

# 改良 Haigis 方法计算近视屈光手术后人工晶状体屈光度的准确性

李鸿钰, 李军, 宋慧

引用:李鸿钰,李军,宋慧. 改良 Haigis 方法计算近视屈光手术后人工晶状体屈光度的准确性. 国际眼科杂志 2022;22(6):1044-1048

作者单位:(300020) 中国天津市,天津医科大学眼科临床学院天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科研究所

作者简介:李鸿钰,在读博士研究生,住院医师,研究方向:白内障、眼视光。

通讯作者:宋慧,毕业于天津医科大学,博士,主任医师,研究方向:白内障、眼视光. [songh221@hotmail.com](mailto:songh221@hotmail.com)

收稿日期:2021-10-14 修回日期:2022-05-12

## 摘要

**目的:**比较改良 Haigis 公式计算近视准分子激光术后人工晶状体(IOL)屈光度的准确性。

**方法:**选取 2014-02/2019-03 在天津市眼科医院行超声乳化联合 IOL 植入术的白内障患者 31 例 31 眼,所有患者既往均接受过近视角膜屈光手术(LASIK/PRK),白内障术后至少随访 6mo 进行验光。比较不同角膜半径范围(2.0、3.0、4.0、4.5、5.0mm)的等效角膜曲率(EKR)联合 Haigis 公式计算近视术后 IOL 屈光度的准确性,得到改良 Haigis 公式,进而比较改良 Haigis 公式与 Barrett true K、Haigis-L、Shammas-PL 公式计算近视术后 IOL 屈光度的准确性。

**结果:**4.0mm EKR 联合 Haigis 公式计得到的术后中位数绝对屈光误差(MedAE)和平均绝对屈光误差(MAE)明显低于 4.5mm EKR 和 5.0mm EKR (均  $P < 0.01$ ),且术后屈光误差(PE)在  $\pm 0.50$ 、 $\pm 1.00$ 、 $\pm 2.00$ D 范围内的患者百分比也明显高于 4.5mm EKR 和 5.0mm EKR (均  $P < 0.05$ ),故将 4.0mm EKR 联合 Haigis 公式命名为改良 Haigis 公式。改良 Haigis、Barrett true K、Haigis-L、Shammas-PL 公式的术后 MedAE 分别为 0.58(0.27, 1.12)、0.51(0.30, 1.15)、1.26(0.67, 1.72)、0.77(0.36, 1.45) D,术后 PE 在  $\pm 0.50$ D 和  $\pm 1.00$ D 内的患者百分比分别为 42% 和 74%、52% 和 71%、22% 和 42%、32% 和 61%。在眼轴长度(AL)  $< 27$ mm 和  $27$ mm  $\leq$  AL  $\leq 30$ mm 患者中,Haigis-L 公式的术后 PE 值高于改良 Haigis 公式( $P = 0.019$ 、 $0.0142$ )和 Barrett true K 公式( $P = 0.002$ 、 $< 0.001$ )。在  $27$ mm  $\leq$  AL  $\leq 30$ mm 患者中,Haigis-L 公式的术后 PE 值高于 Shammas-PL 公式( $P = 0.003$ ),其余各组间均无明显差异( $P > 0.05$ )。

**结论:**4.0mm EKR 联合 Haigis 公式可以用于近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度的计算,其准确性与 Barrett true K 公式相当,且 AL 越长,患者术后发生远视漂移的可能性越高。

**关键词:**人工晶状体屈光度计算;近视;屈光手术;Haigis;等效角膜曲率

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.6.32

## Accuracy of modified Haigis method calculates for intraocular lens refractive degree after myopic refractive surgery

Hong-Yu Li, Jun Li, Hui Song

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University; Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key Lab of Ophthalmology and Visual Science; Tianjin Eye Institute, Tianjin 300020, China

**Correspondence to:** Hui Song. Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University; Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key Lab of Ophthalmology and Visual Science; Tianjin Eye Institute, Tianjin 300020, China. [songh221@hotmail.com](mailto:songh221@hotmail.com)

Received: 2021-10-14 Accepted: 2022-05-12

## Abstract

• **AIM:** To compare and modify the accuracy of the Haigis formula calculates for intraocular lens (IOL) refraction after myopic excimer laser surgery.

