部の環境と自己との相対的位置変化を検出し、立位や歩行動作の姿勢制御に大きく貢献する。暗室や閉眼条件によって視覚入力が遮断されたとき、直立姿勢時の足圧中心 (center of pressure: COP) 動揺が著しく増大する。このことはこれまで既に報告されてきた。しかし、立位や歩行動作時の姿勢制御に及ぼす中心および周辺各視野の役割や視運動系の働きについて十分明らかにされていない。

本論文では、3種類の視野条件を設定し、COP動揺を複合的に捉えることができる動揺4因子および動揺パワースペクトルを用いて直立姿勢制御における視覚の役割を検討し、次の知見を得ている。中心視野情報は動揺速度を抑制し姿勢の安定化に貢献する。視野の広さの変化は動揺速度の変化に反映する。中心視の解像度である視力の差は、前後方向COP動揺パワースペクトルの変化として検出される。また、一般的な平衡機能検査に類似する測定条件下において、視標の動きを制御する2種類の実験条件を設定し、COP動揺と眼電位図の関係を検討し、眼球運動による遠心性コピーや外眼筋体性感覚などの網膜外の感覚情報が直立姿勢の安定化に貢献することを明らかにしている。

以上、本論文はこれまで不明瞭であった直立姿勢時における視覚の役割の一端を明らかにした。今後、歩行動作課題を用いた検討へ発展させることで転倒予防のため基礎知見につながる点でも研究意義は高い。よって、審査委員会は本論文が博士論文（学術）に値すると判定した。