
Clinical and Experimental Optometry
RESEARCH

Instant vision assessment device for measuring
refraction in low vision

Desmond Cheng¹, George Woo¹

Accepted for publication 29 November 2020

転載論文

原著

ロービジョン用屈折検査のための簡易視覚評価装置

Desmond Cheng¹, George Woo¹

日本語訳 日本ライトハウス養成部 田邊 正明*

要旨

臨床的関連性：ロービジョン患者の屈折検査には特別な手続きや方略が必要である。視力の低下と強いぼけ像に対する許容度に対応できる装置がロービジョンにおける屈折力を測定するために設計されている。

背景：簡易視覚評価装置 (Instant Vision Assessment Device: IVAD、以下 IVAD と略す) は屈折検査のために目盛を付けた双眼鏡型オプトメーターで、細隙スリットシステムである。この研究はロービジョン患者の屈折検査において IVAD を検証することを目的にしている。

方法：屈折検査は 35 名の健常な被験者 (9 歳から 69 歳) の右眼と、20 名のロービジョン患者 (60 歳から 90 歳) の視力の良いほうの眼を IVAD で測定し、

¹ School of Optometry, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong SAR, China

*たなべただあき 日本ライトハウス養成部

〒538-0042 大阪市鶴見区今津中 2 丁目 4 番 37 号 TEL06-6961-5521 FAX06-6968-2059

自覚的屈折検査と比較した。視力はロービジョン群で比較した。対応のある学生t検定、ブランド-アルトマン分析が方法間の有意差と一致限界を求めるためにそれぞれ使用された。

結果：健常な被験者ではIVADと自覚的屈折検査で測定された等価球面度数の平均値はそれぞれ $-2.88 \pm 2.51D$ と $-2.27 \pm 2.29D$ で、 -0.16 ± 0.47 の差は統計的に有意ではなかった($p=0.05$, $t=2.03$)。ロービジョンの被験者では、IVADと自覚的屈折検査で測定された平均はそれぞれ $-0.66 \pm 2.64D$ と $-0.55 \pm 2.61D$ で、 $0.11 \pm 0.59D$ の差は同様に統計的に有意ではなかった($p=0.43$, $t=2.09$)。IVADで -0.03 ± 0.24 、自覚的屈折検査で 0.07 ± 0.17 の健常な被験者群の乱視J0のみが統計的に有意な $-0.10 \pm 0.25D$ の差を示した($p=0.04$, $t=2.03$)。ロービジョンの被験者ではIVADと自覚的屈折検査から得られた屈折値による視力の平均はそれぞれ $0.52 \pm 0.32 \log MAR$ と $0.53 \pm 0.32 \log MAR$ で、 $0.01 \pm 0.07 \log MAR$ の差は統計的に有意ではなかった($p=0.51$, $t=2.09$)。少なくともIVADによる屈折検査の成分(M、J0、J45)の80%は自覚的屈折検査の $\pm 0.50D$ 以内であった。

結論：IVADはロービジョン患者にとって実用的で有効な屈折検査の方法である。

原稿履歴

受稿 2020年4月23日

改訂 2020年11月10日

受理 2020年11月29日

キーワード

簡易視覚評価装置; ロービジョン; 屈折

はじめに

眼の保健における実践では世界保健機関によってロービジョンには特定の意味が定義されている¹⁾。「ロービジョン者はたとえ治療や標準的な屈折矯正の

後であっても視機能に障害があり、視力は光覚以上6/18(0.3)未満で、視野は固視点から10度未満であるが、作業の計画と実行の一方もしくは双方が利用できる、あるいは潜在的に利用できる人」のことである。

屈折検査は、眼の屈折異常の決定と光学的補助具で矯正して最良の視力を達成するために、眼の保健の本質的な部分となっている。しかしながらロービジョン者の屈折検査は病理学に基づく視力低下が測定されると、たびたび見過ごされてしまう²⁾。結果的に最良の矯正視力がいつも決定もしくは検証されるとは限らない。実際、屈折検査は視力をかなり改善でき、少なくとも視力を上げるために必要な倍率を変更することができ、うまくいったときには拡大装置の必要性を全くなくすることができる²⁾。また、ロービジョンに対する屈折検査の利点が記述され、視力が2段階かそれ以上に改善されたことが11%のロービジョン患者で報告された³⁾。

臨床的な実践では視覚障害者の眼の屈折検査では特別な手続きや方略が必要である。検眼フレームや検眼レンズはロービジョンの検査にはフォロプターよりも好ましい装置である。この装置は患者が偏心して固視すること、検査者が患者の固視している状態を観察することを可能にする。さらに、多くのロービジョン患者は視力検査表の1行か2行の文字列しか読むことができず、視力の低下のため焦点ぼけに対する感度が低下している⁴⁾。

視覚的な比較能力を改善する検査技術に、視力検査表を1.5mか3mに通常近づけて修正する方法がある。するとロービジョン患者が鮮明さの差を認識するための屈折力の変化もより大きくなる。同じ理由でジャクソンクロスシリンダーの $\pm 0.50D$ と $\pm 1.00D$ は一般的に乱視度数と軸の検出のために使われる。視力低下による焦点ぼけに対する許容度は増加するが⁴⁾、屈折力の変化に対する感度を予測する信頼できる方法はない。ゆえに自覚的屈折検査の第一段階は大きな屈折力の変化で始めて、ちょうど差異に気づくまで連続的に大きさを減少させていく。ゆえに、検眼フレームによるロービジョン患者の屈折検査は時間がかかる。その代わりとなる迅速な方法である自動屈折検査が検眼レンズ検査に変わるものとして研究されたが、結果は満足のいくものではない⁵⁾。

