心身障害学研究　Bull. Spec. Educ.
9(2)：1－7，1985

視覚障害者の直立時重心動揺の特徴

中　田　英　雄

全盲者と弱視者の直立時重心動揺のパワー・スペクトルを求め，その特徴を検討した。今回は1 Hz以下のパワーの分布に注目した。被検者は全盲15名，弱視37名，晴眼23名である。いずれも成人男性である。全盲者及び弱視者の重心動揺は0.5 Hz以下で晴眼者よりも有意に大きなパワーを示した。さらに0.5 Hz以下のパワーの分布を分析したところ，視覚障害者の左右方向の動揺は0.2～0.4 Hzの帯域に，前後方向の動揺は0.15～0.2 Hzの帯域にパワーのピークが認められた。これは視覚障害の影響を反映しているのではないかと考えられる。全盲者の中でも晴眼者と同様のパワー・スペクトルを示す例があった。一方，弱視者は開眼時と閉眼時のパワー・スペクトルに差異が認められなかった。これらの結果は，視覚系の有無と運動制御の関係について興味ある問題を投げかけていると推察される。

キーワード：視覚障害　重心動揺　パワー・スペクトル

1．はじめに

直立姿勢は視覚系，前庭系，体性感覚系などからの情報をもとに，身体各部の筋，とくに抗重力筋の張力が連続的に調整されることによって保たれている。直立姿勢の制御に関与する要因のなかでもとりわけ視覚系は，フィードバックやフィードフォワード情報をもたらすという点で多くの研究者の注目を浴びてきた。Lee and Lishman (1975a, b) は，視覚系は直立姿勢の制御において自己受容感覚としての機能を持ち，その機能は前庭系や体性感覚系よりも効果的であると述べ，視覚系の優位性を主張している。また，それ故に視機能の低下している視覚障害者は直立姿勢の保持能力が低く，平衡能の学習は遅滞を示すと推察している。

筆者は視覚系の障害が直立時の重心動揺にどのような影響を与えるか，直立姿勢の保持能力という観点から検討を加えてきた（中田，1982a，b; 1983)。本研究では重心動揺の1 Hz以下の成分に注目し，視覚障害が重心動揺に及ぼす影響について検討する。

2．方　法

1）被検者

被検者は健康な男性とし，晴眼者23名（年齢19～43歳)，弱視者37名（年齢20～28歳)，全盲者15名（年齢19～32歳）である。

2）装置

前後と左右に対する1 cmの重心動揺が0.1 vの出力を示す重心計（アニマ製，MODELS 2301, 4301）を用い，その出力をデータ・レコーダ（ソニー製，NFR-3515）に記録するとともに，ペン・レコーダ（日本光電製，RJG-4000）にも同時記録した。

3）手続き

被検者は重心計台上で両踵を合わせ，開脚30度の直立姿勢を保ちながら前方を直視した。測定時間は100秒とし，開眼と閉眼（アイマスクで遮眼）の2条件をそれぞれ1回ずつ測定した。開眼条件の場合，被検者に1.5 m前方のマークを注視させた。両条件ともできるだけ身体を動かさないようにと教示した。

4）分析方法

前後と左右の重心動揺をコンピュータ（ATAC-450，日本光電製）を用いて周波数解析した。サンプリング・タイムは100 msとし，最大5 Hzまで分析した。1回にAD変換されるデータ数は256個とし，パワー・スペクトルの加算を3回行った。

3．結　果

図1は，開眼条件における前後と左右の重心動揺のパワーの分布を5つの周波数帯域別に示したものである。各被検者の各周波数帯域別の平均パワーを求めて個人の代表値とし，さらにその代表値の各群別の平均値を求め，その値を各群の各周波数帯域の平均パワーとした。前後左右の重心動揺のパワーの分布は全盲群，弱視群，晴眼群の順に減少する傾向が認められる。とくに0.5 Hz 以下の周波数帯域のパワーの違いが顕著である。

