

角膜曲率及其变化在人工晶体度数测量的研究进展

曾骏萌*, 窦晓燕, 侯嘉敏, 赵雯, 王耶, 刘露

深圳市第二人民医院, 广东 深圳
Email: *414426498@qq.com

收稿日期: 2020年8月14日; 录用日期: 2020年8月28日; 发布日期: 2020年9月4日

摘要

白内障是一种发病机制不完全明确的疾病,也是当今眼科的常见病和多发病。现较流行的术式为白内障超声乳化吸除+人工晶体植入术。术后患者视力的提高及视觉质量的改善与术前人工晶体度数的准确测量十分相关。而准确的人工晶体度数测量受到多种因素的影响,其中角膜曲率的变化更是人工晶体度数测量的重要影响因素之一。本文就角膜曲率及人工晶体屈光度测量的定义、方法与影响测量结果的相关因素等方面予以综述,对以后的临床工作提供参考价值。

关键词

角膜曲率, 白内障, 人工晶体度数测量

Progress of Corneal Curvature and Its Variation in IOL Power Calculation

Junmeng Zeng*, Xiaoyan Dou, Jiamin Hou, Wen Zhao, Ye Wang, Lu Liu

Shenzhen Second Hospital, Shenzhen Guangdong
Email: *414426498@qq.com

Received: Aug. 14th, 2020; accepted: Aug. 28th, 2020; published: Sep. 4th, 2020

Abstract

Cataract is common and frequently-occurring disease in ophthalmology nowadays, but its pathogenesis is not completely clear. With the development of medical science, the current surgical

*通讯作者。

文章引用: 曾骏萌, 窦晓燕, 侯嘉敏, 赵雯, 王耶, 刘露. 角膜曲率及其变化在人工晶体度数测量的研究进展[J]. 眼科学, 2020, 9(3): 182-190. DOI: 10.12677/hjo.2020.93024

method is cataract phacoemulsification combined with IOL implantation. For patients with cataract, the visual quality is closely related to the accuracy of intraocular lens. Considering that the degree of intraocular lens is essentially affected by the changes of keratometry. Therefore, the effect of keratometry on the IOL Power Calculation is a direction worth exploring, which will be valuable for clinical medicine. In this paper, the definitions, methods and effects of IOL Power and Keratometry's Calculation and the related factors are reviewed.

Keywords

Corneal Curvature, Cataract, IOL Power Calculation

Copyright © 2020 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/>



1. 引言

现今大部分白内障患者的主要术式为超声乳化联合人工晶体植入术，伴随科技的进步，患者对术后视力的恢复也提出了更高的要求[1]。Retzlaff等提出准确的术前测量是通过公式获得满意屈光度的前提[2]。Holiday 等人推测术前测量误差是导致术后屈光误差 $\geq 2D$ 的主要原因[3]。Prager 等验证了准确的眼球生物测量及适当的测量公式选择是人工晶体度数计算的关键因素[4]。

2. 生物参数

人工晶体测量公式从 40 余年前发展至今为第四代公式，生物参数从角膜曲率、眼轴长，后续增加了角膜横径、前房深度，四代公式再新增术前屈光度、患者年龄、晶状体厚度等。更多的参数加入其中，综合推断术后人工晶体位置，从而提高公式准确性[5]。

3. 人工晶体测量的常用公式

人工晶体计算公式按时间发展顺序共五代。第一代公式包括 SRK 公式及 Fyodorov、Thijssen、Colenbrander、Binkhorst 和 Heijde 公式[6]，第二代公式包括 SRK-II 公式及 Binkhors-II 公式等[7]，第三代公式包括 SRK/T 公式[2]、Holladay I 公式[8]及 Hoffer Q 公式[9]等，第四代公式指 Haigis 公式[10]和 Holladay II 公式[11]，第五代公式包括 Barrett Universal II 公式[12]和 Olsen 公式[13]。为使公式更加准确，临床中应结合患者的眼部条件来选择恰当的公式，为此 Thall 等人 and McEwan 等人也曾提出个性化定制方案[14] [15]。

作为第一代公式，SRK 等公式运用几何光学原理，通过术前前房深度推导、估计术后的数值，因此误差较大，且仅适用眼轴长为 22.0~24.5 mm 的患者[16]。

随后诞生的第二代公式在此基础上进一步考虑了眼轴长度及前房深度的变化，但其长眼轴的定义(AL ≥ 24.5 mm)与我国实际情况(近视眼及长眼轴比例高)不符，误差仍较大[17] [18] [19]。

