若年者における高次波面収差の検討

関口沙知子¹⁾・伊藤美沙絵^{1) 2)}・矢野 隆³⁾・相澤 大輔¹⁾
鈴木 雅信¹⁾・庄司 信行^{1) 2)}・魚里 博²⁾・清水 公也¹⁾

¹⁾ 北里大学病院眼科・²⁾ 北里大学医療衛生学部,

³⁾ 国際医療福祉大学保健学部

Investigation of higher-order wavefront aberrations in childhood

Sachiko Sekiguchi¹⁾, Misae Ito^{1) 2)}, Takashi Yano³⁾, Daisuke Aizawa¹⁾
Masanobu Suzuki¹⁾, Nobuyuki Shoji^{1) 2)}, Hiroshi Uozato²⁾, Kimiya Shimizu¹⁾

¹⁾ Department of Ophthalmology, Kitasato University Hospital

²⁾ Department of Orthoptics and Visual Science, School of Allied Health Sciences, Kitasato University

³⁾ Department of Orthoptics and Visual Science, The School of Health Science, International University of Health and Welfare

要 約

目的：若年者の角膜と眼球全体の高次波面収差について検討した。

対象と方法：屈折異常以外に眼科学的疾患を認めない4歳から20歳までの81名134眼を対象とした。収差測定にはHartmann-Shack波面センサーを内蔵するKR-9000PWTM (TOPCON社製)を用いた。また解析にはZernike多項式を用いてコマ様収差、球面様収差、全高次収差について検討した。

結果：角膜のコマ様収差は、年齢と負の相関 (Spearmanの順位相関： $r = -0.383$, $p < 0.0001$)を示し、球面様収差は正の相関 ($r = 0.241$, $p = 0.0087$)、全高次収差は負の相関 ($r = -0.286$, $p = 0.0019$)を示した。眼球全体のコマ様収差、球面様収差、全高次収差は年齢と相関関係は認められなかった。

結論：若年者において角膜高次波面収差は年齢とともに減少した。

別冊請求先 (〒228-8555) 神奈川県相模原市北里一丁目15番1号 関口沙知子

Tel. 042-778-8111 Fax. 042-778-9371

Key words : Higher-order Aberration, Childhood, aging, corneal aberration, ocular aberration
高次波面収差、若年者、年齢、角膜、眼球全体

Abstract

Purpose : To investigate whether higher order wavefront aberrations of the cornea and the ocular vary with aging in childhood.

Subjects and methods : One hundred thirty four eyes of eighty one normal subjects in age from 4 to 20 years were evaluated with a Hartmann-Shack wavefront sensor (KR9000-PWTM; Topcon). The data were analyzed quantitatively by expanding the sets of Zernike polynomials (S3,S4,S5,S6) in the central 6-mm zone. Terms of evaluation were Coma-like aberration, Spherical-like aberration, and total higher order aberrations.

Results : Corneal Coma-like aberration (Spearman rank correlation coefficient : $r=-0.383$, $p<0.0001$), Total higher order aberration ($r=-0.286$, $p=0.0019$) were significantly negative correlated with aging where as Spherical-like aberration ($r=0.241$, $p=0.0087$) were significantly positive correlated. The total ocular aberrations were not significantly correlated.

Conclusion : Corneal higher-order wavefront aberrations in youth were negatively correlated with aging.

I. 緒 言

これまでに成人以降の角膜と眼球全体の高次波面収差は、年齢と正の相関を示すと報告されている¹⁾。しかし近年、若年者ではこの相関関係が異なるとの報告がなされ^{2) 3)}、成長途中の若年者と成人において高次波面収差特性が異なる可能性が示唆された。しかし、これまでに若年者の報告は少なく詳細な検討がなされていないのが現状である。そこで今回、20歳以下の若年者の角膜と眼球全体の高次波面収差について検討したので報告する。

II. 対象及び方法

対象は、屈折異常以外に眼科学的疾患を認めず、矯正視力1.0以上で収差測定時に自然瞳孔径が6 mm以上確保できた4歳から20歳まで（平均年齢 10 ± 4 歳）の81名134眼である。対象の球面度数 $-0.24 \pm 3.37D$ 、円柱度数 $-0.62 \pm 0.38D$ 、角膜乱視 $-1.12 \pm 0.45D$ であった（図1）。

収差測定には、Hartmann-Shack波面センサーを内蔵のKR-9000PWTM（TOPCON社製）を用いて、暗室かつ自然瞳孔にて行った。解析瞳孔径を6 mmとして、再現性のある各3回の平均値を高次波面収差量として採用した。収差量は、計測した波面をZernike展開して得られた係数の2乗の総和を求め、その平方根root mean square

