

香港理工大学製オプトメータの遠視用目盛作成

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

George C. Woo

香港理工大学

魚里 博

北里大学医療衛生学部

日本ロービジョン学会誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

香港理工大学製オプトメータの遠視用目盛作成

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

George C. Woo

香港理工大学

魚里 博

北里大学医療衛生学部

Hyperopic Calibration of a PolyU Optometer

Tadaaki Tanabe

Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse

George C. Woo

School of Optometry, The Hong Kong Polytechnic University

Hiroshi Uozato

Graduate School of Medical Science, Kitasato University

目的：香港理工大学は高価な装置を購入できない施設でも近視、乱視の度数を計測できるオプトメータを開発した。ロービジョン者にも有用であり、 $-9.25\sim+0.62\text{D}$ まで計測できるが、遠視計測用のレンズが付属しているにもかかわらず、まだ遠視用目盛が用意されていないため作成を試みた。

方法：単眼鏡の角倍率、対物レンズの屈折力、鏡筒の長さ、後頂点屈折力をパラメータとした公式を用いて目盛の換算表を作成した。目盛精度の検証は14名の晴眼者の左右眼をオプトメータとオートレフラクトメータで計測し、回帰分析、Bland-Altman分析を行った。

結果：付属レンズを装着すると測定できる範囲は $-7.57\sim+3.92\text{D}$ となった。オプトメータとオートレフラクトメータの測定値には高い相関がみられ、Limits of agreementは上側限界が $+2.38$ 、下側限界が -1.32 であった。

結論：オプトメータに付属レンズを装着することにより、遠視の測定が $+3.92\text{D}$ まで可能となった。

(日本ロービジョン学会誌 13: 61-67, 2013)

キーワード：オプトメータ、遠視、目盛

Purpose : To create a modified calibration scale for use with the PolyU optometer, which was developed by the Hong Kong Polytechnic University, when the subsidiary lens for hyperopia is used. The optometer without the subsidiary lens is calibrated from -9.25D to $+0.62\text{D}$. The subsidiary hyperopia lens, which is included in the set, has a power of $+0.50\text{D}$.

Methods : We obtained data from both eyes of 14 subjects to develop an equation that could be used to modify the calibration of the optometer when the subsidiary lens was used. We refracted each eye with the optometer and with the autorefractor. The equation used the following parameters: angular magnification, the power of the objective, the tube length, and the back vertex power. We performed regression analysis and created a Bland-Altman plot to compare refraction measured with the optometer and by autorefraction.

Results : If the optometer objective is touching the subsidiary hyperopia lens, the optometer's effective range for refraction is -7.57D to $+3.92\text{D}$. Refraction values measured with the optometer were highly correlated with autorefraction values, as shown by 95% confidence limits for agreement of between -1.32 and $+2.38$.

Conclusions : When the PolyU optometer's objective lens is in touch with the subsidiary hyperopia lens, the optometer has a maximum value for hyperopia of $+3.92\text{D}$.

(J Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 13 : 61-67, 2013)

Key Words : Optometer, Hyperopia, Calibration

別刷請求先：538-0042 大阪市鶴見区今津中2-4-37 日本ライトハウス養成部 田邊正明

Reprint requests to: Tadaaki Tanabe Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse

2-4-37 Imazunaka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

緒 言

日本の医療現場や眼鏡店においては、眼鏡の処方のために屈折異常値をオートレフラクトメータやレチノスコープのように他覚的に計測する方法がとられているが、そのほかに被験者が視力検査をするように自覚的に計測するオプトメータが存在する。この計測機器は電源を使用せず、廉価なものである。現在、ロービジョン者に対する拡大鏡の紹介の現場は医療機関だけでなく、視覚障害教育を行う教育現場や福祉機関でも行われている。それらの機関では高価な装置を購入することはできないまま、屈折異常値を計測することなく拡大鏡を紹介しているのが現状であろうことを考慮すると、オプトメータの利用によって拡大鏡の紹介がより効果的にできることが考えられる。

昨今、香港理工大学のオプトメトリ・クリニックでは高価な装置を購入できない施設でも近視、乱視の度数を計測できる電源を必要としない廉価なオプトメータを開発した^{1,2)}。検査機器の会社から販売されているわけではないが、希望があればオプトメトリ・クリニックから購入できるようになっており、現在主に発展途上国が購入している。購入方法は直接オプトメトリ・クリニックに発注すればよい（発注先住所：Optometry Clinic, Room AG034, The

Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, HK. Tel: 27665225 Fax: 23625440 Email: optclinic.enquiry@polyu.edu.hk)。日本の医療現場ではオプトメータの存在は知られていないが、ロービジョン者にかかわっている医療現場以外の施設でもこのような機器を必要としているところがあるのではなかろうか。

このオプトメータは、 $-9.25 \sim +0.62D$ まで測定可能であり、数値は鏡筒に記載されていて、鏡筒を回転し伸縮することによって目盛を目測で読み取るようになっている。更にこのオプトメータのセットには、遠視計測のために付属レンズが用意されているにもかかわらず、遠視用目盛はまだ完成されていないため、作成を試みたので報告する。

対象および方法

1. オプトメータの使用方法

オプトメータは屈折異常値の目盛が鏡筒に印字された掛け眼鏡式双眼鏡であり、装着した状態は図1のようになる。瞳孔間距離、鼻あての高さ、テンプレの長さ・角度の調節が可能である。

屈折異常値の目盛は $-9.25 \sim +0.62D$ まで図2のように印字されている。

右眼の計測方法は次のようにする。左眼も同様である。



図1 オプトメータを装着した様子



図2 鏡筒に記載された目盛

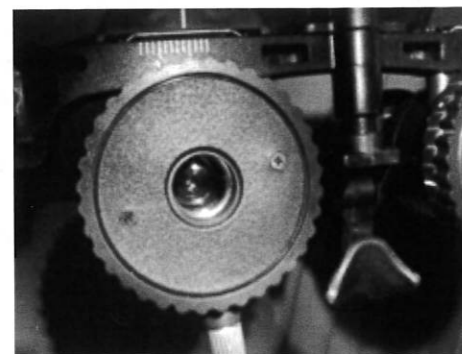


図3 細隙スリットが開いている。

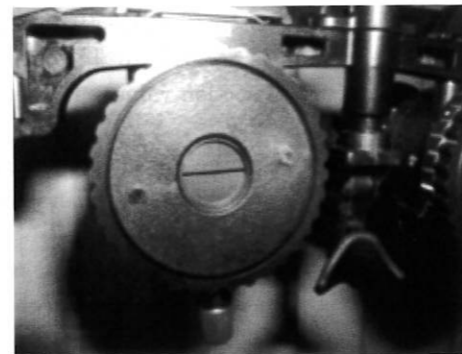


図4 ギザギザのダイヤルを回し細隙スリットを閉じたところ

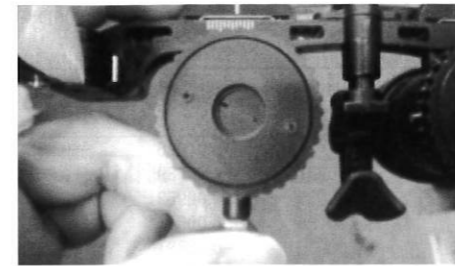


図5 細隙スリットを回転させる様子

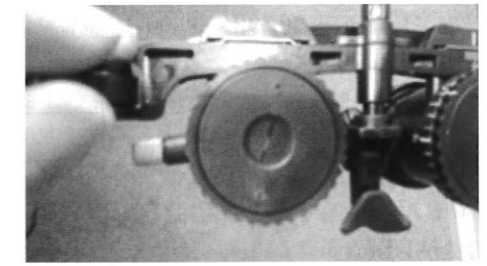


図6 ノブを移動させ細隙スリットを90°回転させた様子

1) 検査者はオプトメータの左側の対物レンズにキャップをして遮蔽し、右側の鏡筒を最大に伸ばし雲霧した状態から鏡筒をゆっくりと縮めてゆき、3 m先の視力表の文字が鮮明に見えるようにする。そのあと鏡筒をゆっくりと伸ばし、視標がぼけ始めても全体的に均等に見えるところに調整する。そのときの鏡筒に示された目盛の値が「等価球面度数」である。

2) 鏡筒の度数を $+1.00D$ だけ増やし、雲霧する。

3) 接眼レンズ鏡筒の外周にあるギザギザのダイヤルを回し細隙スリットを約 $0.5 \sim 1$ mmの細さに調節する(図3, 4)。下に付いているノブを回し細隙スリットを回転させて視標が全体的に均等に見えたときの細隙スリットの方向が乱視軸である(図5)。次に鏡筒を縮めていき、鮮明に見えたときの度数が球面度数である。

