

不同生物测量参数下短眼轴白内障患者人工晶状体度数计算公式准确性比较

夏 阳, 蔺云霞, 徐 玲

引用: 夏阳, 蔺云霞, 徐玲, 等. 不同生物测量参数下短眼轴白内障患者人工晶状体度数计算公式准确性比较. 国际眼科杂志, 2025, 25(1): 112-117.

作者单位: (110034) 中国辽宁省沈阳市, 沈阳何氏眼科医院有限公司

作者简介: 夏阳, 硕士, 副主任医师, 临床检查中心主任, 研究方向: 眼科疾病的检查与诊断。

通讯作者: 徐玲, 硕士, 主任医师, 院长, 研究方向: 眼科屈光与眼科人工智能. xuling@hsyk.com.cn

收稿日期: 2024-06-02 修回日期: 2024-11-28

摘要

目的: 比较不同角膜曲率和前房深度短眼轴白内障人群7种人工晶状体计算公式的屈光预测准确性, 并分析预测误差的影响因素。

方法: 回顾性分析了2020-11/2021-12在沈阳何氏眼科医院单纯行白内障超声乳化术的短眼轴患者125例125眼。按角膜曲率(Km)分为低平Km组(≤ 45.5 D)、中高Km组($45.5 \text{ D} < \text{Km} < 47$ D)及陡峭Km组(≥ 47 D); 按ACD分为极浅前房组(≤ 2.09 mm)、浅前房组($2.09 \text{ mm} < \text{ACD} < 2.58$ mm)及正常深前房组(≥ 2.58 mm), 计算EVO、KANE、Barrett Universal II、SRK/T、Hoffer Q、Holladay I及Haigis公式绝对预测误差中位数(MedAE), 比较其屈光预测准确性及各种参数与预测误差的相关性。

结果: 总体比较时, 各公式的预测误差存在显著差异($\chi^2 = 49.934, P < 0.001$), Barrett Universal II公式的MedAE最小(0.17 D)。分组比较时, 中高及陡峭Km组各公式的预测误差存在显著差异($\chi^2 = 34.372, 34.804$, 均 $P < 0.001$), Barrett Universal II公式的MedAE(0.14 D; 0.20 D)最小; ACD 3个分组的各公式预测误差均存在差异($\chi^2 = 22.863, 25.568, 13.647$, 均 $P < 0.05$), Barrett Universal II公式的MedAE(0.27 D; 0.15 D; 0.16 D)最小。多元线性回归分析显示Km、AL及IOL度数是导致术后预测误差的重要相关因素。

结论: 短眼轴人群在不同生物测量参数下Barrett Universal II公式较其他公式准确性更高, AL、Km及IOL度数与预测准确性密切相关。

关键词: 短眼轴; 角膜曲率; 前房深度; 公式; 屈光误差

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.20

Accuracy comparison of different calculation formulas for intraocular lens degree in cataract patients with short axial length under different biometric parameters

Xia Yang, Lin Yunxia, Xu Ling

Shenyang He Eye Specialist Hospital, Shenyang 110034, Liaoning

Province, China

Correspondence to: Xu Ling. Shenyang He Eye Specialist Hospital, Shenyang 110034, Liaoning Province, China. xuling@hsyk.com.cn

Received: 2024-06-02 Accepted: 2024-11-28

Abstract

• AIM: To compare the refractive prediction accuracy of 7 intraocular lens (IOL) calculation formulas in the cataract eyes with short axial length (AL) at different corneal curvatures and anterior chamber depth (ACD), and analyze relevant influencing factors contributing to prediction errors.

• METHODS: A retrospective analysis was performed for 125 patients (125 eyes) with a short AL, who received cataract phacoemulsification at Shenyang He Eye Specialist Hospital from November 2020 to December 2021. According to the keratometry (Km), they were divided into low flat Km group (≤ 45.5 D), medium and high Km group ($45.5 \text{ D} < \text{Km} < 47$ D) and steep Km group (≥ 47 D); and they were divided into extremely shallow anterior chamber group (≤ 2.09 mm), shallow anterior chamber group ($2.09 \text{ mm} < \text{ACD} < 2.58$ mm) and normal deep anterior chamber group (≥ 2.58 mm) according to the ACD. And then the median absolute error (MedAE) of EVO, KANE, Barrett Universal II, SRK/T, Hoffer Q, Holladay I, and Haigis formulas was calculated and compared, and the correlation between various parameters and prediction error was analyzed.