(RMS) として表示した。本装置での解析瞳孔径6 mmではZernike係数の6次まで解析可能で、3次と5次のRMSをコマ様収差、4次と6次のRMSを球面様収差、3次から6次までのRMSを全高次収差として、角膜と眼球全体について検討した。

III. 結 果

年齢と角膜乱視について検討した結果を図1に示す。角膜乱視は年齢と相関はみられなかった。(Spearmanの順位相関： $r=0.156$, $p=0.1267$ 図1)

年齢と角膜の高次波面収差について検討した結果を図2 a, 2 b, 2 cに示す。コマ様収差は年齢と負の相関がみられた (Spearmanの順位相関： $r=-0.383$, $p<0.0001$ 図2 a)。球面様収差は年齢と正の相関がみられた ($r=0.241$, $p=0.0087$ 図2 b)。全高次収差は年齢と負の相関がみられた ($r=-0.286$, $p=0.0019$ 図2 c)。

年齢と眼球全体の高次波面収差について検討した結果を図3 a, 3 b, 3 cに示す。コマ様収差 ($r=0.101$, $p=0.4170$ 図3 a)、球面様収差 ($r=0.097$, $p=0.4748$ 図3 b)、全高次収差 ($r=0.128$, $p=0.2014$ 図3 c) とともに年齢との相関は認められなかった。

また、若年者では眼球全体の高次波面収差量が角膜の高次波面収差量より小さく推移した

図1 角膜乱視と年齢
横軸に年齢(歳)、縦軸に角膜乱視量(D)を示す。
角膜乱視と年齢は相関がみられなかった。
 $y = 0.0156x + 1.2414$ (Spearmanの順位相関：
 $r = 0.156$, $p = 0.1267$)

図2 b 角膜球面収差と年齢 (解析瞳孔径 6 mm)
横軸に年齢(歳)、縦軸に波面収差量(μm)を示す。
角膜球面収差と年齢は正の相関がみられた。
 $y = 0.003x + 0.2164$ (Spearmanの順位相関：
 $r = 0.241$, $p = 0.0087$)

図2 a 角膜コマ様収差と年齢 (解析瞳孔径 6 mm)
横軸に年齢(歳)、縦軸に波面収差量(μm)を示す。
角膜コマ様収差と年齢は負の相関がみられた。
 $y = -0.01x + 0.4317$ (Spearmanの順位相関：
 $r = -0.383$, $p < 0.0001$)

図2 c 角膜全高次収差と年齢 (解析瞳孔径 6 mm)
横軸に年齢(歳)、縦軸に波面収差量(μm)を示す。
角膜全高次収差と年齢は負の相関がみられた。
 $y = 0.003x + 0.2164$ (Spearmanの順位相関：
 $r = -0.286$, $p = 0.0019$)

図3 a 眼球全体のコマ様収差と年齢（解析瞳孔径 6 mm）
横軸に年齢（歳）、縦軸に波面収差量（ μ m）を示す。
 $y = 0.0025x + 0.2629$ （Spearmanの順位相関：
 $r = 0.101$, $p = 0.4170$ ）

図3 c 眼球全体の全高次収差と年齢（解析瞳孔径 6 mm）
横軸に年齢（歳）、縦軸に波面収差量（ μ m）を示す。
 $y = 0.0033x + 0.216$ （Spearmanの順位相関：
 $r = 0.128$, $p = 0.2014$ ）

図3 b 眼球全体の球面様収差と年齢（解析瞳孔径 6 mm）
横軸に年齢（歳）、縦軸に波面収差量（ μ m）を示す。
 $y = 0.0014x + 0.1505$ （Spearmanの順位相関：
 $r = 0.097$, $p = 0.4748$ ）

図4 角膜と眼球全体の全高次収差（解析瞳孔径 6 mm）
縦軸に波面収差量（ μ m）を示す。
（対応のある t 検定：* $p < 0.0001$ ）

（対応のある t 検定： $p < 0.0001$ 図 4）。

IV. 考 按

これまでに年齢と高次波面収差についてはす

でに報告があり、角膜については、1999年に大鹿⁴⁾らが年齢（9～85歳；102眼）と正の相関があったことを報告し、2002年にArtal¹⁾ら（26～69歳；17眼）も同様の報告している。眼球全体については、2001年にMcLellan⁵⁾らが年齢（22.9～64.5歳；38眼）と正の相関を報告し、2002年のAltal¹⁾らも同様の報告をしている。しかし他の報告よりも年齢層を広げたBrunette²⁾

