

# 实测与理论瞳孔直径下全角膜与前角膜总高阶像差的比较

赵丽君, 黄渝侃, 程胜男, 吴名锋, 李玉芷

引用: 赵丽君, 黄渝侃, 程胜男, 等. 实测与理论瞳孔直径下全角膜与前角膜总高阶像差的比较. 国际眼科杂志 2020; 20(12): 2049-2053

作者单位: (430022) 中国湖北省武汉市, 华中科技大学同济医学院附属协和医院眼科

作者简介: 赵丽君, 硕士, 技师, 研究方向: 屈光。

通讯作者: 黄渝侃, 博士, 副主任医师, 研究方向: 青光眼、白内障. [whuh\\_huangyk@163.com](mailto:whuh_huangyk@163.com)

收稿日期: 2020-04-08 修回日期: 2020-11-10

## 摘要

目的: 观察不同年龄段人群在 4.0mm 与实测瞳孔直径下全角膜和前角膜总高阶像差(HOA)的差异。

方法: 横断面研究。检测 2019-03-31/05-31 于我院就诊的 100 例受试者在 2.0~7.0mm 瞳孔直径下全角膜和前角膜总 HOA 及拟明环境下瞳孔直径, 通过数学拟合曲线计算出该直径下全角膜和前角膜的总 HOA 值(实测 HOA), 分别比较实测与 4.0mm 瞳孔直径下 HOA(理论 HOA)全角膜与前角膜 HOA 之间的差异。

结果: 实测瞳孔直径与年龄呈负相关( $r = -0.587, P < 0.001$ )。全角膜和前角膜实测 HOA 与年龄均呈负相关( $r = -0.191, P = 0.002; r = -0.181, P = 0.004$ ), 全角膜理论 HOA 则与年龄呈正相关( $r = 0.282, P < 0.001$ )。在 40~49、60~69、70~79 岁组, 全角膜和前角膜实测 HOA 均小于对应理论 HOA ( $P < 0.05$ )。同样在以上年龄段, 实测全角膜 HOA 显著高于实测前角膜 HOA ( $P < 0.05$ ); 在 20~29 岁理论全角膜 HOA 显著低于理论前角膜 HOA ( $P = 0.006$ ), 在 60~69 岁组, 结果则相反 ( $P = 0.039$ )。老年人群(60~69、70~79 岁组)中实测全角膜 HOA  $\geq 0.3\mu\text{m}$  占比显著低于理论全角膜 HOA ( $\chi^2 = 4.300, P = 0.038$ )。

结论: 老年人群实测全角膜和前角膜 HOA 均显著低于对应理论 HOA, 这与老年人群实际平均瞳孔直径偏小有关。所测前角膜 HOA 不能完全代替全角膜 HOA。以实测全角膜 HOA 为依据将有更多老年患者在选择植入多焦点人工晶状体时符合入选条件。

关键词: 角膜; 高阶像差; 瞳孔直径

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2020.12.07

## Discrepancies between total and anterior corneal high - order aberrations at measured and theoretical pupil diameter

Li-Jun Zhao, Yu-Kan Huang, Sheng-Nan Cheng, Ming-Feng Wu, Yu-Zhi Li

Department of Ophthalmology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei Province, China

Correspondence to: Yu-Kan Huang. Department of Ophthalmology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei Province, China. [whuh\\_huangyk@163.com](mailto:whuh_huangyk@163.com)

Received: 2020-04-08 Accepted: 2020-11-10

## Abstract

• AIM: To compare the difference between total and anterior corneal high-order aberrations(HOA) calculated based on the pupil diameters of 4.0mm and the actual measurements in different age groups.

• METHODS: A cross sectional study. A Total of 100 subjects between March, 31<sup>th</sup> and May, 31<sup>th</sup> in 2019 were included. Their total corneal high-order aberrations (THOA) and anterior corneal high-order aberrations (AHOA) were detected on the basis of different machine-provided pupil diameters (2.0-7.0mm) and their photopic pupil diameters were recorded as measured pupil diameters in the room with normal illumination. THOA and AHOA based on the machine-measured pupil diameter was calculated through fitting curves, and compared to the THOA and AHOA at a theoretical 4mm pupil diameter.