• RESULTS: There was a significant difference in the absolute prediction error of each formula ($\chi^2 = 49.934, P < 0.001$) in the overall comparative analysis, and the MedAE of the Barrett Universal II formula was the smallest (0.17 D). There were significant statistical differences in the middle-high and steep Km groups ($\chi^2 = 34.372, 34.804$, all $P < 0.001$), and the MedAE (0.14 D; 0.20 D) of the Barrett Universal II formula was the smallest. The absolute prediction error of the 3 ACD subgroups was statistically significant ($\chi^2 = 22.863, 25.568, 13.647$, all $P < 0.05$), and the MedAE (0.27 D; 0.15 D; 0.16 D) of the Barrett Universal II formula was the smallest. Multiple linear regression analysis showed that Km, AL, and the IOL degree were important correlated factor leading to postoperative prediction error.

• CONCLUSION: The accuracy of the Barrett Universal II formula was higher in the short AL population under different biometric parameters, and AL, Km and IOL degree are closely related to the prediction accuracy.

• KEYWORDS: short axial length; corneal curvature; anterior chamber depth; formula; refractive error

Citation: Xia Y, Lin YX, Xu L. Accuracy comparison of different calculation formulas for intraocular lens degree in cataract patients with short axial length under different biometric parameters. Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci), 2025,25(1):112-117.

0 引言

现今白内障手术技巧及各类人工晶状体(IOL)的设计均取得了空前的发展,术后屈光预期越来越受到各方的重视,摆脱戴镜矫正已经成为一种新的术后“质量标准”^[1]。随着新一代生物测量技术及 IOL 计算方法的临床广泛应用,由于术前测量因素及有效人工晶状体位置(ELP)预测等方面引起的术后屈光意外已经明显减少,计算结果的准确性明显提升。但临床应用发现,当生物测量处于正常范围时,大多数公式预测结果的准确性比较接近,当生物测量数值在“异常”情况下,不同公式的预测偏差仍然较大。尤其是短眼轴(AL)、角膜曲率(Km)相对较平坦或陡峭以及前房深度(ACD)较浅时,准确预测 ELP 仍很困难,相对于正常人群计算的精准性仍然很低^[2],研究显示屈光误差在±0.50 D 以内仅占 31%~75%^[3]。本研究主要针对短眼轴人群,根据 Km 及 ACD 的变化分组讨论,分析不同公式的屈光预测准确性,及影响屈光预测准确性的相关因素。

1 对象和方法

1.1 对象 选取 2020-11/2021-12 在沈阳何氏眼科医院单纯行白内障超声乳化术的短眼轴患者共 125 例 125 眼进行回顾性分析。纳入标准:(1)年龄>18 岁,AL<22 mm;(2)均植入 HOYA PY-60ADiSert IOL;(3)计算数据来源于光学生物测量设备;(4)角膜散光<2.0 D;(5)以上条件双眼均符合,随机入组 1 眼。排除标准:(1)既往有眼部外伤、圆锥角膜及手术史者;(2)发生术后严重并发症者;(3)术后最佳矫正视力(BCVA)<0.5 者;(4)精神、认知异常者;(5)最后随访时间<术后 1 mo。

分组参照相关文献的方法^[4-5],按照统计结果采用第 25、75 百分位数,分为低平角膜曲率组 41 眼(Km ≤ 45.5 D),中高角膜曲率组 50 眼(45.5 D<Km<47 D),陡峭角膜曲率组 34 眼(Km ≥ 47 D);极浅前房组 31 眼(ACD ≤ 2.09 mm),浅前房组 63 眼(2.09 mm<ACD<2.58 mm),正常及深前房组 31 眼(ACD ≥ 2.58 mm)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》的要求,相关研究和设计方案得到沈阳何氏眼科医院伦理委员会的审批(IRB(2022)K003.01),所有参与者及其家属均知情同意并签署同意书。

1.2 方法

1.2.1 主要观察指标 根据眼部生物测量数据及植入 IOL 度数对应的预测值、术后等效球镜(SE),计算屈光预测误差(RPE)、预测误差平均值(ME)、绝对预测误差中位数(median absolute error,MedAE)以及预测误差屈光度范围(±0.25,±0.50,±0.75,±1.00 D)的占比分布。SE 计算方法:主觉验光球镜屈光度+1/2 柱镜屈光度。RPE 计算方法:术后等效球镜-预测屈光度。归零方法:通过向上或向下调整每只眼睛的屈光预测误差,调整量等于该组中的预测误差均值^[6]。

