

不同眼轴选择人工晶状体计算公式的研究进展

刘岭昆¹, 穆启睿¹, 刘豫宁¹, 刘湘云², 赵春梅²

¹华北理工大学研究生院, 河北 唐山

²唐山市眼科医院青白联合科, 河北 唐山

收稿日期: 2023年2月17日; 录用日期: 2023年3月13日; 发布日期: 2023年3月21日

摘要

随着屈光性白内障手术时代的到来, 人工晶状体(intraocular lens, IOL)计算公式的持续更新与换代不断融合了诸如光线追踪、更先进的现代回归模型、人工智能、三维成像等新技术与新数据, 在这个大背景下许多新的公式应运而生, 如Barrett Universal II公式、Kane公式、Hill-radial basis (Hill-RBF)公式、Olsen公式、EVO 2.0公式和Ladas超级公式等。白内障术后的屈光准确性与眼轴的相关性主要体现在, 术前准确测量眼轴参数对IOL选择最优公式来计算屈光度数的关键辅助作用。本文总结了不同眼轴应如何选择IOL度数计算公式, 将其分为3个部分阐述: 短眼轴选择IOL公式、长眼轴选择IOL公式、全眼轴选择IOL公式, 本文根据这三个不同眼轴范畴, 就包含新型公式在内的IOL计算公式准确度比较的研究进展作一综述。

关键词

眼轴, 人工晶状体, 计算公式, 准确性

Research Progress on Selecting IOL Calculation Formulas with Different Axial Length

Lingkun Liu¹, Qirui Mu¹, Yuning Liu¹, Xiangyun Liu², Chunmei Zhao²

¹Graduate School of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

²Department of Qingbai of Tangshan Eye Hospital, Tangshan Hebei

Received: Feb. 17th, 2023; accepted: Mar. 13th, 2023; published: Mar. 21st, 2023

Abstract

With the advent of refractive cataract surgery, the intraocular lens (IOL) formula continues to be

文章引用: 刘岭昆, 穆启睿, 刘豫宁, 刘湘云, 赵春梅. 不同眼轴选择人工晶状体计算公式的研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(3): 4056-4062. DOI: 10.12677/acm.2023.133582

updated and modernised to incorporate new technologies and data such as ray tracing, more advanced modern regression models, artificial intelligence, 3D imaging, etc. Many new formulas have emerged in this context, such as the Barrett Universal II, Kane, Hill-radial basis (Hill-RBF), Olsen, EVO 2.0, and Ladas Super, etc. The correlation between refractive accuracy after cataract surgery and axial length (AL) is mainly reflected in the key role of accurate preoperative measurement of AL parameters as an aid to the selection of the optimal formula for calculating the refractive force of IOL. This paper summarises how to choose formulas for different ALs and divides them into three parts: IOL formula selection for short ALs, IOL formula selection for long ALs, IOL formula selection for full ALs. According to these three different ALs parts, this paper provides a review of the research progress on the comparison of the accuracy of IOL calculation formulas including some new formulas.

Keywords

Axial Length, IOL, Calculation Formulas, Accuracy

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

白内障位居全球致盲性眼病之首,随着目前手术技术发展、医疗设备不断进步、多种类新型功能型 IOL 及 IOL 计算公式的广泛应用,白内障手术已经由基础的防盲脱盲时代步入了精准屈光性时代,患者对白内障术后屈光效果和视觉质量的追求与期待显著提高。为最大程度地实现患者术后屈光满意度,精确的生物学测量参数和适合的 IOL 计算公式是直接影响白内障术后屈光效果的两大关键[1],其中眼轴长度是计算人工晶状体屈光力的重要参数。为在琳琅满目的 IOL 公式中进行最优选择以期为患者提供更完善的屈光结局,本文就不同眼轴如何选择 IOL 计算公式的前沿进展作一综述。