4) 検査者はノブを移動させ細隙スリットの方向を 90° 回転させる(図6)。鏡筒を縮め、被験者が視標が鮮明に見えたときの度数を記録する。その度数から3)で求めた球面度数を引いた数値が乱視度数である。

2. 遠視用目盛の作成

遠視用目盛の作成には鏡筒の $0.00D$ の位置からの長さ(Δ)と、単眼鏡の鏡筒に記載された屈折異常値の目盛に等価な後頂点屈折力(K)の関係を示した公式を用いた³⁾。この公式は無限遠の物体を、単眼鏡を通して正視眼で鮮明に見えたときの対物レンズと接眼レンズ間距離(d_a)と角倍率(M_a)を定数としている。しかし、香港理工大学製オプトメータは3 m視力表を用いている。そこで、対物レンズを $1/3D$ の近用レンズと無限遠を見るための遠用レンズの組み合わせと仮定し、新たな定数を求めることにした。対物レンズの屈折力は製造業者からは明らかにされておらず、 d_a と M_a から求める公式を利用した³⁾。 M_a は香港理工大学より情報提供を受け、 d_a は定規で計測した。付属レンズを付けない場合の鏡筒の $0.00D$ の位置からの長さ(Δ)と単眼鏡の後頂点屈折力(K)の対応表をまず作成し、そして $+0.50D$ の付属レンズを対物レンズに装着したときの鏡筒の長さのずれを求め、既存の目盛に対応した換算表を作成した。

3. 遠視用目盛精度の検証

新たに作成した目盛の精度を次の方法で調査した。晴眼者14名を被験者として、オプトメータの対物レンズに $+0.50D$

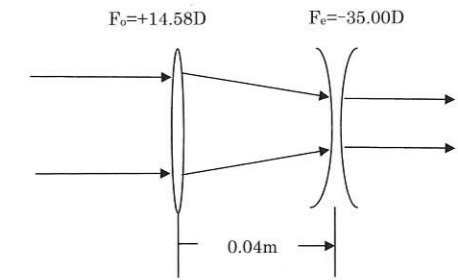


図7 無限遠を見たときの単眼鏡の光路図

の付属レンズを装着して左右眼を計測した後、オートレフラクトメータで計測しそれらの数値を回帰分析、Bland-Altman分析した。

結 果

1. 遠視用目盛の作成

1) 鏡筒の $0.00D$ の位置からの長さ(Δ)と単眼鏡の鏡筒に記載された屈折異常値の目盛に等価な後頂点屈折力(K)の関係式³⁾は、角倍率(M_a)、無限遠の物体を単眼鏡を通して正視眼で鮮明に見えたときの対物レンズと接眼レンズ間距離(d_a)を定数とすると次式であらわされる。

$$K = \frac{(M_a - 1)^2 \Delta}{d_a^2 - d_a \Delta (M_a - 1)} \quad \dots \quad (1)$$

鏡筒の $0.00D$ の位置からの長さ(Δ)について変形すると、

$$\Delta = \frac{-K d_a^2}{(M_a - 1)(-d_a K - M_a + 1)} \quad \dots \quad (2)$$

2) 対物レンズと接眼レンズの屈折力は、単眼鏡の角倍率(M_a)と、対物レンズと接眼レンズ間距離(d_a)から求めた。無限遠を見て接眼レンズから平行光線が射出される時の光路は図7のようになる。対物レンズ、接眼レンズはともに一枚の薄いレンズとして図示している。レンズ間距離の計測は頂点間距離で行い、レンズ頂点は主点と同じ位置にあると仮定している。

オプトメータに使用されているガリレオ式単眼鏡の倍率(M_a)は香港理工大学の情報提供によると $2.4\times$ 、無限遠における対物レンズと接眼レンズ間距離(d_a)を計測すると

