

原 著

## 白内障術前後の高次収差の変化

渡 邊 洋一郎

横浜市立大学医学部眼科学

**要 旨：**視機能の評価は視力をはじめコントラスト感度などのさまざまな面から評価できる。健常者では光学系は理想的バランスに近い状態であり、屈折的に調整された状態では網膜にきれいな像を作る。白内障発症により光学特性は変化すると考え、光学的特性のずれを生じる。そのずれを収差 (aberration) という。収差の面から、白内障術前後で比較検討した。白内障患者37眼の術前後収差を波面センサー OPD-Scan<sup>®</sup> (NIDEK 社) を用い測定した。瞳孔径を 4 mm と設定し、検査値としては術前術後 3 回の平均値にて検討した。収差は低次収差と高次収差に分けられ、低次収差は眼鏡で矯正可能な成分である一方、高次収差は矯正不能である。高次収差の各成分 (コマ様収差・球面様収差) においての変化量を算出した。高次収差は術前平均  $0.390 (\pm 1.51) \mu\text{m}$  が術後  $0.237 (\pm 0.097) \mu\text{m}$  と改善した。コマ様収差 (S3+S5+S7) は術前平均  $0.373 (\pm 0.228) \mu\text{m}$  が術後  $0.222 (\pm 0.103) \mu\text{m}$  と改善した。球面様収差 (S4+S6+S8) は  $0.096 (\pm 0.078) \mu\text{m}$  が術後  $0.069 (\pm 0.030) \mu\text{m}$  と改善した。白内障症例の水晶体ではコマ様収差・球面様収差成分が増加している可能性が示唆された。

**Key words:** 白内障, 波面センサー, 高次収差, コマ様収差, 球面様収差

## 緒 言

若年の健常者に比べ白内障の進行した患者は、眼鏡で矯正不能な成分が増加していることが言われている。健常者の光学的均衡はバランスがとれているが、白内障発症により光学特性は変化する。光学系において、1点から出た光が1点に結像するのは理想的な光学系で、1点に収束しないずれを収差 (aberration) という。光学的理想からのずれの収差は低次収差と高次収差に分けられ、後者が眼鏡矯正不能の成分に相当する。高次収差の増加は屈折ずれに相当する像のボケ (defocus) を生じる原因になる<sup>1)2)</sup>。今回白内障手術により、どの程度高次収差が改善し、光学的均衡の状態に近づいているのか検討した。

## 対象と方法

対象は平成15年6月から平成16年2月までに横浜市大医学部付属病院で日帰り手術を施行した患者のうち角膜切開症例および他の眼科手術の既往もしくは角膜疾患を

除く計37眼 (男性13名17眼, 女性18名20眼), 年齢は  $68.4 \pm 10.3$  (平均 $\pm$ 標準偏差) 歳 (48~85歳) であった。

方法は波面センサーの OPD-Scan<sup>®</sup> (NIDEK 社製) を用いて術前、術後の波面収差を測定した。測定原理は、検影法 (skiascopy) である。検影法は被検者の眼内に光を入射させ、その光の眼底反射像を観察することによって屈折度を知ることができる。角膜反射光を角膜と共役な位置の受光素子により検出する。角膜上の任意の点における眼の中心との時間差が、眼底と絞りの間の距離に基づき発生するため、個々の受光素子に受光される時間差を測定して、屈折度に変換する。光源波長としてオートレフラクトメーターと同波長の880nmのスリット状近赤外光を用い屈折誤差を測定し、その値から波面収差データに変換した。測定スポット数は1440/6mmで Zernike 解析次数は8次まで算出した。検査時は術前術後とも3回測定しその平均値を測定値とした。Zernike 展開により収差マップを作成することが出来る。Zernike 多項式の収差分量を root mean square (RMS) にて算出した。今回瞳孔径を 4 mm と設定し、高次収差および球面

様収差 (S4+S6+S8), コマ様収差 (S3+S5+S7) を算出した。

手術方法は超音波白内障機器として, レガシー20000® (alcon 社製) を使用し, 上方12時からの3mm幅の経強膜切開創としエメラルドインジェクター®を用いセンサー®AR40e (AMO 社製) を嚢内固定とした。解析ソフトとして StatViewj-5.0を用い, 解析方法に対応のある t 検定をおこなった。

**結 果**

全症例術後眼内レンズの変位なく, また収差の値は瞳

孔径に大きく影響を受けるため<sup>13)</sup> 4mmに設定したが, 術前後のいずれかの測定時に, 瞳孔径が設定値に影響を生じた症例は今回含まなかった。全症例の術前後の収差量を散布図 (図1, 図2, 図3) に示す。高次収差は術前 $0.390 \pm 0.232$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ , 術後 $0.237 \pm 0.097$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ と減少した。コマ様収差は術前 $0.373 \pm 0.228$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ , 術後 $0.222 \pm 0.103$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ と減少した。球面様収差は術前 $0.096 \pm 0.078$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ , 術後 $0.069 \pm 0.030$  (平均±標準偏差)  $\mu\text{m}$ と減少した。いずれも有意差がみられた (図4, 図5, 図6)。

