

身体動揺の安定性

朝 長 昌 三

Stability of the Body Sway

Shozo TOMONAGA

ヒトの姿勢制御系は、中枢神経系が前庭器官・体性感覚器官・視覚器官などの多種類の感覚器からの情報を統合・処理し、それらの出力が四肢、躯幹の抗重力筋の筋運動調節系に送られることで身体を安定化させる制御系である。それらの各感覚器官と身体動揺との関係について、動揺の周波数から分析が試みられた。すなわち身体動揺波の0.2Hz前後の成分は、前庭系の影響による周波数であるとされている (Kapteyn & De Wit, 1972)。また0.1Hz以上の身体動揺波は三半器官からの影響であり、0.1Hz以下の動揺波は耳石情報による結果であるとされている (Nashner, 1973)。体性感覚情報は身体動揺波の1.0Hz以上の成分に反映されているとされている (Dietz, 1978)。さらに身体動揺の主に0.3Hz帯域の動揺波成分に、視覚入力の影響が反映されているとされている (Dichgans et al., 1976; 橋本, 1981)。

以上のような直立姿勢の維持のための情報と各感覚器官との関係についての周波数分析からの検討に対して、姿勢制御における視覚情報の果たす役割は重要と考えられ、視覚刺激をさまざまに変化させた場合の身体動揺、特に重心動揺の種々の指標による分析が試みられた (Edwards, 1946; 河合他, 1991; 中田, 1983; 朝長, 1998)。これらの検討から、ヒトが安定した直立姿勢を維持するためには外界の刺激、特に視覚情報との安定した定位づけが重要であると考えられている。

姿勢制御を検討する場合、直立姿勢維持のための情報と各感覚器官との関係、さらには重心動揺を分析する場合、指標として何を選択するかといったことが重要であるが、それらに加えて、ヒトのもつ生物リズム、特に概日リズムとの関係についても考慮する必要があると考えられる。

ヒトの概日リズムは明暗(昼夜)、社会的接触、時刻の認知といった同調因子によって微調整されているとされている。ヒトの概日リズムに同調作用を及ぼす光の照度は、180lxから千数百lxの光がリズムに影響を与えるという報告があり (Boivin et al., 1994; 1996)、ヒトにおける同調因子としての光の役割がより重視されている。

重心動揺と環境照度との関係について、古くはエドワーズ (1946) が身体動揺と光量との関係について実験を行い、光量の減少とともに身体動揺は増加するという結果を得た。また河合ら (1989) は、暗所のときに動揺量が最も大きく、照度が高くなるにつれて動揺量が減少するという結果を得た。しかしながら、これらの研究はヒトの概日リズムとの関係については言及していないようである。

またヒトの行動と概日リズムとの関係を検討する場合、睡眠についても考慮することが考えられる。睡眠は精神的、身体的機能を休息させ、回復させる。睡眠効果を知る方法と

して、睡眠の時間的経過を測定する方法が考えられている。これらの指標として種々の心理テストや作業能率の検査を行い、睡眠前と覚醒後の比較が行われている。レイ（1912）の記憶に関する研究、ジョンソンとスワン（1930）の置換検査、宮城（1954）の加算検査、抹消検査、タッピング検査等において、いずれも宵の方が早朝に較べて能率が高かったと報告している。このように、ヒトの行動と概日リズムとの関係を検討する場合、睡眠との関係を考慮することも必要と考えられる。

以上のように、生体の一つの機能である姿勢制御系、特に身体動揺を検討する場合、生体の概日リズムとの関係を考慮する必要があると考えられる。そこで、重心動揺と概日リズムの関係を検討するために、以下の条件が考えられた。

1. 時間的条件

- ① 朝（9時～9時30分）
- ② 昼（11時～12時30分）
- ③ 夕（17時～17時30分）
- ④ 夜（20時～20時30分）

2. 足位条件

- ① 45度開足
- ② ロンベルグ足位
- ③ マン足位

3. 照度条件

- ① 視標が明らかに見える明るさ
- ② 視標がぼんやりと見える明るさ

4. 視覚条件

- ① 開眼条件
- ② 閉眼条件

本研究は、ヒトの重心動揺に関する概日リズムを検討するために、以上の条件の中から時間的条件として昼（11時～12時30分）、足位条件として45度開足、照度条件として視標が明らかに見える明るさ（1347 lx）とし、これらの条件の下で開眼条件における重心動揺と閉眼条件における重心動揺を、重心動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積から検討することを目的とした。

