

開瞼器による角膜形状変化

杉浦 毅¹⁾, 稲用 和也¹⁾, 征矢 耕一²⁾, 宮田 和典³⁾

¹⁾旭中央病院眼科, ²⁾関東通信病院眼科, ³⁾東京大学医学部眼科学教室

要 約

開瞼器装着による角膜形状変化を測定する目的で、ビデオケラトスコープを用いて検討した。対象は、Barraquer (B)型開瞼器を用いた11例22眼(B群)とKratz-Barraquer (KB)型開瞼器を用いた19例38眼(KB群)である。両群で開瞼器着脱による眼圧差、屈折度差、軸乱視量差、ビデオケラトスコープによる角膜屈折力差を測定した結果、KB群の眼圧差、両群の球面等価度数差、B群の角膜屈折力差に有意差を認めた。さらに、KB群に対して自然瞼裂幅、努力瞼裂幅、眼球突出度、開瞼器装着前後の眼圧差の平均値によりそれぞれ2群に分け、各群の開瞼器装着による角膜屈折力変化を比較した。KB群の角膜屈折力変化は、眼球突出が平均以上の群で0°と180°

方向、眼圧上昇が平均以上の群で90°と270°方向に有意差を認めた。また、KB群で水平と垂直方向の角膜屈折力の差を従属変数とし、5個の測定項目を独立変数として重回帰分析を行った結果、眼球突出度が大きいと直乱視化、努力開瞼幅が大きいと倒乱視化する傾向が示唆された。また、眼球突出度と努力瞼裂幅が適当な関係にあれば、開瞼器による角膜乱視変化が生じない可能性も示唆された。(日眼会誌 100: 520—530, 1996)

キーワード：開瞼器、ビデオケラトスコープ、角膜形状解析装置、角膜形状変化、角膜乱視

Corneal Distortion Induced by Speculum —Studies with Computer-assisted Corneal Topography—

Takeshi Sugiura¹⁾ Kazuya Inamochi¹⁾ Kouichi Soya²⁾

and Kazunori Miyata³⁾

¹⁾Asahi General Hospital

²⁾Kanto Teishin Hospital

³⁾Department of Ophthalmology, The University of Tokyo School of Medicine

Abstract

The corneal distortion induced by the presence of an eyelid speculum was analysed by the Videokeratoscope-Eyesys Corneal Analysis System® (EYESYS), with a Barraquer type speculum (B group) in 22 normal eyes and with a Kratz-Barraquer type speculum in 38 normal eyes (KB group). The following differences were evaluated in the 2 groups: intraocular pressure (IOP), refractive power, change in astigmatism of the Cravy method, and corneal refractive power before and after the specula were put in the interpalpebral fissure. Significant differences were found in the IOP in the KB group, in spherical equivalent in the B and KB groups, and in corneal refractive power in the B group. Then the 38 eyes of the KB group were divided into two groups by the average level of proptosis and the average difference of IOP, and the corneal refractive power of the two groups was

compared by statistical analysis. Significant difference was found in the direction of 0°/180° in the group with higher than average proptosis and in the direction of 90°/270° in the group with higher than average difference in IOP. Multiple regression analysis suggested that higher grades of proptosis were related with steeper vertical meridians and that wider palpebral fissures were associated with steeper horizontal meridians. Multiple regression also showed that the speculum did not cause corneal distortion with the proper relation between level of proptosis and width of the palpebral fissure. (J Jpn Ophthalmol Soc 100: 520—530, 1996)

Key words: Speculum, Videokeratoscope, Computer-assisted corneal topography, The change of corneal distortion, Corneal astigmatism

別刷請求先：289-25 千葉県旭市イ-1326 旭中央病院眼科 杉浦 毅

(平成7年7月25日受付, 平成8年2月20日改訂受理)

Reprint requests to: Takeshi Sugiura, M.D. Eye Clinic, Asahi General Hospital. i-1326 Asahi-shi, Chiba-ken 289-25, Japan

(Received July 25, 1995 and accepted in revised form February 20, 1996)

I 緒 言

白内障手術, 乱視矯正手術(AK), 角膜放射状切開術(RK)やエキシマレーザーによる角膜形状変化の試みなどの角膜屈折力の変化が直接手術成績に結びつく術式においては, 角膜形状を正確に測定することが大きな意味を持つ^{1)~8)}. 角膜形状の評価法としてはケラトメーターが一般的であるが, この方法では直径約3mmの角膜傍中央部の直交する2方向の角膜曲率半径を測定しているにすぎない⁹⁾. その次に登場したフォトケラトスコープでは角膜形状を定性的に把握することは可能でも, 定量的な測定は若干困難であった¹⁰⁾. 一方, ビデオケラトスコープを使用した角膜形状解析法は, 角膜の形状を中心部から周辺に至るまで広範囲に詳細に測定できる^{11)~25)}. このため, 白内障手術, AK, RK などではより正確な手術を行うために, ビデオケラトスコープを用いた角膜形状解析法による術式が検討されている^{24)~29)}. これらの手術を行う際には, 術前に測定した角膜形状の情報により, 手術用顕微鏡下で手術操作の位置を決定する. しかし, 実際には顕微鏡下の眼球の位置と手術前測定時の位置を一致させることは困難であることから³⁰⁾³¹⁾, 術中に角膜形状を測定できる手術用顕微鏡に直接付属した角膜形状解析装置の開発が望まれる. しかし, 術中角膜形状計測法が確立されたとしても, 実際の手術では開瞼器などで強制開瞼させるために角膜形状そのものが変化する可能性がある.

開瞼器による角膜形状変化に関しては, 浦田ら³²⁾が小児について手術用ケラトメーターを用いて検討し, 乱視軸 $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ を倒乱視群, 乱視軸 $0^{\circ} \pm 30^{\circ}$ を直乱視, それ以外を斜乱視と分けると開瞼器使用時に倒乱視群が多い傾向が認められると報告した. しかし, この術中ケラトメーターは一般に使用されているケラトメーターと測定方式が同一であり, 角膜中央部のごく一部を測定したものにすぎず, 詳細な角膜形状データは得られない.

そこで我々は, ビデオケラトスコープ(EyeSys CAS®, EyeSys 社製: 以下, EYESYS)を用いて開瞼器装着による角膜形状変化を解析し, その変化の原因因子についても検討したのでここに報告する.

II 対象と方法

対象は, 眼疾患を有さない健常人(平均年齢 24.9 ± 3.3 歳, 男性6例, 女性24例)30例60眼である. 使用した開瞼器は, Barraquer(B)型開瞼器とKratz-Barraquer(KB)型開瞼器で, B型開瞼器使用群(B群)は11例22眼, KB型開瞼器使用群(KB群)は19例38眼である.