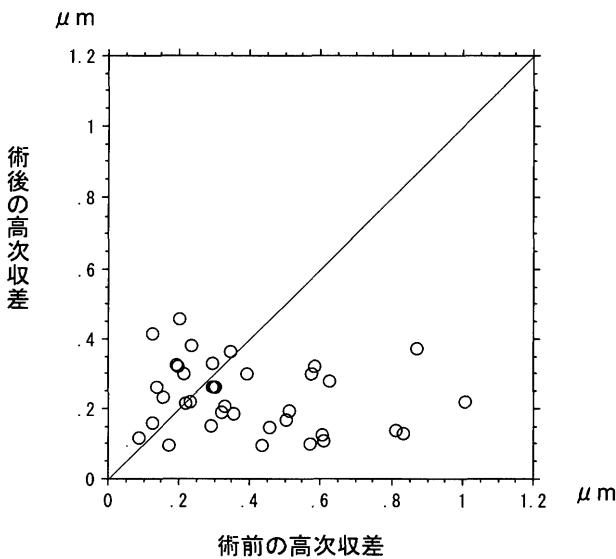


図1 各症例の術前術後の収差散布図 (高次収差)

収差は術前より減少している症例が多いが, 術後悪化している症例も存在する

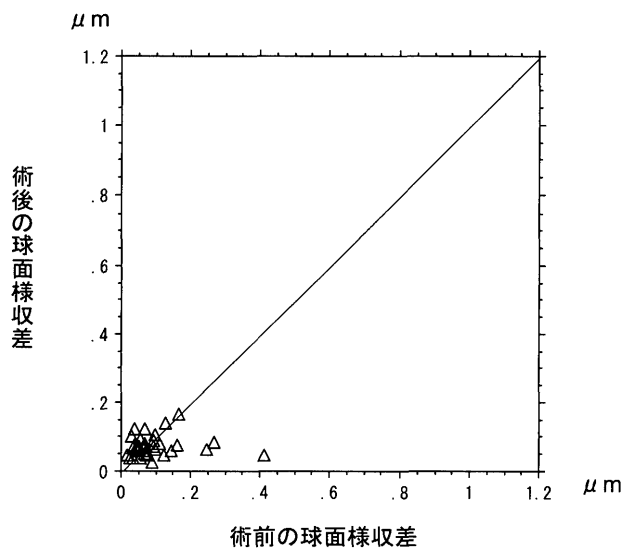


図3 各症例の術前術後の収差散布図 (球面様収差)

コマ様収差に比べ収差は小さく, 術前後のばらつきが少ない

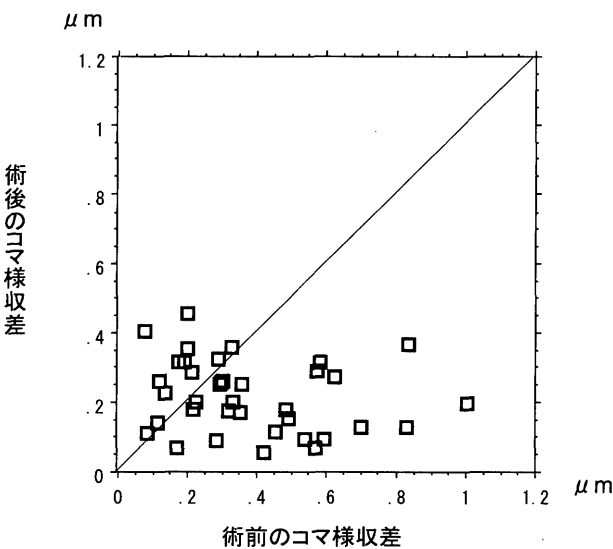


図2 各症例の術前術後の収差散布図 (コマ様収差)

