

Purkinje 像を利用した眼位計測の研究

第1報 新しい眼位計測装置の試作

渡 辺 聖

岡山大学医学部眼科学教室

要 約

Purkinje 像 (I・IV 像) を利用した新しい眼位計測装置を試作した。この測定法では角膜前面と水晶体後面の反射光である Purkinje 像を利用した。赤外線カメラの前にクロスフィルターをつけることにより I 像から交叉線を導いた。I 像からの垂直線と IV 像とを重ねることにより、被検眼の光軸を得、光軸の角度測定から、眼位の計測を行った。本装置は精度的には $\pm 0.1^\circ$ まで測定可能であり、最大誤差も $\pm 0.5^\circ$ 未満であった。本装置を用いた眼位計測は、内斜視、外斜視患者において測定結果を容易に得ることができ、従来からのプリズムカバーテストとの相関も良く、決定係数 (R^2) は 0.941 であった。この眼位計測装置は、水平方向に関しては角度をより正確に測定できるため、従来の方法 (プリズムカバーテストなど) に比べ他覚的であり有用であった。(日眼会誌 97: 851—856, 1993)

キーワード: Purkinje 像 (I・IV 像), 眼位計測, 計測精度, 赤外線フィルター, プリズムカバーテスト

Measurement of Ocular Position Using Purkinje Images

Part 1. A New Measurement System

Sei Watanabe

Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School

Abstract

I developed a new system of measuring ocular position using the first and fourth Purkinje images. This method used two images which were reflected from the front surface of the cornea and the back surface of the lens. I got a cross line from the first Purkinje image by putting a cross lens filter in front of the infrared camera. When I superimposed the vertical line upon the fourth image, I could get the optic axis of the eye. In order to measure the ocular position, I measured the angle of the optic axis. The accuracy of this system was $\pm 0.1^\circ$ and the maximum error was smaller than $\pm 0.5^\circ$. Measurements with this system were easily obtained from squint patients and correlated well with results from the prism cover test (R^2 : 0.941). This measurement system was more useful than the prism cover test because I was able to measure horizontal deviations more precisely. (J Jpn Ophthalmol Soc 97: 851—856, 1993)

Key words: Purkinje images (I・IV), Ocular position, Accuracy, Infrared rays filter, Prism cover test

別刷請求先: 700 岡山市鹿田町2-5-1 岡山大学医学部眼科学教室 渡辺 聖

(平成4年11月18日受付, 平成5年3月4日改訂受理)

Reprint requests to: Sei Watanabe, M.D. Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School, 2-5-1, Shikata-machi, Okayama 700 Japan

(Received November 18, 1992 and accepted in revised form March 4, 1993)

I 緒 言

現在広く行われているプリズムカバーテストには幾つかの問題点¹⁾がある。まず手技的にある程度の熟練を必要とし、検者により多少の差がでる傾向にある。また、パープリズム、ブロックプリズムともに測定がデジタルで、偏位角が中間にあるような場合さらに手技的に困難になる。一方、角膜反射による斜視角の他覚的測定法としては、Hirschberg 法、Krimsky 法が一般的であるが、偏位角の定量に関しては、頭部の固定、固視の持続、単位偏位量当りの換算値の決定や、Krimsky 法ではプリズムを使用しなければならないことなど、精度を求めると多くの問題がでてくる。Purkinje 像（今回は角膜前面と水晶体後面の反射光である I・IV 像を用いた）を利用した眼位計測は以前から報告がある^{2)~4)}が、いまだ一般的なものではない。今回、従来の方法³⁾⁴⁾よりはるかに精度の高い、Purkinje 像（I・IV 像）を利用した水平方向のみの眼位計測装置を試作し、その測定精度を調べた。また、従来から広く用いられているプリズムカバーテストとの相関についても調べた。

II 実験方法

1. 対象

斜視のない健常成人男女 10 人ずつ計 20 人（18 歳～25 歳、平均年齢 19.8 歳）を対象とした。いずれも裸眼視力は 1.0 以上あり、視標が十分に認識できた。この実験群は本装置の精度を調べる目的で採択した。また、2.5 m 前方の視標を注視してもらうため、裸眼視力の良好な被検者を選んだ。次に、内斜視および外斜視の患者 23 人ずつ計 46 人（内斜視 4 歳～40 歳、平均年齢 11.5 歳、外斜視 4 歳～71 歳、平均年齢 15.1 歳）を対象とした。いずれも裸眼視力は 0.7 以上あり、視標は十分に認識できた。この実験群は、プリズムカバーテストによる計測値と、本装置による計測値との相関を調べる目的で採択した。前記と同様に、2.5 m 前方の固視目標を注視してもらうため、裸眼視力の比較的良好な被検者を選んだ。今回の斜視患者の中には、数人に軽度の垂直方向の眼位のずれが認められたが、計測に支障はなかった。また、これらはすべて共同性斜視の患者である。以上で述べた健常者と斜視患者のすべての被検者に対して、本実験の目的と方法、考えられる危険性などを説明し、検査の同意を得た。