• **METHODS:** The clinical records of 31 patients (31 eyes) who firstly accepted myopic corneal refractive surgery (LASIK/PRK) and then underwent phacomulsification was combined with IOL implantation in Tianjin Eye Hospital between February 2014 and March 2019 were finally enrolled in this study. Postoperative refraction was performed at least 6mo after cataract surgery. To compare the accuracy of equivalent keratometry readings (EKR) of different corneal radius (2.0, 3.0, 4.0, 4.5, 5.0mm) combined with the Haigis formula to calculate the IOL diopter after myopia, obtain the modified Haigis formula, and then compare the modified Haigis formula with the accuracy of Barrett true K, Haigis-L and Shammas-PL formulas for calculating IOL diopter after myopia.

• **RESULTS:** The median absolute error (MedAE) and mean absolute error (MAE) of 4.0mm EKR Haigis formula was significantly lower than that of 4.5mm and 5.0mm EKR (all  $P < 0.01$ ). And the refractive prediction error (PE) also had a higher percentage of eyes in  $\pm 0.50$ D,  $\pm 1.00$ D and  $\pm 2.00$ D than that of 4.5mm EKR and 5.0mm EKR (all  $P < 0.05$ ). Thus, 4.0mm EKR Haigis formula was considered as the modified Haigis formula. The Postoperative MedAE of modified Haigis, Barrett true K, Haigis-L and Shammas-PL were 0.58 (0.27, 1.12), 0.51 (0.30, 1.15), 1.26 (0.67, 1.72), 0.77 (0.36, 1.45) D respectively. Moreover, the percentages of eyes with postoperative PE in  $\pm 0.50$ D and  $\pm 1.00$ D of the above formulae were 42% and 74%, 52% and 71%, 22% and 42%, 32% and 61%

respectively. In eyes with axial length (AL) < 27mm and 27mm ≤ AL ≤ 30mm, the postoperative PE value of Haigis-L formula was higher than that of modified Haigis ( $P=0.019, 0.0142$ ) and Barrett true K formula ( $P=0.002, <0.001$ ). In patients with 27mm ≤ AL ≤ 30mm, the postoperative PE value of Haigis-L formula was higher than that of Shammas-PL formula ( $P=0.003$ ), and there was no significant difference among the other groups ( $P>0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Haigis formula combined with the 4.0mm EKR can be used to calculate the IOL power in eyes after myopic LASIK/PRK, and its accuracy is comparable to the Barrett true K formula. However, the longer the AL is, the higher the possibility of hyperopic drift postoperatively might occur with the modified Haigis.

• **KEYWORDS:** intraocular lens refractive calculation; myopia; refractive surgery; Haigis; equivalent keratometry

**Citation:** Li HY, Li J, Song H. Accuracy of modified Haigis method calculates for intraocular lens refractive degree after myopic refractive surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(6):1044-1048

## 0 引言

近年来,越来越多的患者选择角膜屈光手术矫正屈光不正。随着年龄的增长,早期接受过准分子激光角膜手术[如 LASIK (laser-assisted *in situ* keratomileusis)、PRK (photorefractive keratectomy)]的患者现在也面临着白内障手术。角膜屈光手术后的患者往往对白内障术后的屈光效果有更高的期望值,对屈光预测误差的容忍度更低。角膜屈光手术后人工晶状体(intraocular lens, IOL)屈光度计算误差主要有两个来源,即角膜曲率(keratometry, K)测量误差和有效晶状体位置(effective lens position, ELP)预估误差<sup>[1-2]</sup>。以上两种误差导致近视屈光手术后低估 IOL 屈光度,而远视屈光手术后则高估 IOL 屈光度。

角膜曲率测量误差本身是一个两面性问题。目前临床上常用的手动角膜曲率计和 IOL Master 等仪器均未正确测量近视切削后中心角膜的曲率,且这些仪器均未考虑准分子激光切削后角膜后前表面曲率半径比值(back to front corneal radius ratio, B/F Ratio)的变化,错误地采用不合适的角膜折射指数计算角膜屈光力。近年来,新型测量仪器 Pentacam 眼前节分析仪的使用在一定程度上减少了屈光术后角膜曲率测量误差。考虑到患者屈光手术后 B/F Ratio 的变化, Pentacam 提供了等效角膜曲率(equivalent keratometry reading, EKR)矫正角膜曲率<sup>[3]</sup>。EKR 主要评估角膜前表面中央曲率,其能反映整个平均人群角膜后表面曲率的差异,因此可以与常规公式(Holladay II, Haigis)结合使用<sup>[4-5]</sup>。既往已有研究评估不同角膜半径范围的 EKR 在计算角膜屈光手术后角膜曲率的准确性,然而报道结果不一致<sup>[6]</sup>。

