DOI:10.16016/j.2097-0927.202310065

新一代人工晶状体计算公式对高度近视行前后段联合手术的准确性分析

陶 亮,陈 旭,万 超,赵 赫,吴龙旺,陶 醉,吴 楠,刘 玺,刘 勇 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院眼科

[摘要] **目的** 探究新一代人工晶状体(intraocular lens, IOL)计算公式及 Wang-Koch(WK)眼轴校正公式在接受前后段联合手术的高度近视患者中的准确性。**方法** 收集 2015 年 6 月至 2021 年 6 月于陆军军医大学第一附属医院眼科接受前后段联合手术且眼轴(axial length AL)>26 mm 的患者 100 例(100 眼)。分别采用 Barrett Universal Ⅱ(BUⅡ)、Emmetropia Verifying Optical(EVO)、Kane、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、SRK/T、第一代线性 WK 眼轴优化公式(Haigis-WK1,SRK/T-WK1,Hoffer Q-WK1,Holladay 1-WK1)及第二代线性 WK 眼轴优化公式(SRK/T-WK2,Holladay 1-WK2)等 13 种公式计算 IOL 屈光度。获得各 IOL 屈光度公式的平均预测误差(mean prediction error,ME)、平均绝对误差(mean absolute error,MAE)、中位绝对误差(median absolute error,MedAE)及预测误差在不同屈光阈的百分比,以评价各公式的准确性。将所有患者根据眼轴长度分组:26.00 mm<AL≤28.00 mm 者为 A 组(38 眼),28.00 mm<AL≤30.00 mm 者为 B 组(28 眼),AL>30.00 mm 者为 C 组(34 眼),以探究眼轴长度对 IOL 屈光度计算的影响。根据术前眼内填充物,将患者分为硅油眼组(63 眼)和非硅油眼组(37 眼),比较术前眼内填充物对 IOL 屈光度计算的影响。**结果** 新一代 IOL 公式(BUⅡ、EVO 及 Kane)的 MedAE(0.34D、0.31D、0.35D)显著低于传统公式(P<0.05),而且预测误差在±0.25 D、±0.50 D、±0.75 D 及±1.00 D 范围内的百分比显著高于传统公式(P<0.05)。传统公式均出现远视偏移(0.35~0.65 D),WK 眼轴调整法可以矫正传统公式的远视偏移。WK2 可以提高 SRK/T 和 Holladay 1 公式的计算准确性,且 SRK/T-WK2 和 Holladay 1-WK2 公式的 MedAE 与新一代 IOL 公式差异无统计学意义。比较各公式在不同眼轴分组的 MedAE,发现新一代 IOL 公式(BUⅡ、Kane 和 EVO)及 WK 校正眼轴公式(Haigis-WK1、SRK/T-WK1、SRK/T-WK2、Hoffer Q-WK1、Holladay 1-WK1 和 Holladay 1-WK2)在眼轴分组间均差异无统计学意义;传统公式的 MedAE 在眼轴分组间均存在显著差异(P<0.01),其中 C 组的 MedAE 均最大(Haigis:0.84 D,SRK/T:1.10 D,Hoffer Q:1.23 D,Holladay 1:1.20 D)。比较各公式在不同术前眼内填充物分组的 MedAE,结果发现,新一代 IOL 公式(BUⅡ、Kane 和 EVO)、Haigis 及 SRK/T 公式在硅油眼组的 MedAE 均显著高于非硅油眼组(P<0.05)。**结论** 在接受前后段联合手术的高度近视患者中,新一代 IOL 公式和第二代线性 WK 眼轴校正公式的准确性和稳定性显著优于传统公式。

[关键词] 高度近视;前后段联合手术;人工晶状体;屈光预测误差;计算公式

[中图法分类号] R311;R778.11;R779.6 [文献标志码] A

Accuracy of new generation intraocular lens formula for patients with high myopia undergoing combined anterior and posterior segment surgery

TAO Liang, CHEN Xu, WAN Chao, ZHAO He, WU Longwang, TAO Zui, WU Nan, LIU Xi, LIU Yong Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] **Objective** To analyze the accuracy of the new generation intraocular lens (IOL) formula and the Wang-Koch (WK) adjustment in individuals with severe myopia undergoing combined anterior-posterior surgery. **Methods** A total of 100 patients (100 eyes) with axial length (AL) >26 mm undergoing

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(82271132)

