眼軸長測定に及ぼす瞳孔径の影響 ～超音波式と光学式の比較～

矢野 隆¹⁾・魚里 博²⁾・鈴木 博子¹⁾
嶺井利沙子¹⁾・根本 徹³⁾・清水 公也¹⁾

¹⁾ 北里大学医学部眼科学教室 ²⁾ 北里大学医療衛生学部

³⁾ 海老名総合病院 眼科

The Effect of Pupil Diameter on Measurement of the Axial Length ～Comparison Between Ultrasonic Biometry and Optical Biometry～

Takashi Yano¹⁾, Hiroshi Uozato²⁾, Hiroko Suzuki¹⁾, Risako Minei¹⁾
Tetsu Nemoto³⁾, Kimiya Shimizu¹⁾

¹⁾ Department of Ophthalmology, Kitasato University

²⁾ Department of Orthoptics and Visual Science, Kitasato University

³⁾ Department of Ophthalmology, Ebina General Hospital

要 約

眼軸長測定には散瞳下・無散瞳下（自然瞳孔）のどちらの条件が適しているか。また新しい光学式の眼軸長測定装置ZEISS社製IOLMaster™（以下IOLMaster）を従来の超音波Aモード装置NIDEK社製US-800™（以下Aモード）と比較し、その有用性について検討したので報告する。対象は正常有志10名20眼（年齢22歳～28歳）。散瞳前後の眼軸長及び前房深度をAモードとIOLMasterで測定比較した。眼軸長及び前房深度の各測定において無散瞳下のAモードに対する3群（散瞳下のIOLMaster・無散瞳下のIOLMaster・散瞳下のAモード）の間で有意差を認めた。また前房深度測定においてIOLMasterは散瞳前後でも有意差を認めた。眼軸長及び前房深度の各測定の標準偏差値はIOLMasterは散瞳前後では小さく、無散瞳下のAモードでは一番大きかった。瞳孔径別の眼軸長及び前房深度測定の標準偏差値はIOLMasterでは、ほぼ一定であった。Aモードでは瞳孔径が小さいと標準偏差値は大きく、瞳孔径が大きくなるほど標準偏差値は小さくなった。Aモードでは散瞳下での測定、IOLMasterでは散瞳下・無散瞳下のどちらの条件でも測定に適していると考えられた。新しい光学式の眼軸長測定装置IOLMasterは、臨床においても極めて有用な装置であると考えられる。

別冊請求先（〒228-8555）神奈川県相模原市北里1-15-1

北里大学病院眼科 矢野 隆

Tel. 042-778-8429 Fax. 042-778-9920

Key words : measurment of the axial length, pupil diameter, ultrasonic biometry, optical biometry
眼軸長測定, 瞳孔径, 超音波式, 光学式

Abstract

Which is more accurate to measure for the axial length, with or without the mydriasis? We compared the situations by using two devices; the IOLMaster, which is a new optical biometry made by Carl ZEISS Company, and the US-800 A-mode, used as standard, made by NIDEK Company. The study involved 20 eyes of 10 normal subjects aging between 22 and 28-years old. We measured the axial length and the anterior chamber depth with and without the mydriasis by the IOLMaster and the A- mode devices in all subjects.

The result showed the significant differences among three groups of condition, which were the A-mode measurement with the mydriasis, the IOLMaster measurement with and without the mydriasis, against the condition of the A-mode measurement without the mydriasis. The study also revealed the IOLMaster had the significant differences in measurement of the anterior chamber depth with and without the mydriasis. The standard deviation of the axial length measurement and the anterior chamber depth was relatively small according to the IOLMaster in both conditions with and without the mydriasis, and was the largest according to the A-mode in the condition without the mydriasis. In addition, the standard deviation of measurement in the axial length and the anterior chamber depth according to the pupil size remained almost constant in IOLMaster. On the other hand, the A-mode measurement showed a larger standard deviation for a smaller pupil size, and the vice versa.

As a conclusion, we found the A-mode measurement was more accurate with the mydriasis, and the IOLMaster resulted in no significant differences with and without the mydriasis. From the above, the IOLMaster, a new optical biometry measurement of the axial length, is proven to be a quite useful device to use in the clinical setting.

