

Analysis of Congnitional Eye Movements by Electro-Oculography

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Katagiri, Kazuo メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/20617

眼電位図法による認知的眼球運動 の解析について*

片 桐 和 雄

はじめに

ヒトの眼の動きに関する研究は古い歴史をもち、広範な領域にわたっている。今日、眼球運動を客観的に記録する方法は長足の進歩をとげ、研究目的に沿って光学的方法あるいは電気的方法のいずれかを選択することによって、比較的容易に多くの情報を得ることができるようになった。

眼球運動を分析対象としてとりあげている領域は広く、さらにその目的も多様である。心理学の分野では、視覚過程、さらにより高次な心理活動との関連において眼球運動が分析される。したがって、そこで主な対象となるのは比較的高い水準の複雑な眼の動きであり、関心は注視点の移動軌跡に集まる。記録方法もその課題に対応して、光学的方法が採用される。注視点と視覚刺激の重畳撮影をはじめとして、記録や解析の方法的改良が進んでいる。

眼球運動を電気的方法によって記録し、解析する分野に神経学がある。臨床的に眼位や眼球運動の検査がルーチンにくみこまれている。近年、心身障害との関係に関心もたれ、基礎的研究も含めて精力的にとりまかれているテーマに、神経眼科学における眼球運動パターンと脳障害部位との関係、小児神経学における脳損傷のひとつの重要な soft neurological sign としての眼球運動分析などがある。

心身障害学の立場から眼球運動研究を考えてみると、障害のメカニズムや状態像の把握、理解のために、神経学的、生理学的水準での研究

を進めるとともに、障害児の実際の療育・指導の面にかかわって、より高次な認知的場面における眼球運動を、低次な水準のそれとの連続として検討してゆく必要がある。

ところで、われわれはこれまで、主に知能障害を対象にして、その視覚系の活動について検討してきた。視覚系の最も要素的な機能としての「視野」から、より高次な視覚、視覚認知に至るいくつかの機能を取りあげた。この一連の研究において、眼球運動の客観的記録方法として、電気的方法、すなわち、眼球静電位を利用する眼電位図法 (Electro-oculography, 以下 EOG と略す) を採用してきた。この経験の中で、EOG による眼球運動分析が非常に有効であることを確認してきたが、それは主に、比較的低下水準での運動に関してあり、より認知的な水準での複雑な運動の場合に、EOG によってどこまで解析可能であるかという問題は残されたままであった。

本稿ではこの問題を、具体的な実験例にもとづいて検討する。なお、光学的方法との比較による両者の得失を論ずるのが目的ではない。したがってその点には直接ふれないし、一般的比較についてはすでに成書に詳しい。

EOG による比較的低下水準 眼球運動の記録・分析例

本題に入る前に、これまで経験した比較的低下水準における眼球運動を EOG によって記録し分析した例を 2 つほどあげておく。

* 昭和 53 年 9 月 16 日受理

第 1 の例は、反射的眼球運動を利用した他覚的視野測定を試みである。これは、視野内に視覚刺激が出現すると、これを中心視の状態にしておくために、眼の反射的運動が出現するという性質を利用して、通常の方法では視野測定できない対象にも適用しうる、より客観的な他覚的視野計測法を考案したものである。その意味では眼球運動そのものの分析を目的としたわけではない。しかしながら、すでに報告したように(片桐・松野, 1973, 中島・片桐・松野, 1977), このようなより低次の反射的眼球運動も、インストラクションや発達段階によって、発現様式が異なることなど、ヒトの視覚系の活動を考える上で興味ある知見を得た。この反射が最も要素的な眼球の運動機能として重要な意義をもつと

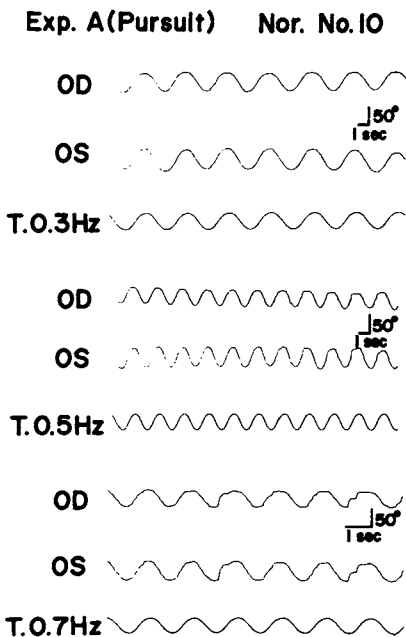


図 1 滑動性追従運動

15 歳児の記録例。ターゲットの運動速度 0.3 Hz (上段), 0.5 Hz (中段), 0.7 Hz (下段) の追従運動をみると, 0.5 Hz においてスムーズな動きの中に小さな衝動運動 (saccade) が混入しはじめ, 0.7 Hz になるとより大きな飛越運動によって追従を実現している。なお, この実験では運動における両眼の平行性をみるために, 単眼ずつ記録してある。