[通信作者] 刘 勇,E-mail:liuyy99@163.com

2097-0927/Copyright © 2024, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

combined anterior and posterior segment surgery in our department from June 2015 to June 2021 were enrolled in this study. Totally 13 IOL calculation formulas, such as Barrett Universal Ⅱ (BU Ⅱ), Emmetropia Verifying Optical (EVO), Kane, Haigis, Hoffer Q, Holladay, and SRK/T as well as the first generation linear WK eye axis optimization formula (Haigis-WK1, SRK/T-WK1, Hoffer Q-WK1, Holladay 1-WK1) and the second generation linear WK eye axis optimization formula (SRK/T-WK2, Holladay 1-WK2), were utilized to determine IOL diopter. The mean prediction error (ME), mean absolute error (MAE), median absolute error (MedAE), and percentage of prediction error within different refractive thresholds were calculated to assess the accuracy of each formula. In order to investigate the impact of AL on accuracy of IOL calculation, the patients were categorized into group A (38 eyes, 26.00 mm<AL≤28.00 mm), group B (28 eyes, 28.00 mm< AL≤30.00 mm), and group C (34 eyes, AL >30.00 mm). Additionally, the patients were also divided into silicone oil (63 eyes) and non-silicone oil (37 eyes) groups based on preoperative intraocular filling to determine the effect of intraocular filling on IOL calculation. **Results** The MedAE values of the new-generation IOL formulas (BU Ⅱ, EVO, and Kane) were significantly lower (0.34D, 0.31D, 0.35D) than those of traditional formulas ($P<0.05$). Additionally, the percentage of prediction errors within ±0.25 D, ±0.50 D, ±0.75 D, and ±1.00 D were significantly higher with the new formulas when compared to traditional ones ($P<0.05$). Traditional formulas exhibited a hyperopic deviation (0.35D~0.65 D), which could be corrected using the WK eye axis adjustment. WK2 was effective in improving the accuracy of calculation in SRK/T and Holladay 1 formulas, and there was no statistical difference in the MedAE values of SRK/T-WK2 and Holladay 1-WK2 formulas with the new-generation IOL formulas. When comparing the formulas across different axial eye length groups in terms of MedAE, the new IOL formulas (BU Ⅱ, kane and EVO) and WK-corrected formulas (Haigis-WK1, SRK/T-WK1, SRK/T-WK2, Hoffer Q-WK1, Holladay 1-WK1, Holladay 1-WK2) showed no significant differences among the different AL groups. However, there were significant differences in the MedAE values of traditional formulas among the different AL groups ($P<0.01$), with group C displaying the largest MedAE values (Haigis: 0.84D, SRK/T: 1.10D, Hoffer Q: 1.23D, Holladay 1: 1.20D). Comparing the MedAE values of different formulas in various preoperative intraocular filling groups, it was observed that the MedAE values of the new-generation IOL formulas (BU Ⅱ, kane and EVO), Haigis, and SRK/T formulas were significantly higher in the silicone oil-filled eye group than the non-silicone oil-filled eye group ($P<0.05$). **Conclusion** In patients with high myopia undergoing combined anterior and posterior segment surgery, the precision and consistency of the new-generation IOL formulas and the second-generation linear WK axis correction formula exhibit significant improvements when compared to traditional formulas.

[**Key words**] high myopia; combined anterior and posterior segment surgery; intraocular lens; refractive prediction error; calculation formula

Supported by the General Program of National Science Foundation of China (82271132). Corresponding author: LIU Yong, E-mail: liuyy99@163.com

目前玻璃体手术联合白内障超声乳化手术是治疗眼底疾病的重要手术方式,与分次手术比较具有花费少、术后视功能恢复快等优点[1-4]。随着相关技术和设备的改进,前后段联合手术的安全性和有效性在正常眼轴患者中得到广泛验证[5-7]。然而,既往研究报道,有眼底疾病且眼轴>26 mm 的患者接受前后段联合手术后常出现不同程度的屈光度远视偏移[8-10],这可能与高度近视患者更加复杂的眼底情况有关[11]。

近年来,第五代人工晶体(intraocular lens,IOL)计算公式(也称新一代 IOL 计算公式),如 Barrett Universal Ⅱ (BU Ⅱ)、Kane 和 Emmetropia Verifying Optical (EVO)在临床广泛运用,与传统公式相比,新一代 IOL 计算公式采用更多的眼生物测量参数及新的算法来计算 IOL 屈光度(diopter, D)[12-14]。新一代 IOL 公式在接受单纯白内障手术患者中的准确性已得到广泛证实[15-17],而且在接受前后段联合手术的正常眼轴患者中的准确性也得到初步探索[5-6,18],但在接受前后段联合手术且 AL>26 mm 患者中的准确性尚不明确。此外,许多研究证实,Wang-Koch(WK)眼轴校正可以改善接受单纯白内障手术高度近视患者的屈光