1.2.2 IOL 型号及常数 本研究涉及优化常数均来自于 User Group for Laser Interference Biometry 优化的临床病例数(<http://ocusoft.de/ulib/c1.htm>),见表 1。

统计学分析:应用 SPSS 25.0 统计软件进行分析,符合正态分布的人群基本信息及眼部参数采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。不符合正态分布的数据使用中位数(四分位间距)表示,各公式的 ME 与零之间比较采用 Wilcoxon 符号秩检验,不同公式屈光预测误差参数(MedAE)的比较使用 Friedman 检测,之后两两公式之间比较采用 Nemenyi 检验分析,以上均经 Bonferroni 调整校正显著性值;预测误差范围占比分布用 Cochran Q 检测。屈光预测误差与各因素之间的相关性采用多元线性回归分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况 共纳入 125 例 125 眼,其中女 103 例 103 眼,男 22 例 22 眼,年龄 68 ± 8 岁。测量参数均数 AL 21.56 ± 1.46 mm, Km 46.10 ± 1.46 D, ACD 2.36 ± 0.40 mm, CCT 530.94 ± 35.27 μm, WTW 10.97 ± 0.44 mm, IOL 度数 25.15 ± 2.04 D。

2.2 总体数据 7 个 IOL 度数计算公式预测准确性比较 各公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),各公式的 MedAE 差异有统计学意义($\chi^2 = 49.934$, $P < 0.001$)。在±0.25 D 及±0.5 D 范围内,Barrett Universal II 公式与其余公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。Barrett Universal II 公式占比分布最高(64.8%、92.8%、94.4%、96.0%),Barrett Universal II 公式的 MedAE 最小(0.17 D),见表 2;两两公式 MedAE 比较,Barrett Universal II 与其余公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。SRK/T 与 Haigis 公式对比差异有统计学意义($P = 0.038$),见表 3。

2.3 不同角膜曲率分组 IOL 度数计算公式预测准确性比较

2.3.1 低平角膜曲率组 低平角膜曲率组除 Haigis、Hoffer Q、Barrett Universal II 公式外,余公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各公式的 MedAE 比较差异无统计学意义($\chi^2 = 5.417$, $P > 0.05$);各公式预测误差占比分布差异无统计学意义($P > 0.05$),Barrett Universal II 公式的 MedAE 值最小(0.19 D),见表 4。

2.3.2 中高角膜曲率组 中高角膜曲率组除 SRK/T、Hoffer Q 公式外,余公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。在±0.25 D 范围内,Barrett Universal II 与 EVO、KANE、Haigis、Hoffer Q、Holladay I 公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$);各公式的 MedAE 差异有统计学

表 1 不同 IOL 计算公式对应的优化常数

公式	IOL 常数	Hoya iSert PY-60AD
EVO	A constant	118.6
KANE	A constant	118.6
SRK/T	A constant	118.6
Haigis	a0, a1, a2	-0.093, -0.023, 0.208
Hoffer Q	pACD	5.30
Holladay I	Surgeon factor(SF)	1.54
Barrett Universal II	Lens factor(LF)	1.67

表2 7个IOL度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75}), D$]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75}), D$]	预测误差不同范围内占比分布(眼,%)			
			$\pm 0.25 D$	$\pm 0.50 D$	$\pm 0.75 D$	$\pm 1.00 D$
EVO	0.53(0.12,0.90)	0.33(0.16,0.48)	44(35.0)	97(77.6)	111(88.8)	116(92.8)
KANE	0.45(0.07,0.83)	0.31(0.12,0.43)	53(42.4)	103(82.4)	112(89.6)	120(96.0)
SRK/T	0.42(-0.01,0.69)	0.26(0.12,0.43)	58(46.4)	99(79.2)	112(89.6)	117(93.6)
Haigis	0.48(0.40,0.88)	0.33(0.17,0.52)	50(40.0)	93(74.4)	108(86.4)	115(92.0)
Hoffer Q	0.38(-0.10,0.72)	0.27(0.12,0.48)	60(48.0)	95(76.0)	108(86.4)	116(92.8)
Holladay I	0.47(0.02,0.79)	0.29(0.15,0.42)	54(43.2)	99(79.2)	111(88.8)	118(94.4)
Barrett U II	0.39(-0.37,0.83)	0.17(0.07,0.29)	81(64.8)	116(92.8)	118(94.4)	120(96.0)
χ^2/Q		49.934	25.890	17.623	5.597	3.334
P		<0.001	<0.001	0.007	0.470	0.766

注:Barrett U II为 Barrett Universal II。

表3 七种公式之间 MedAE 的差异性分析

公式	EVO	KANE	SRK/T	Haigis	Hoffer Q	Holladay I
EVO	-	-	-	-	-	-
KANE	0.508	-	-	-	-	-
SRK/T	0.130	1.000	-	-	-	-
Haigis	1.000	0.177	0.038	-	-	-
Hoffer Q	1.000	1.000	1.000	0.879	-	-
Holladay I	1.000	1.000	1.000	0.636	1.000	-
Barrett U II	<0.001	0.009	0.049	<0.001	0.001	0.001

