

原 著

他動的動揺前後の重心動揺変化について

About a Center of Gravity Unrest Change before and
after the Passive Swing Motion

七里 展子

Nobuko SHICHIRI

岡田 志麻

Shima OKADA

田里 博

Hiroshi TASATO

牧川 方昭

Masaaki MAKIKAWA

藤川 孝満

Takamitsu FUJIKAWA

抄 録

ヒトは、立位姿勢保持のために運動器系、感覚器系など種々の機能を動員させ姿勢制御をしている。その中でも視覚機能と姿勢制御との関係は密接であることが広く知られている。

今回、我々は他動的動揺装置により、被験者にとって外乱刺激となる他動的動揺を与えた場合の立位姿勢が、視覚情報の有無により立位姿勢保持機能に及ぼす影響について検討した。

実験は、他動的動揺装置上にて、開・閉眼の立位姿勢となりその前後と10分後の重心動揺とバランス機能について計測した。その結果、閉眼状態にて他動的動揺装置上で立位姿勢保持をした場合、開眼時に比べ動揺運動後のバランス機能が低下する傾向を示した。以上の結果から、姿勢制御に視覚が深く関係していることが示唆された。

キーワード ■ 他動的動揺装置, バランス機能, 開閉眼

1. はじめに

近年、我が国では超高齢化が進み生活の様々な場面で高齢者の転倒事故が多発し、問題となっている。

国土交通省¹⁾の「自動車運送事業に係わる交通事故要因分析報告書(平成22年度)」にあるように、運送事業に係わる交通事故の中で、乗り合いバスでの車内事故が最も多く、近年では、

年間 1000 件以上の事故が発生している。事故発生状況で最も多いのが、「発進時」であり、次いで「急停止時」、「減速時」と続く。負傷者は、65 歳以上の高齢者が 8 割以上を占めると報告している。これらの車内事故により、骨折や打撲はもちろんのこと高齢者の活動範囲が狭小化し、活動性低下が生じ身体機能低下を引き起こす要因となると考える。建物内の転倒事故とは異なり、車内での転倒事故の特徴は、他動的な動揺が存在することであり、ヒトの姿勢制御にとって外乱となる他動的な動揺を与えられた場合の立位姿勢制御に関わる機能の改善を試みることで高齢者の車内事故件数を減少させることができるのではないかと考え、ヒトの動揺刺激に対する立位保持メカニズムについて検討することとした。また、先行研究^{2)~4)}においては、床面を傾斜板で固定した状態や床面を前後傾斜するという研究報告はあるが、床面を前後左右へ連続し動揺を与えた環境での実験の取り組みは少ない。そのため、前後左右傾斜が可能な他動的動揺装置を用いて検討することにした。

ヒトの姿勢制御系は、前庭系・体性感覚系・視覚系を含む様々な感覚器からの情報を統合・処理し、適切な運動指令を筋運動調節系に送ることで身体を安定させている。中でも姿勢保持に対する視覚情報の影響は大きいとされている。視覚によってヒトは、空間内の静止目標位置を確認し、また動く目標の運動軌跡を認識することができるが、逆に外界の目標の認識を通して身体各部の位置関係や動き、空間における自身の身体位置情報を得る⁵⁾とされている。視覚系が姿勢制御に及ぼす影響は大きいことが想像される。また、高齢者の視覚機能は、75 歳以上になると視力は加速度的に低下し、高齢者では縮瞳や透光体の透過率低下のため、指標の輝度が低い場合に、若年者に比べ視力が悪くなる傾向にある。加齢に伴い動体視力も低下し、速度が増すほど視力低下が強くなる傾向にある。空間知覚に関する立体視、奥行き知覚なども加齢に伴い低下する⁶⁾。そのような視覚機能の低下状態にある高齢者において、体性感覚が正常な条件下では転倒経験者に比べ、非転倒経験者は姿勢保持に視覚への依存が高いという報告⁷⁾があり、姿勢制御に視覚が関連していることが知られている。

これらのことに基づき本研究では、立位姿勢保持時に他動的動揺装置にて外乱刺激を与え、立位姿勢保持を不安定にした場合の視覚機能と平衡機能の関係を明らかにすることとした。

2. 実験方法

(1) 他動的動揺装置

他動的動揺装置の全体図を図 1、図 2 に示す。他動的動揺装置は、半径 60 [cm] の円形床板、その床板を振動させる 2 つの駆動部で構成されている。この 2 つの駆動部を回転運動させることにより、床板を前後・左右方向傾斜運動を行うことができる。また、他動的動揺装置の両脇には危険防止のための手摺りが設置されている。