図2は，晴眼群の左右の重心動揺のパワーの平均値を1 Hz 以下の範囲に限ってプロットしたものである。○印は開眼時を，●印は閉眼時を表わしている。閉眼時には，ほぼすべての周波数帯域でパワーは増加し，姿勢制御能力の低下をひきおこしている。そのパワーの増大は0.3～0.4 Hz の帯域で顕著である。0.5 Hz 未満の帯域と0.5～1.0 Hz 未満の帯域に分けて，開眼時と閉眼時のパワーについて分散分析を行った。その結果，0.5 Hz 未満では開眼時と閉眼時のパワーに有意差が認められた（$F=5.803$, $df=1/44$, $P<0.05$）。0.5～1.0 Hz 未満の帯域では非有意であった。前後の重心動揺では，これら2つの帯域において有意差が認められた（0.5 Hz 未満：$F=12.068$, $df=1/44$, $P<0.001$; 0.5～1.0 Hz 未満：$F=11.22$, $df=1/44$, $P<0.005$）。このような開眼時と閉眼時の動揺の差異は，一時的な視覚情報の入力遮断による影響と考えられる。

このように直立時の重心動揺には，視覚系が重要な役割をはたしていることがうかがわれる。それでは長期間視覚情報の入力が抑制されている視覚障害者には，視覚遮断の影響はあるのだろうか。そこで開眼時の左右と前後の重心動揺について，1 Hz 以下のパワーの分布を図3，4に表わしてみた。各図は3群別に各周波数におけるパワーの平均を求め，プロットしたものである。視覚障害群は晴眼群よりも大きなパワーを示した。そのパワーの分布は1 Hz 以下の全帯域で大きな値を示し，特定の周波数帯域に偏倚する傾向は認められなかった。このことは，晴眼群の開・閉眼時のパワーの差異とは異なる現象であることを示している。また，これは晴眼者の一時的な視覚入力遮断が必ずしも視覚障害者の状態と同一ではないことを示唆している。0.5 Hz 未満と0.5～1.0 Hz 未満の周波数帯域に分けて，分散分析を行ったところいずれの帯域においても3群間に有意差が認められた（0.5 Hz 未満：左右—$F=12.352$, $df=2/72$, $P<0.001$；前後—$F=12.812$, $df=2/72$, $P<0.001$; 0.5～1.0 Hz 未満：左右—$F=8.923$, $df=2/72$, $P<0.001$；前後—$F=6.828$, $df=2/72$, $P<0.005$）。

図5は左右重心動揺の開眼時と閉眼時におけるパワーの比較である。これは5つの周波数帯域別に3群のパワーの平均値をプロットしたものである。5つの帯域別に2要因の分散分析を行った結果を表1に示す。1.5 Hz 未満の3つの帯域及び