IVADは双眼鏡型オプトメーターで、ロービジョン者の球面、円柱面の屈折

異常を測定するために目盛がつけられている、細隙スリットによる屈折検査システムである。細隙スリットは視力が不良なときの乱視度数決定に有効である^{6,7)}。IVADは双眼鏡の鏡筒の長さの変化に応じて後頂点屈折力が変化するため、屈折力は連続的に変化し、わずかな差異を判断する必要はない。また、IVADに備わった拡大機能によってロービジョンの屈折検査が通常の6mで行うことができる。この望遠鏡型オプテーターの初期モデルにおいて、既定の距離で望遠鏡の後頂点屈折力を目盛にした場合、球面屈折異常のシミュレーションをした健全な被験者の測定で再現性が示されている⁸⁾。

この研究は健全およびロービジョンの被験者の球面と円柱面の屈折異常値を計測してIVADを検証することを目的としている。IVADの正確さと精度は自覚的屈折検査と比較して決定される。目標はIVADがロービジョンの検眼フレーム屈折検査の適切な代替品となるかどうかを判断することである。

方法

簡易視覚評価装置 (IVAD)

IVADはオーダーメイドされた2.4倍のガリレオ型焦点調節式双眼望遠鏡である(図1)。IVADの対物レンズは直径23mmの異なった材質(ポリメ

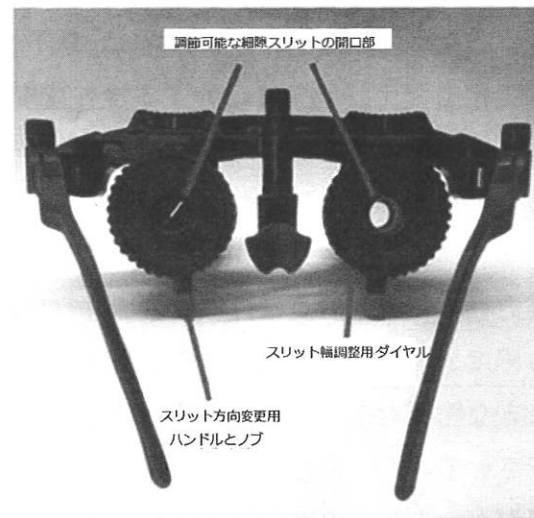
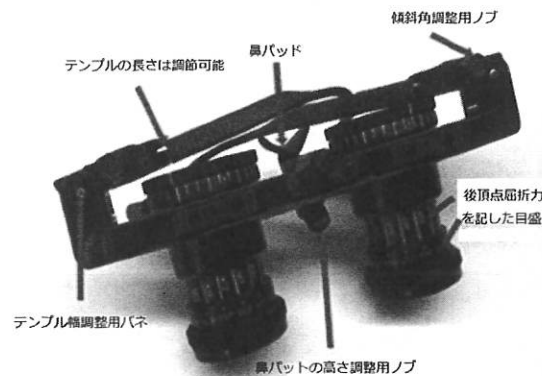


図1 簡易視覚評価装置の上から見た図と後ろから見た図

チルメタクリレートとポリカーボネート)による2枚レンズで構成されていて、接眼レンズは直径10mmのポリメチルメタクリレートの単レンズであった(図2)。望遠鏡はZemax光学設計プログラム(Zemax, 上海、中国)によって目盛が作成され、最適化された。

IVADの目的は中心部の自覚的屈折検査であるため(すなわち、中心窩で最も鮮明な刺激の視標)、設計は光軸上の回折限界の像を供給できるように最適化された。検査の像は5度、つまり中心窩全体の範囲(光線追跡による正当化は図3)をカバーするアイソプラナティックパッチのシステムと比較してかなり小さい(視角1度未満⁹⁾)ので、軸外分布は研究の測定に影響を与えることはない。ゆえに光軸から離れた位置での光学的変化(つまり、瞳孔位置、球面と円柱屈折異常)はこの研究ではほとんど関係ない。望遠鏡の倍率と射出瞳径は、それぞれ鏡筒が一番短い場合の1.7倍と13.5mmから、一番長い場合の2.7倍と8.5mmへとそれぞれ変化する。それぞれの長さにおける望遠鏡の後頂点屈折力はZemaxのプログラムで目盛が作られ、レンズメーターで測定された¹⁰⁾。

