

眼轴长度测量与人工晶状体屈光力计算研究进展

张 勇¹, 朱小敏², 谢 琳²

引用: 张勇, 朱小敏, 谢琳. 眼轴长度测量与人工晶状体屈光力计算研究进展. 国际眼科杂志 2022; 22(5): 791-793

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 81670860); 重庆市自然科学基金项目 (No. cstc2018jcyjAX0034)

作者单位: ¹(233000) 中国江苏省淮安市, 东部战区总医院淮安医疗区眼科; ²(401120) 中国重庆市, 重庆医科大学附属第三医院眼科

作者简介: 张勇, 硕士, 住院医师, 研究方向: 青光眼、白内障。

通讯作者: 谢琳, 博士, 教授, 主任医师, 博士研究生导师, 研究方向: 青光眼. xielin@hospital.cqmu.edu.cn

收稿日期: 2021-05-07 修回日期: 2022-03-28

摘要

白内障手术的效果受多种因素的影响, 如术前生物学参数的测量、人工晶状体屈光力计算公式的选择、手术方式及手术技巧等。眼轴长度是计算人工晶状体屈光力的重要参数, 目前测量眼轴长度的主要方法是超声生物测量法及光学生物测量法, 这两种方法各有利弊, 相辅相成。人工晶状体屈光力的计算公式在过去的几十年里不断更新, 在近几年更是出现了很多新的计算公式, 如 Barrett Universal II (BU II) 公式、Kane 公式、Olsen 公式、Hill-radial basis function (Hill-RBF) 公式等。本文主要总结了两种眼轴长度测量方法的利弊, 并比较不同人工晶状体屈光力计算公式在不同眼轴长度时的准确性。

关键词: 人工晶状体; 生物学测量; 白内障

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.18

Research progress on measurement of axial length and calculation of refractive force of intraocular lens

Yong Zhang¹, Xiao-Min Zhu², Lin Xie²

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (No. 81670860); Chongqing Natural Science Foundation (No. cstc2018jcyjAX0034)

¹Department of Ophthalmology, the General Hospital of Eastern Theater Command, Huaian 233000, Jiangsu Province, China;

²Department of Ophthalmology, the Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401120, China

Correspondence to: Lin Xie. Department of Ophthalmology, the Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401120, China. xielin@hospital.cqmu.edu.cn

Received: 2021-05-07 Accepted: 2022-03-28

Abstract

• The effect of cataract surgery is affected by various factors, such as the measurement of preoperative biological parameters, the formula for calculating refractive force of intraocular lens (IOL), surgical methods and surgical techniques. The axial length (AL) is an important parameter for calculating the refractive force of IOL. At present, the main methods of measuring AL are ultrasonic biometry and optical biometry, and these two methods have their own advantages and disadvantages and complement each other. The calculation formula of refractive force of IOL has been continuously updated in the past decades. In recent years, many new calculation formulas have appeared, such as the Barrett Universal II formula (BU II), the Kane formula, the Olsen formula, the Hill-radial basis function (Hill-RBF) formula, etc. This paper mainly summarizes the advantages and disadvantages of the two AL measurements, and compares the accuracy of the IOL refractive force calculation formula at different AL.

• KEYWORDS: intraocular lens; biometry; cataract

Citation: Zhang Y, Zhu XM, Xie L. Research progress on measurement of axial length and calculation of refractive force of intraocular lens. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022; 22(5): 791-793

0 引言

白内障是世界首位致盲性眼病, 随着手术设备和技术的发展以及各种新型人工晶状体的应用, 白内障手术逐渐由“复明手术”变为“屈光性手术”, 患者对于术后视觉质量的期望值升高。如何在术前获得精确的人工晶状体屈光力成为白内障手术的研究热点。术前准确的生物学参数测量是极为重要的, 有研究表明: 0.1mm 眼轴长度的测量误差可导致 0.28D 的屈光误差^[1]。近几年, 人工晶状体屈光力计算公式发展迅速, 新一代计算公式层出不穷, 如 Kane 公式、Barrett Universal II (BU II) 公式、Olsen 公式等, 这些公式提高了人工晶状体屈光力计算的准确性。

1 眼轴长度测量

精确的眼球生物参数测量是准确计算人工晶状体屈光力的基础和前提, 而眼轴长度是重要参数之一。在 1992 年, 眼轴长度的测量占手术后非期望屈光误差产生原因的 54%^[1], 而到了 2007 年, 这一数值降到了 36%^[2], 这得益于不断进步的测量方法及更为先进的测量设备。测量眼轴长度的方法很多, 如 A 超、B 超、IOL Master、MRI、CT、X 线等, 较常用的两种方法是超声生物测量法和光学生物测量法。本文主要比较了超声生物测量法及光学生物测量法的优缺点。