1. 測定方法

すべての測定は座位の状態で行った. 測定項目は以下の4つであり, B群, KB群とも同様の測定を行った(表1). ①自然開瞼時の瞼裂幅・努力開瞼時の瞼裂幅, ②眼

表1 測定項目

1. 自然開瞼時の瞼裂幅, 努力開瞼時の瞼裂幅	
2. 眼球突出度 (Hertel の眼球突出度計使用)	
3. 眼圧 (Goldmann 圧平眼圧計使用)	#1
4. 球面屈折度, 円柱レンズ度 角膜乱視 (オートレフRACTメーター使用)	#1 #2
5. 角膜曲率半径 (EYESYS 使用)	#1 #2

#1: 開瞼器装着時, 非装着時の両方を測定
#2: コンドロイチン硫酸ナトリウム点眼液使用

球突出度(Hertel の眼球突出度計使用), ③眼圧(Goldmann 圧平眼圧計使用), ④球面屈折度, 円柱レンズ度, 角膜乱視(オートレフRACTメーター使用), ⑤角膜曲率半径(ビデオケラトスコープEYESYS 使用). ③~⑤では開瞼器装着時, 非装着時の両方を測定し, ④, ⑤においては測定中の涙液層の不均一性を最小限にし, かつ, ある一定時間開瞼し続けることによる被検者の角膜乾燥感を和らげるため, 人工涙液コンドロイチン硫酸ナトリウム点眼液(コンドロン®)を被検者の下眼瞼にふき綿を当て1~2滴角膜中央に点眼した後閉瞼させ, 瞼縁からあふれた余分な点眼液をふき綿で軽くふき取る方法で行った. また, debris, mucous strand, 眼脂などが多い症例では十分に点眼し, これらを洗い流してふき綿で軽くふき取った. 後述するように, 人工涙液の点眼が角膜形状測定に影響を与えることが懸念されたため, 点眼液使用時・非使用時の角膜形状変化を比較した.

EYESYS による角膜形状変化では, 角膜に投影された8本の同心円リングを用い, その内側と外側のリング縁の曲率半径を測定することで16本分のデータとして

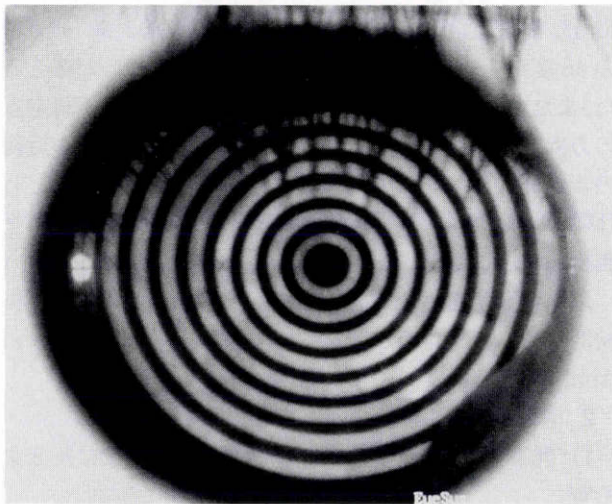


図 1

この写真は開瞼の良い若い女性の症例の右眼に開瞼器を装着した状態でのビデオケラトスコープ(EyeSys CAS®, EyeSys 社製: EYESYS)によるビデオケラトスコープ像であるが, 開瞼良好でも睫毛の影が5番リング近くまできており, これより周辺部の角膜の曲率半径は誤差の多いものと考える.

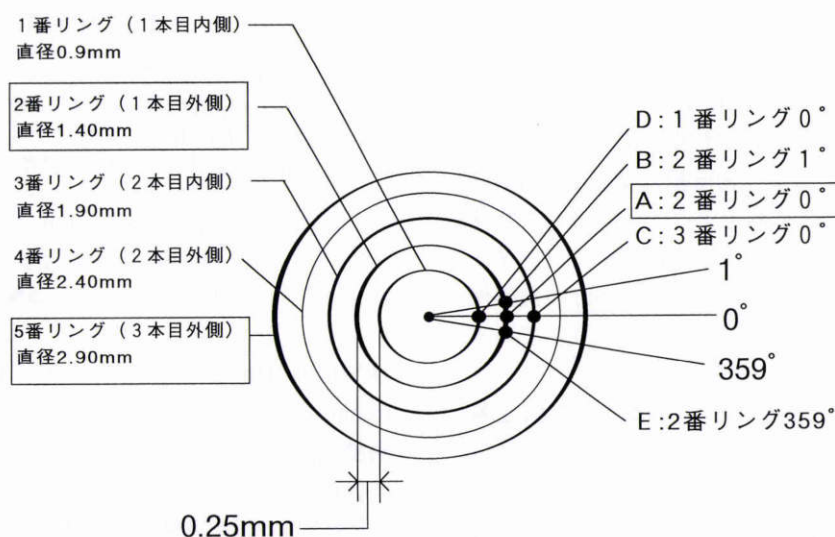


図2 角膜形状解析に用いたリングと測定点での曲率半径の求め方。

EYESYS による角膜形状測定では、角膜に投影された8本の同心円リングを用い、その内側と外側のリング縁の曲率半径を測定することで16本分のデータとしているため、ここでは中心から1本目の内側のリングを1番リング、外側を2番リングというように呼ぶこととする。5番リングは3本目の内側のリングである。
点Aでの曲率半径 $= (A+B+C+D+E) \div 5$

いる。ここでは中心から1本目の内側のリングを1番リング、外側を2番リングというように呼ぶこととする(8本目の外側リングは16番リングということになる)。そして、1番リング(直径0.9mm)から16番リング(直径約10mm)までのそれぞれの同心円上で1度刻みで360方向の点の曲率半径を測定する。本装置は他社に比べてworking distanceが長い^{33)~36)}、図1に示すように開瞼のよい眼(自然開瞼幅=10mm, 努力開瞼幅=14mm)でさえ開瞼器装着時に睫毛の影が角膜上に投影されることがあるため、2番リング(1本目外側リング, 直径1.40mm)、5番リング(3本目内側リング, 直径2.90mm)上の45度刻みで8方向の合計16点のみを解析の対象とした。また、左眼の測定点は線対称移動させ、右眼の測定点の方向に一致させた。それぞれの測定点の値は、その近傍の4点を加えた5点の角膜曲率半径(mm)の平均値とし(図2)、これを換算屈折率 $n=1.3375$ を用いて角膜の全屈折力(D)に変換した¹⁶⁾。

以上の測定をもとに、下記に示す5項目について解析検討した。なお、すべての統計学的解析には Statistical Analysis System(SAS)を用いた。

2. 解析方法

1) 開瞼器が眼圧、屈折度、角膜乱視、角膜形状に及ぼす影響

眼圧の測定は Goldmann 圧平眼圧計を用い、球面屈折度、円柱レンズ度数、角膜乱視の測定はオートレフラクトメーターを用い、角膜曲率半径はEYESYSを用いて開瞼器装着前後の値を上記16点について測定し、B型、KB型開瞼器を用いたそれぞれの群において開瞼前後の値を比較検討した。眼圧、球面屈折度、円柱レンズ度数、お

よび球面等価度数は、それぞれの平均値を解析の対象とした。なお、円柱レンズ度数は今回参考までに検討の対象とした。オートレフラクトメーターによる角膜乱視度から Cravy 法を用いて軸乱視量を比較検討した³⁷⁾³⁸⁾。EYESYSによって測定した角膜曲率半径は測定方法で示したように角膜屈折力に変換し、各測定点における開瞼前後の角膜屈折力の比較には、開瞼前後の屈折力差とその屈折力差を開瞼前屈折力で割った比の両者を検討した。統計学的検討には、Wilcoxonの符号付き順位検定および対応のあるt検定を用いた。

2) 人工涙液の角膜形状に及ぼす影響

表1の測定項目4, 5においては、コンドロイチン硫酸ナトリウム(コンドロロン®)を点眼したが、この人工涙液点眼が角膜形状測定に与える影響を検討するため、20例40眼において、開瞼器非装着時の努力開瞼状態で点眼使用時、非使用時の角膜屈折力をEYESYSにより16点の測定点において比較検討した。統計学的検討には Wilcoxonの符号付き順位検定および対応のあるt検定を用いた。

3) 2種類の開瞼器の角膜形状に及ぼす影響の比較

B型開瞼器を使用したB群22眼とKB型開瞼器を使用したKB群38眼において、開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較をEYESYSにより16点の各測定点において行った。統計学的検討には Wilcoxonの順位検定(いわゆる対応のない Wilcoxon 検定, Mann-Whitney 検定と等価)を用いた。

