

動的視標に対する弱視者の滑動性眼球運動

中 田 英 雄

弱視児の視機能がどのような特性を示すのか、どのように発達するのか、いかに評価すべきかという点に関する基礎データは、弱視児を指導するうえで不可欠であると考えられる。本研究では弱視者の眼球運動を測定し、その特性を明らかにすることを目的にした。今回は滑動性眼球運動に注目し、視標の追視にもなって得られる眼球運動をEOG法で測定した。その結果、弱視者の追視能力は晴眼者と比較して低く、視標周波数が1Hz以下で追視能力の低下が認められた。追視能力が訓練によって向上するかどうか、知覚・運動学習の面から論じた。水平眼振症の弱視者は眼振をともないながらも視標の追跡は可能であった。網膜に疾患のある弱視者では、まったく眼球運動を記録することができなかった。したがってEOG法以外の測定法が必要である。すべての弱視者のEOGの振幅は晴眼者よりも小さい傾向を示した。

1. はじめに

視機能には視力、視野、色覚、暗順応、調節、両眼視、眼球運動などがある。先天的に器質的な障害を視覚に有し、矯正視力が0.3以下である弱視児のこれらの視機能がどのような特性を示し、どのように発達するのか、さらにそれらの機能を適切に評価するにはどのような方法を用いたらよいかといった点に関する基礎データは、弱視児を指導するうえで不可欠であると考えられる。視機能のなかでも、とくに眼球運動は心理学(Yarbus, 1967; 葺阪, 1973; 木田, 1982), 生理学(石川・山崎, 1973; 山崎, 1977; 1978), 生体工学(Stark, 1968; 渡辺, 1966; 1971)において知覚および眼球運動系のメカニズムを追求するためによく用いられる指標である。

Leigh and Zee (1980)は、視覚障害者の眼球運動を測定し、固視(fixation)機能、前庭動眼反射(vestibuloocular reflex), 衝動性眼球運動(saccadic eye movement)などに問題のあることを指摘している。小沢・谷村(1981; 1982)は、眼のコントラスト感度を空間的稠密さ(空間周波数)を関数として、弱視者の空間周波数特性(MTF)を測定する試みを行っている。また、Lindstedt (1979)は弱視児の80%に眼球運動系の障害をもっていることを報告し、視覚障害が眼球運動

系の発達に影響を与えていることを示唆している。

一方、弱視児の視知覚特性は視知覚テスト(五十嵐, 1966; 佐藤・黒川, 1983), 視能率(Barraga, 1964; 黒川・佐藤, 1979), 視知覚速度(濱本・五十嵐, 1979; 齊藤, 1979), パターン認識(小柳・山梨・千田・志村・山県, 1983), 視知覚訓練の効果(湖崎・渡辺・古田・咲山, 1964)の観点から分析されている。

このように弱視児の視機能は生理学的, 心理学的な手法を用いて研究されてきているが、不明な点が多い。そこで弱視者の視機能特性を明らかにするために眼球運動の測定を試みた。眼球運動は固視, 衝動性眼球運動, 滑動性眼球運動(smooth pursuit eye movement), 前庭性眼球運動, 輻奏開散運動(vergence eye movement)などに分類される。本研究ではとくに滑動性眼球運動に注目した。弱視者が動く対象を追跡し、網膜上でもっとも視力のすぐれた中心窩に対象像を投影する場合、どのように眼球運動系を制御し、どの程度の速度まで対象の追跡が可能であるかを実験的に検討することにした。

2. 方法

1) 被検者

被検者は晴眼者男性3名(年齢19~22歳), 弱視者男性5名(年齢23~26歳)である。弱視者のそれぞれの眼疾と視力は, 視神経萎縮(右0.07, 左0.02), 水晶体偏位(右0.3, 左0.1), 網膜色素変性症(右0.04, 左0.08), 水平眼振(右0.2, 左0.2), 網膜斑痕(右0.03, 左0.01)である。いずれも視覚障害以外に障害のない被検者である。