ELP 预估误差在正常眼中也具有挑战性,但其在近视准分子激光切削术后会带来额外的挑战,特别是在使用角膜曲率而不是前房深度(anterior chamber depth, ACD)预估 ELP 的 IOL 公式中。与传统的第三代公式不同, Haigis 使用一组不同的常数( $a_0, a_1$  和  $a_2$ )和 ACD 估计 ELP<sup>[7]</sup>,被认为是近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度计算的候选公

式之一<sup>[8]</sup>。早期研究表明 Haigis 与 ERK 结合可以提高近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度计算的准确性,但是缺乏与最新公式的比较<sup>[5,9]</sup>。因此,本研究的目的在于比较不同角膜半径的 EKR 与 Haigis 结合计算近视准分子激光角膜切削术后 IOL 屈光度的准确性,进而得到改良的 Haigis 公式,并且与 Barrett true K、Haigis-L、Shammas-PL 公式进行比较。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 回顾性研究。选取 2014-02/2019-03 在天津市眼科医院白内障中心诊断为白内障的患者 31 例 31 眼,其中男 15 例,女 16 例;右眼 14 眼,左眼 17 眼;年龄 29~70 (平均  $52.00 \pm 8.94$ ) 岁;眼轴长度(axial length, AL)为 25.11~33.63 (平均  $28.52 \pm 2.48$ ) mm;ACD 为 2.56~4.08 (平均  $3.41 \pm 0.42$ ) mm;角膜曲率为 31.88~41.67 (平均  $37.75 \pm 2.49$ ) D;接受 LASIK 手术者 20 眼,接受 PRK 手术者 11 眼;白内障术后最佳矫正视力(LogMAR) ≥ 0 者 14 眼(45%), 7 眼(23%)为 0.1, 4 眼(13%)为 0.3。纳入标准:(1)既往接受过近视准分子激光角膜手术;(2)术前光学测量采用 IOL Master 或者 Pentacam 眼前节分析仪,检查质量为“OK”,有效数据>95%;(3)术中、术后无相关并发症发生;(4)术后至少随访 6mo 进行客观验光,最佳矫正视力(LogMAR) ≥ 0.3。排除标准:(1)有严重全身疾病者;(2)有角膜疾病、青光眼、眼底疾病及眼部活动性病变等影响检查者;(3)检查前 2wk 内配戴角膜接触镜者。本研究符合《赫尔辛基宣言》,通过本院伦理委员会批准,所有患者均对手术方案知情同意。

## 1.2 方法

**1.2.1 术前检查及手术方法** 常规术前眼科检查包括视力、眼压、裂隙灯检查、眼 B 超、散瞳后眼底检查、角膜内皮细胞计数及光学相干断层扫描技术等。光学生物测量(IOL Master 500)和角膜地形图(Pentacam HR)检查由同一位检查者完成。白内障手术由同一位经验丰富的手术医师在表面麻醉下进行,采用颞上方 2.2mm 透明角膜切口进行超声乳化白内障摘除联合单焦点非球面 IOL 植入术,术后均给予相同的抗炎药物治疗。

**1.2.2 IOL 屈光度计算及常数优化** 本研究首先比较了不同角膜半径范围(2.0、3.0、4.0、4.5、5.0mm)的 EKR 联合 Haigis 公式计算近视准分子术后 IOL 屈光度的准确性。通过将 EKR 输入 IOL Master 可以直接联合 Haigis 公式计算 IOL 屈光度。最终植入的 IOL 屈光度选择 4.0mm EKR 联合 Haigis 公式计算的结果,目标屈光度的选择根据患者日常用眼习惯及眼底情况而定。ASCRS 网上计算器(<http://www.ascrs.org>)用于 Barrett true K<sup>[10]</sup>、Haigis-L<sup>[11]</sup>和 Shammas-PL<sup>[12]</sup>公式的计算。IOL 的 A 常数采用手术医师常用的优化值, Haigis 常数( $a_0, a_1, a_2$ )运用 ULIB 网站(<http://www.augenklinik.uniwuertzburg.de/eulib/>)推荐的优化值。本研究纳入患者植入的 IOL 屈光度为 12.5~25.5 (平均  $18.45 \pm 3.35$ ) D。