2. 不同眼轴对 IOL 计算公式的选择

白内障术前眼轴长度的精确测量是计算 IOL 屈光度数的一个关键参考指标,近 50 年以来,基于理论光学公式以及 20 世纪 80 年代持续发展的回归公式,对于正常眼轴($22\text{ mm} \leq \text{AL} \leq 26\text{ mm}$)行白内障摘除联合人工晶状体植入术, IOL 公式计算屈光准确性相对容易[2],而对于短眼轴($\text{AL} < 22\text{ mm}$)和长眼轴($\text{AL} > 26\text{ mm}$)如何选择 IOL 计算公式以获得更高的预测准确度和适用性成为了近年来的研究热点。下面将分别从短眼轴、长眼轴、全眼轴范畴如何选择 IOL 计算公式进行阐述。

2.1. 短眼轴选择 IOL 计算公式

1993 年, Hoffer [3]首次划分眼轴范围评估 IOL 计算公式的准确性,他提出 $\text{AL} < 22\text{ mm}$ 使用 Hoffer Q 公式的预测精度更高。2000 年, Hoffer [4]回顾性分析 317 只眼认为 Holladay 2 公式应用于 $\text{AL} < 22\text{ mm}$ 时与 Hoffer Q 的准确度不相上下但并未优于后者, Holladay 2 与 Hoffer Q 得出了完全相同的平均绝对屈光误差(mean absolute refractive error, MAE)和最大误差,且 Holladay 2 在除了最短和最长的极端眼轴范围外,均趋向于最小预测误差。2011 年, Aristodemou 等[5]将 8108 只眼纳入研究表明,在 $20\text{ mm} \leq \text{AL} < 21\text{ mm}$ 范围内, Hoffer Q 预测的屈光误差最低,在 $21\text{ mm} \leq \text{AL} < 21.5\text{ mm}$ 范围内, Hoffer Q 和 Holladay 1 的精确性最高,但局限性可能在于该研究仅比较了 Hoffer Q、Holladay 1 和 SRK/T 三个公式。2014 年,

Eom 等[6]对 75 只眼进行检测发现对于 $AL < 22$ mm, 当前房深度(anterior chamber depth, ACD) < 2.40 mm 时, Haigis 公式比 Hoffer Q 公式更准确, $ACD \geq 2.40$ mm 时二者无显著差异, Hoffer Q 和 Haigis 预测的屈光度误差随 ACD 的减小而增大。2016 年, Kane 等[7]检测 3241 只眼指出 Barrett Universal II、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、SRK/T 和 T2 共 7 个公式在 $AL < 22$ mm 时的预测准确性无统计学差异。而在 2018 年, Melles 等[8]通过大样本回顾性研究纳入 18,501 只眼, 比较了 Barrett Universal II、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、Olsen 和 SRK/T 公式在植入两种常用 IOL (SN60WF, SA60AT) 的屈光准确性, 该研究得出结论 $AL < 22.5$ mm 时 Barrett Universal II 的 MAE 最小而 Hoffer Q 的 MAE 最大, 即对短眼轴患者 Barrett Universal II 公式更胜一筹, 此结论更新补充了临床上被普遍认可的 Hoffer Q 公式广泛优先适用于短眼轴的传统观点, 使新一代近轴光线追踪变量公式的优越性得以体现。此外, 有些学者对新一代公式展开研究, Kane 等[9]研究提出短眼轴亚组中($AL \leq 22$ mm), 基于人工智能原理的 Hill-RBF 公式, 其 MAE 比 Barrett Universal II 更低, 略高于 Holladay 1, 但全眼轴范畴分析 Hill-RBF 并没有显示出比第三代和第四代公式更高的准确性。

2.2. 长眼轴选择 IOL 计算公式

2.2.1. SRK/T 公式

SRK/T 公式作为第三代公式的代表改进了原始回归公式, 将其与理论数学模型相结合, 确立虹膜平面至 IOL 平面的相对恒定距离[10] [11]。Aristodemou 等[5]认为 $AL > 27$ mm 时 SRK/T 公式的 MAE 最低展现了最佳优越性, 但局限性在于该研究仅比较了 Hoffer Q、Holladay 1 和 SRK/T 三个公式, Haigis 和新一代公式等均尚未纳入实验。Karabela 等[12]发现 SRK/T 公式在短轴和长轴的眼睛中均表现出良好的预测性, 其他类似研究也认可了 SRK/T 在长眼轴中的准确性[13] [14]。此外, Wang-Koch 优化能够降低 SRK/T 公式随着眼轴变长后远视漂移的屈光误差[15], 吉祥等[16]研究指出 $AL \geq 30$ mm 时, SRK/T 公式经 Wang-Koch 优化后增加了准确性, 甚至能与 Barrett Universal II 公式的效果相当。

