

角膜激光术后人工晶状体屈光度预测的研究进展

王富江*, 易湘龙#^{ORCID}, 沙玛丽·哈力木别克, 王 静, 陈利群

新疆医科大学第一附属医院眼科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年12月10日; 录用日期: 2024年1月5日; 发布日期: 2024年1月11日

摘 要

随着全球屈光不正患者的日益增多, 角膜激光手术迅速发展。角膜激光手术后白内障手术数量也在逐年增加, 人工晶状体(Intraocular Lens, IOL)屈光度的准确预测成为眼科医师面临的一个日益严峻的挑战。这些患者通常对视觉质量有很高的期望。然而, 传统的IOL屈光度预测公式计算的结果并不准确。在可预见的将来, 在人口老龄化的情况下, 角膜激光术后需要进行白内障手术的患者数量预计会相应增加。对于这些患者, 眼科医师不可避免地面临精准预测IOL屈光度的问题。在我国, 角膜激光手术已开展30年, 绝大部分近视患者接受的近视矫正方法为准分子激光角膜表面切削术(photo refractive keratectomy, PRK)、准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK)和飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)。本文旨在总结并推荐目前可用的上述角膜激光手术后IOL屈光度预测方法。

关键词

角膜屈光手术, 人工晶状体, 白内障, 屈光度计算

Research Progress in the Prediction of IOL Refraction after Corneal Laser Surgery

Fujiang Wang*, Xianglong Yi#^{ORCID}, Shamali-Halimubieke, Jing Wang, Liqun Chen

Department of Ophthalmology, The First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 10th, 2023; accepted: Jan. 5th, 2024; published: Jan. 11th, 2024

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王富江, 易湘龙, 沙玛丽·哈力木别克, 王静, 陈利群. 角膜激光术后人工晶状体屈光度预测的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(1): 439-446. DOI: 10.12677/acm.2024.141063

Abstract

With the increasing number of patients with refractive errors worldwide, corneal laser surgery is growing rapidly. The number of cataract surgeries following corneal laser surgery is also increasing yearly, and accurate prediction of IOL refraction has become an increasing challenge for ophthalmologists. These patients often have high expectations of visual quality. However, traditional IOL refraction prediction formulas have inaccurate calculated results. In the foreseeable future, the number of patients requiring cataract surgery after corneal laser surgery is expected to increase accordingly in an aging population. For these patients, ophthalmologists inevitably face the problem of accurately predicting IOL refraction. In China, corneal laser surgery has been performed for 30 years, and the vast majority of myopia patients receive myopia correction by excimer laser photo refractive keratectomy, excimer laser *in situ* keratomileusis, and femtosecond laser small incision lenticule extraction. The purpose of this paper is to summarise and recommend the currently available methods for predicting IOL refraction after these corneal laser procedures.

Keywords

Corneal Refractive Surgery, IOL, Cataract, Refractive Calculation

Copyright © 2024 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. 背景

角膜激光手术患者的 IOL 屈光度预测一直是眼科医师面临的一个挑战。为了精确预测 IOL 屈光度, 通常需要高质量的眼球生物测量, 获取眼轴长度、角膜曲率以及估算出有效晶状体位置(effective lens position, ELP) [1]。本文将描述眼球生物测量方法, 并结合 IOL 预测公式, 在角膜屈光手术后的眼睛中精确预测 IOL 屈光度。