図1 他動的動揺装置

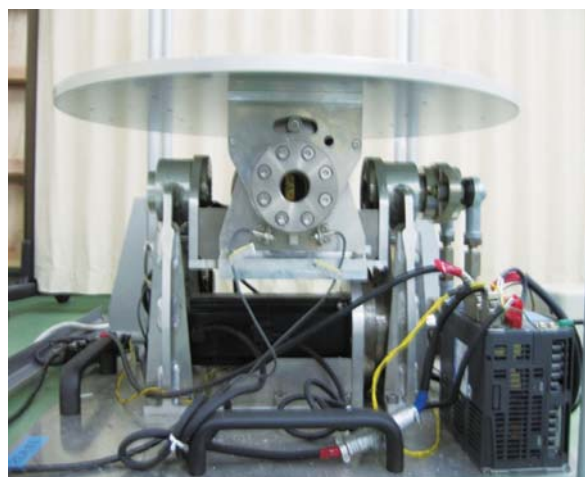


図2 他動的揺動装置駆動部

(2) 対象と方法

健康成人男性10名(年齢 22.4 ± 0.7 歳, 身長 172.7 ± 7.1 cm, 体重 64.5 ± 6.9 kg)を被験者とした。被験者10名のうち2名が現在も定期的に週3回程度の運動を行っていた。その他は, 運動を殆ど行っていなかった。なお, 本実験については, 立命館大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得ている。また, 実験に際しては, 被験者に対して十分な説明を行い理解と書面による同意を得たうえで実験を実施した。

実験方法は, 他動的動揺装置上に開眼状態で3m前方の注視点(被験者ごとに注視点を定めた)を注視し立位姿勢保持するように指示した(図3)。他動的動揺装置を作動させ, 左右傾斜動揺3分, 左右傾斜動揺3分の計6分間の他動的動揺を被験者に与えた。この際, 前後傾斜動揺, 左右傾斜動揺では角度 ± 5 [deg], 周波数0.3[Hz]の揺動刺激であった。被験者には, 手摺りを把持しないように伝え, 転倒や転落の危険がある場合のみ手摺りを把持してよいことを説明した。また, 他動的動揺装置作動中は, 被験者によってバランス保持の方法が異なり, 体幹を大きく動揺しながらバランスを取る場合や,



図3 実験風景

体幹動揺がなくバランスを取る場合が考えられるため他動的動揺装置上での立位保持を行っている間、被験者の身体動揺状態をビデオカメラにて撮影した。

平衡機能に対する影響を比較するため、バランス計（Kistler社製 type9281CA）を用い、動揺刺激実験直前、直後、10分後の被験者の重心動揺を計測した。その際、3m前方の目の高さ（被験者ごとに注視点を定めた）の指標を注視させ20秒間の安静立位の測定を行った。測定中は頭頸部の位置を変えないよう指示し、測定項目は総軌跡長とした。また、同時に、被験者の基本的な特性としてのバランス能力を確認するため、広くバランス検査として用いられている静的立位バランス機能検査である日本平衡神経科学⁸⁾による直立検査（両脚直立検査、マン直立検査、単脚直立検査）を計測した。

以上のバランス検査の所要時間は、被験者によって異なるが、およそ平衡機能検査に180秒、直立検査に120秒の計5分が必要であった。

図4に示す通り、開眼状態での実験と同じプロトコルで同じ被験者に対して他動的動揺装置上に閉眼状態で立位姿勢保持させる実験を行った。なお、動揺刺激が身体機能に与える影響を考慮し、開眼時実験と閉眼時実験は1週間の期間を空け実施した。

統計学的処理は、重心動揺計測時の総軌跡長について安静時・実験直後・実験10分後の変化について検討した。統計ソフト StatView (ver.0.5) を用いて対応のある t 検定を用いて比較し、有意水準は5%未満とした。

3. 結果

他動的動揺装置上での開眼立位保持を開眼実験、閉眼立位保持を閉眼実験と呼ぶこととする。被験者10名に対して実験を行ったが、1名については動揺刺激実験前の安静立位時の重心動揺での総軌跡長や立位バランステストにて異常値を示し、平衡機能に問題が認められた。そのため実験前からの平衡機能が正常値から逸脱していると考え、9名の被験者をデータ処理の対象とした。開眼・閉眼実験前後直立検査（両脚直立検査、マン直立検査、単脚直立検査）結果を表1、表2に示す。

