

## 高度近视白内障患者人工晶状体计算公式的研究进展

张弛 综述 叶子 李朝辉 审校

解放军总医院第一医学中心眼科, 北京 100083

通信作者: 李朝辉, Email: zhaohuili650@hotmail.com

**【摘要】** 高度近视合并白内障患者数量日益增长, 复明性白内障手术逐渐向屈光性白内障手术转变, 良好的术后视力是高度近视白内障患者术后的目标。由于眼轴长度测量误差、术后有效晶状体位置变化和人工晶状体(IOL)计算公式选择不当等因素, 高度近视白内障术后屈光预测准确性欠佳, 严重影响患者视觉质量和满意度。随着 IOL 计算公式的不断发展, SRK/T 和 Holladay1 等薄晶状体会聚公式中眼轴长度、角膜曲率等不断优化, 以 Barrett Universal II 公式为代表的厚晶状体会聚公式应用逐渐广泛, 基于人工智能的 Hill-RBF 公式、基于光线追踪的 Olsen 公式和 OKULIX 软件以及结合多种理论的 Kane 公式和 EVO 公式等新型 IOL 计算公式陆续问世, 白内障术后屈光预测有了更多的选择和保障。本文总结不同种类 IOL 计算公式的优化与进展, 为提高高度近视白内障患者 IOL 度数计算的准确性提供更多的选择。

**【关键词】** 高度近视; 白内障; 人工晶状体计算

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (81870640、82070937)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200512-00341

### Advances in intraocular lens power calculation formulas in high myopia

Zhang Chi, Ye Zi, Li Zhaohui

Department of Ophthalmology, 1st Medical Center of the Chinese PLA General Hospital, Beijing 100083, China

Corresponding author: Li Zhaohui, Email: zhaohuili650@hotmail.com

**【Abstract】** As the number of cataract patients with high myopia increases, and the cataract surgery shifts from a rehabilitation procedure to a refractive procedure, achieving a good postoperative visual acuity has been the target of cataract patients with high myopia. Because of inaccurate axial length measurement, unpredictable effective lens position and improper selection of intraocular lens (IOL) calculation formulas, the precision of refractive prediction in cataract patients with high myopia remains low, which affects the visual acuity and satisfaction of patients. With the development of IOL calculation formulas, SRK/T, Holladay1 and other thin-lens vergence formulas have been modified in axial length, corneal curvature and other parameters, and the thick-lens vergence formulas such as Barrett Universal II have been widely put into use. Meanwhile, new formulas including artificial intelligence-based formulas such as Hill-RBF, ray tracing formulas such as Olsen and OKULIX, and theoretical formulas such as Kane and EVO formulas have been developed. More choices and guarantees are available for refractive prediction after cataract surgery. This paper summarized the optimization and advance of different types of IOL calculation formulas so as to provide different available choices to improve the accuracy of IOL power calculation in cataract patients with high myopia.

**【Key words】** High myopia; Cataract; Intraocular lens calculation

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (81870640, 82070937)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200512-00341

通过屈光性白内障手术达到预期的屈光结果是患者和医生的共同追求。光学生物测量仪器的临床应用、人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 计算公式的优化和新型 IOL 计算公式的不断涌现, 使得白内障术后屈光预测的准确性不断提高。目前, 第 3 代、第 4 代 IOL 计算公式在正常眼轴人群中显示出较好的准确性, 但在长眼轴高度近视患者中的准确性欠佳, 存在不同程度的远视漂移<sup>[1-3]</sup>。本文就近年来不同 IOL 计算公式在

高度近视白内障患者术后屈光预测中的准确性和进展进行综述。

### 1 IOL 计算公式分类

IOL 计算公式通常分为第 2 代公式 SRK II, 第 3 代公式 Holladay1、HofferQ、SRK/T, 第 4 代公式 Holladay2、Haigis, 以上均为基于高斯光学理论的会聚公式<sup>[4-8]</sup>。Koch 等<sup>[9]</sup>依据 IOL

度数计算的方法和参数将公式分为历史性或折射公式、回归公式、会聚公式、人工智能公式和光线追踪公式。前 2 种公式现已很少使用,基于人工智能、光线追踪以及多种理论相结合的计算公式应用不断增多,但目前会聚公式仍为临床选择的主流。