2.2.2. Haigis 公式

2009 年 Haigis [17]通过 IOL 常数作用与 IOL 几何形状的关系推导出一个有效晶体位置(ELP)与透镜几何相关特性(主平面距离)的方程, $ELP = a_0 + (a_1 ACD) + (a_2 AL)$, 其中 a_0 类似 A 常数, a_1 为 ACD 常数, a_2 为 AL 常数, 即 Haigis 公式用 a_0 、 a_1 、 a_2 通过线性回归预测 ELP, ELP 与这三个常数直接相关, 但值得注意的是, 常数需要持续优化以实现 Haigis 对于不同人群及不同 IOL 类型的精确个性化适用, 如采用加权最小二乘法计算常数[18]。Haigis 公式作为第四代公式的代表, 在长眼轴的相关研究中也表现出稳定的优越性[14] [19]。

2.2.3. Haigis 和 SRK/T 的准确性比较

目前 SRK/T 和 Haigis 公式都被普遍应用于临床上长眼轴白内障眼计算 IOL 屈光度数, 关于两者谁更胜一筹的问题许多学者进行讨论验证, 在没有对公式进行优化的背景下, 多数结论倾向于 Haigis 效果更佳, 尤其是对于超长眼轴。Bang 等[20]对 53 只眼($AL > 27$ mm)研究发现, 公式准确性依次为 Haigis $>$ SRK/T $>$ Holladay 2 $>$ Holladay 1 $>$ Hoffer Q。Sharma 等[21]也得出了 Haigis 公式用于长眼轴比 SRK-T 更准确的结论(Haigis 的 MAE 为 0.56 D, SRK/T 的 MAE 为 0.75 D)。Chen 等[22]对比了四种公式在 148 只长眼轴眼中的准确性, 得出 26 mm $\leq AL \leq 33$ mm 时 Haigis 和 SRK/T 公式效果较好, $AL > 33$ mm 时 Haigis 公式更精确。与之类似的是, 竺向佳等[23]检测 103 只眼认为长眼轴选择 Haigis 和 SRK/T 的准确性更高, 但超长眼轴($AL > 30$ mm)选择 Haigis 公式更合适。但 Zhang 等[19]的研究得出了不同的结论: $AL > 29$ mm

时 Haigis 和 SRK/T 的屈光预测误差无统计学差异。

2.2.4. Haigis 和 SRK/T 的优化

除了上文提及的 SRK/T 公式的 Wang-Koch 优化、Haigis 公式个性化常数优化法以外,近年来在这两公式基础上还发现了更丰富的优化方式进行校正调整,以期实现更佳的准确性和精密度。Zhang 等[19]提出平均中央角膜曲率(K 值)与这两个公式的准确性显著相关,认为长眼轴使用 Haigis 和 SRK/T 时应该根据 K 值调整公式以获得更佳效果。马秀艳等[24]建议向近视方向调整 PPSE $(-0.2\sim-2.0)/(-0.5\sim-1.8)$ D 能使 SRK/T 和 Haigis 公式的准确性更高。Wang 等[25]提出了一种 $AL \geq 25$ mm 眼的 AL 优化法,对于 ≥ 6.0 D 的 IOL, AL 优化法的性能与 IOL 常数法相当,对于 ≤ 5.0 D 的 IOL,采用制造商的晶体常数优化后的 AL 公式可获得最佳效果。Abulafia 等[13]研究了激光干涉生物测量组(the User Group for Laser Interference Biometry, ULIB)和 AL 优化在不同公式组的校正情况,发现 ULIB 优化 Haigis 公式比优化 SRK/T 公式的校正效果更好,对于 $AL > 26$ mm、 $IOL \geq 6.0$ D 时,SRK/T、Haigis (ULIB 优化)、Barrett Universal II、Holladay 2 和 Olsen 公式的预测效果最好;对于 $AL > 26$ mm、 $IOL < 6.0$ D 时,Holladay 1 (AL 优化)、Haigis (AL 优化)和 Barrett Universal II 公式的预测效果最好。