被験者の年齢層からの日本平衡神経科学会の直立検査の基準は、両脚直立検査（開閉眼共に）60秒。マン直立検査（開閉眼共に）30秒。単脚直立検査開眼時30秒、閉眼時15秒である。この基準を基に、実験前後での直立検査結果を比較した。開眼実験前後の平均時間は両脚

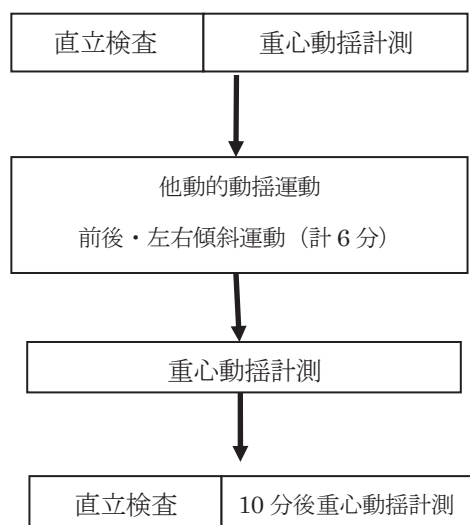


図4 実験プロトコル

表1 開眼実験・直立検査結果

被験者	開眼実験 前			開眼実験 後		
	両脚直立 [sec]	マン直立 [sec]	単脚直立 [sec]	両脚直立 [sec]	マン直立 [sec]	単脚直立 [sec]
A	60	30	11	60	30	11
B	60	30	15	60	30	15
C	60	30	15	60	30	15
D	60	10	2	60	10	2
E	60	30	15	60	30	15
F	60	5	4	60	30	15
G	60	30	15	60	5	4
H	60	30	15	60	30	15
I	60	30	15	60	30	15
平均	60	24.37	11.88	60	25	11.88

表2 閉眼実験・直立検査結果

被験者	閉眼実験 前			閉眼実験 後		
	両脚直立 [sec]	マン直立 [sec]	単脚直立 [sec]	両脚直立 [sec]	マン直立 [sec]	単脚直立 [sec]
A	60	30	15	60	3	5
B	60	20	15	60	30	15
C	60	30	10	60	30	11
D	60	30	15	60	7	5
E	60	30	15	60	12	15
F	60	30	15	60	22	15
G	60	30	15	60	30	15
H	60	30	15	60	30	15
I	60	30	9	60	30	9
平均	60	28.88	14.37	60	21.55	11.66

直立検査, 単脚直立検査において変化はなく, マン直立検査においては0.63秒実験後の直立時間が増加する結果となった。しかし, 閉眼実験では, 開眼実験の直立検査平均時間と比較するとマン直立検査にて-7.33秒, 単脚直立検査において-2.71秒と実験後の直立時間が減少する結果となった。これは, 閉眼他動的動揺での立位が開眼他動的動揺より静的立位バランスが不安定になることが示唆された。

各被験者の重心動揺計測の結果について, 開眼実験・閉眼実験直後の総軌跡長を表3, 実験10分後の総軌跡長の値を示す。被験者全体の平均総軌跡長は開眼実験では, $49.43 \pm 12.05\text{cm}$, 閉眼実験は $58.00 \pm 11.88\text{cm}$ であった。この結果より, 閉眼実験後の重心動揺総軌跡長は開眼実験よりも有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

開眼立位より閉眼立位において総軌跡長が長く重心動揺が大きく不安定であると言える。

実験10分後の平均総軌跡長は, 開眼実験で $47.31 \pm 13.41\text{cm}$, 閉眼実験は, $51.81 \pm 11.66\text{cm}$ と閉眼実験において平均総軌跡長が高値を示したが, 有意な差は認められなかった。この中で

表3 実験直後の総軌跡長

被験者	開眼実験 運動後 総軌跡長 [cm]	閉眼実験 運動後 総軌跡長 [cm]
A	78.65	91.34
B	50.47	55.36
C	38.10	48.10
D	47.48	46.38
E	44.39	70.99
F	46.64	52.80
G	41.64	53.07
H	42.37	41.02
I	55.15	62.90
平均	49.43 ± 12.05	58.00 ± 11.88

表4 実験10分後の総軌跡長

被験者	開眼実験 10分後 総軌跡長 [cm]	閉眼実験 10分後 総軌跡長 [cm]
A	41.49	61.01
B	46.72	68.23
C	31.86	34.91
D	33.45	46.20
E	60.91	62.59
F	53.39	43.07
G	45.42	54.77
H	39.12	43.69
I	73.43	64.79
平均	47.31 ± 13.41	51.81 ± 11.66