目前, 准确测量角膜曲率和预测 ELP 是角膜激光手术后精准预测 IOL 屈光度的难点[2]。目前预测 IOL 屈光度主要采用 SimK, 该数值源于角膜曲率仪, 该类设备基于 Gullstrand 精密模型眼, 前、后表面曲率半径固定为 7.7/6.8, 角膜屈光指数(n)固定为 1.3375, 仅测量角膜前表面中央角膜曲率半径(r), 再通过公式 $K = (n - 1)/r$ 计算获得 SimK。角膜激光术后, 由于其前表面曲率半径的改变, 导致前、后表面曲率半径的固定关系发生改变, 屈光指数也相应发生变化, 因此, 不再适合 Gullstrand 精密模型眼的计算原理, 测量结果便出现误差。此外, 用于测量角膜曲率的一些方法不能测量出由于手术导致的中央区域的前曲率变化[3]。常规的方法高估了角膜屈光力, 导致计算出的 IOL 屈光度偏低, 术后出现远视偏差[4]。为了减少这些偏差, 有学者报道了更准确的确定角膜曲率的校正方法和回归公式[5]。角膜地形图测量方法的演变, 最终使得能够测量角膜后表面曲率计算总角膜屈光力。角膜地形图是描述角膜曲率的一种方法。目前已经有多种方法来生成角膜地形图。100 多年前由 Helmholtz 首次描述的角膜曲率测量中, 用四个反射光点定向投射在角膜表面上测量角膜前表面曲率。然而, 测量结果仅仅是接近真实的角膜曲率, 这使得角膜曲率计对于角膜激光手术后的眼睛测量结果欠佳。Placido 盘地形图(如 Atlas 9000 (Carl Zeiss Meditec AG, Germany))将黑白相间的 Placido 盘投射于角膜上, 并通过中央的小孔观测这些圆环之间的距离

变化来计算前角膜曲率,若这些圆环之间的距离差异不明显,则角膜表面形态变化小,且圆环之间的距离越小,表明该区域的角膜曲率越大;反之距离越大,曲率半径越小[6]。角膜曲率计和 Placido 盘地形图仅能测量角膜前表面曲率,然后通过正常角膜的综合折射率(1.3375)转换为总角膜屈光力。然而,对于角膜激光手术后的眼睛,由于术后角膜前表面曲率半径与术前并不相等,使得角膜后表面曲率同样关键[7]。Scheimpflug 摄像技术有助于测量角膜后表面曲率。Scheimpflug 成像基于旋转相机,通过预定的狭缝拍摄图像,从而获取前段的所有对焦图像[8]。经证明,Scheimpflug 成像在测量角膜后表面曲率方面可重复性佳[9]。光学相干断层扫描(OCT)技术也可以精确描述角膜前后表面曲率,该技术通过从发射的红外光的反向散射推断光密度来描述地形图[10]。在经典的 IOL 公式中,通过角膜曲率和前房深度(anterior chamber depth, ACD)来预测 ELP 及 IOL 屈光度。然而,由于角膜曲率和 ACD 会在角膜激光手术后发生改变[11],这导致经典的 IOL 公式对 ELP 的预测并不准确[12]。一些不使用角膜曲率来预测 ELP 的 IOL 计算公式,如 Haigis、Haigis-L 和 Shammas,能不同程度地减少误差[13]。Aramberri 指出用屈光术后的角膜曲率来确定 ELP 是有缺陷的,ACD 不会因为屈光手术而改变,于是他提出了“Double K”法,其中角膜激光术前的角膜曲率用于预测 ELP,术后的角膜曲率用于预测 IOL 屈光度[12]。眼轴长度的测量对于预测 IOL 屈光度同样关键。在过去,通过 A 超测定眼轴长度的精度欠佳,导致 IOL 屈光度的预测不够精确。光学生物测量法的出现提高了精度。1) 部分相干干涉测量法(PCI),其利用干涉测量法测量红外光从泪膜前表面到视网膜色素上皮层之间的距离[14]; 2) 光学低相干反射测量法(OLCR),可发出波长连续的光谱,因此可以提供比 PCI 更多的指标。不同的生物测量设备采用不同的技术组合来测量角膜地形图和眼轴长度,如 IOLMaster 500 (Carl Zeiss Meditec AG, Germany)采用自动角膜曲率计和 PCI 法;IOLMaster 700 (Carl Zeiss Meditec AG, Germany)采用远心光学技术和扫频源 OCT; Lenstar (Haag-Streit, Bern, Switzerland)采用镜面反射法和 OLCR; Pentacam HR (Oculus, Optikgeräte GmbH, Germany)采用 Scheimpflug 断层成像和 PCI 法。