2. 実験装置

本装置の概観と構成のブロック図は図 1、2 のとおりである。被検者の頭部固定には、検査方法の簡便化のためバイトブロックなどは使用せず、顎台とヘアーバンドとで行った。眼球の回旋点が装置の回旋軸と異なる場合、眼球の回転によりモニター上で水平および前後方向の偏位が認められるので、測定上支障がないように補正して測定を行った。実際、被検者によっては計測中に水平方向のずれが多少認められたが、測定結果には明らかな差はなかった（図 1、2）。

眼球内における Purkinje 像は、I～IV 像の順にそれぞれ角膜前面、角膜後面、水晶体前面、水晶体後面での反射像を指している。それらのうち、有水晶体眼では I・IV 像が明るく観察に適している。

本装置の測定には、検査距離により誤差範囲の変化しやすい三角法ではなく、最も誤差の少ない 0 点法を用いた。まず、被検者に 2.5 m 前方の目標を注視してもらい、そこで測定上の 0 設定をした。次に偏位後に眼位を測定し、変化量の絶対値で表した。計測時には I 像と IV 像を重ね合わせやすいように CCD カメラのレンズ部分に特殊なフィルターを加えた。これにより、I 像からは垂直および水平方向に 2 本の輝線が生じ、II 像の位置が合わせやすくなっている。駆動系にはス

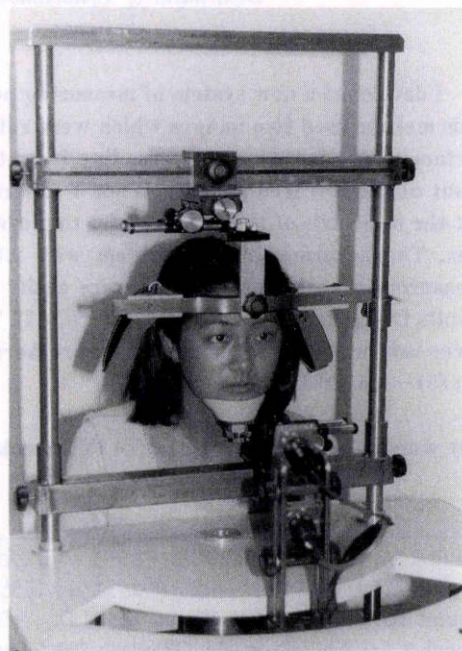


図 1 装置の概観。

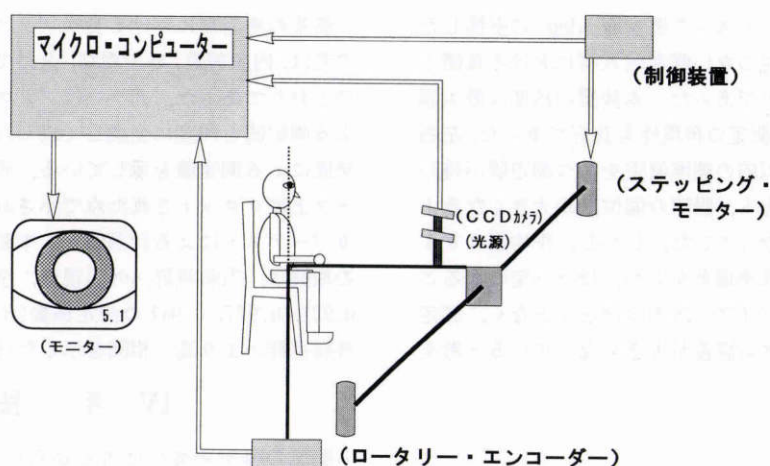
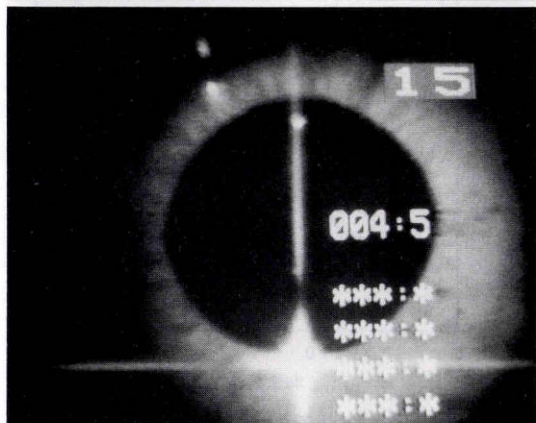
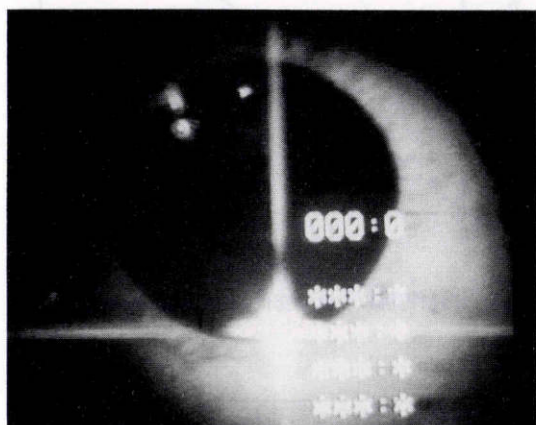