1.1 超声生物测量法测量眼轴长度 超声生物测量法包

括 A 超和 B 超, A 超较为常用。A 超的测量原理是利用公式:距离=速度×时间,速度是固定值,而时间是测量值,通过计算可得出眼轴长度。测量方法分为直接接触检查法和间接浸润检查法。直接接触法由于需要将探头直接接触患者,角膜加压会导致测量值偏小,有研究表明:间接浸润检查法较直接接触检查法术后绝对屈光误差更小^[3]。

A 超的优点包括:(1)检出率高,即使是对严重屈光介质混浊的患眼也可进行测量;(2)价格低廉,普及度广,在基层地区仍广泛使用。A 超的缺点:(1)测量的准确性依赖于理想的组织界面波形,在波形不理想的情况下测量的重复性较差,如后巩膜葡萄肿,高度角膜散光等^[4];(2)当屈光间质发生变化,如硅油眼患者,由于超声波在硅油和玻璃体中传播速度不同,按玻璃体传播速度计算时,眼轴长度会有误差;(3)对操作者要求较高,不同操作者会产生 0.25~0.33mm 的“相对误差”,而仪器本身精度有限,会产生 0.10~0.12mm 的“绝对误差”^[5];(4)患者配合程度要求高,须卧位测得眼轴,与日常生活中眼轴会有差别;(5)检查时必须使用表面麻醉剂,接触患者角膜,可能造成角膜上皮划伤和交叉感染^[6]。

1.2 光学生物测量法测量眼轴长度 自 1999 年第一台光学生物测量仪 IOL Master 面市以来,眼部生物测量由超声测量时代进入光学测量时代^[7-8]。光学生物测量技术发展迅速,主要包括基于部分相干干涉 (partial coherence interferometry, PCI) 技术;IOL Master 500;基于光学低相干反射 (optical low-coherence reflectometry, OLCR) 技术;Lenstar LS900;基于光学低相干干涉 (optical low-coherence interferometry, OLCI) 技术;Topcon Aladdin;基于扫频光相干断层扫描 (swept-source optical coherence tomography, SS-OCT) 技术;IOL Master 700 和 OA-2000。这些设备在测量眼轴长度时表现出较好的一致性^[9-11]。

光学生物测量法的优点:(1)测量原理更符合光在眼内的成像原理,因此较超声生物测量法更为准确;(2)测量结果重复性优于 A 超;(3)测量的参数更多;(4)对特殊患者如:硅油填充眼患者、后巩膜葡萄肿患者测量更准确;(5)非接触检查,避免感染;(6)对操作者要求较低;(7)患者更易配合;(8)坐位检查,与生理情况相符。光学生物测量法的缺点:(1)对于屈光介质混浊,如角膜瘢痕、晶状体密度过高、玻璃体积血的患者,光学生物测量法检出率较低;(2)对于固视能力差的患者,如儿童、眼球震颤、严重斜视、中心视力丧失的患者测量结果误差较大甚至无法测量;(3)泪膜不均、视网膜脱离和视网膜增生性病变等也会干扰信号识别。

因此,虽然目前光学生物测量法在测量眼轴长度方面准确性更高,但是它仍无法完全取代传统的超声生物测量法,二者互为补充,相辅相成。

2 人工晶状体屈光力计算公式

既往将人工晶状体计算公式分为四代,第一代公式:根据 Gullstrand 简化眼模型推导,如 SRK 公式;第二代公式:通过眼轴长度修正,如:SRK II;第三代公式:提出了术后人工晶状体位置 (effective lens position, ELP) 的概念,ELP 与眼轴长度和角膜曲率 K 值有关,如 SRK/T、Hoffer Q、Barrett Universal 公式等,第四代公式:引入了更多参数来计算 ELP,如:Haigis、Holladay 2、Barrett Universal II 公式等。

而近几年,一些学者推荐使用人工晶状体计算公式的

新分类方法,即按公式原理分类,包括:回归公式 (regression): SRK II;光线会聚公式 (vergence): Holladay 1、Hoffer Q;光线追迹公式 (raytracing): Olsen C;人工智能 (artificial intelligence, AI) 公式: Hill-RBF 公式;复合公式 (combination): Kane 公式^[12]。无论原理如何,公式的最终目的是为了尽量准确地预估人工晶状体度数,而其中最关键的是 ELP 的预测。ELP 即术后人工晶状体位置;超声乳化白内障吸除后从角膜前表面到人工晶状体的平面距离。在人工晶状体屈光力计算中,眼轴长度、角膜曲率 K 值等均为可测量的值,而 ELP 是一个预测值。因此,各类人工晶状体屈光力计算公式的主要差别在于对 ELP 的预测能力。ELP 预测能力越强,则人工晶状体屈光力计算越准确。

