



面光源・ナイフェッジ法による眼屈折力測定

福間 康文・梅田 昭男・永井 憲行

(株)トプコン医用機器事業部 〒174 東京都板橋区蓮沼町 75-1

1. ま え が き

乳幼児期に片眼または両眼に強度の屈折異常や斜視があると、視神経の発達が阻害され、成長してから屈折異常の矯正もしくは斜視の治療を行っても、十分な視力が得られない弱視となる可能性が高い。これらの治療は3歳までに完了してしまえば、多くの場合正常または正常に近い両眼視が得られると言われている¹⁻³⁾。

視覚障害の早期発見の一つの方法に屈折検査がある。しかし、乳幼児の屈折検査は、乳幼児はじっとしていない、眼前にせまる装置をこわがる等、固有の問題点がある。このため視軸との正確な位置合せを必要とする従来の装置では限界があり、十分な結果が得られていない。

最近、暗闇にて光を照射すると瞳孔が光って見える「キャッツアイ現象」を利用したフォトレフラクション法が注目されている⁴⁾。この方法は記録媒体に両眼を記録する程度の装置と簡単な被検眼との位置合せで良く、またワーキングディスタンスも1~2mと距離をおいた測定が可能である。今回われわれは面光源とナイフェッジを組み合わせた新しいビデオレフラクション法を開発し、良好な測定結果が得られたので、その光学原理と実験結果について述べる。

2. 光 学 系

図1に光学系を示す。スリット状光源はハーフミラーを介して眼底を照明する(点線)。さらに眼底で拡散反射された光束は、上側部分の光束がナイフェッジで遮光され、対物レンズを通してエリアセンサー上に瞳像を結ぶ(実線)。瞳像光量分布は被検眼とナイフェッジ間距離の逆数に等しい屈折力のとき、平坦となり、これより近視側の場合ナイフェッジ側に、遠視の場合は逆方向に被検眼の眼屈折力に比例し傾斜する。この傾きは画像処理技術で容易に求められ眼屈折力測定が可能となる。

3. 点光源と瞳像光量分布

光源を光軸上の点光源とすると、瞳像光量分布は図2

のような傾斜をもつ。点線は眼底の上端から発した反射光束を、実線は下端から発した反射光束を示している。被検眼の屈折力が異なると眼底面での光束径が変化する。これに伴いナイフェッジ面での光束径 $2W$ も変化するが、瞳像光量分布の傾斜は変化しない。

4. 面光源と瞳像光量分布

面光源の場合、瞳像光量分布は図2のような傾斜をもつと同時に、屈折度に応じてその傾きも変化する。傾きとその変化量を定量的に求める。

面光源内の任意の一点 $S(-S_0 \leq S \leq S_0)$ 上の微小部分 ds による、受光面上の任意の一点 $X(-X_0 \leq X \leq X_0)$ 上の光量値を $F(S, X, W) ds$ とすると、 $F(S, X, W)$ は次の式で表わされる。

$$\begin{aligned} & \cdot -S_0 \leq S \leq -W-L \text{ のとき} \\ & F(S, X, W) = K_0 \\ & \cdot -W-L \leq S \leq -L \text{ のとき} \\ & F(S, X, W) = K_0 \{ -(\pm S/W) \pm X/(2X_0) + 1/2 \} \\ & \cdot -L \leq S \leq S_0 \text{ のとき} \\ & F(S, X, W) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $L = W(X + X_0)/(2X_0)$

また、 K_0 は遮光されないときの光量値、 $2S_0$ は面光源の大きさ、 \pm の+は遠視-は近視のときの値である。この $F(S, X, W)$ を $-S_0 \leq S \leq S_0$ の範囲で積分すると、次式のようなになる。

$$\int_{-S_0}^{S_0} F ds = K_0 \{ \pm WX/(2X_0) + S_0 \} \quad (2)$$

(2)式から明らかなように光量分布(図3, 4参照)は $K_0 W/(2X_0)$ の傾きをもった直線となる。瞳孔径の大きさを U 、被検眼屈折力を D (ディオプター)、作動距離を $-1/D_0$ とおくと、図2より W は

$$W = |(D - D_0)U/D_0| \quad (3)$$

と表わせ、この傾きは $D - D_0$ に比例していることがわかる。以上のことは、 $0 \leq W \leq S_0$ (図2参照)の条件で、すなわち(3)式より