図2 構成のブロック図.

テッピング・モーターが使用されており、その動きはロータリー・エンコーダー⁵⁾からマイクロ・コンピューターを介してモニター画面に表示される(図3)。



計測に用いた赤外線は、ANSI(米国規格協会)規格に適合しており、人体への影響は極力少なくなるようになっている。

3. 実験手順

斜視のない健常成人群では、2.5 m 前方の水平方向に5°間隔(左右25°の範囲)に設置した固視目標を注視させこれを真値とし、これと本装置で計測した眼球の偏位角度の差を検討した。斜視患者群では、2.5 m 前方の正面に設置した固視目標を偏位眼で注視させておき、次に偏位眼を赤外線フィルター(HOYA IR-76,800 nm で透過度86.2%)によりカバーし、斜位角を含んだ全偏位角を測定した。これと交代プリズムカバーテストで計測した斜視角とを比較検討した。プリズムカバーテストによる眼位測定精度をあげるため、同時プリズムカバーテストではなく、交代プリズムカバーテストを行った。そのため、前述の赤外線フィルターを使用した。測定はすべて同一人(筆者)が行った。

III 結 果

眼位計測装置による測定値は、5回計測した後、最大値と最小値とを除外し残りを平均した。プリズムカ

図3 モニター画面.

I 像から垂直方向に伸びている輝線と、IV像とを重ね合わせるように駆動系を動かすと、画面右下のデジタル表示の数字が0.1°の単位で変動する。図中の:は小数点の位置を示しており、004:5は4.5°をあらわしている。また、下段右上の15は記録装置に取り込まれた画像の番号を示す数字である。

パーテストでは、プリズムの値を度(deg)に変換した後に平均した。斜視のない健常成人群における真値との差は図4のとおりであった。本装置の精度は最大誤差も $\pm 0.5^\circ$ 以内で、測定の再現性も良好であった。左右 25° の範囲で、 0.4° 以内の標準偏差をもつ測定値が得られた。左右両方向とも、眼球の偏位角が大きくなると標準偏差が大きくなっていた。しかし、平均値は 0.1° から 0.4° の範囲の標準偏差をもち、ほぼ一定であることから、測定時のバイアス誤差はほとんどなく、測定誤差のうちのランダム誤差が大きくなっていると考えられた(図4)。