结局[17,19-21],但国内尚缺乏研究报道其在接受前后段联合手术高度近视患者中的准确性。因此,本研究拟探究新一代 IOL 公式及 WK 眼轴校正方法在接受前后段联合手术的高度近视患者中的准确性,为提高该类患者术后屈光结局提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本研究回顾性分析 2015 年 6 月至 2021 年 6 月于陆军军医大学第一附属医院眼科行前后段联合手术且 AL>26 mm 的患者 100 例(100 眼)。其中,男性 36 例(36 眼),女性 64 例(64 眼),年龄 32~76[(55.72±8.67)]岁。本研究通过本院伦理委员会审核批准(审批号:[B]KY2021149)。由于本研究仅涉及患者的病例资料且对患者利益无损害,所以被批准免签知情同意书。纳入标准:①年龄≥18 岁;②因眼底疾病接受玻璃体切除联合白内障手术或硅油取出联合白内障手术;③AL>26 mm;④囊袋内植入单焦点型 IOL;⑤术后随访≥3 个月,并进行综合验光测量实际屈光度。排除标准:①伴角膜疾病、青光眼、葡萄膜炎及眼部外伤等眼部疾病;②术后因眼底疾病复发再次行玻璃体手术;③角膜屈光手术或巩膜外扣带手术史;④术中发生严重并发症者;⑤病历资料不完整者。

1.2 方法

1.2.1 眼生物测量及 IOL 度数计算 所有患者使用 IOL-Master 500(德国蔡司公司)进行眼生物测量,IOLmaster500 使用双红外激光光束对视网膜进行光学断层扫描,产生部分相干干涉原理来进行生物测量的仪器,具有高度精确性和准确性。分别采用 BUⅡ、EVO、Kane、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、SRK/T、第一代线性 WK 眼轴优化(Haigis-WK1, SRK/T-WK1, Hoffer Q-WK1, Holladay 1-WK1)[19]及第二代线性 WK 眼轴优化公式(SRK/T-WK2, Holladay 1-WK2)[20]等 13 种公式计算 IOL 屈光度。IOL-Master 500 内置软件有 Haigis、SRK/T、Holladay 1 和 Hoffer Q 公式,可直接计算;BUⅡ、EVO 及 Kane 分别通过网址(http://calc.apacrs.org/barrett_universal2015/, https://www.evoiolcalculator.com/calculator.aspx, https://www.iolformula.com/)将患者的眼生物测量数据输入后进行计算。第一代线性 WK 校正眼轴公式为将眼轴长度经 WK1 校正后代入 Haigis、Hoffer Q、Holladay 1 及 SRK/T 公式(Haigis-WK1:校正眼轴=0.928 6×眼轴长度+1.562;Hoffer Q-WK1:校正眼轴=0.853×眼轴长度+3.579 4;Holladay 1-WK1:校正眼轴=0.828 9×眼轴长度+4.266 3;SRK/T-WK1:校正眼轴=0.854 4×眼轴长度+3.722 2)。第二代线性 WK 校正眼轴公式为将眼轴长度经 WK2 校正后代入 Holladay 1 及 SRK/T 公式(Holladay 1-WK2:校正眼轴=0.817×眼轴长度+4.701 3;SRK/T-WK2:校正眼轴=0.845 3×眼轴长度+4.077 3)。晶体常数均采用激光干涉生物计量学用户组(ULIB,http://ocusoft.de/ulib/c1.html)推荐的优化值。

1.2.2 手术方法 所有手术在球后神经阻滞麻醉下完成。首先进行白内障超声乳化手术,分别于角膜缘透明角膜主、副切口,随后连续性环形撕囊,水分离和水分层,晶状体超声乳化和抽吸,囊袋内植入单焦点 IOL,水密切口。然后进行玻璃体切割手术或硅油取出手术,最后硅油/消毒空气/全氟丙烷填充玻璃体,缝合切口,包扎术眼。硅油填充患者,常规于术后 3~6 个月行硅油取出,具体需根据眼底恢复情况决定。对于前后段联合手术中填充硅油的患者,术后随访时间从硅油取出手术后起算。

1.2.3 数据处理 收集患者术后 3 个月的验光结果,视力用最小分辨角对数(LogMAR)表示,计算术后的等效球镜(等效球镜度数=球镜度数+1/2 柱镜度数)。计算各公式的屈光预测误差(prediction error, PE)、平均预测误差(mean prediction error, ME)、中位绝对误差(median absolute error, MedAE)和平均绝对误差(mean absolute error, MAE),其中,PE 为术后实际等效球镜度数与术前 IOL 公式预测的术后屈光度的差值;MedAE 和 MAE 分别为术后 PE 取绝对值后得到的中位数和平均值,以及不同公式的 PE 在各屈光阈(±0.25 D、±0.50 D、±0.75 D 及±1.00 D)的患者百分比。