最新的一些研究表明,近几年新出现的几种公式在预测人工晶状体屈光力方面展现出良好的准确性。

2.1 新一代人工晶状体计算公式 目前临床上常用的人工晶状体计算公式包括: Hoffer Q、SRK/T、Holladay 2、Haigis 等。而近几年,新一代人工晶状体屈光力计算公式层不断涌现,本文仅简述几种新一代人工晶状体屈光力计算公式: BU II 公式、Kane 公式、Olsen 公式、Hill-RBF 公式、Ladas 超级公式、EVO (emmetropia verifying optical) 公式,这些公式虽然未公开,但是可以在网页或软件上免费获取使用。

2.1.1 Kane 公式 Kane 公式是一个复合公式,其原理尚未公开,可在网站免费使用 (www.iolformula.com),其使用眼轴长度、前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、K 值以及性别来预测 ELP,晶状体厚度 (lens thickness, LT) 和中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT) 是非必选项。Kane 公式是近几年新兴的公式,一些研究表明其在计算全眼轴长度人工晶状体屈光力方面具有良好的准确性。

2.1.2 BU II 公式 BU II 是基于 1987 年 Barrett Universal I 公式改进的。BU II 公式虽未公开,但是可以在网站免费使用 (https://calc.apacrs.org/barrett_universal2105/),其参数主要有眼轴长度、ACD、K 值,而 LT 和白到白角膜直径 (white to white, WTW) 是非必选项。

2.1.3 EVO 公式 需要的参数包括:眼轴长度、K 值、ACD、LT 和 CCT 是可选项,此公式可在网站免费获取。 (<https://www.evoiolcalculator.com/>)

2.1.4 Olsen 公式 Olsen 公式近几年不断改进,有两种版本,4 参数版本 (眼轴长度、K 值、ACD、LT) 和 2 参数版本 (ACD 和 LT),该公式也可以在网站获取 (www.phacoptics.net),下载试用软件即可使用。

2.1.5 Hill-RBF 公式 Hill-RBF 公式是一个人工智能公式,现在已经更新到 3.0 版本,需要先选择检测设备,再根据所选设备能检测的数据输入参数,可输入参数包括眼轴长度、K 值、ACD、LT、CCT 和 WTW。亦可在网站免费获取 (www.rbfcaculator.com)。

2.1.6 Ladas 超级公式 Ladas 超级公式是基于 Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2 和 SRK/T 公式,即不需要检测人员来选择合适的公式,而由人工智能来选择最合适患者的公式。该公式可在网站免费获取 (www.iolcalc.com)。

2.2 人工晶状体屈光力计算公式的选择 经验上,我们通常在短眼轴时选择 Hoffer Q 公式;长眼轴时应用 SRK/T 公式。而一些研究表明,新一代的公式在预测人工晶状体屈光力方面可以达到更高的准确性,甚至可以取代老一代

公式。本文总结在不同眼轴长度时人工晶状体计算公式的准确性。

2.2.1 全眼轴长度人工晶状体屈光力计算 2016年, Kane等^[13]在一项研究中纳入了3241例患者, 将BU II公式与传统公式: Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、Haigis、SRK/T公式进行比较, 发现BU II公式在眼轴长度>22mm时最为准确。这项研究是最早表明BU II公式优于传统公式的研究之一。2017年, Kane等^[14]又将BU II公式与新一代公式(Ladas超级公式和Hill-RBF公式)进行比较, 得出BU II更为准确。2018年, 一项大样本多中心研究中, Melles等^[15]纳入了18501眼, 研究同样发现BU II和Olsen公式相较于传统公式更为准确。该研究由于没有纳入几种最新的公式, 于是在2019年, 在原有研究的基础上进行了拓展研究, 加入了Kane公式、Olsen(4参数版本)、EVO公式和Hill RBF 2.0, 这项研究的结果表明: Kane公式最为准确, 其后依次为Olsen(4参数版本)和BU II公式^[16]。而在2020年, 英国国家健康体系(National Health Service, NHS)的一项研究中(10930眼)也表明Kane公式准确度最高^[17]。

2.2.2 短眼轴人工晶状体屈光力计算 临床上, Hoffer Q公式被认为在短眼轴患者预测人工晶状体屈光力时具有较好的准确性。近几年的研究中, 尚未发现在短眼轴时具有明显优势的计算公式。而一些研究可供参考。Kane等^[13]的研究(156眼)表明: BU II、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1、Holladay 2、SRK/T和T2在眼轴长度<22mm时无统计学差异。在NSH的研究中(766眼), Holladay 2、Olsen、Holladay 1、Hill-RBF 2.0和Hoffer Q在短眼轴($\leq 22\text{mm}$)时无统计学差异, 但它们均优于BU II、SRK/T和Haigis。而在Melles等^[15]研究中(1270眼), 当眼轴长度<22.5mm时, BU II公式平均绝对屈光误差(mean absolute refractive error, MAE)最小, 而Hoffer Q公式MAE最大。