らの研究 (5~82歳; 114眼) では、眼球全体の高次波面収差が年齢と2次関数様変化を示し、37.5歳で最小値となるV字様の軌跡を示すと報告された。また、2004年には伊藤³⁾らが4歳から77歳までの150眼において、角膜のコマ様収差は約25歳まで減少傾向を示し、40歳以降増加傾向を示すことや角膜と眼球全体の高次波面収差が多項式回帰を示すことを報告し、若年者と中年から老年期の収差特性は眼球全体のみならず角膜で異なる可能性を示唆している。つまり、成人以降の報告ではすべて高次波面収差が年齢と正の相関を示すと同様の報告であるが、より低年齢層を含めた研究では若干の相違がある。

今回の我々の研究では、角膜の高次波面収差は年齢と負の相関を認め、伊藤³⁾らの報告と同様な結果を得た。また、この変化は角膜高次波面収差のコマ様収差でより著明であった。1996年にFriedman⁶⁾らは若年者の角膜乱視量は不変であるが、角膜の形状がSteepからFlat化すると報告している (6~14歳; 788眼)。さらに中平⁷⁾らは15歳頃にかけて眼軸が24mmに近づく正視化と平行して角膜がFlat化すると報告している。図1で示したように、対象の角膜乱視量は年齢と相関を示さなかったにもかかわらず、角膜の高次波面収差で年齢と相関関係を示したことは、角膜乱視量としては捉えることができなかった若年者の角膜の微細な形状変化を高次波面収差として捉えたものと考えられる。また、角膜のコマ様収差の減少からも角膜のFlat化に伴う非対称性の減少と考えられるが、今回は角膜形状変化について検討しておらず、今後検討する必要がある。また若年者で眼球全体の高次波面収差変化を認めなかった。眼球全体の高次波面収差は、角膜の高次波面収差と他の眼球光学系で構成され、他の眼球光学系は主として水晶体だと考えられている^{1) 8)}。水晶体の加齢変化としては機能的には調節があり、形態的には大きさ、形状、透明度、色調、蛍光などがある。特に収差増加の原因とされる形態的变化は生涯変化し続け、30歳代を過ぎた頃から核部の増大も著明となると報告されている^{9) 10)}。今回、角膜の高次波面収差が年齢と負の相関を示し、眼球全体の高次波面収差は変化を認めなかった

のは、他の眼球光学系 (主として水晶体) の収差が年齢とともに増加したためと考えた。

さらにArtal¹⁾や伊藤³⁾らは、若年者の高次波面収差は眼球全体よりも角膜のほうが大きく、中年以降で逆転することを報告している。若年者では大きな角膜高次波面収差を眼球内の他の眼球光学系が補償し、眼球全体としての高次波面収差量が抑えられているが、年齢変化に伴う眼球内の高次波面収差増加によりその補償関係が崩壊し、コントラスト感度の低下などの視力の質の低下につながることが示唆されている。今回、眼球全体の高次波面収差が角膜の高次波面収差より小さく抑えられていることから、若年者では良好な視力の質を維持している可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P: Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A* 19: 137-143, 2002.
- 2) Brunette I, Bueno J, Parent M, Hamam H, Simonet P: Monochromatic aberrations as a function of age, from childhood to advanced age. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 44: 5438-5446, 2003.
- 3) 伊藤美沙絵, 清水公也, 魚里 博, 矢野 隆, 他: 高次波面収差の年齢変化. *日眼会誌* 108 臨時増刊号: 269, 2004
- 4) Oshika T, Klyce S, Applegate R, Howland H: Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40: 1351-1355, 1999.
- 5) McLellan J, Marcos S, Burns S: Age-Related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42: 1390-1395, 2001.
- 6) Friedman N, Mutti D, Zadnik K: Corneal changes in schoolchildren. *Optom Vis Sci* 73: 552-557, 1996.
- 7) 中平洋政: 眼の屈折要素の経年変化 第2報. *眼紀* 48: 1031-1035, 1997.

- 8) 黒田輝仁, 不二門 尚: 加齢による収差の増加と眼鏡処方. あたらしい眼科19: 155-160: 2002.
- 9) Weale RA: Senescent vision is it all the fault of the lens?. Eye 1: 217-221, 1987.
- 10) 大河内 浩之, 加藤 桂一郎, 梶田 雅義: 画像解析による水晶体の加齢変化. 眼臨96: 227 - 229: 2002.
-