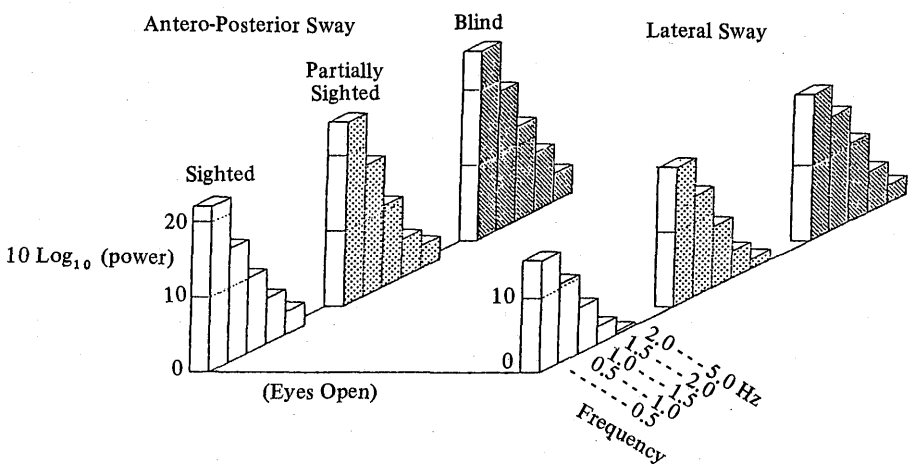

Fig. 1　前後左右重心動揺の周波数帯域別のパワー分布

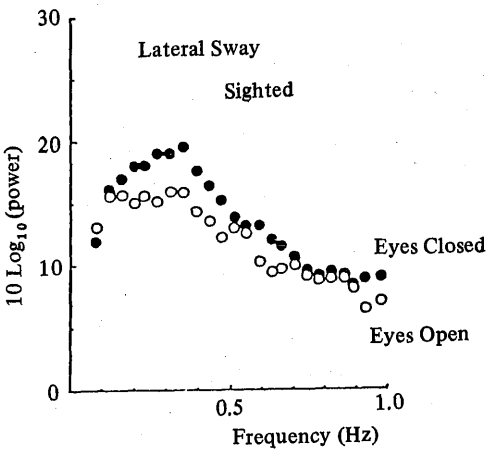

Fig. 2　開眼時と閉眼時における左右重心動揺のパワー・スペクトル（晴眼群）

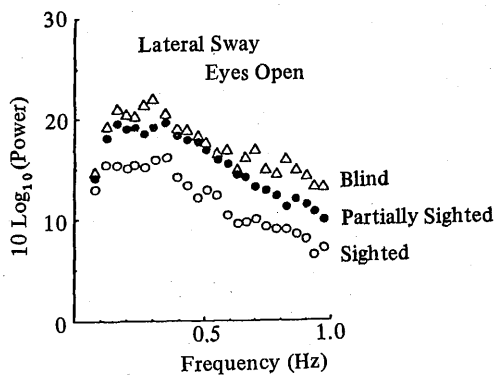

Fig. 3　左右重心動揺パワー・スペクトルの3群別比較

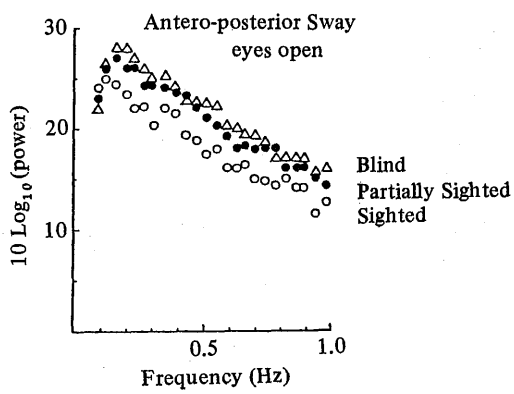

Fig. 4　前後重心動揺パワー・スペクトルの3群別比較

2.0～5.0 Hz の帯域で被検群間に有意差が認められた。開眼時と閉眼時の間には有意差は認められなかった。また，交互作用も非有意であった。晴眼群では閉眼時にパワーの増加が著しいので，交互作用が有意にあらわれると予測したが，左右の重心動揺ではそうではなかった。

図6は前後重心動揺の開眼時と閉眼時におけるパワーの比較である。5つの帯域別に2要因の分散分析を行った。その結果は表2に示す通りであ

Table 1　周波数帯域別の分散分析結果（左右動揺）

Frequency (Hz)	Subject	Condition	Subj.×Cond.
-0.5	F=11.85 df=2/144 p<0.001	NS	NS
0.5-1.0	F=10.30 df=2/144 p<0.001	NS	NS
1.0-1.5	F=8.36 df=2/144 p<0.001	NS	NS
1.5-2.0	NS	NS	NS
2.0-5.0	F=3.89 df=2/144 p<0.05	NS	NS

NS：Not significant

Table 2　周波数帯域別の分散分析結果（前後動揺）

Frequency (Hz)	Subject	Condition	Subj.×Cond.
-0.5	F=3.41 df=2/144 p<0.05	NS	F=8.84 df=2/144 p<0.001
0.5-1.0	F=4.35 df=2/144 p<0.01	NS	F=3.30 df=2/144 p<0.05
1.0-1.5	NS	F=4.48 df=1/144 p<0.05	F=4.58 df=2/144 p<0.01
1.5-2.0	NS	F=6.07 df=1/144 p<0.05	F=3.27 df=2/144 p<0.05
2.0-5.0	NS	F=4.00 df=1/144 p<0.05	NS