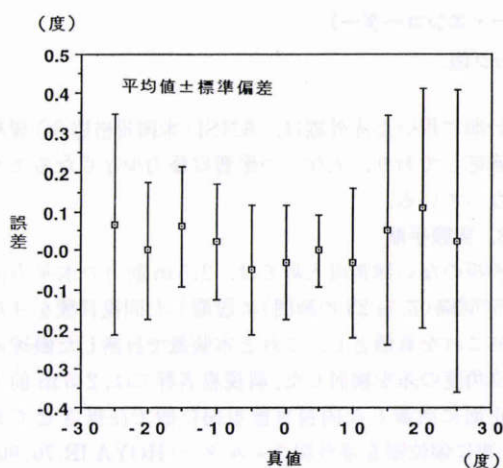


図4 健常成人群における真値との差(左右 25° の範囲)。

左右両方向とも、眼球の偏位角が大きくなると標準偏差は大きくなるが、平均値がほぼ一定である。

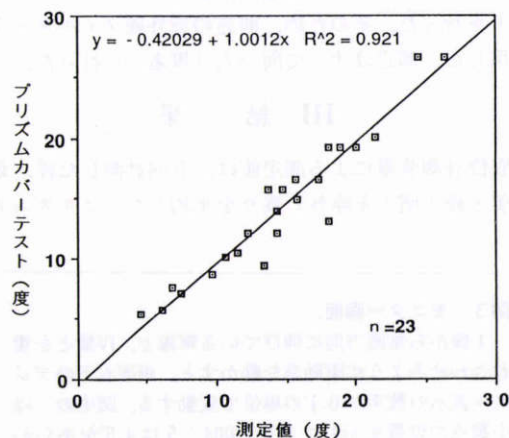


図5 内斜視群における交代プリズムカバーテストとの差。

斜視の患者群における交代プリズムカバーテストとの差は、内斜視群、外斜視群、全体でそれぞれ図5～7のとおりであった。グラフはプリズムカバーテストによる測定値を角度に変換して表したもので、横軸は本装置による測定値を示している。両者の相対位置はグラフ上にプロットされた点で示されており、プリズムカバーテストによる計測値と、本装置による計測値との相関は、内斜視群、外斜視群、全体の順にそれぞれ0.921, 0.977, 0.941の決定係数(R^2)が得られており、外斜視群がより高い相関を示した(図5～7)。

IV 考 按

眼球の軸や角度には古くからいくつかの定義がある。軸には視軸、光軸のほか注視線、照準線、瞳孔中

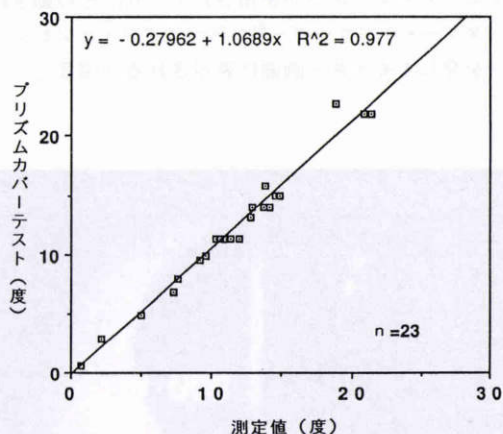


図6 外斜視群における交代プリズムカバーテストとの差。

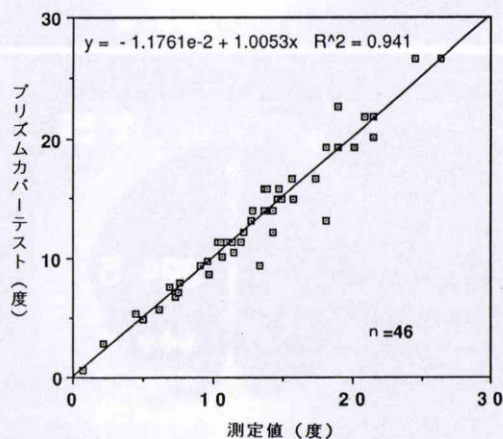


図7 交代プリズムカバーテストとの差。

心線、眼軸などがあり、角度ではアルファ角、ガンマ角、カッパ角そしてラムダ角などが定義されている⁶⁾⁷⁾。視軸と光軸のなす角で定義されるアルファ角は、それ自身の測定は困難でも、定義上個人個人において一定の値をとるものと考えられる。本測定装置は視軸を測定する代わりに、Purkinje (I・IV) 像により決定された光軸を測定し、眼球偏位角を測定するものである。光軸の決定法としては、Purkinje I 像とIV 像という相異なる2点を重ね合わせる0点法がその測定原理となっている。この方法は、相異なる2点を合わせるために検者の測定データの読み取り誤差も少なくすることができ、ある程度の水平方向のずれを許容するという点でも、測定方法として優れていると考えられる。

これに対して、三角法による測定⁸⁾は角度偏位の絶対値を求めるため、被検者とカメラとの間の測定距離に大きく影響をうける。測定距離が短ければ短いほど測定誤差は大きくなり、さらにモニター画面上で結果を読み取る際モニター自体の性能も誤差に大きくかかわってくる。そして何より問題なのは、頭部固定の精度が測定精度と連動している点である。バイトブロックなどを用いても、測定精度をあげるためには十分ではなく、被検者の献身的な協力が必要になる。測定精度をあげることで測定手技の簡便さとは相反するものであり、精度を求めていくと、その測定方法自体が一般的な検査ではなくなってくる。