4) KB群において、自然開瞼幅、努力開瞼幅、眼球突出度、開瞼器装着前後の眼圧差の平均値で2群に分け、両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較

表 2 1) 開瞼器が眼圧、屈折度、角膜乱視、角膜形状に及ぼす影響

開瞼器装着による眼圧変化			
	n	平均値±標準偏差	(mmHg)
B 群	22	0.32±1.39	ns
KB 群	38	2.0±2.61	p<0.001
開瞼器装着による球面屈折度変化			
	n	平均値±標準偏差	
B 群	22	-0.19 D±0.45 D	ns
KB 群	38	-0.12 D±0.81 D	ns
開瞼器装着による球面等価度数変化			
	n	平均値±標準偏差	
B 群	22	-0.30 D±0.42 D	p<0.05
KB 群	38	-0.27 D±0.78 D	p<0.05
開瞼器装着による軸乱視量変化			
	n	平均値±標準偏差	
B 群	22	-0.043 D±0.50 D	ns
KB 群	38	0.029 D±0.56 D	ns
開瞼器装着による測定点 16 点の EYESYS による角膜屈折力変化			
	n	有意差を認めた点	平均値±標準偏差
B 群	22	5 番リング 270 度	-0.308 D±0.652 D
KB 群	38	全 16 点で有意差なし	p<0.05

ns：統計学的有意差なし。
統計学的検討には Wilcoxon 符号付き順位和検定, および対応のある t 検定を用いた。
B 群：Barraquer 型開瞼器使用群, KB 群：Kratz-Barraquer 型開瞼器使用群

平均値以上の群と未満の群の 2 群に分けた両群間において,EYESYS によって測定した各測定点 16 点の開瞼器装着による角膜屈折力差を比較検討した. 自然瞼裂幅の平均値は 8.2 mm で, 平均値以上の群は n=13, 未満の群は n=25, 努力開瞼幅の平均値は 11.5 mm で, 平均値以上の群は n=21, 未満の群は n=17 であった. 眼球突出度の平均値は 13.4 mm で, 平均値以上の症例を眼球突出群(n=19), 平均値未満の症例を眼球非突出群(n=19)とした. 開瞼器装着によって生ずる眼圧差の平均は+1.95 mmHg で, 平均値以上の症例を眼圧上昇群(n=19), 平均値未満の症例を眼圧非上昇群(n=19)とした.

統計学的な信頼性を考えれば, 平均値を中心とする 1 標準偏差(SD)の対象を除外して 2 群に分けて検定した方がよいかも知れないが, 母集団の数が多いわけではないので, 今回は平均値で 2 群に分けた. 統計学的検討には Wilcoxon の順位和検定を用いた.

5) 重回帰分析を用いた開瞼器装着による角膜屈折力変化の予測

4) の解析から KB 群において, 眼球突出度の平均値で 2 群に分けた両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較で有意差を認めたのは 0°と 180°方向であり, 開瞼器装着前後の眼圧差の平均値で 2 群に分けた両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較で有意差を認めたのは 90°, 270°, 315°方向であった. これにより, 角膜の水平方向と垂直方向の角膜屈折力の差に注目し, 水平, 垂直方向の実際の角膜屈折力差を従属変数とし, 独立変数を開瞼器装着前眼圧(mmHg), 開瞼器装着後眼圧(mmHg), 眼球突出度(mm), 自然開瞼器(mm),

努力開瞼器(mm)の 5 因子として Stepwise 法による重回帰分析を行った. さらに, 得られた重回帰式の当てはまりの良さを調べるために重回帰式の分散分析による検定³⁹⁾を行った. そして, これらの因子からの開瞼器装着後の角膜屈折力変化の予測を行った. なお, これらの 5 因子間に相関がなく, 独立であることを Pearson の相関係数をもとに確かめた.

III 結 果

1. 開瞼器が眼圧、屈折度、角膜乱視、角膜形状に及ぼす影響(表 2)

開瞼器装着による眼圧変化は, B 群では 0.32 mmHg±1.32 mmHg で統計学的有意差は認めなかった. KB 群では 2.0 mmHg±2.61 mmHg と開瞼後上昇し, 統計学的有意差を認めた(p<0.001).

球面屈折度は, 開瞼器装着により B 群は-0.19 D±0.453 D, KB 群は-0.12 D±0.807 D と若干の減少を示したが, 統計学的有意差を認めなかった. しかし, 球面等価度数は両群とも開瞼前後で有意差を認め, B 群では-0.30 D±0.421 D, KB 群では-0.27 D±0.776 D と若干の減少を認めた. 円柱レンズ度数は両群とも開瞼前後で有意差を認め(p<0.05), B 群では-0.23 D±0.310 D (n=22), KB 群では-0.28 D±0.715 D (N=38) と若干の減少を認めた. Cravy 法による軸乱視量の変化は, B 群で 0.029 D±0.561 D, KB 群で-0.043 D±0.497 D と開瞼前後で統計学的有意差を認めなかった.

EYESYS によって測定した開瞼器装着による角膜屈折力変化は, B 群では今回測定に用いた 16 点のうち, 5

表 3 3) 2 種類の開瞼器の角膜形状に及ぼす影響の比較

B群とKB群の両群間での開瞼器装着による各測定点の角膜屈折力変化の比較			
両群間に有意差を認めた点	B群 (n=22) の開瞼器装着による屈折力差	KB群 (n=38) の開瞼器装着による屈折力差	
5 番リング 270 度	-0.31 D±0.65 D	0.045 D±0.45 D	p<0.05
5 番リング 315 度	-0.23 D±0.69 D	0.077 D±0.37 D	p<0.05

その他の 14 点では 2 群間に統計学的有意差なし
 平均値±標準偏差, 統計学的検討には Wilcoxon 順位検定を用いた

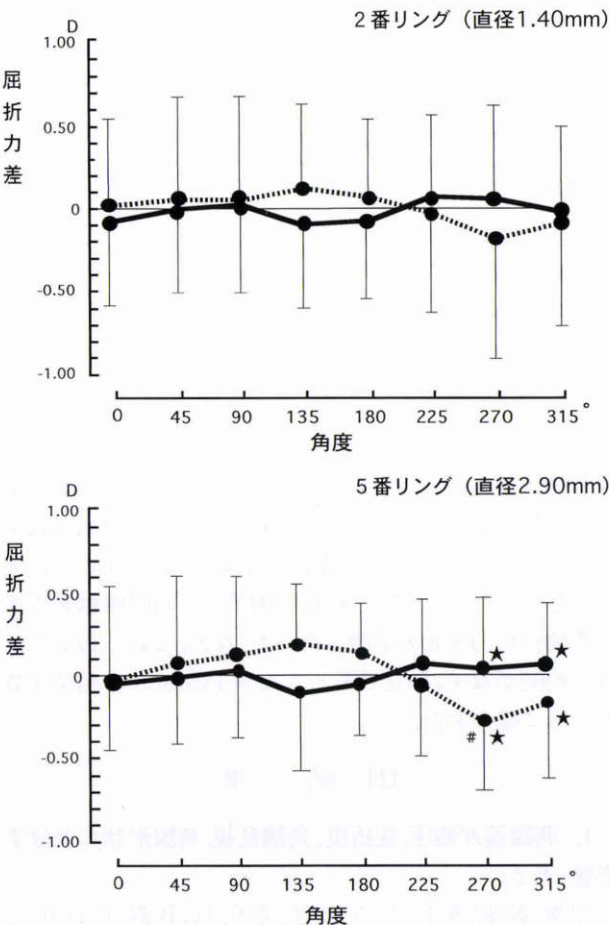


図 3 Barraquer 型開瞼器使用群(B群)とKratz-Barraquer 型開瞼器使用群(KB群)の開瞼器装着時と自然開瞼時の屈折力差。
 屈折力差を縦軸に、8 方向を横軸に示した。B 群は、5 番リング 270°の点でのみ開瞼器装着時と自然開瞼時の屈折力差に有意差を認め、図中#で示した(p<0.05)。KB 群は測定点のすべてに有意差を認めなかった。また、B 群と KB 群の開瞼器装着による屈折力差を両群間において同一測定点で比較すると、5 番リング 270°、5 番リング 315°に有意差を認め図中★で示した(p<0.05)。
 ー：KB 群(n=38), ---：B 群(n=22)

