

非正常眼轴眼前节参数测量和 IOL 度数计算公式研究进展

梁娇娇^{1,2}, 张 坚³, 严 宏²

引用: 梁娇娇, 张坚, 严宏. 非正常眼轴眼前节参数测量和 IOL 度数计算公式研究进展. 国际眼科杂志 2021;21(2):270-274

基金项目: 西安市第四医院科研孵化基金项目 (No.LH-6)

作者单位: ¹(710021) 中国陕西省西安市, 西安医学院; ²(710004) 中国陕西省西安市, 西北工业大学附属西安市第四医院 陕西省眼科医院; ³(710068) 中国陕西省西安市, 陕西省人民医院眼科

作者简介: 梁娇娇, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 严宏, 毕业于第四军医大学, 博士, 主任医师, 教授, 博士研究生导师, 陕西省眼科医院院长, 研究方向: 白内障. yan2128ts@hotmail.com

收稿日期: 2020-04-08 修回日期: 2020-12-23

摘要

屈光性白内障手术的良好效果取决于多种因素, 主要包括术前精确的生物测量和人工晶状体 (IOL) 度数的准确计算。非正常眼轴术前眼部生物测量精确性较低, 且术后屈光状态预测与正常眼轴眼相比误差较大, 这为获得术后最佳视觉质量带来了很大挑战。近期, 新型光学生物测量仪的临床应用, 个体化的 IOL 度数计算公式的研发和应用, 使 IOL 度数选择更加精确。本文针对非正常眼轴白内障患者术前眼部参数测量及 IOL 度数计算公式的选择近 3a 最新相关研究进展进行综述, 以为临床应用提供参考。

关键词: 白内障; 长眼轴; 短眼轴; 眼部参数测量仪; 人工晶状体度数计算公式

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2021.2.16

Research progress on the measurement of anterior segment parameter and calculation formula of IOL power of abnormal eye axis

Jiao-Jiao Liang^{1,2}, Jian Zhang³, Hong Yan²

Foundation item: Xi'an Fourth Hospital Research Incubation Fund (No.LH-6)

¹Xi'an Medical University, Xi'an 710021, Shaanxi Province, China; ²Shaanxi Eye Hospital, Affiliated Xi'an Fourth Hospital of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China; ³Department of Ophthalmology, Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an 710068, Shaanxi Province, China

Correspondence to: Hong Yan. Shaanxi Eye Hospital, Affiliated Xi'an Fourth Hospital of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China. yan2128ts@hotmail.com
Received: 2020-04-08 Accepted: 2020-12-23

Abstract

• The good effect of refractive cataract surgery depends on a variety of factors, mainly including accurate biometrics before surgery and accurate calculation of intraocular lens (IOL) power. The accuracy of intraocular biometrics with abnormal eyes axis before surgery is lower. Moreover, compared with the normal eyes axis, the error of postoperative refractive state prediction is larger, which brings great challenges to obtaining the best postoperative visual quality. Recently, new optical biometrics have been used clinically, and individualized IOL power calculation formulas have been developed and applied, which makes the choice of intraocular lens power more accurate. This article reviews the latest research progress on the measurement of eye parameters and the selection of IOL power calculation formula in patients with abnormal axial cataract in the past 3a, in order to provide reference for clinical application.

• **KEYWORDS:** cataract; long axis eyes; short axis eyes; eye parameter measuring instrument; intraocular lens power formula

Citation: Liang JJ, Zhang J, Yan H. Research progress on the measurement of anterior segment parameter and calculation formula of IOL power of abnormal eye axis. *Guji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2021;21(2):270-274

0 引言

非正常眼轴眼是指眼轴小于 22mm 或大于 26mm, 其在临床白内障手术眼前节参数测量及人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 度数计算公式的选择中具有挑战性。与正常眼轴相比, 常用的 IOL 度数计算公式对非正常眼轴眼屈光预测准确性较低, 最近一项大型多中心研究指出, 全眼轴范围内, 常用的 IOL 度数计算公式屈光预测误差在 $\pm 0.50D$ 内的手术眼仅占 72% ~ 80%, 超过 95% 的手术眼屈光预测误差在 $\pm 1.00D$ 内^[1]。目前, 新型光学生物测量仪和个体化 IOL 度数计算公式的研发和应用, 使非正常眼轴患者术后屈光更加精确^[1-2]。非正常眼轴患者白