## 2 会聚公式在高度近视白内障中的应用进展

多数会聚公式是忽略 IOL 厚度的薄晶状体公式,其主要区别在于计算有效晶状体位置 (effective lens position, ELP) 所需的变量不同。第 3 代公式 Holladay1、HofferQ、SRK/T 仅采用眼轴长度 (axial length, AL) 和角膜曲率 2 个变量来预测 ELP,忽略了其他眼前节参数在预测 ELP 中的作用。第 4 代公式 Haigis 采用 3 个参数, Holladay2 采用 7 个参数来预测 ELP。Haigis 公式的 a2 参数与 AL 有关,在长眼轴患者中屈光预测表现较好<sup>[1-2,10]</sup>。但传统第 3 代、第 4 代公式在长眼轴屈光预测中普遍存在不同程度的远视漂移。

### 2.1 新型薄晶状体会聚公式在高度近视白内障中的应用

新型薄晶状体会聚公式多为对传统公式的改进和优化,如 T2 公式和 VRF-IOL 公式;也有对现有公式的直接整合,如 Ladas Super 公式。T2 公式是 SRK/T 公式的优化公式,其弥补了 SRK/T 公式在预测角膜高度中的系统误差,以基于大量样本数据的回归公式取代 SRK/T 公式中对角膜高度的预测,整体屈光预测准确性较 SRK/T 公式提升了近 10%<sup>[11]</sup>。VRF-IOL 公式采用 AL、角膜曲率、前房深度和水平角膜直径 4 种参数进行屈光预测<sup>[12]</sup>。Ladas Super 公式 (www.iolcalc.com) 是对当时临床中不同 AL 范围内最为准确的计算公式加以整合的 IOL 计算公式<sup>[13]</sup>,例如当 AL>25 mm 时,使用旧版 Holladay1<sub>w/k</sub> 公式;当高度近视患者需植入负度数 IOL 时,使用 Haigis 公式。

由于薄晶状体模型预测的 ELP 通常大于术后实际的 ELP,且忽略了 IOL 厚度,并不能构成一个真正的 IOL 眼光学模型,直接影响了对屈光预测的准确性。Voytsekhivsky 等<sup>[12]</sup>研究显示,在 AL≥26 mm 的 51 眼中,T2 公式的平均绝对误差 (mean absolute error, MAE) 为 0.448 D, VRF-IOL 公式的 MAE 为 0.458 D,与 SRK/T 公式的 0.454 D 相近,略优于 Haigis 公式的 0.469 D。Cooke 等<sup>[10]</sup>纳入 AL>26 mm 的 54 例患者,在分别采用基于部分相干干涉 (partial coherence interferometry, PCI) 和光学低相干反射 (optical low coherence reflectometry, OLCR) 原理测量数据时,代入 T2 公式的 MAE 分别为 0.319 D 和 0.293 D,代入 Ladas Super 公式的 MAE 分别为 0.348 D 和 0.335 D,均优于 SKR/T 公式的 0.399 D 和 0.392 D 以及其他 3 代公式,但均不及 Haigis 公式的 0.280 D 和 0.259 D。从上述研究中可得出初步结论,纵然新型薄晶状体会聚公式更新换代,其单纯的优化和整合对高度近视患者屈光预测准确性的提升空间有限。

### 2.2 新型厚晶状体会聚公式在高度近视白内障中的应用

与薄晶状体会聚公式不同,厚晶状体会聚公式将 IOL 厚度纳入考虑,可建立 1 个在解剖上和光学上较为正确的眼部模型。Barrett Universal II 公式 ([http://calc.apacrs.org/barrett\\_universal2105/](http://calc.apacrs.org/barrett_universal2105/)) 是基于近轴光线追踪、厚晶状体模型的会聚公