Exp. B (voluntary) Nor. No. 10

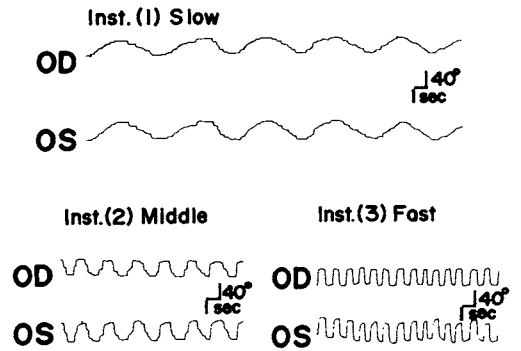


図 2 2 点間の随意的固視移動

視角 40° はなれた 2 点間を随意的に, できるだけゆっくり固視移動する (Inst.1), 中程度の速さで (Inst.2), できるだけ速く移動する (Inst.3) の三条件下における記録。被験者は図 1 に示すものと同じ。随意的の運動は衝動運動によってなされる。速度が高くなると, より小さな飛越によるサインウェーブパターンから, 大きな飛越運動へとかわり, ついには, 2 点間を一飛越によって交互注視するようになる。

考えられているので, より精度の高い分析が必要である。他覚的視野測定法という目的に限定すれば, 眼球運動はある程度長い時定数の交流記録 (運動方向の推定や時間的側面での確認が可能) でかまわないが, この運動の諸側面について検討するためには, 直流記録が不可欠である。われわれは, 直流記録によってデータを得たが, 反射運動の latency や飛越数, 眼球偏位角の大きさと停留時間との関係などについて, 主な傾向を指摘するにとどまった。

第 2 の例は, 眼球の衝動運動と滑動性追従運動の分析 (片桐・松野・小松, 1977) である。これは, 等速往復運動するターゲットを眼で追う場合 (不随意性の滑動性追従運動) と 2 点間を意図的に交互注視する場合 (随意性の衝動運動) の両者を記録し, 発達の視点から, また, それらの運動の支配中枢に関する知見 (Bach-Y-Rita et al., 1971) および脳障害の診断的意義 (筒井, 1973, 1976) との関連で検討したものである。この種の眼球運動研究では, EOG 直流記録という方法的有効性が遺憾無く

発揮される。すなわち、滑動性追従運動の臨界頻度の決定、視標速度と追従運動に衝動運動が混入する割合、あるいは追従の欠如(“さぼり”現象)等が明確に記録から知られる。さらに随意的眼球運動の動態も、同様に、そのパターンおよび時間的側面から十分に解析される(図1, 2)。

E O Gによる認知的水準の眼球運動の解析

一般的には光学的方法による記録をもとに分析されてきた、より認知的な水準での眼球運動について、E O G記録によって解析を試みよう。

ここでは、眼球運動のひとつの例としてパターン追視機能を取りあげる。これは、視覚情報の認識過程において基本的に重要な機能と考えられ、これまでよくとりあつかわれてきた。最近も発達の視点からデータが集積され、興味ある報告がなされている(野村・野口, 1973, 荒木, 1978)。認知的水準におけるより複雑な眼球運動と言うには、いささか単純な感じもする

が、はじめてのE O Gによる解析の試みにとっては、光学的方法による分析結果もあることであり、適当な材料であろう。

まず簡単に実験の概要を述べ、その後に具体的解析例をみることにする。

1 実験の概要

被験者：5～11歳の児童28人、これらの被験者には斜視、眼震および弱視等の眼球運動に影響を及ぼす障害はみられない。

刺激呈示装置：内面を黒色つや消し塗装を施した、アクリル製半球状空洞($r=450\text{mm}$)に光源として発光ダイオードがうめこまれたものを使用。観察距離450mmで光源の大きさは視角 $46'$ である。合計121個の光源は、セレクトボックス、点滅制御装置(IC使用)、発振器(日本光電製電子管刺激装置MSE-40使用)によって、その点灯位置・順序、発火時間、間隔等が自由に設定できる(なお、詳細は片桐(1977)参照)。

眼球運動記録装置：水平方向は左右各眼の外眼角より10mmの位置、垂直方向は片眼の眉上と眼下にE O G直流通電極(三栄測器製)を装着して電位変化を導出し、これを生体電気現象用直流増巾器(同社製1117型)によって増巾し、ペン書き記録(レクチグラフ8S型)した。なお、水平方向については微分波形も同時記録した。**光刺激呈示パターン：**図3に示す4種類。全被験者に光点の順次点滅時間1000msの課題を与え、結果をみながら、必要に応じて点滅時間を短縮した条件を追加した。

以下にいくつかの解析視点ごとに原記録をあげながら検討してゆく。

2 予知的眼球運動と Latency

複数の光点の順次点滅によって成るパターンを追視させる実験課題において、ひとつの重要な分析視点は予知的運動の出現の有無である。これは、パターンの複雑度(光点の数、規則性、光点点滅速度など)、反復呈示回数、被験者の発