因此，人工晶体测量公式逐步完善，加入了术后前房深度预测[20]，便有了第三代公式：SRK-T、Holladay、Hoffer-Q 等公式，它们的平均绝对屈光误差值较小[21]，目前广泛应用于临床。关于这些公式之间的对比，刘玉莲等人发现存在超长眼轴的远视漂移与短眼轴的近视漂移，测算得出的绝对屈光误差与患者的眼轴长度呈正相关[21]；Narvaez 等研究发现 SRK-II 公式预测术后屈光度的误差值相对较大[22]；Hoffer 等人及 Gavin 等人认为 Hoffer-Q 公式相比其他公式更为精准[23]。

关于第四代公式, Haigis 公式可用于任意 ACD 数值的患者[24] [25], 包括短眼轴患者。但在短眼轴患者中, 国内外研究意见不尽相同, 其中 Evdokia 等认为以上公式预测结果均较好[26]; Gianluca 等则认为 Hoffer Q 公式对比其他公式更加准确, 同时 SRK-T 和 SRK-II 公式相对误差较大[27]。Youngsub 等发现在 $ACD \leq 2.4$ mm 的情况下, Haigis 公式更加精确[28]; 而方薇等人通过研究证明以上公式均可准确预测屈光度, 但其中 Haigis 公式误差绝对值相对较大[5]。

第五代公式涉及的参数更加丰富, Hoffer 等人在 2017 年通过研究发现, Barrett Universal II 及 Olsen 公式在短眼轴患者的人工晶体度数计算与其他公式没有明显差异, 但在长眼轴患者当中, 它们更加精确[24]。

4. 常用人工晶体度数测量的仪器

目前主要应用测量人工晶体度数的仪器为 A 超与 IOL Master。关于 A 超, 马红蕾等人证实其测量角膜厚度的精度高达 0.1 mm [29]。但 A 超存在直接压迫眼球、接触角膜的问题, 其感染风险与对患者的配合度要求均较高, 且对部分特殊眼患(如硅油眼或后巩膜葡萄肿等)操作难度与测量结果误差均较大。

IOL Master 为非接触式光学相干生物测量仪, 利用光学原理测量眼轴长度, 同时亦能测得角膜曲率、前房深度, 并运用合适公式计算人工晶体屈光度[30]。非接触式的特点显著降低了感染风险, 也提升了操作安全性, 患者更易接受。王适宜及李莉等的研究证明 IOL Master 比 A 超更加准确[31] [32]。此外, 对于硅油填充眼、超长眼轴、后巩膜葡萄肿等特殊眼患均适用[33]。

现今临床较为常用的有 IOL Master500 及 IOL Master700。IOL Master 虽具备以上特点, 但 Hill W 等人、McAlinden 等人及陈斯等人通过研究发现, 由于屈光介质混浊程度对光线穿透力的影响, IOLMaster500 对于严重核性混浊和后囊混浊的白内障眼轴长度检出率较低[34] [35]。而作为新一代的 IOLMaster700, 其检出率更高、测量更准确[36] [37], 眼轴长度检出率也有明显提升, 崔蕊等人研究结果为 93.4% [37], Kurian 等人分析具体原因有两点: 一为光源: IOLMaster700 光源为 1055 nm, 相比 IOLMaster500 的 780 nm 激光光源, 增加了组织穿透能力; 二为扫描方式: 相比 IOLMaster500 的成束激光、相干光干涉原理及 A-scan 方式, IOL-Master700 利用 SS-OCT 原理, 从眼球 0 度至 150 度六个方向以 B-scan 方式进行断层成像, 扫描范围更广, 眼轴长度检出能力更佳[38]。

5. 常用角膜曲率测量的仪器

在众多的角膜曲率测量仪器当中, 最简捷的是手动角膜曲率计, 波前像差仪可以较全面反映患者眼部像差, 除此之外还有角膜地形图、IOL-Master、Pentacam、电脑自动验光仪等[39]。

手动角膜曲率计原理为测量角膜前表面中央 3 mm 直径的范围内两条互相垂直直径线对称的 4 个点曲率的半径值, 从而计算得到角膜的平 K 值与陡 K 值[40]。但手动角膜曲率计测量面积仅占角膜面积的 7%, 如此小的面积导致其读数较为主观。电脑验光仪的原理主要是通过图像分析, 从而计算得到角膜曲率值, 其操作简便且检查结果较准确, 因此广泛应用于临床。角膜地形图的设计原理基于 Placido 盘, 对角膜曲率的测量更为精细, 该仪器检查的不足是一定程度上受泪膜及睑裂的影响。肖伟等人研究表明: 手动角膜曲率计、电脑验光仪、角膜地形图所测得的角膜曲率数据无统计学差异[41]。