**1.2.3 观察指标** 术后随访 183~2102d (平均  $1.28 \pm 1.93$ a)。观察术后 6mo 屈光误差(prediction error, PE)、平均绝对屈光误差(mean absolute error, MAE)和中位数绝对屈光误差(median absolute error, MedAE),其中 PE 定义为实际术后等效球镜与术前预留等效球镜的差值;MAE 和 MedAE 分别指将术后 PE 取绝对值后得到的平均值和中



位数,并比较不同公式和眼轴分组术后 PE 在  $\pm 0.50$ 、 $\pm 1.00$ 、 $\pm 2.00D$  范围内的患者百分比。

统计学分析:采用 SPSS 24.0 及 GraphPad 8.0 软件统计及分析数据。采用 Kolmogorow-Smirnov 检验判断计量资料是否服从正态分布,符合正态分布则以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,非正态分布则以中位数(四分位数间距) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,采用 Friedman 秩和检验和成组  $T$  检验比较不同公式术后 MedAE 或 MAE 的差异。不同屈光误差范围内的患者百分比的比较采用 Cochran's  $Q$  检验。多组间多重比较采用 Bonferroni 法校正检验水准。 $P<0.05$  认为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 不同公式计算 IOL 屈光度的准确性** 比较不同角膜半径 EKR 联合 Haigis 公式计算近视屈光术后 IOL 屈光度的准确性发现,4.0mm EKR 联合 Haigis 公式计算得到的术后 MedAE 和 MAE 明显低于 4.5mm EKR 和 5.0mm EKR (均  $P<0.01$ ),其计算得到的术后 PE 在  $\pm 0.50D$  ( $P=0.021$ 、 $0.006$ )、 $\pm 1.00D$  (均  $P<0.001$ )、 $\pm 2.00D$  (均  $P<0.001$ ) 范围内的患者百分比也明显高于 4.5mm EKR 和 5.0mm EKR,尽管 4.0mm EKR 联合 Haigis 公式计算得到的术后屈光效果数值优于 2.0mm EKR 和 3.0mm EKR,但差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 1。

既往认为 4.0mm 范围内的角膜曲率更接近近视屈光术后患者的真实角膜曲率,本研究认为 4.0mm EKR 联合 Haigis 公式更适用于近视角膜屈光术后 IOL 屈光度的计算,故将其命名为改良 Haigis 公式。比较改良 Haigis 公式与 Barrett true K、Haigis、Shammas-PL 公式计算近视屈光术后 IOL 屈光度的准确性发现,改良 Haigis 公式的术后 MedAE 明显低于 Haigis-L 公式 ( $P<0.001$ ),而与 Barrett true K、Shammas-PL 公式相比差异无统计学意义 ( $P=1.000$ 、 $0.764$ ),但 Barrett true K、Shammas-PL 公式的术后 MedAE 低于 Haigis-L 公式 (均  $P<0.001$ )。另外,改良 Haigis 公式的术后 PE 在  $\pm 0.50$ 、 $\pm 1.00$ 、 $\pm 2.00D$  范围内的患者百分比与 Barrett true K、Haigis、Shammas-PL 公式相比差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ ),但 Barrett true K 公式的术后 PE 在  $\pm 0.5$ 、 $\pm 1.0D$  范围内的患者百分比高于 Haigis-L 公式 ( $P=0.048$ 、 $0.035$ ),见表 1。

**2.2 不同公式计算不同 AL 患者 IOL 屈光度的准确性** 既往研究显示中国人口的 AL 明显长于其他人种<sup>[13-14]</sup>。本研究根据 AL 差异将患者分为 3 组:A 组 10 例 10 眼,AL<27.0mm;B 组 13 例 13 眼,27.0 $\leq$ AL $\leq$ 30.0mm;C 组 8 例 8 眼,AL>30.0mm<sup>[8,15]</sup>。不同 AL 患者 4 种 IOL 屈光度计算公式的术后 PE 分布情况见图 1,随着 AL 的增加,改良 Haigis 公式的术后 PE 有从近视漂移向远视漂移转变的趋势。A 组和 B 组患者 Haigis-L 公式的术后 PE 值高于改良 Haigis 公式 ( $P=0.019$ 、 $0.0142$ ) 和 Barrett true K 公式 ( $P=0.002$ 、 $<0.001$ );B 组患者 Haigis-L 公式的术后 PE 值高于 Shammas-PL 公式 ( $P=0.003$ );C 组患者 4 个公式的术后 PE 值差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。比较不同 AL 患者 4 种 IOL 屈光度公式的术后 MedAE、MAE 及 PE 在不同屈光范围内的患者百分比,结果显示差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ ),见表 2。