設定された30カ所に、3mで屈折検査ができるように+0.62Dから-9.00D

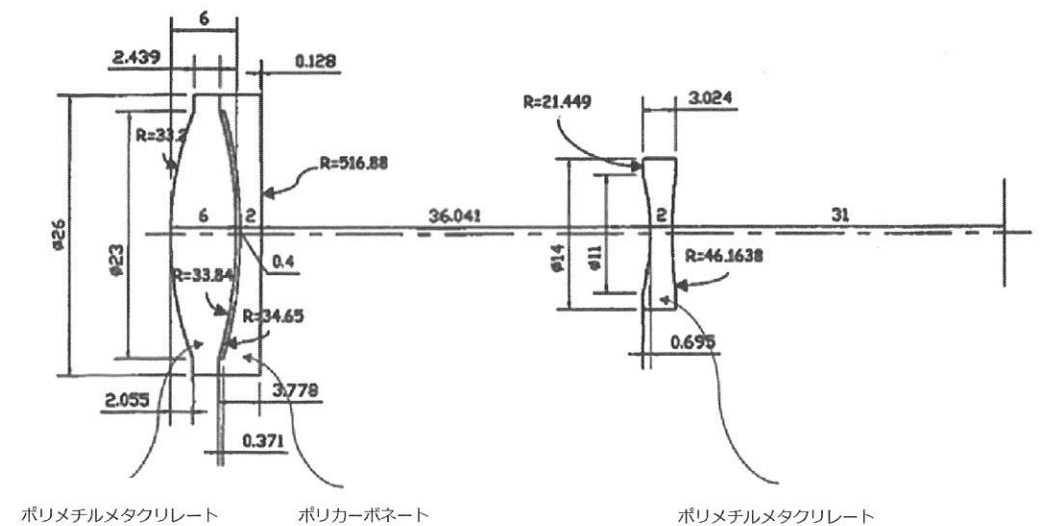


図2 簡易視覚評価装置における3枚レンズシステムの概略図

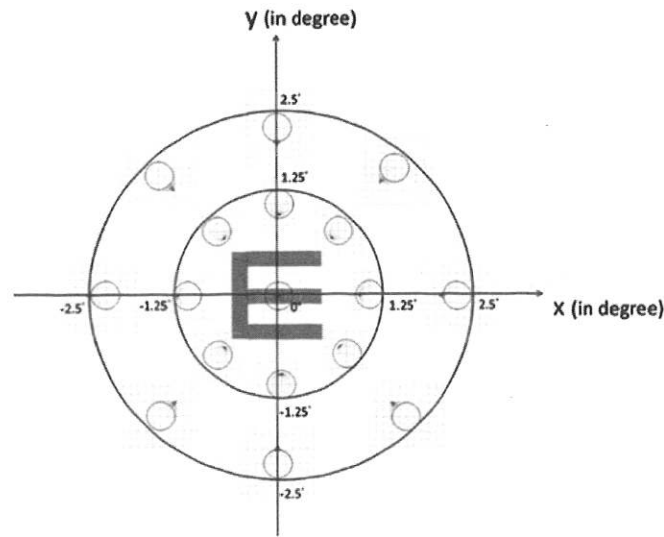


図3 4mmの瞳孔に対して587nmの波長で計算された中心窩領域内（全視角5度）におけるシステムのスポットダイヤグラム。各々のスポットダイヤグラムを囲むエアリーディスクによって示されるように、システムの光学的な質は中心窩領域内において回折限界となっていて、私たちの実験で試験された刺激サイズ（典型的に約1度）の画質の均一性を保証している。

まで目盛がつけられた（表1）。対物レンズに+0.50Dのレンズキャップを付けると測定範囲はプラス側に拡張される（表1）。調節可能な細隙スリットの開口部は接眼レンズに付けられている（図1）。乱視の計測のために、周囲のダイヤルを時計方向に回転すると1mmの細隙スリットが出現するようになっている。ハンドル部分にあるノブは途切れることなくスリットの方を360度回転させることができる。このハンドルはスリットの向きをすばやく90度オフセット位置に移動するように設計されている。

研究の実施

この研究はヘルシンキ宣言の倫理規定に従い、カナダのワートルロー大学、

表1 目盛にされた後頂点屈折力、つまり2.4倍の望遠鏡の30カ所の等価球面度数(SE) (D)の設定

望遠鏡の表示目盛 3m用等価球面度数(D)	+0.5Dの近用レンズを付けた場合の 3m用等価球面度数(D)	6m用等価球面度数(D)
+0.62	+4.06	+2.50
+0.25	+3.50	+2.00
-0.25	+2.75	+1.50
-0.87	+2.25	+0.88
-1.37	+1.75	+0.56
-1.75	+1.19	+0.13
-2.00	+0.75	-0.50
-2.37	+0.25	-1.00
-2.75	-0.25	-1.50
-3.00	-0.69	-2.00
-3.50	-1.25	-2.44
-3.87	-1.75	-2.88
-4.12	-2.00	-3.25
-4.50	-2.50	-3.56
-4.87	-2.94	-3.88
-5.25	-3.25	-4.38
-5.50	-3.75	-4.63
-5.87	-4.00	-4.88
-6.25	-4.50	-5.25
-6.50	-4.75	-5.63
-6.75	-5.13	-6.00
-7.00	-5.34	-6.31
-7.37	-5.75	-6.63
-7.50	-6.00	-7.00
-7.75	-6.38	-7.25
-8.00	-6.75	-7.50
-8.25	-7.00	-7.75
-8.50	-7.25	-8.13
-8.75	-7.50	-8.38
-9.00	-7.75	-8.63

香港理工大学によって審査、承認された。書面と口頭でインフォームドコンセントがすべての参加者から得られ、また成人していない参加者からも彼らの両親からもインフォームドコンセントが得られた。

調査対象母集団

研究データの収集は2か所で実施された。

1. 9歳から69歳の35名の健常な被験者が参加した香港理工大学（香港特別行政区、中国）のアイケアクリニックでは、右眼の屈折異常をIVADで測定した。
2. 60歳から90歳までの20名のロービジョンの被験者が参加したロービジョンクリニック（ワートルロー大学、オンタリオ、カナダ）では、唯一の採用基準は少なくとも6/30(0.2)の視力があることであった。被験者の良いほうの眼をIVADで計測した。