番リング 270°の 1 点のみで屈折力差と屈折力差の比の両方で統計学的有意差を認め(p<0.05), 屈折力差は-0.3084 D±0.6520 Dであった。他の 15 点では統計学的有意は認められなかった。KB 群では 16 点のすべてに統

計学的有意差は認められなかった。図 3 に B 群, KB 群それぞれの開瞼器装着による各測定点の屈折力変化を示した。

2. 人工涙液の角膜形状に及ぼす影響

人工涙液コンドロイチン硫酸ナトリウム(コンドロロン®)の点眼, 非点眼による角膜屈折力変化は測定点 16 点において統計学的有意差はなかった(n=40)。

3. 2 種類の開瞼器の角膜形状に及ぼす影響の比較(表 3, 図 3)

B 群と KB 群の開瞼器装着による角膜屈折力変化を 16 点の各測定点において比較すると、両群間に 5 番リングの 270°, 315°の 2 点に統計学的に有意差を認めた(図 3)。また、図 3 に示すように、B 群は開瞼器装着によって 135°, 270°, 315°方向に、KB 群に比べてやや大きな角膜屈折変化を生じる傾向を認めた。

4. KB 群において、自然開瞼幅、努力開瞼幅、眼球突出度、開瞼器装着前後の眼圧差の平均値で 2 群に分け、両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較

自然開瞼幅、努力開瞼幅の平均値で 2 群に分けた比較において、2 番、5 番リングの全方向で角膜屈折力変化に統計学的有意差を認めなかった(表 4)。

眼球突出度の平均値(13.4 mm)で眼球突出群(13.4 mm 以上, n=19)と非突出群(13.4 mm 未満, n=19)の 2 群に分けた場合、両群間の角膜屈折力変化に 2 番リングの 0°方向, 180°方向の測定点で統計学的有意差(p<0.05)を認める点が存在した(図 4, 表 5)。

開瞼器装着により眼圧は上昇し、装着前後の眼圧差の平均値(1.95 mmHg)で眼圧上昇群(1.95 mmHg 以上, n=19)と非上昇群(1.95 mmHg 未満, n=19)の 2 群に分けた場合、両群間の角膜屈折力変化に 2 番リングの 90°方向, 2 番、5 番リングの 270°方向, 315°方向の各測定点で統計学的有意差(p<0.05 および p<0.01)を認める点が存在した(図 5, 表 5)。

5. 重回帰分析を用いた開瞼器装着による角膜屈折力変化の予測

4. で示された開瞼器装着によって有意差の生じた点のうち、我々が注目したのは下記の点である。

- 1) 開瞼前後の眼圧差を平均値で 2 群に分けた場合：2 番リング(直径 1.40 mm)90°(p<0.05), 270°(p<0.01)
- 2) 眼球突出度を平均値で 2 群に分けた場合：2 番リ

表 4 4) KB 群において、自然開瞼幅、努力開瞼幅のそれぞれの平均値で 2 群に分け両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較

自然開瞼幅 平均値 8.2 mm	
平均値以上の群 (n=13) と平均値以下の群 (n=25) の両群間において各測定点での開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較	
…全測定点 16 点で統計学的有意差なし	
努力開瞼幅 平均値 11.5 mm	
平均値以上の群 (n=21) と平均値以下の群 (n=17) の両群間において各測定点での開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較	
…全測定点 16 点で統計学的有意差なし	
統計学的検討には Wilcoxon 順位和検定を用いた	

表 5 4) KB 群において、眼球突出度、開瞼器装着前後の眼圧差のそれぞれの平均値で 2 群に分け、両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較

眼球突出度 平均値 13.4 mm			
平均値以上の群 (突出群, n=19) と平均値以下の群 (非突出群, n=19) の両群間における各測定点での開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較			
有意差を認めた点	突出群 (n=19) の角膜屈折力差	非突出群 (n=19) の角膜屈折力差	
2 番リング 0 度	-0.29 D±0.54 D*	0.15 D±0.54 D	p<0.05
2 番リング 180 度	-0.21 D±0.27 D	0.063 D±0.51 D	p<0.05
開瞼器装着前後の眼圧差 平均値 1.95 mmHg			
平均値以上の群 (眼圧上昇群, n=19) と平均値以下の群 (眼圧非上昇群, n=19) の両群間における各測定点での開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較			
有意差を認めた点	眼圧上昇群 (n=19) の角膜屈折力差	眼圧非上昇群 (n=19) の角膜屈折力差	
2 番リング 90 度	0.20 D±0.47 D*	-0.14 D±0.49 D	p<0.05
2 番リング 270 度	0.28 D±0.48 D	-0.16 D±0.45 D	p<0.01
2 番リング 315 度	0.17 D±0.46 D	-0.21 D±0.42 D	p<0.05
5 番リング 270 度	0.25 D±0.37 D	-0.16 D±0.42 D	p<0.01
5 番リング 315 度	0.21 D±0.39 D	-0.13 D±0.39 D	p<0.05

*：平均値±標準偏差。 統計学的検討には Wilcoxon 順位和検定を用いた

ング(直径 1.40 mm)0°(p<0.05), 180°(p<0.05)

これにより、開瞼器装着によって眼圧上昇が生ずる群では垂直方向、眼球突出度の大きいものは水平方向の角膜屈折力が有意に変化することが推測されたため、垂直方向と水平方向の角膜屈折力の差：Kv-Kh を従属変数として、解析方法 5) で述べた 5 因子を独立変数とした時の Stepwise 法による重回帰分析を行った。従属変数としては開瞼器装着時 2 番リング、5 番リングにおいて以下の 8 個とした(単位：dipoter)。

開瞼時 2 番リングにおいて

1. K 2(90°)－K 2(0°)
2. K 2(90°)－K 2(180°)
3. K 2(270°)－K 2(180°)
4. K 2(270°)－K 2(0°)

開瞼時 5 番リングにおいて

5. K 5(90°)－K 5(0°)
6. K 5(90°)－K 5(180°)
7. K 5(270°)－K 5(180°)
8. K 5(270°)－K 5(0°)

Kx(y°)：開瞼器装着時 x 番リングの y°方向の角膜屈折力、

KB 群(38 眼)において開瞼器による角膜屈折力変化(Ke)を予測する重回帰式は、以下に示すとおりである。

1. K 2(90°)－K 2(0°)
Ke=0.85－0.23×MW+0.20×H ……………①
2. K 2(90°)－K 2(180°)
Ke=0.72－0.21×MW+0.19×H ……………②
3. K 2(270°)－K 2(180°)
Ke=2.29－0.10×PREIOP ……………③
4. K 2(270°)－K 2(0°)
Ke=0.84－0.18×MW+0.16×H ……………④
5. K 5(90°)－K 5(0°)
Ke=1.14－0.19×MW+0.14×H ……………⑤
6. K 5(90°)－K 5(180°)
Ke=2.16－0.08×POSTIOP+0.16
×NW－0.13×MW ……………⑥
7. K 5(270°)－K 5(180°)
Ke=1.79－0.08×PREIOP ……………⑦

