

引用本文: 吴姝颖, 吴嫦, 廖萱. 基于不同眼前节成像系统对白内障的客观评估[J]. 安徽医药, 2026, 30(5): 856-859.
DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2026.05.002.



◇ 综述 ◇

基于不同眼前节成像系统对白内障的客观评估

吴姝颖^{1,2}, 吴嫦^{1,2}, 廖萱^{1,2}

作者单位:¹川北医学院附属医院眼科, 四川 南充 637000;

²川北医学院眼视光医学院, 四川 南充 637000

通信作者: 廖萱, 女, 主任医师, 博士生导师, 研究方向为眼屈光不正与晶状体疾病, Email: aleexand@163.com

基金项目: 四川省自然科学基金项目(2023NSFSC0595); 南充市市校科技战略合作课题(22SXFWD003)

摘要 白内障是世界范围内致盲的主要原因之一, 也是一个重大的公共卫生问题。目前临床上对白内障的诊断及分级主要依赖于晶状体混浊分类系统Ⅲ(LOCS Ⅲ), 但这种方法具有主观性。眼前节成像技术的发展使客观评估晶状体的混浊程度成为可能。该文对目前用于客观评估白内障成像系统的原理、优劣处及评估性能进行归纳总结。这些成像系统对白内障的筛查、诊断及评估手术时机至关重要。选择合适的设备对不同类型的白内障病人进行客观分析, 也可为临床工作提供更加有力的理论支持。

关键词 白内障; 眼前节成像技术; 白内障分级; 晶状体混浊分类系统Ⅲ

Objective assessment of cataract based on different anterior segment imaging systems

Wu Shuying^{1,2}, Wu Chang^{1,2}, Liao Xuan^{1,2}

*Author Affiliations:*¹Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China; ²Department of Optometr, North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China

Abstract Cataract is one of the principal reasons leading to blindness worldwide, which is also a major public health issue. At present, the diagnosis and grading of cataract in clinical practice is mainly based on the lens opacities classification system Ⅲ (LOCS Ⅲ). However, this method is subjective. The development of anterior segment imaging technology has made it possible to objectively assess the lens opacity. This review summarizes the principles, advantages and disadvantages, as well as the performance of systems currently used for objective assessment of cataracts. These systems are crucial for cataract screening, diagnosing, and evaluating the timing of surgery. The selection of appropriate equipment for different types of cataract patients can also provide more powerful theoretical support for clinical work.

Keywords Cataract; Anterior segment imaging technology; Cataract grading; Lens opacities classification system Ⅲ

白内障的早期诊断和及时管理对于提高病人的生活质量至关重要^[1]。晶状体混浊分类系统Ⅲ(LOCS Ⅲ)是临床上广泛用于评估白内障形态和混浊程度的方式, 它由六张裂隙灯图像组成, 用于分级晶状体核颜色(NC)和晶状体核混浊(NO), 5张后照明图像用于分级皮层白内障(C)和后囊膜下白内障(P)^[2]。然而, LOCS Ⅲ是以临床测量为基础的, 容易受到裂隙灯设置和评估者的水平的影响。目前主要有基于光学及超声成像原理的眼前节成像系统用于客观评估晶状体混浊程度。在临床及科研应用中, 可以根据受检者晶状体的类型选择相应的评估方式。

1 基于Scheimpflug断层扫描

Scheimpflug成像系统最初是为角膜诊断而开

发的, 拥有足够的景深, 能够从角膜前表面到晶状体后表面进行成像^[3]。其中最广泛应用的设备是Pentacam系统, 它使用蓝色发光二极管对眼前节进行成像, 能在2 s内捕获25张单缝图像, 收集25 000个真实的海拔数据点, 经过处理后生成眼前节的三维图像, 随后根据病人晶状体图像的灰度来量化晶状体密度大小, 数值在0~100^[4-5]。内置的核分级软件(pentacam nucleus staging, PNS)基于核内的像素强度测量, 生成0~5级的晶状体核分级^[6]。研究发现PNS核分级大于1是用于诊断白内障的阈值^[7]。且PNS分级与视力、LOCS Ⅲ及白内障手术中的动力学参数之间均存在相关性^[8-10]。Whang等^[11]利用PNS对晶状体核密度进行客观分级, 比较了不同PNS分级病人在飞秒激光辅助超声乳化手术联合人