研究計画

本研究は屈折異常の測定におけるIVADを検証するための比較横断研究である。データはIVADによる屈折検査と自覚的屈折検査の結果を被験者ごとに比較できるようにした。屈折検査はIVADを先に行い、その後約1週間空けてから自覚的屈折検査で測定した。検査者は被験者データが秘匿されていないため、観察者バイアスが検査者に影響を与える可能性があった。ゆえに、一度の測定で発生する可能性がある観察者バイアスを最小に抑える必要があるため、異なる日に測定を行った。

自覚的屈折検査の開始点はレチノスコピーの終了点に基づいて行った。ロービジョン群に対する検眼フレームによる調節麻痺薬なしでの自覚的屈折検査は4mで計測され、健常群はフォロプターを用いて6mで計測された。屈折矯正の最終点は両方の群で最良の視力になる最もプラス側とした。IVADの屈折検査では香港理工大学製3m視力表が3mの位置に置かれ、240cd/m²の輝度に設定された。ロービジョン群の被験者が大きな文字の視力表に焦点を合わせる以外、屈折検査のためにIVADを調節する手続きは両群で同じであった。加えて、

IVADと自覚的屈折検査による屈折値で矯正された視力はロービジョン群内で比較された。

Sloan文字によるLighthouse修正版ETDRS視力表1, 2, 3は4mで視力を計測するように使用され、屈折検査間で無作為化された。もし被験者が4mでの文字も見えない場合、視力表は2mに移動された。被験者は視力表の最初の行から見えなくなる一番小さな一行の文字まで読んだ。それぞれの文字は0.02logMAR単位に等しくなっていて、視力はlogMARの単位で記録された。

球面と円柱屈折異常を計測するためのIVADの手順

- ・IVADの瞳孔間距離を設定し、望遠鏡の後頂点距離を10mmに設定して、僚眼は遮蔽された。
- ・被験者は最大のプラス（遠視の焦点合わせ）から一番小さな文字が鮮明に見えるようになるまで鏡筒の長さを短くする必要がある。（“…注意深く焦点を合わせてください…”）という指示がなされた。
- ・被験者は測定の前に数回練習することができた。最終的な焦点合わせは2回測定され、平均値を記録した。
- ・鏡筒の長さを雲霧するために既定の目盛からプラス側に2段階（+0.50から1.00D）だけ増やした²。それから接眼レンズに1mmの細隙スリットを設定した。
- ・被験者は文字が最も鮮明になるまで細隙スリットを回転するように求められた。被験者は数回練習することができ、最後は2回の測定の平均値を記録した。
- ・文字が最も鮮明になる位置が見つからなければ手続きは中断され、最初の焦点合わせの記録を屈折値とした。
- ・文字が最も鮮明になる位置が見つければ細隙スリットはその位置から90度回転され、そのあと被験者はこれらの位置における文字の鮮明さを比較するように求められた。
- ・もし2つの位置の間に文字の鮮明さの差異がなければ手続きは中断され、最

²原著では1段階（一目盛分）だけ増やすとなっているが、一目盛の間隔が+0.25Dから+0.50Dであるため、著者の了承を得て2段階に修正した。

初の焦点合わせの記録を屈折値とした。

- ・もし文字の鮮明さが認められれば、被験者はこのスリットの位置で、最初に見えた一番小さな文字が鮮明に見えるまで鏡筒の長さを短くする必要があった。
- ・この焦点合わせは2回測定され、平均値をこの主経線における屈折値とした。
- ・細隙スリットを90度回転させて第2のスリット位置にし、焦点合わせは2回測定しその平均値を2番目の主経線の屈折値とした。
- ・2つの主経線で決定された屈折力を最終的な屈折値の十分な情報と判断した。

統計的分析

屈折値のパラメーターは等価球面度数の平均値 (M) と垂直と斜めの乱視ベクトル (J0とJ45) で分析された¹¹⁾。次の式がM、J0、J45を計算するために使用された。

- ・ $M = \text{球面度数} + \text{円柱度数} / 2$
- ・ $J0 = -(\text{円柱度数} / 2) \times \cos(2 \times \text{軸})$
- ・ $J45 = -(\text{円柱度数} / 2) \times \sin(2 \times \text{軸})$

方法間の屈折値を比較するために対応のあるスチューデントのt検定を行った。IVADと自覚的屈折検査の一致の程度はブランドーアルトマン分析を行った¹²⁾。差の平均はそれぞれの95%の一致限界で計算された。ブランドーアルトマンプロットは屈折検査の全範囲で2つの方法を視覚的に比較できるようにした。正確さは差の平均を参照し、精度は一致限界を参照している¹³⁾。ロービジョン群のIVADと自覚的屈折検査による視力是对応のあるスチューデントのt検定で比較された。統計的有意性は両側で検定5%水準とした。

結果

健常群の平均年齢は30.7±16.6歳、ロービジョン群は75.6±8.1歳であった。20名のロービジョン群の眼の状態は加齢性黄斑部変性症(14)、緑内障(2)、視神経症(2)、糖尿病性網膜剥離(1)、網膜色素変性症(1)であった。加齢性黄斑網膜症は失明原因の最も一般的な病気であった(67%)。