1.2.4 分组 将所有患者根据眼轴长度分为 3 组:26 mm<眼轴≤28.00 mm 的患者为 A 组(38 眼),28.00 mm<眼轴≤30.00 mm 的患者为 B 组(28 眼),眼轴>30.00 mm 的患者为 C 组(34 眼);根据术前眼内填充物类型,将患者分为硅油眼组(63 眼)和非硅油眼组(37 眼)。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件处理数据。采用 Kolmogorov-Smirnov 法和 Shapiro-Wilk 法进行正态性分布检验。符合正态分布的计量资料,多组间比较使用多因素方差分析;不符合正态分布的计量资料,多组间比较使用 Fridman 检验。使用 Cochran's Q 检验比较不同 IOL 公式的预测误差在各屈光阈的患者百分比。采用 Bonferroni 法矫正两两比较的结果。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料

本研究共纳入 100 例患者(100 眼),包括玻璃体切除术后硅油眼 63 眼、黄斑前膜 21 眼及黄斑裂孔

16眼。整体及各眼轴分组患者的基线资料见表1。3组患者的性别组成、年龄、角膜曲率、前房深度均差异无统计学意义;3组患者的术前最佳矫正视力和人工晶状体屈光度差异具有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 新一代IOL公式和WK眼轴校正公式在整体患者中的准确性比较

各IOL公式的PE、MAE、MedAE值及不同屈光阈的百分比见表2。传统公式均出现屈光度远视偏移(Haigis:0.40 D,SRK/T:0.46 D,Hoffer Q:0.64 D,Holladay 1:0.65 D;$P<0.05$),经WK眼轴校正后为轻度近视偏移(Haigis-WK1:-0.37 D,SRK/T-WK1:-0.36 D,SRK/T-WK2:-0.21 D,Hoffer Q-WK1:-0.22 D,Holladay 1-WK1:-0.34 D,Holladay 1-WK2:-0.17 D),提示WK眼轴调整法可以校正传统公式术后出现的远视偏移,而且使用WK2眼轴调整法的近视偏移小于WK1。

比较各公式的MedAE,发现各公式的MedAE存在显著差异($P<0.01$,表2)。两两比较发现,新一代IOL公式(BUⅡ、EVO及Kane)分别与传统公式(SRK/T、Hoffer Q及Holladay 1)的MedAE均存在显著差异($P<0.05$);BUⅡ、EVO、Kane、SRK/T-WK2及Holladay 1-WK2的MedAE两两比较均差异无统计学意义,提示这些公式的计算准确性相当。各公式的预测误差在±0.25 D、±0.50 D、±0.75 D及±1.00 D范围内的百分比差异也存在统计学意义($P<0.01$)。新一代IOL公式(BUⅡ、EVO及Kane)的PE在±0.25 D、±0.50 D、±0.75 D及±1.00 D的百分比显著高于传统公式(SRK/T、Hoffer Q及Holladay 1)(图1)。所有公式中,Holladay 1-WK2的MedAE最低(0.28D),PE在±0.25 D(47.0%)和±0.50 D(76.0%)的百分比最高;Hoffer Q公式的MedAE最大(0.72D),Holladay 1公式的PE在±0.25 D(18.0%)、±0.50 D(34.0%)及±0.75 D(52.0%)范围内的百分比最低。以上结果提示,整体上,新一代IOL公式的计算准确性优于传统公式,经过WK2优化眼轴的SRK/T-WK2和Holladay 1-WK2公式的准确性与新一代IOL公式相当。

表1 总体及各眼轴分组的高度近视患者基本资料($\bar{x}\pm s$)

临床特征	例数	眼轴			P
		26<AL≤28 mm ($n=38$)	28<AL≤30 mm ($n=28$)	>30.0 mm ($n=34$)	
女性/例	64	25	19	20	0.730
年龄/岁	55.72±8.67	55.16±8.57	53.79±9.13	57.94±8.15	0.151
术前最佳矫正远视力	0.97±0.59	0.89±0.61	0.91±0.57	1.10±0.57	0.034
角膜曲率K1/D	43.35±1.48	43.25±1.43	43.79±1.75	43.08±1.24	0.153
角膜曲率K2/D	44.67±1.55	44.39±1.36	45.22±1.67	44.53±1.59	0.080
前房深度/mm	3.52±0.35	3.42±0.36	3.60±0.28	3.55±0.36	0.069
人工晶状体屈光度/D	6.23±4.94	11.08±2.22	5.79±2.59	1.18±2.97	<0.010