内障术后能否获得最佳屈光状态是临床医生关注的重点。本文针对非正常眼轴白内障患者术前眼部参数测量及 IOL 度数计算公式的选择近 3a 最新相关研究进展进行综述。

1 眼部生物测量仪

白内障术前使用光学生物测量代替 A 超作为眼轴长度 (axial length, AL) 的测量方法正成为主流。IOL Master 500 和 Lenstar LS 900 分别基于部分相干干涉 (partial coherent interference, PCI) 和光学低相干反射 (optical low-coherence reflectometry, OLCR) 原理, 目前为临床常规使用。基于扫描源光学相干断层扫描 (swept-source optical coherence tomography, SS-OCT) 原理的测量仪包括 IOL Master 700、OA-2000 和 Argos, 在不影响轴向分辨率的情况下提供了更大的成像范围, 具有高度组织穿透能力, 对超过 90% 的严重晶状体混浊及后囊下性白内障有较高的测量精度^[2]。IOL Master 700 以 1055nm 可调激光波长 (波长范围 1035~1095nm) 的 SS-OCT 和多点式曲率计结合; OA-2000 结合了 SS-OCT 和 Placido 盘, 具有高灵敏度和高信噪比; Argos 使用 1060nm 波长和 20nm 带宽的扫描源技术, 在校准时生成从角膜到视网膜的实时 2D 图像以增加测量的可信度, 在测量时使用各组织折射率将光学距离转换为几何距离^[3]。

1.1 术前 AL 的测量 AL 测量的准确性是影响患者术后屈光不正的最重要因素。研究认为 0.1mm AL 测量误差将导致术后 0.25~0.27D 的屈光误差^[4]。Dong 等^[5]对 PCI 设备与接触式超声测量不同 AL 亚组进行比较, PCI 设备测量长眼轴组 (AL>25mm) 的 AL 比超声测量结果长 $0.04 \pm 0.12\text{mm}$, 而在正常眼轴组和短眼轴组 (AL<22mm) 中, AL 值分别比超声测量结果短 0.05 ± 0.08 、 $0.10 \pm 0.08\text{mm}$ 。首先可能因两者分辨率不同, 超声测量 AL 精确度为 0.12mm, 而 PCI 设备仅为 0.012mm。其次, 超声与 PCI 设备测量轴不同, 超声测量人眼的解剖轴, PCI 设备测量人眼的光学轴 (相对于解剖轴水平倾斜约 5° , 垂直倾斜约 1°), 更加接近光线传播路径。与超声测量相比, PCI 设备测量 AL 更精确, 更加符合人们对屈光性白内障手术的追求, 然而, 对于后囊下性白内障患者的 AL 获得, PCI 设备逊于超声。

对于 PCI 及 SS-OCT 等不同类型的光学测量仪, 测量成功率也有差异。AL 测量失败率增高与后囊下性白内障混浊程度增加有关, 后囊下性混浊与核性及皮质性混浊相比, 会导致更多的视力损害, 甚至在早期便影响对比敏感度, 也因更靠近节点, 对光线传播影响最大^[6]。瑞利散射即散射量与波长四次方呈反比, 波长越长, 发生瑞利散射的可能性越小, SS-OCT 波长范围为 1055~1060nm, 相比于 PCI 和 OLCR (波长分别为 840、780nm), 最大限度地减少了光的散射, 穿透白内障组织较深, 使得 SS-OCT 设备测量成功率占有显著优势, 更高的波长会增加成功率, 但同时也可能降低扫描的分辨率^[7]。基于 SS-OCT 原理的三种测量仪 (IOL Master 700、OA-2000 和 Argos) 在正常眼中参数获取率无差异, 但对伴有白内障的患者差异有临床意义。Tamaoki 等^[8]研究所有 AL 范围内, 伴后囊下性白