2) 視標の呈示

視標は眼前40 cmのCRT画面上9.2 cmを水平方向に正弦波上に動く光点である。視標周波数は0.2 Hzから0.2 Hz間隔で2.0 Hzまで無作為に呈示した。なお, 0.05 Hzの周波数も予備的に呈示した。呈示時間は約40秒である。

3) 眼球運動の記録

被検者は左右眼角部に電極を装着し(小松崎・竹森, 1983), 固定台に頭部をのせ, 視標を追跡した。導出された水平眼球運動(両眼)のEOG(electro-oculography)は, 時定数3.0秒及び0.03秒で紙記録(MDS-3004, 日本光電製)するとともにデータ・レコーダ(NFR-3515, SONY製)にも記録した。図1に測定の模式図を示した。

4) 分析方法

データ・レコーダに記録されたEOGをサンプリング・タイム100 msとして, コンピュータ(ATAC-450, 日本光電製)を用いてパワー・スペクトルを求めた。AD変換されるデータ数は256個とした。

3. 結果

図2は晴眼者と弱視者(網膜色素変性症)の0.

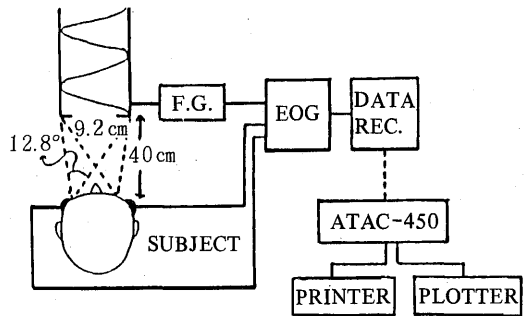


図1 眼球運動測定の模式図

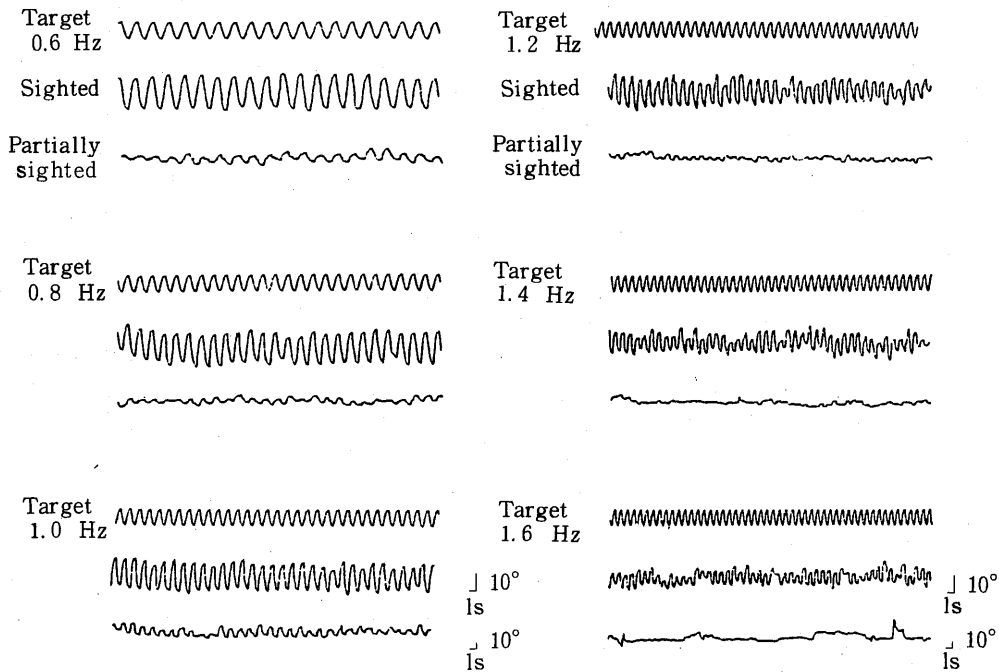


図2 晴眼者と弱視者の滑動性眼球運動。

6 Hz から 1.6 Hz までの視標を追視した場合の滑動性眼球運動の EOG である。晴眼者は 1.2 Hz の視標に対してほぼ円滑に追跡していることが観察される。しかし、1.4 Hz からいわゆる saccade が混入しはじめているのがわかる。1.6 Hz になると滑動性眼球運動が一時的に消失し、固視や saccade にとってかわる傾向が認められる。一方、弱視者の EOG は振幅が小さく、明瞭な正弦波形を呈していないようである。0.8 Hz 以上の速さの視標に対しては、滑動性眼球運動の消失や saccade 成分の増加が認められ、1.4 Hz と 1.6 Hz の視標ではほとんど追視が困難であった。