IOL 公式可分为回归公式、光线追踪公式和基于机器学习(ML)的公式。经典的回归公式会基于高斯光学使用生物测量结果来计算 ELP 和 IOL 屈光度。然而,已有研究表明,这些方法并没有考虑人眼真实的光学特性。相比之下,光线追踪法利用 Snell 定律精准计算出每个光学表面上所有折射光线的轨迹。据报道,人工晶状体眼的光学特性可以通过光线追踪精确测量,基于该技术的新型 IOL 预测公式具有很大的潜力[15]。其中一个公式是 Okulix (Panopsis GmbH, Mainz, Germany),可以在一些常见的生物测量设备(Zeiss、Haag-Streit、Oculus 等)使用。Olsen [16]公式结合光线追踪,并与经典的生物测量相结合来精确地预测 ELP 并计算出高阶像差。对于 ML 公式,Hill radialbasis-function (RBF)公式完全基于机器学习开发,而 Kane 公式结合了机器学习和回归方法。自 2010 年以来,美国白内障和屈光手术学会(ASCRS)一直在维护一个公开的在线人工晶状体计算器(<https://ascrs.org/>),该计算器提供了很多可用的预测公式。

PRK、LASIK 和 SMILE 将是眼科医生在开展白内障手术时最常遇到角膜激光术式。

2. PRK 和 LASIK 术后人工晶状体屈光度预测

自从准分子激光在 20 世纪 80 年代末用于屈光手术治疗,最常见的手术方式是 PRK 和 LASIK [17]。因此,PRK 和 LASIK 术后的眼睛对精确预测 IOL 屈光度的需求越来越大。PRK 手术是将角膜上皮去除后,行准分子激光切削角膜基质。而 LASIK 手术先做一角膜板层帽,将其掀开后对角膜基质再行准分子激光切削[17]。PRK 和 LASIK 矫正近视或近视散光的原理是相同的,都是通过激光切削角膜基质使角膜曲率变的更平坦。

Wang 等人在 2010 年的研究中应用 ASCRS 线上计算器,使用三种方法代入公式对 PRK 和 LASIK 术后计算 IOL 屈光度进行预测精度的评估: 1) 屈光术前的角膜 K 值结合角膜切削的屈光改变量。2) 仅