今回の測定に関しては、眼球の仮定の回旋中心を角膜中央から12mmの正中線上に仮定した。回旋点がこれとずれている場合の測定誤差と、実際の測定時の誤差を検討し、計測の目的からこれでよしとした。眼球の回旋点を決定⁹⁾するためには、今回の測定方法を幾つかの点で変更することが必要である。例えば被検者の頭部固定をより厳密にして、眼球の前後方向の微細な動きもモニターできるようにすることなどが必要となるが、そのときにはバイトブロックなどの頭部固定装置も必要になる。そういった方法は、本装置の測定の簡便さとは相反する方向に進むものであり、今回の実験の目的からそれることになるので、便宜上、上記の回旋点を用いた。

Purkinje 像を用いた眼位計測法は幾つか報告³⁾⁴⁾されているが、これらの報告例の測定精度は $\pm 1^\circ$ である。今回の方法では、装置にロータリー・エンコーダー⁵⁾とクロス・フィルターを使用することにより従来の報告より測定精度の向上を認めた。ロータリー・

エンコーダー⁵⁾は円周方向に並んだ扇形スリットにより回転角をデジタル量としてとらえることができ、マイクロ・コンピュータと組み合わせることにより $\pm 0.1^\circ$ までのデジタル表示が可能となっている。また、クロス・フィルターの使用によりI・IV像の重ね合わせがより簡便、精密になり、Purkinje 像を利用した装置の測定原理である0点法がより有効になったと考えられる。本法は他覚的であり、しかも測定手技と得られた測定精度とのバランスは、一般的な眼位計測の面からすると十分に満足のいくものであった。

今回作成した装置は、精度的には $\pm 0.5^\circ$ 以内を保つことができ、測定値の再現性も良好であった。測定手技の簡便さと測定精度とのバランスから、眼位を精密に測る必要がある場合に特に有効性が高いと考えられた。本装置の応用性は高く、AC/A比の測定といった、幅湊と調節の検討などにも利用できる。また、顎台に顎を乗せてくれれば小児でも、かなりの割合で測定は可能であった。これにより、本装置による検査が実験目的だけでなく、一般検査としても行うことが可能であることが示された。

今回の結果で、交代プリズム・カバーテストとの相関関係を調べた実験において、内斜視群と外斜視群とで相関に若干の差が認められたが、これは内斜視群の方が交代プリズムカバーテストによる測定誤差が大きかったためと考えた。

現在の装置では水平方向のみの計測しか行えていないが、垂直方向の計測にも発展させると、応用範囲がさらに広がる。装置自体が重量的に大きく、計測スペースも必要なことから、本装置を移動させることは難しい。眼鏡使用時（コンタクトレンズも含む）にはレンズによる球面収差の問題があるので、厳密には今回のみの結果からだけでは判断できない。今後の検討が必要である。

客観性の高い眼位計測法であるので、検者にかかわらず安定した検査結果が得られる。本装置を応用することにより、従来の交代カバーテストではできなかった幅湊の分離など、調節と幅湊について、より精密な検討が可能になる。

稿を終えるにあたり、ご指導ご校閲頂きました恩師松尾信彦教授深甚なる謝意をあらわすとともに、直接ご指導頂きました大月 洋助教授に深く感謝いたします。また、多くの貴重なご助言を頂きました奈良県立医科大学眼科魚里博助教授、湘山会眼科三宅病院三宅三平博士、ならびに三菱

電機中央研究所の山田直志, 武田宗久両研究員に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 魚里 博, 久保照子, 西信元嗣: 視能矯正用プリズムの較正位置と保持方法. 眼臨 85: 1657-1661, 1991.
- 2) Lang J: Mikrostrabismus. Bücherei des Augenarztes, Heft 62, 2. Auflage, Enke, Stuttgart 1982.
- 3) Effert R, Pflibsen K: A new method to perform the cover test. Ophthalmology 93: 433-435, 1986.
- 4) Effert R: A new method for determining

squint angle in primary and all secondary positions using the first and Purkinje images. Ophthalmology 93: 436-441, 1986.

- 5) 竹内 均(編): Newton 別冊センサのすべて. 教育社, 東京, 171, 1985.
- 6) 萩原 朗: 眼の生理学. 医学書院, 東京, 98-100, 1966.
- 7) 魚里 博: 眼球光学. 西信元嗣(編): 眼光学の基礎. 金原出版, 東京, 119-143, 1990.
- 8) 三宅三平, 三宅千佳子, 三宅武子: 眼球の回旋点に関する研究—予報, 測定方法と臨床応用の可能性について—. 日眼会誌 94(抄録): 157, 1990.