

· 专家建议与推荐 ·

## 断层扫描成像技术在晶状体外伤诊疗中的新认识及研究新方向

徐雯<sup>1</sup> 王耿<sup>2</sup> 王勇<sup>3</sup> 李学民<sup>4</sup> 张广斌<sup>5</sup> 竺向往<sup>6</sup> 金海鹰<sup>7</sup> 罗莉霞<sup>8</sup> 范玮<sup>9</sup> 赵云娥<sup>10</sup>  
赵江月<sup>11</sup> 俞阿勇<sup>12</sup> 郭海科<sup>13</sup> 鲍永珍<sup>14</sup> 蒋永祥<sup>6</sup> 施策<sup>1</sup>

<sup>1</sup>浙江大学医学院附属第二医院眼科中心, 杭州 310009; <sup>2</sup>香港中文大学联合汕头国际眼科中心, 汕头 515041; <sup>3</sup>武汉大学附属爱尔眼科医院, 武汉 430064; <sup>4</sup>北京大学第三医院眼科, 北京 100191; <sup>5</sup>厦门大学附属厦门眼科中心, 厦门 361004; <sup>6</sup>复旦大学附属眼耳鼻喉科医院眼科, 上海 200031; <sup>7</sup>上海市东方医院眼科, 上海 200120; <sup>8</sup>中山大学中山眼科中心, 广州 510060; <sup>9</sup>四川大学华西医院眼科, 成都 610041; <sup>10</sup>温州医科大学附属眼视光医院杭州院区, 杭州 310020; <sup>11</sup>中国医科大学附属第四医院眼科, 沈阳 110005; <sup>12</sup>温州医科大学附属眼视光医院, 温州 325027; <sup>13</sup>上海和平眼科医院, 上海 200437; <sup>14</sup>北京大学人民医院眼科, 北京 100044

通信作者: 徐雯, Email: xuwen2003@zju.edu.cn

**【摘要】** 晶状体外伤是眼外伤发生后造成视觉功能下降的重要原因。目前, 晶状体外伤仍缺乏明确的分类标准和细致全面的检测手段, 诊断和术前评估、手术时机的选择、手术的决策和术后预后判断等重要诊疗环节上尚存诸多争议和挑战。计算机断层扫描、核磁共振成像、光学相干断层扫描等断层扫描成像类技术为晶状体外伤的评估提供了新的观察维度, 在晶状体外伤中对晶状体透明度、质地、位置、形态、完整性以及悬韧带和邻近其他眼内结构的观察和评估起到了重要作用。然而, 受限于单一技术的局限性, 断层扫描成像技术在该类疾病中的应用仍存在一定限制。随着未来影像技术的迭代和人工智能大数据相关技术的快速发展, 断层扫描成像类技术将日益在晶状体外伤诊疗过程中担当不可或缺的重要角色。本专家组就晶状体外伤的流行病学特点及分类、目前晶状体外伤诊疗面临的主要挑战进行回顾, 主要围绕目前断层扫描成像技术在晶状体外伤诊疗中的具体应用、不足与局限及未来发展方向等提出专家推荐意见。

**基金项目:** 浙江省科技厅领雁计划 (2023C03090)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240531-00140

### New insights and research directions of tomographic imaging technology in the diagnosis and treatment of lens trauma

Xu Wen<sup>1</sup>, Wang Geng<sup>2</sup>, Wang Yong<sup>3</sup>, Li Xuemin<sup>4</sup>, Zhang Guangbin<sup>5</sup>, Zhu Xiangjia<sup>6</sup>, Jin Haiying<sup>7</sup>, Luo Lixia<sup>8</sup>, Fan Wei<sup>9</sup>, Zhao Yune<sup>10</sup>, Zhao Jiangyue<sup>11</sup>, Yu Ayong<sup>12</sup>, Guo Haikē<sup>13</sup>, Bao Yongzhen<sup>14</sup>, Jiang Yongxiang<sup>6</sup>, Shi Ce<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eye Center, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China; <sup>2</sup>Joint Shantou International Eye Center of Shantou University and The Chinese University of Hong Kong, Shantou 515041, China; <sup>3</sup>Aier Eye Hospital Affiliated to Wuhan University, Wuhan 430064, China; <sup>4</sup>Department of Ophthalmology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China; <sup>5</sup>Xiamen Eye Center Affiliated to Xiamen University, Xiamen 361004, China; <sup>6</sup>Department of Ophthalmology, Eye & ENT Hospital of Fudan University, Shanghai 200031, China; <sup>7</sup>Department of Ophthalmology, Shanghai East Hospital, Shanghai 200120, China; <sup>8</sup>Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510060; <sup>9</sup>Department of Ophthalmology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; <sup>10</sup>Hangzhou Branch, Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Hangzhou 310020, China; <sup>11</sup>Department of Ophthalmology, The Fourth Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang 110005, China; <sup>12</sup>Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China; <sup>13</sup>Shanghai Peace Eye Hospital, Shanghai 200437, China; <sup>14</sup>Department of Ophthalmology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China  
Corresponding author: Xu Wen, Email: xuwen2003@zju.edu.cn