使用角膜切削的屈光改变量。3) 无历史数据的方法。结果发现, 使用角膜切削的屈光改变量和无历史数据方法的准确性在统计学上没有差异, 都要比使用屈光术前的角膜 K 值结合角膜切削的屈光改变量的方法能给出更好的结果[18]。同年的另一项研究报道了 Shamas-PL 公式、Haigis-L 公式和结合 Masket 法的 Hoffer Q 公式受眼轴长度的影响最小, 并且与临床病史法(clinical history method, CHM)相比有着更高的准确性。由于 Shamas-PL 公式和 Haigis-L 公式并不需要屈光术前的历史数据, 眼科医师使用时更加简便快捷[19]。Yang 等人评估了 8 种不使用历史数据的 IOL 屈光度预测方法, 包括 Holladay 2 FlatK、Holladay 2 PCI-K、ASCRS-min、WangKoch-Maloney、ASCRS-average、Shamas no history、Haigis-L 和 ASCRS-max, 最后发现 Holladay 2 FlatK 是在没有历史数据的情况下最精确的 IOL 屈光度预测方法。而在 ASCRS 线上计算器中, ASCRS-min 的结果是最精确的[20]。Rosa 等人通过在 SRK/T 公式中输入校正因子, 来优化 IOLMaster 500 采集的生物测量值, 使绝对误差中位数达到 0.55 D [21]。Potvin 和 Hill 基于 Pentacam 的 Scheimpflug 断层摄像技术设计了一种专用于 PRK 和 LASIK 术后预测 IOL 屈光度的方法。由 Pentacam 测量并计算的以角膜顶点为中心 4.0 mm 区域的净角膜屈光力(true net power, TNP), 代入 Shamas no history 公式; 由 IOLMaster 500 和 Atlas 采集的生物测量数据用于 ASCRS 线上计算器。与 ASCRS 线上计算器上可用的公式进行比较, 发现基于 Scheimpflug 断层摄像技术的 Shamas no history 公式在计算 PRK/LASIK 术后 IOL 屈光度有着更高的精确度[22]。2015 年发表的一项研究显示, 在没有历史数据的情况下, 在角膜激光术后的眼睛中比较了术中像差测量法(Intraoperative aberrometry, IA)、基于 OCT 的 IOL 预测公式、Haigis-L 公式和 Masket 公式, 发现这些方法的计算精度无明显差异[23]。同年, ASCRS 线上计算器也更新了 LASIK/PRK 计算 IOL 屈光度的模块, 还加入了 Barrett True K (no history)和 RTVue (基于 OCT 技术的 IOL 预测公式), 在之前的研究中, 这两种新的公式预测角膜激光术后 IOL 屈光度与已有的公式相比表现出相同或更高的精度[24]。Abulafia 等人在近视 LASIK/PRK 术后的眼睛中进一步验证了 Barrett True K 公式。在 ASCRS 线上计算器对 Barrett True K 和 Barrett True K (no history)公式进行了简要的检验。Barrett True K 公式的绝对误差中位数(MedAE)显著小于除 Masket 公式外的所有其他公式。而在在缺乏历史数据的眼睛中, Barrett True K (no history)的 MedAE (0.41 D)也显著小于 Shamas (0.53 D)和 Haigis-L (0.62 D)公式[25]。Ferguson 等人提出, 使用 ASCRS 线上计算器需要手动将生物测量数据输入到网络界面中, 将这些公式嵌入到眼生物测量仪中并自动计算 IOL 是有优势的。他们报道了在 ASCRS 线上计算器中对近视和远视的眼睛使用了嵌入生物测量仪的 Barrett True K (no history)公式, 并与多种公式的准确性进行了比较。对于近视的眼睛, 嵌入式 Barrett True K (no history)公式导致最低的平均绝对误差 (MAE) (0.36 D), 其次是 ASCRS 计算器中的 Haigis-L 公式(0.41 D)。同样, 在远视眼中, Barrett True K (no history)公式产生最小的 MAE (0.41 D), 其次是 ASCRS (0.46 D)。作者认为, 嵌入生物测量仪的 Barrett True K (no history)公式与 ASCRS 多种公式(0.41 D)有着相同的精准确度[26]。在最近的另一项研究中, 作者在 Cassini 设备上使用 Haigis 公式计算角膜激光术后眼的 IOL 屈光度, 并将计算结果与 IOLMaster700 内置的公式进行了比较。他们发现 Cassini 的 Haigis 公式、Barrett True K (no history)和 Haigis-L 公式的 MedAEs 分别为: 0.34 D、0.34 D 和 0.49 D [27]。Gasparian 等人对近视和高度近视 LASIK/PRK 术后的眼睛进行了比较, 使用基于 IOLMaster 500 或 700 生物测量仪的 Barrett True K (no history)公式与 IA。研究表明, IA 患者的 MedAE (0.42 vs. 0.49 D, $p = 0.001$)和 MAE (0.51 vs. 0.58 D, $p = 0.002$)显著低于 Barrett True K (no history)公式, 但在目标屈光度在 0.25 D、0.5 D 和 0.75 D 范围内的比例没有显著差异。因此, 作者认为这两种方法的准确性相当[28]。