内障的 IV 级核及以上的眼睛中, Argos 和 OA-2000 的 AL 测量成功率大于 80%, 而 IOL Master 700 仅为 63.6%。

眼部各光学组织的折射率不同, 光线传播并非直线。若使用眼部各组织折射率计算各组织长度, 取各组织长度之和作为 AL, 则更加接近光线的传播路径, 而多数测量仪使用等效 (同一) 折射率测量 AL。值得注意的是, 非正常眼轴眼与正常眼轴眼相比, 眼部各光学组织比例异常, 长眼轴眼玻璃体比例相对较长, 而短眼轴眼晶状体比例相对较长, AL 与晶状体占用比 (LT/AL) 呈负相关, 如果折射率最高的晶状体占用比发生变化, 则使用等效折射率测量的 AL 也会受到影响。Higashiyama 等^[4]比较 Argos 与基于 PCI 原理的 IOL Master 对亚组 AL 的测量结果, 其中 Argos 使用各光学组织折射率, IOL Master 使用等效折射率, 结果表明短眼轴组中, 使用 Argos 测量的 AL 明显长于 IOL Master 测得的 AL ($22.77 \pm 0.43\text{mm}$ vs $22.74 \pm 0.44\text{mm}$); 相反, 在长眼轴组中, Argos 测量的 AL 明显短于 IOL Master ($26.00 \pm 1.61\text{mm}$ vs $26.05 \pm 1.64\text{mm}$)。Tamaoki 等^[8]将使用各光学组织折射率的 Argos 与使用等效折射率的 IOL Master 700 和 OA-2000 测量结果进行比较, 指出 Argos 测量 AL 明显短于 IOL Master 700 和 OA-2000, 也主要集中在长眼轴患者, 中、短眼轴患者中差异无临床意义。Wang 等^[9]根据眼部各光学组织折射率不同, 比较 OLCR 设备中使用各光学组织折射率测量 AL 与使用等效折射率测量 AL 的差异, 结果表明, AL $\geq 26\text{mm}$ 的长眼轴组, 使用各光学组织折射率测量的 AL 短于使用等效折射率测量的 AL 约 0.29mm, 相反, AL $\leq 22\text{mm}$ 的短眼轴组, 前者长于后者约 0.50mm。Wang 等^[9]同时比较了两种方式测量 AL 对不同 IOL 计算公式预测精确性的影响, 使用各光学组织折射率测量的 AL 相比等效折射率测量的 AL 可明显提高多数公式 [短眼轴使用 Hoffer Q 和 Holladay 1 公式, 长眼轴使用 Barrett Universal II (Barrett)、Haigis、Hoffer Q、Holladay 1 和 SRK/T 公式] 的屈光预测精确性, 但会降低 Olsen 公式的精确性。与 Cooke 等^[10]研究结果相似, 使用各光学组织折射率测量的 AL 与使用等效折射率测量的 AL 相比, 前者可提高 IOL 度数计算公式 (SRK/T、Holladay 1、Holladay 2、Hoffer Q 和 Haigis) 的屈光预测精确性, 但会降低 Barrett 公式和 Olsen 公式的准确性。

既往报道基于 SS-OCT 原理的三种测量仪 (IOL Master 700、OA-2000 和 Argos) 之间及与基于 PCI 原理的测量仪器之间的 AL 测量结果一致性良好^[11-12]。Reitblat 等^[11]认为分别基于 SS-OCT、PCI、OLCR 原理的测量仪的测量结果及其结果应用到不同 IOL 度数计算公式中均有很好的 consistency。在测量失败率方面, Huang 等^[12]发现基于 PCI 原理的 IOL Master 测量 AL 的失败率为 19.30%, 而基于 SS-OCT 原理的 IOL Master 700、OA-2000 和 Argos 测量 AL 的失败率分别为 2.92%、2.92% 和 0.58%, 但在参数测量方面上述仪器一致性良好。但是, 上述研究尚未根据 AL 亚组分析数据。使用各组织折射率测得的 AL 可以改善多数 IOL 计算公式的预测精确性, 且基于 SS-OCT 原理的仪器测量 AL 失败率更小, 因此, Argos 在测量 AL 方面

