

## 眼球運動測定法雑感

北里大学医学部 鷓飼 一彦

ここは、さろんですから、前の方の解説という硬い場所では書けなかったことを、解説を執筆された方々に代わって書いてみたいと思います。ちなみに、私も、この解説で取り上げられたすべての眼球運動測定法を経験したことの一人です。

サーチコイル：高木さんはかつて自作の磁場発生コイルを作られ、現在はオランダのスカラー社の製品を使われているそうです。我々は、高木さんの解説にもありました、Remmel のものを購入しました。アメリカからついた製品を開梱してみてもびっくり、でてきたのはアルミの角パイプで作る（自分で組み立てる）キューブの枠組みだけです。よくみるとキューブを構成する四角形のコーナーのうち三箇所はアルミ板で止めるようになっているのですが、残りの一箇所はアクリル板で止め、少し絶縁ギャップができるようになっています。実はここに電流を通し、この枠を一回巻のコイルとみなすのです。アンプの箱も手づくりで、上から見ると台形をしています。とてもシャーシとは呼べないようなアルミ板を曲げて作った箱です。価格は送料込みで4チャンネル（1チャンネルで水平垂直とれます。回旋用にもう1チャンネル有る訳です。それが両眼で4です）で50万円もしないで異常に安いのですが、それにしてもよくこんなものを平気で売るなあというのが第一印象です。

ところが実際測定してみると感激、きれいに眼球運動が測定できます。アメリカ人の合理主義とはこういうものだという解説が横から入りました。ドリフトがない、キャリブレーションに水平垂直の差がない、個人差がないというのは何と楽なことか。被検者が目をつむっていても正確にとれるし。これでコンタクトが痛くなければ理想的なのですが、いろいろな大学からいろいろなコンタクトレンズ屋さんが頼まれて痛くないレンズを試作中という話が漏れてきます。本誌に作ると書いてしまった高木さん頑張ってください。価格の方もよろしく。今使っているコンタクトはスカラー製の Collewijn の物ですが、回旋測定用のものを20個も頼んだら本体より高くなってしまいます。

日本でも、演算子工業というところでコイル装置を作っていますが、実に丁寧なつくりで、まるで芸術品です。その代わり、フル生産でも一年で2台くらいではないでしょうか。Remmel のは納期も非常に短かったですけど。どちらも、一人で会社をやっている（と思われる）という点では共通ですが、他の点では対象的です。

さて、このサーチコイル、被験者は枠の中に入らなければならないのですが、屈まないといれませんが、リード線付きのコンタクトを入れた後で移動するのは大変な苦痛です。コイルを天

井からつるして、入るときには引っ張り上げるという案もでした。我々のところでは、結局、Remmelさんの合理主義を見習って、枠の下部のアルミ一本をいったん切り取って、あとで一端を蝶番で止めもう一端は受けをつけました。要は電気さえ通ればいいだろうと。入るときはこの一本を持ち上げてしまえばキャスター付きの椅子に座ったまま入ることができます。これもコイルが枠兼用の一回巻だからできたことでしょう。

**眼底像解析：**私の知っている範囲内で最初に眼底カメラに視標を入れて遊んでいたのは畑田さん。もう、20年位前の話です。眼球光学系のMTFを測るためにチャートを眼底に投影していたのです。ウルトラアイでもよく眼底像に文字など投影していました。文章を読むときの眼球運動のデモとしては見ててよくわかるということでしょうか。最近ではトライ&トライのあと番組「くらべてみれば」の第1回「近視になる子、ならない子」(NHK総合4月1日放映)でも使っていました。目的は眼球運動の測定ではありませんが、ビデオの静止画像を一枚一枚見てという方法で眼球運動の測定に使うと時間のかかること。特に我々は人海作戦でやりましたから、画像解析はコンピュータの発達次第でいくらでも速くなりそうですから将来性は十分だと思います。なお、一時話題になったレーザースキニング眼底鏡ができたときにも、さっそく眼球運動に応用した例があります<sup>1)</sup>。視標の投影は走査しているレーザー光の断続で行います。網膜上でどこで見ているかがわかるのはこの装置の独壇場です。もっとも赤外での眼底像はもやもやとした感じで中心窩がどこなのか、今一はっきりしません。おまけにTVというの