• RESULTS: The measured pupil diameter was negatively correlated with age ( $r = -0.587, P < 0.001$ ). THOA and AHOA based on measured pupil diameter were both negatively correlated with age ( $r = -0.191, P = 0.002; r = -0.181, P = 0.004$ ). At 4mm pupil diameter, THOA was positively correlated with age ( $r = 0.282, P < 0.001$ ), while there was no obvious correlation between AHOA and age. In 40-49, 60-69 and 70-79 years old groups, their THOA and AHOA at the measured pupil diameters were significantly lower than those at 4mm pupil diameter ( $P < 0.05$ ), while their THOA were significantly higher than AHOA at the measured pupil diameters ( $P < 0.05$ ). At 4mm pupil diameter, THOA were significantly lower than AHOA in 20-29 years old groups ( $P = 0.006$ ), but higher than AHOA in 60-69 years old groups ( $P = 0.039$ ). In the aged group (include 60-69 and 70-79 years old groups), the proportion of observed value of THOA  $\geq 0.3\mu\text{m}$  at the measured pupil diameters were significantly lower than those at 4mm pupil diameter ( $\chi^2 = 4.300, P = 0.038$ ).

• CONCLUSION: THOA and AHOA at the measured pupil diameters in the old subjects are significantly lower than those at 4mm pupil diameter, which could be ascribed to their relatively small actual mean pupil sizes. Our study suggested that the THOA rather than AHOA should be used for the selection of multifocal intraocular lens for cataract patients at measured pupil diameter, so that

more aged patients will satisfy the inclusion criteria.

• KEYWORDS: cornea; high - order aberration; pupil diameter

**Citation:** Zhao LJ, Huang YK, Cheng SN, *et al.* Discrepancies between total and anterior corneal high - order aberrations at measured and theoretical pupil diameter. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2020;20(12):2049-2053

## 0 引言

像差是指理想光学系统成像与实际光学系统成像的光学偏差,常用泽尼克(Zernike)多项式函数来描述,0~2阶为低阶像差,3阶以上为高阶像差<sup>[1]</sup>。像差理论在眼科领域有广泛的应用,如个体化角膜切削、角膜接触镜验配及人工晶状体选择等<sup>[2-3]</sup>。角膜 HOA 的准确测量在多焦点人工晶状体(multifocal intraocular lens, MIOL)适应证的选择中有重要意义,一般认为角膜中央直径 4.0mm 区域总 HOA<0.3 $\mu\text{m}$  的患者可植入 MIOL,超出此范围的谨慎植入,>0.5 $\mu\text{m}$  不建议植入<sup>[4]</sup>。

目前有很多测量角膜 HOA 的仪器,如 iTrace 波前像差仪,光程差分析仪等,均常规默认中央 4.0mm 瞳孔直径下角膜 HOA 为输出值<sup>[5-6]</sup>。瞳孔直径是影响像差的重要因素之一,由于个体差异,不同患者明视环境下瞳孔直径并非均为 4.0mm<sup>[7]</sup>,这种差异是否导致像差结果偏倚以及是否具有临床意义尚不得而知。且由于仪器测量原理的差异,部分仪器只能测量角膜前表面 HOA,并以其代表全角膜 HOA 值,在实测和 4.0mm 瞳孔直径下前角膜与全角膜 HOA 是否存在差异,前者是否可以代替后者应用于临床目前未见文献报道。基于此,本研究对不同年龄段实测瞳孔和 4.0mm 瞳孔直径下全角膜和前角膜 HOA 进行了分析。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 本研究采用横断面研究,选取 2019-03-31/05-31 于我院就诊的受试者 100 例 200 眼,按照年龄划分为 6 组:20~29 岁组 17 例 34 眼;30~39 岁组 30 例 60 眼;40~49 岁组 13 例 26 眼;50~59 岁组 14 例 28 眼;60~69 岁组 14 例 28 眼;70~79 岁组 12 例 24 眼。其中 20~29 岁和 30~39 岁组被视为青年人群,40~49 岁和 50~59 岁组被视为中年人群,60~69 岁和 70~79 岁组被视为老年人群。入选标准:(1)年龄 20~80 岁;(2)停戴软性角膜接触镜 2wk 以上,硬性角膜接触镜 2mo 以上。排除标准:(1)离焦  $\geq \pm 3.00\text{D}$ ,散光  $\geq \pm 1.50\text{D}$ ;(2)疑似圆锥角膜、圆锥角膜及其他角膜病变;(3)存在干眼、翼状胬肉、严重角膜血管翳等眼表病变;(4)存在虹膜前、后粘连,瞳孔闭锁及神经麻痹等影响瞳孔正常大小的病变;(5)既往眼部手术史及眼部外伤史;(6)Sirius 机测 Kappa 角 <0.5mm;(7)其他眼科病史,如青光眼、视网膜疾病等。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,并获得华中科技大学同济医学院医学伦理委员会批准。所有患者均已签署知情同意书。