式,将其 IOL 主光学面保留为公式中的 1 个变量,将 ELP 和前房深度以及与主光学面位置相关的透镜因子相结合,减少屈光预测准确性随 AL 的变化而改变,其已经多项研究证实为目前较准确的理论公式之一<sup>[1-2,10,14-20]</sup>。Melles 等<sup>[1]</sup>研究显示,在包括所有 AL 在内植入 SN60WF IOL 的 13 301 眼和植入 SA60AT IOL 的 5 200 眼中,与传统第 3 代、AL 优化调整的第 3 代、第 4 代及 Olsen 公式相比,Barrett Universal II 公式 MAE (0.311 D 和 0.320 D) 最低、屈光预测误差在 ±0.50 D 中的比例 (80.8% 和 80.0%) 最高,且随 AL 变化屈光预测最为稳定。Wang 等<sup>[16]</sup>对 AL>24.5 mm 的 4 047 眼进行 Meta 分析,比较了 Barrett Universal II 公式和传统第 3 代、第 4 代公式,发现 Barrett Universal II 公式的 MAE (0.314 D) 最小,屈光预测误差在 ±0.50 D 中的比例 (82.1%) 最高。Barrett Universal II 公式屈光预测的准确性、稳定性和可靠性均较好,其仍可作为白内障合并高度近视患者屈光预测的“金标准”。

### 2.3 AL 优化在高度近视白内障中的应用

IOLMaster 等仪器基于全眼平均屈光指数将测量数据转化为与浸润性超声结果相匹配的 AL,由于玻璃体占比较大以及玻璃体液化等病理改变,长眼轴的屈光指数或与正常眼不同,导致其 AL 测量存在误差<sup>[21]</sup>。Wang 等<sup>[21]</sup>于 2011 年对 Holladay1、HofferQ、SRK/T 和 Haigis 公式中 AL 进行优化调整;但多项研究显示该 AL 调整公式会导致长眼轴患者近视过矫<sup>[1,19]</sup>。Wang 等<sup>[22]</sup>于 2018 年对 Holladay2 公式进行 AL 优化调整,并分别对 Holladay1 和 SRK/T 提出了新版的 AL 优化调整公式<sup>[23]</sup>,将 AL 经公式转换后再代入 IOL 计算公式,以减少高度近视患者 AL 测量引起的误差。Liu 等<sup>[19]</sup>研究显示,AL≥26 mm 的 136 眼根据 Holladay1<sub>modified-w/k</sub> 和 SRK/T<sub>modified-w/k</sub> 公式产生近视结果的比例分别为 67% 和 72%,低于 Holladay1<sub>w/k</sub> 的 85% 和 SRK/T<sub>w/k</sub> 公式的 82%。Savini 等<sup>[2]</sup>研究发现在 AL>26.0 mm 的患者中,Holladay2<sub>w/k</sub> 公式的 MAE 为 0.296 D,明显低于 Holladay2 公式的 0.483 D。Liu 等<sup>[19]</sup>研究发现在 AL≥26 mm 的患者中,Holladay1<sub>modified-w/k</sub> 公式的 MAE 为 0.39 D,低于 Holladay1 公式的 0.45 D,而 SRK/T<sub>modified-w/k</sub> 公式的 MAE 为 0.47 D,与 SRK/T 公式的 0.49 D 相比,屈光预测准确性并未明显提高。Cheng 等<sup>[24]</sup>研究发现,在 AL>25.0 mm 的 325 眼中,当 AL 位于 25.0~27.0 mm 时,Holladay1<sub>modified-w/k</sub> 公式屈光预测准确性优于 SRK/T<sub>modified-w/k</sub> 和 Barrett Universal II 公式;当 AL>27.0 mm 时,Barrett Universal II 公式屈光预测准确性优于 SRK/T<sub>modified-w/k</sub> 和 Holladay1<sub>modified-w/k</sub> 公式。综合以上研究可得出结论,新版 AL 调整公式对长眼轴患者屈光预测仍产生近视结果,但与旧版眼轴调整公式相比有所缓和,白内障合并高度近视患者如需选用传统第 3 代、第 4 代公式,可综合参考 Holladay2<sub>w/k</sub> 公式和 Holladay1<sub>modified-w/k</sub> 公式的屈光预测结果。

## 3 人工智能公式在高度近视白内障中的应用进展

基于人工智能的 IOL 计算公式近年来也在不断发展。与固定的理论公式不同,人工智能 IOL 计算是一个不断发展完善的“数据库”,纳入的符合标准的数据越多,数据预测的精准性