I. 緒 言

白内障手術は超音波水晶体乳化吸引術および眼内レンズ挿入術が定型となり安全で完成度の高い手術となった。さらに小切開手術の普及により確実に術後乱視が軽減し術後早期からのよりよい視機能の回復が期待できる^{1) 2)}。その為現在では一種の屈折矯正手術としての意味も持っている^{3) 4)}。これに伴い眼内レンズの度数決定はさらに重要になっており、その決定要素の中でも眼軸長の値がもっとも重要である^{2) 3) 5) ~11)}。眼軸長を測定するとき施設によっては散瞳下・無散瞳下（自然瞳孔）と異なった条件で測定する場合が多い。異なった条件下では瞳孔径、前房深度の影響が考えられるのでその点も含め今回我々は、どちらの条件がより正確な測定に適しているかを検討した。さらに、微弱なレー

ザー光を光源とし干渉を応用する光学式^{12) ~15)}で非接触型の新しい眼軸長測定装置であるZEISS社製IOLMaster™（以下IOLMaster）を従来の超音波Aモード装置NIDEK社製US-800™（以下Aモード）と比較し、その有用性について検討したので報告する。

II. 対象及び方法

1. 対象

北里大学病院及び関連病院の視能訓練士で屈折異常以外に眼疾患を有さない22歳から28歳の10名20眼（男性4眼、女性16眼、平均年齢23.8歳）で同意を得た上で行った。

2. 検査装置

Aモードの原理はトランスジューサーから発せられた超音波を再び同じトランスジューサー

で受信しその時の強度・時間の差で測定する。眼軸長としては角膜表面から内境界膜までの距離を測定する。超音波は特性上、直進性は高いが指向性が悪い¹⁶⁾。径約6mmのプロープ(振動子)で凹面振動子を用いて超音波を約25mm前後に集束させているが実際ビーム幅は狭められるが1点には集束しない。利点としてこの1点に集束しないことで視軸上に混濁があっても測定はできる。欠点としては接触型の計測を用いるので角膜圧迫の影響¹⁷⁾などが考えられる。IOLMasterは眼軸長・前房深度だけでなく角膜曲率半径も測定可能な器械である(図1)。原理は微弱なダイオード・レーザー光(780nm)を光源とし干渉を応用し測定する。眼軸長としては角膜表面から網膜色素上皮までの距離を測定する。利点として非接触型なので点眼不要、不快感がない、感染症予防、角膜圧迫がない、測定時間が短い(1回の測定に必要なレーザー照射時間0.5s、測定時間約1分とAモードの5分の¹⁾¹⁸⁾、同一検者・異なる検者間においても測定誤差は少ない。欠点としてAモードと違い細いレーザー光を使用しているので前眼部・中間透光体の混濁が程度に関わらず視軸上にある

と測定困難である。ダイオード・レーザー光はレーザー装置の危険度ではClass 1(眼障害を生じ得ない低出力のもの、直接レーザービームを固視し続けても安全)¹⁹⁾であり黄斑部への影響はないと言われているが1日に測定できる回数が1眼につき20回と制限されている。

3. 方法

眼軸長・前房深度測定にはAモードとIOLMasterを用い、瞳孔径測定には半田屋製DISTANTOMETER™を用いた。測定は400lxの照度下で起座位にて、まず無散瞳下(自然瞳孔)での眼軸長・前房深度測定をIOLMaster、Aモードの順で行い次いでミドリンP®の点眼30分後の散瞳下で同様に行った。この時固視の動揺がない事を確認しながら行った。瞳孔径測定は400lxの照度下で眼軸長・前房深度測定前に行った。今回少数の被検者において測定時に縮瞳があり、また実際に白内障手術をする高齢者において縮瞳傾向が見られるので2名4眼に2%の塩酸ピロカルピンを用い点眼60分後の縮瞳下で眼軸長・前房深度をIOLMaster、Aモードで測定を行った。

4. 検討項目

図1 IOLMaster®の外観

以下の6項目について検討を行った。

- ①散瞳下・無散瞳下における2機種（超音波式・光学式）での眼軸長精度の比較
 - ②散瞳下・無散瞳下における2機種での前房深度精度の比較
 - ③散瞳下・無散瞳下における2機種での同一被験者内の眼軸長と前房深度の比較
 - ④散瞳下・無散瞳下における2機種での同一被験者内の標準偏差値の比較
 - ⑤瞳孔径別における2機種での標準偏差値の比較
 - ⑥散瞳下・縮瞳下における2機種での同一被験者内の眼軸長・前房深度、標準偏差値の比較
- 統計の解析において正規分布する場合は対応のあるt検定、正規分布が仮定できない時Wilcoxonの符号付順位和検定を用いた。また瞳孔径別における2機種での標準偏差値の比較では二元配置分散分析法を用いた。