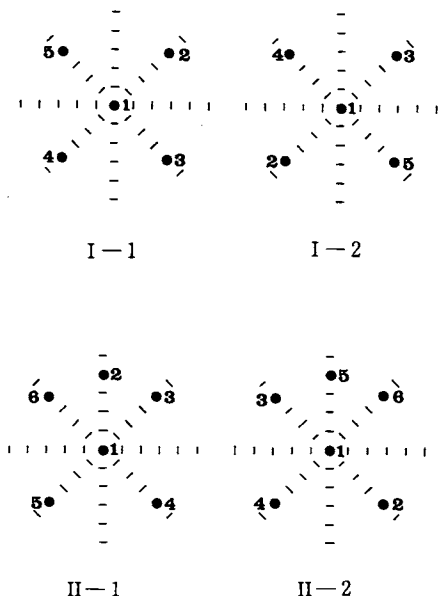


図3 4種類の刺激パターン

達段階などとの関係で検討される。視知覚過程、特に知覚像の形成過程をみる上で、非常に興味あるテーマである。

ところで、光学的方法によってこの問題を検討した諸報告をみて多少気になる点がある。それは、「予知的運動」とは、ある光点に対応する眼の運動が、その光点の点火前におこった場合として定義づけられていることである。もちろん、これまでの諸報告の各々の研究目的からすれば、特に問題はなかるうが、これまで比較的低位の要素的眼球運動を検討してきた者の立場からみると、やはり眼球の運動が実際に開始されるまでの時間的遅れ (latency) に注意を払わざるを得ない。それでは、このような問題意識をもちながら、これまでの研究で予知的眼球運動がかなり出現するようになると言われている 5 歳児の記録を検討してみよう。

刺激パターン I-1 を、点滅時間 1000ms の条件で、7 回反復呈示した結果である。その第 1 試行 (図 4-1)、第 3、4、7 試行 (図 4-2) の記録を示す。また EOG 記録から、光点が発火してからその光点に対応する眼球運動が生起するまでの時間を計測した結果を表 1 に示す (なお、予知的運動の出現と関連して、表中の負の値は点火前に運動が開始されたことを意味す

表 1 光点発火と運動開始のズレ時間 (ms) および予知的運動出現回数

試行\光点	2	3	4	5	予知的運動		
					A	B	C
1	380	400	200	200	0	0	0
2	320	180	-440	200	0	1	1
3	320	200	-520	220	0	1	1
4	200	-100	-240	200	2	2	2
5	160	-80	-380	/	1	3	4
6	160	160	-580	-240	2	2	4
7	200	-140	-640	-300	3	3	3

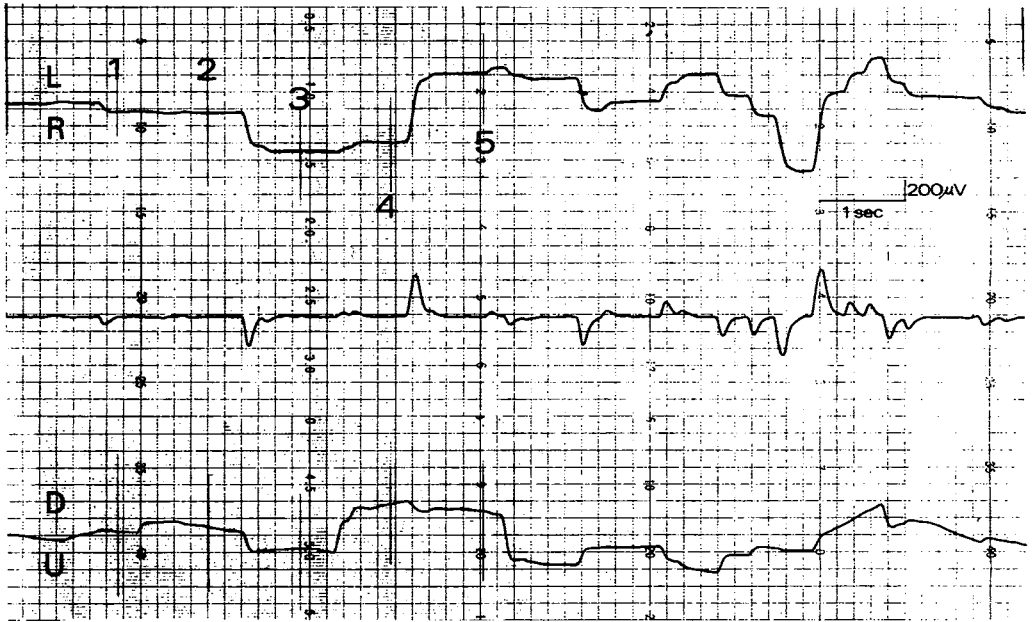


図 4-1 刺激パターン I-1, 1000ms 条件, 5 歳児第 1 試行

記録は上から水平方向、その微分波形、垂直方向である。数字は、光点の番号で、見やすいように、記録上にその発火時点を示した。なお、スペースの関係で記録チャンネル間の間隔は実際より圧縮されており、時標、刺激マーク等は省略してある (以下の原記録例についても同じ)。