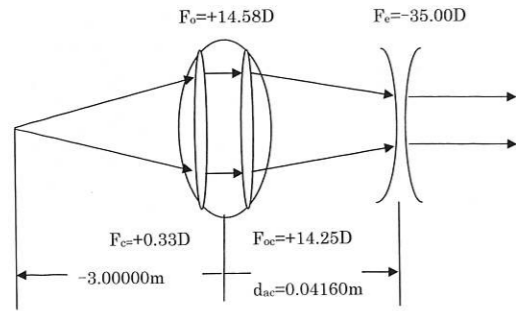


図8 3.00000m先の視力表を付属レンズなしで見たときの光路図

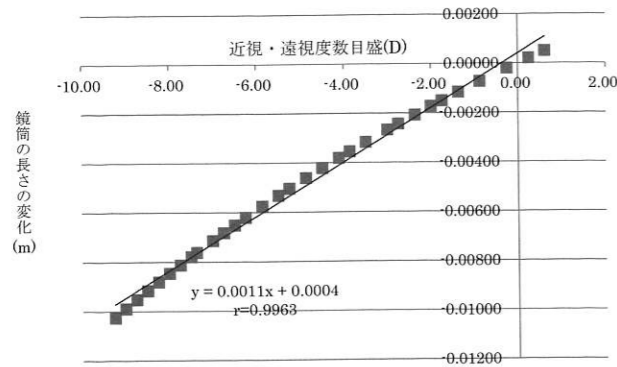


図9 鏡筒の目盛と0.00Dの位置からの長さの散布図

0.04mであった。対物レンズと接眼レンズの屈折力を公式³⁾より求めると、次のようになった。

$$F_o = \frac{M_a - 1}{M_a d_a} \text{より}$$

$$F_o = +14.58$$

$$F_e = \frac{M_a - 1}{d_a} \text{より}$$

$$F_e = -35.00$$

3) 3.00000m先にある視力表を付属レンズなしで見て、接眼レンズから平行光線が射出されるときに対物レンズと接眼レンズ間距離 (d_{ac})、角倍率 (M_{ac}) を求める。図8に光路図を示したが、対物レンズを仮定の近用レンズと遠用レンズの2枚レンズシステムと考えている。仮定の近用レンズの屈折力 (F_c) は

$$F_c = -\frac{1}{3.00000} = -0.33 \text{ (D)}$$

仮定の遠用レンズの屈折力 (F_{oc}) は

$$F_{oc} = -0.33 + 14.58 = 14.25 \text{ (D)}$$

対物レンズと接眼レンズ間距離 (d_{ac})、角倍率 (M_{ac}) は

$$d_{ac} = \frac{1}{14.25} - \frac{1}{35.00} = 0.07018 - 0.02857 = 0.04161 \text{ (m)}$$

$$M_{ac} = \frac{35.00}{14.25} = 2.46 \text{ (x)}$$

表1 オプトメータの鏡筒の目盛と鏡筒の0.00Dの位置からの長さの関係

目盛 No.	目盛間距離 (m)	Δ : 鏡筒の0Dの位置からの長さ (m)	鏡筒の目盛 (D)
1	0.00037	-0.01026	-9.25
2	0.00037	-0.00989	-9.00
3	0.00036	-0.00952	-8.75
4	0.00035	-0.00916	-8.50
5	0.00035	-0.00881	-8.25
6	0.00034	-0.00847	-8.00
7	0.00033	-0.00813	-7.75
8	0.00033	-0.00779	-7.50
9	0.00032	-0.00746	-7.25
10	0.00032	-0.00714	-7.00
11	0.00031	-0.00683	-6.75
12	0.00031	-0.00652	-6.50
13	0.00031	-0.00621	-6.25
14	0.00030	-0.00591	-6.00
15	0.00028	-0.00562	-5.75
16	0.00028	-0.00533	-5.50
17	0.00028	-0.00504	-5.25
18	0.00027	-0.00476	-5.00
19	0.00026	-0.00449	-4.75
20	0.00026	-0.00422	-4.50
21	0.00025	-0.00396	-4.25
22	0.00024	-0.00371	-4.00
23	0.00024	-0.00346	-3.75
24	0.00023	-0.00321	-3.50
25	0.00023	-0.00297	-3.25
26	0.00022	-0.00273	-3.00
27	0.00022	-0.00249	-2.75
28	0.00021	-0.00226	-2.50
29	0.00021	-0.00203	-2.25
30	0.00020	-0.00180	-2.00