2.2.5. Barrett Universal II 公式

Kaneet 等[7]在 3241 只眼中比较了 7 种公式(Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、Barrett Universal II、SRK/T 和 T2 公式)后表明,在长眼轴($AL \geq 26$ mm)中 Barrett Universal II 得到了最低 MAE,准确性最高。近年来的研究[26]-[31]也得到了类似结果,他们都推荐 Barrett Universal II 作为长眼轴屈光预测的首选公式之一,其精确度和稳定性超过了传统的 Haigis 和 SRK/T,成为了高度近视尤其是 $AL > 30$ mm 时的一种可靠公式,且相对来说 Barrett Universal II 术后远视漂移率最低即它受眼轴长度的影响最小[27] [28]。

2.2.6. Olsen 公式

Olsen 等[32]创造性地引入了 C 常数概念通过光线追踪原理辅助计算 IOL 的屈光度,无偏预测 ELP 是其独特优势,能为长眼轴提供准确的屈光预测。Olsen 的光线追踪法没有延续传统公式所依据的患者标准角膜曲率、AL、ACD 的基础假设,因此避免了当这些参数异常时所导致额外偏差增大的情况,同时节省了传统公式需要不断优化常数的步骤。Cooke 等[33]比较了 9 种 IOL 计算公式发现对于 $AL > 26$ mm 的眼睛, $Olsen_{OLCR}$ 的准确性优于其他公式。2018 年, Melles 等[8]回顾性分析 18501 只眼得出 $AL > 25.5$ mm 的长眼轴亚组中 Olsen 公式的 MAE 最小,Holladay 1 和 Hoffer Q 公式的 MAE 最大。Rong 等[29]分析 Haigis 在长眼轴中的准确性逊色于 Barrett Universal II 和 Olsen 的主要原因是,虽然三个公式均受到眼轴长度的影响,但 Haigis 还另外受到了角膜曲率值的影响则降低了准确性。

2.2.7. 其他新型 IOL 公式

除了上述四个公式外,较新研究提出 Kane 公式、EVO 2.0 公式以及基于人工智能的改良版 Hill-RBF 2.0 公式用于长眼轴预测 IOL 屈光力也有一定优越性。Darcy 等[34]评估了 10930 只眼在 9 种公式中的准确性发现,无论是全眼轴范畴还是不同眼轴亚组分析, Kane 公式都具有绝对优势,当 $AL \geq 26$ mm 时 MAE 为 Kane (0.329) < Barrett Universal II (0.338) < Hill-RBF 2.0 = Olsen = Holladay 2 (0.352) < Haigis (0.359) < SRK/T (0.363) < Hoffer Q (0.454) < Holladay 1 (0.475), 其中 Holladay 2 和 Hill-RBF 2.0 为 AL 优化后的更新版本。Wan 等[35]认为新版 Hill-RBF 2.0 公式在高度近视眼中的准确性足以与 Barrett Universal II 和 Haigis 相媲美(三者的 MedAE 相当, $P = 0.007$),并且优于 Hoffer Q、Holladay 1 和 SRK/T 公式。Roberts 等[36]研究表明在 Hill-RBF 公式和 Barrett Universal II 公式在包括长眼轴的所有轴向长度

上均获得了优异的结果。Tan [37]在三焦点 IOL 中对比 8 种公式得出, AL > 28 mm 时 EVO 2.0 的准确性也较高。

2.3. 全眼轴选择 IOL 计算公式

Kane 等[7]对 3241 只眼比较了 7 种公式(Barrett Universal II、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、SRK/T 和 T2 公式)后认为 Barrett Universal II 公式优势显著,在中眼轴(22 mm < AL < 24.5 mm)、中长眼轴(24.5 mm ≤ AL < 26 mm)、长眼轴(AL ≥ 26 mm)三个亚组中 Barrett Universal II 均得到了最低的 MAE。后 2018 年 Melles 等[8]在一个更大样本量中进行回顾,比较了 18,501 只眼在 7 种公式中植入两种常用人工晶状体后的屈光准确性,该研究发现综合全眼轴长度范畴来讲,Barrett Universal II 公式的整体预测误差最小,Olsen 次之,但不同眼轴区间内的结论有所差别,详见上文中 2.2.6. 阐述。2020 年英国健康服务体系(NHS)的一项研究对上诉实验进行拓展,在其基础上纳入最新的公式比较后得出,在各轴长亚组中 Kane 公式比其他公式更准确,Hill-RBF 2.0 次之,Olsen 公式位居第三[34]。Pereira 等[31]比较了 12 种公式后也发现 Kane 公式在整体分析中最准确。Roberts 等[36]研究表明:Hill-RBF 公式和 Barrett Universal II 公式均独立可用,仅需最少的额外操作就能在所有轴向长度上都表现优异。