值得推广使用。

1.2 术前房深度的测量 IOL 度数选择依赖于有效晶状体位置 (effective lens position, ELP) 或术后前房深度 (anterior chamber depth, ACD) 的准确预测,即角膜后表面与晶状体前表面之间的距离。白内障术后 ACD 加深,2~6wk 趋于稳定,长、短眼轴眼术后 ACD 的变化趋势不同。研究认为,AL 越短,术前 ACD 越浅,其术后 ACD 改变越大;反之 AL 越长,术前 ACD 越深,术后 ACD 改变越小^[13]。术后 ACD 改变越大,越表现为近视漂移;术后 ACD 改变越小,越表现为远视漂移,即短眼轴眼术后易发生近视漂移,长眼轴眼术后易发生远视漂移,因此在白内障术前,医生应考虑为短眼轴、ACD 较浅的患者预留较多远视度数,长眼轴、ACD 较深的患者预留较多近视度数,具体预留度数应根据不同患者平时用眼习惯决定,而不仅仅只关注术后患者视力是否达到 1.00D。Yang 等^[14]发现 IOL Master 700 和 Argos 两种 SS-OCT 设备的 ACD 测量结果一致,但与 PCI 设备相比,PCI 设备测得 ACD 明显长于 SS-OCT 设备所测结果。可能由于测量技术不同,SS-OCT 设备在视轴上测量 ACD,而 PCI 设备使用横向狭缝光束无法在视轴上测量。新一代 IOL 公式使用 ACD 作为参数,在 ACD 测量时选择 SS-OCT 设备似乎比 PCI 设备更可靠,更能准确预测适合患者的屈光度数。

2 IOL 度数计算公式的选择

IOL 计算公式不断发展进步,第四代公式 (Haigis、Holladay 2) 增加了更多参数,提高了术后 ELP 预测的准确性。Haigis 公式可根据术前 ACD 及 AL,并通过引入 a_0 、 a_1 和 a_2 三个常数预测术后 ELP;Holladay 2 公式则需要测量包括 AL、ACD、角膜曲率(K)、水平位角膜直径、患者年龄和术前屈光预测术后 ELP^[1]。较新的公式有 Barrett、Olsen、Kane、Hill-RBF 公式及在 Hill-RBF 公式基础上改进的 Hill-RBF 2.0 公式等。Barrett 公式利用近轴光线追踪原理,其术后 ELP 与 IOL 本身和 ACD 有关,它的特别之处在于考虑到了不同度数 IOL 之间主光学面的不同,其适应性更强,可应用于短、中、长眼轴眼。Kane 公式结合理论光学、薄透镜公式和大数据技术进行预测。Hill-RBF 公式基于人工智能,不存在计算偏差,Hill-RBF 2.0 公式进一步改进,增加了计算极短和极长眼轴范围^[15]。

2.1 长眼轴 IOL 度数计算公式的选择 多数长眼轴 IOL 度数的计算直接应用第三、四代 IOL 公式缺乏准确性,会导致屈光不正,尤其是远视。Wang 等^[16]建议可以通过使用新一代公式、调整 AL、优化晶状体常数等方法以减少预测误差。Wang 等^[17]分析不同 IOL 公式间平均绝对误差 (mean absolute error, MAE) 和预测误差 (prediction error, PE) 在 $\pm 0.50D$ 内手术眼所占比例,对长眼轴白内障患者所用公式准确性进行了 Meta 分析。MAE 为绝对 PE 的平均值,是确定 IOL 公式准确性的有效指标,MAE 越小,术后未矫正视力越好。Meta 分析结果表明,当 $AL > 24.5mm$, Barrett 公式的 MAE 显著小于 Holladay 2、SRK/T、Hoffer Q 和 Holladay 1 公式,但与 Haigis 公式无显著差异;比较 PE 在 $\pm 0.50D$ 内手术眼所占比例时,Barrett 高于 Haigis 及其