る（本稿ではこれらをズレ時間と呼ぶ）。

この結果からまずわかることは、刺激パターンの反復とともに、ズレ時間が短縮し、さらに負の値、すなわち光点の発火前にそれらに対する眼の運動が生起するようになるという傾向である。これを、原記録に表現される実際の眼球の動きと対応づけながら分析してゆくと興味ある変化の過程がみられる。

第1試行を経て、第2試行に移ると、第3光点に対するズレ時間が短縮され、第4光点に対してははやくから正しい方向への探索的運動が出現している。しかしこれは第4光点発火後、2飛越を要して修正される。第3試行では、発火前の第4光点に対する運動はさらにはやく出現するが、まだ正しい位置をとらえるには至ら

ない。しかし修正の量は減少している。第4試行になると、第3光点発火とほとんど同時に視線は到達し、第4光点に対してもその発火前に一飛越で正しい位置をとらえている。第5試行では、第3光点に対しては、それにむかう飛越中に光点が発火し、第4光点に対しては完全な先まわりがみられる。なお第5光点に対して、発火前200msころから正しい方向への探索的動きが出現するが、記録上ズレ時間を計測するのが困難であった。第6試行では、第4、5光点に対する完全な先まわりがみられ、他の光点に対する運動のズレ時間もかなり短縮されている。第7試行になると、第3、4、5光点に対する予知的運動が明確に出現している。

以上みてきたことから、予知的運動を検討する際、特にそれを出現回数として問題にする場合、予知的運動をどう規定するかによって、かなり結果が異なることがわかる。ちなみに、予知的運動をA：光点の発火以前に、その光点位置をとらえる運動、B：光点の発火以前に出現する、その光点に対応する運動と規定した場合の各々の出現回数は、表1中に示すとおりである。

一般的にはBの規定が採用されているが、これも問題がないわけではない。すなわち、“その光点に対応する運動”として決定する主要な手がかりは、正しい方向へむかうということであり、これは既述のように、完全先まわりの前にかなり探索的運動がみられるわけであるから、偶然性との峻別はそう容易ではない。ただ、われわれの経験では、EOG記録をもとに、経過を追って飛越パターンや時間的側面を詳細にみることによって、かなり判定ができるとは考えている。

もうひとつの、ある意味ではさらに重要な問題は、眼球運動の latency がどれくらいかということである。この点については、これまで諸説があり、たとえば、300ms（池田，1975）とか、120～180ms（生井，1967）とか言われてきた。定説がないのは、実験条件のちがいが、すな

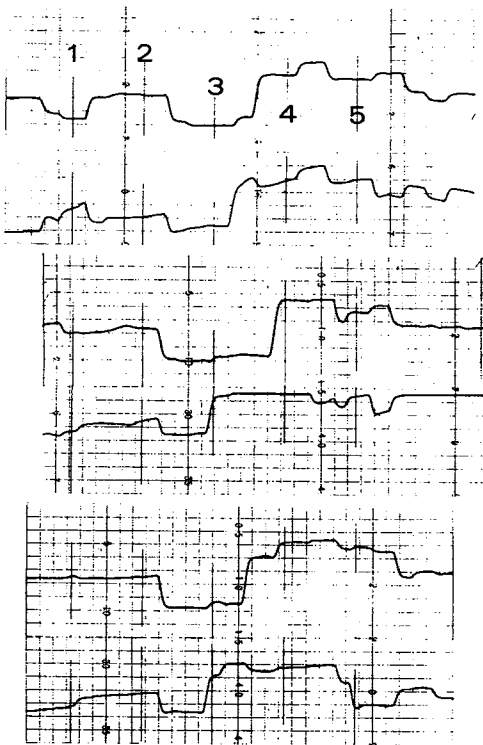


図4-2 第3、4、7試行

上から第3、4、7試行の水平および垂直方向の記録。各光点発火時点をタテにそろえて示してある。

わちいかなる水準における眼球運動をみているかにもよる。すでに指摘したように、たとえば比較的反射的性質の強い固視反射でも出現の様相が単純ではない。したがって本実験課題のような追視機能を考える場合は、さらに latency の決定は困難かもしれない。しかしこの点も今後の EOG 研究によって解析可能であろう。もし、latency を知りうれば、予知的運動の規定も当然変更されなければならない。試みに、ここで latency を 180ms に設定した場合 (C)、予知的運動の出現頻度も高くなるわけである (表1 参照)。

3 眼球運動パターン

EOG では眼球の 2 次元運動を水平および垂直の 2 方向にベクトル分解して記録する。この点がこの方法の最も大きな欠点と言われるところであるが、利用の仕方によってはむしろ有効な場合もある。たとえば、既述のように、滑動性追従運動と衝動性運動を問題にする際には、時間的側面での計測とあわせて、大いに価値あ