EOG 波形の定性的分析では、視標を何 Hz まで追視できるのか明瞭に決定できないので、測定した EOG のパワー・スペクトルを求めることにした。図 3 は 0.2 Hz の視標を追視した弱視者のパワー・スペクトルの例である。縦軸はパワーを示し、横軸は周波数 (対数) をあらわす。水平に往復運動する 0.2 Hz の正弦波を正確に追視した場合の EOG のパワー・スペクトルは、0.2 Hz の周波数で最大のパワーを示す。したがって、視標の

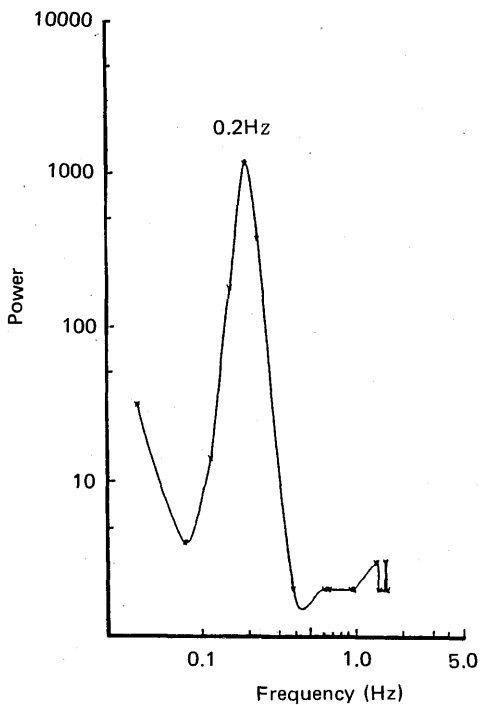


図 3 0.2 Hz の視標を追視した場合の EOG のパワー・スペクトル。被検者は弱視者。

周波数が増加するにつれて追視が困難になるならば、視標周波数成分以外の周波数成分が混入し、相対的に視標に対応するパワーは減少することになる。そこでそれぞれの視標周波数に対応するパワーの値 (図 3 では約 1050) を代表値とすることにした。このようにして求めたパワー値を被検者ごとにプロットしたのが図 4 である。縦軸がパワー (対数) を示し、横軸は周波数をあらわしている。晴眼者のパワー値は 1 Hz までは顕著な変動を示さないが、1 Hz 以上になると徐々に低下する傾向を示した。しかし、晴眼者の一例 (×印) は 1.8 Hz までパワーは顕著な減少を示さず、2.0 Hz で急激な低下を示した。

一方、3名の弱視者はいずれも視標周波数が増加するにしたがってゆるやかなパワーの減少が生じ、1 Hz 以上になると急速な減少が認められた。弱視者の一例 (×印) はほぼ直線的にパワーが減少する特異な傾向が認められた。また、弱視者のパワーは晴眼者と比べて小さく、EOG の振幅が相対的に小さいようである。