**1.2 方法** 所有受试者由同一位经验丰富的技师在同一台 Sirius 眼前节分析仪进行三维角膜地形图检测。暗室环境下,嘱患者坐于设备前,平视前方,睁大双眼,充分暴露角膜,瞬目 2~3s 后睁眼,待屏幕上下测量线均变为绿色,按下拍摄键。再嘱患者睁大双眼,充分暴露瞳孔,拍摄

拟明环境下(40Lx)的瞳孔大小,收集数据。选取采集质量覆盖率>90%,可信度=100%的角膜地形图,记录不同瞳孔直径下(2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0mm)的全角膜和前角膜总 HOA 值,重复 3 次取平均值。

使用 MATLAB 软件对上述 11 个瞳孔直径下全角膜和前角膜 HOA 结果作拟合曲线,并计算出患者在拟明环境下实际瞳孔直径全角膜总 HOA(以下简称实测全高阶)和前角膜总 HOA(以下简称实测前高阶);以 4.0mm 瞳孔直径下全角膜总 HOA 值(以下简称理论全高阶)和前角膜总 HOA(以下简称理论前高阶)作为理论值。

**统计学分析:**利用 SPSS 20.0 软件对获取数据进行处理和分析。计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示。青年、中年、老年人群组间比较采用单因素方差分析法,进一步两两比较采用 LSD-*t* 检验。各年龄段实测和理论 HOA 的比较,全角膜和前角膜的比较均采用配对样本 *t* 检验。相关性分析采用 Pearson 分析法,|*r*|<0.1 为极弱相关或无相关;0.1 $\leq$ |*r*|<0.3 为弱相关;0.3 $\leq$ |*r*|<0.5 为中等相关;|*r*| $\geq$ 0.5 为强相关。高阶值  $\geq$ 0.3 $\mu\text{m}$  和高阶值 <0.3 $\mu\text{m}$  的比较采用 2 $\times$ 2 卡方分析法。*P*<0.05 为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 年龄与实测瞳孔直径的关系** 明视环境下,瞳孔直径青年人群为 4.10 $\pm$ 0.65mm,中年人群为 3.31 $\pm$ 0.81mm,老年人群为 2.93 $\pm$ 0.48mm,三组间差异有统计学意义(*F*=59.478,*P*<0.001)。瞳孔直径随年龄增大逐渐减小,二者呈强负相关(*r*=-0.587,*P*<0.001)。青年人群瞳孔直径最大,老年人群最小,两两比较均有统计学意义(*P*<0.001),见图 1。

**2.2 全角膜和前角膜的实测 HOA 和理论 HOA 值与年龄的相关性分析** 实测全高阶与实测前高阶均随着年龄的增长而减小,高阶值与年龄呈负相关(*r*=-0.191,*P*=0.002;*r*=-0.181,*P*=0.004),见图 2A、B。理论全高阶随年龄增大而升高,呈正相关(*r*=0.282,*P*<0.001),见图 2C,理论前高阶则与年龄无关(*P*=0.390),见图 2D。