**【Abstract】** Lens injury is an important etiological factor in the reduction of visual function following ocular

trauma. Currently, there are no clear standards for the classification of lens injury, and comprehensive diagnostic tools are lacking. This deficiency leads to numerous controversies and challenges in critical areas, such as diagnosis and preoperative evaluation, timing of surgery, surgical strategy, and assessment of postoperative prognosis. Tomographic imaging technology, such as computed tomography, magnetic resonance imaging, optical coherence tomography, has introduced a new dimension to the evaluation of lens injury, which is crucial for assessing the transparency, texture, location, morphology, and integrity of the lens, as well as the zonules and nearby intraocular structures. However, the use of tomographic imaging technology is somewhat limited due to the limitations of relying on a single method. With the ongoing advancement of imaging technologies and the rapid development of big data and artificial intelligence, tomographic imaging will become an increasingly essential tool in the future management of lens injury. Our expert group reviewed the epidemiological characteristics and classification of lens injury and the major challenges currently faced in the diagnosis and treatment of lens injury, and provided expert recommendations mainly focusing on the application, shortcomings and limitations of current tomographic imaging technology in the diagnosis and treatment of lens injury, and future development directions.

**Fund program:** Zhejiang Province Key Research and Development Program (2023C03090)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20240531-00140

晶状体是眼部重要的屈光结构,也是唯一有调节能力的屈光间质,其透明性、完整性以及正常的位置是维持其正常功能的关键。晶状体拥有平均厚度仅为  $7\ \mu\text{m}$  的囊膜<sup>[1]</sup>、直径  $5\sim 30\ \mu\text{m}$  的悬韧带透明束<sup>[2]</sup>、致密分布且透明的晶状体上皮细胞和晶状体纤维,这些眼部组织在遭受各种原因的外力损伤时极易受到损伤。一旦晶状体外伤引起晶状体透明度改变、位置异常、形态变化或者完整性破坏,视功能将会受到较大影响。目前,晶状体外伤仍缺乏明确的分类标准和细致全面的检测手段,诊断和术前评估、手术时机的选择、手术的决策和术后预后判断等重要诊疗环节上尚存诸多争议和挑战。断层扫描成像类技术为晶状体外伤的评估提供了新的观察维度,本专家组就晶状体外伤的流行病学特点及分类、目前晶状体外伤诊疗面临的主要挑战进行回顾,主要围绕目前断层扫描成像技术在晶状体外伤诊疗中的具体应用、不足与局限及未来发展方向等提出专家推荐意见。

## 1 国内外关于晶状体外伤的流行病学特点及分类

据统计,每年全球会发生 550 万次眼外伤,其中年轻人和男性是眼外伤的好发人群,晶状体外伤是眼外伤发生后造成视觉质量下降的主要原因之一,约 65% 的眼外伤会造成晶状体外伤,因晶状体外伤致盲者全球每年约 160 万人<sup>[3-4]</sup>。在发达国家,晶状体外伤是引起成年人单侧盲的主要原因之一。国内目前尚缺乏关于晶状体外伤的流行病学调查资料,自 2012 年由马志中教授发起的中国眼外伤登记网目前仍在收集统计相关数据<sup>[5]</sup>。由于晶状体外伤成因复杂以及疾病转归因素多变等因素的影响,迄今晶状体外伤仍缺乏统

一的分类标准<sup>[6]</sup>。目前已有的眼外伤分类标准主要为 1996 年建立的伯明翰眼外伤术语系统(The Birmingham Eye Trauma Terminology system, BETT)<sup>[7]</sup>, 至今已有近 30 年,故 2022 年 IGATES(the International Globe and Adnexal Trauma Epidemiology Study)在眼外伤标准调查中提出了更新眼外伤分类系统的建议<sup>[8]</sup>。尽管如此,无论是 BETT 还是更新的 IGATES 标准,均未对晶状体外伤制定明确的分类标准。