波前像差仪运用了 Shack-Hartmann 原理[42], 且与虹膜定位系统合并后可使 LASIK 手术更加精确地切削角膜[43]。但其亦有不足之处, 波前像差仪只能测量单色像差, 无法评价患者主观感受, 且角膜瓣的制作、愈合过程都会对测量结果带来不可控影响。

Pentacam 的原理基于 Scheimpflug 成像[44], 测量角膜多点厚度值进行三维建模, 直观反映角膜曲率数据, 对角膜屈光手术的术前检查、术后疗效评价及角膜病、晶体病、青光眼等的诊断治疗均有指导作用。

IOL-Master 前面已经介绍, 其基于角膜曲率计, 利用偏振光学相干干涉原理(partical coherence interfe-

rometry, PCI), 沿视轴方向测量眼前参数[45], 通过仪器相机记录从而计算出环形的表面曲率半径[35]。IOL-Master 的不足是仅测量两点间的角膜曲率求平均值, 而不能反映全角膜的情况, 因此对屈光间质明显混浊的患者测量数据有时不够精确。有文献报道 IOL-Master 测得的角膜曲率精确程度不及 MK、Pentacam [46] [47]。但郑丹莹等通过对比证实 IOL-Master 与传统角膜测量仪测出的角膜曲率差异无统计学意义[48]。

6. 角膜曲率对人工晶体度数测量的影响

影响角膜曲率测量的因素有很多, 以下列举几种常见的因素:

1) LASIK 手术影响

LASIK 手术引起角膜生物力学变化, 改变了角膜曲率[49]。当患者角膜厚度恒定, 若 LASIK 手术制作的角膜瓣越厚, 则术后角膜基质就越薄, 导致患者有更大几率发生角膜膨隆和继发性圆锥角膜[50]。对此, 国内外均有研究发现若 LASIK 手术的患者术前眼压越高、角膜越薄、需矫正屈光度数越高, 术后患者角膜后表面越往前凸[51] [52] [53] [54]。刘洪婷等[49]以及 Lee 等[55]通过研究总结出残余角膜基质床厚度及消融比亦影响 LASIK 术后患者角膜后表面曲率的前凸程度。此外, 王铮等还通过研究表明, 高度近视会增加 LASIK 术后发生圆锥角膜的几率[56]。同时, Kheirkhah 等推论高度近视患者 LASIK 术后角膜曲率的变化可能与屈光回退有关[57]。因此, LASIK 手术前后将对人工晶体度数的测量产生明显的影响。

2) 翼状胬肉及其术后的影响

翼状胬肉患者常伴有视力下降、角膜曲率下降、角膜屈光力下降、角膜散光增加等, 其原因主要是胬肉对角膜长期的牵拉、压迫以及对角膜实质层的浸润, 进而引起患者角膜屈光状态的改变[58] [59] [60] [61]。胬肉面积越大, 将导致角膜表面径轴线越扁平, 从而引起角膜曲率进一步改变[62]。此外, 胬肉患者角膜状态的改变还有一个重要原因就是泪膜的改变。MaheshwariS 等认为这是由于角膜与胬肉头部之间的新月形泪膜具有透镜作用, 使角膜水平方向曲率变得较为平坦[62]。黄旺斌等亦推论患者的胬肉宽度、隆起程度以及头部与角膜中心的距离都会影响这种透镜作用[63]。

国内外研究表明, 当胬肉过大(长入角膜 ≥ 2.5 mm), 术后患者的角膜曲率均明显变化, 推论是由于胬肉对角膜的压迫使角膜(尤其中部垂直方向)隆起、垂直曲率升高, 因此术后角膜所受压力减少, 变为平坦, 因此曲率产生本质性改变[60] [61]。此外, 有研究发现, 胬肉手术方式也会明显影响术后角膜曲率: 单纯翼状胬肉切除术的患者术后角膜水平方向和平均曲率均有明显升高, 但垂直曲率变化不明显; 而翼状胬肉切除 + 角膜缘干细胞移植术的患者角膜水平、垂直、平均曲率都有明显变化[64]。

因此, 从以上论述我们可以得知, 翼状胬肉本身以及手术前后都必然会对角膜曲率以及人工晶体的测量产生较大影响, 而至于其影响的深度, 这是一个值得我们探究的方向。

3) 角膜塑形镜(OK 镜)佩戴后的影响

作为提高裸眼视力、降低近视度数的一种可逆性非手术的物理矫形治疗方法, 角膜塑形镜的佩戴会逐渐改变角膜弧度[65]。研究显示, 在配戴 OK 镜 1 天即出现角膜曲率减小, 1 周~3 个月内角膜曲率的减小最明显[66]。故当角膜曲率发生变化, 人工晶体度数也将随之改变, 这对于临床工作中遇到的先天性白内障患者, 其手术前人工晶体的测量将起到关键影响。

