健常被験者を対象とした両眼用眼鏡式拡大鏡の瞳孔間距離の基礎的な検討

Basic research of measuring instruments of equivalent viewing power and virtual image distance

金澤　正継・相澤　　学・小野　　充・近藤　明宏・吉田　明弘・山中　幸宏
（株式会社　朝倉メガネ　ロービジョン・ケア推進室）

要旨：

光学中心の決定が眼鏡装用感に影響すると考えられるため、健常被験者を対象に両眼用眼鏡式拡大鏡の瞳孔間距離の基礎的な検討を行った。方法は、健常被験者 20 名を対象とし、瞳孔間距離は眼鏡未装用の状態でそれぞれ、5 m および 30、20、15、10cm の視距離にある目標を固視させ、角膜反射を参照して測定した。次に、計算で瞳孔間距離を算出し（予測値）、その上で、各視距離での瞳孔間距離の測定値（測定値）と予測値との関係を検討するため、回帰直線にて相関係数を求めた。また、各視距離での測定値と予測値との差分をとり、反復測定分散分析を行った。回帰直線にて解析を行った結果、各視距離での測定値と予測値の間に強い相関を認めた。一方、測定値と予測値との差分は 30、20、15、10cm の間にそれぞれ有意差を認めた。そのため、両眼用眼鏡式拡大鏡の光学中心を決定する場合、視距離が近づいた場合は注意を要することが示唆された。

キーワード：眼鏡式拡大鏡、瞳孔間距離、両眼視、輻湊

1．目的

眼鏡式拡大鏡とは、「一般近用眼鏡として処方するよりも強い頂点屈折力を持つレンズを、眼鏡のレンズにマウントして作製」する拡大鏡のこと（Rumney，2010）で、ハイパワープラス眼鏡（長谷川，2012）や強度凸レンズ眼鏡（井上，2000）とも呼ばれ、25cm 以内の距離で使用されるという特徴を持つ。使用法としては単眼用と両眼用の２種類があり、このうち両眼用（Fonda，1958）は、両眼の視力低下が同程度という条件を前提としているものの、単眼用に比べて①視野の拡大、②深い焦点深度、③視力の向上が期待でき、簗島（2004）によると装用者が楽な場合に用いられるとされる。

一方、眼鏡は装用者の瞳孔間距離をもとに、光学中心点間距離を決定して作製される。光学中心が瞳孔間距離から偏位すると眼鏡装用感が不良になるという佐藤ら（1987）の報告からも、眼鏡作製にあたり光学中心点間距離は重要であるが、その報告は少ない。特に両眼用眼鏡式拡大鏡の場合、Tait（1951）による厳密な計算式から、Fonda（1958）による経験値によって採用する方法があり、必ずしも統一された方法で行われているわけではない。

そこで我々は、健常被験者を対象に両眼用眼鏡式拡大鏡の瞳孔間距離の基礎的な検討を行い、光学中心点間距離の決定について検討したので報告する。

連絡先：kanazawa@asakuramegane.com　受理：2019/10/26

2．方法

2.1　対象

対象は、屈折異常以外に眼疾患が認められない男性９名、女性 11 名、全体 20 名（年齢 44.1 ± 10.8 歳、平均 ± 標準偏差、以下、同様）であった。自覚的屈折度数（等価球面値）は、右眼が -1.83 ± 1.80D で左眼が -1.61 ± 1.93D であり，対応のある *t* 検定を行ったところ有意差はなかった（$p>0.05$）。被験者は、片眼の小数視力が左右それぞれ 1.0 以上あり、輻湊近点検査にて 10cm まで輻湊が可能な者を対象とした。また、被験者にはヘルシンキ宣言の理念を踏まえ、事前に実験の目的を説明し、本人からの自由意思による同意を得た上で行った。

2.2　瞳孔間距離の測定値

瞳孔間距離の測定は、眼鏡未装用の状態で明室にてそれぞれ、５m および 30、20、15、10cm の視距離にある目標を固視させた（図１）。

a）

b）

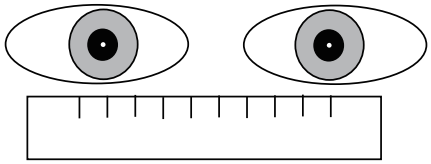

図１　瞳孔間距離測定の概要図

ａ）測定の風景図。鼻根部にひもを当て、取り付けた各距離（30、20、15、10cm）の目標を固視してもらった。ｂ）瞳孔間距離はペンライトによる角膜反射を参照し、各距離で輻湊してもらい三田式万能計測器にて測定した。