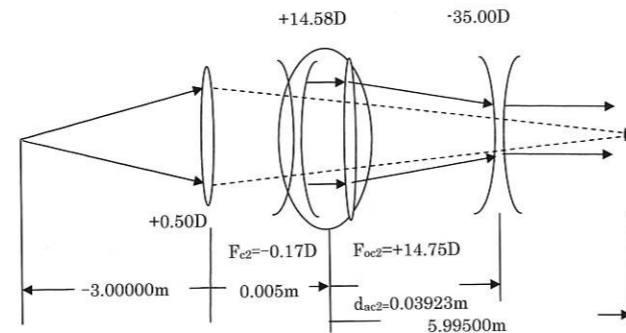


図10 +0.50Dの付属レンズを装着したときの光路図

公式 (2) に d_{ac} 、 M_{ac} 、後頂点屈折力 (K) である鏡筒の目盛の数値を代入し、目盛に対応した鏡筒の0.00Dの位置からの長さ (Δ)、目盛間距離を計算すると表1のようになった。

表1から鏡筒の目盛間距離は全く同じではなく、散布図(図9)を見るとオプトメータの目盛と鏡筒の長さは完全な正比例とはなっていないが、相関係数 (r) = 0.9963 と高い相関をもって作成されていることがわかった。そこで、新しい目盛はこの目盛間距離を維持し、目盛No.28とNo.29の間にある0.00Dの位置の移動距離を求め、鏡筒の目盛を

再計算することとした。

4) 3.00000m先の視力表を+0.50Dの付属レンズを付けて見て、接眼レンズから平行光線が射出されるときに光路図は図10に示した。+0.50Dの付属レンズと対物レンズ頂点間距離は定規で計測すると0.005mであった。

3.00000m先にある視力表から+0.50Dの近用レンズに入射した光が射出する光のバージェンスは

$$-\frac{1}{3} + 0.5000 = \frac{1}{6} \text{ (D)}$$

対物レンズに入射する光の焦点と対物レンズ間距離は

$$\frac{1}{\frac{1}{6}} - 0.00500 = 5.99500 \text{ (m)}$$

仮定の近用レンズに必要な屈折力 (F_{c2}) は

$$F_{c2} = -\frac{1}{5.99500} = -0.17 \text{ (D)}$$

仮定の遠用レンズに必要な屈折力は

$$F_{oc2} = 14.58 - (-0.17) = 14.75 \text{ (D)}$$

対物レンズと接眼レンズ間距離 (d_{ac2}) は

$$d_{ac2} = \frac{1}{14.75} - \frac{1}{35.00} = 0.06780 - 0.02857 = 0.03923 \text{ (m)}$$

角倍率 (M_{ac2}) は

$$M_{ac2} = \frac{35.00}{14.75} = 2.37 \text{ (x)}$$

5) 付属レンズを付けた対物レンズと接眼レンズ間距離 (d_{ac2}) と、付属レンズを付けない対物レンズと接眼レンズ間距離 (d_{ac}) の鏡筒の長さのずれを求める。

$$d_{ac2} - d_{ac} = +0.03923 - 0.04161 = -0.00238 \text{ (m)}$$

つまり、0Dの目盛位置が-0.00238mだけ移動することになり、表1からNo.22は-0.00244m、No.23は-0.00208mであるから、修正時の0.00Dの目盛位置はNo.22とNo.23の間になる。

No.22の0(D)からの新しい距離 (Δ_{22}) は

$$\Delta_{22} = -0.00244 + 0.00238 = -0.00006 \text{ (m)}$$

No.23の0(D)からの新しい距離は (Δ_{23})