高次収差と同様に収差は術前より減少している症例が多いが, 術後悪化している症例も存在する

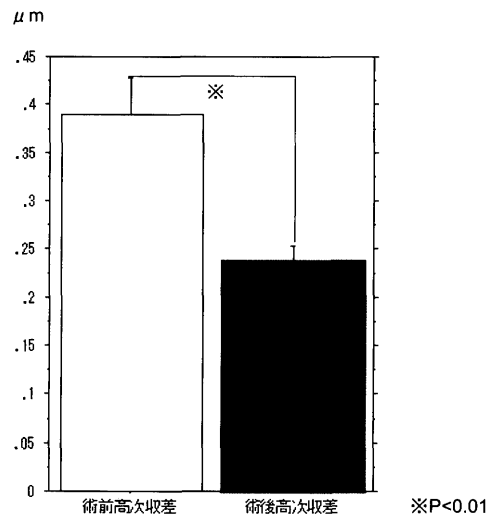


図4 術前術後高次収差

術前 $0.390 (\pm 0.232) \mu\text{m}$ , 術後 $0.237 (\pm 0.097) \mu\text{m}$ と有意に減少した (t-test).  $0.29 \mu\text{m}$ 以上の収差があると, 屈折値0.5D以上の defocus が存在する

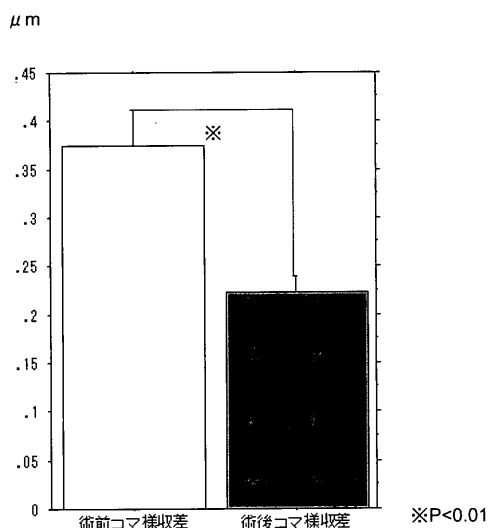


図5 術前術後コマ様収差 (S3+S5+S7)

術前0.373 (±0.228) μm が術後0.222 (±0.103) μm と有意に減少した (t-test). 角膜形状の影響を受けやすい

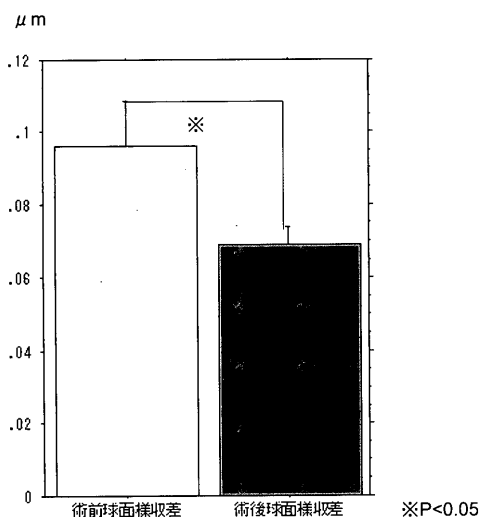


図6 術前術後球面様収差 (S4+S6+S8)

0.096 (±0.078) μm が術後0.069 (±0.030) μm と有意に減少した (t-test). 核白内障などに、球面収差は増加傾向がある

差は光学部素材のアッベ数によって決定する。アッベ数が小さいほど色収差は大きくなり、アッベ数が大きいほど色収差は小さくなる。正常水晶体のアッベ数は50であり、従来のアクリルレンズ (アクリソフ®) は37と小さく色収差が大きくなる。今回使用の眼内レンズ (センサー®) のアッベ数は54.9と大きく正常水晶体に近い値に色収差のため、コントラストへの影響は色収差に関しては少ないものと思われる。

もうひとつの原因は水晶体自体が非球面レンズである<sup>8)</sup>ことが挙げられる。健常眼では角膜自体の球面収差を水晶体の負の球面収差が補いバランスをとっている<sup>10) 14)</sup>。今回使用したセンサー®の形状が球面レンズであるため、健常水晶体にくらべ眼球自体の球面収差を増加させる。

ではなぜ今回の手術で高次収差は改善しているのか。角膜の高次収差は加齢に伴い増加していく<sup>4) 5) 7)</sup>、水晶体自体も核硬化の進行などにより球面収差は増加し、眼球全体の高次収差は、健常眼にくらべ増加している。そのため術後球面レンズでも術後眼球自体の高次収差が健常眼に一步近づく。今回コマ様収差も改善したことから、白内障眼では球面様収差だけでなくコマ様収差も増加していることがいえるが、コマ様収差は角膜形状に影響しやすく<sup>11) 12)</sup>症例によるばらつきは球面様収差より大きいものであった (図2, 図3)。

今回術前の白内障進行度や濁りのタイプと高次収差の関連についての検討はおこなわなかったため、今後の症例数を重ね検討が必要と思われた。

屈折矯正手術においても、wavefronted-guided refractive surgery が行われており LASIK 後の収差の軽減が可能になった。非球面レンズを用いた白内障手術により高次収差を軽減し、光学的均衡のとれた健常眼に近づきつつある<sup>3) 6) 8)</sup>。今後は更なるレンズの開発が望まれるとともに、白内障術前後の評価方法として、波面センサーが有効な手段の一つとなるだろう。