NS: Not significant

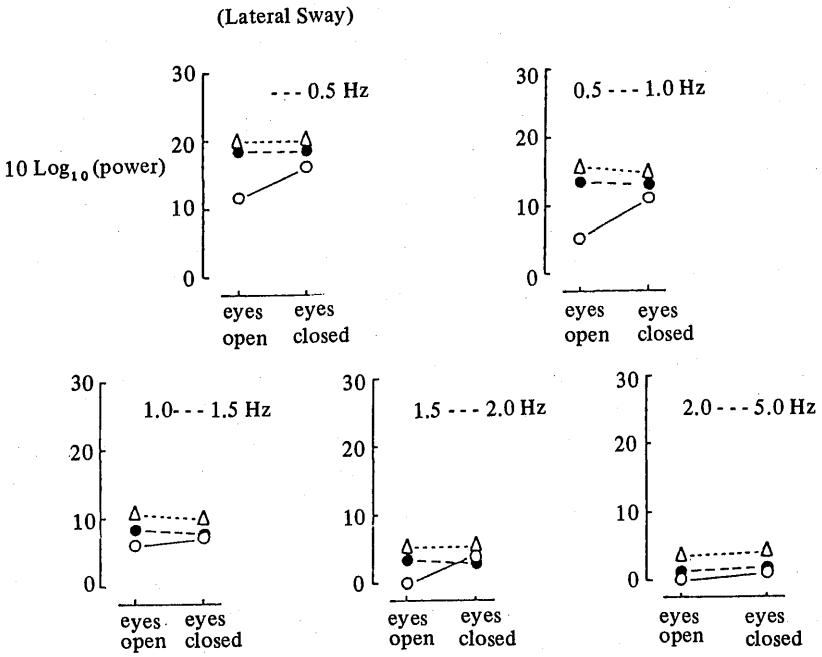

Fig. 5　左右重心動揺における開眼時と閉眼時のパワーの比較
△印 ― 全盲，●印 ― 弱視，○印 ― 晴眼

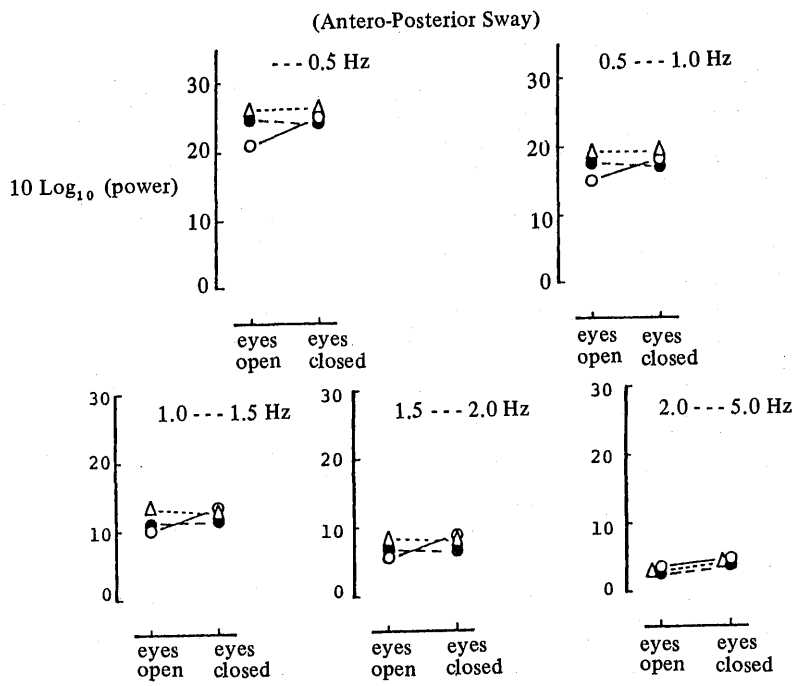

Fig. 6　前後重心動揺における開眼時と閉眼時のパワーの比較

る。1 Hz 未満の2つの帯域で被検群間に有意差が認められた。開眼と閉眼の条件間の有意差は1.0 Hz 以上の3つの帯域で得られた。交互作用は2.0 Hz 未満の4つの帯域で有意であった。図5と6で示した結果は，開眼と閉眼の差異は左右の動揺よりも前後の動揺にあらわれ，視覚障害群には閉眼の影響があらわれないことを示している。全盲群に閉眼の影響が生じないことは十分予想されるが，弱視群にも閉眼の影響があらわれない点は興味深い。