Ⅲ. 結 果

平均瞳孔径は散瞳下6.9mm、無散瞳下4.5mm、縮瞳下2.5mmであった。

- ①散瞳下・無散瞳下における2機種での眼軸長精度の比較

表1の通りである。4群間（散瞳下のIOLMaster・散瞳下のAモード・無散瞳下のIOLMaster・無散瞳下のAモード）での有意差を検定したところ図2のようになった。

- ②散瞳下・無散瞳下における2機種での前房深度精度の比較

表2の通りである。4群間での有意差を検定したところ図3のようになった。

- ③散瞳下・無散瞳下における2機種での同一被験者内の眼軸長と前房深度の比較
- 表3のごとくである。

表1 眼軸長測定の結果 (n=20)

	散瞳下 (mm)	無散瞳下 (mm)
IOLMaster	24.61±0.99	24.62±0.99
A モード	24.59±0.98	24.55±0.99

図2 眼軸長測定の結果
(対応あるt検定)
IOLMasterはIOLMと表記する。

表2 前房深度測定の結果 (n=20)

	散瞳下 (mm)	無散瞳下 (mm)
IOLMaster	3.69±0.17	3.62±0.13
A モード	3.65±0.21	3.46±0.19

図3 前房深度測定の結果
(Wilcoxonの符号付順位和検定)

- ④散瞳下・無散瞳下における2機種での同一被験者内の標準偏差値の比較

眼軸長・前房深度の各測定におけるIOLMasterの標準偏差値は散瞳下・無散瞳下の条件下ではほぼ同じ値であった。散瞳下のIOLMasterの標準偏差値を1としたとき散瞳下のAモードの標準偏差値は眼軸長において約2倍、前房深度では約7倍だった。また無散瞳下のAモードでは眼軸長において約3倍、前房深度では約9倍だった（表4）。IOLMasterによる眼軸長・前房深度の各測定では散瞳下・無散瞳

表3 同一被験者内の散瞳前後の眼軸長と前房深度の比較（n = 20）

	散瞳下－無散瞳下(mm)	
	眼軸長	前房深度
IOLMaster	-0.003±0.007	0.069±0.089
Aモード	0.043±0.065	0.207±0.121

同一被験者内の散瞳下の眼軸長・前房深度の測定値から無散瞳下の眼軸長・前房深度の測定値を各々引いた値の平均値を表している。

表4 同一被験者内の標準偏差値の結果（n = 20）

	散瞳下 (mm)		無散瞳下 (mm)	
	眼軸長	前房深度	眼軸長	前房深度
IOLMaster	0.015	0.005	0.017	0.008
Aモード	0.027	0.035	0.043	0.076

図4 同一被験者内の標準偏差値の結果

図5 瞳孔径別の標準偏差値の結果（眼軸長）

図6 瞳孔径別の標準偏差値の結果（前房深度）

表5 同一被験者内の散瞳下・縮瞳下の眼軸長と前房深度の比較（n = 4）

	散瞳下－縮瞳下(mm)	
	眼軸長	前房深度
IOLMaster	-0.015±0.013	0.278±0.154
Aモード	0.063±0.119	0.220±0.109

同一被験者の散瞳下の眼軸長・前房深度の測定値から縮瞳下の眼軸長・前房深度の測定値を各々引いた値の平均値を表している。

表6 同一被者内の標準偏差値の結果 (n = 4)

	散瞳下 (mm)		無散瞳下 (mm)		縮瞳下 (mm)	
	眼軸長	前房深度	眼軸長	前房深度	眼軸長	前房深度
IOLMaster	0.018	0.001	0.015	0.01	0.013	0.012
A モード	0.02	0.011	0.034	0.09	0.056	0.091

下の両条件下で標準偏差値は小さかった。眼軸長・前房深度の各測定において一番標準偏差値が大きかったのは無散瞳下のAモードだった(図4)。

⑤瞳孔径別における2機種での標準偏差値の比較

眼軸長・前房深度の各測定において器械と瞳孔径に関しての有意差(二元配置分散分析法)を検討したところ器械の間の標準偏差値に関して($p < 0.001$)有意差を認めた。IOLMasterは瞳孔径の大きさに関わらず標準偏差値は一定だった。Aモードは瞳孔径が大きくなるにつれて標準偏差値は小さくなった(図5、図6)。

⑥散瞳下・縮瞳下における2機種での同一被験者内の眼軸長・前房深度、標準偏差値の比較

表5、表6に示す通りである。

IV. 考 按

白内障手術は完成度の高い手術となり現在一種の屈折矯正手術としての意味も持っている。術後の大きな屈折ずれは明白な合併症である²⁰⁾とされているくらいに眼内レンズの度数決定にはより正確なものが要求される。Olsenは術後屈折誤差の原因として眼軸長測定の誤差が54%と報告しているように²²⁾眼内レンズの度数決定にはより精度の高い眼軸長測定が要求される。しかし眼軸長測定の時、施設ごとに散瞳下や無散瞳下と異なる条件で測定する場合が多く統一された見解はない。一般的に言われているのは超音波による測定では視軸を捕らえていなくても反射エコーは受信されてしまうので視軸を捕らえやすくするためには無散瞳下で測定を