表2 不同IOL计算公式的准确性比较

公式	ME	SD	MAE	MedAE	±0.25 D/%	±0.50 D/%	±0.75 D/%	±1.00 D/%
BUⅡ	0.11	0.52	0.41	0.34	38.00	67.00	86.00	92.00
EVO	0.07	0.53	0.41	0.31	37.00	68.00	83.00	94.00
Kane	0.11	0.53	0.41	0.35	36.00	70.00	87.00	93.00
Haigis	0.40	0.57	0.56	0.46	30.00	51.00	73.00	85.00
Haigis-WK1	-0.37	0.53	0.51	0.48	33.00	54.00	81.00	91.00
SRK/T	0.46	0.74	0.67	0.55	29.00	46.00	61.00	74.00
SRK/T-WK1	-0.36	0.58	0.51	0.36	37.00	57.00	76.00	87.00
SRK/T-WK2	-0.21	0.58	0.44	0.34	43.00	70.00	82.00	89.00
Hoffer Q	0.64	0.76	0.79	0.72	19.00	39.00	54.00	69.00
Hoffer Q-WK1	-0.22	0.57	0.46	0.35	35.00	65.00	84.00	91.00
Holladay 1	0.65	0.69	0.77	0.68	18.00	34.00	52.00	70.00
Holladay 1-WK1	-0.34	0.53	0.47	0.37	34.00	69.00	82.00	88.00
Holladay 1-WK2	-0.17	0.53	0.41	0.28	47.00	76.00	83.00	92.00

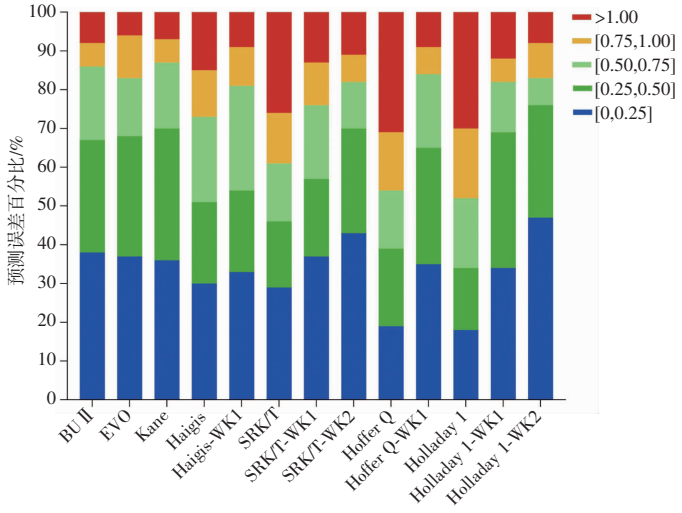


图 1 各 IOL 公式的屈光预测绝对误差在不同屈光阈的百分比

2.3 各 IOL 公式在眼轴分组间的 MedAE 的比较

比较各公式在不同眼轴分组的 MedAE,发现新一代 IOL 公式(BUⅡ、Kane 和 EVO)及 WK 校正眼轴公式(Haigis-WK1、SRK/T-WK1、SRK/T-WK2、Hoffer Q-WK1、Holladay 1-WK1 和 Holladay 1-WK2)在不同眼轴分组间差异均无统计学意义(表 3);传统公式的 MedAE 在不同眼轴分组间差异均具有统计学意义($P<0.01$),其中 C 组(眼轴>30mm)的 MedAE 均为最大(Haigis:0.84D、SRK/T:1.10D、Hoffer Q:1.23D、Holladay 1:1.20D)。提示新一代 IOL 公式及 WK 眼轴校正公式在高度近视患者中均表现出稳定的计算准确性,然而传统公式的计算准确性随眼轴长度增加而降低。

2.4 各 IOL 公式在术前填充物分组的 MedAE 的比较

比较各公式在不同术前填充物分组的 MedAE,结果发现新一代 IOL 公式(BUⅡ、Kane 和 EVO)、Haigis 及 SRK/T 公式在硅油眼组的 MedAE 均显著高于非硅油眼组($P<0.05$);其余公式的 MedAE 在硅油组和非硅油组间差异无统计学意义(表 3)。结果提示,新一代 IOL 公式对硅油眼患者的准确性低于非硅油眼。

3 讨论

高度近视表现为眼轴延长,通常被定义为眼轴大于 26 mm[17]。眼底疾病患者中约 35%患者为高度近视[22]。高度近视患者由于眼轴延长及更加复杂的眼底情况增加了眼生物测量的难度,从而给 IOL 度数计算带来新的挑战[23]。既往研究报道,长眼轴的患者行单纯白内障手术后常出现屈光度远视漂移,影响术后的视觉质量[15,24]。这可能是由于长眼轴的患者常存在后巩膜葡萄肿,导致眼轴测量值大于实际值,尤其是在使用声学仪器进行测量时容易将角膜到后巩膜葡萄肿的长度当作眼轴长度,导致眼轴测量值偏大,从而出现远视偏移。尽管许多研究表明,光学测量仪器的准确