4) 外伤的影响

角膜外伤后存在瘢痕变形, 因此外观常有不同程度的屈光误差, 其原因主要是: 1) 角膜曲率的测量存在误差: 外伤患者同一子午线上两边角膜中心的屈光力常不相等[67]。2) 外伤眼与健眼的角膜曲率差异大: 角膜受伤后的曲率将发生显著改变, 该种情况下不能以健眼的角膜曲率值来代替[68]。

5) 高度近视及干眼症的影响

目前, 随着科技的发展, 高度近视及干眼的发病年龄正逐渐趋向年轻化。有研究显示, 角膜曲率半径与

眼轴长呈正相关关系($r = 0.513$) [69], 国内外研究亦证明高度近视眼的角膜曲率会发生不同程度的增大[70]。

作为最常见的眼表疾病, 干眼症的常见病因是泪液质量异常引起的泪膜稳定性下降[71]。由于泪膜不稳定, 干眼症患者的角膜曲率常会改变, 与正常患者相比存在显著差异[72]。

6) 圆锥角膜及其术后的影响

圆锥角膜的特点是前表面扭曲、顶部变薄、角膜高度不规则散光、视力下降[73]。轻中程度圆锥角膜的患者可予 OK 镜治疗[74], 晚期则需通过手术治疗[75]。关于圆锥角膜的手术治疗, 主要的手术方法是角膜交联术(collagen cross-linking CXL) [76]。调查显示角膜交联术后角膜曲率较术前有明显下降[77]。

7) 年龄的影响

有研究表明角膜曲率随年龄增加而增大[78], 且有试验证实人眼在中老年(40岁)有一个从循规性散光向逆规性散光状态的转变过程, 大多数转变为双眼同时进行[79]。

8) 性别的影响

调查统计显示女性角膜曲率普遍大于男性[80]。同时因为女性眼球解剖尺寸较小, 角膜较陡, 使得角膜屈光力更强, 光线聚焦更准确, 因此女性角膜的变化可对屈光力产生更大的变化[81]。

7. 影响人工晶体屈光度测量准确性的因素及应对方法[82]

除角膜曲率外, 以下因素也会对 IOL 测量产生影响, 临床中如何尽量避免其带来的误差尤为重要。

1) 眼轴长度: 有研究统计发现 54%的术后屈光度误差根本原因在于眼轴测量的准确性[70]。而眼轴测量不准确的原因可以总结为: ① 部分患者注视不良、检查欠合作或高度近视眼, 黄斑回声实际位置发生改变; ② 部分患者角膜干燥, A 超探头与角膜接触欠佳, 常常过度压迫眼球, 使得被检者眼轴缩短, 进而导致人工晶体预设度数过大, 最终造成患者术后近视; ③ 部分患者(尤其老年人)角膜上泪液过多, A 超探头常与角膜中的微小间隙发生虹吸现象, 使得测得眼轴增长, 导致人工晶体预设度数减小, 最终造成术后远视。

2) 无晶体眼: 无晶体眼测量时 IOL-Master 声束会发生改变, 临床上测量时应选“无晶体眼”模式进行测量。

3) 被检者配合度: 检查前最好应了解被检者的身心特点、是否有所顾虑, 向被检者解释该检查的必要性以及注意事项, 使被检者积极配合, 从而使准确性得到提高。

4) 清除所有眼表面粘附物: 如眼膏、过多泪液等。

综上, 我们知道有很多因素会影响 IOL 度数的准确测量, 临床测量中, 我们应当尽量避免各项因素带来的误差, 且选择最适合患者条件的 IOL 计算公式[83] [84] [85] [86]。

8. 总结与展望

综上, 在临床工作中, 人工晶体度数的测量受到角膜曲率、眼轴长度、检查配合度等方面的影响, 其中角膜曲率对人工晶体度数的测量尤为重要。关于人工晶体度数的测量, 目前可用的仪器众多, 临床工作中最常见且最实用的为 IOL-Master。而关于影响角膜曲率的因素, 包括了 LASIK 手术、翼状胬肉、OK 镜、外伤、高度近视、干眼、圆锥角膜以及年龄性别等。因此, 针对角膜曲率本身准确的测量优化及其在人工晶体测量中发挥的重要作用, 是一个值得我们探究的方向, 为白内障术后获得满意的视觉状态和较理想的视觉质量提供较可靠的保障, 也将对以后的临床工作提供较好的参考价值。