4．考　察

視覚系と重心動揺の関係について，これまで多くの報告は晴眼者は開眼時と比較して閉眼時に動揺が増加することを指摘している。これは一時的な視覚遮断が直立姿勢制御系の調節に何らかの影響を及ぼすことを示している。Dichgans and Brandt (1978) は開眼時と閉眼時のパワー・スペクトルの差異から，視覚系が姿勢制御系に作用する周波数帯域は1 Hz 以下であると推測している。換言すれば視覚系は開眼時に1 Hz 以下の周波数帯域の動揺を抑制するといえる。藤原 (1984) はこれまでの先行研究を吟味し，視覚系は0.1～0.5 Hz 帯域に，前庭系は閉眼時の0.1～0.5 Hz 帯域に，そして固有受容感覚系は0.5～1.5 Hz の帯域に作用すると推察している。中田 (1982) は，視覚障害者は0.5 Hz 以下の帯域で増加することを指摘し，視覚障害の影響を示唆した。今回の1 Hz 以下の分析では，左右方向では0.2～0.4 Hz の帯域に，前後方向では0.15～0.2 Hz の帯域にパワーのピークが認められるので，視覚障害の影響は0.5 Hz より低い周波数帯域に生ずると考えられる。図3，4に示したように，全盲者と弱視者のパワーは0.5 Hz 以上の帯域でも晴眼者のパワーと比較して大きい傾向を示した。藤原 (1984) の分類にしたがうと前庭系，個有受容感覚系の作用する帯域にもパワーの増加が認められるのである。この現象は，前庭系と個有受容感覚系が視覚系情報の欠如ならびにその不足を補償した結果ではないかと推察される。

一方，晴眼者を一時的に視覚遮断の状態にすると，図2に示したように0.2～0.4 Hz の帯域に集中してパワーの増加が認められた。これは視覚障害者の傾向とは異なることを示している。また，このことは晴眼者の一時的な視覚遮断が必ずしも全盲者や弱視者の状態ではないことを示唆している。Vidal, Berthoz, and Millanvoye (1982) は3つの視野条件を設定し，直立時の重心動揺と下腿の EMG を記録した。その結果，晴眼者の閉眼状態は視覚遮断 (visual deprivation) の状態ではないと結論づけた。その理由として，開眼時と閉眼時の EMG 反応に有意差のないことを指摘している。さらに，視覚系は姿勢制御において，必ずしも他の感覚系と比較して優位ではないことを示唆している。

ところで，視覚障害者は視覚系情報を運動制御情報として効率よく利用することが困難な状態にある。矯正視力0.3以下の弱視者は，直立姿勢制御において視覚系情報を直立姿勢を安定させるための手がかりとして利用しているのだろうか。すでに中田 (1982 a, b ; 1983) は，弱視者はほとんど視覚系情報を手がかりとして用いていないことを指摘している。図5，6に示すように，全盲者と弱視者は開眼時と閉眼時のパワーに全く変化が認められなかった。これは，弱視者が本研究で用いた1.5 m 前方のマークを視覚的手がかりとして利用できないことを示している。弱視者全員は，1.5 m 前方のマークを確認できたにもかかわらず，それを運動制御情報として用いることができないという点は興味深く思われる。直立姿勢の制御では，中心視よりも周辺視の役割が重要である (Amblard and Carblanc, 1980)。低視力の弱視者の多くは視野が狭く，もっぱら中心視に依存する傾向にある (Fonda, 1965)。このような特性を持つ弱視者が周辺視によって，自己と環境との相対的な位置，運動に関する情報を得られなかったことは十分に考えられることである。