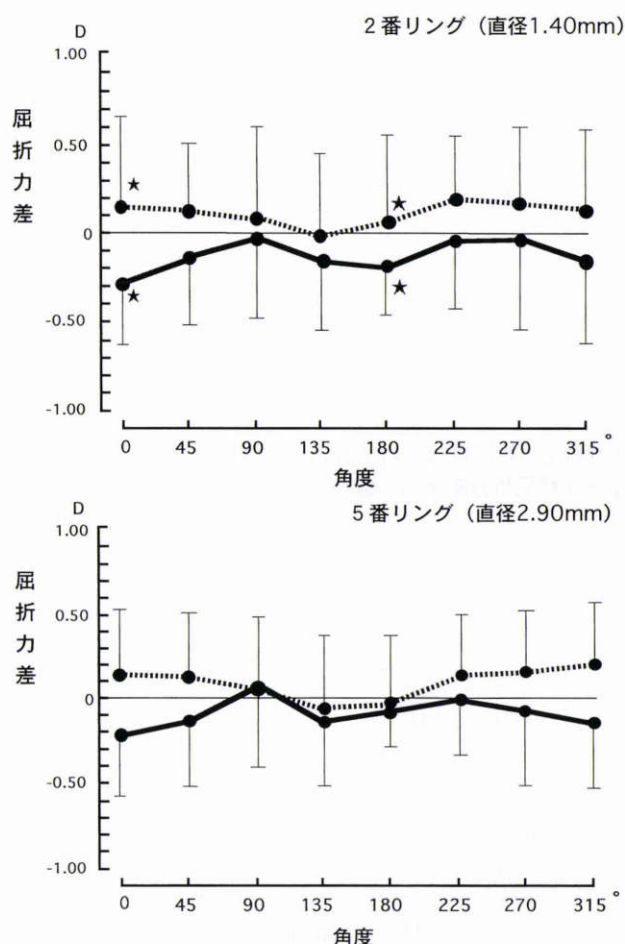


図4 KB群における眼球突出群と眼球非突出群の開瞼器装着時と自然開瞼時の屈折力差の比較.

屈折力差を縦軸に, 8方向を横軸に示した. 眼球突出度の平均は13.4 mmであり, 眼球突出度が13.4 mm以上の症例を眼球突出群, 13.4 mm未満の症例を眼球非突出群とした. 両群間で有意差を認めた点を★(p<0.05)で示した.

—: 眼球突出群(n=19), ---: 眼球非突出群(n=19)

8. K 5(270°) - K 5(0°)

$$K_e = 0.10 + 0.14 \times NW - 0.15$$

$$\times MW + 0.10 \times H \quad \text{.....} \textcircled{8}$$

MW: 努力開瞼幅, NW: 自然開瞼幅, H: 眼球突出度, PREIOP: 開瞼器装着前眼圧, POSTIOP: 開瞼器装着後眼圧

上記①から⑧の重回帰式の当てはまりの良さを調べるために, 重回帰式の分散分析による検定³⁹⁾を行ったところ, それぞれの式の有意水準は下記のとおりであった.

式①: p<0.005, 式②: p<0.005, 式③: p<0.1, 式④: p<0.01, 式⑤: p<0.05, 式⑥: p<0.05, 式⑦: p<0.15, 式⑧: p<0.1

IV 考 按

今日, 白内障^{41)~8)}, AK⁴⁰⁾, RK²⁴⁾²⁵⁾⁴¹⁾, エキシマレーザ²⁾など⁴²⁾の手術では, より微細な角膜形状変化が問題と

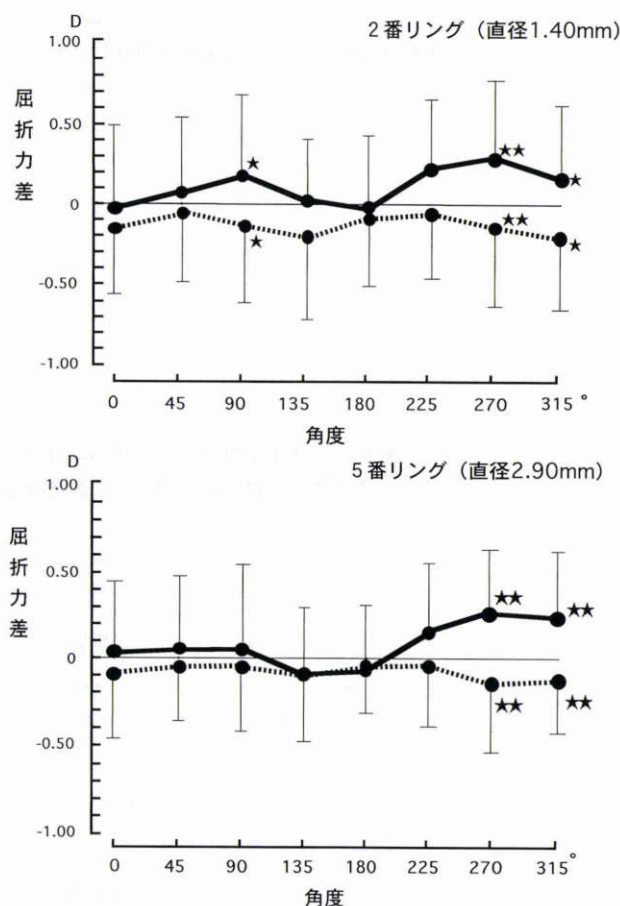


図5 KB群における眼圧上昇群と眼圧非上昇群の開瞼器装着時と自然開瞼時の屈折力差の比較.

屈折力差を縦軸に, 8方向を横軸に示した. 開瞼器装着時の眼圧上昇の平均は1.95 mmHgであり, 眼圧上昇が1.95 mmHg以上の症例を眼圧上昇群, 1.95 mmHg未満の症例を眼圧非上昇群とした. 両群間で有意差を認めた点を★(p<0.05), ★★(p<0.01)で示した.

—: 眼圧上昇群(n=19), ---: 眼圧非上昇群(n=19)

なっているが, これらの手術で我々が必ず用いる開瞼器は一体どれほどの角膜形状変化をもたらすのであろうか. その測定は, 精密な角膜形状解析が可能なビデオケラトスコプが登場するまでは不可能であった. 檜垣⁴³⁾はカラーコンターマップ(NP-100, サンコンタクトレンズ社製)を用いて開瞼器による影響を報告した.

開瞼器は, バネ式, スライド式, 牽引式の3種類の型に分けられる. 今回, 我々が2種類ともバネ式の開瞼器を用いたのは, 他の2種類の型では個々の症例によって瞼裂幅, 閉瞼力が異なるため, 開瞼器の影響を一定にすることが困難であるのに比べて, 瞼裂幅が異なってもある程度一定の力で開瞼でき, また, 被検者の苦痛を考慮すると, 眼圧, 角膜形状測定時に開瞼器の着脱が容易である必要があったためである.