## 2 目前晶状体外伤诊疗面临的主要挑战

临床中相当一部分晶状体外伤患者首诊为急诊,与常规眼病诊疗相比可用资源较为有限,这使得晶状体外伤存在以下临床诊疗困境:(1)客观检查设备不足 目前,晶状体外伤的诊断主要依靠裂隙灯显微镜下(及裂隙灯显微镜下照相)主观判断,客观检查设备的不足和影像诊断标准的缺失使得诊断基于临床医生的经验判断,缺少客观依据。(2)对晶状体外伤诊断的常用影像设备[眼前节光学相干断层扫描(anterior segment optical coherence tomography, AS-OCT)、超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)等]穿透能力欠佳 当前眼科影像学设备在晶状体外伤的诊疗中尚存在弊端,如接触式成像方式在部分眼穿通或破裂伤患者中并不适用、部分影像设备分辨率不足、对晶状体及周边组织探测的敏感度不足、对晶状体后囊和前部玻璃体等特殊位置的观察能力欠缺等。(3)缺乏晶状体外伤的术中评判方法 由于晶状体外伤常涉及悬韧带损伤,术中患者为仰卧位,体位改变可能导致悬韧带损伤的晶状体位置发生改变,在大部分常规术前检查中无法探查这一体位改变带来的影响。(4)对晶状

体邻近组织的评估存在局限性。晶状体位于眼前节,其外伤常合并角膜、虹膜、房角损伤和玻璃体疝等,而晶状体邻近组织的损伤与否及其程度、晶状体与受累的组织相对位置关系的改变与否是手术方案制定中的重要因素,目前缺乏相应的客观评价方法。(5) 缺乏对晶状体内异物形状和位置的精准评估方法。晶状体异物的性质和位置的精准判定在围手术期的感染预防、手术方案制定和手术过程的实施中是重要的考虑因素,当前在该方面的客观量化评估手段和研究都非常欠缺。这使得晶状体外伤的诊断、术前评估、手术时机的选择、手术方案的决策和术后预后判断等重要诊疗环节上尚存在诸多争议和挑战<sup>[6]</sup>。

### 3 目前晶状体外伤诊疗中涉及的主要断层扫描成像技术

相较于普通晶状体疾病,晶状体外伤常合并球内异物与屈光介质混浊,伴随损伤的组织常位于组织深部,眼科成像系统中的深度信息显得更为重要。相比常规的裂隙灯显微镜检查,目前用于眼科的断层成像系统能提供组织深层的影像信息,为晶状体外伤的评估提供了新的观察维度。除在眼外伤诊疗过程中常规使用的计算机断层扫描(computed tomography, CT)以及核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)外<sup>[9]</sup>,眼科常用的断层扫描成像技术,包括基于Scheimpflug原理的眼科断层扫描仪<sup>[10]</sup>以及AS-OCT<sup>[11]</sup>都能够不同体位、不同深度(6 mm以上)以及多种轴向分辨率(10 μm以下)提供晶状体的影像信息。尽管眼科UBM属于超声影像,但也能够在较高轴向分辨率(50 μm)的成像能力下,提供较广范围内的立体深度信息,将其与其他眼科断层扫描成像技术一并讨论<sup>[12]</sup>。CT和MRI虽然能够提供全眼球和眼周组织形态,但存在费用昂贵、分辨率不足、等待周期较长、空间幽闭缺陷,对晶状体的形态细节和位置检测能力较欠缺。UBM是临床中常用的晶状体外伤检查设备,其利用50~100 MHz的高频超声波获得眼前节的高分辨率图像穿透组织较深,并可获取仰卧状态下的信息,在术前即可为术者提供必要的影像,包括部分悬韧带情况、晶状体后囊完整度以及晶状体位置。但UBM较高频率限制了其探查深度(≤5 mm),且部分外伤性白内障的晶状体膨胀,UBM不能显示晶状体后囊。同时轴向分辨率有限,因其接触式检查的属性,应用受到限制。20 MHz B型超声介于传统B型超声(10 MHz)和UBM(50 MHz)之间,分辨率为75 μm,组织穿透深度为12 mm,可更清晰地呈现晶状体全貌,精