行うのが良い^{23) 24)}とされている。またトロピカミドなどによる散瞳薬の使用は緑内障誘発の危険、散瞳による羞明、調節麻痺などの不都合が生じるため無散瞳下で測定を行うのが良いとされ散瞳眼と無散瞳眼との眼軸長測定には有意差はなかったという報告もある²⁵⁾。

今回AモードとIOLMasterの両者で散瞳下・無散瞳下の各条件下での眼軸長測定値を比較したところIOLMasterでは有意差はなくAモードでは有意差があった。同一条件で各々の器械で比較したところ散瞳下において有意差はなかったが無散瞳下では有意差が認められた。つまりAモードによる無散瞳下の眼軸長測定に対する3群(散瞳下のIOLMaster・散瞳下のAモード・無散瞳下のIOLMaster)の間で有意差があった。これらの有意差は調節に基づく前房深度の変化と水晶体厚の影響が考えられる。所ら²⁶⁾は調節因子による前房深度の変化が眼軸長の測定値に対してどの程度影響しているか研究し、散瞳前後で前房深度の差が0.28mmだと眼軸長の変化量は0.026mm程度であると報告している。今回の我々の結果でもAモードでの散瞳前後の前房深度の差は0.207mm、眼軸長差は0.043mmであるので調節の因子による前房深度変化の影響が見られた。さらに縮瞳下で測定した結果、散瞳下と縮瞳下の前房深度の差は0.22mm、眼軸長の差は0.063mmとなり縮瞳下においても調節の因子による影響が示唆され、その影響は無散瞳下より大きくなった。

前房深度に関して瞳孔径の影響は無視できない^{25) 26)}が調節に基づく前房深度の測定値が眼軸長に及ぼす影響は少ないと報告されている²⁷⁾。今回散瞳下のIOLMasterと無散瞳下のIOLMasterにおいて有意差はあったものの前房

深度の測定値差は0.069mmとAモードの前房深度の測定値差に比べ約1/3の値だった。縮瞳下においてIOLMasterの前房深度の測定値差はAモードとほぼ同様な0.278mmと大きくなった。このことから実際、散瞳前後で前房深度はあまり変化していないことも考えられる。また無散瞳下で測定すると前房深度が水晶体前面の反射ではなく虹彩表面の反射で測定されることがある²⁸⁾ことも考慮すると超音波による前房深度測定は瞳孔径の影響を大きく受けることが考えられる。同一被験者内の標準偏差値は無散瞳下のAモードでは眼軸長において約3倍、前房深度では約9倍、散瞳下のIOLMasterの標準偏差値に比べ大きかった。またIOLMasterにおいて縮瞳下での眼軸長・前房深度測定の標準偏差値は散瞳下・無散瞳下とほぼ変わらなかった。Aモードでは縮瞳下の眼軸長・前房深度測定において標準偏差値がさらに大きくなった。Aモードによる測定はトランスジューサーから発せられた超音波を再び同じトランスジューサーで受信し、その時の強度・時間の差で測定する。超音波の特性上直進性は高いが指向性が悪く原理上測定プローブ径が約6mmと大きいと瞳孔径による超音波の吸収・散乱減衰の影響²⁸⁾が見られらつきが大きくなったと考えられる。光学式のIOLMasterはAモードと違い測定光束が細く指向性が良いので瞳孔径の影響を受けずに測定できたと考えられる。

瞳孔径別の標準偏差値ではIOLMasterは瞳孔径の大きさに関わらず標準偏差値は一定で瞳孔径の影響を受けなかった。Aモードは瞳孔径が小さくなるにつれて標準偏差値は大きくなった。Aモードによる測定では無散瞳下に比べ散瞳する事によって方向が定まらずに、ばらつきが大きくなってしまふ事が考えられる。しかし無散瞳下での瞳孔径の影響によるばらつきの方が大きくなった事からAモードによる測定では瞳孔径の影響が少ない散瞳下での測定が適していると考えられた。一方IOLMasterによる測定では瞳孔径の影響を受けにくいので散瞳下・無散瞳下のどちらの条件でも適していると考えられた。しかし散瞳による不都合と無散瞳下の方が視軸を捕らえやすい事を考えると無散瞳下で測定が