## 3 讨论

近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度的计算对于白内障

手术医师来说一直是一个挑战。在过去的数十年里,学者们共提出了十几种方法解决近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度计算的可预测性问题。这些方法主要被分为两类:(1)基于近视手术前临床数据;(2)不使用历史临床数据。然而,由于面临近视手术前临床数据缺失及不可信的问题,目前临床上主要采用不使用历史临床数据的方法计算近视角膜屈光手术后患者的 IOL 屈光度,其中 Barrett true K、Haigis-L、Shammas-PL 公式近几年逐渐受到临床医师的青睐。

由于近视角膜屈光手术改变了角膜前表面中央曲率,因此角膜曲率测量的精度对 IOL 屈光度计算的准确性影响很大。自从 Scheimpflug 断层扫描相机问世以来,极大地提高了角膜曲率测量的准确性,且已成为测量角膜屈光手术后角膜曲率改变的金标准。然而早期基于 Scheimpflug 断层扫描相机的 Pentacam HR 版本无法测量患者的 AL,不具备计算 IOL 屈光度的功能。因而本研究选择将 Pentacam HR 测量得到的 EKR 联合 IOL Master 500 仪器内自带的 Haigis 公式计算近视角膜屈光术后患者的 IOL 屈光度。EKR 主要基于 Snell 定律,并且考虑了实际 B/F Ratio 值测量角膜曲率,且其可以直接带入传统公式中用于 IOL 屈光度的计算。Haigis 公式除了考虑 AL、角膜曲率外,还考虑了 ACD 对 ELP 的影响,这可以有效避免术后 ELP 预估错误。

既往研究关于 EKR 计算近视角膜屈光术后 IOL 屈光度准确性的结论是存在争议的。Ng 等<sup>[6]</sup>发现,近视 LASIK 术后患者 4.0mm 半径范围的 EKR 与真实角膜净屈光力(true net power, TNP)及总角膜屈光力(total corneal refractive power, TCRP)是存在差异的,反而与临床病史方法计算得到的角膜曲率无明显区别。另有研究比较不同半径范围的 EKR、TNP、TCRP 联合不同公式计算近视角膜屈光术后 IOL 屈光度准确性时也发现 4.0mm EKR 联合 Shammas-PL 及 Haigis 公式是最佳选择<sup>[5]</sup>。相对于 TNP、TCRP 而言,EKR 更适合联合第三、四代传统公式用于早期准分子激光或放射状角膜切开术矫正屈光不正患者的 IOL 屈光度计算<sup>[16-17]</sup>。本研究在比较不同角膜半径范围(2.0、3.0、4.0、4.5、5.0mm)EKR 联合 Haigis 公式计算近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度准确性时发现 4.0mm 半径范围的 EKR 计算得到的术后屈光效果最佳,并将其命名为改良 Haigis 公式。我们发现改良 Haigis 公式的准确性高于 Haigis-L 公式,但是与 Barrett true K 和 Shammas-PL 公式相比并无明显差异。Wong 等<sup>[8]</sup>运用 Haigis-L 公式计算近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度的术后 MAE 为  $0.77\pm 0.74D$ ,而本研究为  $1.30\pm 0.95D$ 。上述差异可能与 Wong 等<sup>[8]</sup>研究仅随访至术后 1mo 有关。除 Haigis-L 公式外,Barrett true K 公式近年逐渐受到眼科医师的青睐,已经广泛应用于近视角膜屈光手术后 IOL 屈光度的计算。Abulafia 等<sup>[10]</sup>研究显示 Barrett true K 公式的术后 MedAE 比 Haigis-L 和 Shammas-PL 公式小很多,并且术后 PE 在  $\pm 0.50$ 、 $\pm 1.00D$  范围内的患者百分比(63.3%、80%)高于本研究(52%、71%)。其原因可能是上述研究纳入的患者 30 例 30 眼的 AL 为  $25.69\pm 1.25$ (23.22~28.93)mm,并且尚未进行 A 常数优化导致。本研究采用的改良 Haigis 公式的术后 PE 在  $\pm 0.50$ 、 $\pm 1.0D$  范围内的患者百分比与 Barrett true K 公式接近。这说明改良 Haigis 公式与 Barrett true K