确评估后囊的完整性。基于Scheimpflug原理的眼科断层扫描仪在晶状体外伤的定性诊断中发挥辅助作用,可在非接触条件下对眼前段组织较为完整的晶状体外伤患者进行成像,但受到成像深度的限制,无法完整探测晶状体位置和后囊膜完整度,同时对晶状体周边组织的成像细节常会出现缺失。AS-OCT是近年来发展的眼科成像设备,具有光学相干层析成像的特性,在断层扫描成像技术中轴向分辨率更高,可在非接触前提下对患者进行眼前节三维成像,目前已实现对晶状体形态、位置以及后囊膜完整度的全面探测,对晶状体周边组织也能实现微米级的立体成像。传统频域OCT波长为780~820 nm,探查的病灶深度较浅,目前主流的AS-OCT基于扫频源OCT技术,其波长达到1 060 nm,可探查到眼内6 mm深度的结构,观察到更深层的病灶区域。但基于光学成像原理,对前房存在晶状体皮质遮挡、虹膜损伤遮挡以及眼前段积血及炎症的患者,AS-OCT存在探测盲区。鉴于以上设备各有优劣,目前对晶状体外伤的诊疗成像技术尚无临床金标准,对于此类患者,宜采用多设备综合辅助检查以协助临床诊疗。

### 4 目前断层扫描成像技术在晶状体外伤诊疗中的应用

#### 4.1 术前断层扫描成像技术对外伤眼晶状体位置的评估

在晶状体外伤术前手术方案制定的过程中,晶状体的位置是需要重点考虑的因素之一。MRI设备分辨率高,可用于完整拍摄晶状体并量化评估其位置。晶状体半脱位在断层扫描成像下往往呈现一些隐匿性特征,如双眼前房深度不同、单眼前房不同位置深度不同等,在临床评估中常需要医师仔细对比双眼图像以及单眼图像不同位置中晶状体的影像信息,但目前系统性研究中仅针对晶状体半脱位眼进行量化评估。Lee等<sup>[13]</sup>采用9.4T的MRI设备在体拍摄了晶状体位置并进行了量化分析,其数值与AS-OCT所获取的数据接近。在临床实践中,MRI不受虹膜和巩膜遮挡,能弥补光学成像设备的不足,但是由于高分辨率MRI设备价格极其高昂,因此常被用作判断外伤后晶状体位置的最后手段。与之相对应,AS-OCT常用来初步评估外伤后晶状体的位置。Martinez-Enriquez等<sup>[14]</sup>采用AS-OCT获取了27个离体眼球的晶状体位置数据,为AS-OCT在评估异常晶状体位置的临床应用奠定了基础。Kuriyan等<sup>[15]</sup>采用AS-OCT拍摄晶状体半脱位,首次实现了AS-OCT评估先天性晶状体位置异常的可视化。Chen等<sup>[16]</sup>采用AS-OCT生物测量仪对1 097例

白内障患者晶状体位置进行测量,并分析了其影响因素,发现晶状体位置可以预测术后人工晶状体倾斜和偏心的风险并建立了预测模型。然而,目前的研究仅用 AS-OCT 测量了正常人群或白内障人群的晶状体位置,对晶状体外伤后晶状体位置的精确测量研究仍为空白。与 AS-OCT 不同,UBM 能避免虹膜等组织的干扰,并可在仰卧位进行晶状体位置成像。Yu 等<sup>[17]</sup>采用 UBM 测量了年龄相关性皮质性白内障患者晶状体位置。Ruan 等<sup>[18]</sup>应用新型 UBM Insight 100 对活体正常晶状体进行了生物学测量,提出新型超高频 UBM Insight 100 较传统 UBM 具有更小的侵入性,穿透性更好,可以更好地观察虹膜后面的周边晶状体,结合软件可精确测量晶状体前后表面参数。Suwan 等<sup>[19]</sup>报道 UBM 可见特征性的虹膜特征,也能够协助医师发现隐匿性晶状体半脱位。因此,对于眼前节情况较为复杂的情况,如合并眼内炎症、皮质溢出、虹膜损伤等采用 AS-OCT 检查对晶状体位置无法完整成像的晶状体外伤患者,建议可结合使用 AS-OCT 和 UBM 检查。对于隐匿性晶状体半脱位患者,建议对比对侧眼影像以及单眼不同位置中晶状体影像,重视 UBM 图像上的影像学特征。对晶状体全脱位或不全脱位较为严重的患者,有条件可辅以高分辨 MRI。