このときの角膜反射を参照して三田式万能計測器（はんだや）を用いて行い、これを測定値とした。

2.3　瞳孔間距離の予測値

計算上の瞳孔間距離は、遠方瞳孔間距離を PD、眼球回旋点を Z、角膜頂点間距離を K、視距離を F とした場合、以下の式で計算した。

$$\text{瞳孔間距離} = \mathrm{PD} - \left\{ \mathrm{PD} \times \frac{(Z+K)}{(F+Z+K)} \right\}$$

上記の式は、輻湊量の予測値を計算する Tait（1951）の式をもとに、近見の瞳孔間距離を予測する計算式に変形した。その上で、遠方瞳孔間距離 PD に５m で実測した測定値を、眼球回旋点 Z に 1.35cm を、角膜頂点間距離 K に 1.2cm を、視距離 F に 30、20、15、10cm をそれぞれ代入し、各視距離での計算上での瞳孔間距離を求め、これを予測値とした。

2.4　統計学的解析

統計学的解析は、30、20、15、10cm の視距離での測定値と予測値との関係を検討するため、回帰直線にて解析を行い、相関係数を求めた。また、30、20、15、10cm の視距離での測定値と予測値との差分をとり、反復測定分散分析（repeated measure ANOVA）と多重比較検定法である Scheffé 法により４群間の比較を行った。各検定とも有意水準は $p<0.01$ とした。

3．結果

回帰直線にて解析を行った結果、各視距離での瞳孔間距離の測定値と予測値の間に強い相関を認めた（図２、$r \geqq 0.85$、$p<0.01$）。一方、測定値と予測値との差分は 30、20、15、10cm の間にそれぞれ有意差を認めた（図３、ANOVA、Scheffé、$p<0.01$）。