表1 不同公式计算 IOL 屈光度准确性的比较

公式	绝对屈光误差(D)		PE(眼,%)		
	MedAE[ $M(P_{25}, P_{75})$ ]	MAE( $\bar{x} \pm s$ )	$\pm 0.5D$	$\pm 1.0D$	$\pm 2.0D$
Haigis					
2.0mm EKR	0.62(0.37, 1.30)	0.96 $\pm$ 0.92	10(32)	21(68)	28(90)
3.0mm EKR	0.61(0.24, 1.11)	0.86 $\pm$ 0.88	11(35)	19(61)	29(94)
4.0mm EKR	0.58(0.27, 1.12)	0.80 $\pm$ 0.75	13(42)	23(74)	29(94)
4.5mm EKR	2.31(1.06, 2.93)*	2.05 $\pm$ 1.25*	5(16)*	7(22)*	14(45)*
5.0mm EKR	2.46(1.06, 3.02)*	2.21 $\pm$ 1.30*	3(10)*	7(22)*	15(48)*
Haigis-L	1.26(0.67, 1.72)	1.30 $\pm$ 0.95	7(22)	13(42)	27(87)
Shammas-PL	0.77(0.36, 1.45)	0.90 $\pm$ 0.60	10(32)	19(61)	29(94)
Barrett true K	0.51(0.30, 1.15)	0.69 $\pm$ 0.55	16(52)	22(71)	31(100)

注: \*: Bonferroni 校正后与 4mm EKR Haigis 公式比较差异有统计学意义。

表2 不同公式计算不同 AL 患者 IOL 屈光度的准确性

组别	PE( $\bar{x} \pm s, D$ )	绝对屈光误差(D)		PE(眼,%)		
		MedAE[ $M(P_{25}, P_{75})$ ]	MAE( $\bar{x} \pm s$ )	$\pm 0.5D$	$\pm 1.0D$	$\pm 2.0D$
改良 Haigis						
A 组(n=10)	-0.67 $\pm$ 1.30	0.46(0.12, 1.06)	0.80 $\pm$ 1.08	5(50)	80(80)	9(90)
B 组(n=13)	-0.10 $\pm$ 1.05	0.73(0.39, 1.20)	0.82 $\pm$ 0.53	4(31)	10(77)	13(100)
C 组(n=8)	0.18 $\pm$ 1.19	0.49(0.25, 1.15)	0.75 $\pm$ 0.64	4(50)	5(62)	7(88)
Haigis-L						
A 组(n=10)	-1.27 $\pm$ 0.62	0.53(0.08, 1.50)	0.94 $\pm$ 1.27	5(50)	7(70)	9(90)
B 组(n=13)	-0.53 $\pm$ 1.37	1.26(0.96, 1.61)	1.29 $\pm$ 0.52	1(8)	4(31)	12(92)
C 组(n=8)	-0.78 $\pm$ 2.05	1.67(1.07, 2.75)	1.78 $\pm$ 0.95	1(12)	2(25)	6(75)
Shammas-PL						
A 组(n=10)	-0.53 $\pm$ 0.55	0.48(0.33, 0.86)	0.62 $\pm$ 0.41	5(50)	8(80)	10(100)
B 组(n=13)	0.16 $\pm$ 1.09	1.31(0.54, 1.53)	1.08 $\pm$ 0.62	3(23)	6(46)	12(92)
C 组(n=8)	0.41 $\pm$ 1.44	0.70(0.42, 1.65)	0.95 $\pm$ 0.72	2(25)	5(62)	7(88)
Barrett true K						
A 组(n=10)	-0.34 $\pm$ 0.66	0.43(0.30, 0.88)	0.52 $\pm$ 0.32	5(50)	9(90)	10(100)
B 组(n=13)	0.21 $\pm$ 1.00	0.50(0.36, 1.50)	0.81 $\pm$ 0.61	8(62)	8(62)	13(13)
C 组(n=8)	0.08 $\pm$ 0.96	0.54(0.11, 1.34)	0.72 $\pm$ 0.68	3(38)	5(62)	8(100)