2.2.3 长眼轴人工晶状体屈光力计算 传统公式中, Haigis和SRK/T公式已被证明是长眼轴的优选^[18]。根据这两个公式的原理来看, 异常角膜曲率K值可能导致SRK/T计算误差偏大, 而Haigis公式计算ELP并不使用K值, 因此更适合异常K值的患者。

与短眼轴不同的是, 长眼轴时, 新一代公式具有明显的优势。在最大样本的研究中(1548眼)^[15], 当眼轴>25.5mm时, Olsen公式MAE最小, 而Holladay 1和Hoffer Q公式最大。此外, Kane公式^[17]、BU II公式^[19]、Hill-RBF 2.0^[20]公式在长眼轴患者中均表现出很高的准确性。

3 小结

现代白内障手术需要确保测量参数的准确性, 选择合适的人工晶状体计算公式以及对术后患者进行有效评估。精准的生物参数测量是准确计算人工晶状体屈光力的基础, 随着公式中加入的参数不断增多, 对于参数测量的要求就更高。

而选择合适的计算公式是预测人工晶状体屈光力的关键。公式的选择并非越高级越好, 对于常规患者, 传统公式仍是很好的选择, 既可以减轻测量和计算的负担, 也可以得到较准确的结果。而对于短眼轴患者, Hoffer Q公式仍然适用, 长眼轴患者建议Haigis和SRK/T公式, 而SRK/T公式在异常角膜曲率患者时应避免使用。Kane公

式、BU II公式、Olsen公式等新一代公式表现出了较传统公式更高的准确性, 极具潜力公式。

参考文献

- Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 1992;18(2):125-129
- Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85(5):472-485
- Trivedi RH, Wilson ME. Prediction error after pediatric cataract surgery with intraocular lens implantation: contact versus immersion A-scan biometry. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(3):501-505
- Zaldivar R, Shultz MC, Davidorf JM, et al. Intraocular lens power calculations in patients with extreme myopia. *J Cataract Refract Surg* 2000;26(5):668-674
- Binkhorst RD. The accuracy of ultrasonic measurement of the axial length of the eye. *Ophthalmic Surg* 1981;12(5):363-365
- 张锦鹏, 赵晓鹏, 杨玉焕, 等. 高度近视白内障患者人工晶状体屈光度测算公式的研究进展. *国际眼科杂志* 2017;17(1):66-68
- 刘波, 廖莹, 兰长骏, 等. 扫频光相干断层扫描生物测量仪测量健康人眼球生物学参数的重复性和再现性. *中华实验眼科杂志* 2019;37(11):921-925
- Kaswin G, Rousseau A, Mgarrech M, et al. Biometry and intraocular lens power calculation results with a new optical biometry device: comparison with the gold standard. *J Cataract Refract Surg* 2014;40(4):593-600
- Huang JH, Savini G, Hoffer KJ, et al. Repeatability and interobserver reproducibility of a new optical biometer based on swept-source optical coherence tomography and comparison with IOLMaster. *Br J Ophthalmol* 2017;101(4):493-498
- Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, et al. Accuracy of intraocular lens power calculation using three optical biometry measurement devices: the OA-2000, Lenstar-LS900 and IOLMaster-500. *Eye (Lond)* 2018;32(7):1244-1252
- Calvo-Sanz JA, Portero-Benito A, Arias-Puente A. Efficiency and measurements agreement between swept-source OCT and low-coherence interferometry biometry systems. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018;256(3):559-566
- Koch DD, Hill W, Abulafia A, et al. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: I. Logical approach for classifying IOL calculation formulas. *J Cataract Refract Surg* 2017;43(6):717-718
- Kane JX, van Heerden A, Atik A, et al. Intraocular lens power formula accuracy: comparison of 7 formulas. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(10):1490-1500
- Kane JX, van Heerden A, Atik A, et al. Accuracy of 3 new methods for intraocular lens power selection. *J Cataract Refract Surg* 2017;43(3):333-339
- Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018;125(2):169-178
- Melles RB, Kane JX, Olsen T, et al. Update on intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2019;126(9):1334-1335
- 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 Cataract Refract Surg* 2020;46(1):2-7
- Zhang ZH, Miao YY, Fang XL, et al. Accuracy of the haigis and SRK/T formulas in eyes longer than 29.0 mm and the influence of central corneal keratometry reading. *Curr Eye Res* 2018;43(11):1316-1321
- Cooke DL, Cooke TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(8):1157-1164
- Wan KH, Lam TCH, Yu MCY, et al. Accuracy and precision of intraocular lens calculations using the new hill-RBF version 2.0 in eyes with high axial myopia. *Am J Ophthalmol* 2019;205:66-73