4．考察

今回、健常被験者を対象に回帰直線と反復測定分散分析を用いて、両眼用眼鏡式拡大鏡の光学中心点間距離の基礎的な検討を行った。

まず、各視距離での瞳孔間距離の測定値と予

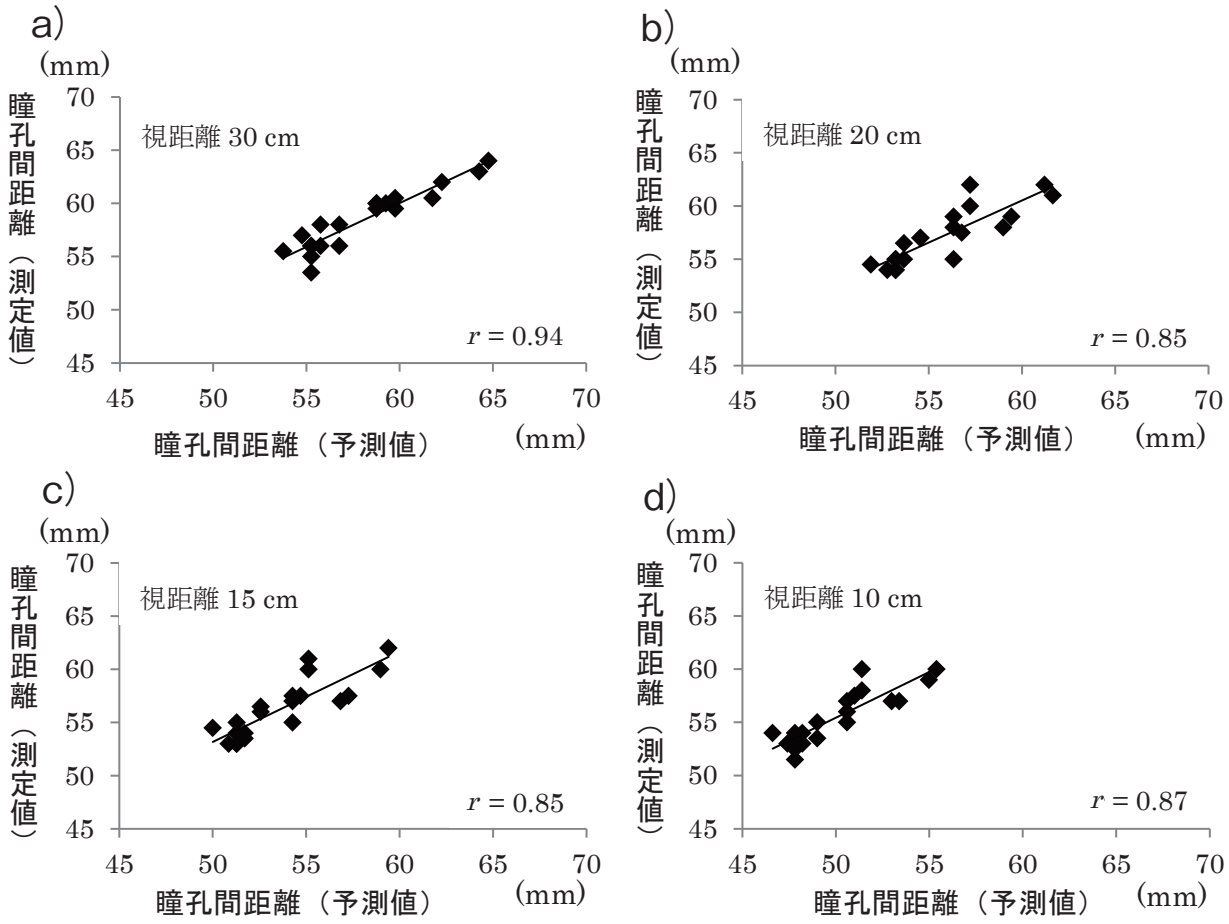

図２　瞳孔間距離における測定値と予測値の結果

縦軸に瞳孔間距離（測定値）を、横軸に瞳孔間距離（予測値）を示す。各視距離での瞳孔間距離の測定値と予測値の間に強い相関を認めた（$p<0.01$）。

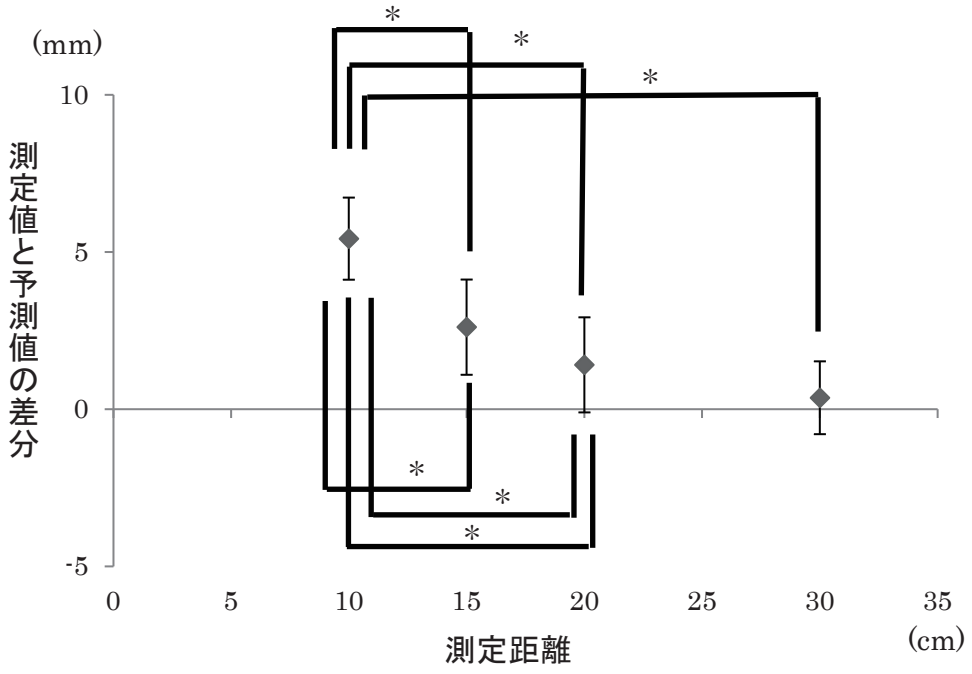

図３　各測定距離における測定値と予測値の差分の結果

縦軸に測定値と予測値の差分を、横軸に測定距離を示す。各視距離の間にそれぞれ有意差を認めた（ANOVA、Scheffé、$p<0.01$）。

測値の間において、回帰直線の解析結果が強い相関を認めた。各視距離（20、15、10cm）を「25cm で見たときの正視眼の網膜像を１倍」とする ISO の基準から倍率に換算すると、それぞれの視距離は 1.25、1.67、2.5 倍に相当する。そのため、2.5 倍までの倍率であれば、遠方の瞳孔間距離から計算で近方における瞳孔間距離の予測が立つ可能性が示された。