対象に白内障手術の適応となるような高齢者を選ぶと, 年齢, 個人によって異なる老化による上眼瞼挙筋, 眼

輪筋、眼窩隔膜の脆弱化などの因子が加わり解析を困難にし、また、測定にはやや時間を要するため被検者への負担を考慮し、今回は健康な病院職員のボランティアを対象とした。

1. 開瞼器が眼圧、屈折度、角膜乱視、角膜形状に及ぼす影響(表2)

開瞼器によって強制開瞼されると、ヒトはどうしても閉瞼しようとする力が働き、これによって眼圧は有意に上昇するものと考えられる。

B型、KB型開瞼器装着によって、両型とも球面屈折度では有意差を認めないため、近視化も遠視化もしないと考えられる。しかし、球面等価度数では有意に近視化するという結果を得たのは、球面等価度数には円柱レンズ度数の2分の1が含まれているためと考える。参考までに算出した円柱レンズ度数の開瞼前後の差は両型とも有意に減少しており、これが大きく影響したためであろう。

Cravy法による軸乱視量は、B群、KB群とも開瞼前後で有意差を認めなかったが、これのみで開瞼器が角膜形状に影響を与えないとはいえない。なぜならば、オートレフクトメーターでは角膜傍中央の直径約3mmの部位で直交する2方向の角膜曲率半径を測定するのみで、それ以外の部位の情報は得られないからである⁹⁾¹⁶⁾。

開瞼器装着前後で角膜屈折力に有意差を認めたのは、B型の5番リング270°の1点のみで、KB型では有意差が16点とも認められなかった原因としては、1点での角膜屈折力変化の平均が最大0.3D程度と比較的小さい割には個々の症例でのばらつきが大きいことと、EYESYSそのものの測定誤差が0.2D程度あることが考えられる^{33)~35)}。しかし、有意差が出ないからといって、角膜形状が変化しないわけではなく、開瞼器による角膜屈折力変化は確かに存在すると思われるので、それを強調して検出するためにも4.で示したように4個の測定項目の測定値を2群に分け、さらに検討した。また、我々が一般に角膜乱視と呼ぶものは、角膜曲率半径の経線方向の差、すなわち、ある方向での角膜屈折力と他の方向での角膜屈折力の差であり、この差がヒトの自覚的視力に直接影響を与えるので、5.で検討したように2方向の角膜屈折力の差を検討した。

2. 人工涙液の角膜形状に及ぼす影響

角膜形状測定時の人工涙液コンドロイチン硫酸ナトリウム(コンドロン®)点眼による角膜形状変化はないと考えられるので、一定時間開瞼し続けるビデオケラトスコプによる検査では、測定中の涙液層の不均一性を最小限にし、かつdebris、眼脂などを除去するためにも人工涙液を検査前に用いることは有効と考える。ただし、コンドロイチン硫酸ナトリウム(コンドロン®)は粘性が高いため下眼瞼縁に溜まりやすく、角膜上に投影したリングにゆがみを生じやすい。このため、現在当院ではコンドロイチン硫酸ナトリウム(コンドロン®)を生理食塩水で

希釈したものを用いているが、希釈しすぎると涙液層のブレイクが早期に起こり注意が必要であると考えられる。

3. 2種類の開瞼器の角膜形状に及ぼす影響の比較(表3)

開瞼器の種類による角膜形状変化の差異は存在し、B型とKB型を比べると開瞼器装着による角膜形状変化はB型の方が大きく、特に270°方向でフラット化する傾向が認められる(図3)。この差を生ずる理由は、B型では針金が眼瞼縁に平行に眼瞼皮膚を押さえるような構造をしており、これが結膜円蓋の深い上方では眼球を若干圧迫し、結膜円蓋の浅い下方では眼球を結膜を介して牽引するように働くためではないかと推測する。以上から、KB型開瞼器の方が開瞼器による角膜形状変化が少なく、この点ではB型より優れた開瞼器と考える。

4. KB群において、自然開瞼幅、努力開瞼幅、眼球突出度、開瞼器装着前後の眼圧差の平均値で2群に分け、両群間における開瞼器装着による角膜屈折力変化の比較(表4、5)

自然開瞼幅、努力開瞼幅の大きな群と小さな群の間で開瞼器装着前後の測定点での角膜屈折力に有意差は認められなかったが、これのみから瞼裂幅の個人的な差異は、開瞼器装着時の角膜形状変化の原因因子にはならないとは決していえない。なぜならば、1測定点の角膜屈折力変化は有意差を認めるほど大きくないが、2方向での角膜屈折力変化の差をとれば十分大きな角膜屈折力変化になる可能性があるからである。また、開瞼器による角膜形状変化は単因子で決まるものではなく、多因子が関係していると考えられるからである。

眼球突出群と非突出群を比較すると、突出群では水平方向の角膜形状のフラット化の傾向(すなわち、直乱視化の傾向)が認められ、非突出群との間で0°と180°の方向に有意差が認められた。眼球が突出している場合は開瞼器によって眼球を上下から押しつける方向に力が働き、強膜に変形を来し、その影響で角膜形状は水平方向にフラット化し、垂直方向に相対的にスティープ化の傾向を有するものと考えられる(図4)。

眼圧上昇群と非上昇群を比較すると、上昇群では垂直方向の角膜形状のスティープ化の傾向(すなわち、直乱視化の傾向)が、非上昇群では全方向に若干のフラット化の傾向が認められ、両群間に90°、70°、315°の方向に有意差を認めた。今回の測定では、開瞼器装着時に緊張する被検者と緊張しない被検者の2つのタイプを認めた。開瞼器装着に恐怖心があり、装着が苦痛な被検者は無意識に閉瞼しようとする眼瞼の動きが認められることがしばしばあった。このため、眼輪筋の収縮によって上下の眼瞼は眼球を圧迫し、眼圧が上昇するとともに強膜は変形し、それに伴い角膜も変形して角膜形状は主に90°と270°方向でスティープ化し、特に結膜円蓋の浅い下方270°で強くスティープ化するものと推測する。反対に、開瞼器装着時に

リラックスできる被検者は閉瞼しようとする力が全く働かず大きく眼を開けていられるため、眼球は圧迫されず眼圧は上昇せず、開瞼器により眼瞼がさらに上下に広げられ、眼球は結膜を介して上下に牽引され、角膜形状はフラット化するのではないかと推測する(図5)。

5. 重回帰分析を用いた開瞼器装着による角膜屈折力変化の予測

開瞼器による角膜形状変化は、実際には単因子によって決まるのではなく、多くの因子によって決定される。このため、角膜形状変化に関係のありそうな5個の独立変数を用いて①～⑧の重回帰式を導いた。①, ②, ④, ⑤および⑥式は、その有意水準からかなり信頼性の高い重回帰式と考える。③, ⑦, ⑧式は参考までに記載した。

開瞼器装着後に眼圧を測定するのであれば、代わりに直接角膜形状解析をすれば良く、角膜屈折力変化の予測には臨床的意義が薄いとも考えられるが、今回の解析では開瞼器装着後、眼圧が他の独立変数と比べて角膜屈折力変化にどれほど寄与しているかを検討したかったため、独立変数の項目にあえて入れた。また、重回帰分析の従属変数として Kv-Kh に注目し、各測定点を従属変数としなかった理由は次のとおりである。従来の乱視の概念は、任意の2方向の屈折力の差である。角膜において、仮に同心円上の360°全周にわたって同一の角膜屈折力変化を来せば、それは角膜乱視を生じたことにはならないともいえる。このため、2方向の角膜屈折力の差の代表的例として、垂直方向と水平方向の角膜屈折力差 Kv-Kh を従属変数として採用した。角膜屈折力の差をとる2方向を任意に幾つかとれば、より正確な乱視変化を表せると考える。我々が Kv-Kh の重回帰分析を行う前に行った各測定点を従属変数とした重回帰分析では、すべての点で有意差を認めなかった。

①, ②, ④, ⑤ および ⑥ 式から、次の(1)～(3)が示唆される。

(1) 開瞼器による角膜形状変化に最も関与しているのは努力開瞼幅であり、次いで眼球突出度である。

(2) 開瞼器による角膜形状変化は、角膜上方半分についていえば、努力開瞼幅が大きいほど倒乱視化の傾向を認め、眼球突出度が大きいほど直乱視化の傾向を認める。また、①, ②, ④ 式から認められる眼球突出度が大きくなるほど直乱視化する傾向は、眼球突出群と非突出群の比較(図4)で認めた傾向と一致する。