工晶状体植入(femtosecond laser-assisted cataract surgery, FLACS)及传统的超声乳化手术间的有效性和安全性,结果提示在PNS分级较高的病人中,FLACS表现出更低的术中超声能量及术后角膜内皮丢失($P < 0.001$)。最近的研究则发现PNS小于2的病人在植入多焦点人工晶状体后更易出现不适应的现象^[12]。因此,PNS分级对病人的视力评估、晶状体混浊程度的分析及白内障手术方式选择中具有指导意义。图像也可以导出到ImageJ图像分析软件利用像素单位对其进行分析^[13]。

Pentacam系统可以对晶状体图像进行真正的连续测量,且系统内置的软件可以自动分析得到相应的晶状体密度值及核分级值,提供的数据比LOCS III更客观且不受限于检查者技术。但测量过程会受到许多因素的影响,如屈光介质的清晰度和瞳孔大小,重度混浊的晶状体会引起光线遮挡,影响测量结果的准确性,且由于光学成像技术的限制,虹膜后的信号不能被系统接收,在测量前需要散瞳以最大化暴露晶状体,而晶状体的后皮质和后囊在充分散瞳后也不能完全显示^[7,14]。因此,该系统目前主要适用于轻中度核性白内障的分级研究中。

2 基于光学相干断层成像

光学相干断层成像技术(optical coherence tomography, OCT)是基于低相干干涉测量的原理,通过比较从眼前节反射的红外光与参考反射的时间延迟进行成像^[15]。扫描源光学相干层析成像(swept source-optical coherence tomography, SS-OCT)是一种新型OCT技术,无需纵向扫描,具有更快的采集时间,可以减少由于眼球运动引起的伪影、降低信噪比和提供更好的分辨率^[16-17]。

目前基于SS-OCT原理对白内障的客观评估设备包括IOLMaster700和CASIA-2。IOLMaster700从6个方向对眼前节进行扫描,可以显示整个眼睛的垂直结构,包括角膜、虹膜、晶状体^[18]。Panthier等^[19]使用MATLAB软件开发的算法在IOLMaster700上分析测量平均晶状体密度(average lens density, ALD),认为 $ALD > 73.8$ 像素单位作为判断白内障的界值,其灵敏度为96.2%,特异度为91.3%,且ALD与PNS之间存在良好的相关性($r^2 = 0.65, P < 0.01$),证实了该设备良好的重复性及可靠性。Li等^[14]和Wu等^[20]的研究发现IOLMaster700对晶状体的核密度测量不受瞳孔大小的影响,对于一些无法实现散瞳的病人,如青光眼、虹膜粘连等眼病,更具术前指导性。CASIA-2可以在一张图像中看到整个角膜和晶状体,并能够对后部皮质和后囊进行高分辨率的清

晰成像^[21]。Wang等^[22]利用CASIA-2对1 222例病人进行研究,并结合测量晶状体密度,首次确认晶状体密度与LOCS III分级之间的相关性($r = 0.72, P < 0.001$)。在此基础上进一步评估CASIA-2对硬核白内障的诊断性能,发现 ≥ 36.199 像素单位的AND表明存在硬核白内障,其灵敏度为83.0%,特异度为73.0%。

与Scheimpflug成像系统相比,SS-OCT具备更好图像分辨率及更深的扫描深度,即使在重度混浊的白内障中也能获取完整的晶状体图像。但SS-OCT在扫描时需要自动分析、手动检查和更正,限制了该技术在临床工作中的广泛应用,如何设置自动分级系统是未来研究需要突破的难题。

3 基于双通道视觉质量分析

双通道视觉质量分析系统(optical quality analysis system, OQAS II)以双通道技术为基础,运用780 nm近红外激光器投射在视网膜反射得到成像,得到点扩散函数(point spread function, PSF)和客观散射指数(optical scattering index, OSI)^[10]。部分早期的白内障病人尽管有较好的视力,但视觉质量的下降却影响着他们的生活质量,临床中通常使用OSI值作为评估这部分人群的手术时机客观指标。