一方、各視距離での測定値と予測値との差分をとり、一元配置の分散分析の解析を行ったところ、30、20、15、10cm の間に有意差を認めた。特に、両者の差分は視距離が近づくとともに、誤差が生じやすい可能性が示された。また、差分が正の値へと偏ったため、予測値より実際の輻湊量は少ないという結果となった。差分をとった理由は、被験者の輻湊量を一定の数値で評価するためである。先行研究では、Tait（1951）が「計算をもとに瞳孔間距離を決定する」、Fonda（1958）が「遠方 PD から視距離（D）の２倍を引く」という計算式を提案している。以上の計算式をもとに、遠方瞳孔間距離が 62mm だった被験者を想定してグラフにすると、それぞれの計算結果および予想される実測値は図４のようになる。これは一例であるが、３種類の瞳孔間距離を比較すると、実測値が最も広く、Fonda の式が最も狭かった。ここで両眼用眼鏡式拡大鏡の光学中心点間距離を考える際、

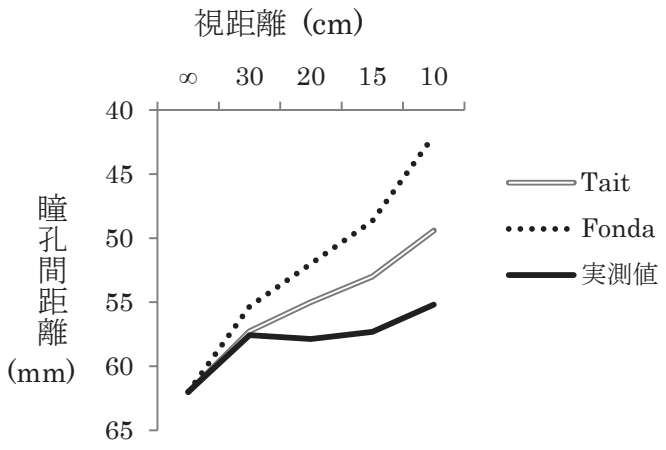

図４　各計算式による瞳孔間距離の比較
遠見の瞳孔間距離が 62mm と想定した結果。縦軸に瞳孔間距離を、横軸に視距離を示す。ここでの実測値は、図４の結果をもとに平均値を示した。

上記の結果を踏まえ、眼鏡装用感が不良にならないよう、決定する必要がある。

まず視距離ごとに結果をみてみると、視距離 30cm の場合、実測値と予測値は回帰直線により、よく再現されていた。また、20cm および 15cm の場合、実測値と予測値との間に差は生じるものの（図３）、回帰直線の結果をみる限りよく近似されていた（図 2b、2c）。これに加え、実測値と予測値との間の差について、プリズムの定義（1990）をもとにプリズムジオプター（Δ）に換算してみると、その差は２Δ程度となる。この差は、吉田（2014）や Jainta, et al. の報告（2015）によると感覚性融像が可能な範囲であり、無視できる範囲の差と考えられる。一方、視距離 10cm の場合、実測値と予測値は近似できていたものの（図 2d）、分散分析の結果、両者の差分に差が認められた（図３）。また、実測値と予測値との間の差は５～６Δ程度となり、感覚性融像の範囲を超え、問題が生じ得る範囲と考えられる。特に遠方 PD が 62mm の被検者が視距離 10cm を見た場合、62 Δの輻湊刺激が必要という計算となり、Morgan（1944）や梶原ら（1986）による報告を参照する限り輻湊が可能な範囲を超えている。そのため、複視が起きていない場合であったとしても、実測値による光学中心点間距離では疲労などの影響で実用的な時間が限られてくる可能性があるため、注意を要する。

輻湊による疲労の影響を上記の例に適応させると、視距離 10cm では「1mm ＝１Δ」となるため、実測値と Fonda の式との差（約 12mm）は、12 Δ基底内方のプリズム効果となる。この 12 Δ基底内方のプリズム効果を輻湊の補助と考えると、図５のごとく、視距離にして 2.5cm 分、ジオプター（メートル角：D）に換算すると 2D 分、輻湊を働かせず、楽をしても両眼視が可能となる計算になる。本検討において、測定中に複視を自覚した者はいなかったが、輻湊を持続して働かせようとした場合、使用が困難になることも考えられるため、必要に応じてプリズム効果を用いて輻湊の補助を行うことを検討する必要がある。