注:Barrett U II为 Barrett Universal II。

表4 低平角膜曲率组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75}), D$]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75}), D$]	预测误差不同范围内占比分布(眼,%)			
			$\pm 0.25 D$	$\pm 0.50 D$	$\pm 0.75 D$	$\pm 1.00 D$
EVO	0.06(-0.29,0.39)	0.32(0.17,0.45)	15(36.5)	35(85.3)	39(95.1)	39(95.1)
KANE	0.05(-0.18,0.34)	0.25(0.13,0.40)	19(46.3)	35(85.3)	39(95.1)	40(97.5)
SRK/T	0.10(-0.17,0.37)	0.26(0.11,0.51)	18(43.9)	31(75.6)	35(85.3)	38(92.6)
Haigis	0.01(-0.25,0.26)	0.23(0.10,0.39)	21(51.2)	34(82.9)	37(90.2)	38(92.6)
Hoffer Q	0.02(-0.22,0.23)	0.22(0.11,0.34)	23(56.1)	34(82.9)	37(90.2)	38(92.6)
Holladay I	0.07(-0.18,0.31)	0.24(0.09,0.42)	22(53.6)	34(82.9)	37(90.2)	39(95.1)
Barrett U II	0.01(-0.16,0.21)	0.19(0.08,0.27)	25(60.9)	38(92.6)	39(95.1)	40(97.5)
χ^2/Q		5.417	6.606	4.660	4.365	2.392
P		0.492	0.359	0.588	0.627	0.880

注:Barrett U II为 Barrett Universal II。

意义($\chi^2 = 34.372, P < 0.001$)。两两公式 MedAE 比较 Barrett Universal II 公式与 EVO、KANE、Haigis、Hoffer Q 公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。Barrett Universal II 公式的 MedAE 值最小(0.14 D), Haigis 公式的 MedAE 最大(0.35 D), 见表 5。

2.3.3 陡峭角膜曲率组 陡峭角膜曲率组各公式的 ME 与零之间比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各公式预测误差占比分布差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。各公式的 MedAE 差异有统计学意义($\chi^2 = 34.804, P < 0.001$)。两两公式 MedAE 比较显示, Haigis 公式与 KANE、SRK/T、Holladay I、Barrett Universal II 公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。Barrett Universal II 公式的 MedAE 值最小(0.20 D), Haigis 公式的最大(0.45 D), 见表 6。

2.4 不同 ACD 分组 IOL 度数计算公式预测准确性比较

2.4.1 极浅前房组 极浅前房组 EVO 与 Barrett Universal

II 公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各公式预测误差占比分布差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。各公式的 MedAE 差异有统计学意义($\chi^2 = 22.863, P = 0.001$)。两两公式 MedAE 比较显示 Barrett Universal II 与 EVO 公式之间差异有统计学意义($P < 0.001$); Barrett Universal II 公式的 MedAE 最小(0.27 D), EVO 公式的 MedAE 最大(0.45 D), 见表 7。

2.4.2 浅前房组 浅前房组各公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。在 $\pm 0.25 D$ 范围内 Barrett Universal II 与 EVO、KANE、Haigis、Holladay I 公式对比差异有统计学意义(均 $P < 0.05$); 各公式的 MedAE 差异有统计学意义($\chi^2 = 25.568, P < 0.001$)。两两公式 MedAE 比较显示, Barrett Universal II 公式与 EVO、Haigis 公式之间差异有统计学意义(均 $P < 0.001$); Barrett Universal II 公式的 MedAE 最小(0.15 D), EVO、Haigis 公式最大(0.30 D), 见表 8。

表 5 中高角膜曲率组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	预测误差在不同范围内占比分布(眼,%)			
			±0.25 D	±0.50 D	±0.75 D	±1.00 D
EVO	0.27(-0.17,0.44)	0.34(0.18,0.50)	15(30.0)	37(74.0)	45(90.0)	47(94.0)
KANE	0.24(-0.08,0.41)	0.33(0.13,0.43)	20(40.0)	42(84.0)	45(90.0)	48(96.0)
SRK/T	0.19(-0.01,0.33)	0.24(0.10,0.43)	25(50.0)	42(84.0)	46(92.0)	48(96.0)
Haigis	0.31(-0.01,0.41)	0.35(0.16,0.42)	19(38.0)	40(80.0)	46(92.0)	48(96.0)
Hoffer Q	0.16(-0.11,0.39)	0.27(0.12,0.45)	23(46.0)	39(78.0)	44(88.0)	48(96.0)
Holladay I	0.24(-0.05,0.34)	0.29(0.19,0.41)	20(40.0)	41(82.0)	46(92.0)	48(96.0)
Barrett U II	-0.03(-0.13,0.16)	0.14(0.06,0.27)	36(72.0)	48(96.0)	48(96.0)	48(96.0)
χ^2/Q		34.372	21.783	9.927	2.406	0.418
P		<0.001	0.001	0.128	0.879	0.999