OSI的范围从0(无散射)到25(最大散射),正常眼的OSI低于2^[23]。既往的研究认为OSI低于1认为是正常眼睛。在1~3为早期白内障,OSI值3~7为进展期白内障。大于7为成熟期白内障。近年来,研究者们利用ROC曲线,根据约登指数确定核性白内障病人手术的最佳临界值,最新的研究根据眼科医生的经验将受试者分为手术组与非手术组,得到OSI 3.2为手术的最佳临界值,具有80%的灵敏度和84%的特异度,ROC曲线下面积为0.84[95%CI: (0.78, 0.89)]^[24]。Li等^[25]则根据NO分级及矫正视力对受试者分组,得到的最佳临界值为2.9,其灵敏度为89.58%,特异度为81.63%。

然而,OQAS II不能区分散射是由于晶状体或其他光学介质引起,限制了在特殊病人中的应用,一项研究报道了频率散射指数(frequency scatter index, FSI)受眼内像差的影响较小,对不同程度白内障的测量表明FSI与OSI之间有很强的相关性($r = 0.93, P < 0.000 1$)^[26]。FSI可作为未来分析一种较OSI值更可靠的评估参数。

4 基于iTrace视功能分析仪

iTrace视功能分析仪是一种结合了Placido盘和波前分析的光学设备,可以得到主要由晶状体引起的像差,再根据像差、瞳孔大小和对比度敏感度计算得出晶状体功能失调指数(dysfunction lens index,

DLI)和晶状体混浊地形图混浊分级(opacity map grade, OMG)^[5,27]。DLI范围为0~10分,分值越低则晶状体混浊程度越高,OMG范围为0~5级,分级越高则晶状体混浊程度越高^[23,28]。

Li等^[25]根据晶状体混浊程度及矫正视力将核性白内障分为手术组和非手术组,测量4 mm直径区域内的DLI值,并建立ROC曲线确定DLI≤5.7可作为核性白内障的手术临界值,其灵敏度为91.67%,特异度为91.84%,后续的研究则利用同样的方法确定了混合性白内障的手术临界值为DLI≤5.36^[27]。

iTrace能够得到眼内屈光系统的像差,并能区分像差的来源,DLI值与主观问卷的相关性表明,它有助于评估病人的主观视觉质量下降,对于具有明显视觉症状的早期白内障的诊断和治疗、流行病学研究非常重要^[25]。但iTrace在晶状体严重混浊的白内障病人中,无法向其眼内投射激光,故无法测量相应的DLI值,只有在眼内其余屈光介质近似透明时DLI值才能反映晶状体的混浊程度,因此在白内障评估时需要严格把握纳入和排除标准。

5 超声生物显微镜

临床上常规使用的超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)为50至100 MHz,能够清晰对房角、睫状体及虹膜结构进行成像,被广泛用于青光眼的诊治中^[29]。近年来,低频率的UBM已被引入白内障临床诊断和研究中,具有更高的分辨率和穿透力,在白内障发展的不同时期均可获得完整、准确的晶状体及后囊信息,且不受屈光介质混浊和瞳孔大小的影响,弥补了光学设备的不足。

Feng等^[30]、Zhao等^[31]的研究通过将25 MHz的UBM采集的晶状体图像转换为灰度图像,使用像素单元来定量评估晶状体的混浊程度,并发现其混浊程度与病人术中的超声乳化的累积耗散能量(cumulative dissipated energy, CDE)及矫正远视力呈线性相关。晶状体的平均密度为101.30像素单位,平均CDE值为9.75。在进一步研究中,获得了5种不同类型的晶状体混浊特征,其中皮质性白内障、核性白内障和后囊下白内障的平均密度为121.00±22.82、93.30±15.90和99.70±13.00,证实了它在不同类型白内障评估的有效性。

在对一些特殊类型白内障的诊断及评估中,UBM表现出独特的优势。Xiang等^[32]制定了基于UBM儿童白内障晶状体混浊分级系统(LOCS-UP)对分析了4个区域的晶状体混浊的特点,发现UBM在检测前囊混浊时具有较高的敏感度。Wu等^[33]发现UBM能准确显示外伤性白内障中晶状体后囊的完整性,并确定后囊破裂的范围和方向,认为术前

行UBM检查有助于降低术中并发症的发生。此外,UBM还可以根据反射率特点判断晚期白内障的类型,例如在Morgagnian白内障中,可以看到硬核向后极下沉,液化的皮质呈弥漫的细小的低反射混浊^[34]。

UBM是一种安全有效的检查方法,对于诊断复杂白内障和制定术前手术计划都是非常有价值的。但该设备对操作人员的技术要求高,且检测时需要与眼球直接接触,故不适合用于普通白内障及合并开放性眼外伤病人的临床评估中。