3. 小结

对于短眼轴而言,目前 Hoffer Q 仍然被公认为是最适用于短眼轴的主流公式,对 IOL 屈光力的计算预测力具有不容取代的显著优势,其次 Haigis 和 Holladay 2 在短眼轴中的应用也被一定程度地采纳,近年来 Barrett Universal II 公式受到了很大的关注,部分学者认可它的普遍精确性,但它对于短眼轴的准确性优势还有待更进一步的研究论证。

对于长眼轴而言,第一代和第二代 IOL 公式的效果不佳基本已被淘汰弃用,SRK/T (第三代 IOL 公式)和 Haigis (第四代 IOL 公式)因其公认的高准确性而受到临床的广泛使用,两公式相比后者更胜一筹,尤其是在超长眼轴中 Haigis 的优越性更显著。另外,合理运用 Wang-Koch 调整、Haigis 常数优化、K 值、ULIB 常数、向近视方向调整 PPSE 等方法校正公式能进一步完善其准确性,一定程度上弥补了当患者眼基础参数变化后公式的准确性丢失。近年来新一代的 IOL 公式被证明也适用于长眼轴且展现出比传统公式更明显的优势,其中以 Barrett Universal II 和 Olsen 为代表,准确性均在 Haigis 和 SRK/T 之上。此外,Kane 公式、新版 Hill-RBF 2.0、EVO 2.0 公式也表现出了对长眼轴屈光预测的高精确性。值得注意的是,即使是最优公式,随着眼轴的不断增长,各公式预测的屈光偏差会越大,术后远视漂移越明显,在超长眼轴中尤为突出。总之,纵观目前研究,我们建议 SRK/T、Haigis、Barrett Universal II 和 Olsen 这四种公式(前两种相对传统,后两者较新)用于长眼轴均是比较可靠的,但超长眼轴更建议选择后三种。Kane 公式、EVO 2.0 公式、新版 Hill-RBF 2.0 公式的优越性可供参考,还需要更进一步的临床验证。

对于全眼轴长度范畴而言,具有整体优越性的公式为 Barrett Universal II、Kane、Hill-RBF 2.0 和 Olsen,其中以 Barrett Universal II 公式和 Kane 公式的研究论证最为丰富。

参考文献

- [1] Lee, T.H., Sung, M.S., Cui, L., Li, Y. and Yoon, K.C. (2015) Factors Affecting the Accuracy of Intraocular Lens Power Calculation with Lenstar. *Chonnam Medical Journal*, **51**, 91-96. <https://doi.org/10.4068/cmj.2015.51.2.91>
- [2] Hoffer, K.J. and Savini, G. (2017) IOL Power Calculation in Short and Long Eyes. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, **6**, 330-331.
- [3] Hoffer, K.J. (1993) The Hoffer Q Formula: A Comparison of Theoretic and Regression Formulas. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **19**, 700-712. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80338-0](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80338-0)
- [4] Hoffer, K.J. (2000) Clinical Results Using the Holladay 2 Intraocular Lens Power Formula. *Journal of Cataract and*