表 3 不同 IOL 公式在不同分组的 MedAE 值比较

公式	眼轴分组			P	术前填充物分组		P
	26<AL≤28 mm ($n=38$)	28<AL≤30 mm ($n=28$)	>30.0 mm ($n=34$)		硅油组 ($n=63$)	非硅油组 ($n=37$)	
BUⅡ	0.26	0.36	0.44	0.065	0.46	0.26	0.007
EVO	0.29	0.28	0.43	0.073	0.43	0.21	<0.001
Kane	0.31	0.26	0.42	0.229	0.39	0.21	0.014
Haigis	0.28	0.48	0.84	<0.001	0.68	0.28	0.002
Haigis-WK1	0.52	0.46	0.40	0.606	0.44	0.49	0.830
SRK/T	0.25	0.49	1.10	<0.001	0.71	0.45	0.017
SRK/T-WK1	0.31	0.53	0.35	0.587	0.35	0.41	0.587
SRK/T-WK2	0.21	0.37	0.36	0.308	0.34	0.33	0.299
Hoffer Q	0.28	0.71	1.23	<0.001	0.73	0.65	0.488
Hoffer Q-WK1	0.35	0.35	0.38	0.870	0.40	0.30	0.060
Holladay 1	0.36	0.72	1.20	<0.001	0.78	0.58	0.087
Holladay 1-WK1	0.36	0.37	0.39	0.726	0.34	0.38	0.764
Holladay 1-WK2	0.20	0.23	0.42	0.071	0.31	0.23	0.244

性显著高于声学测量仪器,但 MACLAREN 等[25]发现,使用 SRK/T 公式计算 IOL 度数时,分别采用 A 超、B 超及光学测量仪器进行眼生物测量,患者术后均出现远视偏移。这一结果提示,后巩膜葡萄肿不是长眼轴患者出现远视偏移的唯一原因。此外,眼底疾病的存在导致患者术前眼球固视差,增加了术后出现屈光度预测误差的概率。本研究中传统公式的平均预测误差均为正数,即均出现屈光度远视漂移。为了校正高度近视患者白内障手术后出现的远视漂移,WANG 等[19-20]提出了 WK 眼轴优化方案。许多研究证实,WK 眼轴优化公式可以矫正传统公式的远视漂移,提高 IOL 计算的准确性[17,26]。此外,近年来,新一代 IOL 计算公式应用于临床,大量研究表明,新一代 IOL 公式在接受常规白内障手术患者中的准确性优于传统公式[12,16,27]。

目前,前后段联合手术面临的主要挑战为屈光结局欠佳,有研究报道,接受前后段联合手术的患者术后常出现不同程度的屈光度远视或近视偏移,影响患者术后的视觉质量[8,28]。SHIRAKI 等[8]报道孔源性视网膜脱离及黄斑前膜患者接受前后段联合手术后的屈光预测误差分别为-0.63 D 和-0.16 D。既往关于前后段联合手术的相关研究大多采用传统公式计算 IOL 屈光度,关于新一代 IOL 公式及 WK 眼轴优化公式在接受前后段联合手术患者中准确性尚不明确[7-8,29]。VOUNOTRYPIDIS 等[5]探究新一代公式(Barrett、Kane 及 Hill RBF)和传统公式 Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2 及 SRK/T)在接受前后段联合手术的黄斑前膜患者中的准确性,发现 8 种 IOL 计算公式的准确性无显著差异。HIPÓLITO-FERNANDES 等[6]的研究得到了类似的结果,然而上述研究仅纳入正常眼轴范围的患者(21~27 mm)。SATO 等[18]的研究虽然纳入全眼轴范围的患者,但未根据眼轴长度分组来进一步探究新一代 IOL 公式在长眼轴患者中的计算准确性。

因此,本研究纳入接受前后段联合手术且眼轴大于 26 mm 的患者,结果发现,整体上新一代公式的计算准确性优于传统公式;WK 优化眼轴可以矫正传统公式的远视漂移,而且经过 WK2 优化眼轴后的 SRK/T-WK2 和 Holladay 1-WK2 公式的准确性与新一代公式相当。

为探究 IOL 计算公式在不同眼内填充物的患者中的准确性,本研究比较了各公式在硅油眼组和非硅油眼组的 MedAE,发现新一代 IOL 公式在硅油眼组的 MedAE 显著高于非硅油眼组,提示新一代 IOL 公式在硅油眼组的屈光预测误差更大。推测主要原因可能是硅油眼的眼轴测量不准确。有报道显示,与非硅油眼相比,硅油会降低光学眼生物测量计(IOLMaster)的信号质量,即 IOLMaster 的激光束在通过硅油时会出现轻微延迟,导致眼轴测量值长于实际值,这可能导致术后出现远视移位[30]。此外,在大多数硅油填充眼中,黄斑区之前未被硅油完全填充的空间中存在一定量的玻璃体液,并且该空间随着身体位置而变化。IOLMaster 在测量硅油眼的眼轴时,无法区分玻璃体液和硅油,所以视网膜前方的玻璃体液会影响屈光度数,进而影响眼轴测量的准确性,这也会导致术后出现屈光预测误差[31-32]。