注: A 组: AL<27mm; B 组: 27mm $\leq$ AL $\leq$ 30mm; C 组: AL>30mm。

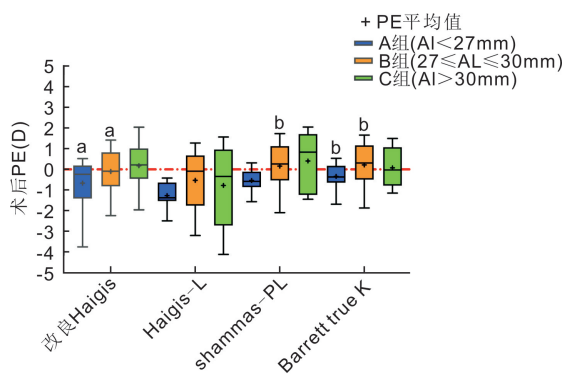


图1 不同 AL 患者 4 种 IOL 屈光度计算公式的术后 PE 分布情况 <sup>a</sup>P<0.05, <sup>b</sup>P<0.01 vs 同组 Haigis-L 公式。

公式在计算近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度方面具有相似的精确性。

此外,本研究发现,当 AL $\leq$ 30mm,改良 Haigis 公式计算近视 LASIK/PRK 术后患者 IOL 屈光度的准确性明显优于 Haigis-L 公式。值得注意的是,AL 越长,改良 Haigis 公式的术后屈光状态越倾向于远视漂移。可能的因素有以下两点:(1) AL 越长,近视屈光度数越高,准分子激光在

角膜前表面切削的厚度越厚,导致角膜曲率的测量精度越低。EKR 高于模拟角膜曲率(SimK)甚至高于临床病史方法预测的角膜曲率,因此远视漂移更容易出现在 AL 越长的患者<sup>[18-19]</sup>。(2) 近视度数越高,角膜非球面性越大(用 Q 值表示)。研究指出近视 LASIK 术后角膜非球面性的改变会影响 IOL 屈光度的计算<sup>[20-22]</sup>。Minami 等<sup>[23]</sup>和 Savini 等<sup>[24]</sup>研究发现,年龄相关性白内障患者的 IOL 屈光度预测误差随着 Q 值的增加而增加,故推测 Q 值的改变也与近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度低估有关。

本研究中改良 Haigis 公式计算近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度的准确性结果尚未达到常规白内障患者的标准(55%患者术后 PE 在 $\pm 0.50D$ 内,85%患者术后 PE 在 $\pm 1.00D$ 内)<sup>[25]</sup>。推测可能的原因如下:(1) Haigis 公式最初是由德国人提出的,中国人和德国人的 B/F Ratio 和角膜折射指数存在一定的差异,这可能会影响角膜曲率的测量,因此 Haigis 公式可能更适用于德国人的 IOL 屈光度计算<sup>[26-27]</sup>;(2) 与白种人相比,黄种人 AL 更长,这可能会导致更大的术后 ELP 预估误差。由于本研究和既往研究的样本量均较小,需要进一步的研究证实研究结论,让尽可能多的近视角膜屈光术后患者白内障术后 PE 在 $\pm 1.00D$

内。本研究也存在一些不足之处:(1)本研究属于回顾性研究,仅代表单一研究中心的结果,然而本研究长期随访的结果相比于既往短期随访的结果更加可信。(2)本研究针对不同公式对 IOL 常数进行了优化,确保术后平均 PE 为零,降低了手术因素对于 IOL 公式精确性比较的影响<sup>[2,28]</sup>。(3)本研究并没有纳入远视准分子激光手术的患者,因此不能确定改良 Haigis 公式是否可以用于远视屈光术后患者 IOL 屈光度的计算。未来的大样本前瞻性研究应该进行进一步研究。

综上所述,4.0mm EKR 联合 Haigis 公式可以用于近视 LASIK/PRK 术后 IOL 屈光度计算,其准确性与 Barrett true K 公式相当。对于一些缺乏新型生物测量仪器的眼科诊疗机构来说,可以选择使用改良 Haigis 公式计算近视角膜屈光术后患者的 IOL 屈光度。对于 AL 较长,尤其是超过 30mm 的患者,应该多预留负屈光度,尽可能降低术后发生远视漂移的风险。