- Refractive Surgery*, **26**, 1233-1237. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(00\)00376-X](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(00)00376-X)
- [5] Aristodemou, P., Knox Cartwright, N.E., Sparrow, J.M., *et al.* (2011) Formula Choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and Refractive Outcomes in 8108 Eyes after Cataract Surgery with Biometry by Partial Coherence Interferometry. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **37**, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.07.032>
- [6] Eom, Y., Kang, S.-Y., Song, J.S., Kim, Y.Y. and Kim, H.M. (2014) Comparison of Hoffer Q and Haigis Formulae for Intraocular Lens Power Calculation According to the Anterior Chamber Depth in Short Eyes. *American Journal of Ophthalmology*, **157**, 818-824. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.12.017>
- [7] Kane, J.X., Van Heerden, A., Atik, A. and Petsoglou, C. (2016) Intraocular Lens Power Formula Accuracy: Comparison of 7 Formulas. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **42**, 1490-1500. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.07.021>
- [8] Melles, R.B., Holladay, J.T. and Chang, W.J. (2018) Accuracy of Intraocular Lens Calculation Formulas. *Ophthalmology*, **125**, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.08.027>
- [9] Kane, J.X., Van Heerden, A., Atik, A. and Petsoglou, C. (2017) Accuracy of 3 New Methods for Intraocular Lens Power Selection. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **43**, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.12.021>
- [10] Retzlaff, J.A., Sanders, D.R. and Kraff, M.C. (1990) Development of the SRK/T Intraocular Lens Implant Power Calculation Formula. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **16**, 333-340. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80705-5](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80705-5)
- [11] Fedorov, S.N., Kolinko, A.I. and Kolinko, A.I. (1967) A Method of Calculating the Optical Power of the Intraocular Lens. *Vestnik Oftalmologii*, **80**, 27-31.
- [12] Karabela, Y., Eliacik, M. and Kaya, F. (2016) Performance of the SRK/T Formula Using A-Scan Ultrasound Biometry after Phacoemulsification in Eyes with Short and Long Axial Lengths. *BMC Ophthalmology*, **16**, Article No. 96. <https://doi.org/10.1186/s12886-016-0271-8>
- [13] Abulafia, A., Barrett, G.D., Rotenberg, M., *et al.* (2015) Intraocular Lens Power Calculation for Eyes with an Axial Length Greater Than 26.0 Mm: Comparison of Formulas and Methods. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **41**, 548-556. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.06.033>
- [14] Razmjoo, H., Atarzadeh, H., Kargar, N., *et al.* (2017) The Comparative Study of Refractive Index Variations between Haigis, SRK/T and Hoffer-Q Formulas Used for Preoperative Biometry Calculation in Patients with the Axial Length > 25 mm. *Advanced Biomedical Research*, **6**.
- [15] Wang, L. and Koch, D.D. (2018) Modified Axial Length Adjustment Formulas in Long Eyes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **44**, 1396-1397. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.07.049>
- [16] 吉祥, 张丁丁, 毛馨遥, 等. Wang-Koch 优化眼轴 SRK/T 公式预测不同眼轴长度下高度近视眼合并白内障术后屈光度准确性的临床研究[J]. 中华眼科医学杂志(电子版), 2020, 10(5): 281-287.
- [17] Haigis, W. (2009) Intraocular Lens Calculation in Extreme Myopia. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **35**, 906-911. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.12.035>
- [18] Schröder, S., Leydolt, C., Menapace, R., Eppig, T. and Langenbucher, A. (2016) Determination of Personalized IOL-Constants for the Haigis Formula under Consideration of Measurement Precision. *PLOS ONE*, **11**, e0158988. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158988>
- [19] Zhang, Z., Miao, Y., Fang, X., Luo, Q. and Wang, Y. (2018) Accuracy of the Haigis and SRK/T Formulas in Eyes Longer than 29.0 mm and the Influence of Central Corneal Keratometry Reading. *Current Eye Research*, **43**, 1316-1321. <https://doi.org/10.1080/02713683.2018.1488265>
- [20] Bang, S., Edell, E., Yu, Q., Pratzler, K. and Stark, W. (2011) Accuracy of Intraocular Lens Calculations Using the IOLMaster in Eyes with Long Axial Length and a Comparison of Various Formulas. *Ophthalmology*, **118**, 503-506. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.008>
- [21] Sharma, R., Maharajan, P., Kotta, S. and Maharajan, S. (2014) Prediction of Refractive Outcome after Cataract Surgery Using Partial Coherence Interferometry: Comparison of SRK/T and Haigis Formulae. *International Ophthalmology*, **34**, 451-455. <https://doi.org/10.1007/s10792-012-9671-9>
- [22] Chen, C., Xu, X., Miao, Y., *et al.* (2015) Accuracy of Intraocular Lens Power Formulas Involving 148 Eyes with Long Axial Lengths: A Retrospective Chart-Review Study. *Journal of Ophthalmology*, **2015**, Article ID: 976847. <https://doi.org/10.1155/2015/976847>
- [23] 竺向佳, 何雯雯, 杜钰, 等. 三种人工晶状体计算公式对高度近视眼并发性白内障的预测误差比较[J]. 中华眼科杂志, 2017, 53(4): 260-265.
- [24] 马秀艳, 周健. 高度近视眼人工晶状体度数计算公式的准确性比较[J]. 眼科新进展, 2016, 36(9): 863-867.
- [25] Wang, L., Shirayama, M., Ma, X.J., Kohnen, T. and Koch, D. (2011) Optimizing Intraocular Lens Power Calculations