る情報を得ることができる。本実験においても、刺激の反復呈示の進行に応じた眼球運動の変化や個人差、年齢差などに関して、EOG パターン全体としてみることによって、色々な特徴を抽出することができる (もちろん、EOG 解読についての一定の経験は必要である)。

ここでは 1 例として、前にみた 5 歳児に刺激パターン II-1 を与えた場合をあげる (図 5)。第 1 試行では、運動は反射的性質が強く、わずかに大きな視角をとぶ際に数飛越するのと、探索的動きの際に衝動運動がみられるが、第 6 試行になると、予知的運動が顕著になり、それともなって典型的な随意的運動によって追視が実現されているのがよくわかる。

EOG パターンについては、速い眼球の動きを要求された場合にも特徴的な形状を示すが、これは後にとりあげる。

4 試行終了後の探索的、確認的運動

未知のパターン刺激を与えられた場合、それがいかなるものかを知るために、探索的に眼は

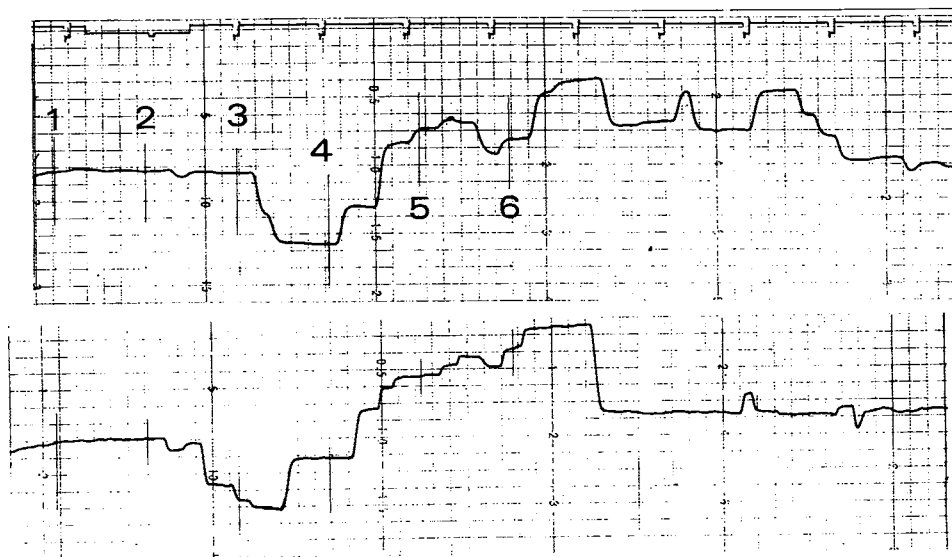


図5 刺激パターンII-1, 1000ms 条件, 第1および第6試行

上段が第1, 下段が第6試行の水平方向の運動の記録。時標は1sec. 各光点の発火時点をタテにそろえて示した。



図6 確認的運動の記録例

刺激パターンII-1, 1000ms 条件下における7歳児の記録で第3試行終了後に確認的な眼の動きが見られる。

動く。これは刺激呈示中でも、その前後でもみられるが、ひとつの試行終了後によく現われる。図4-1, 図5(第1試行後)にもみることができる。しかし、このような探索的運動は刺激パターンの知覚像の形成や予知的運動の増加にともなって減少してゆく(図5の第6試行)。この傾向は、EOG記録、特に角速度算出のための微分波形によって、運動回数としても容易に数量化してみることができる。

また、単なる探索運動ではなく、刺激呈示終了後にそのパターンの確認的運動がみられる。

この運動の特徴は、時間的に圧縮されていることである(図6)。

5 刺激の変化速度と追視

光点の順次点滅時間1000msの場合についてこれまでみてきたが、追視機能を考えるときには、刺激(視標)の変化(移動)する速度条件

が大きな問題となる。ここでは、点滅速度を高めた場合に、EOG記録上にどのように眼球運動がとらえられるか、いくつかの例をあげる。

先に記録をみてきた5歳児にパターンII-2を与えた。点滅速度1000msの条件で、かなり複雑なパターンにもかかわらず、第6試行で第3, 4, 5, 6光点に対する予知的運動がみられた。その後、時間条件を320msに変化させると、すでに予知運動さえよく出現したはずの刺激パターンに対しても、追視はかるうじて可能といった様相を示す(図7)。この例では、特に第4, 5, 6光点に対してはほとんど最少の停留時間しかみられず、そのうち第6光点に対しては、光の消滅後によりやくその位置の近傍に視線が到達したにすぎない。このような追視のEOGパターンは丸みを帯び、肉眼観察では視線のよどみない連続的移動としてうつり、パターンII-1の場合では円形追視に近くなる。