屈折値の記述統計を表2に示した。健常群ではIVADと自覚的屈折検査で計測した等価球面度数はそれぞれ $-2.88 \pm 2.51D$ と $-2.72 \pm 2.29D$ であり、 $-0.16 \pm 0.47D$ の差は統計的に有意ではなかった($p=0.05$, $t=2.03$)。ロービジョン群ではIVADと自覚的屈折検査で測定された等価球面度数はそれぞれ $-0.66 \pm 2.64D$ と $-0.55 \pm 2.61D$ で、 $-0.11 \pm 0.59D$ の差もまた統計的に有意ではなかった($p=0.43$, $t=2.09$)。IVADと自覚的屈折検査のピアソン相関は両群ともに高かった(0.98)。

乱視度数J0とJ45をIVADと自覚的屈折検査で比較すると、IVADで $-0.03 \pm 0.24D$ 、自覚的屈折検査で $0.07 \pm 0.17D$ の健常群のJ0のみが $-0.10 \pm 0.25D$ の統計的に有意な差を示した($p=0.04$, $t=2.03$)。この2つの方法の違いは統計的に有意であったが、 $-0.10D$ の違いは臨床的に有意ではなかった。

IVADと自覚的屈折検査から矯正されて得られた視力の平均はそれぞれ $0.52 \pm 0.32 \log \text{MAR}$ と $0.53 \pm 0.32 \log \text{MAR}$ で $0.01 \pm 0.07 \log \text{MAR}$ の差は統計的に有意ではなかった($p=0.51$, $t=2.09$)。2つの測定値間のピアソン相関は高かった(0.98)。

自覚的屈折検査からのIVADの偏りを表すブランドーアルトマンプロットを

表2 健常とロービジョンの被験者におけるIVADと自覚的屈折検査による屈折検査の比較のための記述統計³⁾

	IVAD	自覚的屈折検査	差の平均	p値	95%の一致限界	ピアソン相関
健常 (n=35)						
M(D)	-2.88±2.51	-2.72±2.29	-0.16±0.47	0.05	(-1.11, 0.79)	0.98
J0(D)	-0.03±0.24	0.07±0.17	-0.10±0.25	0.04	(-0.60, 0.42)	0.85
J45(D)	0±0.10	0.01±0.03	-0.01±0.24	0.76	(-0.50, 0.48)	0.66
ロービジョン (n=20)						
M(D)	-0.66±2.64	-0.55±2.61	0.11±0.59	0.43	(-1.34, 1.12)	0.98
J0(D)	-0.36±0.30	-0.31±0.30	-0.05±0.27	0.40	(-0.61, 0.51)	0.87
J45(D)	-0.02±0.14	0.08±0.20	-0.10±0.25	0.08	(-0.62, 0.42)	0.83
視力 (logMAR)	0.52±0.32	0.53±0.32	0.01±0.07	0.51	(-0.15, 0.13)	0.98

³⁾ 原著の「差の平均」の値の誤りを著者の了解を得て、次のように変更した。健常のM(D)を $-0.16 \pm 0.79 \rightarrow -0.16 \pm 0.47$ 、J0(D)を $-0.09 \pm 0.25 \rightarrow -0.10 \pm 0.25$ 、ロービジョンのM(D)を $-0.01 \pm 0.24 \rightarrow 0.11 \pm 0.59$ 。

図4に示した。主に近視を含んだ健常群では、測定された近視の範囲で(0から-6.75D)、IVADと自覚的屈折検査で測定された等価球面度数間の差の大部分は95%の一致限界内(-1.11D、0.79D)にあった。28名の健常群(80%)は自覚的屈折検査の $\pm 0.50D$ 以内にIVADの屈折値があった。

ロービジョン群では近視、遠視両方を含んでいて、データの大部分で差は一致限界の95%以内(-1.34D、1.12D)にあった。17名(85%)のロービジョン群のIVADによる屈折値は、自覚的屈折検査の測定値 $\pm 0.05D$ であった。+5から-7Dまでの測定範囲ではIVADの正確度と精度のばらつきに偏りはないと判断された(図4)。

IVADと自覚的屈折検査で計測された乱視度数間の一致限界の95%は健常群でJ0(-0.60D、0.42D)とJ45(-0.50D、0.48D)、ロービジョン群ではJ0(-0.61D、0.51D)とJ45(-0.62D、0.42D)であった(図5、6)。33名(91%)の健常群と17名(85%)のロービジョン群は自覚的屈折検査 $\pm 0.50D$ 以内にJ0のIVADの

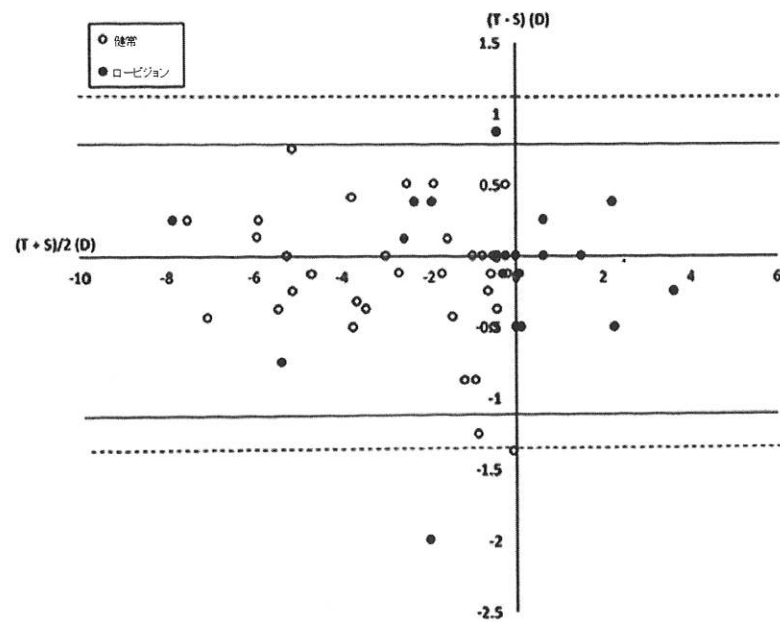


図4 IVADと自覚的屈折検査の等価球面度数の平均 $(T+S)/2(D)$ に対する2つの等価球面度数の差 $(T-S)(D)$ 。点線(ロービジョン群)と実線(健常群)は95%の一致限界を示している。