は、普通の時にははっきり見えていた例えば血管などの細かい像が、一コマずつ見るとざらざらのまったくひどい画像となってしまいます。

(もやもや) x (ざらざら) ですからねえ。

**リンバストラッカー：**昔は強力な赤外LEDがなく、模型機関車のヘッドランプに使う米粒球(麦だったかな?豆球より小さいタングステン電球)を、安定化電源として自動車用のバッテリーで点灯するという方法を当時神戸大学にいらした丸尾先生におしえてもらったのは約10年ほど前でしょうか。その後、早稲田にいた久米君にLEDを高速で点滅させフォトセンサーからの信号のうち同じ周波数成分だけをとりだして増幅するという方法をおしえてもらいました。ところがS/Nを計算すると確かに他の(比較的速い)周波数成分を持つ外光に対しては改善されるのですが遅い周波数成分の外光に対しては改善されません。むしろ、LEDが連続点灯ではなくパルス点灯されて、強い電流をながしても平気であるため光量が大きく取れるという効果が強くなります。それならということで、後から真似するものの強みで、手に入れられるもののなかでもっとも強力な(もちろん十分小型でという条件付きですが)赤外LEDを市販品から捜して、北里大のME室の田中館さんに作ってもらったリンバストラッカーは、チョップしなくてもS/Nはよく、従来のものと比べて装着が容易で、かつ最小3分ぐらまでの固視微動が簡単にとれてしまうのには感激でした。眼科臨床用にも使えるようにということで検眼枠の内側に素子を付けてしまい、矯正レンズが使用できるというのも強みでした。最近ではLEDとフォトトラをベアード同一パッケージにいたれたフォトレフレクターも強力な物が入手

できるようになりました。本号の記事にある井上さんの使っているのはこのタイプです。結局、リンバストラッカーの性能は小型赤外LEDのパワーが強くなるにつれ良くなってきたように思います。

冬の研究会の一般講演で報告のあったNHKのグループ(森田さんの発表)のデータは、両眼の視線の交点を計算されてますが、この計算はちょっとした測定誤差で大きく狂ってしまいます。ドリフトの大きくなりがちなりンバストラッカーでは、瞬きはおろか、たとえば涙の膜がスーッと動いても問題となってしまいます。よほど安定化された装置と、じゅうぶん教育された被検者の組み合わせで、初めて可能となるデータで、測定された皆さんに敬意を表します。ただし、これは、いわゆるチャンピオンデータ・オリンピック記録であると考えておいたほうが良さそうです。

ところで、この装置の原理は、井上さんが書かれているとうりなのですが、現実問題として、LEDの発光角やフォトトラの受光角の特性、角膜や強膜部分の反射特性を十分に解析せずに、適当に作ってもけっこうそれらしい眼球運動波形がとれてしまいます。それで満足をしてはいけな、と本会代表の池田先生にしかられたのはいつのことだったでしょうか。実際、角膜部分からはその奥にある虹彩からの反射(特に日本人のような茶目は赤外光をかなり反射する。通常の瞳孔計はこれを利用する)があり、角・強膜の境界を捉えているのか、瞳孔縁を捉えているのかわかりません。瞳孔運動の影響を受けるのは確かです。逆に瞳孔のサイズも同時に測定する装置<sup>2,3)</sup>も報告されています。ただし、これを製品化したもの(スカラー製)にはこの