#### 4.2 术前断层扫描成像技术对悬韧带的直接与间接评估

晶状体外伤后,悬韧带损伤程度与晶状体位置和活动度有着密切关联。悬韧带位于虹膜之后且悬韧带束直径纤细,因此能避免光学限制且有较高轴向分辨率的 UBM 是观察悬韧带的首选。McWhae 等<sup>[20]</sup>首次采用 UBM 观察了 49 例眼外伤患者的悬韧带损伤。Marques 等<sup>[21]</sup>采用 UBM 观察到眼外伤患者悬韧带的轻微损伤,并描述了 5 种特殊的损伤亚型(偏心注视时可见晶状体赤道部、原发位置时晶状体核偏心、位于虹膜与晶状体间隙、晶状体周边轮廓改变以及局部虹膜颤动)。Tripathy 等<sup>[22]</sup>采用 UBM 对 109 眼外伤眼进行成像并描述了其中悬韧带形态损伤的相关因素(外伤评分、外伤原因等)。Bhatt 等<sup>[23]</sup>采用 UBM 对 142 眼合并屈光介质混浊的外伤眼的悬韧带进行成像,发现 3:00~6:00 位的悬韧带最易受到钝挫伤。而 AS-OCT 仅在虹膜缺损的特殊情况下才能对悬韧带进行成像<sup>[24]</sup>。目前对晶状体外伤后晶状体悬韧带损伤的研究仍较为局限,集中于单一成像维度上的评估,未来需要在多场景多成像维度上进行全方位的研究。

#### 4.3 术前断层扫描成像技术对晶状体完整性的评估

晶状体的完整性评估是术前决定晶状体外伤眼的

手术方式以及判断视力预后的重要因素之一。晶状体外伤的形式多样,程度个体差异较大,如合并有严重溢出的晶状体皮质会对其前囊膜成像产生干扰,因此目前尚缺乏针对于晶状体前囊膜损伤的眼科影像学系统性分类,先前可以检索到的研究仅局限于术中吲哚菁绿染色法对晶状体外伤中前囊膜的完整性评估<sup>[25]</sup>。Tabatabaei 等<sup>[26]</sup>对 20 MHz 的 B 型超声、AS-OCT 以及基于 Scheimpflug 原理的眼前段相机在晶状体外伤眼的后囊膜完整性评估的准确性进行比较,发现相较于 AS-OCT 和 Pentacam,20 MHz 的 B 型超声对晶状体后囊膜破损的检出率更高。但 Tabatabaei 等<sup>[11]</sup>采用 50 MHz 的 UBM 和基于扫频原理的 AS-OCT 对晶状体外伤眼后囊膜完整性进行探测,发现 AS-OCT 对晶状体后囊膜破损的探测准确性高于 UBM。目前的研究认为,波长更长、扫描速度更快的扫频 AS-OCT 探测范围更广,扫描角度更全面,对晶状体后囊膜完整性的探测优于 UBM,但对屈光介质严重混浊的患者,术前采用 UBM 辅助对晶状体后囊膜的评估更有价值。在未来,AS-OCT 的高分辨率成像对晶状体囊袋的精准评估将协助医师对手术过程中人工晶状体植入位置作出决策辅助。

#### 4.4 术前断层扫描成像技术对晶状体混浊度和弹性的评估

晶状体混浊度及弹性与术中超声乳化能量的选择和术后并发症的发生有着紧密关系。然而,目前在体晶状体硬度的生物力学检测方法学研究仍处于早期阶段,主要集中于 AS-OCT 和布里渊生物显微镜的弹性成像技术<sup>[27-28]</sup>,临床上尚缺乏商品化的生物测量仪。若生物弹性测量的断层扫描成像技术用于临床,其喷气或超声激励方式是否会对已有外伤的晶状体造成二次损伤仍需要进一步评估。目前已有一系列使用基于 Scheimpflug 原理的眼前段相机以及 AS-OCT 评估晶状体混浊度的研究,但仅局限于年龄相关性白内障患者。Grulkowski 等<sup>[29]</sup>采用长深度 AS-OCT 在微米量级上对白内障患者的晶状体混浊度进行全方面评估,发现了晶状体随年龄变化过程中发生的不同的混浊现象。Chen 等<sup>[30]</sup>采用长深度的 AS-OCT 及 Pentacam 对 120 例年龄相关性白内障患者的晶状体混浊度进行评估并与 LOCS 分级系统进行比较,发现长深度 AS-OCT 对晶状体的成像能成功对晶状体的混浊度进行分级。Wang 等<sup>[31]</sup>采用基于扫频原理的 AS-OCT 结合图形分析软件 ImageJ 对 1 222 例白内障患者晶状体核混浊度进行了客观定量分级,发现其与 LOCS-III 分级有较强的相关性。Mackenbrock 等<sup>[32]</sup>采用 AS-OCT 对晶状体