ただし、上記のプリズム効果は眼位矯正を目

的としておらず、あくまで輻湊の補助として考えられていることを念頭に置いて使用すべきである。また、プリズムもしくはプリズム効果を用いることで収差の影響を受けるため、輻湊の補助という効果より見え方そのものに影響する可能性もある。さらに井上ら（2000）は、両眼視をせず交代視をしていた例を紹介しており、この場合、プリズムによる輻湊の補助が必要かどうか不明である。

山崎ら（2013）は両眼開放で見ることが困難になった対象に対し、単眼視か両眼視かの眼鏡の選定において、複数の選択肢を実際に試してみて決定することが大切であると報告している。本検討では両眼用眼鏡式拡大鏡を光学中心点間距離から検討したが、装用感や使用感は個人差も生じるため、最終的には山崎ら（2013）と同様に装用テストを行い、使えるかどうかを判断してから決定する必要があると考えられた。

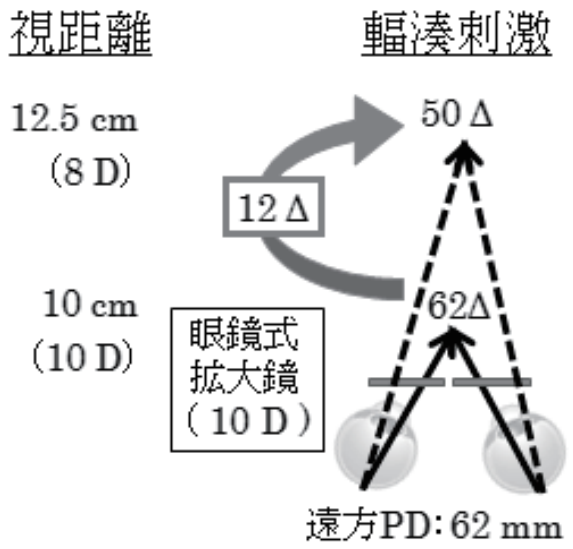

図５　プリズム効果による輻湊の補助
10cm を見るため、10D の眼鏡式拡大鏡を用いた場合、調節刺激は 0D、輻湊刺激は 62 Δ 必要なところ、輻湊刺激が 50 Δで済むことになる。

文献

1）Morgan, M.W.（1944）Analysis of clinical data. *American journal of optometry and archives of American Academy of Optometry*, 21, 477-491.

2）Tait, E.F.（1951）*Textbook of Refraction*. Saunders, Philadelphia.

3）Fonda, G.（1958）Binocular correction for low vision: rationale for rule of thumb for decentration. *American Journal of Ophthalmology*, 45, 23-27.

4）梶原喜久子・伊藤照子・平井淑江・浅野紀美江・恒川幹子（1986）正常者の輻湊力と開散力. 日本視能訓練士協会誌，14，93-98.

5）佐藤美保・北村恵子（1987）処方眼鏡の装用感について. 日本視能訓練士協会誌，15，24-28.

6）平井宏明（1990）幾何光学の基礎. 西信元嗣（編），眼光学の基礎. 金原出版，6-13.

7）井上恵子・上岡康雄・仲泊聡（2000）視覚補助具としての強度凸レンズ眼鏡. 日本視能訓練士協会誌，28，245-251.

8）簗島謙次（2004）ロービジョンと眼鏡. あたらしい眼科，21（11），1461-1465.

9）Rumney, N.J.（2007）Spectacle magnifiers. In A.J. Jackson & J.S. Wolffsohn（Eds.）, *Low Vision Manual*. Elservier, Amsterdam. 小田浩一総監訳（2010）眼鏡式拡大鏡. OBS, 223-239.

10）長谷川真理・石井雅子・張替涼子・阿部春樹（2012）新潟大学におけるロービジョン者に対する近用眼鏡処方の状況. 日本視能訓練士協会誌，41，263-268.

11）山崎幸加・麓智比呂・松森礼子・石井祐子・若倉雅登・井上賢治（2013）両眼開放で日常視を行う事が困難な患者に対する単眼視眼鏡の選定. 日本視能訓練士協会誌，42，89-96.

12）吉田正樹（2014）眼球運動障害の評価法ー複視への対応とその考え方―. 耳鼻咽喉科展望，57，94-100.

13）Jainta, S., Blythe, H.I., Nikolova, M., Jones, M.O. Liversedge S.P.（2015）A comparative analysis of vertical and horizontal fixation disparity in sentence reading. *Vision Research*, 110, 118–127.