基金项目

深圳市第二人民医院临床研究项目(No. 20193357009)。

参考文献

- [1] Preetha, R., Goel, P., Patel, N., *et al.* (2003) Clear Lens Extraction with Intraocular Lens Mplantation for Hyperopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **29**, 895-899. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(02\)01979-X](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(02)01979-X)
- [2] Retzlaff, J.A., Sanders, D.R. and Kraft, M.C. (1990) Development of the SRK/T intraocular Lens Implant Power Calculation Formula. *Journal of Cataract & 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)
- [3] Holiday, J.T., Prager, T.C., Ruiz, R.S., *et al.* (1986) Improving the Predictability of Intraocular lens Power Calculation. *Archives of Ophthalmology*, **104**, 539-541. <https://doi.org/10.1001/archophth.1986.01050160095020>
- [4] Prager, T.C., Hardten, D.R. and Fogal, B.J. (2006) Enhancing Intraocular Lens Outcome Precision: An Evaluation of Axial Length Determinations, Keratometry, and IOL Formulas. *Ophthalmology Clinics of North America*, **19**, 435-448.
- [5] 方薇, 张健, 刘大川, 杨惠青, 蒋慧中. 五种公式在短眼轴白内障手术前的应用比较[J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2017, 39(3): 190-194.
- [6] 谭燕, 李灿. 人工晶体度数计算公式的研究进展[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2019, 33(6): 95-98.
- [7] Sanders, D., Retzlaff, J. and Kraft, M. (1988) Comparison of the SRK II Formula and Other Second Generation Formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **14**, 136-141. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(88\)80087-7](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(88)80087-7)
- [8] Holladay, J.T., Prager, T.C., Chandler, T.Y., *et al.* (1988) A Three-Part System for Refining Intraocular Lens Power Calculations. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **14**, 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(88\)80059-2](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(88)80059-2)
- [9] Hoffer, K.J. (1993) The Hoffer Q Formula: A Comparison of Theoretic and Regression Formulas. *Journal of Cataract & 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)
- [10] Higgs, W., Lege, B., Miller, N., *et al.* (2000) Comparison of Immersion Ultrasound Biometry and Paaial Coherence Interferometry for Intraocular Lens Calculation According to Haigis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, **238**, 765-773. <https://doi.org/10.1007/s004170000188>
- [11] Holladay, J.T. (2000) Clinical Results Using the Holladay 2 Intraocular Lens Power Formula. *Journal of Cataract & 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)
- [12] Gökce, S.E., Zeiter, J.H., Weikert, M.P., *et al.* (2017) Intraocular Lens Power Calculations in Short Eyes Using 7 Formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **43**, 892-897. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.07.004>
- [13] Olsen, T. and Funding, M. (2012) Ray-Tracing Analysis of Intraocular Lens Power *in Situ*. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **38**, 641-647. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.10.035>
- [14] Thall, E.H., Reinhart, W.J. and Sabol, D. (1986) Linear Regression Software for Intraocular Lens Implant Power Calculation. *American Journal of Ophthalmology*, **101**, 597-599. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(86\)90951-7](https://doi.org/10.1016/0002-9394(86)90951-7)
- [15] McEwan, J.R., Cinotti, D.J. and Maltzmann, B.A. (1985) An Intraocular Lens Power Calculation for the IBM PC and PCjr Computers Using input Variable Selection. *American Intra-Ocular Implant Society Journal*, **11**, 498-503. [https://doi.org/10.1016/S0146-2776\(85\)80100-2](https://doi.org/10.1016/S0146-2776(85)80100-2)
- [16] Fyodorov, S.N., Galin, M.A. and Linksz, A. (1975) Calculation of the Optical Power of Intraocular Lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **14**, 625-628.
- [17] Yalvac, I.S., Nurozler, A., Unlu, N., Cetinkaya, F., Kasim, R. and Duman, S. (1996) Calculation of Intraocular Lens Power with the SRK-II formula for Axial High Myopia. *European Journal of Ophthalmology*, **6**, 375-378. <https://doi.org/10.1177/112067219600600405>
- [18] Donoso, R., Mura, J.T., Lopez, M. and Papic, A. (2003) Emmetropization at Cataract surgery. Looking for the Best IOL Power Calculation Formula According to the Eye Length. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, **78**, 477-480.
- [19] Sanders, D.R., Retzlaff, J., Kraft, M.C., *et al.* (1990) Comparison of the SRK/T Formula and Other Theoretical and Regression Formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **16**, 341-346. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80706-7](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80706-7)
- [20] Hill, W.E. (2002) The Haigis Formula for IOL Power Calculation. *Geriatric Ophthalmology*, **1**, 8.
- [21] 邹鹏飞. 五种人工晶状体测量公式预测术后屈光度准确性的比较[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2014.
- [22] Narvaez, J., Zmimerman, G., Smiting, R.D., *et al.* (2006) Accuracy of Intraocular Lens Power Prediction Using the Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, and SRK/T Formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **32**, 2050-2053. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.09.009>
- [23] Gavin, E.A. and Hammond, C.J. (2008) Intraocular Lens Power Calculation in Short Eyes. *Eye*, **22**, 935-938. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6702774>