図 5 は水平眼振をもつ弱視者の滑動性眼球運動

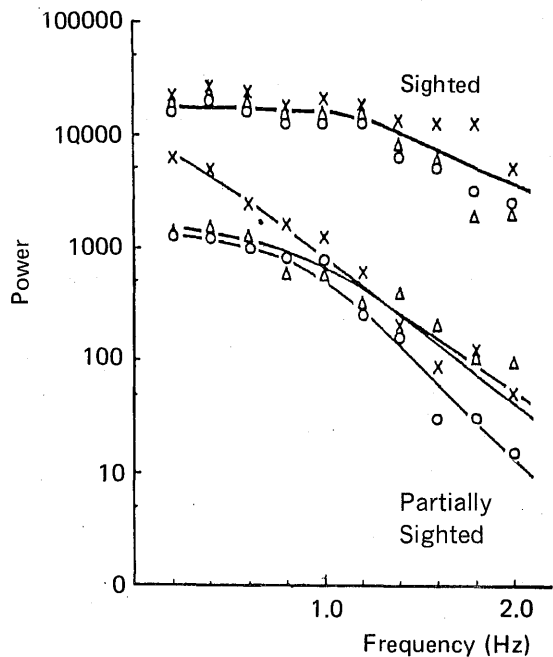


図 4 視標周波数に対する EOG のパワー値の変化。視標追跡時の EOG のパワー・スペクトルを求め、視標周波数に対応するパワー値がプロットされている。

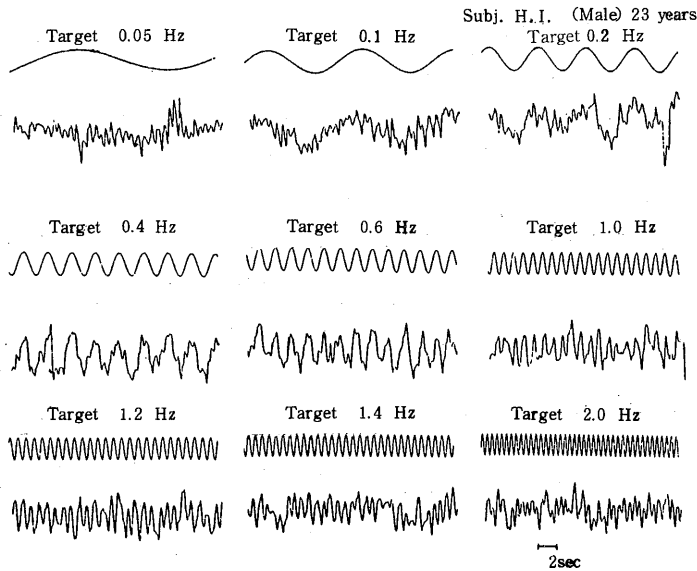


図5 水平眼振をもつ弱視者の滑動性眼球運動の例。
10度の校正は測定不能。

の一例である。左右の急速な眼振があり、視標の追視が困難であることが予想されたが、0.6 Hzまでの追視は可能であると考えられる。水平眼振をともしないながらも眼球運動系の制御が行われていることが推察される。視標の周波数が1.4 Hz以上になると滑動性眼球運動のEOGが眼振のそれか判然としないようである。この点に関しては頭部運動との関連性も考慮して検討したいと考える。

図6は網膜斑痕をもつ弱視者の滑動性眼球運動の一例である。この被検者では眼球運動に対応したEOGをまったく測定することができなかった。視標周波数0.1 Hz, 0.4 Hz, 1.6 Hz, 2.0 Hzで大きな振幅が認められるが、追視の結果得られたEOGではないと考えられる。

5. 考察

滑動性眼球運動は負帰還 (negative feedback loop) である網膜からの視覚系フィードバックにより絶えず視標の位置と速度の情報が与えられ、視標が網膜中心窩からずれるとすぐに追跡速度を変えることができる。しかし、視標が高速になると滑動性眼球運動の継続が困難になり、衝動性眼球運動だけになってしまう。つまり、ある視標速度に達すると滑動性眼球運動は飽和状態となり、