就越高。Hill-RBF (<https://rbfcalculator.com>) 公式是一种基于人工智能的 IOL 计算公式,其应用模式识别和数据内插技术,通过分析全球逾 10 000 例使用 Lenstar LS900 进行生物测量并植入 SN60WF 和 MA60MA IOL 患者的数据而建立。Hill-RBF 公式完全基于数据驱动,而不依赖于已知信息,非常适于人眼多方面复杂的非线性关系,从而避免了计算误差。多项研究表明对于高度近视白内障患者,Hill-RBF 公式屈光预测准确性与 Barrett Universal II 公式相近<sup>[3,19-20,25]</sup>,且准确性不随 AL 增加而改变。Hill-RBF 公式有推荐的应用范围:植入 IOL 的度数位于 -5.0~+30.0 D,目标屈光度位于 -2.5~+1.0 D。但由于长眼轴患者 IOL 度数较低,且目标屈光度多小于 -2.5 D,多超出 Hill-RBF 公式的应用范围。Liu 等<sup>[19]</sup> 研究显示,在 AL $\geq$ 26 mm 的 136 眼中,有 61 眼的计算结果在 Hill-RBF 公式应用范围外,范围内数据的屈光预测误差为 0.14~0.23 D,优于范围外数据的 0.18~0.75 D。因此,人工智能公式数据库的不断扩充和完善,以及基于其他生物测量和 IOL 数据的人工智能公式数据库的建立和应用仍值得探索。

#### 4 光线追踪公式在高度近视白内障中的应用进展

与高斯光学理论不同,光线追踪技术是基于斯涅尔定律的 IOL 计算公式,可以准确地描述 IOL 眼的光学结构。光线追踪对角膜曲率和前房深度的计算更为精确,前房深度定义为前角膜顶点到 IOL 前表面的真实距离,而非虚拟的 ELP。最有名的光线追踪 IOL 计算公式是 Olsen 公式,传统的 2 参数版本 Olsen<sub>H-S</sub>(内置于 OLCR 等仪器)仅用前房深度和晶状体厚度来预测术后晶状体位置,4 参数版本 Olsen<sub>standalone</sub>(PhacoOptics 公司)在 2 参数版本的基础上增加了 AL 和角膜曲率。由于光线追踪的精确度与 AL 无关,其在长眼轴屈光预测中具有较好的表现<sup>[26]</sup>。Melles 等<sup>[1]</sup> 研究显示,在 AL>25.5 mm 的 2 060 眼中,Olsen<sub>standalone</sub> 公式的屈光预测准确性优于 Olsen<sub>H-S</sub> 公式,而两者屈光预测准确性均优于 Barrett Universal II 和 Hill-RBF 公式。Cooke 等<sup>[10]</sup> 研究显示,在 AL>26 mm 的 54 眼中,使用 PCI 数据的 Olsen<sub>standalone</sub> 公式 MAE 为 0.290 D,使用 OLCR 数据的 Olsen<sub>H-S</sub> 公式和 Olsen<sub>standalone</sub> 公式 MAE 分别为 0.249 D 和 0.250 D,均优于 Barrett Universal II 公式。Rong 等<sup>[27]</sup> 比较了 Olsen<sub>standalone</sub>、Barrett Universal II 和 Haigis 公式在超长眼轴患者中的表现,发现 3 种公式在 AL 位于 28.0~30.0 mm 时的准确性均较高,其中 Olsen<sub>standalone</sub> 公式 MAE 为 0.34 D,屈光预测准确性最佳,其次为 Barrett Universal II 公式的 0.36 D;当 AL $\geq$ 30.0 mm 时,Barrett Universal II 与 Olsen<sub>standalone</sub> 公式 MAE 均为 0.45 D,但 Barrett Universal II 公式的中位绝对误差和标准差较低,表现略优于 Olsen<sub>standalone</sub> 公式。OKULIX 是由德国美因兹大学开发的一种数字光线追踪软件,可精准追踪单一光线在眼中的折射路线,采用 AL、IOL 曲率半径、IOL 中心厚度、非球面度和折射率、角膜前/后表面曲率和中央角膜厚度等参数计算 IOL 度数<sup>[26]</sup>。Cooke 等<sup>[28]</sup> 研究显示,在 AL>26 mm 的 67 眼中,Haigis 公式、Olsen 公式和 OKULIX 软件的屈光预测准确性较高。Nabil 等<sup>[29]</sup> 比较了 OKULIX 和 SRK/T 公式在 AL $\geq$ 30.0 mm

患眼中的屈光预测准确性,虽然 OKULIX 软件仍产生一定的远视漂移,但其准确性明显优于 SRK/T 公式。由此可见,光线追踪技术在高度近视白内障患者中屈光预测准确性高、预测稳定,随着光线追踪软件的不断推广应用,其对临床的指导性会越来越来高。