本研究尚有不足之处:①样本量较少;②由于 IOL-Master 500 测量的眼部参数有限,未能纳入其他新一代 IOL 计算公式,比如 Olsen、Hill-RBF 2.0 等公式。

综上所述,本研究结果提示,新一代 IOL 公式及经 WK2 优化眼轴的 SRK/T-WK2 和 Holladay 1-WK2 公式在接受前后段联合手术的高度近视患者中均表现出良好的计算准确性。在临床实践中,主刀医师为该类患者选择 IOL 计算公式可优先选择 BU Ⅱ、SRK/T-WK2 或 Holladay 1-WK2 公式。

参考文献:

[1] SANDALI O, SANHARAWI M E, LECUEN N, *et al*. 25-, 23-, and 20-gauge vitrectomy in epiretinal membrane surgery: a comparative study of 553 cases[J]. Albrecht Von Graefes Arch Fur Klin Und Exp Ophthalmol, 2011, 249(12): 1811-1819. DOI: 10.1007/s00417-011-1752-3.

[2] HAMOUDI H, COUR M L. Refractive changes after vitrectomy and phacovitrectomy for macular hole and epiretinal membrane[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(6): 942-947. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.04.012.

[3] HAMOUDI H, CORRELL CHRISTENSEN U, COUR M L. Epiretinal membrane surgery: an analysis of 2-step sequential- or combined phacovitrectomy surgery on refraction and macular anatomy in a prospective trial[J]. Acta Ophthalmol, 2018, 96(3): 243-250. DOI: 10.1111/aos.13572.

[4] SEIDER M I, LAHEY J M, FELLENBAUM P S. Cost of phacovitrectomy versus vitrectomy and sequential phacoemulsification[J]. Retina, 2014, 34(6): 1112-1115.

DOI: 10.1097/IAE.0000000000000061.

[5] VOUNOTRYPIDIS E, SHAJARI M, MUTH D R, *et al*. Refractive outcomes of 8 biometric formulas in combined phacovitrectomy with internal limiting membrane peeling for epiretinal membrane[J]. J Cataract Refract Surg, 2020, 46(4): 591-597. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000087.

[6] HIPÓLITO-FERNANDES D, ELISA LUÍS M, MALEITA D, *et al*. Intraocular lens power calculation formulas accuracy in combined phacovitrectomy: an 8-formulas comparison study[J]. Int J Retina Vitreous, 2021, 7(1): 47. DOI: 10.1186/s40942-021-00315-7.

[7] TAN A, BERTRAND-BOICHÉ M, ANGIOI-DUPREZ K, *et al*. Outcomes of combined phacoemulsification and pars Plana vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment: a comparative study[J]. Retina, 2021, 41(1): 68-74. DOI: 10.1097/IAE.0000000000002803.

[8] SHIRAKI N, WAKABAYASHI T, SAKAGUCHI H, *et al*. Optical biometry-based intraocular lens calculation and refractive outcomes after phacovitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment and epiretinal membrane[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 11319. DOI: 10.1038/s41598-018-29553-w.

[9] ZHANG J Q, WANG W, LIU Z Z, *et al*. Accuracy of new-generation intraocular lens calculation formulas in eyes undergoing combined silicone oil removal and cataract surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2021, 47(5): 593-598. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000509.

[10] CHEN X, ZHAO H, REN J Y, *et al*. Axial length, vitreoretinal pathology, and anterior chamber depth can predict postoperative refractive outcomes in phacovitrectomy/silicone oil removal[J]. Int J Ophthalmol, 2023, 16(4): 554-562. DOI: 10.18240/ijo.2023.04.09.

[11] MCBRIEN N A, GENTLE A. Role of the sclera in the development and pathological complications of myopia[J]. Prog Retin Eye Res, 2003, 22(3): 307-338. DOI: 10.1016/s1350-9462(02)00063-0.

[12] MELLES R B, HOLLADAY J T, CHANG W J. Accuracy of intraocular lens calculation formulas[J]. Ophthalmology, 2018, 125(2): 169-178. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.08.027.

[13] CHENG H H, KANE J X, LIU L P, *et al*. Refractive predictability using the IOLMaster 700 and artificial intelligence-based IOL power formulas compared to standard formulas[J]. J Refract Surg, 2020, 36(7): 466-472. DOI: 10.3928/1081597X-20200514-02.