**2.3 各年龄段实测全高阶和理论全高阶的比较** 在 40~49、60~69、70~79 岁组中,实测全高阶显著低于理论全高阶,差异有统计学意义(*P*<0.05),其余组间差异无统计学意义(*P*>0.05),见表 1。

**2.4 各年龄段实测前高阶和理论前高阶的比较** 在 40~49、60~69、70~79 岁组中,实测前高阶显著低于理论前高阶,差异有统计学意义(*P*<0.05),其余组间差异无统计学意义(*P*>0.05),见表 2。

**2.5 不同年龄段实测全高阶和前高阶与理论全高阶和前高阶比较** 在 40~49、60~69 及 70~79 岁组实测全高阶显著高于实测前高阶,差异均有统计学意义(*t*=3.486,*P*=0.002;*t*=2.632,*P*=0.014;*t*=2.157,*P*=0.042),其余年龄段比较差异无统计学意义(*t*=-3.736,*P*=0.054;*t*=1.223,*P*=0.226;*t*=1.053,*P*=0.302),见图 3A。在 20~29 岁组,理论全高阶显著低于理论前高阶,差异有统计学意义(*t*=-2.920,*P*=0.006),在 60~69 岁组,理论全高阶高于理论前高阶,差异有统计学意义(*t*=2.168,*P*=0.039),其余年龄段差异无统计学意义(*t*=0.417,*P*=0.678;*t*=1.552,*P*=0.133;*t*=0.902,*P*=0.375;*t*=1.318,*P*=0.200),见图 3B。

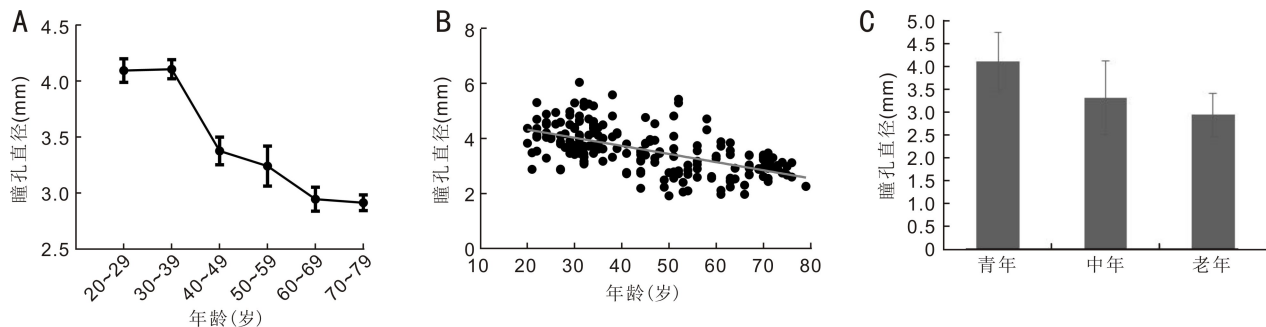


图1 实测瞳孔直径与年龄的关系 A:年龄与实测瞳孔直径的趋势分析;B:年龄与实测瞳孔直径的相关性分析;C:年龄与实测瞳孔直径的差异性分析。

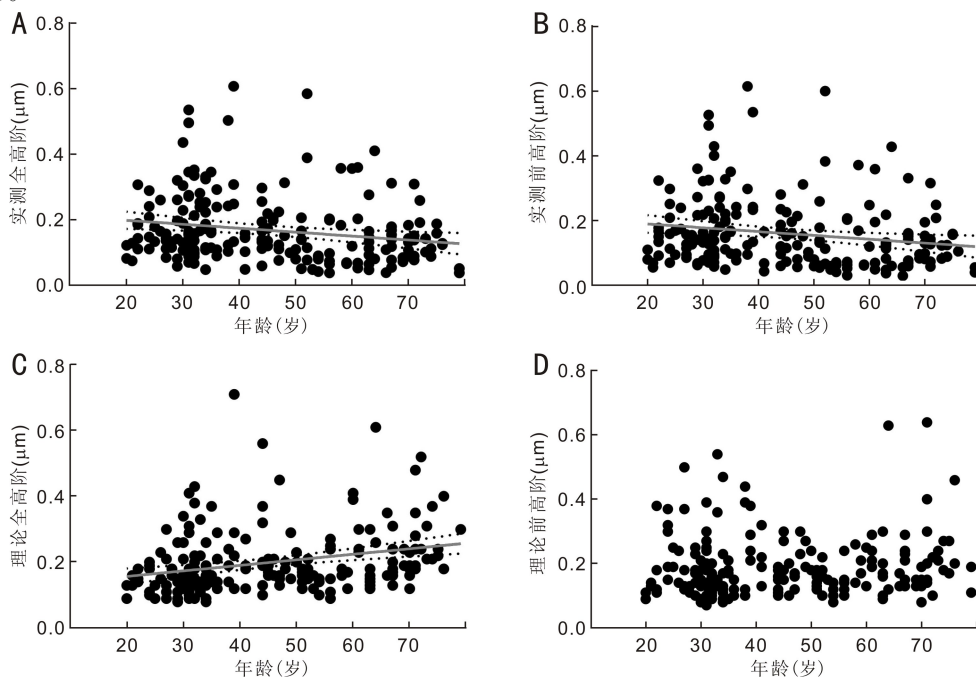


图2 全角膜和前角膜的实测 HOA 和理论 HOA 值与年龄的相关性分析 A:实测全高阶与年龄的相关性分析;B:实测前高阶与年龄的相关性分析;C:理论全高阶与年龄的相关性分析;D:理论前高阶与年龄的相关性分析。