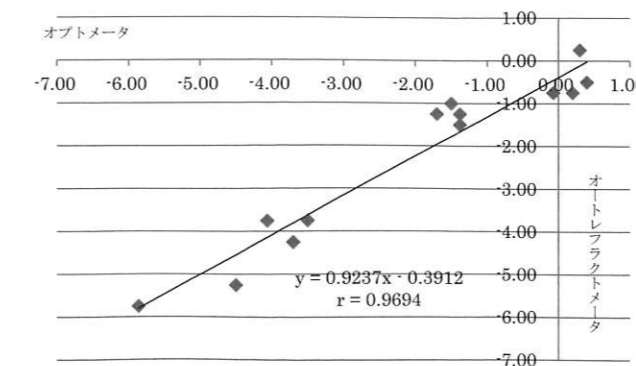


図11 右眼の球面度数のオプトメータとオートレフラクトメータの散布図

$$\Delta_{23} = 0.00238 - 0.00208 = 0.00030 \text{ (m)}$$

と変化する。

6) 表1のNo22, No23の目盛の修正値を、公式(1)に $d_{ac2} = 0.03923 \text{ (m)}$ 、 $M_{ac2} = 2.37 \text{ (x)}$ 、 $\Delta_{22} = -0.00006 \text{ (m)}$ 、 $\Delta_{23} = 0.00030 \text{ (m)}$ を代入し求めると、それぞれ-0.07D、+0.38Dとなった。目盛間距離を維持してほかの目盛の0.00Dからの距離を変更し、再計算した結果が表2である。

2. 変更した目盛の検証

晴眼者14名に対し、オプトメータに+0.50Dの付属レン

表2 修正した目盛の屈折異常値

目盛 No.	目盛間距離 (m)	修正した鏡筒の0Dの位置からの長さ (m)	修正した目盛 (D)
1	0.00037	-0.00789	-7.57
2	0.00037	-0.00752	-7.29
3	0.00036	-0.00715	-7.00
4	0.00035	-0.00679	-6.72
5	0.00035	-0.00644	-6.43
6	0.00034	-0.00609	-6.15
7	0.00034	-0.00575	-5.86
8	0.00033	-0.00542	-5.58
9	0.00033	-0.00509	-5.30
10	0.00032	-0.00476	-5.02
11	0.00032	-0.00443	-4.74
12	0.00031	-0.00410	-4.46
13	0.00031	-0.00377	-4.18
14	0.00030	-0.00344	-3.90
15	0.00029	-0.00311	-3.62
16	0.00029	-0.00278	-3.34
17	0.00028	-0.00245	-3.06
18	0.00028	-0.00212	-2.78
19	0.00027	-0.00179	-2.50
20	0.00027	-0.00146	-2.22
21	0.00026	-0.00113	-1.94
22	0.00026	-0.00080	-1.66
23	0.00025	-0.00047	-1.38
24	0.00025	0.00000	-1.10
25	0.00024	0.00053	-0.82
26	0.00024	0.00106	-0.54
27	0.00023	0.00159	-0.26
28	0.00023	0.00212	0.02
29	0.00022	0.00265	0.30
30	0.00022	0.00318	0.58