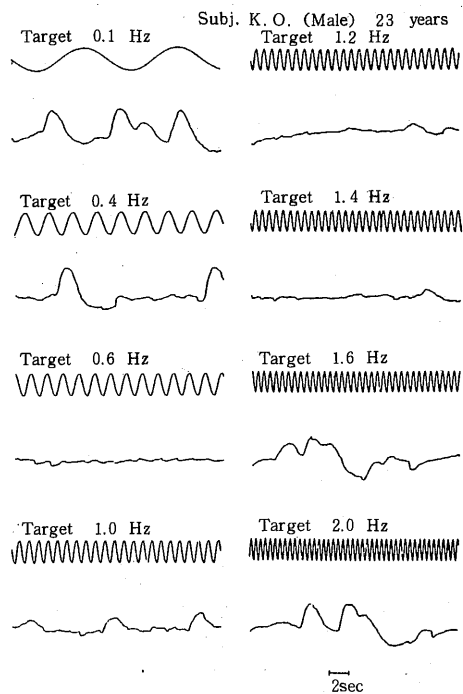


図6 網膜疾患のある弱視者のEOG。

衝動性眼球運動系の制御に切り換えられるのである。この切り換わる時点が滑動性眼球運動制御能力の限界と考えられる。弱視者の滑動性眼球運動の結果からも明かなように、弱視者は晴眼者と比較してより早い時点(1 Hz以下)で滑動性眼球運動の飽和に到達していると考えられる。弱視者の視覚系フィードバックの機能及び眼球運動の制御系が視覚の器質的障害によって強く影響されていることを示唆している。とくに網膜色素変性症の一例(×印)において追視能力が直線的に低下している点の特徴的である。しかし、これが網膜色素変性症特有の追視能力かどうか断定はできない。今後、眼疾、視力、視野などの要因との関係について検討したいと考える。とりわけ視力が滑動性眼球運動に関与していることは十分に予想される。この点についても人為的に晴眼者の視力を低下させて、追跡眼球運動を測定する必要があると考える。

滑動性眼球運動は動く対象を網膜中心窩でとらえる機能であり、これは衝動性眼球運動とならんで種々の学習活動で重要な側面を含んでいる。高田(1977)は、メトロノームの振子を視標として7歳から12歳までの男女児童生徒の視標追跡試験を行っている。その結果、追跡運動能力は9歳以降急速に発達することを報告している。さらにKowler and Martins(1982)は、4歳7ヶ月の男子と5歳3ヶ月の女子のそれぞれ1名について、固視、衝動性眼球運動、滑動性眼球運動などを測定した。その結果、成人と比較して幼児の眼球運動系の制御能力は低く、それは眼球運動系の未発達によるものであることを指摘している。また、眼球運動の発達はoculomotor skillsの効果的な学習と関連のあることを示唆している。このように晴眼児では眼球運動の発達はかなり明確に認められるが、弱視児においても発達の可能性はあるのだろうか。弱視児に視知覚テストを実施した黒川(1978)の報告によると、弱視児群においても晴眼児群と同様に年齢の増加とともに正答数は増加し、作業時間が短縮される傾向が認められた。すなわち、弱視児の知覚・運動学習に発達の可能性が十分に残されていることが推察される。視機能そのものの改善を期待することはできないが、視覚と運動の協応をともなう課題では改善の可能性はあると考えられる。したがって、視知覚訓練で