被験者 F, I の 2 名が閉眼実験において、総軌跡長が低値を示す結果となった（図 5）。

この被験者 F, I は、実験中の身体動揺のビデオ撮影での姿勢において頭部・頸部・体幹動揺がない者であった。その他の被験者は、頭部・頸部・体幹動揺を認めた。さらに、閉眼実験 10 分後の総軌跡長が、開眼実験 10 分後との総軌跡長の値を比較する閉眼実験後の総軌跡長の方が低値を示した。

4. 考 察

他動的動揺装置にて、開眼・閉眼立位での他動的な動揺運動を行った場合、閉眼実験の前後ではマン直立検査・単脚直立検査においてバランス能力低下を認める結果となった。

この結果より、閉眼での他動的動揺は、視覚情報を遮断することで平衡機能低下に影響を及ぼすものと推察することができる。また、これに加え、マン直立検査・単脚立位検査は、両脚

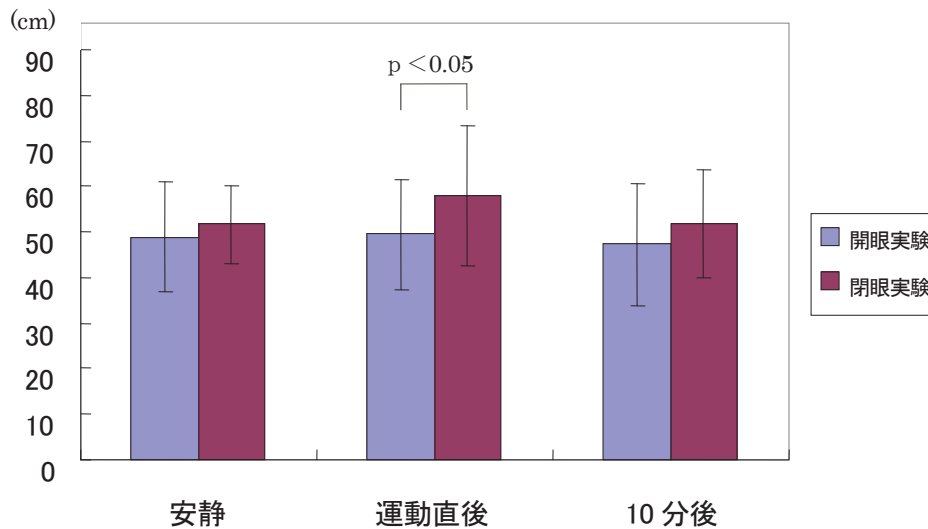


図5 平均軌跡長比較

直立検査よりも支持基底面が最も小さくなりバランス能力が要求される検査となるため、視覚情報が遮断され不安定になったバランスは、立位保持時間が短く不安定状態になったと考える。

重心動揺計測における平総軌跡長の結果より、閉眼実験後では実験前と比較して重心動揺が大きくなり平衡機能が不安定になることが明らかになった。これは、健常人であっても視覚情報を遮断した状態で連続的に他動的な動揺運動を行うと安定していた姿勢制御を乱すことが示唆され、立位姿勢保持をするために視覚情報を大きな手がかりとして身体定位を行い安定した姿勢制御をしていると考える。

他動的動揺装置にて開眼・閉眼実験10分後の結果は、有意差は認められない結果であったが、被験者9名中7名は、開眼実験と比較すると閉眼実験後の総軌跡長は高値を示した。さらに実験後10分経過しても、閉眼実験後の総軌跡長は高値を示し、立位バランスが不安定傾向にあった。この結果から、視覚情報が立位バランス保持をするのに大きく影響しその不安定状態が時間的に持続しつづける因子となりうる。しかし、被験者の9名中2名は、閉眼実験10分後の総軌跡長が、開眼実験10分後との総軌跡長の値を比較する閉眼実験後の総軌跡長の方が、低値を示したのは、ビデオ撮影からの姿勢において頭部・頸部・体幹動揺はなく前庭器官への影響が少なく頭部・頸部・体幹を動揺させていた被験者よりもバランス機能の回復が促進されたものと考ええる。

Paillard⁹⁾によれば、視覚入力とは周辺にある物体との関係において頭の位置と運動に関する情報を提供していると述べている。また、健常者・脳卒中片麻痺患者に対する実験研究¹⁰⁾