- in Eyes with Axial Lengths above 25.0 mm. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **37**, 2018-2027. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.05.042>
- [26] Kuthirummal, N., Vanathi, M., Mukhija, R., *et al.* (2020) Evaluation of Barrett Universal II Formula for Intraocular Lens Power Calculation in Asian Indian Population. *Indian Journal of Ophthalmology*, **68**, 59-64. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_600_19
- [27] 蔡金彪, 王剑锋, 周琦, 等. 不同人工晶状体计算公式预测高度近视白内障术后屈光度的准确性比较[J]. *临床眼科杂志*, 2022, 30(3): 200-205.
- [28] Zhou, D., Sun, Z. and Deng, G. (2019) Accuracy of the Refractive Prediction Determined by Intraocular Lens Power Calculation Formulas in High Myopia. *Indian Journal of Ophthalmology*, **67**, 484-489. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_937_18
- [29] Rong, X., He, W., Zhu, Q., *et al.* (2019) Intraocular Lens Power Calculation in Eyes with Extreme Myopia: Comparison of Barrett Universal II, Haigis, and Olsen Formulas. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **45**, 732-737. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.12.025>
- [30] Ji, J., Liu, Y., Zhang, J., *et al.* (2021) Comparison of Six Methods for the Intraocular Lens Power Calculation in High Myopic Eyes. *European Journal of Ophthalmology*, **31**, 96-102. <https://doi.org/10.1177/1120672119889016>
- [31] Pereira, A., Popovic, M.M., Ahmed, Y., *et al.* (2021) A Comparative Analysis of 12 Intraocular Lens Power Formulas. *International Ophthalmology*, **41**, 4137-4150. <https://doi.org/10.1007/s10792-021-01966-z>
- [32] Olsen, T. and Hoffmann, P. (2014) C Constant: New Concept for Ray Tracing-Assisted Intraocular Lens Power Calculation. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **40**, 764-773. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.10.037>
- [33] Cooke, D.L. and Cooke, T.L. (2016) Comparison of 9 Intraocular Lens Power Calculation Formulas. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **42**, 1157-1164. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.06.029>
- [34] Darcy, K., Gun, D., Tavassoli, S., Sparrow, J. and Kane, J.X. (2020) A Ssessment of the Accuracy of New and Updated Intraocular Lens Power Calculation Formulas in 10,930 Eyes from the UK National Health Service. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **46**, 2-7.
- [35] Wan, K.H., Lam, T.C.H., Yu, M.C.Y. and Chan, T.C.Y. (2019) Accuracy and Precision of Intraocular Lens Calculations Using the New Hill-RBF Version 2.0 in Eyes with High Axial Myopia. *American Journal of Ophthalmology*, **205**, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.04.019>
- [36] Roberts, T.V., Hodge, C., Sutton, G., *et al.* (2018) Comparison of Hill-Radial Basis Function, Barrett Universal and Current Third Generation Formulas for the Calculation of Intraocular Lens Power during Cataract Surgery. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, **46**, 240-246. <https://doi.org/10.1111/ceo.13034>
- [37] Tan, Q., Lin, D., Wang, L., *et al.* (2021) Comparison of IOL Power Calculation Formulas for a Trifocal IOL in Eyes with High Myopia. *Journal of Refractive Surgery*, **37**, 538-544. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20210506-01>