表1 各年龄段全角膜实测 HOA 和理论 HOA 的比较

分组(岁)	例数(眼数)	年龄(岁)	瞳孔直径(mm)	实测 HOA( $\mu\text{m}$ )	理论 HOA( $\mu\text{m}$ )	$t$	$P$
20~29	17(34)	25.06 $\pm$ 2.92	4.09 $\pm$ 0.62	0.161 $\pm$ 0.067	0.148 $\pm$ 0.051	1.347	0.187
30~39	30(60)	33.33 $\pm$ 2.65	4.11 $\pm$ 0.67	0.213 $\pm$ 0.125	0.194 $\pm$ 0.108	1.691	0.096
40~49	13(26)	45.00 $\pm$ 2.37	3.38 $\pm$ 0.63	0.157 $\pm$ 0.067	0.219 $\pm$ 0.105	-4.474	<0.001
50~59	14(28)	53.79 $\pm$ 2.78	3.24 $\pm$ 0.95	0.139 $\pm$ 0.124	0.165 $\pm$ 0.045	-1.289	0.208
60~69	14(28)	64.36 $\pm$ 2.74	2.95 $\pm$ 0.57	0.151 $\pm$ 0.103	0.234 $\pm$ 0.107	-8.503	<0.001
70~79	12(24)	72.67 $\pm$ 2.78	2.92 $\pm$ 0.34	0.136 $\pm$ 0.061	0.260 $\pm$ 0.101	-8.991	<0.001

表2 各年龄段前角膜实测 HOA 和理论 HOA 的比较

分组(岁)	例数(眼数)	年龄(岁)	瞳孔直径(mm)	实测 HOA( $\mu\text{m}$ )	理论 HOA( $\mu\text{m}$ )	$t$	$P$
20~29	17(34)	25.06 $\pm$ 2.92	4.09 $\pm$ 0.62	0.154 $\pm$ 0.079	0.197 $\pm$ 0.101	-1.965	0.058
30~39	30(60)	33.33 $\pm$ 2.65	4.11 $\pm$ 0.67	0.205 $\pm$ 0.129	0.186 $\pm$ 0.105	1.04	0.303
40~49	13(26)	45.00 $\pm$ 2.37	3.38 $\pm$ 0.63	0.145 $\pm$ 0.070	0.185 $\pm$ 0.064	-2.466	0.021
50~59	14(28)	53.79 $\pm$ 2.78	3.24 $\pm$ 0.95	0.135 $\pm$ 0.131	0.157 $\pm$ 0.045	-0.983	0.334
60~69	14(28)	64.36 $\pm$ 2.74	2.95 $\pm$ 0.57	0.137 $\pm$ 0.101	0.199 $\pm$ 0.102	-3.278	0.003
70~79	12(24)	72.67 $\pm$ 2.78	2.92 $\pm$ 0.34	0.130 $\pm$ 0.064	0.219 $\pm$ 0.127	-3.303	0.003

2.6 不同人群中理论和实测全高阶和前高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 人数比较 青年人群中,理论和实测全高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 分别有9眼(9.6%)和15眼(16.0%),差异无统计学意义( $\chi^2 = 1.720, P = 0.190$ ),见图4A;理论和实测前高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 分

别有15眼(16.0%)和14眼(14.9%),差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.041, P = 0.840$ ),见图4B。中年人群中,理论和实测全高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 分别有5眼(9.3%)和6眼(11.1%),差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.101, P = 0.750$ ),见图4C;理论和