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

表 6 陡峭角膜曲率组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	预测误差在不同范围内占比分布(眼,%)			
			±0.25 D	±0.50 D	±0.75 D	±1.00 D
EVO	0.21(0.00,0.53)	0.31(0.14,0.53)	15(44.1)	25(73.5)	27(79.4)	30(88.2)
KANE	0.16(-0.05,0.50)	0.31(0.10,0.50)	14(41.1)	26(76.4)	28(82.3)	32(94.1)
SRK/T	0.20(-0.13,0.33)	0.28(0.14,0.39)	15(44.1)	26(76.4)	31(91.1)	31(91.1)
Haigis	0.43(0.09,0.69)	0.45(0.23,0.85)	10(29.4)	19(55.8)	25(73.5)	29(85.2)
Hoffer Q	0.29(0.08,0.63)	0.31(0.20,0.69)	14(41.1)	22(64.7)	27(79.4)	30(88.2)
Holladay I	0.31(-0.04,0.54)	0.34(0.15,0.60)	12(35.2)	24(70.5)	28(82.3)	31(91.1)
Barrett U II	0.08(-0.09,0.32)	0.20(0.07,0.32)	20(58.8)	30(88.2)	31(91.1)	32(94.1)
χ^2/Q		34.804	6.933	10.525	5.952	2.503
P		<0.001	0.327	0.104	0.429	0.868

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

表 7 极浅前房组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	预测误差在不同范围内占比分布(眼,%)			
			±0.25 D	±0.50 D	±0.75 D	±1.00 D
EVO	0.33(-0.27,0.93)	0.45(0.31,0.93)	4(12.9)	18(58.0)	23(74.1)	26(83.8)
KANE	0.39(-0.05,0.59)	0.41(0.17,0.64)	8(25.8)	20(64.5)	24(77.4)	30(96.7)
SRK/T	0.30(0.01,0.51)	0.35(0.19,0.54)	10(32.2)	19(61.2)	27(87.1)	28(90.3)
Haigis	0.29(0.01,0.71)	0.37(0.15,0.88)	10(32.2)	17(54.8)	21(67.7)	26(83.8)
Hoffer Q	0.11(-0.17,0.69)	0.41(0.11,0.82)	12(38.7)	17(54.8)	21(67.7)	26(83.8)
Holladay I	0.27(0.06,0.70)	0.33(0.23,0.76)	11(35.4)	18(58.0)	23(74.1)	28(90.3)
Barrett U II	-0.04(-0.27,0.33)	0.27(0.12,0.39)	15(48.3)	29(83.8)	28(90.3)	29(93.5)
χ^2/Q		22.863	9.917	7.120	6.303	3.014
P		0.001	0.128	0.310	0.390	0.807

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

表 8 浅前房组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	MedAE [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, D]	预测误差在不同范围内占比分布(眼,%)			
			±0.25 D	±0.50 D	±0.75 D	±1.00 D
EVO	0.20(-0.16,0.42)	0.30(0.17,0.45)	25(39.6)	51(80.9)	59(93.6)	60(95.2)
KANE	0.17(-0.08,0.38)	0.27(0.13,0.41)	28(44.4)	56(88.8)	59(93.6)	61(96.8)
SRK/T	0.20(-0.04,0.29)	0.23(0.11,0.33)	33(52.3)	54(85.7)	59(93.6)	61(96.8)
Haigis	0.20(-0.13,0.39)	0.30(0.16,0.39)	29(46.0)	54(85.7)	59(93.6)	60(95.2)
Hoffer Q	0.14(-0.11,0.35)	0.24(0.11,0.35)	33(52.3)	54(85.7)	58(92.0)	61(96.8)
Holladay I	0.13(-0.10,0.34)	0.29(0.13,0.40)	29(46.0)	56(88.8)	59(93.6)	61(96.8)
Barrett U II	0.03(-0.07,0.20)	0.15(0.04,0.27)	44(69.8)	61(96.8)	61(96.8)	62(98.4)
χ^2/Q		25.568	14.458	8.267	1.341	1.380
P		<0.001	0.025	0.219	0.969	0.967