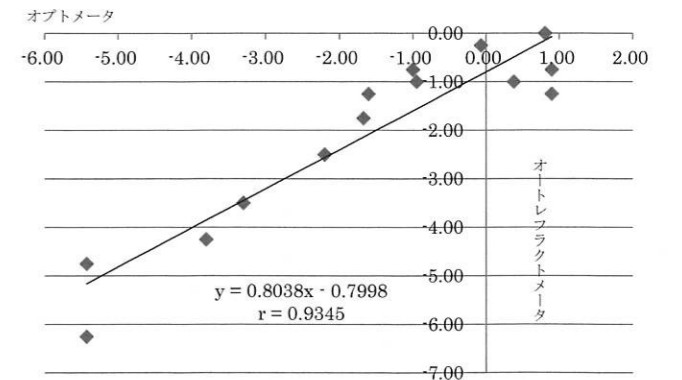


図12 左眼の球面度数のオプトメータとオートレフラクトメータの散布図

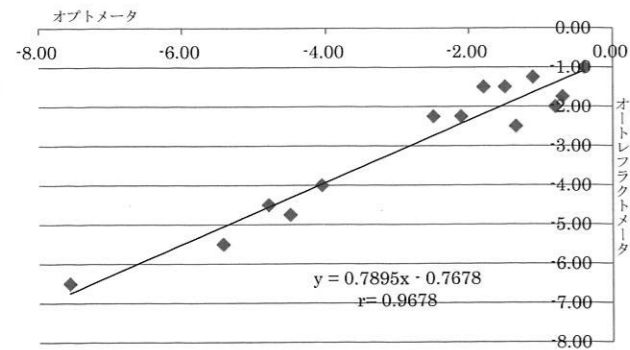


図13 右眼の度数変換した乱視度数のオプトメータとオートレフラクトメータの散布図

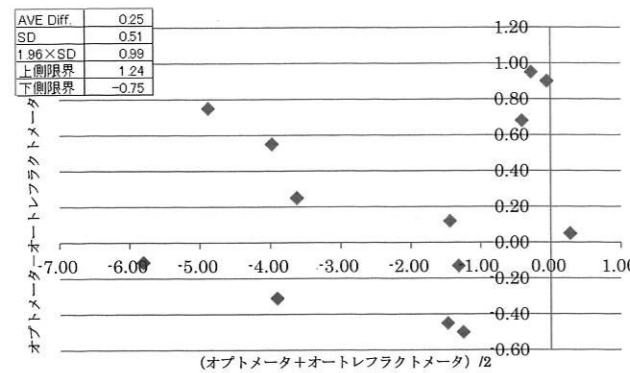


図15 右眼の球面度数のオプトメータとオートレフラクトメータの Bland-Altman plot

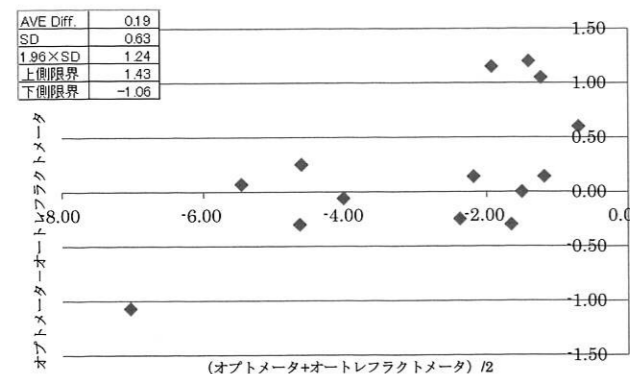


図17 右眼の度数変換した乱視度数のオプトメータとオートレフラクトメータの Bland-Altman plot

ズを装着して計測した結果とオートレフラクトメータで測定した結果を散布図にして相関係数を求め、更に Bland-Altman 分析を行った。ただし、球面度数と乱視度数それぞれについて分析を行うために、乱視度数は度数変換をして弱主経線における球面度数とした。

+0.50D の付属レンズをオプトメータに装着して測定した数値とオートレフラクトメータで測定した数値の散布図(図11~14)から右眼の球面度数の相関係数 (r)=0.9694,