は弱視児の視機能の向上をはかるといよりも、視覚と運動の協応を含む課題においてその効率を高める指導や工夫が望まれる。Kephart(1960)は、眼球運動の訓練(training ocular control)の重要性を指摘し、その訓練プログラムを紹介している。指を眼の前に置いて動く対象を追跡する場合、視覚的な手がかり(visual clues)のほかに、自己受容感覚系の手がかり(kinesthetic clues)を重視している。つまり、合目的な眼球運動機能を発達させるためには、外眼筋の自己受容感覚情報と身体全体からの自己受容感覚情報をmatchingさせることが必要であるというのである。外眼筋の自己受容感覚情報が眼球運動制御において果たす役割は伊藤・小松・金子(1980)によって報告されている。しかし、一方で外眼筋の自己受容感覚器が眼球運動系に眼の位置(eye position)に関する情報を送っているかどうかという点については論議されており、未解決である(Sivak, 1983)。いずれにせよ動く対象を追視するという行動は、単に受動的な対象の知覚を意味するのではなく、積極的な知覚・認知行動である。図形や文字の視知覚訓練ばかりでなく、動的な対象の知覚を含めた視知覚訓練も今後必要であると考えられる。

次に、弱視者のEOGは晴眼者と比較して振幅が小さいことが観察された。図4でも明かなように、弱視者のパワーは正眼者と比較して小さいことがよくわかる。また、図6にみられるように全く眼球運動を記録できない被検者も認められた。おそらくこれらの現象は、種々の眼疾患によって角膜と網膜間の電位変化が小さいことによるものであると考えられる。視覚障害者のなかには、EOG測定に不適當な例のあることはこれまでも報告されている(Gross, Byrne, and Fisher, 1965)。図6に示したようにこの被検者の滑動性眼球運動は記録することができなかつた。これは眼球が静止していたことによるものではない。測定中に被検者の眼球は視標の運動に対応した滑動性眼球運動を行っていることが明瞭に観察された。このことはある種の眼疾患とくに網膜疾患にはEOG法が適用できないことを示している。図中に認められる大きな振幅は眼球運動ではなく、原因不明である。