3. SMILE 术后的人工晶状体屈光度预测

SMILE 手术于 2011 年开始应用于临床, 是目前最新的角膜激光手术。其使用飞秒激光在角膜基质

内切削出透镜,再用飞秒激光制作一个 2 mm 左右的微小切口取出透镜。由于 SMILE 手术是小切口且无需制瓣,可以减少角膜瓣相关的并发症,如角膜瓣移位、脱落,上皮植入的发生率也明显下降[29]。与 LASIK 相比,SMILE 术后角膜敏感性恢复更快[30],角膜和角膜神经纤维的结构完整性优于制瓣的角膜屈光手术,术后干眼症的发生率降低[31]。SMILE 术后角膜生物力学强度也明显高于 PRK 和 LASIK [32],因此 SMILE 在安全、有效和可预测性方面均是更有优势的角膜屈光手术方式,是目前主流的角膜屈光手术之一[33] [34]。在可预见的将来,在人口老龄化的情况下,SMILE 术后需要进行白内障手术的患者数量预计也会随之增加。通常这些患者对术后视觉质量有很高的期望,如何精准计算 SMILE 术后患者白内障人工晶体屈光度是眼科医师面临的难题。

学者们针对 SMILE 术后预测 IOL 屈光度进行了不同方向的探索。Lazaridis 等[35]基于 Pentacam HR 和 IOLMaster 500,使用一个虚拟人工晶状体植入的理论模型来评估射线追踪和四个传统人工晶状体屈光度计算公式(Haigis, Hoffer Q, Holladay, SRK/T)之间的预测误差。研究表明,射线追踪法是预测近视 SMILE 术后人工晶状体屈光度最准确的方法。另一项理论研究中,Luft 等[36]同样基于 Pentacam HR 和 IOLMaster 500,将射线追踪法预测的人工晶状体术后残余屈光度与 ASCRS(美国白内障和屈光外科学会 <https://ascrs.org>)角膜屈光术后人工晶状体屈光度计算器中的一系列常规人工晶状体屈光度计算公式预测的相同人工晶状体的剩余屈光差进行了比较,在 88 只 SMILE 术后眼的研究中,Masket 公式显示最小的平均预测误差和中值绝对误差(参考射线追踪法的预测),Barrett True K、Barrett True K No History 以及 Potvin-Hill 公式表现相当。还有一项纯理论研究中,Zhu 等人[37]使用等效人工晶状体度数差(EILD)的概念作为衡量 SMILE 术后眼的四种传统人工晶状体计算公式“稳定性”的指标。Barrett True-K 和 Haigis 公式在眼轴长度为 24~26 mm 的情况下显示出相似的稳定性。在眼轴长度 > 26 mm 的情况下,Barrett True-K 公式是最“稳定”的公式。Anouar Meziane Elotmani 等人[38]研究对比了 SMILE 术后使用 Barrett True-K、Barrett True-K + TK (Total Keratometry)、Haigis + TK、Okulix、Haigis-L 预测 IOL 屈光度的精确性,结果 Okulix 的预测误差的方差与 Barrett True-K + TK 相比无显著差异($p = 0.471$)。Okulix 的预测误差在 ± 0.50 D 范围内的眼睛百分比最高,其次是 Haigis + TK、Barrett True-K + TK、Barrett True-K 和 Haigis-L。这些研究部分回答了 SMILE 术后 IOL 屈光度预测的问题。

4. 结论

常规方法预测角膜激光术后 IOL 屈光度是不精确的[39]。近几年,Barrett True K 公式用于计算 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度的精确性得到了广泛认可,被认为是角膜激光术后预测 IOL 屈光度最准确的公式之一。新技术如 IA 同样是一种可行的方法,在最近的一项研究中,表现出比 Barrett True K 更高的精确性。而 ASCRS 线上计算器计算 LASIK/PRK 术后人工晶状体屈光度的平均值与 Barrett True K 公式计算的准确性相当。

由于 SMILE 手术 2011 年才开始应用于临床,因此对于 SMILE 术后预测 IOL 屈光度准确性的研究并不充分。SMILE 手术在全球已进行了超过 500 万次,已成为矫正近视和近视散光的成熟且主流的角膜激光手术之一。在可预见的将来,SMILE 术后需要进行白内障手术的患者数量预计也会随之增加。如何精准预测 SMILE 术后患者白内障 IOL 屈光度是眼科医师面临的难题。从目前报道的几个理论研究来看,Barrett True K 公式和 Masket 公式的预测 SMILE 术后 IOL 屈光度有着更高的精度。基于 Pentacam HR 和 IOLMaster 500 生物测量仪的 Okulix 光线追踪软件似乎是预测 SMILE 术后 IOL 屈光度最精确的方法。