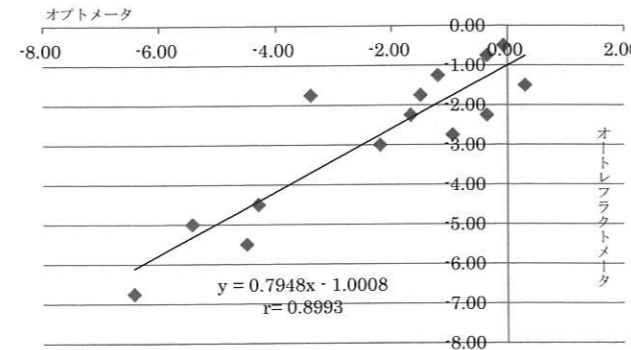


図14 左眼の度数変換した乱視度数のオプトメータとオートレフラクトメータの散布図

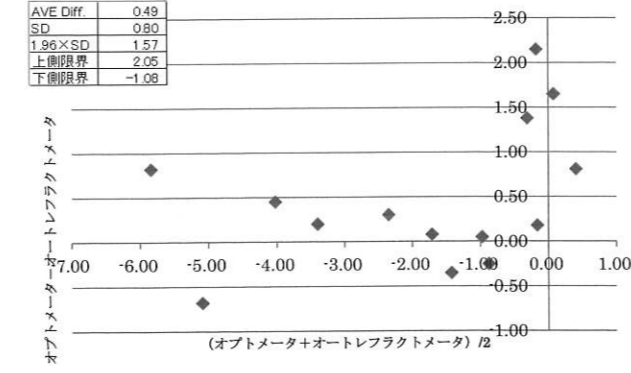


図16 左眼の球面度数のオプトメータとオートレフラクトメータの Bland-Altman plot

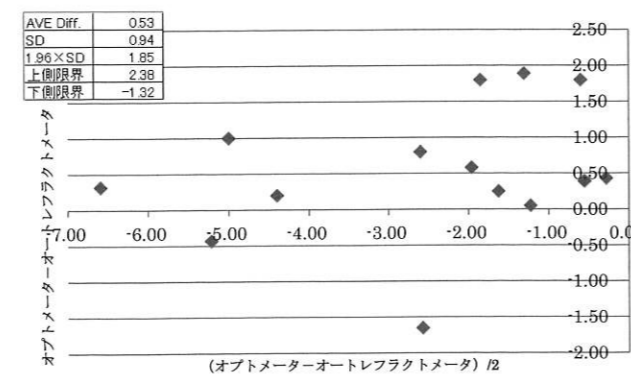


図18 左眼の度数変換した乱視度数のオプトメータとオートレフラクトメータの Bland-Altman plot

左眼の球面度数の相関係数 (r)=0.9345, 右眼の度数変換した乱視度数の相関係数 (r)=0.9678, 左眼の度数変換した乱視度数の相関係数 (r)=0.8993 が求められ、それぞれ有意な高い相関がみられた。

+0.50D の付属レンズを装着して測定した度数からオートレフラクトメータで測定した数値の差の平均の 95% 信頼区間は右眼の球面度数が +0.25±0.26D, 左眼の球面度数が +0.49±0.42D, 右眼の度数変換した乱視度数が +0.19±

0.33D, 左眼の度数変換した乱視度数が +0.53 ± 0.49D であった。Bland-Altman 分析を行った結果は図15~18に示したように系統誤差はみられなかった。Limits of agreement はそれぞれ ±0.99, ±1.57, ±1.24, ±1.85, 上側限界の最大値は左眼の度数変換した乱視度数の +2.38, 下側限界の最大値も左眼の度数変換した乱視度数の -1.32 であった。

考 按

+0.50D の付属レンズを対物レンズに装着すると、測定できる範囲は -9.25 ~ +0.62D から -7.57 ~ +3.92D へと変化した。付属レンズを取り付けない場合と合わせると、-9.25 ~ +3.92D までが測定範囲となった。実際に 14 名の被験者の屈折異常値を測定した結果からは、左右眼ともにオプトメータで測定した数値とオートレフラクトメータで測定した数値の間に高い相関が認められ、オプトメータで計測した数値とオートレフラクトメータの数値の差の平均値がプラスであり 95% 信頼度でその上側限界は +2.38D, 下側限界は -1.32D であることを考慮に入れて実用化することに問題はないと考えられた。

ロービジョン者に拡大鏡を処方するために屈折異常値は重要なパラメータであるが、拡大鏡の使用訓練が行われている教育現場などでは、利用者の屈折異常値を知ることなく訓練を行っているのが現状である。また、ロービジョン者のなかには眼底の状態によりオートレフラクトメータで測定できないケースもあり、レチノスコープによる検査や検眼レンズによる自覚的屈折検査が必要となる。しかし、

レチノスコープを使用するためには使い慣れるまでに練習が必要であり操作が難しい上、屈折異常値を検査する機器は高額であり、医療機関以外の施設が購入することは往々にして困難である。香港理工大学製オプトメータは乱視も計測できる製品は \$300 (USD) であるが、球面のみの計測用であれば \$200 であり廉価な製品である。

オプトメータによる検査は自覚的屈折検査であるため被験者の協力を必要とするが、3 m 先の視力表を見る際には単眼鏡により 2.4 倍に視標が拡大され、ロービジョン者が視標を確認しやすくなっている。例えば視力が 0.1 のロービジョン者が単眼鏡を通して視力表を見れば、視力が 2.4 倍されるため 0.24 の視標が見えることになる。視力を計測するわけではないので、視標が視認できれば検査が可能である。乱視の計測が困難であれば細隙スリットを開放した状態で等価球面度数のみの計測でも、拡大鏡の処方には重要なパラメータとなる。

文 献

- 1) Cheng D & Woo GC: The calibration of a 2.5× Galilean focusable telescope as an optometer for refraction. *Ophthalmic Physiol Opt* 20: 342-347, 2000.
- 2) Woo GC: Use of telescopes as optometers in low vision. *Austral J Optom* 60: 114-117, 1977.
- 3) Woo GC, Lu C & Wessel JA: Estimation of back vertex power and magnification of variable focus telescopes. *Ophthalmic Physiol Opt* 15: 319-325, 1995.

(2013年1月7日受付)

発行所 日本眼科紀要会

567-0047 茨木市美穂ヶ丘 3-6 山本ビル 302 号室 ☎072-623-7878