6 小结

目前有多种方法可以用于对晶状体混浊的客观定量及分级,其中应用最广泛的是Pentacam,操作相对简单病人容易配合,可以直接获得相应的密度数据及晶状体核分级;SS-OCT的发展则使得晶状体的成像质量提高,并可以通过图像软件对密度进行评估,是近年来主要的研究方式;OQAS II和iTrace视功能分析仪为早期白内障的手术决策提供了客观证据;UBM可以获得不同形态的白内障,适用于晚期及特殊类型白内障的评估。在临床及科研中,我们可以根据病人情况,选择合适的设备进行测量,能获得更准确可信的数据。

参考文献

- [1] 罗映月,唐丽,铁金军.单眼白内障手术对侧眼眼表及细胞因子研究进展[J].安徽医药,2024,28(5):849-853.
- [2] Gali HE, Sella R, Afshari NA. Cataract grading systems: a review of past and present[J]. Curr Opin Ophthalmol, 2019, 30(1): 13-18.
- [3] Doctor K, Vunnavu KP, Shroff R, et al. Simplifying and understanding various topographic indices for keratoconus using Scheimpflug based topographers[J]. Indian J Ophthalmol, 2020, 68(12): 2732-2743.
- [4] Chen Ding, Li Zhangliang, Huang Jinhai, et al. Lens nuclear opacity quantitation with long-range swept-source optical coherence tomography: correlation to LOCS III and a Scheimpflug imaging-based grading system[J]. Br J Ophthalmol, 2019, 103(8): 1048-1053.
- [5] Fenández J, Burguera N, Rocha-de-Lossada C, et al. Objective cataract grading methods and expected contrast sensitivity reestablishment with multifocal intraocular lenses[J]. International Ophthalmology, 2023, 43(8): 2825-2832.
- [6] 罗家伟,季敏,秦苗苗,等. iTrace和Pentacam及LOCS III参数在晶状体混浊程度评估中的相关性[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23(1): 147-152.
- [7] Lim DH, Kim TH, Chung ES, et al. Measurement of lens density using Scheimpflug imaging system as a screening test in the field of health examination for age-related cataract[J]. The British Journal of Ophthalmology, 2015, 99(2): 184-191.
- [8] Haddad JS, Borges C, Daher ND, et al. Correlations of immediate corneal tomography changes with preoperative and the elapsed