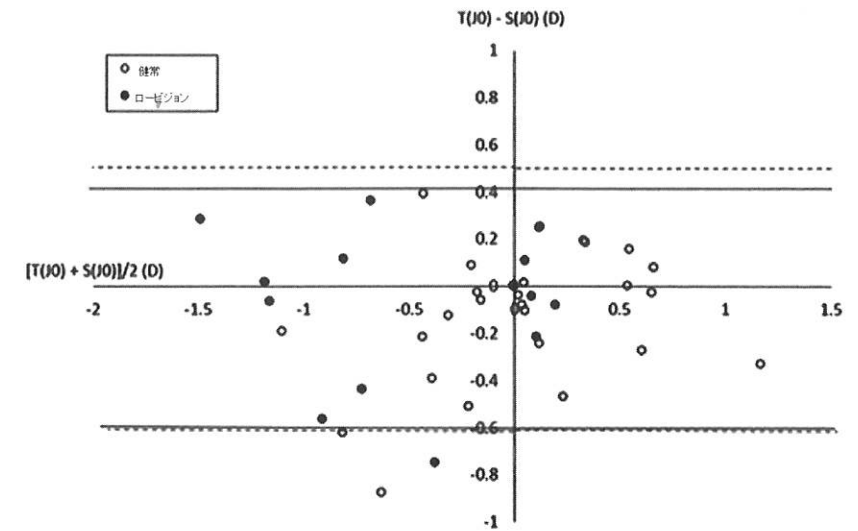


図5 IVADと自覚的屈折検査の乱視度数J0の平均 $[T(J0)+S(J0)]$ に対する2つの乱視度数J0の差 $(T(J0)-S(J0))(D)$ 。点線(ロービジョン群)と実線(健常群)は95%の一致限界を示している。

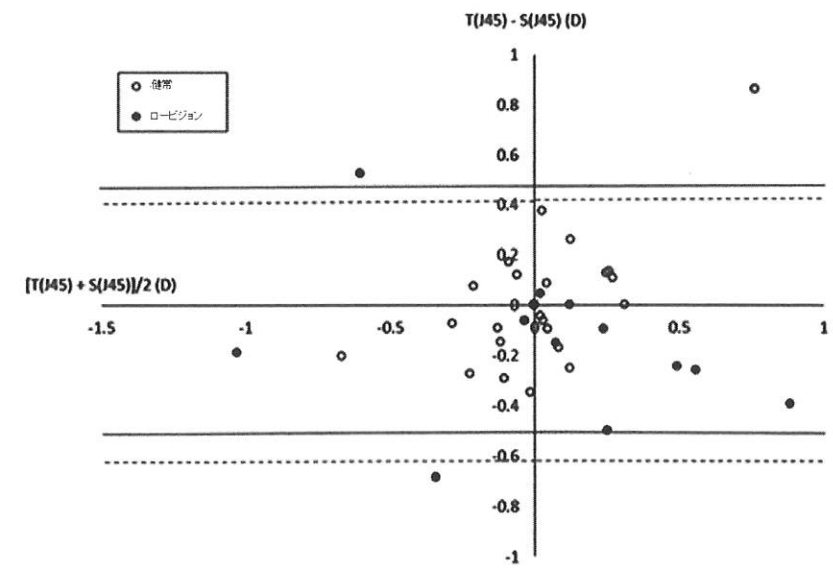


図6 IVADと自覚的屈折検査の乱視度数J45の平均 $[T(J45)+S(J45)]$ に対する2つの乱視度数J45の差 $(T(J45)-S(J45))(D)$ 。点線(ロービジョン群)と実線(健常群)は95%の一致限界を示している。

測定値があった(図5)。34名(97%)の健常群と18名(90%)のロービジョン群は自覚的屈折検査の $\pm 0.50D$ 以内にJ45のIVADの測定値があった(図6)。

J0とJ45の測定範囲ではIVADの正確さのバイアスと精度のばらつきは一定であると考えられた。全体を通して、IVADで測定した屈折検査の成分(M、J0、J45)の少なくとも80%はブランドーアルトマン分析に基づく自覚的屈折検査の $\pm 0.50D$ 以内であった。

考察

この研究では屈折検査におけるIVADの正確さと精度に関して適切に調査した。IVADと自覚的屈折検査によって測定された屈折異常(J0とJ45)は、健常群とロービジョン群の被験者両方において統計的もしくは臨床的に有意な差は認められなかった。ゆえに、IVADは自覚的屈折検査と比較して観察者バイアスは無視できると考えられる。しかしながら、2つの測定間の一致間隔は広い範囲となっていて、等価球面度数は図4に示したように95%の一致限界で健常群では(-1.11D、0.79D)、ロービジョン群では(-1.34D、1.12D)であった。データのプロットにおける外れ値やサンプル数の少なさが原因で広い間隔と低い一致度になったと思われる。