(3) 例えば、重回帰式①から開瞼器による角膜屈折力変化 $Ke=0$ となる努力開瞼幅(MW)と眼球突出度(H)の関係をみてみると、

$$MW = 0.87 H + 3.7 \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

を得、図6に示すように MW と H が直線⑨式に乗るような関係にあれば、上方角膜の開瞼器による角膜乱視変化は生じない可能性が示唆される。

角膜下方半分については、③, ⑦, ⑧の重回帰式の危険

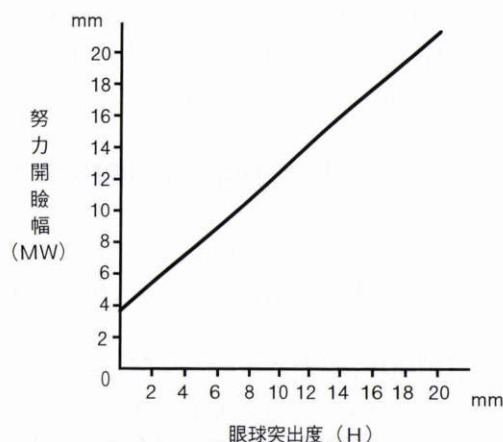


図6 開瞼器装着時2番リング90°方向と0°方向の角膜屈折力差が0となるような努力開瞼幅(MW)と眼球突出度(H)の関係。

重回帰式①において $Ke=0$ とすると、

$$MW = 0.87 H + 3.7 \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

を得る。この直線上に乗るような MW と H の関係があれば、開瞼器装着による上方角膜乱視は生じない可能性が示唆される。

率は高く、実際の角膜形状変化を反映しているとはいえない。この理由は次のように考える。開瞼器によって生ずる眼球および角膜の変形に最も関係しているのは上下の眼瞼である。開瞼には上眼瞼が最も関連し、その挙動は開瞼幅として単純に数値化し得る。しかし、下眼瞼は開瞼に寄与する割合が上眼瞼に比べて低く、自然開瞼幅、努力開瞼幅のように数値化された独立変数にその挙動が反映されにくい。また、下眼瞼の結膜円蓋は上眼瞼のそれに比して浅く、開瞼による力が他の組織と複雑に関係し単純化されにくい。このため、我々が用いた5個の独立変数では下方角膜の形状変化は記述できないのであろう。

今回の我々の検討により、開瞼器による角膜形状変化は数個の因子により数式化され、記述し得る可能性が示唆された。

それでは、開瞼器による角膜形状変化は手術そのものに大きな影響を与え得るのであろうか。スライド式、牽引式の開瞼器はバネ式に比べて強い力で開瞼するので、より大きな角膜形状変化を生ずる可能性があるが、我々が今回用いたB型、KB型開瞼器についていえば最大角膜屈折率変化量は、ある方向の1測定点では平均値で0.3D程度と少量であった(図3～5)。しかし、従来の乱視の概念は2方向の屈折力の差であり、角膜乱視についてもこれに習い2方向の角膜屈折力の差をみると、表6に示すように、 $K2(90^\circ) - K2(0^\circ)$ は平均値で約0.9Dであり、個々の症例では2.0～-1.0Dまでのばらつきを認めた。例えば、重回帰式①に努力開瞼幅が10mm、眼球突出度が15mmの症例を仮に当てはめてみると、開瞼器装着による角膜屈折力は1.55Dの直乱視化と予測される。また、重回帰式①から、努力開瞼幅(MW)が15mm、

表 6 重回帰式に関係した独立変数と従属変数 Kv-Kh の最大値, 最小値, 平均, 標準偏差

変 数	n	最小値	最大値	平均	標準偏差
独立変数					
開瞼前眼圧 (mmHg)	38	10	18	13.5	1.78
開瞼後眼圧 (mmHg)	38	11	24	15.5	3.04
自然開瞼幅 (mm)	38	7	11	8.2	1.11
努力開瞼幅 (mm)	38	8	16	11.5	1.83
眼球突出度 (mm)	38	9	17	13.5	1.86
従属変数					
K 2(90°)—K 2(0°) (D)	38	-1.00	2.02	0.881	0.771
K 2(90°)—K 2(180°) (D)	38	-0.71	1.86	0.865	0.665
K 2(270°)—K 2(180°) (D)	38	-0.66	1.86	0.886	0.628
K 2(270°)—K 2(0°) (D)	38	-0.41	2.02	0.901	0.641
K 5(90°)—K 5(0°) (D)	38	-1.00	1.81	0.846	0.742
K 5(90°)—K 5(180°) (D)	38	-1.17	1.71	0.760	0.687
K 5(270°)—K 5(180°) (D)	38	-0.77	1.68	0.752	0.556
K 5(270°)—K 5(0°) (D)	38	-0.41	1.76	0.839	0.545

眼球突出度(H)が13 mmであれば,上方角膜の開瞼器による角膜屈折力変化が0となり,MWとHが直線⑨式に乗るような関係にあれば,上方角膜の開瞼器による角膜乱視変化は生じない可能性が示唆される(図6).

最も乱視変化の少ない現在の小切開自己閉鎖創白内障手術で論じられる角膜乱視変化量は0.5 D程度であり^{5)~8)44)~47)},かつ,無縫合のため切開以外の角膜乱視修飾要素が存在しないため,術中や手術終了時に角膜乱視を確かめる必要はない場合もあり,この時は開瞼器の影響は考慮する必要はないと考える.しかし,自己閉鎖が成立する条件は術後の乱視が0.5 D以内に収まる条件より甘く⁴⁵⁾,手術終了時に術後の大きな乱視変化を防ぐため,1針追加する場合や自己閉鎖そのものが成立せず縫合する場合などは,開瞼器による影響は考慮する必要があると考える.また,MWとHの関係が適切でなく,開瞼器装着による角膜屈折力変化が大きい場合も,開瞼器による影響は十分考慮する必要があると考える.

より大きな切開で縫合を必要とする白内障手術は,切開と縫合という人為的に角膜乱視を変化させる2つの修飾要素が加わり⁷⁾,手術による乱視変化量が大きいため,開瞼器による影響は考慮するに当たらない場合もある.しかし,努力開瞼幅が十分得られない例や極端な眼球突出がある場合は,開瞼器による角膜乱視変化が大きく,縫合時に開瞼器の影響を考慮する必要があるだろう.逆に,図6に示したようにMWとHのバランスがとれ,開瞼器による角膜乱視変化が少ないと考えられる場合は,縫合時に開瞼器の影響を考慮する必要はないことが示唆される.

一方,AK,RK,エキシマレーザーを用いた手術においては開瞼器の影響を考慮する必要があると考える.これらの手術による角膜形状変化の誤差は開瞼器による角膜形状変化量±0.3 Dよりずっと大きい⁴⁰⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾,角膜に深

い切開創が入った場合の開瞼器による角膜形状変化量は,切開部位の脆弱化のため開瞼器の力により,正常角膜の開瞼器による形状変化量よりはるかに大きい可能性があるからである.

このため,角膜形状変化を最小にする開瞼器を開発するか,または,切開創の入った角膜の開瞼器による形状変化量を,将来開発されるであろう顕微鏡下で行える角膜形状解析装置を用いて定量化していく必要があると考える.

最後に,今回の測定には,旭中央病院の職員,医師の皆様に御協力いただきました.ここに深くお礼申し上げます.