方 法

重心動揺の測定は、Fig. 1 に示したシステムを用いて行った。図のように、重心動揺は平衡機能計を（6GO1, 日本電気三栄社）を用いて測定した。検出台からの出力は、オムニエース（RT3200, 日本電気三栄社）とデータレコーダ（R-61, TEAK 社）に入力された。

被験者は、視標が明らかに見える明るさ（1347lx）の実験室に設置された検出台上に、45度開足（踵を接し、足尖を45度を開いた足位）で直立し、両上肢を体側に接した姿勢をとった。検出台上での被験者の動揺が安定したことを、オムニエースに描かれる動揺のX-方向（左右動揺）とY-方向（前後動揺）の軌跡によって確認し、重心動揺の記録を始めた。

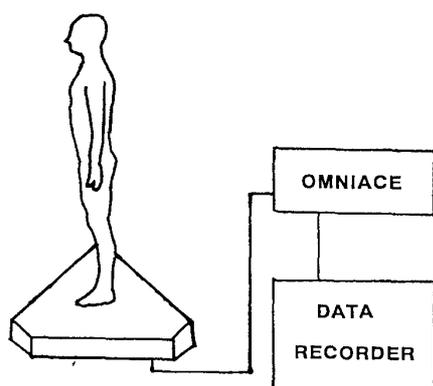


Fig. 1 実験装置の概要

開眼で、眼前約 2 m に設置された (+) 印の視標を凝視して直立した場合を開眼条件、閉眼で直立した場合を閉眼条件とした。これら開眼条件における重心動揺を 5 試行、閉眼条件における重心動揺を 5 試行、計 10 試行の測定をランダムに行った。

被験者は、健常な男子学生 25 人と女子学生 25 人の計 50 人であった。

重心動揺の解析は、データレコーダから出力された動揺を A/D 変換した後、「重心動揺計解析プログラム (日本電気三栄社)」によって動揺を左右方向と前後方向の時系列記録として計測し、各方向の平均速度、平均加速度、移動距離、また動揺の範囲を示す動揺面積を求めることによって重心動揺を分析した。重心動揺計解析プログラムのサンプリングタイムは 50 m s で、取り込み時間は 51.2 s であった。

結果の処理に関しては、次のように行った。

結 果

各被験者の開眼条件および閉眼条件における各 5 試行の重心動揺の平均値を代表値として t-検定を行い、以下のような結果を得た。

1. 50 人の開眼条件と閉眼条件における重心動揺

(1) 平均速度

X-方向： $t = 8.731$ ($p < .01$)

Y-方向： $t = 11.720$ ($p < .01$)

閉眼条件における左右動揺および前後動揺の速度の方が開眼条件の速度よりも速いという結果が得られた。

(2) 平均加速度

X-方向： $t = 8.699$ ($p < .01$)

Y-方向： $t = 10.001$ ($p < .01$)

閉眼条件における左右動揺および前後動揺の加速度の方が開眼条件の加速度よりも大きいという結果が得られた。

(3) 移動距離

X-方向： $t = 8.324$ ($p < .01$)

Y-方向： $t = 11.083$ ($p < .01$)

閉眼条件における左右動揺および前後動揺の移動距離の方が開眼条件の移動距離よりも大きいという結果が得られた。

(4) 動揺面積

$t = 5.663$ ($p < .01$)

閉眼条件における動揺の範囲の方が開眼条件の場合よりも大きいという結果が得られた。

2. 開眼条件における性差

(1) 平均速度

X—方向： $t = .941$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = .990$ ($P > .05$)

動揺の速度に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の速度の方が女性よりも速いと考えられた。

(2) 平均加速度

X—方向： $t = 1.213$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = 1.974$ ($P > .05$)

動揺の加速度に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の加速度の方が女性よりも大きいと考えられた。

(3) 移動距離

X—方向： $t = .588$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = 1.723$ ($P > .05$)

動揺の移動距離に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の移動距離の方が女性よりも大きいと考えられた。