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

2.4.3 正常及深前房组 正常及深前房组 (ACD \geq 2.58 mm)除 Hoffer Q 外,余公式的 ME 与零之间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各公式预测误差占比分布差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。各公式的 MedAE 差异有统计学意义($\chi^2 = 13.647, P < 0.05$)。两两公式 MedAE 比较显示 Barrett Universal II 与 Haigis 公式之间差异有统计学意义($P = 0.032$); Barrett Universal II 公式的 MedAE 最小(0.16 D), Haigis 公式最大(0.33 D),见表 9。

2.5 不同测量参数与术后屈光预测误差的多元线性回归分析 生物测量值(AL、Km、CCT、WTW、ACD)、性别、年龄以及 IOL 度数与屈光预测误差进行回归分析,从分析结果来看在短眼轴人群中,Km 是各个公式中影响计算精确性的重要相关因素,此外 AL、IOL 度数以及年龄也显示与屈光预测误差有一定的相关性,见表 10。

3 讨论

目前关于人工晶状体计算准确性的相关研究中,眼部生物测量在正常范围时多数计算方法均能取得良好预测结果,对于异常眼部参数其中以 AL 研究居多,而其它生物测量因素对于最终预测结果的影响往往没有引起足够重视。众所周知屈光预测的准确性与 AL、Km 值以及 ACD 等因素密切相关,研究显示由手术和测量原因引起的预测误差正逐渐减少,ELP 预测引起的非系统性误差近年来呈现明显增长^[1],同时既往关于短眼轴屈光预测准确性的研究相关结论并不完全一致^[7]。本研究遵循了文献推荐的人组标准,采用相同型号 IOL,并通过调整 ME 使其归零的方式减少了来自其它因素引起的屈光预测误差^[6],进行了短眼轴人群不同公式预测准确性研究。

本研究结果显示,在短眼轴人群中 Barrett Universal II

公式呈现出一定的优势,Kane 等^[7]在短眼轴的相关研究中也提出 Barrett Universal II 公式能更准确预测术后实际屈光度。在新一代公式的相关研究中,多数公式在异常眼轴计算时均有较精准的屈光预测性,而 EVO 公式似乎例外^[8-9],本研究也显示 EVO 公式在极浅及浅前房分组中的 MedAE 最大,可能与其正视化理论在短眼轴极端 ACD 时会变得失效有关,此外本研究还发现 KANE 公式在短眼轴中也没有呈现出显著性优势,这与之前的研究结论相近似^[10]。既往传统聚散度公式研究认为, Hoffer Q 公式比 Holladay I、SRK/T 公式在短眼轴预测时精确^[11],也有研究认为 Haigis 公式比 Hoffer Q 公式更具有优势^[12]。但我们的研究发现在短眼轴人群中 Haigis 及 Hoffer Q 公式并没有表现出明显预测准确性,大部分传统聚散度公式之间并没有明显差异,考虑与本研究的遵循了文献推荐的人组筛选及数据统计方法有关,这与 Kane 等^[7]及 Melles 等^[8]的研究结论相一致。

在分组的研究中,低平及中高角膜曲率组中部分公式的 ME 与零存在差异,而陡峭组中所有公式的 ME 与零均有差异,因此不难看出,当处于短眼轴时,Km 越陡峭术后越容易出现屈光误差。同时本研究发现 Barrett Universal II 公式在屈光预测误差在 ± 0.25 D 的占比最高,MedAE 值最小,随着 Km 值的增大,在陡峭组中 Haigis 公式的 MedAE 值最大,在中高及陡峭曲率组 Barrett Universal II 公式与其他公式之间的差异越明显。Zhang 等^[13]对于短眼轴 Km ≥ 46 D 人群的研究结果显示 Haigis 公式的屈光预测误差最高,Barrett Universal II 公式相对最低。既往对于异常角膜曲率的相关研究显示,当 Km < 42 D 或 Km > 46 D 时, Barrett Universal II 屈光预测准确性更佳,在 ± 0.5 D 区间预测误差分布占比更高,而其他常用公式均存在一定屈光