总之,专用于角膜激光术后的新一代公式(如 Barrett True K 公式)提高了预测 IOL 屈光度的准确性,但还没有达到正常眼睛的预测精度。光线追踪法或 IA 这样的新技术也能进一步提升角膜屈光术后预测 IOL 屈光度的精确性。人工智能 IOL 预测公式也在快速演进,未来有望进一步提高对 IOL 屈光度预测的

准确性，且不限于既往行角膜激光手术的眼睛。

参考文献

- [1] Speicher, L. (2001) Intra-Ocular Lens Calculation Status after Corneal Refractive Surgery. *Current Opinion in Ophthalmology*, **12**, 17-29. <https://doi.org/10.1097/00055735-200102000-00005>
- [2] Wang, L. and Koch, D.D. (2021) Intraocular Lens Power Calculations in Eyes with Previous Corneal Refractive Surgery: Review and Expert Opinion. *Ophthalmology*, **128**, E121-E131. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.06.054>
- [3] Tang, M., Li, Y., Avila, M. and Huang, D. (2006) Measuring Total Corneal Power before and after Laser *in Situ* Keratomileusis with High-Speed Optical Coherence Tomography. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **32**, 1843-1850. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.04.046>
- [4] Helaly, H.A., El-Hifnawy, M.A., Shaheen, M.S. and Abou El-Kheir, A.F. (2016) Accuracy of Corneal Power Measurements for Intraocular Lens Power Calculation after Myopic Laser *in Situ* Keratomileusis. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, **23**, 122-128. <https://doi.org/10.4103/0974-9233.171755>
- [5] Rosa, N., De Bernardo, M. and Borrelli, M. (2018) Calculation of Unknown Preoperative K Readings in Postrefractive Surgery Patients. *Journal of Ophthalmology*, **2018**, Article ID: 3120941. <https://doi.org/10.1155/2018/3120941>
- [6] Swartz, T., Marten, L. and Wang, M. (2007) Measuring the Cornea: The Latest Developments in Corneal Topography. *Current Opinion in Ophthalmology*, **18**, 325-333. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e3281ca7121>
- [7] Zhao, Y., Chen, D., Savini, G., Wang, Q., Zhang, H., Jin, Y., *et al.* (2020) The Precision and Agreement of Corneal Thickness and Keratometry Measurements with SS-OCT versus Scheimpflug Imaging. *Eye and Vision*, **7**, Article No. 32. <https://doi.org/10.1186/s40662-020-00197-0>
- [8] Wegener, A. and Laser-Junga, H. (2009) Photography of the Anterior Eye Segment according to Scheimpflug's Principle: Options and Limitations—A Review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, **37**, 144-154. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2009.02018.x>
- [9] de Jong, T., Sheehan, M.T., Koopmans, S.A. and Jansonius, N.M. (2017) Posterior Corneal Shape: Comparison of Height Data from 3 Corneal Topographers. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **43**, 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.03.021>
- [10] Nakagawa, T., Maeda, N., Higashiura, R., Hori, Y., Inoue, T. and Nishida, K. (2011) Corneal Topographic Analysis in Patients with Keratoconus Using 3-Dimensional Anterior Segment Optical Coherence Tomography. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **37**, 1871-1878. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.05.027>
- [11] De Bernardo, M., Borrelli, M., Imparato, R., Cione, F. and Rosa, N. (2020) Anterior Chamber Depth Measurement before and after Photorefractive Keratectomy. Comparison between IOLMaster and Pentacam. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **32**, Article ID: 101976. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101976>
- [12] Aramberri, J. (2003) Intraocular Lens Power Calculation after Corneal Refractive Surgery: Double-K Method. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **29**, 2063-2068. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(03\)00957-X](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(03)00957-X)
- [13] Haigis, W. (2008) Intraocular Lens Calculation after Refractive Surgery for Myopia: Haigis-L Formula. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **34**, 1658-1663. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.06.029>
- [14] Haigis, W., Lege, B., Miller, N. and Schneider, B. (2000) Comparison of Immersion Ultrasound Biometry and Partial coherence Interferometry for Intraocular Lens Calculation according to Haigis. *Graefes' Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology/Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie*, **238**, 765-773. <https://doi.org/10.1007/s004170000188>
- [15] Ghoreyshi, M., Khalilian, A., Peyman, M., Mohammadinia, M. and Peyman, A. (2018) Comparison of OKULIX Ray-Tracing Software with SRK-T and Hoffer-Q Formula in Intraocular Lens Power Calculation. *Journal of Current Ophthalmology*, **30**, 63-67. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2017.06.008>
- [16] Olsen, T. and Hoffmann, P. (2014) C Constant: New Concept for Ray Tracing-Assisted Intraocular Lens Power Calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **40**, 764-773. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.10.037>
- [17] Hersh, P.S., Brint, S.F., Maloney, R.K., Durrie, D.S., Gordon, M., Michelson, M.A., *et al.* (1998) Photorefractive Keratectomy versus Laser *in Situ* Keratomileusis for Moderate to High Myopia. A Randomized Prospective Study. *Ophthalmology*, **105**, 1512-1522. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(98\)98038-1](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(98)98038-1)
- [18] Wang, L., Hill, W.E. and Koch, D.D. (2010) Evaluation of Intraocular Lens Power Prediction Methods Using the American Society of Cataract and Refractive Surgeons Post-Keratometric Intraocular Lens Power Calculator. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **36**, 1466-1473. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.03.044>
- [19] McCarthy, M., Gavanski, G.M., Paton, K.E. and Holland, S.P. (2011) Intraocular Lens Power Calculations after Myopic Laser Refractive Surgery: A Comparison of Methods in 173 Eyes. *Ophthalmology*, **118**, 940-944.