- phaco parameters[J]. *Clinical Ophthalmology* (Auckland, NZ), 2022, 16: 2421-2428.
- [9] Jee D, Park SH, Hwang HS, et al. Effects of hormone replacement therapy on lens opacity, serum inflammatory cytokines, and antioxidant levels [J]. *Annals of Medicine*, 2021, 53 (1) : 707-714.
- [10] Garcin T, Grivet D, Thuret G, et al. Using optical quality analysis system for predicting surgical parameters in age-related cataract patients [J/OL]. *PLoS One*, 2020, 15 (10) : e0240350. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0240350>. DOI: 10.1371/journal.pone.0240350.
- [11] Whang WJ, Yang HJ, Lee SH, et al. Effect of pre-fragmentation on efficacy and safety for phacoemulsification in femtosecond laser-assisted cataract surgery: a non-randomized clinical trial[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2023, 11(1) : 5.
- [12] Fernández J, Burguera N, Rocha-de-Lossada C, et al. Screening of positive dysphotopsia before multifocal intraocular lens implantation [J]. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2024, 72 (Sup 2) : S211-S217.
- [13] Henriquez MA, Mejías JA, Rincon M, et al. Correlation between lens thickness and lens density in patients with mild to moderate cataracts[J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(10) : 1350-1357.
- [14] Li Bowen, Liu Yuqi, Hu Yiping, et al. Comparison of the IOLMaster 700 and the pentacam in the analysis of the lens nuclear density before the cataract surgery [J]. *Front Med*, 2021, 8: 691173. DOI: 10.3389/fmed.2021.691173.
- [15] Ahmed TM, Siddiqui MAR, Hussain B. Optical coherence tomography as a diagnostic intervention before cataract surgery-a review [J]. *Eye (London)*, 2023, 37(11) : 2176-2182.
- [16] Mirzayev I, Gündüz AK, Aydın Ellialtıoğlu P, et al. Clinical applications of anterior segment swept-source optical coherence tomography: a systematic review [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2023, 42: 103334. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103334.
- [17] Shajari M, Rusev V, Mayer W, et al. Impact of lens density and lens thickness on cumulative dissipated energy in femtosecond laser-assisted cataract surgery [J]. *Lasers Med Sci*, 2019, 34(6) : 1229-1234.
- [18] Wang Lijun, Li Chen, Li Jianqing, et al. Association of lens density quantified by IOLMaster 700 with lenticular myopia in nuclear cataract [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022, 260(5) : 1565-1572.
- [19] Panthier C, de Wazieres A, Rouger H, et al. Average lens density quantification with swept-source optical coherence tomography: optimized, automated cataract grading technique [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(12) : 1746-1752.
- [20] Wu Xueer, Chen Lulu, Li Zhangliang, et al. Correlation between lens density measured by swept-source optical coherence tomography and phacodynamic parameters of centurion phacoemulsification [J]. *Curr Eye Res*, 2023, 48(7) : 651-659.
- [21] Fan Shuxin, Feng Rui, Liang Feiyan, et al. Objective quantification of lens opacity in posterior subcapsular cataracts using IOL master 700 and CASIA-2 [J]. *Am J Ophthalmol*, 2023, 254: 203-209.
- [22] Wang Wei, Zhang Jiaqing, Gu Xiaoxun, et al. Objective quantification of lens nuclear opacities using swept-source anterior segment optical coherence tomography [J]. *Br J Ophthalmol*, 2022, 106 (6) : 790-794.
- [23] de Souza RG, Golla A, Khan M, et al. Association of optical cataract indices with cataract severity and visual function [J]. *Int Ophthalmol*, 2022, 42(1) : 27-33.
- [24] Monferrer-Adsuara C, Mata-Morel L, Castro-Navarro V, et al. An objective scatter index cutoff point as a powerful objective criterion for preoperative nuclear cataract decision-making based on ROC analysis [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(10) : 1452-1457.
- [25] Li Zhangliang, Yu Liuqing, Chen Ding, et al. Dysfunctional lens index serve as a novel surgery decision-maker for age-related nuclear cataracts [J]. *Curr Eye Res*, 2019, 44(7) : 733-738.
- [26] Sánchez RF, García-Guerra CE, Martínez-Roda JA, et al. Implementation of the frequency scatter index in clinical commercially available double-pass systems [J]. *Current Eye Research*, 2022, 47(3) : 391-398.
- [27] Li Zhangliang, Zhang Rui, Wu Xueer, et al. Analysis of the dysfunctional lens index as a novel criterion for surgical decision-making in age-related cataracts [J]. *Seminars in Ophthalmology*, 2023, 38(7) : 617-624.
- [28] Wang Yong, Zhang Jinling, Qin Miaomiao, et al. Comparison of optical quality and distinct macular thickness in femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery [J]. *BMC Ophthalmology*, 2020, 20(1) : 42.
- [29] Mansoori T. Qualitative ultrasound biomicroscopy in glaucoma [J]. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2023, 71(6) : 2630-2631.
- [30] Feng Li, Zhao Fangkun, Ke Xin, et al. Correlation between degree of lens opacity and the phacoemulsification energy parameters using different imaging methods in age-related cataract [J]. *Translational Vision Science & Technology*, 2022, 11(3) : 24.
- [31] Zhao Fangkun, Yu Jiaming, Yan Qichang, et al. Clinical application of 25-MHz ultrasound biomicroscopy for lens opacity degree measurements in phacoemulsification [J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2019, 8(4) : 18.
- [32] Xiang Daoman, Jiang Nan, Chen Lihong, et al. Establishing a novel lens opacities classification system based on ultrasound biomicroscopy (UBM) for pediatric cataracts: reliability and availability [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(11) : 4594-4603.
- [33] Wu Bin, Li Qingyu, Liu Yangchen, et al. Application of 14-MHz ultrasonography with tissue harmonic imaging to determine posterior capsule integrity in traumatic cataract [J]. *J Ophthalmol*, 2019, 2019: 4903703. DOI: 10.1155/2019/4903703.
- [34] Chang NSW, Lim JS, Mohanram LS, et al. Ultrasound biomicroscopy in the management of complex cataract and intraocular lens: a review [J]. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 2024, 52 (2) : 186-206.

(收稿日期:2024-04-10,修回日期:2024-06-01)