表 9 正常及深前房组 IOL 度数计算公式的预测误差值及预测误差占比分布比较

公式	ME [$P_{30}(P_{25}, P_{75})$, D]	MedAE [$P_{30}(P_{25}, P_{75})$, D]	预测误差在不同范围内占比分布(眼, %)			
			± 0.25 D	± 0.50 D	± 0.75 D	± 1.00 D
EVO	0.05(-0.16, 0.29)	0.25(0.12, 0.44)	16(51.6)	27(87.1)	29(93.5)	29(93.5)
KANE	0.09(-0.12, 0.22)	0.22(0.10, 0.40)	17(54.8)	27(87.1)	29(93.5)	29(93.5)
SRK/T	0.06(-0.14, 0.32)	0.26(0.08, 0.33)	15(48.3)	26(83.8)	26(83.8)	28(90.3)
Haigis	0.28(-0.08, 0.53)	0.33(0.17, 0.54)	11(35.4)	22(70.9)	28(90.3)	29(93.5)
Hoffer Q	0.24(0.05, 0.43)	0.27(0.18, 0.49)	15(48.3)	24(77.4)	29(93.5)	29(93.5)
Holladay I	0.17(-0.08, 0.40)	0.25(0.15, 0.46)	14(45.1)	25(80.6)	29(93.5)	29(93.5)
Barrett U II	0.00(-0.17, 0.16)	0.16(0.09, 0.27)	22(70.9)	29(93.5)	29(93.5)	29(93.5)
χ^2/Q		13.647	8.702	7.168	3.271	0.430
P		0.034	0.191	0.306	0.774	0.999

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

表 10 影响 7 个公式屈光误差的相关参数多元线性回归分析

公式	R ²	常量(标准化系数)	年龄		性别		植入 IOL 度数		AL		Km		CCT		ACD		WTW	
			β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P
EVO	0.595	21.404	-0.078	0.223	-0.909	0.365	-0.338	0.368	-0.337	0.252	-0.384	0.224	0.026	0.693	0.067	0.299	0.711	<0.01
KANE	0.130	-55.968	0.207	0.028	-0.098	0.273	1.108	0.045	0.886	0.041	1.021	0.028	0.140	0.145	-0.128	0.173	-0.004	0.965
SRK/T	0.157	-51.104	0.237	0.011	0.073	0.406	0.973	0.074	0.823	0.054	0.985	0.032	0.180	0.058	-0.092	0.319	0.011	0.903
Haigis	0.204	-46.773	0.191	0.034	-0.055	0.520	1.042	0.049	0.753	0.069	0.532	0.229	0.209	0.024	0.062	0.488	0.028	0.755
Hoffer Q	0.233	-68.095	0.261	0.003	-0.021	0.803	1.046	0.044	0.845	0.038	1.197	0.007	0.162	0.073	0.15	0.089	0.033	0.709
Holladay I	0.146	-57.676	0.223	0.017	-0.035	0.693	0.902	0.099	0.868	0.044	0.938	0.042	0.155	0.103	0.063	4.195	0.082	0.376
Barrett U II	0.143	-52.324	0.123	0.184	0.067	0.453	1.159	0.035	1.088	0.012	1.066	0.021	0.101	0.288	0.161	0.085	-0.088	0.343

注:Barrett U II 为 Barrett Universal II。

误差^[8,14],这些与本研究结论均很接近。而邓小慧等^[15]的相关研究显示,当 $Km \leq 42.00 D$ 或 $\geq 46.00 D$ 时 Haigis 公式屈光预测性更准确,与本研究结果存在不同,考虑可能与所选人群的 AL 范围及 Km 值分组不同有关。既往文献中提到公式的屈光预测误差分为 $\pm 0.5 D$ 达 71%, $\pm 1.0 D$ 达 93%^[16],就算是公式达标的基本标准。本研究发现当 Km 在 45.5-47 D 这个区间时,各个公式的屈光预测误差均符合上述要求,Km 值在此范围时各计算公式预测误差很相似,证明各公式在这类人群中准确性均不错。

ACD 分组中,我们发现在极浅前房组、正常及深前房组中,Barrett Universal II 公式的整体性能要优于其它公式,而二者中 Barrett Universal II 预测误差更小,在 $\pm 0.25 D$ 范围内占比最高。而 ACD 在 2.09-2.58 mm 这个区间范围时,各个公式的屈光预测误差均符合文献标准^[16]。通常前房越浅,术后前房的变化越明显,对 ELP 预测准确性影响就越大,公式的预测性能会变弱,引起术后屈光意外的可能性越大。相关研究显示不同 ACD 时,公式的预测准确性存在差异,但 Barrett Universal II 公式在极端 ACD 时预测准确性更佳^[8,15,17],这也与本研究结果相同。

此外,通过多元性回归分析发现,在短眼轴人群中 AL 与 Km 的变化对 ELP 的影响较大,需要引起足够的关注,其中 Km 的变化是引起术后预测意外的主要原因,如果要提升预测精准性需要调整 Km 对于 ELP 预测的影响,同时较大度数的 IOL 以及年龄对眼部生物测量参数的影响,也会引起术后屈光误差^[5]。