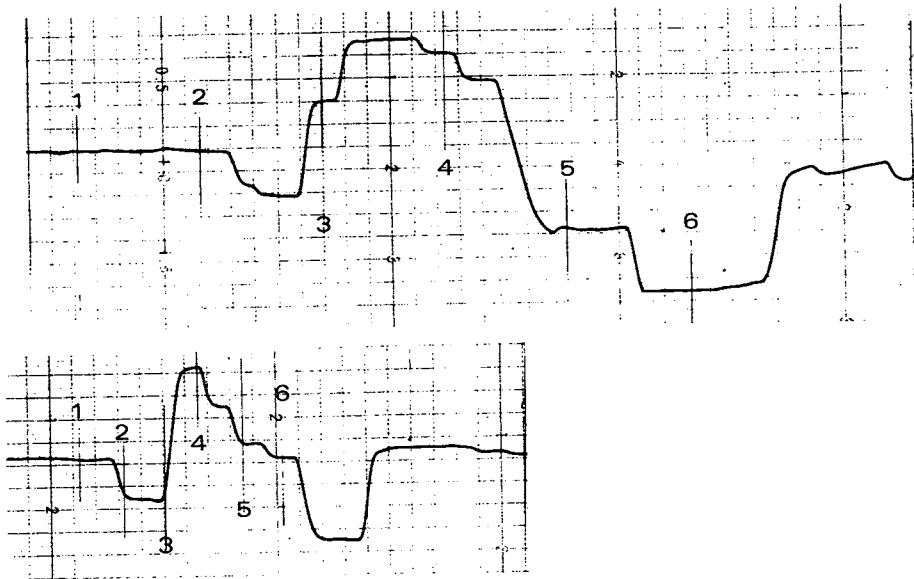


図7 刺激パターンII-2の1000msおよび320ms条件の比較

既出の5歳児の記録（水平方向のみを示す）で、上段が1000ms、下段が320ms条件。第1光点の発火時点をそろえてある。

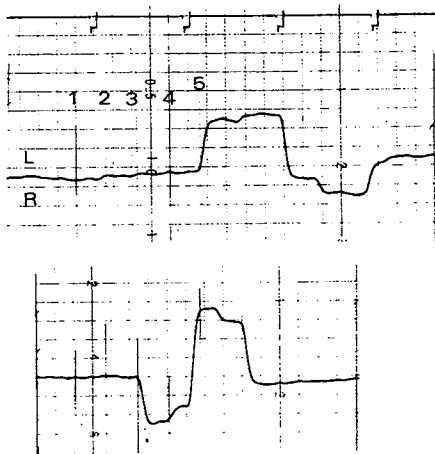


図8 7歳児の刺激パターンI-1, 320ms条件の記録

上段が第1試行、下段が第2試行（いずれも水平方向の運動のみを示す）である。時標は1sec.

次にあげる例は、はじめから光点の点滅時間条件を320msにして刺激を与えた場合である（図8）。第1試行では運動の欠如がみられ、探索的運動が後に続く。第2試行になって追視的運動が現われるが、完全な遅れを示す。たとえ

ば、第2光点にむかう運動は第3光点発火時（つまり第2光点消灯時）にはじまり、第4光点にむかう運動も、同様に、点灯中にそれをとらえることができない。

ここで、7歳児に刺激パターンII-2を、4つの時間条件で追視させた記録をまとめて示しておく（図9）。なお、試行は光の点滅速度が最低（1000ms）のものから順に速度が高いものへと移行し、各時間条件で2～6試行反復した。記録には、まず、EOGパターンの変化が明白に現われている。速度が増すにつれて丸みを帯び、部分的な運動の欠如（「さぼり」）がみられるようになる。320ms条件では光点を点灯中にとらえることが次第に困難になり、250msではできなくなる。そして、これは後に問題にすることとも関係するが、速度が増すにつれて、実際に眼球が動いた視角の大きさ（記録上は振巾の大きさ）が減少している。このことは、運動の方向は正しいが光点位置を固視していないことを意味する。本実験課題のように、追視すべきパターンを構成する光点が、ほぼ中心視野内に

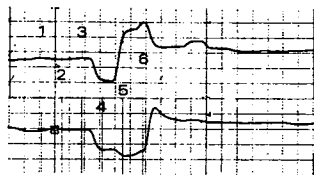
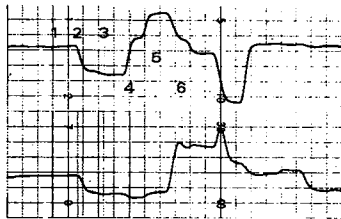
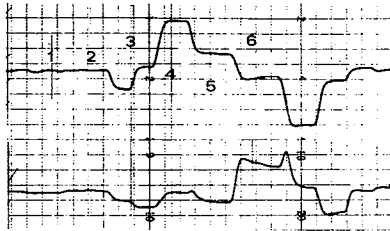
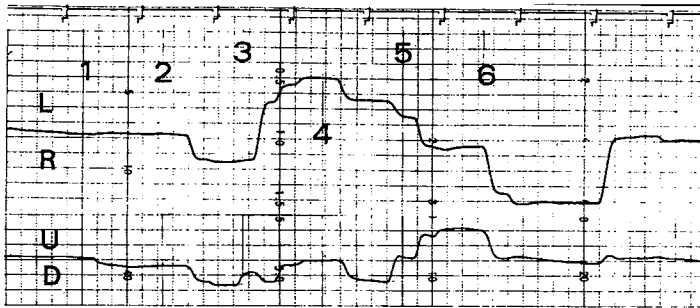