- [24] Hoffer, K.J. and Savini, G. (2017) IOL Power Calculation in Short and Long Eyes. *The Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, **6**, 330-331.
- [25] Chen, C., Xu, X., Miao, Y.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>
- [26] Evdokia, T., Li, W. and Thomas, K. (2009) Accuracy of Modern Intraocular Lens Power Calculation Formulas in Refractive Lens Exchange for High Myopia and High Hyperopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **35**, 1181-1189. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.02.026>
- [27] Gianluca, C., Francesco, A., Vasiliki, Z., et al. (2015) Accuracy of the Refractive Prediction Determined by Multiple Currently Available Intraocular Lens Power Calculation Formulas in Small Eyes. *American Journal of Ophthalmology*, **159**, 577-583. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2014.11.036>
- [28] Youngsub, E., Su, Y.K., Jong, S.S., et al. (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>
- [29] 马红蕾, 张斌, 蔡素珍, 等. 硅油填充眼 IOL-Master 与改良 A 超人工晶体度数测量比较[J]. 临床和实验医学杂志, 2013, 12(5): 328-329+332.
- [30] 王晶, 武芹, 吴昊, 等. 客观视觉质量分析系统测量人工晶体伪调节力的临床研究[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2015, 29(3): 84-85+89.
- [31] 王适宜. Zeiss IOL Master 与 A 超测量人工晶体度数的临床比较[J]. 中国临床新医学, 2017, 10(12): 1155-1158.
- [32] 李莉, 蓝倩倩, 王璐. 非球面散光型人工晶状体植入治疗合并角膜散光白内障[J]. 中国临床新医学, 2016, 9(1): 1-5.
- [33] Eleftheriadis, H. (2003) IOLMaster Biometry: Refractive Results of 100 Consecutive Cases. *British Journal of Ophthalmology*, **87**, 960-963. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.8.960>
- [34] Hill, W., Angeles, R. and Otani, T. (2008) Evaluation of a New IOLMaster Algorithm to Measure Axial Length. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **34**, 920-924. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.02.021>
- [35] 陈斯, 王丹丹, 赵云娥. 组合信号分析技术在 IOL Master 测量白内障术前眼轴中的应用[J]. 眼视光学杂志, 2009, 11(3): 161-165. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2009.03.001>
- [36] McAlinden, C., Wang, Q., Pesudovs, K., et al. (2015) Axial Length Measurement Failure Rates with the IOLMaster and Lenstar LS 900 in Eyes with Cataract. *PLoS ONE*, **10**, e0128929. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128929>
- [37] 崔蕊, 杨文利, 李栋军, 等. IOLMaster700 与 IOLMaster500 测量白内障术前眼轴长度的一致性及检出率比较[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2018, 20(11): 659-662.
- [38] Kurian, M., Negalur, N., Das, S., et al. (2016) Biometry with a New Sweptsource Optical Coherence Tomography Biometer: Repeatability and Agreement with an Optical Low-Coherence Reflectometry Device. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **42**, 577-581. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.01.038>
- [39] 刘敏, 赵华. 六种仪器测量角膜曲率比较[J]. 中国实用眼科杂志, 2013, 31(2):198-201.
- [40] 李新宇, 刘磊, 袁菁, 董洁玉, 邹燕. 小同角膜曲率测量方法结果的比较[J]. 国际眼科杂志, 2006, 6(3): 644-646.
- [41] 肖伟, 陈明, 盖春柳, 等. 不同仪器测量角膜曲率计算人工晶体屈光度的可行性分析[J]. 中国实用眼科杂志, 2006, 24(4): 407-409.
- [42] Thibos, L.N. and Hong, X. (1999) Clinical Application of the Shack-Hartmann Aberration. *Optometry and Vision Science*, **76**, 817-825. <https://doi.org/10.1097/00006324-199912000-00016>
- [43] 张晶, 周跃华. 虹膜定位技术在角膜个性化切削手术中应用[J]. 国际眼科纵横, 2008, 32(1): 68-71.
- [44] Fink, W. (2005) Refractive Correction Method for Digital Charge-Coupled Device Recorded Scheimpflug Photographs by Means of Ray Tracing. *Journal of Biomedical Optics*, **10**, Article ID: 024003. <https://doi.org/10.1117/1.1899683>
- [45] Olsen, T. and Thorwest, M. (2005) Calibration of Axial Length Measurements with the Zeiss IOLMaster. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **31**, 1345-1350. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.12.066>
- [46] Émeth, J., Fekete, O. and Pesztenlehrer, N. (2003) Optical and Ultrasound Measurement of Axial Length and Anterior Chamber Depth for Intraocular Lens Power Calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **29**, 85-88. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(02\)01500-6](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(02)01500-6)
- [47] Elbaz, U., Barkana, Y., Gerber, Y., et al. (2007) Comparison of Different Techniques of Anterior Chamber Depth and Keratometric Measurements. *American Journal of Ophthalmology*, **143**, 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.08.031>
- [48] 郑丹莹, 张振平, 胡蓉, 杨文辉, 杨晖, 郭未艾. 光学相干生物测量仪测量人工晶状体度数的初步研究[J]. 中国