- <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.08.048>
- [20] Yang, R., Yeh, A., George, M.R., Rahman, M., Boerman, H. and Wang, M. (2013) Comparison of Intraocular Lens Power Calculation Methods after Myopic Laser Refractive Surgery without Previous Refractive Surgery Data. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **39**, 1327-1335. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.03.032>
- [21] Rosa, N., Cione, F., Pepe, A., Musto, S. and De Bernardo, M. (2020) An Advanced Lens Measurement Approach (ALMA) in Post Refractive Surgery IOL Power Calculation with Unknown Preoperative Parameters. *PLOS ONE*, **15**, e0237990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237990>
- [22] Potvin, R. and Hill, W. (2015) New Algorithm for Intraocular Lens Power Calculations after Myopic Laser *in Situ* Keratomileusis Based on Rotating Scheimpflug Camera Data. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **41**, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.05.040>
- [23] Fram, N.R., Masket, S. and Wang, L. (2015) Comparison of Intraoperative Aberrometry, OCT-Based IOL Formula, Haigis-L, and Masket Formulae for IOL Power Calculation after Laser Vision Correction. *Ophthalmology*, **122**, 1096-1101. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.01.027>
- [24] Wang, L., Tang, M., Huang, D., Weikert, M.P. and Koch, D.D. (2015) Comparison of Newer Intraocular Lens Power Calculation Methods for Eyes after Corneal Refractive Surgery. *Ophthalmology*, **122**, 2443-2449. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.08.037>
- [25] Abulafia, A., Hill, W.E., Koch, D.D., Wang, L. and Barrett, G.D. (2016) Accuracy of the Barrett True-K Formula for Intraocular Lens Power Prediction after Laser *in Situ* Keratomileusis or Photorefractive Keratectomy for Myopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **42**, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2015.11.039>
- [26] Ferguson, T.J., Downes, R.A. and Randleman, J.B. (2022) IOL Power Calculations after LASIK or PRK: Barrett True-K Biometer-Only Calculation Strategy Yields Equivalent Outcomes as a Multiple Formula Approach. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **48**, 784-789. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000883>
- [27] Fernández-Rosés, J., Lamarca, J., Hoffer, K.J., Beltrán-Saiz, A., Barraquer, R.I. and Savini, G. (2022) Color LED Reflection Topography: Validation of Equivalent Keratometry Reading for IOL Power Calculation in Eyes with Previous Corneal Myopic Refractive Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **48**, 32-36. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000709>
- [28] Gasparian, S.A., Nassiri, S., You, H., Vercio, A. and Hwang, F.S. (2022) Intraoperative Aberrometry Compared to Preoperative Barrett True-K Formula for Intraocular Lens Power Selection in Eyes with Prior Refractive Surgery. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 7357. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11462-8>
- [29] Ivarsen, A., Asp, S. and Hjortdal, J. (2014) Safety and Complications of More than 1500 Small-Incision Lenticule Extraction Procedures. *Ophthalmology*, **121**, 822-828. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.11.006>