#### 参考文献

- 1 Li HY, Nan L, Li J, et al. Accuracy of intraocular lens power calculation formulae after laser refractive surgery in myopic eyes: a meta-analysis. *Eye Vis (Lond)* 2020; 7: 37
- 2 Savini G, Hoffer KJ. Intraocular lens power calculation in eyes with previous corneal refractive surgery. *Eye Vis (Lond)* 2018; 5: 18
- 3 Xu K, Hao Y, Qi H. Intraocular lens power calculations using a Scheimpflug camera to measure corneal power. *Biotech Histochem* 2014; 89(5): 348-354
- 4 Saglik A, Celik H. Comparison of Holladay equivalent keratometry readings and anterior corneal surface keratometry measurements in keratoconus. *Int Ophthalmol* 2019; 39(7): 1501-1509
- 5 Helaly HA, El-Hifnawy MA, Shaheen MS, et al. Accuracy of corneal power measurements for intraocular lens power calculation after myopic laser *in situ* keratomileusis. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2016; 23(1): 122-128
- 6 Ng ALK, Chan TCY, Cheng ACK. Comparison of different corneal power readings from pentacam in post-laser *in situ* keratomileusis eyes. *Eye Contact Lens* 2018; 44(Suppl 2): S370-S375
- 7 Haigis W, Lege B, Miller N, et al. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238(9): 765-773
- 8 Wong CW, Yuen L, Tseng P, et al. Outcomes of the Haigis-L formula for calculating intraocular lens power in Asian eyes after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41(3): 607-612
- 9 Bialer OY, Kaiserman I, Bahar I. Accuracy of Scheimpflug Holladay equivalent keratometry readings after corneal refractive surgery in the absence of clinical history. *Ophthalmic Res* 2014; 52(4): 217-223
- 10 Abulafia A, Hill WE, Koch DD, et al. Accuracy of the Barrett True-K formula for intraocular lens power prediction after laser *in situ* keratomileusis or photorefractive keratectomy for myopia. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42(3): 363-369
- 11 Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia; Haigis-L formula. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(10):

- 1658-1663
- 12 Shamma HJ, Shamma MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33(1): 31-36
- 13 Hoffer KJ, Savini G. IOL power calculation in short and long eyes. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2017; 6(4): 330-331
- 14 Jin HY, Auffarth GU, Guo HK, et al. Corneal power estimation for intraocular lens power calculation after corneal laser refractive surgery in Chinese eyes. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38(10): 1749-1757
- 15 Bang S, Edell E, Yu QL, et al. Accuracy of intraocular lens calculations using the IOLMaster in eyes with long axial length and a comparison of various formulas. *Ophthalmology* 2011; 118(3): 503-506
- 16 Karunaratne N. Comparison of the Pentacam equivalent keratometry reading and IOL Master keratometry measurement in intraocular lens power calculations. *Clin Exp Ophthalmol* 2013; 41(9): 825-834
- 17 Tang QY, Hoffer KJ, Olson MD, et al. Accuracy of Scheimpflug Holladay equivalent keratometry readings after corneal refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35(7): 1198-1203
- 18 Rosen DB, Heiland MB, Tingey M, et al. Intraocular lens calculation after refractive surgery: a long-term retrospective comparison of eight formulas. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2019; 8(3): 121-128
- 19 Chen H, Chen XY, Wang HL, et al. Intraocular Lens power calculation after laser refractive surgery: a Meta-Analysis. *Sci Rep* 2020; 10(1): 2645
- 20 Ying JL, Zhang J, Cai JQ, et al. Comparative change in anterior corneal asphericity after FS-LASIK and SMILE. *J Refract Surg* 2021; 37(3): 158-165
- 21 Wu Y, Wang SH, Wang GQ, et al. Corneal asphericity and higher-order aberrations after FS-LASIK and trans-PRK for myopia. *J Ophthalmol* 2021; 2021: 3765046
- 22 Dai ML, Wang QM, Lin ZS, et al. Posterior corneal surface differences between non-laser *in situ* keratomileusis (LASIK) and 10-year post-LASIK myopic eyes. *Acta Ophthalmol* 2018; 96(2): e127-e133
- 23 Minami K, Kataoka Y, Matsunaga J, et al. Ray-tracing intraocular lens power calculation using anterior segment optical coherence tomography measurements. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38(10): 1758-1763
- 24 Savini G, Hoffer KJ, Barboni P. Influence of corneal asphericity on the refractive outcome of intraocular lens implantation in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41(4): 785-789
- 25 Gale RP, Saldana M, Johnston RL, et al. Benchmark standards for refractive outcomes after NHS cataract surgery. *Eye (Lond)* 2009; 23(1): 149-152
- 26 Savini G, Taroni L, Hoffer KJ. Recent developments in intraocular lens power calculation methods-update 2020. *Ann Transl Med* 2020; 8(22): 1553
- 27 Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018; 125(2): 169-178
- 28 Shamma HJ, Shamma MC, Jivrajka RV, et al. Effects on IOL power calculation and expected clinical outcomes of axial length measurements based on multiple vs single refractive indices. *Clin Ophthalmol* 2020; 14: 1511-1519