- 实用眼科杂志, 2002, 20(6): 444-446.
- [49] 刘洪婷, 刘磊, 李新宇, 等. 准分子激光原位角膜磨镶术后角膜后表面的改变[J]. 眼视光学杂志, 2004, 6(4): 216-219.
- [50] 阚单, 刘金璐, 刘汉强. 角膜瓣厚度变化的相关因素及其对 LASIK 手术的影响的研究现状. 国际眼科杂志, 2008, 8(7): 1444-1447.
- [51] Baek, T., Lee, K., Kagaya, F., *et al.* (2001) Factors Affecting the Forward Shift of Posterior Corneal Surface after Laser *in Situ* Keratomileusis. *Ophthalmology*, **108**, 317-320. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(00\)00502-9](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(00)00502-9)
- [52] 付梦军, 张浩润, 王锐, 等. 准分子激光原位角膜磨镶术后角膜后表面曲率的改变[J]. 国际眼科杂志, 2011, 11(8): 1379-1381.
- [53] 崇晓霞, 赵海霞, 陈晔, 李晓玲, 秦丽茹. LASIK 后角膜后表面曲率变化的研究[J]. 中国激光医学杂志, 2008, 17(1): 9-12.
- [54] 杜特新, 沈晔, 黄智敏, 忻双华. 准分子激光原位角膜磨镶术后角膜后表面改变的特点及其影响因素[J]. 中华眼科杂志, 2005, 41(6): 488-491.
- [55] Lee, D.H., Seo, S., Jeong, K.W., *et al.* (2003) Early Spatial Changes in the Posterior Corneal surface after Laser *in Situ* Keratomileusis. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **29**, 778-784. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(02\)01842-4](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(02)01842-4)
- [56] 王铮, 杨斌, 陈家祺, 刘华. LASIK 后角膜后表面曲率变化[J]. 中国实用眼科杂志, 2000, 18(4): 238-239.
- [57] 杜之渝, 吴宁玲, 张大勇, 郭红, 郑晴, 晏丕松. 准分子激光原位角膜磨镶术后角膜基质床厚度安全值分析[J]. 中华眼科杂志, 2004, 40(11): 741-744.
- [58] Kheirkhah, A., Safi, H., Nazari, R., *et al.* (2012) Effects of Pterygium Surgery on Front and Back Corneal Surfaces and Anterior Segment Parameters. *International Ophthalmology*, **32**, 251-257. <https://doi.org/10.1007/s10792-012-9560-2>
- [59] Errais, K., Bouden, J., Miliboussen, I., *et al.* (2008) Effect of Pterygium Surgery on Corneal Topography. *European Journal of Ophthalmology*, **18**, 177-181. <https://doi.org/10.1177/112067210801800203>
- [60] Kim, S.W., Park, S., Im, C.Y., Seo, K.Y. and Kim, E.K. (2014) Prediction of Mean Corneal Power Change after Pterygium Excision. *Cornea*, **33**, 148-153.
- [61] 莫嘉文. 翼状胬肉手术对角膜参数及人工晶体测算影响的临床观察[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州医科大学, 2014.
- [62] Maheshwari, S. (2006) Pterygium-Induced Corneal Refractive Changes. *Indian Journal of Ophthalmology*, **55**, 383-386. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.33829>
- [63] 黄旺斌, 陈子林. 翼状胬肉与角膜散光关系的研究进展[J]. 医学综述, 2014, 20(4): 673-675.
- [64] Bao, F., Chen, H., Yu, Y., *et al.* (2013) Evaluation of the Shape Symmetry of Bilateral Normal Corneas Ina Chinese Population. *PLoS ONE*, **8**, e73412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073412>
- [65] 谢培英, 迟惠, 张纓, 朱贵民, 刘俊. 长期配戴角膜塑形镜对角膜厚度和角膜内皮细胞的影响[J]. 中华眼科杂志, 2007, 43(8): 680-683.
- [66] 杨媛媛, 郑蕾, 万春泓. 角膜塑形镜对患者角膜曲率、厚度及内皮细胞的影响[J]. 中国现代医生, 2013, 51(5): 159-160.
- [67] Seitz, B., Langenbacher, A. and Nguyen, N.X. (1999) Underestimation of Intraocular Lens Power for Cataract Surgery after Myopic Photorefractive Keratectomy. *Ophthalmology*, **10**, 693-697. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(99\)90153-7](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)90153-7)
- [68] 金亚利, 谢春燕, 刘岩, 慕小斌. 外伤性白内障晶状体屈光度计算的探讨[J]. 医药前沿, 2015(13): 78-79.
- [69] 余艳曙. 高度近视眼屈光因子的观察研究[D]: [硕士学位论文]. 浙江: 浙江大学, 2011.
- [70] Wang, Q., Klein, B.E., Klein, R. and Moss, S.E. (1994) Refractive Status in the Beaver Dam Eye Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **35**, 4344-4347.
- [71] 张晓雪, 付玲玲, 何晓静, 郝瑞霖. 克拉玛依市区人群干眼症流行病学调查分析[J]. 中国实用眼科杂志, 2014, 32(7): 903-908.
- [72] 李兰娇, 周宇, 许燕. 干眼症白内障患者人工晶体度数选择的参考[J]. 现代医药卫生, 2017, 33(12): 18-20.
- [73] Kennedy, R.H., Bourne, W.M. and Dyer, J.A. (1986) A 48-Year Clinical and Epidemiologic Study of Keratoconus. *American Journal of Ophthalmology*, **101**, 267-273. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(86\)90817-2](https://doi.org/10.1016/0002-9394(86)90817-2)
- [74] Pflugfelder, S.C., Liu, Z., Feuer, W., *et al.* (2002) Corneal Thickness Indices Discriminate between Keratoconus and Contact Lens-Induced Corneal Thinning. *Ophthalmology*, **109**, 2336-2341.