(4) 動揺面積

$t = .107$ ($P > .05$)

動揺の動揺面積に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば女性の動揺面積の方が男性よりも大きいと考えられた。

3. 閉眼条件における性差

(1) 平均速度

X—方向： $t = 1.391$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = 1.331$ ($P > .05$)

動揺の速度に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の速度の方が女性よりも速いと考えられた。

(2) 平均加速度

X—方向： $t = 1.456$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = 1.913$ ($P > .05$)

動揺の加速度に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の加速度の方が女性よりも大きいと考えられた。

(3) 移動距離

X—方向： $t = 1.195$ ($P > .05$)

Y—方向： $t = 1.878$ ($P > .05$)

動揺の移動距離に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺の移動距離の方が女性よりも大きいと考えられた。

(4) 動揺面積

$t = .533$ ($P > .05$)

動揺の動揺面積に関しては、統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の動揺面積の方が女性よりも大きいと考えられた。

以上の結果のように、被験者50人においては、動揺のX一方向およびY一方向ともに閉眼条件における重心動揺の方が開眼条件の動揺よりも大であり、また動揺面積も同様であった。性差に関しては、開眼条件においても閉眼条件においても、動揺のX一方向およびY一方向の平均速度、平均加速度および移動距離には、統計的に有意な差はなかったが、男性の動揺の方が女性よりも大であった。また動揺面積に関しても、開眼条件および閉眼条件において、統計的に有意な差はなかったが、開眼条件の場合は女性の方が、閉眼条件の場合は男性の方が大であった。

考 察

本研究は、時間的条件として昼(11時～12時30分)、足位条件として45度開足、照度条件として視標が明らかに見える明るさ(1347lx)とし、これらの条件の下で開眼条件における重心動揺と閉眼条件における重心動揺を、重心動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積から検討することを目的とした。

本研究における実験条件で、特に重要な条件は時間的条件である。すなわちヒトのもつ生物リズム、特に概日リズムを考慮したことである。そのために本実験においては、時間的条件を11時から12時30分までとし、その時間帯における重心動揺を検討した。

被験者50人においては、閉眼条件における重心動揺の方が開眼条件における重心動揺よりも、より大きな動揺であった。すなわち、閉眼条件における左右方向の動揺の平均速度の方が開眼条件の場合よりもより速い速度で動揺し、またより大きな加速度で動揺し、より長い軌跡長で動揺した。前後方向の動揺も同じ傾向であった。また動揺の範囲を示す動揺面積も閉眼条件の場合の方がより大であった。これらの結果はこれまで朝長が得た結果と同じであった(1993, 1994, 1997, 1998)。

性差に関しては、6～9歳代では女子の方が動揺が少なく、11～14歳代では男子の方が小さく、さらに16～30歳では女性、40～50歳代では男性、60～70歳代では女性の動揺が小さくなるとされている(平沢, 1979)。本研究では、開眼条件においても閉眼条件においても統計的に有意な差はなかった。すなわち開眼条件および閉眼条件における左右方向の動揺と前後方向の動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積には性差はなかった。すなわち、統計的には男女は同じような動揺をしていると考えられた。しかし動揺の測定値からみた場合、開眼条件においても閉眼条件においても左右動揺および前後動揺の平均速度、平均加速度および移動距離に関して、男性の方が女性よりも大であった。すなわちどちらかといえば男性の方がより速い速度で、より大きな加速度で、またより長い軌跡長で動揺しているといえた。それに対して動揺面積は、開眼条件においては女性の方が、閉眼条件においては男性の方が、どちらかといえば大であった。朝長のこれまでに得た性差に関しては、性差なしとする結果(1994)と性差ありとする結果(1993)というように相反する結果を得た。性差なしとする報告としては他に田近(1979)や小島ら(1980)、小林ら(1987)の報告がある。それに対して性差ありとする報告としては菅野ら(1971)や臼井ら(1985)の報告があり、また小林ら(1987)は閉眼時においては男性が女性に比べて動揺面積が大であると報告している。このように相反する結果が報告されているが、これは何に起因するのかを検討することが必要であると考えられる。