Lee and Lishman (1975a, b) は，直立時の姿勢制御において視覚系は他の感覚系よりも優位であると主張し，視覚系情報を利用できない盲人は直立姿勢の制御能力は低いことを示唆している。しかし，Lee and Lishman は盲人に関するデータを示していないのでその見解は疑問である。中田 (1983) は，全盲者の1例が晴眼者と同様のパワー・スペクトルを示した例を報告しており，Lee and Lishman の見解は議論の余地があると言わざるを得ない。Tanaka, Shimba, and Shimizu (1983) もまた先天性盲人は晴眼者と比較して直

立時の重心動揺は安定していることを報告している。全盲者の直立時重心動揺の成績が晴眼者と変わらない，あるいはすぐれているという結果は，視覚系と運動制御の関係について興味ある問題を投げかけているように思われる。また，これらの問題はヒトの中枢神経系の可塑性を示唆しているようにも思われる。今後，さらにこの点について検討を加えていきたいと考える。

文　献

1）Amblard, B. and Carblanc, A. (1980) : Role of foveal and peripheral visual information in maintenance of postural equilibrium in man. Perceptual and Motor Skills, 51: 903-912.

2）Dichgans, J. and Brandt, T. (1978) : Visual--vestibular interaction. In Handbook of Sensory Physiology. Ed. Held, R., Leibowitz, H. W., and Teuber, H. L. Springer, New York. pp 755-804.

3）Fonda, G. (1965) : Management of the patient with subnormal vision. C. V. Mosby Company, St. Louis.

4）藤原勝夫，池田晴夫（1984）：立体姿勢における身体動揺の周波数成分の加齢変化，姿勢研究，4：81-88.

5）Lee, D. and Lishman, R. (1975a) : Vision in movement and balance. New Scientist, 9 : 59-61.

6）Lee, D. and Lishman, R. (1975b) : Visual proprioceptive control of stance. Journal of Human Movement Studies, 1：87-95.

7）中田英雄（1982a）：重心動揺からみた視覚障害者の直立姿勢保持能力，姿勢研究，2：41-48.

8）中田英雄（1982b）：視覚障害者の直立時重心動揺の特徴，日本人間工学会関東支部大会要旨集，21-22.

9）中田英雄（1983）：視覚障害者の直立姿勢保持能力，姿勢研究，3：1-7.

10）Tanaka, I., Shimba, T. and Shimizu, O. (1983) : Changes of center of gravity of the adventitiously blind in standing postures. National Rehabilitation Research Bulletin Japan, 4：59-61.

11）Vidal, P. P., Berthoz, A. and Millanvoye, M. (1982) : Difference between eye closure and visual stabilization in the control of posture in man. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 53：166-170.

Summary

The Spectral Characteristics of Body Sway in the Visually Impaired

Hideo Nakata

It is widely accepted that the stabilizing effect of vision is much stronger in the low freguency range during upright standing. Lee and Lishman (1975a, b) suggest that vision functions proprioceptively as an integral component of the control system for maintaining a stance. To determine whether recognisable profiles of sway behavior are characteristically found among visually impaired subjects the energy content of five frequency ranges below 5Hz was computed from power spectra of the sway behavior of 15 blind, 37 partially sighted, and 23 sighted male adults. It was observed that there was no diffrence between the sighted and the visually impaired in the patterns of power spectra. However, on the energy below 0.5 Hz with eyes open the sighted showed the least and the blind the most, with the paritally sighted in between. Dichgans and Brandt (1978) reported that the visual system clearly and efficiently works below 1 Hz. Therefore, the results obtained might be attributed to the effects of blindness and low vision. The sighted revealed significant difference between eyes open and closed conditions in the energy distribution below 1 Hz, but the partially sighted no difference. Peripheral vision plays the major role in the maintenance of the body equilibrium, and foveal vision only a supplementary one (Amblard and Carblanc, 1980) . This suggests that the partially sighted were independent of information from peripheral vision. It can be concluded that the body sway of the visually impaired is characteristically found in the energy content of power spectra below 0.5 Hz.

Key word: visual impairement, body sway, power spectrum