#### 5 多种新型概念 IOL 公式在高度近视白内障中的应用进展

于 2017 年 9 月发布的 Kane 公式 ([www.iolformula.com](http://www.iolformula.com)) 是一种结合理论光学、薄晶状体公式和人工智能数据的新 IOL 计算公式,其基于近 3 万例精准病例,利用高效能虚拟云计算,采用 AL、角膜曲率、前房深度和患者性别这 4 个固定变量,以及晶状体厚度和中心角膜厚度这 2 个可选变量进行屈光预测,目前已被多项研究证实为最准确的计算公式<sup>[2-3,25,30]</sup>。Darcy 等<sup>[3]</sup> 研究显示,在包括所有 AL 在内的 10 930 眼中,与传统第 3 代、第 4 代、Barrett、Olsen 和 Hill-RBF 公式相比,Kane 公式的 MAE (0.377 D) 最小,屈光预测误差在  $\pm 0.50$  D 中的比例 (72%) 最高。Melles 等<sup>[30]</sup> 在包括所有 AL 在内的植入 SN60WF IOL 的 13 301 眼和植入 SA60AT IOL 的 5 200 眼的数据库基础上,补充对新型 IOL 计算公式的评估,与传统第 3 代、第 4 代、Barrett Universal II、Hill-RBF、EVO 和 Olsen 公式相比,Kane 公式屈光预测误差在  $\pm 0.50$  D 内的比例 (83.1%) 最高,MAE 和中位绝对误差均为最低。在 Darcy 等<sup>[3]</sup> 研究中 AL $\geq$ 26 mm 的 637 眼和 Melles 等<sup>[30]</sup> 研究中 AL>25.5 mm 的 2 060 眼中,Kane 公式的屈光预测准确性显著优于 Barrett Universal II、Olsen 和 Hill-RBF 等公式。虽然尚缺乏 Kane 公式在超长眼轴患者中的研究,但目前为止其优异的屈光预测能力已经吸引了大量的关注,也提示着新型 IOL 计算公式的研发和探索不再局限于单一理论基础。

EVO 公式 ([www.eviolcalculator.com](http://www.eviolcalculator.com)) 是一种基于正视化理论的厚晶状体公式,可生成个体化的“正视因子”,并考虑到眼睛的光学结构,从而改进长眼轴和短眼轴的屈光预测。该公式采用 AL、角膜曲率、前房深度 3 个固定变量,以及晶状体厚度和中心角膜厚度 2 个可选变量进行预测。在 Melles 等<sup>[30]</sup> 纳入的 18 501 例白内障患者中,EVO 公式准确性优于 Hill-RBF 公式,但不及 Kane、Barrett Universal II 和 Olsen 公式,在植入 SN60WF IOL 且 AL>25.5 mm 的 1 548 眼中,EVO 公式准确性不及 Kane、Barrett Universal II、Olsen、Hill-RBF 和 Holladay2 公式。以上结果表明正视化理念或在极端长眼轴中失效,因此其在超长眼轴患者中的准确性需要更多的研究验证。