要 約

本研究は、時間的条件として昼(11時～12時30分)、足位条件として45度開足、照度条件として視標が明らかに見える明るさ(1347lx)とし、これらの条件の下で開眼条件における重心動揺と閉眼条件における重心動揺を、重心動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積から検討することを目的とした。結果は以下の通りであった。

1. 被験者50人においては、閉眼条件における平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積の方が、開眼条件の場合よりも大であった。
2. 開眼条件における性差に関しては平均速度、平均加速度、移動距離において統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の方が女性よりもより大きな動揺であった。それに対して、動揺面積も統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば女性の方が男性よりも動揺の範囲が大であった。
3. 閉眼条件における性差に関しては平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積において統計的には有意な差はなかったが、どちらかといえば男性の方が女性よりも大であった。

引 用 文 献

- Boivin, D. B., Duffy, J. F., Kronauer, R. E. & Czeisler, C. A. 1994 Sensitivity of the human circadian pacemaker to moderately bright light. *Journal of Biological Rhythms*, 9, 315-331.
- Boivin, D. B., Duffy, J. F., Kronauer, R. E. & Czeisler, C. A. 1996 Dose-response relationships for resetting of human circadian clock by light. *Nature*, 379, 540-542.
- Dietz, V. 1978 Analysis of the electrical muscle activity during maximam contraction and the influence of ischemia. *Journal of Neurological Science*, 37, 187-197.
- Edwards, A. S. 1946 Body sway and vision. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 526-536.
- 平澤弥一郎 1979 日本人の直立能力について 人類誌, 87, 81-92.
- Johnson, H. M. & Swan, T. H. 1930 Sleep. *Psychol. Bull.*, 27, 1-39.
- Kaptayn, T. S. & De Wit, G. 1972 Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. *Acta Otolaryngology*, 73, 104-111.
- 河合学・稲村欣作・野間忠明 1989 立位姿勢における身体動揺と環境照度 姿勢研究, 9(1), 25-32.
- 河合学・野間忠明・古賀一男 1991 視標追跡刺激と身体動揺 姿勢研究, 11(1), 31-38.
- 小林祥泰・藤原茂芳・下手公一・小出巳・鈴木知子・山口修平・恒松徳五郎・桧学・高木明 1987 正常高齢者における重心動揺と脳循環、知的精神機能との関連について 姿勢研究, 7(1), 1-6.
- 小島幸江・竹森節子 1980 小児の身体平衡の発達について—正常小児, 起立位を中心に—耳鼻臨床, 73(5), 865-871.
- Lay, W. A. 1912 Uber des Morgen und Abendlernen. *Z. Erforsch. Behand. Jugend. Schwachsinn.*, 5, 285-292.
- 宮城音弥 1954 睡眠(II) 心理学講座8 中山書店
- 宮田洋 1997 新生理心理学1, 2, 3巻 北大路書房
- 中田英雄 1983 視覚障害者の直立姿勢保持能力 姿勢研究, 3(1), 1-7.
- Nashner, L. M. 1973 Vestibular and reflex control of normal standing. In Stein, R. B., Pearson, K. G., Smith, R. S. & Redford, J. B. (Eds.) *Control of posture and locomotion, advances in behavioral*

- biology, Vol. 7, New York: Plenum Press, Pp. 291-308.
- 菅野久信・武谷力 1971 平衡計とその臨床応用 *Equilibrium Res.*, Vol. 28., 38—39.
- 田近由美子 1979 重心動揺移動距離と重心動揺図（X軸長，Y軸長）についての研究 *金沢大学十全医学学会雑誌*, 88(1), 122—137。
- 朝長昌三 1993 視覚情報の部分呈示による姿勢制御の練習効果 *長崎大学教養部紀要*, 第34巻 第1号, 45—53。
- 朝長昌三 1994 視覚情報による重心動揺の安定性 *長崎大学教養部紀要*, 第35巻 第1号, 1—20。
- 朝長昌三 1998 重心動揺に関する傾向分析 *長崎大学教育学部教育科学研究報告*, 第55号, 69—73。
- 白井永男・福田恵祥・大橋義春・北村国広・袴田祐治・大村弘司・鈴木陽市・倉沢一男・畫馬輝夫・平沢弥一郎 1986 プランターアナライザによる直立能力の解析 *姿勢研究*, 5(1), 17—22