[14] HIPÓLITO-FERNANDES D, LUÍS M E, SERRAS-PEREIRA R, *et al*. Anterior chamber depth, lens thickness and intraocular lens calculation formula accuracy: nine formulas comparison[J]. Br J Ophthalmol, 2022, 106(3): 349-355. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2020-317822.

[15] LIU J W, WANG L, CHAI F Y, *et al*. Comparison of intraocular lens power calculation formulas in Chinese eyes with axial myopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2019, 45(6): 725-731. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.01.018.

[16] DARCY K, GUNN D, TAVASSOLI S, *et al*. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10 930 eyes from the UK National Health Service[J]. J Cataract Refract Surg, 2020, 46(1): 2-7. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.08.014.

[17] CHENG H H, WANG L, KANE J X, *et al*. Accuracy of artificial intelligence formulas and axial length adjustments for highly myopic eyes[J]. Am J Ophthalmol, 2021, 223: 100-107. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.09.019.

[18] SATO T, IIMORI E, HAYASHI K. Prospective comparison of accuracy of intraocular lens calculation formulas in phacovitrectomy: a pilot study in a real-world clinical practice[J]. Albrecht Von Graefes Arch Fur Klin Und Exp Ophthalmol, 2023, 261(1): 77-84. DOI: 10.1007/s00417-022-05771-x.

[19] WANG L, SHIRAYAMA M, MA X J, *et al*. Optimizing intraocular lens power calculations in eyes with axial lengths above 25.0 mm[J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(11): 2018-2027. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.05.042.

[20] WANG L, KOCH D D. Modified axial length adjustment formulas in long eyes[J]. J Cataract Refract Surg, 2018, 44(11): 1396-1397. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.07.049.

[21] ZHANG J Q, TAN X H, WANG W, *et al*. Effect of axial length adjustment methods on intraocular lens power calculation in highly myopic eyes[J]. Am J Ophthalmol, 2020, 214: 110-118. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.02.023.

[22] SHOUSHA M A, YOO S H. Cataract surgery after pars Plana vitrectomy[J]. Curr Opin Ophthalmol, 2010, 21(1): 45-49. DOI: 10.1097/ICU.0b013e32833303bf.

[23] HAIGIS W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula[J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(10): 1658-1663. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.06.029.

[24] TAN X H, ZHANG J Q, ZHU Y, *et al*. Accuracy of new generation intraocular lens calculation formulas in

vitrectomized eyes[J]. Am J Ophthalmol, 2020, 217: 81-90. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.04.035.

[25] MACLAREN R E, SAGOO M S, RESTORI M, *et al*. Biometry accuracy using zero- and negative-powered intraocular lenses[J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(2): 280-290. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.04.054.

[26] CHENG H H, LIU L P, SUN A, *et al*. Accuracy of modified axial length adjustment for intraocular lens power calculation in Chinese axial myopic eyes[J]. Curr Eye Res, 2020, 45(7): 827-833. DOI: 10.1080/02713683.2019.1698053.

[27] MELLES R B, KANE J X, OLSEN T, *et al*. Update on intraocular lens calculation formulas[J]. Ophthalmology, 2019, 126(9): 1334-1335. DOI: 10.1016/j.ophtha.2019.04.011.

[28] AL-HABBOUBI H F, AL-ZAMIL W, AL-HABBOUBI A A, *et al*. Visual outcomes and refractive status after combined silicone oil removal/cataract surgery with intraocular lens implantation[J]. J Ophthalmic Vis Res, 2018, 13(1): 17-22. DOI: 10.4103/jovr.jovr_252_16.

[29] RAHMAN R, BONG C X, STEPHENSON J. Accuracy of intraocular lens power estimation in eyes having phacovitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment[J]. Retina, 2014, 34(7): 1415-1420. DOI: 10.1097/IAE.0000000000000072.

[30] ROESSLER G F, HUTH J K, DIETLEIN T S, *et al*. Accuracy and reproducibility of axial length measurement in eyes with silicone oil endotamponade[J]. Br J Ophthalmol, 2009, 93(11): 1492-1494. DOI: 10.1136/bjo.2008.152637.

[31] HILLIER R J, STAPPLER T, WILLIAMS R L, *et al*. The impact of axial length on retinal tamponade for gas, silicone oil, and heavy silicone oil, using an *in vitro* model[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2011, 249(5): 671-675. DOI: 10.1007/s00417-010-1579-3.

[32] DIETLEIN T S, ROESSLER G, LUKE C, *et al*. Signal quality of biometry in silicone oil-filled eyes using partial coherence laser interferometry[J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(5): 1006-1010. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.09.049.

(**收稿**:2023-10-26;**修回**:2023-12-20)

(编辑 张 维)