適していると考えられた。

IOLMasterによる測定は非接触型なので点眼不要、不快感がない、感染症予防、角膜圧迫がない、測定時間が短い、同一検者・異なる検者間においても測定誤差は少ないという利点の他に散瞳薬の使用も必要としないので患者から見ても負担が少なく、かつ正確に測定できるので臨床においても極めて有用な装置であると考えられた。

参考文献

- 1) 清水公也：角膜耳側切開白内障手術。眼科37：323-330, 1995.
- 2) 清水公也：白内障手術の再評価。あたらしい眼科16：1185-1189, 1999.
- 3) 三宅 謙作：最近の白内障手術をとりまく問題，三宅 謙作（編）：眼科診療プラクティス29，2-12，文光堂，東京，1997.
- 4) 大鹿哲郎：小切開創白内障手術。1-6，医学書院，東京，1994.
- 5) 松野礼子，他：より正確な眼軸長を測定するためには。日本視能訓練士協会誌27：211-215, 1999.
- 6) 福山 誠，他：眼内レンズ度数決定。あたらしい眼科14：529-534, 1997.
- 7) 長谷川敦俊，他：眼内レンズ手術における球面屈折誤差。IOL&RS13：98-105, 1999.
- 8) 福山 誠：眼内レンズ度数決定における眼軸長測定の重要性和問題点。日本の眼科69：339-343, 1998.
- 9) 福山 誠，他：眼内レンズパワーミス，臼井正彦（編）：眼科診療プラクティス52，37，文光堂，東京，1999.
- 10) 福山 誠：不同視，臼井 正彦（編）：眼科診療プラクティス52，81，文光堂，東京，1999.
- 11) 高良由紀子：眼内レンズ度数計算，谷口 重雄（編）：白内障外来，126-135，メジカルビュー社，東京，1998.
- 12) 関根明彦，他：波長シフト干渉法を応用した眼軸長測定。視覚の科学14：183-188, 1993.
- 13) Hitzenberger CK, et al：Measurement of the axial length of cataract eyes by laser doppler

- interferometry. Invest Ophthalmol. Vis Sci 34 : 1886 - 1893, 1993.
- 14) Drexler W, et al : Partial coherence interferometry : A novel approach to biometry in cataract surgery. Am J Ophthalmol 126 : 524 - 534, 1998.
 - 15) Hitzenberger CK : Optical measurement of the axial eye length by laser doppler interferometry. Invest Ophthalmol. Vis Sci 32 : 616 - 624, 1991.
 - 16) 魚里 博 : 超音波診断装置 (眼球計測用). 湖崎 克, 西信元嗣, 可児一孝 (編) : 眼科器械の使い方. 第3版, 医学書院, 東京, 303 - 309, 1992.
 - 17) 松浦豊明, 他 : Echo probeの圧迫による眼軸長への影響. IOL 3 : 13 - 16, 1989.
 - 18) 嶺井利沙子, 他 : レーザー干渉による非接触型眼軸長測定の検討. あたらしい眼科19 : 121 - 124, 2002.
 - 19) 野寄喜美春, 他 : レーザー光に対する眼の安全対策. レーザー眼科学, 140 - 143, 医学書院, 東京, 1983.
 - 20) 大鹿哲郎 : 眼軸長測定および眼内レンズ度数計算式の信頼性. 臨眼52 : 33 - 36, 1998.
 - 21) 杉田 達 : 白内障日帰り手術. 56, メジカルビュー社, 東京, 1999.
 - 22) Olsen T : Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Surg 18 : 125 - 129, 1992.
 - 23) 小松真理 : 眼軸長, Pachymeter (付) 眼内レンズパワー測定. 可児 一孝 (編) : 眼科診断機器とデータの読み方, 132 - 133, 文光堂, 東京, 1995.
 - 24) 真鍋禮三 : 眼科検査法 - 手技の実際と読み方のこつ - . 152 - 155, 南江堂, 東京, 1993.
 - 25) 真鍋 勉, 他 : 超音波による眼軸長計測時の瞳孔径について. 眼紀29 : 1758 - 1763, 1978.
 - 26) 所 敬 : 眼科領域の超音波による生体計測. 臨眼35 : 1391 - 1403, 1981.
 - 27) 所 敬, 他 : デジタル表示式超音波診断装置による眼軸長の測定. 第3報 ; 体位による測定値の変動. 日眼会誌81 : 72 - 75, 1977.
 - 28) 太根節直 : 眼科超音波診断法. 103 - 121, 診断と治療社, 東京, 1993.