## 考 察

白内障患者において、視力の低下していない症例でも、白内障の皮質混濁の進行や核硬化などにより、コントラスト感度の低下が著しい症例は少なくない。眼球の高次収差の増大はコントラスト感度を低下させることが報告されている<sup>2) 5) 7) 10) 11) 14) 15)</sup>。今回白内障術前後において高次収差が改善していることは、白内障手術によりコントラスト感度が改善していることと関連している。手術後視力不変症例においても、自覚的コントラスト感度の改善が認められる。

しかし眼内レンズ眼は健常眼に比べ、コントラスト感度の低下が報告されており<sup>14) 15)</sup>、その原因のひとつの可能性としては、色収差の違いがある。眼内レンズの色収

## 文 献

- 1) Takashi Fujikado, Teruhito Kuroda et al: Wavefront analysis of an eye with monocular triplopia and nuclear cataract. *Am J ophthalmol*, **137**: 361-363, 2004.
- 2) Teruhito Kuroda, Takashi Fujikado, Naoyuki Maeda et al: Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical Cataract. *Am J ophthalmol*, **134**: 1-9, 2002.
- 3) Ulrich Mester, Patrick Dillinger, Nicola Anterist: Impact of a modified optic design on visual function. *J Cataract Refract Surg*, **29**: 652-660, 2003.
- 4) Pablo Artal, Esther Barrio and Antonio Guirao: Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *optical society of Amer-*

- ica, **19**: 137 – 143, 2002.
- 5) Teruhito Kuroda, Takashi Fujikado, Sayuri Ninomiya et al: Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberration. *Journal of refractive surgery*, **18**: 598 – 602, 2002.
- 6) Jack T. Holladay, Patricia A. Piers, Gabor Koranyi et al: A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *Journal of refractive surgery*, **18**: 683 – 691, 2002.
- 7) Naoyuki Maeda, Shigeru Sato, Hitoshi Watanabe et al: Prediction of letter contrast sensitivity using videokeratographic indices. *Am J ophthalmol*, **6**: 759 – 763, 2000.
- 8) Mark packer, I. Howard Fine, Richard S. Hoffman: Prospective randomized trial of an anterior surface modified prolate intraocular lens. *Journal of refractive surgery*, **18**: 692 – 696, 2002.
- 9) Sami G. EL Hange and Françoise Berny: Contribution of the crystalline lens to the spherical aberration of the eye. *optical society of America*, **63**: 205 – 211, 1973
- 10) 岡本周子, 大鹿哲郎: 白内障手術による眼光学特性の変化. *眼科手術*, **16**: 461 – 466, 2003.
- 11) 安田桂守臣, 稗田 牧, 寺達和都・他: LASIK 術後の夜間視機能. *眼科手術*, **16**: 231 – 234, 2003.
- 12) 山田英明, 稗田 牧, 河野明美・他: LASIK におけるアイトラッキングシステムの有用性. *あたらしい眼科*, **21**: 245 – 249, 2004.
- 13) 佐藤健一, 花田一臣, 五十嵐羊羽・他: Optical Path Difference Scanning System での高次収差測定に対する瞳孔径の影響. *あたらしい眼科*, **20**: 1285 – 1289, 2003.
- 14) 永田豊文: より自然な術後視機能をめざして. *眼科手術*, **16**: 467 – 475, 2003.
- 15) 根岸一乃: 眼内レンズ挿入眼の視機能. *あたらしい眼科*, **19**: 305 – 310, 2002.

#### Abstract

### CHANGE OF OCULAR HIGHER ORDER ABERRATIONS IN EYES BEFORE AND AFTER CATARACT SURGERY

Yoichiro WATANABE

*Department of Ophthalmology, Yokohama City University School of Medicine*

We can evaluate visual quality in many ways, for example by examining contrast sensitivity. Objective measurements of retinal image quality is good in young people. Visual performance degrade with cataract. We evaluated change of aberration in eyes before and after cataract surgery. 37 eyes were examined with an OPD-Scan® (NIDEK) aberrometer. Measurements were made 3 times for each before and after surgery. We used biconvex lenses with spherical surfaces (SI-40e, AMO). Higher order aberrations were decreased ( $-0.153\mu\text{m}$ , 4mm pupil). Spherical aberrations ( $S4 + S6 + S8$ ) were also decreased ( $-0.027\mu\text{m}$ ), as were Coma and trefoil aberrations ( $S3 + S5 + S7$ ) ( $-0.151\mu\text{m}$ ). These results indicate that higher order aberrations increase in eyes of cataract patients.