- [30] Zhang, Y., Shen, Q., Jia, Y., Zhou, D. and Zhou, J. (2016) Clinical Outcomes of SMILE and FS-LASIK Used to Treat Myopia: A Meta-Analysis. *Journal of Refractive Surgery*, **32**, 256-265. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20151111-06>
- [31] Shah, R., Shah, S. and Sengupta, S. (2011) Results of Small Incision Lenticule Extraction: All-in-One Femtosecond Laser Refractive Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **37**, 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.07.033>
- [32] Reinstein, D.Z., Archer, T.J. and Randleman, J.B. (2013) Mathematical Model to Compare the Relative Tensile Strength of the Cornea after PRK, LASIK, and Small Incision Lenticule Extraction. *Journal of Refractive Surgery*, **29**, 454-460. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20130617-03>
- [33] Luft, N., Schumann, R.G., Dirisamer, M., Kook, D., Siedlecki, J., Wertheimer, C., *et al.* (2018) Wound Healing, Inflammation, and Corneal Ultrastructure after SMILE and Femtosecond Laser-Assisted LASIK: A Human *ex Vivo* Study. *Journal of Refractive Surgery*, **34**, 393-399. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20180425-02>
- [34] Anders, P., Anders, L.M., Barbara, A., Szentmary, N., Langenbucher, A. and Gatziofias, Z. (2022) Intraocular Lens Power Calculation in Eyes with Previous Corneal Refractive Surgery. *Therapeutic Advances in Ophthalmology*, **14**, 1-10. <https://doi.org/10.1177/25158414221118524>
- [35] Lazaridis, A., Schraml, F., Preußner, P.R. and Sekundo, W. (2021) Predictability of Intraocular Lens Power Calculation after Small-Incision Lenticule Extraction for Myopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **47**, 304-310. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000405>
- [36] Luft, N., Siedlecki, J., Schworm, B., Kreutzer, T.C., Mayer, W.J., Priglinger, S.G., *et al.* (2020) Intraocular Lens Power Calculation after Small Incision Lenticule Extraction. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 5982. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63118-0>
- [37] Zhu, W., Zhang, F.J., Li, Y. and Song, Y.Z. (2020) Stability of the Barrett True-K Formula for Intraocular Lens Power Calculation after SMILE in Chinese Myopic Eyes. *International Journal of Ophthalmology*, **13**, 560-566. <https://doi.org/10.18240/ijjo.2020.04.05>

- [38] Meziane Elotmani, A., Messerschmidt-Roth, A., Nehme, A., Müller, H.H. and Sekundo, W. (2023) Comparison of Intraocular Lens Power Calculation Formulas with and without Total Keratometry and Ray Tracing in Patients with Previous Myopic SMILE. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **49**, 467-473. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000001139>
- [39] Pantanelli, S.M., Lin, C.C., Al-Mohtaseb, Z., Rose-Nussbaumer, J.R., Santhiago, M.R., Steigleman III., W.A., *et al.* (2021) Intraocular Lens Power Calculation in Eyes with Previous Excimer Laser Surgery for Myopia: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*, **128**, 781-792. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.10.031>