図4を精査するとデータのほとんどは(健常群の35名のうち28名、ロービジョン群20名のうち17名)は $\pm 0.50D$ の範囲内に収まっていた。この範囲は ± 0.25 から $\pm 0.50D$ の自覚的屈折検査の再現性に合致している^{14,15)}。それにもかかわらず、ロービジョン群では、矯正視力はIVADと自覚的屈折検査で同じであった。眼の保健の場でIVADを使用する意義を考えねばならない。

IVADは屈折値を測定するために細隙スリットを使った屈折検査システムである。細隙スリットによる屈折検査の原理は、乱視眼ではスリットの変換によって軸方向の転換によって最小錯乱円の網膜上のぼけ像のサイズが変わることである。眼の主経線のひとつとスリットが一致すると、球面円柱の屈折異常を純粋に球面のものに変え、他方の方向と比較して鮮明な像になる¹⁶⁾。

ジャクソンクロスシリンダーの方法がより正確であると信じられているため、細隙スリットは今日では自覚的屈折検査の乱視測定にはめったに実行されてい

ない。しかしながら、ジャクソンクロスシリンダーはフリップしたレンズ間の変化に気づきにくい視力不良なロービジョン患者では実行することが困難であろう。高度な乱視と視力不良、もしくは白内障や円錐角膜のような重篤な光学的異常を伴った患者では細隙スリットはより有用であるとされている^{6,7)}。

多くのロービジョン患者は視力表の限られた数の文字だけしか読むことができない。ゆえに、視力検査の手続きを完全にするために視力表は通常より近いところ(例えば3m)に置く。しかしながら、投影式視力表や壁掛け式コンピュータスクリーンは可動式でないことが多く、全ての臨床場面で設定がこのような調整に対応できるわけではない。IVADは2.4倍の倍率を供給できるため、ロービジョン患者が通常の6mの距離で屈折検査ができるようになっている。6mで測定する場合の後頂点屈折力、つまりIVADの等価球面度数の目盛設定が表1に記載されている。

さらに、ロービジョン患者を屈折検査するにあたっては、ぼけ像に対する許容度は視力が低くなるとともに増加することが知られているにもかかわらず、屈折力の変化に対応する感度を予想する信頼ある方法がない⁴⁾。6/60(0.1)の患者の何人かは自信と確信をもって0.50Dの変化に気づく一方、同じ視力で2.00Dの変化を区別するのがとても困難な人がある¹⁷⁾。ゆえに、自覚的屈折検査はたいへい大きな屈折力の変化で始め、徐々に変化の値を減らしていき、わずかな違いを発見する。

対照的にIVADは鏡筒の長さを調節することによって屈折力を変化させる。これらの屈折力変化は連続であり検眼フレームによる屈折検査でレンズを交換するよりも簡単である。また、細隙スリットと望遠鏡が自覚的屈折検査システムとして組み合わせられたため、ロービジョン患者は自分の好きな固視点で自己検査できる。これは中心視力が不良な患者にとって特に重要である。ゆえに、IVADは現在の屈折検査技術を強化し、ロービジョン患者に利益をもたらすはずである。

IVAD屈折検査の誤差の潜在的な原因は器械調節である。望遠鏡を使う際の器械調節の研究は限られている。1.00Dの本質的な器械調節は薄暗い光と視野内になにも存在しない条件で低い倍率の望遠鏡を通して見ている被験者で発見

された¹⁸⁾。明るい光のもとで双眼鏡を使うと調節が緩むようになる¹⁹⁾。一眼レフカメラを使用する際に視度調節をより強いプラス側から正確な焦点に減少していくと、器械近視がほぼ解消されることが示されている²⁰⁾。ゆえに器械調節を制御するために遠視の焦点合わせと高い照度が本研究に取り入れられた。これらの2つの条件のもと、屈折異常をシミュレーションした青少年が目盛をつけた2.4倍の望遠鏡を使うことで器械調節が $0.13 \pm 0.12D$ の誤差を生むことが発見され、それは臨床的に重要ではなかった²¹⁾。また、ほとんどの患者が老眼であったためにロービジョン群では器械調節の効果は重要ではなかった。

この研究の知見は発展途上国で自己屈折検査装置としてIVADの使用を正当化するものでもある。等価球面度数の平均に関して、バイアスと95%一致度の $-0.16 \pm 0.95D$ はほかの自己屈折検査装置であるFocometer ($-0.34 \pm 1.6D$)²²⁾、Adspecs (Adaptive Eyecare Ltd, Oxford, UK) ($+0.05 \pm 1.47D$)²²⁾、FcusSpecs ($-0.44 \pm 0.76D$)²³⁾、Adlens (Adlens Ltd, Oxford, UK) ($0.08 \pm 1.10D$)²⁴⁾に匹敵する。

IVADの等価球面と乱視両方の測定能力は母集団を対象とする研究で有利である。なぜならば、中国で使われているAdSpecs²⁵⁾やガーナで使われているFocusSpecs²⁶⁾のような自己屈折検査装置は、それらの研究では屈折値分析のための強さを制限していて等価球面度数のみを計測していたからである。球面円柱屈折異常を計測する際に改良された自己調節眼鏡(Adlens)を調査した最近の研究では95%の一致限界で、自覚的屈折検査に対して乱視J0が $0.01 \pm 0.59D$ 、J45が $0.07 \pm 0.54D$ となった。これはIVADが健常な被験者で計測した乱視J0が $-0.09 \pm 0.51D$ 、J45が $-0.01 \pm 0.49D$ に匹敵する。