[https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(02\)01276-9](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(02)01276-9)

- [75] Rao, S.N., Raviv, T., Majmudar, P.A., *et al.* (2002) Role of Orbscan II in Screening Keratoconus Suspects before Refractive Corneal Surgery. *Ophthalmology*, **109**, 1642-1646. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(02\)01121-1](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(02)01121-1)
- [76] Asri, D., Touboul, D., Fournié, P., *et al.* (2011) Corneal Collagen Crosslinking in Progressive Keratoconus: Multicenter Results from the French National Reference Center for Keratoconus. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **37**, 2137-2143. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.08.026>
- [77] 李新秀. 圆锥角膜交联术后的角膜生物力学分析[D]: [硕士学位论文]. 衡阳: 南华大学, 2017.
- [78] 马艳霞, 高海英, 王丽聪, 陆爱枝, 谷树严. 不同年龄阶段的角膜曲率比较[J]. 医学美学美容旬刊, 2012, 20(10): 134-136.
- [79] 唐学龄, 方臻. 582例散光轴向分布的研究[J]. 中国实用眼科杂志, 1999, 17(3): 179-181.
- [80] 李斌, 陈世豪, 王勤美. 近视眼患者角膜直径和角膜曲率的研究[J]. 眼科新进展, 2006, 26(12): 938-939.
- [81] 汪芳润. 近视眼研究的现状与存在问题[J]. 中华眼科杂志, 2003, 39(6): 381-384.
- [82] 欧春蓓. 如何提高人工晶体生物测量数据的准确性[J]. 内蒙古中医药, 2014, 33(18): 129.
- [83] 李瑜明. 人工晶状体预设度数误差干预机制的制定与实施[J]. 赣南医学院学报, 2010, 30(4): 551-552.
- [84] Huynh, S.C., Mai, T.Q., Kifley, A., Wang, J.J. and Rose, K.A. and Mitchell, P. (2006) An Evaluation of Keratometry in 6-Year-Old Children. *Cornea*, **25**, 383-387. <https://doi.org/10.1097/01.ico.0000214203.84081.ec>
- [85] Olsen, T. (2007) Improved Accuracy of Intraocular Lens Power Calculation with the Zeiss IOLMaster. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, **85**, 84-87. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2006.00774.x>
- [86] Maeda, N. (2001) Wave Front Technology in Ophthalmology. *Current Opinion in Ophthalmology*, **12**, 294-299. <https://doi.org/10.1097/00055735-200108000-00009>