眼球運動の測定にはEOG法の他にいくつかあり(石川・山崎, 1973)、それらの比較検討も行わ

れている(Lehtelä, 1981)。今後、E O G法以外の方法を適用して弱視者の眼球運動の特性を把握したいと考える。

文 献

- 1) Barraga, N. C. (1964) Increased visual behavior in low vision children. Research Series, No.13. American Foundation for the Blind, New York.
- 2) Gross, J., Byrne, J., and Fisher, C. (1965) Eye movements during emergent stage 1 EEG in subjects with lifelong blindness. Journal of Nervous and Mental Disease, 141 (3) : 365-370.
- 3) 濱本洋子・五十嵐信敬 (1979) 弱視児の視知覚に関する研究—視知覚の速さを中心として—, 視覚障害教育・心理研究, 1(1) : 11-15.
- 4) Herman, R., Maulucci, R., and Stuyck, J. (1982) Development and plasticity of visual and vestibular generated eye movements. Experimental Brain Research, 47 : 69-78.
- 5) 五十嵐信敬 (1966) 弱視児の視知覚に関する因子分析的研究, 盲心理研究, 14, 26-37.
- 6) 伊藤文雄・小松由紀夫・金子亘弘 (1980) 外眼筋における筋受容器とそれによる眼球運動制御機構, 日本眼科学会誌, 84(6) : 457-471.
- 7) 石川 哲・山崎篤巳 (1973) 神経眼科学最近の進歩——水平および垂直眼球運動系, 医学のあゆみ : 86 (7), 370-375.
- 8) Kephart, N. C. (1960) The slow learner in the classroom. Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio.
- 9) 木田光郎 編 (1982) 視空間行動と特殊環境の心理学, 環境心理学研究, 第5巻, 環境医学研究所第6部門, 名古屋.
- 10) 湖崎 克・渡辺千舟・古田效男・咲山 旭(1964) 弱視児の教育的措置に関する研究, その2. 弱視児の知覚測定を試み, 日本眼科学会誌, 68 (10) : 1353-1366.
- 11) 小松崎篤・竹森節子 (1983) 眼振図とり方・よみ方, 篠原出版, 東京.
- 12) Kowler, E. and Martins, A. J. (1982) Eye movements of preschool children. Science, 215 (19) : 997-999.
- 13) 黒川哲宇 (1978) 知覚, 大山信郎・佐藤泰正編, 視覚障害の教育と福祉, 図書文化, 東京.
- 14) 黒川哲宇・佐藤泰正 (1979) 弱視児の視能率について, 視覚障害教育・心理研究, 1 (1) : 1-10.
- 15) 小柳恭治・山梨正雄・千田耕基・志村 洋・山泉 浩 (1983) 視覚障害児のパターン認識の発達とその指導 (1), 国立特殊教育総合研究所研究紀要, 10 : 115-126.
- 16) Lehtelä, J. (1981) Differences in eye movement data recorded by electro-oculography and corneal reflection techniques. Human Factors, 23 (6) : 661-665.
- 17) Leigh, R. J. and Zee, D. S. (1980) Eye movements of the blind. Investigative Ophthalmology and Visual Science, 19 (3) : 328-331.
- 18) Lindstedt, E. (1977) The significance of disturbances of the motor system of the eye in low vision children. Child : care, health and development, 5 : 409-412.
- 19) 荻阪良二 (1973) 眼球運動と形態知覚, 講座心理学第4巻, 知覚, 東京大学出版会, 東京.
- 20) 小沢信治・谷村 裕 (1981) 視覚障害者の見え方のMTFによる分析—視力値との比較を中心として—, 視覚障害教育・心理研究, 2 (2) : 1-4.
- 21) 小沢信治・谷村 裕 (1982) 乾板型プレートによる空間周波数特性(MTF)測定の試み, 心身障害学研究, 6 (2) : 59-68.
- 22) 齊藤和良 (1979) 弱視児の知覚時間に関する一研究, 視覚障害教育・心理研究, 1 (1) : 16-19.
- 23) 佐藤泰正・黒川哲宇 (1983) 弱視児における拡大文字の効果について, 視覚障害教育・心理研究, 3 (2) : 11-15.
- 24) Stark, L. (1968) Neurological control system : Studies in bioengineering. Plenum Press, New York.
- 25) Sivak, B. (1983) A review of proprioception in extraocular muscles. American Journal of Optometry and Physiological Optics, 60 (6) : 530-534.
- 26) 高田邦安 (1977) 正常学童における視標追跡

- 試験, 脳と発達, 9 (5), 7-13.
- 27) 渡辺 叡 (1966) 眼球運動の制御機構, NHK技術研究所研究年報, 18, 20-42.
- 28) 渡辺 叡 (1971) 注視点と眼球運動, 応用物理, 40 (3), 330-334.
- 29) Yarbus, A. (1967) Eye movements and vision. Plenum Press, New York.
- 30) 山崎篤巳 (1977) Smooth pursuit eye movementの定量的測定法, 臨床眼科, 31 (9): 47-50.
- 31) 山崎篤巳 (1978) 眼球運動記録分析法に関する最近の知見, 眼科, 20: 347-356.

Summary

Smooth Pursuit Eye Movements of the Partially Sighted

Hideo Nakata

Smooth pursuit eye movements were studied with electro-oculography (EOG) in 3 sighted and 5 partially sighted subjects. All subjects were asked to follow a small, bright spot of light moving with horizontal displacement of 0.2Hz to 2.0Hz frequencies on a CRT display. The result was obtained that the ability to track a moving object was poor in the partially sighted. Their low visual function may be primarily attributed to eye disease, low visual acuity and narrowed visual field, and secondarily to a lack of oculomotor skills and visuomotor learning. One out of the partially sighted had no readable deflections of EOG as recorded in the standard manner during tracking a moving object. It was suggested that another method should be used to record accurate eye movements of the partially sighted.