文 献

1) 宮田典男: 眼内レンズ移植時における角膜乱視のコントロール. あたらしい眼科 3: 35—42, 1986.
2) 宮田和典, 田中俊一, 小松真理, 清水公也: 眼内レンズ移植後の角膜乱視の検討. 臨眼 43: 459—463, 1989.
3) 宮田和典, 清水公也: 偽水晶体眼における術後乱視—その予防と矯正. 眼科手術 2: 193—205, 1989.
4) 石井 清, 宮田和典: 白内障術後の乱視矯正角膜切開術と角膜形状変化. 臨眼 47: 1817—1822, 1992.
5) 有木仁之, 江口秀一郎, 大鹿哲郎, 清水公也, 田中俊一, 富田 憲, 他: 自己閉鎖創白内障手術の術後成績. 角膜切開による自己閉鎖創白内障手術. 馬場慶直(編): 自己閉鎖創白内障手術. メディカル葵出版, 東京, 77—107, 1992.
6) 吉富文昭, 永原國宏: 白内障術後乱視. あたらしい眼科 9: 2029—2034, 1992.
7) 宮田和典: 自己閉鎖創白内障手術による乱視コントロール. あたらしい眼科 11: 363—369, 1994.
8) 征矢耕一, 大矢智博, 大鹿哲郎, 宮田和典, 江口秀一郎, 徳永忠俊: 小切開白内障手術後の角膜形状解析. 臨眼 48: 429—435, 1994.
9) 魚里 博: レフラクトメーターとオフサルモメーター. あたらしい眼科 4: 901—909, 1987.

- 10) 丸山節郎, 藤井 徹, 服部政光: フォトケラトメーターによる角膜形状の計測. 臨眼 26: 847—851, 1972.
- 11) Schanzlin DJ, Robin JR, (Eds): Corneal Topography, Measuring and Modifying the Cornea. 185, Springer Verlag, New York, 1992.
- 14) Sanders DR, Koch DD, (Eds): An Atlas of Corneal Topography. Slack, Thorofare, 1993.
- 15) 島崎 潤, 篠崎尚史, 魚里 博 訳, 坪田一男 監訳: カラーアトラス角膜トポグラフィ. 診断と治療社, 東京, 1994.
- 16) 魚里 博, 桜井一郎: ビデオケラトスコプの原理および諸機種の特徴. あたらしい眼科 12: 541—548, 1995.
- 17) Klyce SD: Computer-assisted corneal topography: High resolution graphical presentation and analysis of keratoscopy. Invest Ophthalmol Vis Sci 25: 1426—1435, 1984.
- 18) Doss JD, Hutson RL, Rowsey JJ, Brown DR: Method for Calculation of Corneal Profile and Power Distribution. Arch Ophthalmol 99: 1261—1265, 1981.
- 19) Maguire LJ, Singer DE, Klyce SD: Graphic Presentation of Computer-Analyzed Keratoscope Photographs. Arch Ophthalmol 105: 223—230, 1987.
- 20) Rowsey JJ, Reynolds AE, Brown R: Corneal topography. Arch Ophthalmol 99: 1093—1100, 1981.
- 21) Dingeldein SA, Klyce SD, Wilson SE: Quantitative descriptors of corneal shape derived from computer-assisted analysis of corneal photokeratographs. Refract Corneal Surg 5: 372—378, 1991.
- 22) Steve E, Wilson MD, Klyce SD: Quantitative descriptors of corneal topography. Arch Ophthalmol 109: 349—354, 1991.
- 23) 宮田和典: 角膜形状解析. あたらしい眼科 9: 1633—1641, 1992.
- 24) El Hage SG: A computerized corneal topography for use in refractive surgery. Refract Corneal Surg 5: 418—423, 1989.
- 25) McDonnell PJ, Garbus J, Lopez PF: Topographic analysis and visual acuity after radial keratotomy. Am J Ophthalmol 106: 692—695, 1988.
- 26) Klyce SD, Smolek MK: Corneal topography of excimer laser photorefractive keratectomy. J Cataract Refract Surg 19: 122—130, 1993.
- 27) 宮田和典: 白内障術後の角膜形状解析. あたらしい眼科 12: 563—570, 1995.
- 28) 天野史郎: 屈折矯正手術とビデオケラトスコプ. あたらしい眼科 12: 557—562, 1995.
- 29) 前田直之: 屈折矯正手術における角膜形状解析. あたらしい眼科 11: 213—219, 1994.
- 30) 魚里 博: 屈折矯正手術とセンタリング. あたらしい眼科 11: 201—212, 1994.
- 31) 魚里 博, 中島隆介, 西信元嗣: 手術用顕微鏡を用いた角膜センタリング時の照準法について. 眼紀 40: 296—301, 1989.
- 32) 浦田久美子, 塚原康友, 高山昇三, 山本 節: 開眼器による角膜乱視への影響. 臨眼 83: 788—790, 1989.
- 33) 征矢耕一, 稲用和也, 小幡博人, 宮田和典, 水流忠彦: 角膜形状解析装置の測定精度に関する検討—ワーキングディスタンスと測定精度との関連について—. 日眼会誌 99: 76—80, 1995.
- 34) Koch DD, Foulks GN, Moran CT, Wakil JS: The Corneal Eyesys System: Accuracy analysis and reproducibility of first generation prototype. Refract Corneal Surg 5: 424—429, 1989.
- 35) Wilson SE, Verity SM, Conger DL: Accuracy and precision of the corneal analysis system and topographic modeling system. Cornea 11: 28—35, 1990.
- 36) Maguire LJ, Wilson SE, Camp JJ, Verity SM: Evaluating the reproducibility of topography systems on spherical surfaces. Arch Ophthalmol 111: 259—262, 1993.
- 37) Cravy TV: Calculation of the change in corneal astigmatism following cataract extraction. Ophthalmic Surg 10: 38—49, 1979.
- 38) 大鹿哲郎, 鮫嶋智一, 宮田典男: 手術によって惹起される角膜乱視変化量の計算方法. 日眼会誌 99: 901—909, 1995.
- 39) 有馬 哲, 石村貞夫: 多変量解析のはなし. 東京図書, 東京, 55—61, 1987.
- 40) 宮田和典: Astigmatic Keratotomy の理論と実際. あたらしい眼科 11: 185—194, 1994.
- 41) Hofmann RF, Lindstorm RL, Neumann AC, Salz JJ, Tate GW Jr, Thornton SP: Radial Keratotomy. In: Sanders DD (Ed): Slack, Thorofare, 1986.
- 42) FB トンプソン, PJ マクドネル, 坪井一男(監訳): エキシマレーザ角膜屈折矯正手術. 医学書院, 東京, 19—36, 1994.
- 43) 檜垣史朗, 下村嘉一, 猪野 廉, 湖崎 亮, 木田一男, 日下佳苗, 他: 開眼器が角膜形状に及ぼす影響. あたらしい眼科 12: 283—286, 1995.
- 44) 杉田元太郎: フラウン切開. あたらしい眼科 11: 335—341, 1994.
- 45) 深作秀春: プリッジ切開. あたらしい眼科 11: 343—350, 1994.
- 46) 大鹿哲郎, 坪井俊児, 谷口重雄, 吉富文昭, 永本敏之: 小切開白内障手術の術後成績. 日眼会誌 98: 362—368, 1994.
- 47) 大鹿哲郎, 原 玲子, 坪井俊児, 江口甲一郎: 白内障・眼内レンズ手術後の屈折変化. 日眼会誌 87: 974—982, 1994.
- 48) 島崎 潤: Radial Keratotomy の是非. あたらしい眼科 11: 165—172, 1994.
- 49) 高橋圭三: エキシマレーザ近視矯正術. あたらしい眼科 11: 173—177, 1994.