図9 点滅時間4条件におけるEOGの比較

7歳児の刺激パターンII-2の場合で、記録は上から1000ms, 500ms, 320ms および 250ms 条件での水平と垂直方向の眼球運動を示す。第1光点発火時点をタテにそろえてあり、時標は1sec.

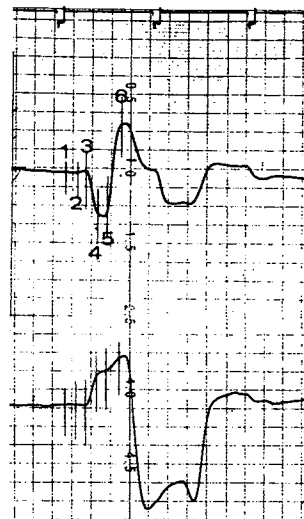
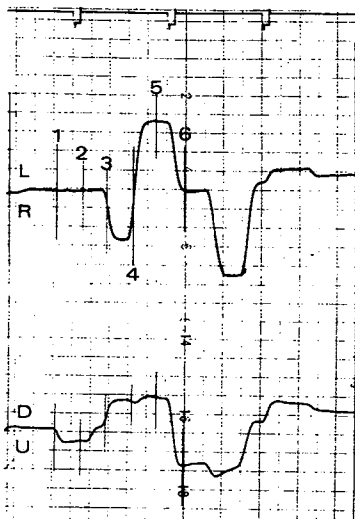


図10 11歳児の250ms および 100ms 条件での記録例
刺激パターンはII-2。左が250ms, 右が100ms 条件における眼球運動の記録 (水平, 垂直方向)。時標は1sec.

位置する場合には、その点滅速度が高い条件下では、一定の運動 latency, 運動時間, 停留時間を要する眼球運動によって実現される追視は、必然的にそのような形態をとらざるをえなくなる。

追視機能にみられるこのような現象は、当然のことながら、視機能の成熟段階によって異なった現われ方をする。11歳児の刺激パターンII-2, 光点滅時間 250ms, 100ms の記録をあげておく(図10)。この発達段階になると、250ms 条件でも、前の例にくらべると、かなり追視的機能に向上がみられる。すなわち、第2, 3光点に対する運動は各々の点灯中に開始されている(もちろん、点灯中にとらえることはできない)。しかし後続の第4, 5, 6光点に対しては、もはやその光点の消灯後にしか運動はおこらない。EOGパターンをみても、光点位置の近くまで注視点がとんでいるのがわかる。さらに点滅速度を高くした場合はどうか。

100ms という条件では、言うまでもなく、きちんとした追視は不可能なのであるが、その記録をみてみよう。EOGパターンとしては、前にみた7歳児の250ms 条件下の記録よりむしろ適確な形状を示している。しかし時間的には、第2光点に対する運動が第3光点発火時に生起しているだけで、第3光点にむかう運動中に、すでに最後の第6光点が発火している。

このように、追視機能を見る場合、刺激の変化する速度という要因が大きな意味をもち、特に発達の視点からの研究であればより重要な検討課題である。

おわりに

EOG記録をもとに、認知的水準の比較的複雑な眼球運動をみてきたが、本実験課題のごとき水準であれば、EOG記録によって十分解析しうると考えられる。したがって、これまで実施してきたような反射的性質の強い低次の眼球運動から、より高次の運動まで、一連の実験・

検査課題として設定し、まとめてEOG解析が可能となる。また、方法論的に、EOGはデータレコーダに磁気記録し、これを必要に応じて繰り返し再生しうるし、医用電子計算機等によって諸側面を自動解析できる。これらの利点を考え合わせると、EOGによる眼球運動研究によって、今後さらに多くの貴重な資料を得ることができよう。

ところで、これまでの記録の解析例の紹介の中で詳しくふれなかった問題点を指摘しておく必要がある。それは、EOGでは眼球の動きを水平と垂直の二方向にベクトル分解して記録するということと、眼球の偏位角と発生電位との相関というEOG法の本質から派生する2点に関係している。この問題は、眼前に出現した視覚刺激を視線によっていかにとらえているか(注視点とその移動)、をみる場合、本実験課題に即して言えば、連続的に点滅する光点を中心窩でとらえているか否か、を検討する場合に問題になる。いわゆる光学的方法では、注視点の移動と刺激位置・輪郭との重畳撮影によってこれは容易にチェックしうるが、EOGでは眼の動きをベクトル分解して記録するため、即座にはわからない。記録上の水平、垂直両方向の眼の偏位角を合成し、それによって運動の方向と距離とを推定することになる。この作業は、視察でも慣れるとそうやっかいなことではなく、本実験課題に用いた、視野内8方向に位置する光点による刺激パターン程度であれば、雑音の混入しない直流記録をもとに、ほぼ正しい推定ができる。