において、両群の被験者共に、バランスの制御には視覚の影響が大きく関与し、特に頭部の動きが大きければ重心動揺も大きくなるという報告もある。

Allum¹¹⁾によれば、バランス回復応答は、開眼状態では視覚系と前庭系の両方に活性化し、閉眼状態では主に前庭系(80%)により活性化されたと述べていることから、本実験において

も実験中の頭部・頸部・体幹動揺の有無により前庭器官への影響が関与し、その結果が総軌跡長の値を示していると考える。

5. おわりに

今回の実験より、視覚情報のない閉眼状態において連続的に他動的な動揺運動を左右前後に与えた場合、若年健常人であっても視覚情報がなくなると平衡機能は不安定状態に陥ることが確認できた。以上のことから、さまざまな環境で生活している我々は、視覚情報を大きな手がかりとし、外乱刺激となる運動に対しても姿勢制御をしていると考えることができる。

また、ビデオ撮影による、頭部・頸部・体幹動揺が姿勢制御に及ぼす影響について、さらに客観的データによる解析を今後、検討していきたい。

視覚情報とヒトの姿勢制御の影響については、多くの研究がなされている。特に、高齢者の加齢による視覚機能低下が床面からの外乱刺激により重心動揺が大きくなり、さらに眼球運動の軌跡が増大するという報告¹²⁾もある。これもまた、視覚情報が姿勢制御において重要な因子であると考えることができる。これらのことを踏まえ、加齢による身体機能低下が起りやすい高齢者や姿勢制御機能が十分に発揮することが困難な障害者の姿勢制御についてさらに検討が必要と考える。

文 献

- 1) 国土交通省自動車交通局 自動車運送事業に係わる交通事故要因分析検討会：自動車運送事業に係わる交通事故要因（22年度）第1分子冊事業用自動車の交通事故．〈<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03analysis/resource/data/h201.pdf>〉
- 2) 中山恭秀, 安保雅博, 他1名：傾斜板上における立位姿勢保持がその後の平地上での足圧中心位置に及ぼす影響．理学療法科学 23:589-592,2008.
- 3) 藤原勝夫：姿勢制御の仕組み－動的姿勢制御の観点から－．理学療法学 25: 38,1998.
- 4) 康玉嶋, 遠藤健司, 他1名：床振動装置による平衡訓練が若年健常者の立位バランスに及ぼす影響 重心動揺計による評価．運動療法と物理療法 20:50-54,2009.
- 5) Anne Shumway-cook, Marjorie H.woollacott：モーターコントロール．運動制御の理論と臨床応用．田中繁, 高橋明（監修）．医歯薬出版, 東京, 2005, pp191.
- 6) 田中敏明：高齢者の視覚と転倒．理学療法 .18 (9) :847-851,2001.
- 7) Turano Ket al: Visual stabilization of posture in the elderly: Fallers vs nonfallers. Optom Vis Sci 71:761-769,1994.
- 8) 奈良勲, 内山靖（編著）：姿勢調整障害の理学療法, 医歯薬出版, 東京, 2006, pp194-198.
- 9) Anne Shumway-cook, Marjorie H.woollacott: モーターコントロール．運動制御の理論と臨床応用．田中繁, 高橋明（監修）．医歯薬出版, 東京, 2005, pp192.
- 10) 梶原良之, 福島豊, 他1名：振動下におけるHMDを使用したバランス機能評価．理学療法学 27: 234,2000.
- 11) Allum JHJ, Pfaltz CR: Visual and vestibular contribution to pitch sway stabilization in the

ankle muscles of Normals and patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res*58:82-94,1985.

- 12) 塩田琴美, 高梨晃, 他1名: 視線行動と姿勢制御の関連性についての検討. *理学療法科学* 24: 821-825,2009.
- 13) 内山靖, 小林武, 他1名: 計測法入門. 共同医書出版, 東京, 2007. pp145-156,
- 14) 奈良勲, 内山靖 (編著): 姿勢調整障害の理学療法, 医歯薬出版, 東京, 2006. pp189-211,
- 15) 鴨田千絵, 前島洋, 他2名: 静的立位時の重心動揺と外乱刺激による姿勢反応の関係. *理学療法学* 27:56,2000.
- 16) 山内靖 (編著): 環境と理学療法, 医歯薬出版, 東京, 2004.
- 17) 中村隆一 (著編): 臨床運動学 第3版, 医歯薬出版, 東京, 2002.

(しちり のぶこ 作業療法学科)

(たさと ひろし 株式会社ユニメック)

(ふじかわ たかみつ 理学療法学科)

(おかだ しま 立命館大学)

(まきかわ まさあき 立命館大学)

2011年9月30日受理