本研究にはいくつかの限界がある。この研究の最初の計画はIVADをロービジョン患者の検眼フレーム屈折検査の代わりとなる可能性に焦点をあてることだったため、矯正視力のデータは健常群で集められず、本研究でのIVADを検証する力を弱めた。屈折検査の方法は被験者間で無作為化されておらず、検査者は屈折値のデータを秘匿化されなかった。しかしながら2つの測定のために異なる時間枠を設定することで観察者バイアスを最小化した。IVADによる屈折検査と自覚的屈折検査を完了するために必要な時間は計測されず、ゆえに

IVADがロービジョン検眼フレーム屈折検査よりも効果的かどうかは確認できなかった。将来の研究がこれら全ての限界に対処し、IVADを完全に検証するための大きな群を含むべきであろう。

開示声明

潜在的な利益相反は著者によって報告されていない。

資金調達

このプロジェクトは香港理工大学の助成金[WPIVAD594P]を通じて支援された。

ORCID (Open Researcher and Contributor ID)

Desmond Cheng ID: <http://orcid.org/000-0001-7547-8293>

George C Woo ID <http://orcid.org/000-0001-5401-1280>

参考文献

- 1) WHO Programme for the Prevention of Blindness. Management of low vision in children: report of a WHO consultation, Bangkok, 23-24 July 1992. World Health Organization 1993.
- 2) Freeman PB. Never underestimate the importance of refraction. *Optometry*. 2010;81:493-494.
- 3) Sunness JS, El Annan J. Improvement of visual acuity by refraction in a low-vision population. *Ophthalmology*. 2010;117:1442-1446.
- 4) Legge GE, Mullen KT, Woo GC, et al. Tolerance to visual defocus. *J Opt Soc Am (A)*. 1987;4:851-863.
- 5) DeCarlo DK, McGwin G Jr, Searcey K, et al. Trial frame refraction versus autorefraction among new patients in a low-vision clinic. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013;54:19-24.
- 6) Benjamin William. *Borish's Clinical Refraction*. 2nd ed. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann-Elsevier; 2006.

- 7) Long WF. Stanopaeic slit refraction. *Optom Weekly*. 1975;66:1063-1066.
- 8) Cheng D, Woo GC. The calibration of a 2.5X Galilean focusable telescope as an optometer for refraction. *Ophthal Physiol Opt*. 2000;20:342-347.
- 9) Di Jorio M. The general theory of isoplanatism for finite aperture and field. *J Opt Soc Am (A)*. 1949;39:305-319.
- 10) Woo GC, Lu CW, Wessel JA. Estimation of back vertex power and magnification of variable focus telescopes. *Ophthal Physiol Opt*. 1995;15:319-325.
- 11) Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci*. 1997;74:367-375.
- 12) Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1:307-310.
- 13) Cecconi M, Rhodes A, Poloniecki J, et al. Bench-to-bedside review: the importance of the precision of the reference technique in method comparison studies—with specific reference to the measurement of cardiac output. *Crit Care*. 2009;13:201.
- 14) Goss DA, Grosvenor T. Reliability of refraction—a literature review. *J Am Optom Assoc*. 1996;67:619-630.
- 15) Rosenfield M, Chiu NN. Repeatability of subjective and objective refraction. *Optom Vis Sci*. 1995;72:577-579.
- 16) Muñoz-Escrivá L, Furlan WD. The stenopaeic slit: an analytical expression to quantify its optical effects in front of an astigmatic eye. *Ophthal Physiol Opt*. 2001;21:327-333.
- 17) Bailey IL. Refracting low vision patients. *Optometric Monthly*. 1978;5:131-135.
View publication stats
- 18) Smith G. The accommodative resting states, instrument accommodation and their measurement. *Opt Acta*. 1983;30:347-359.

- 19) Wald G, Griffin DR. The change in refractive power of the human eye in dim and bright light. *J Opt Soc Am*. 1947; 37:321-336.
- 20) Ohzu H, Shimojima T. Optimum dioptré value for a viewfinder of photographic camera. *Opt Acta*. 1972;19:343-345.
- 21) Cheng D. Telescopic refraction. Thesis 1995.
- 22) Smith K, Weissberg E, Trivison TG. Alternative methods of refraction: a comparison of three techniques. *Optom Vis Sci*. 2010;87:176-182.
- 23) Ilichee AA, Abokyi S, Owusu-Ansah A, et al. Self-refraction accuracy with adjustable spectacles among children in Ghana. *Optom Vis Sci*. 2015;92:456-463.
- 24) Leube A, Kraft C, Ohlendorf A, et al. Self-assessment of refractive errors using a simple optical approach. *Clin Exp Optom*. 2018;101:386-391.
- 25) He M, Congdon N, MacKenzie G, et al. The child self-refraction study results from urban Chinese children in Guangzhou. *Ophthalmology*. 2011;118:1162-1169.

謝辞

日本語翻訳の機会を与えていただいた香港理工大学George Woo先生、日本語の校正にご協力いただいた新潟県立東新潟特別支援学校の多田和弘先生に感謝いたします。