しかし、これはあくまで推定であり、刺激像が中心窩におちているか否かの確実な判定ではない。ここで眼球の偏位角と発生電位の関係が問題になる。これについては古くから検討がくりかえされ、今日では、第1眼位から視角40°の範囲では両者に直線性ありとみてよく、定量化しうる、というのがほぼ定説となっている。われわれの経験でも、成人を対象とした結果では、個人差はあるものの、40°まではほぼリニアリ

ティーが認められた。したがって、この範囲では、記録上の振巾から偏位角を算出することによって上述の問題は一応解決しうる。ただ実際的な問題としては、あくまで推定であるから、注視点位置とその移動軌跡を高い精度で解析することを前提とするような研究には、当然のことながらEOG法は採用できない。

さて、単純に考えれば、分解された二方向の動きはベクトル合成してやれば2次元の運動に復元できるはずである。元来EOGは電気的変量を導出しているわけであるから、方法的にも容易なはずである。われわれもかつて、高感度X-Yレコーダを用いてベクトル合成を試みた。その結果は、確かに2次元運動の軌跡を描くのだが、歪みがあって実際の視線の動きとズレが生じた。これは、同じ大きさの視角分を移動しても、水平にくらべ垂直方向では発生電位が低くなる傾向にあるためである。この点は、解剖学的な眼球周囲組織の非対称性によることがわかっている(上野山・他, 1963b)。

しかしなお、平面上を複雑に運動する眼の動きを電気的方法で解析すべく、方法的開発の試みは続けられている。たとえば、上野山ら(1963a)は、互いに直角方向の2誘導の電位変動を、X-Yオシロスコープを用いてブラウン管のX軸並びにY軸の偏向板にかけて合成し、リサーチ波形を描かせている。それによって、おおよそ満足しうる結果を得たという。この面におけるより精度の高い記録方法の改善が期待される。

これまでの検討を通して、EOG法によって一定程度の被雑な眼球運動の解析は可能であること、そしてその解析において、EOG法の利点を十分に生かせる、と言うことができる。

色々なタイプの障害児の発達と障害に関する客観的データの収集とその診断的意義の検討という点からも、視覚系の機能をみてゆくことは大変意義がある。その中で、EOGによって低次で要素的な水準からより高次な水準における

眼球運動を一連のものとして記録・解析しうれば、この方法が果す役割は一段と大きなものになるであろう。

引用文献

- 荒木穂積, 1978, 幼児期における視知覚の発達過程について, 京都大学教育学部紀要 X X IV 101—112.
- Bach-Y-Rita, P., Collins, C. C., & Hyde, J.E. 1971, *The Control of Eye Movements*. Academic Press.
- 池田光男, 1975, 視覚の心理物理学, 森北出版.
- 生井 浩, 1967, 固視反射, 勝木(編) 感覚の生理学(生理学体系IV) 医学書院. 476—477.
- 片桐和雄・松野豊, 1973, 視覚系の活動の発達と障害(2), 眼球運動反射とその受容野, 日本心理学会第37回大会発表論文集, 212—213.
- 片桐和雄・松野豊・小松秀茂, 1977, 視覚系の活動の発達と障害(3), 眼球の衝動性運動および滑動性追従運動について, 日本心理学会第41回大会発表論文集, 870—871.
- 片桐和雄, 1977, 小児および障害児の視野計測—他覚的測定を試みとその方法論的検討—金沢大学教育学部紀要 Vol.25 (教育科学編) 29—38.
- 中島和夫・片桐和雄・松野豊, 1977, 知能障害児の反射的眼球運動と他覚的視野測定の試み, 特殊教育学研究, Vol.15, 14—22.
- 野村庄吾・野口伸一郎, 1973, 眼球運動をとおしてみた認知の発達とその障害(II), Z字追視運動と発達遅滞児における問題点, 京都教育大紀要A, Vol.42, 53—67.
- 筒井純・深井小久子, 1973, 眼球運動図と脳障害, 植村・加藤(編) あすへの眼科展望('72~'73), 金原出版, 227—253.
- 筒井純, 1976, 眼球運動検査の診断的意義, 加藤・植村(編) あすへの眼科展望('76), 金原出版, 56—71.
- 上野山謙四郎・上野山典子・飯沼敏, 1963 a, ベクトル眼電位図による2次元眼球運動記録の試み, 日本眼科学会雑誌, Vol.67, 178—184.
- 上野山謙四郎・上野山典子・飯沼敏, 1963 b, ベクトル眼電位図による正常人瞥見運動の二次元分析, 日本眼科学会雑誌, Vol. 67. 1021—1027.