他公式;但亚组分析发现,AL 为 24.5~26mm 时,Barrett 公式的 MAE 明显低于 Haigis;AL > 26mm 时,Barrett 与 Haigis 公式的 MAE 无显著差异。Rong 等^[18]通过优化晶状体常数,将术后 1mo 的平均误差 (mean error, ME) 调整为零,发现 AL 为 28~30mm 时,Barrett、Haigis 和 Olsen 公式同样准确,但 AL > 30mm 时,Barrett 公式优于 Haigis 公式。Haigis 公式在长眼轴中的准确性受 AL 和角膜测量值的影响,而 Barrett 和 Olsen 公式的准确性仅受 AL 的影响。相比之下,Barrett 公式是长眼轴 IOL 度数计算可选择的最佳公式之一。

为了降低术后远视屈光误差,Wang 等开发了基于 Holladay 1、SRK/T 优化后的原始版 Wang-Koch AL 优化公式及 2018 年发布的在原始版基础上改进的改良版 Wang-Koch AL 优化公式。既往研究认为基于 Holladay 1 的原始版 Wang-Koch AL 优化公式适用于 $AL > 27mm$ 的眼睛,AL 为 25~27mm 的眼睛不建议使用^[19]。Liu 等^[20]研究认为,当 $AL \geq 26mm$ 时,原始版 Wang-Koch AL 优化公式产生屈光预测误差为远视结果的眼睛百分比 (15%~18%) 明显低于所有其他公式 (Barrett、Hill-RBF 2.0、Haigis、Holladay 1、SRK/T 和改良版 Wang-Koch AL 优化公式) (28%~91%),但 Barrett、Hill-RBF 2.0 公式的平均数值误差 (mean numerical error, MNE) 均接近于零,PE 在 $\pm 0.50D$ 内手术眼所占比例最高,且 Barrett 公式不受异常眼轴的影响。

晶状体常数优化是通过调整晶状体常数将算术平均误差降至零,从而消除系统近视或远视误差的数学方法。最近研究认为晶状体常数优化方法对长眼轴 IOL 的预测精确度改善有限,在一定的预测误差范围内,长眼轴的 MAE 和 PE 在 $\pm 0.50D$ 内手术眼所占比例在系统默认常数 (ULIB 常数) 和优化后的 IOL 常数之间无显著差异^[21]。长眼轴中改良版 Wang-Koch AL 优化公式和原始版预测精确度相近,但改良版有远视倾向。将 Wang-Koch AL 优化公式与晶状体常数优化结合使用,明显使长眼轴屈光预测向近视发展,因此不建议两者结合使用。Barrett 与 Wang-Koch AL 优化公式有同样的预测精度。与既往研究相似,Barrett 不需要对 AL 或常数进行优化,且与原始 Wang-Koch AL 优化公式具有相似的预测精度^[2]。

2.2 短眼轴 IOL 度数计算公式的选择 短眼轴 IOL 公式的准确使用存在争议,尤其对于眼轴极短的眼睛,IOL 度数计算的预测误差相对较高,仅 31%~46% 的手术眼 PE 在 $\pm 0.50D$ 内^[22]。因短眼轴所需的 IOL 度数较高及 IOL 与视网膜之间的距离较短,使预测 IOL 的任何误差都会对患者屈光造成很大的影响,且误差来源与角膜曲率较大及前房较浅相关^[23]。Wang 等^[24]对短眼轴白内障患者所用 IOL 公式的准确性进行 Meta 分析发现,Haigis 公式的预测最准确。Gökce 等^[25]比较 $AL < 22mm$ 时 7 个公式预测的准确性,Hoffer Q 和 Holladay 2 公式可产生轻度近视屈光预测误差,分别为 -0.22、-0.23D, Olsen 公式产生 +0.27D 远视屈光误差。Carifi 等^[26]报道 Holladay 2 公式的 MAE 值最小。理论上,Holladay 2 公式加入了更多的生物参数,