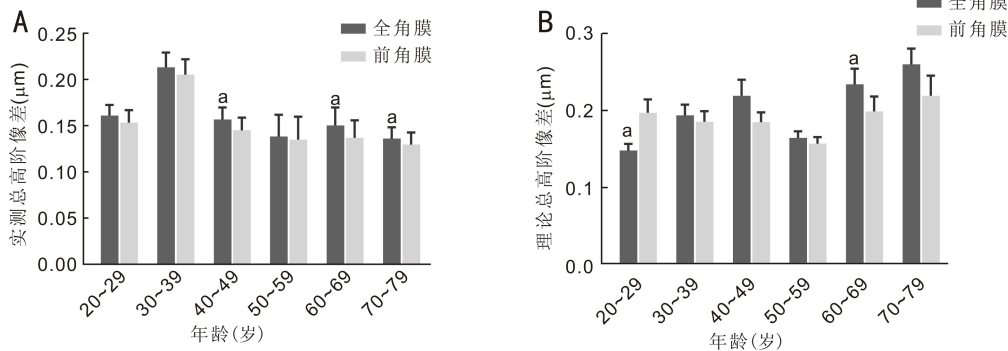


图3 不同年龄段实测全高阶和前高阶与理论全高阶和前高阶比较 A:不同年龄段实测全高阶和前高阶比较;B:不同年龄段理论全高阶和前高阶比较。<sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 前角膜。

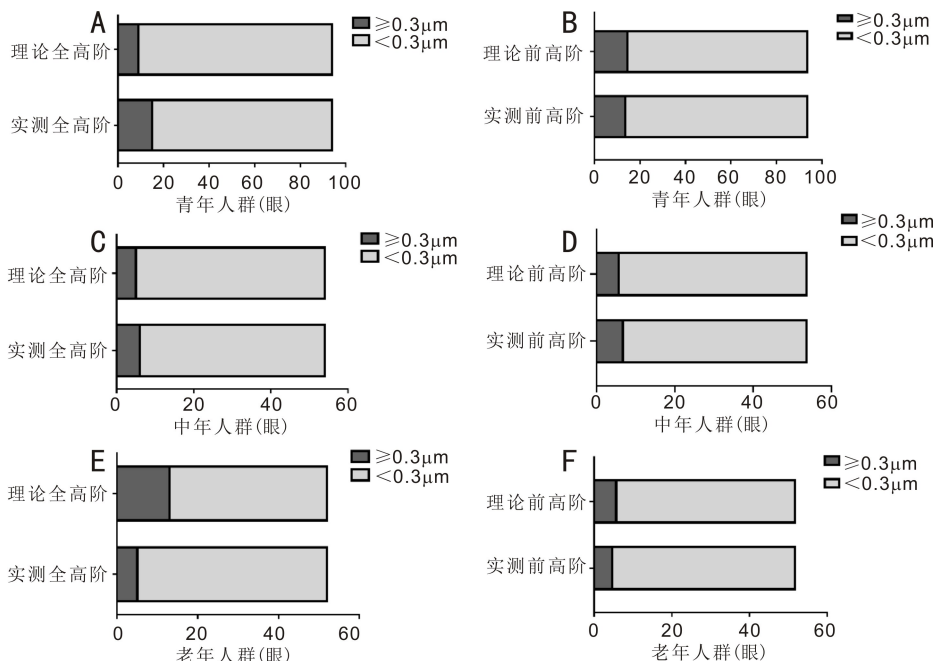


图4 不同人群中理论和实测全高阶和前高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 人数比较 A:青年人群全角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析,B:青年人群前角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析,C:中年人群全角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析,D:中年人群前角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析,E:老年人群全角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析,F:老年人群前角膜实测与理论 HOA 值 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 占比分析。

实测前高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$  分别有 6 眼 (11.1%) 和 7 眼 (13.0%), 差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 0.087, P = 0.767$ ), 见图 4D。老年人群中, 理论全高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$  有 13 眼 (25.0%), 显著高于实测全高阶 (5 眼, 9.6%), 差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 4.300, P = 0.038$ ), 见图 4E; 理论前高阶和实测前高阶 $\geq 0.3\mu\text{m}$  分别有 6 眼 (11.5%) 和 5 眼 (9.6%), 差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 0.102, P = 0.750$ ), 见图 4F。

### 3 讨论

人眼是一个复杂且精细的系统, 之前对于无法单纯用离散、散光解释的光学质量问题, 通过波前像差的分析得以细化<sup>[8-9]</sup>。波前像差分为相对容易矫正的低阶像差, 包括离散、规则散光等, 及无法用传统手段矫正的 HOA, 包括球差、彗差、三叶草差等<sup>[10-11]</sup>。在像差系统中, 不规则散光与 HOA 相对应, 不能被镜片完全矫正, 并对植入 MIOL 造成光学干扰, 故在植入此类晶状体时需要考虑角膜总 HOA 的影响。