$$D_0 + S_0 D_0 / U \leq D \leq D_0 - S_0 D_0 / U \quad (4)$$

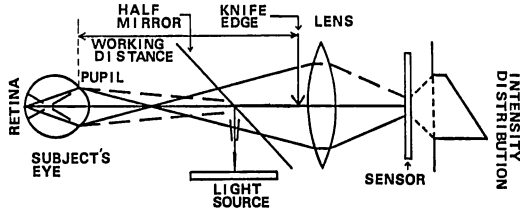


図1 面光源・ナイフエッジ法の光学系

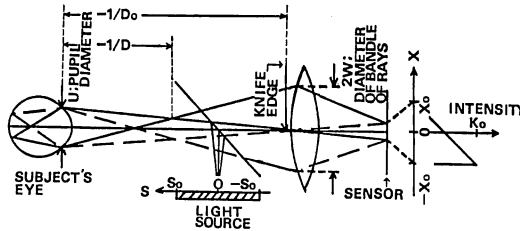


図2 点光源および微小点光源部分 ds による光束の状況

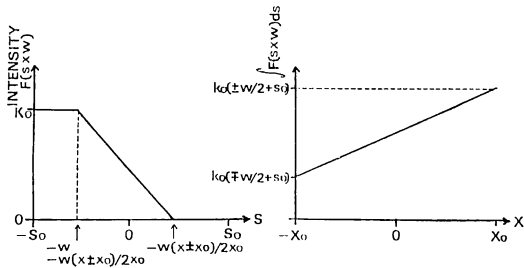


図3

図4

図3 微小光源部分 ds による光量値 $F(S, X, W)$

図4 面光源による瞳像光量分布 $\int_{-S_0}^{S_0} F ds$

の条件で成立する。

5. 測定

図5に模型眼測定の結果を示す。図中、サークル径は瞳孔径の大きさを示している。作動距離は2.2m、光源サイズは $2S_0=40\text{mm}$ である。 $-3.5D \leq D \leq 2.2D$ の範囲において、 $0.12D$ の精度でリニアな結果が得られている。理論的にはリニアリティーが得られるのは(4)式より $-2.30D \leq D \leq 1.38D$ の範囲 ($U=5\text{mm}$, $D_0=-0.46D$, $S_0=20\text{mm}$ で計算) であるが、画像処理で測定範囲の拡大を図った。図6に人眼測定の結果を示す。作動距離は2m、スリット長は $2S_0=40\text{mm}$ である。人眼測定でも、 $-3.5D \leq D \leq 2.5D$ の範囲では $0.35D$

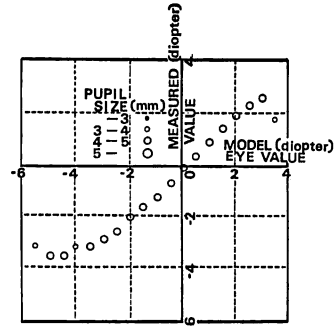


図5 模型眼の屈折力測定結果

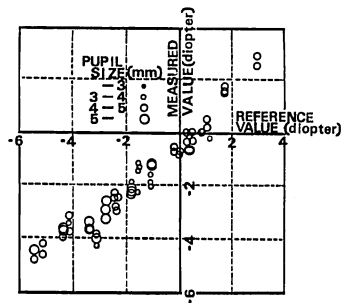


図6 人眼の屈折力測定結果

の精度でリニアで、 $-5.5D \leq D \leq 2.5D$ の範囲では $0.49D$ の精度でリニアな、瞳径に無関係な結果が得られている。

6. 結び

スリット状の面光源とナイフエッジを組み合わせて、瞳像光量分布傾斜度から屈折力を測定する理論を確立し、良い測定結果が得られることを確認した。なお、今回は触れなかったが、瞳像光量分布の三次元的な解析から乱視眼の測定も可能となることを確認している。

文献

- 1) 弓削経一(編): 視能矯正—理論と実際 (金原出版, 東京, 1973) pp. 81-98.
- 2) D. H. Hubel: *Eye, Brain, and Vision* (Scientific American Library, New York, 1988) pp. 191-218.
- 3) 栗屋 忍: “形態覚遮断弱視”, 日眼, 91 (1987) 519-544.
- 4) 魚里 博: “乳幼児の視力・屈折度測定”, 日本眼科紀要, 40 (1989) 97-108.

(1989年6月20日受理)