ELP 的预测及 IOL 度数估计可能比其他公式更准确,但由于短眼轴中使用 Holladay 2 公式的样本量较小,Haigis 和 Holladay 2 公式的使用还需要进一步研究。Roberts 等^[27]比较 Hill-RBF、Barrett 和现有的第三、四代 IOL 公式预测的屈光结果发现,AL<22mm 时,Hill-RBF 公式的平均数值误差略小于 Barrett 公式,但 Barrett 的术后预测屈光不正更少。目前关于短眼轴的研究样本量相对较少,对新一代公式在短眼轴范围内还需要深入探讨。

由于没有一种高度精确的公式适用于长眼轴或短眼轴、扁平或陡峭角膜、深或浅 ACD 等一系列不同特征的眼睛,医生应考虑并使用多种不同眼部特征的公式。最近一项研究比较了 5 种常用的 IOL 公式,结果表明,与其他公式相比,Barrett 公式的 MAE 最低,且 Barrett 公式的 PE 在 $\pm 0.50D$ 内手术眼所占比例最多,除 Barrett 公式外,所有公式预测的屈光不正均与 AL 显著相关,且 SRK/T 公式预测的屈光不正与 K 值呈负相关,Hoffer Q 和 Haigis 公式预测的屈光不正分别与 K 值及 ACD 呈正相关,Haigis 和 Holladay 2 公式预测的屈光不正与 IOL 厚度呈正相关^[28]。Darcy 等^[29]将 10930 例白内障患者根据 AL 分组,研究认为在所有 AL 范围内,Kane 公式比其他公式更准确,更新后的 Hill-RBF 2.0 和 Holladay 2 优化公式比更新前的预测结果更好,且 Hill-RBF 2.0 公式优于之前一致认为最精确的 Barrett 公式。Connell 等^[30]将 Barrett 与 Kane、Hill-RBF 2.0、Holladay 2-AL 优化公式进行比较发现,所有 AL 范围内,Kane 公式的 MAE 最小,比其他公式更能准确预测术后屈光状态,但没有大样本量的长眼轴和短眼轴亚组以进行充分地统计比较。

3 小结

光学生物测量技术及 IOL 度数计算公式仍在不断发展,基于 SS-OCT 原理的 IOL Master 700、OA-2000 和 Argos 对白内障患者术前眼部参数测量有很好的一致性,但在 AL 测量方面,Argos 成功率更高,且基于眼部各组织不同折射率测得的 AL 明显改善了多数 IOL 计算公式的预测精度。普遍认为,Barrett 公式是长眼轴 IOL 度数计算最佳使用公式,但目前最新的 Kane、Hill-RBF 2.0 公式在更大的眼轴范围内似乎比 Barrett 公式更准确。对于短眼轴人群的研究样本量较少,Haigis、Holladay 2、Barrett 及最新的 IOL 公式还需要进一步比较研究。所有这些都将进一步推动屈光性白内障手术向更好的可预见性和患者满意的屈光状态及结果发展。

参考文献

- Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018; 125(2):169-178
- Wang WW, Miao YX, Savini G, et al. Precision of a new ocular biometer in eyes with cataract using swept source optical coherence tomography combined with Placido-disk corneal topography. *Sci Rep* 2017; 7(1):13736
- An Y, Kang EK, Kim H, et al. Accuracy of swept-source optical coherence tomography based biometry for intraocular lens power calculation; a retrospective cross-sectional study. *BMC Ophthalmol* 2019;19(1):30

- Higashiyama T, Mori H, Nakajima F, et al. Comparison of a new biometer using swept-source optical coherence tomography and a conventional biometer using partial coherence interferometry. *PLoS One* 2018; 13(4):e0196401

- Dong J, Zhang Y, Zhang H, et al. Comparison of axial length, anterior chamber depth and intraocular lens power between IOLMaster and ultrasound in normal, long and short eyes. *PLoS One* 2018; 13(3):e0194273

- McAlinden C, Wang QM, Gao RR, et al. Axial length measurement failure rates with biometers using swept-source optical coherence tomography compared to partial-coherence interferometry and optical low-coherence interferometry. *Am J Ophthalmol* 2017; 173:64-69

- Hirnschall N, Varsits R, Doeller B, et al. Enhanced Penetration for Axial Length Measurement of Eyes with Dense Cataracts Using Swept Source Optical Coherence Tomography: A Consecutive Observational Study. *Ophthalmol Ther* 2018; 7(1):119-124