瞳孔直径是影响 HOA 的重要因素之一。角膜周边屈光力较中央角膜屈光力强, 瞳孔直径范围增大, HOA 值增加。各项 HOA 可以通过均方根 (root mean square, RMS) 值

来量化总 HOA 的程度<sup>[12]</sup>, 一般认为角膜中央直径 4.0mm 区域总 HOA (total HOA)  $< 0.3\mu\text{m}$  的患者可推荐植入 MIOL。本研究发现瞳孔直径随年龄的增长而减小, 呈强负相关关系, 且 40 岁以上受试者明环境下瞳孔直径均小于 4.0mm, 故固定以 4.0mm 作为影响范围与实际并不相符。目前有很多设备可检测 HOA, 如基于 Placido 环原理的 OPD 光程差分析仪、iTrace 等, 只能测量角膜前表面 HOA, 而基于 Scheimpflug 立体断层扫描技术的 Pentacam 三维眼前节分析仪 (OCULUS, Ltd. Germany), 可分析全角膜 HOA<sup>[13]</sup>。上述设备均以中央 4.0mm 全角膜 HOAs 设定为默认输出值。Sirius 眼前节分析系统同时具备 Placido 环和 Scheimpflug 照相技术, 互相弥补, 可准确测量 2.0~8.0mm (以 0.5mm 为间隔) 范围内的前和全角膜像差, 并可以模拟白天、黄昏和晚上 3 种不同照明环境, 同时测量该背景光强度下的瞳孔直径<sup>[14-15]</sup>, 适合用于本项研究。

Namba 等<sup>[16]</sup>认为 4.0mm 瞳孔直径下全角膜与前角膜 HOA 均与年龄无线性关系。在本研究中, 4.0mm 瞳孔直径下, 理论前高阶与年龄无线性关系, 与之前研究一致, 而理论全高阶则随年龄增长呈升高趋势; 在实际瞳孔直径

下,全角膜和前角膜实测 HOA 值趋势一致,均随年龄的增长而减小。若对所有患者均使用 4.0mm 固定值来评估 HOA 存在误差,会影响到人工晶状体选择方案的制订。Kemraz 等<sup>[17]</sup>认为基于 Pentacam 三维眼前节分析仪测得的 HOAs 在 4.0mm 瞳孔区域下均值为  $+0.141 \pm 0.075 \mu\text{m}$ ,且年龄越大,4.0mm-HOAs 值也越大。而我们发现各年龄段 4.0mm 理论 HOAs 均高于其测得均值,可能与设备工作原理不同有关,无论是全角膜 HOA 还是前角膜 HOA,在 60 岁以上人群,根据实际瞳孔直径所得实测 HOA 值显著低于 4.0mm 瞳孔直径所得理论 HOA 值,年龄越大,其实测高阶值越小,这与高年龄人群拟明环境下实测瞳孔  $<4.0\text{mm}$  有关。进一步说明针对这些人群若仍使用 4.0mm 瞳孔直径下 HOA 值选择 MIOL 类型,将造成最终术后全眼像差与预期不符。

角膜前表面生物参数的测量是将角膜表面模拟为一个二维面薄透镜进行分析,而真实的角膜是呈前、后表面双曲面形态并有一定厚度,是作为一个厚透镜存在。不仅仅角膜前表面会影响光学折射,后表面同样也会对折射产生影响,继而对像差产生影响,故采用全角膜参数比单纯使用前表面参数更接近真实状态。既往认为大多数情况下角膜前表面像差可以代表角膜全表面像差。而我们发现在老年人群,实测全高阶显著高于实测前高阶,即使在 4.0mm 瞳孔直径下,全角膜高阶与前角膜高阶在部分年龄段也存在差异。故在临床实践中,前角膜 HOA 不能代替全角膜 HOA,在白内障高发的老年人群中尤其如此。