機能はないようです。このほか、強膜・角膜両者には鏡面反射成分も多く存在するため素子の取り付け位置の問題は相当複雑です。いまだに、宿題となっております。

なお、日本の眼科医の間でだけは、この装置はPEOGと呼ばれています。国外では通用しないようです。逆に、彼らにはリンバストラッカーといってもわからないようです。

**角膜反射:**私も色々なタイプのプルキンエ像をとらえる装置を試してみましたが、最初の失敗は、暗いところで光源を一個用意して目にあてれば、もっとも明るい反射光を作るのはプルキンエ像だと思ってしまうことにあります。奥山さんも書いておられますが目尻の部分にかなり強い反射があります。したがって、TV信号の最大輝度を取るというハードだけではうまくいきません。また、分解能を上げるためにはTV画面をいっぱい使うしかなく、離れたところから長いレンズで眼の位置を探すのに大変な苦勞をしたことがあります。

TV信号から輝点の位置を測定するには、いくつかの工業用製品や運動機能測定装置が市販されていますが、私は浜松フォトニクスのパースプトスコープが便利かと思います。現行の製品はセットアップを変えるだけで面積計にも使えます。簡単に瞳孔計に化けてしまいます。もっともパソコン用のTV画像入力ボードが(消耗品として購入できるほど)安くなりましたので、腕に自身のある方は自作するのが良いかも知れません。

奥山さんの書いておられるATRのグループ(伴野ら)の画像処理を利用した視線検出法は遠方から眼球運動が測定できる方法です。最近、発売されたトプコン製小児用屈折スクリーニン

グ装置は、1.2mの距離からTV画像解析を使って屈折値を両眼同時に求めるとともに、角膜反射光と瞳孔中心の位置ずれを0.1mm程の精度で解析します。瞳孔面積も内部では計算しているとのことで、私のところではこれも表示してもらうようお願いしました。したがって、被検者から離れたところから調節・輻湊・瞳孔の近見三要素を同時に測定できることになります。現在、一画像の解析に相当な時間がかかることと研究用に使うには精度が問題なことから、使用波長が赤外というよりは赤色であることから、すぐに実用化はむりですが、自由な行動時の眼球運動解析方法の将来の本命はこのあたりにあるのではないのでしょうか。さらに、余談になりますが、瞳孔というのは大きいときと小さいときで中心位置がずれることがあります。この点は問題になりそうです。

**アイカメラ：**吉本さんも使っておられるナックの今の製品は速い眼球運動をとれるようにというユーザーの声により、センサーがTVではありません。前の型は視野を捕えるのも角膜反射光を捕えるのもそれぞれTVカメラを使っていました。高速眼球運動はTVレートのサンプルですから無理でしたが、アライメントがTVで見ながらやるのでじつに楽だったように思います。結局、位置合わせなのですが、「目で見ながら」行なう位置合わせが非常に楽だというのは視覚の優位性を示しているようで、そりゃそうだということになります。新しいタイプは吉本さんも書いておられるように回転楕円面を使っています。実にユニークで、まるで「トンボのめがね」です。ただし、両眼間の距離の調整が困難で改善が望まれます。

NHKにウルトラアイ、トライ&トライとい

う番組がありました。よくアイカメラが使われていました。自動車運転時などの眼球運動が調べられていたと思います。わたしはこの番組が好きでした。子供の頃には「四つの目」なんていう番組がありましたっけ。

以上、とりとめもなく、勝手な話を書きました。付き合ってください、ありがとうございます。

## 文 献

- 1) G. T. Timberlake, M. A. Maister, R. A. Augliere, E. A. Essock and L. E. Arend: Reading with a macular scotoma, (1) Retinal location of scotoma and fixation area. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **27**, 1137-1147, 1986.
- 2) J. P. H. Reulen, J. T. Marcus, D. Koops, F. R. de Vries, G. Tiesinga, K. Boshuizen and J. E. Bos: Precise recording of eye movement, the IRIS technique part 1. *Medical and Biological Engineering and Computing*, **26**, 20-26, 1988.
- 3) J. P. H. Reulen, J. T. Marcus, M. J. van Gilst, D. Koops, J. E. Bos, G. Tiesinga, F. R. de Vries, and K. Boshuizen: Stimulation and recording of dynamic pupillary reflex, the IRIS technique part 2. *Medical and Biological Engineering and Computing*, **26**, 27-32, 1988.