- Tamaoki A, Kojima T, Hasegawa A, et al. Clinical Evaluation of a New Swept-Source Optical Coherence Biometer That Uses Individual Refractive Indices to Measure Axial Length in Cataract Patients. *Ophthalmic Res* 2019; 62(1):11-23

- Wang L, Cao D, Weikert MP, et al. Calculation of Axial length using a single group refractive index versus using different refractive indices for each ocular segment; theoretical study and refractive outcomes. *Ophthalmology* 2019; 126(5):663-670

- Cooke DL, Cooke TL. A comparison of two methods to calculate axial length. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(3):284-292

- 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 IOL Master-500. *Eye (Lond)* 2018; 32(7):1244-1252

- Huang JH, Chen H, Li Y, et al. Comprehensive comparison of axial length measurement with three swept-source OCT-based biometers and partial coherence interferometry. *J Refract Surg* 2019; 35(2):115-120

- Ning XN, Yang YH, Yan H, et al. Anterior chamber depth - a predictor of refractive outcomes after age-related cataract surgery. *BMC Ophthalmol* 2019; 19(1):134

- Yang CM, Lim DH, Kim HJ, et al. Comparison of two swept-source optical coherence tomography biometers and a partial coherence interferometer. *PLoS One* 2019;14(10):e0223114

- Abulafia A, Barrett GD, Rotenberg M, et al. Intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 26.0 mm: comparison of formulas and methods. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41:548-556

- Wang L, Koch DD. Modified axial length adjustment formulas in long eyes. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(11):1396-1397

- Wang QW, Jiang W, Lin T, et al. Accuracy of intraocular lens power calculation formulas in long eyes: a systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Ophthalmol* 2018; 46(7):738-749

- Rong XF, He WW, Zhu Q, et al. Intraocular lens power calculation in eyes with extreme myopia: comparison of Barrett Universal II, Haigis, and Olsen formulas. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(6):732-737

- Popovic M, Schlenker MB, Campos-Möller X, et al. Wang-Koch formula for optimization of intraocular lens power calculation; evaluation at a Canadian center. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(1):17-22

- Liu JW, Wang L, Chai F, et al. Comparison of intraocular lens power

calculation formulas in Chinese eyes with axial myopia. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(6):725-731

21 Zhang JQ, Zou XY, Zheng DY, *et al.* Effect of lens constants optimization on the accuracy of intraocular lens power calculation formulas for highly myopic eyes. *Int J Ophthalmol* 2019;12(6):943-948

22 Shajairi M, Komb CM, Petermann K, *et al.* Comparison of 9 modern intraocular lens power calculation formulas for a quadrifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(8):942-948

23 Hoffer KJ, Savini G. IOL Power Calculation in Short and Long Eyes. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2017; 6(4):330

24 Wang QW, Jiang W, Lin T, *et al.* Meta-analysis of accuracy of intraocular lens power calculation formulas in short eyes. *Clin Exp Ophthalmol* 2018; 46(4):356-363

25 Gökce SE, Zeiter JH, Weikert MP, *et al.* Intraocular lens power calculations in short eyes using 7 formulas. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43(7):892-897

26 Carifi G, Aiello F, Zygoura V, *et al.* Accuracy of the refractive

prediction determined by multiple currently available intraocular lens power calculation formulas in small eyes. *Am J Ophthalmol* 2015;159(3):577-583

27 Roberts TV, Hodge C, Sutton G, *et al.* Comparison of Hill-radial basis function, Barrett Universal and current third generation formulas for the calculation of intraocular lens power during cataract surgery. *Clin Exp Ophthalmol* 2018; 46(3):240-246

28 Kim SY, Lee SH, Kim NR, *et al.* Accuracy of intraocular lens power calculation formulas using a swept-source optical biometer. *PLoS One* 2020; 15(1):e0227638

29 Darcy K, Gunn D, Tavassoli S, *et al.* Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10930 eyes from the UK National Health Service. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46(1):2-7

30 Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. *BMJ Open Ophthalmol* 2019; 4(1):e000251