总之,随着患者眼轴的增长,术前生物测量和 IOL 计算公式的准确性下降,高度近视合并白内障患者手术后屈光预测准确性欠佳。随着会聚公式的不断优化、人工智能公式的不断完善、光线追踪技术和多种新概念公式的应用,IOL 计算公式存在更多选择。为减少高度近视白内障患者手术后屈光预测误差,可首选 Kane 公式进行屈光预测,并综合考虑 Olsen、Barrett Universal II 和 Hill-RBF 公式的预测结果,以提高白内障术后屈光预测准确性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125 (2) : 169-178. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.08.027.
- [2] Savini G, Hoffer KJ, Balducci N, et al. Comparison of formula accuracy for intraocular lens power calculation based on measurements by a swept-source optical coherence tomography optical biometer [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46 (1) : 27-33. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.08.044.
- [3] 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.
- [4] Sanders DR, Retzlaff J, Kraff MC. Comparison of the SRK II formula and other second generation formulas [J]. *J Cataract Refract Surg*, 1988, 14 (2) : 136-141. DOI: 10.1016/s0886-3350(88)80087-7.
- [5] Holladay JT, Prager TC, Chandler TY, et al. A three-part system for refining intraocular lens power calculations [J]. *J Cataract Refract Surg*, 1988, 14 (1) : 17-24. DOI: 10.1016/s0886-3350(88)80059-2.
- [6] Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas [J]. *J Cataract Refract Surg*, 1993, 19 (6) : 700-712. DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80338-0.
- [7] Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula [J]. *J Cataract Refract Surg*, 1990, 16 (3) : 333-340. DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80705-5.
- [8] Haigis W, Lege B, Miller N, et al. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2000, 238 (9) : 765-773. DOI: 10.1007/s004170000188.
- [9] Koch DD, Hill W, Abulafia A, et al. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: I. logical approach for classifying IOL calculation formulas [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43 (6) : 717-718. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.06.006.
- [10] Cooke DL, Cooke TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2016, 42 (8) : 1157-1164. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.06.029.
- [11] Sheard RM, Smith GT, Cooke DL. Improving the prediction accuracy of the SRK/T formula: the T2 formula [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36 (11) : 1829-1834. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.05.031.
- [12] Voytsekhivskyy OV. Development and clinical accuracy of a new intraocular lens power formula (VRF) compared to other formulas [J]. *Am J Ophthalmol*, 2018, 185 : 56-67. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.10.020.
- [13] Ladas JG, Siddiqui AA, Devgan U, et al. A 3-D "super surface" combining modern intraocular lens formulas to generate a "super formula" and maximize accuracy [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133 (12) : 1431-1436. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.3832.
- [14] Barrett GD. An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction [J]. *J Cataract Refract Surg*, 1993, 19 (6) : 713-720. DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80339-2.
- [15] Kane JX, Van Heerden A, Atik A, et al. Accuracy of 3 new methods for intraocular lens power selection [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43 (3) : 333-339. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.12.021.
- [16] Wang Q, Jiang W, Lin T, et al. Accuracy of intraocular lens power calculation formulas in long eyes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 46 (7) : 738-749. DOI: 10.1111/ceo.13184.
- [17] Roberts TV, Hodge C, Sutton G, et al. Comparison of Hill-radial basis function, Barrett Universal and current third generation formulas for the calculation of intraocular lens power during cataract surgery [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 46 (3) : 240-246. DOI: 10.1111/ceo.13034.
- [18] Zhou D, Sun Z, Deng G. Accuracy of the refractive prediction determined by intraocular lens power calculation formulas in high myopia [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2019, 67 (4) : 484-489. DOI: 10.4103/ijo.IJO\_937\_18.
- [19] Liu J, Wang L, Chai F, 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.
- [20] Wan KH, Lam T, Yu M, et al. Accuracy and precision of intraocular lens calculations using the new Hill-RBF version 2.0 in eyes with high axial myopia [J]. *Am J Ophthalmol*, 2019, 205 : 66-73. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.04.019.
- [21] Wang L, Shirayama M, Ma XJ, 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.
- [22] Wang L, Holladay JT, Koch DD. Wang-Koch axial length adjustment for the Holladay 2 formula in long eyes [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2018, 44 (10) : 1291-1292. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.06.057.
- [23] Wang L, Koch DD. 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.
- [24] Cheng H, Liu L, 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.
- [25] Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection [J/OL]. *BMJ Open Ophthalmol*, 2019, 4 (1) : e000251 [2021-08-28]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31179396>. DOI: 10.1136/bmjophth-2018-000251.
- [26] Preussner PR, Wahl J, Lahdo H, et al. Ray tracing for intraocular lens calculation [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2002, 28 (8) : 1412-1419. DOI: 10.1016/s0886-3350(01)01346-3.
- [27] Rong X, He W, Zhu Q, et al. Intraocular lens power calculation in eyes with extreme myopia: comparison of Barrett Universal II, Haigis, and Olsen formulas [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45 (6) : 732-737. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.12.025.
- [28] Cooke DL, Cooke TL. A comparison of two methods to calculate axial length [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45 (3) : 284-292. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.10.039.
- [29] Nabil KM. Accuracy of minus power intraocular lens calculation using OKULIX ray tracing software [J]. *Int Ophthalmol*, 2019, 39 (8) : 1803-1808. DOI: 10.1007/s10792-018-1007-y.
- [30] Melles RB, Kane JX, 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.

(收稿日期:2021-09-12 修回日期:2022-04-14)

(本文编辑:张宇 骆世平)