Kemraz 等<sup>[17]</sup>发现绝大多数人(96.13%)4.0mm-HOAs 值  $\leq 0.3 \mu\text{m}$ ,我们的结果与之类似。在青年和中年人群中,全、前角膜实测高阶  $\geq 0.3 \mu\text{m}$  的占比均略高于理论高阶的占比,但两者无差异,在老年人群中,虽然实测 HOA  $\geq 0.3 \mu\text{m}$  的占比显著低于理论 HOA 值的占比,但两者在全角膜有显著差异,在前角膜则无差异。这些结果提示在全角膜实测数据下原本有部分被认为需要慎重选择植入 MIOL 的年龄相关性白内障患者是可以符合选择条件的,前角膜高阶不能代替全角膜高阶,应以实测全角膜 HOA 值为参考值。

综上,因实测和理论瞳孔差异造成的全角膜高阶、前角膜像差差异主要存在 60~79 岁,其正是白内障的高发人群,此年龄段样本人群实际瞳孔直径均小于 4.0mm,瞳孔差异会造成部分原本可以选择 MIOL 的患者被排除出适应范围,故不适合以 4.0mm 作为默认瞳孔直径参数。即使在相同的瞳孔直径下,全角膜高阶和前角膜 HOA 数据也存在差异。故我们推荐使用实测瞳孔直径下的全角膜 HOA 值作为选择 MIOL 的类型的依据。当然,在 HOA 检测中可能还存在 Kappa 角、瞳孔中心位移、瞳孔规则性

等因素的影响,这些尚需进一步的研究来明确。

#### 参考文献

- 1 Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, *et al.* VSIA Standards Taskforce Members. Vision science and its applications. Standards for reporting the optical aberrations of eyes. *J Refract Surg* 2002; 18(5): S652-660
- 2 Mello GR, Rocha KM, Santhiago MR, *et al.* Applications of wavefront technology. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(9): 1671-1683
- 3 Bruce AS, Catania LJ. Clinical applications of wavefront refraction. *Optom Vis Sci* 2014;91(10):1278-1286
- 4 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国多焦点人工晶状体临床应用专家共识(2019年). *中华眼科杂志* 2019;55(7): 491-494
- 5 Chen Y, Xia X. Comparison of the Orbscan II topographer and the iTrace aberrometer for the measurements of keratometry and corneal diameter in myopic patients. *BMC Ophthalmol* 2016;16(1): 33
- 6 杜云, 孙康, 毕伍牧, 等. iTrace 与 Pentacam 测量角膜球面像差与曲率的比较. *国际眼科杂志* 2019;19(11):1959-1961
- 7 Miyagawa S, Mihashi T, Kanda H. Asymmetric wavefront aberrations and pupillary shapes induced by electrical stimulation of ciliary nerve in cats measured with compact wavefront aberrometer. *PLoS One* 2014;9(8): e105615
- 8 McGinnigle S, Eperjesi F, Naroo SA. A preliminary investigation into the effects of ocular lubricants on higher order aberrations in normal and dry eye subjects. *Contact Lens Anterior Eye* 2014;37(2): 106-110
- 9 马立威, 仝真真, 周文凯, 等. 年龄相关性白内障患者高阶像差的研究. *中国实用眼科杂志* 2017;35(3):261-266
- 10 Perez-Straziota CE, Randleman JB, Stulting RD. Visual acuity and higher-order aberrations with wavefront-guided and wavefront-optimized laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36(3): 437-441
- 11 Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, *et al.* Wavefront analysis of Higher Order Aberrations in patients with cataract. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(3): 438-444
- 12 Hu L, Hu S, Gong W, *et al.* Learning-based Shack-Hartmann wavefront sensor for high-order aberration detection. *Opt Express* 2019;27(23):33504-33517
- 13 刘彧琦, 王静, 于佳明, 等. OPD 波前像差分析仪和 Pentacam 三维眼前节分析仪对正常人眼角膜球差的特征分析. *眼科新进展* 2019;39(5): 465-468
- 14 陈越国, 黄锦海, 王铮. 三维角膜地形图的临床应用. 北京:人民卫生出版社 2017;57-63
- 15 张小兰, 王顺清, 孙成淑, 等. 两种眼前节分析系统测量屈光手术前后波前像差的一致性. *国际眼科杂志* 2018;18(11):2016-2018
- 16 Namba H, Kawasaki R, Narumi M, *et al.* Ocular higher-order wavefront aberrations in the Japanese adult population: the Yamagata Study (Funagata). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;56(1):90-97
- 17 Kemraz D, Cheng XY, Shao X, *et al.* Age-Related Changes in Corneal Spherical Aberration. *J Refract Surg* 2018;34(11):760-767