本研究存在一定的局限性:(1)短眼轴人群在人口总数中所占百分比相对较低,导致本研究实际入组人数相对较少,同时在生物测量相关研究显示,女性的平均 AL 长度远小于男性^[18]。我们的研究结果也发现,女性占比更多(103 例 103 眼),同时性别与屈光预测误差之间未显示明显相关性,结果与 Kansal 等^[19]的研究相一致。(2)由于晶状体厚度在新一代公式中作为非必要计算参数,对预测结果所产生的影响相对较小^[20],因此本研究中没有使用晶状体厚度这个参数。(3)有必要进一步对于短眼轴人群的屈光预测准确性研究进行前瞻性评估,验证相关研究结论便于临床推广,提升此类人群的计算准确性。

综上所述,Barrett Universal II 公式作为新一代的计算公式,在短眼轴人群不同 Km 及 ACD 时,计算准确性方面优于部分新型公式(KANE, EVO)及传统聚散度公式,可优先选择参考,并且 AL、Km、IOL 度数及年龄等参数与屈光预测准确性密切相关。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:夏阳初稿撰写,数据分析;蔺云霞选题指导,论文修改;徐玲指导研究,审核文稿。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Wendelstein J, Hoffmann P, Hirschall N, et al. Project hyperopic power prediction: accuracy of 13 different concepts for intraocular lens calculation in short eyes. Br J Ophthalmol, 2022,106(6):795-801.
[2] Lundström M, Dickman M, Henry Y, et al. Risk factors for

refractive error after cataract surgery: analysis of 282 811 cataract extractions reported to the European registry of quality outcomes for cataract and refractive surgery. J Cataract Refract Surg, 2018,44(4):447-452.

[3] Shajari M, Kolb CM, Petermann K, et al. Comparison of 9 modern intraocular lens power calculation formulas for a quadrifocal intraocular lens. J Cataract Refract Surg, 2018,44(8):942-948.
[4] Hipólito-Fernandes D, Luís ME, Serras-Pereira R, et al. Anterior chamber depth, lens thickness and intraocular lens calculation formula accuracy: nine formulas comparison. Br J Ophthalmol, 2022,106(3):349-355.
[5] 夏阳. 短眼轴白内障患者人工晶状体度数计算准确性及影响因素分析. 大连医科大学,2023.
[6] Wang L, Koch DD, Hill W, et al. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: III. criteria for analyzing outcomes. J Cataract Refract Surg, 2017,43(8):999-1002.
[7] Kane JX, van Heerden A, Atik A, et al. Intraocular lens power formula accuracy: comparison of 7 formulas. J Cataract Refract Surg, 2016,42(10):1490-1500.
[8] Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. Ophthalmology, 2018,125(2):169-178.
[9] Melles RB, Kane JX, Olsen T, et al. Update on intraocular lens calculation formulas. Ophthalmology, 2019,126(9):1334-1335.
[10] Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. BMJ Open Ophthalmol, 2019,4(1):e000251.
[11] Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, et al. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg, 2011,37(1):63-71.
[12] Wang QW, Jiang W, Lin T, et al. Meta-analysis of accuracy of intraocular lens power calculation formulas in short eyes. Clin Exp Ophthalmol, 2018,46(4):356-363.
[13] Zhang C, Dai G, Pazo EE, et al. Accuracy of intraocular lens calculation formulas in cataract patients with steep corneal curvature. PLoS One, 2020,15(11):e0241630.
[14] 朱珂珂,王欣,穆红梅. 角膜曲率对正常眼轴白内障患者屈光度计算准确性的影响. 国际眼科杂志, 2022,22(4):633-636.
[15] 邓小慧,常平骏,黄锦海,等. 基于新型光学生物测量仪的人工晶状体屈光度数计算公式准确性比较. 中华眼科杂志, 2021,57(7):502-511.
[16] Behndig A, Montan P, Stenevi U, et al. Aiming for emmetropia after cataract surgery: Swedish national cataract register study. J Cataract Refract Surg, 2012,38(7):1181-1186.
[17] Ning X, Yang Y, Yan H, et al. Anterior chamber depth - a predictor of refractive outcomes after age-related cataract surgery. BMC Ophthalmol, 2019,19(1):134.
[18] Hoffer KJ, Savini G. Effect of gender and race on ocular biometry. Int Ophthalmol Clin, 2017,57(3):137-142.
[19] Kansal V, Schlenker M, Ahmed IK. Gender does not appear to play a role in biometry prediction error and intra-ocular lens power calculation; in response to: 'gender differences in biometry prediction error and intra-ocular lens power calculation formula' - behning et Al., 2014 (acta ophthalmologica). Acta Ophthalmol, 2019, 97 (7): e1028-e1030.
[20] Hodge C, McAlinden C, Lawless M, et al. Intraocular lens power calculation following laser refractive surgery. Eye Vis, 2015,2(1):7.