皮质和核的混浊度进行了量化分析,并与术中使用的超声乳化能量进行相关性分析,发现 AS-OCT 获得的晶状体亚结构混浊与超声能量有着密切的关联性。Zhang 等<sup>[33]</sup>采用基于卷积神经网络深度学习法学习了 AS-OCT 图片后对基于核性白内障进行了分级,并发现其 LOCS-III 分级有较好的一致性。遗憾的是,目前尚缺乏相关断层扫描成像技术对晶状体外伤眼晶状体混浊度的研究报道,主要原因可能有点: (1) 目前对晶状体外伤中晶状体形态的分类在国际专家组中仍存在争议<sup>[34]</sup>,尚缺乏此类患者统一的晶状体形态分类标准。(2) 晶状体外伤患者的眼前节成像标准目前仍不确定,缺乏图像收集标准。但依据目前年龄相关性白内障的研究经验,AS-OCT 完全有望在晶状体外伤患者晶状体质地评估中发挥重要作用。

#### 4.5 术前断层扫描成像技术对晶状体异物的评估

目前,临床常规上使用 CT 对晶状体内异物进行探测<sup>[35]</sup>,但由于 CT 每个切面的间隔为 1.00~3.75 mm,而临床上异物的尺寸常为 0.5~25.0 mm<sup>[36]</sup>,故微小的晶状体异物使用 CT 扫描有容易漏诊的情况。由于 MRI 特殊的成像性质,对不明性状的异物一般不建议使用 MRI 检查<sup>[37]</sup>。Wang 等<sup>[38]</sup>采用 UBM 对 3 个晶状体异物眼进行检查,发现 UBM 对深度在 5 mm 范围内的晶状体异物有更好的探测能力,而对深度 6 mm 以上的晶状体异物建议联合 AS-OCT 检查。但是目前采用断层扫描设备探测位置较深的晶状体异物仍存在争议,建议合理选择相应的断层成像设备对不同的晶状体内异物进行检测,确保探测的准确性<sup>[39]</sup>。

#### 4.6 断层扫描成像技术对晶状体外伤眼眼前节其他结构的评估

目前,基于 Scheimpflug 原理的眼前节相机和 AS-OCT 对眼角膜成像的技术已发展成熟,能对角膜亚层结构、角膜曲率、角膜厚度等关键指标进行多维度全方位探测并对参数进行自动分析<sup>[40-43]</sup>。对于晶状体外伤眼的患者,有条件者可考虑选择基于 Scheimpflug 原理的眼前节相机和 AS-OCT 检查。同样,关于房角的检测,目前 UBM 与 AS-OCT 也能对房角自动分析并评估,对于晶状体外伤合并房角损伤的患者,临床医生也应根据创伤严重程度选择适宜的断层扫描成像技术对房角进行量化评估<sup>[40,44]</sup>。值得注意的是, Lu 等<sup>[45]</sup>采用基于扫频原理的 AS-OCT 对葡萄膜炎患者的前房炎症进行了量化评估,发现 AS-OCT 能够客观获取前房细胞数量、角膜后沉着物等影像学特征性指标,提示 AS-OCT 可用于晶状体外伤合并前房炎症眼的影像学检测。然而,与葡萄膜炎不同,晶状

体外伤的眼前节炎症程度的变异度更高,有时会伴随前房积血等,仍需要一系列临床研究证明其有效性。Shi 等<sup>[46]</sup>报道采用 AS-OCT 可清晰地检测到晶状体外伤眼的玻璃体疝,表明 AS-OCT 能够评估晶状体外伤眼玻璃体疝的形态和性状,提示 AS-OCT 在晶状体外伤眼中可用于玻璃体疝的检测和分类。赵红等<sup>[47]</sup>采用 AS-OCT 检测闭合性眼球损伤患者眼前节病变,结果显示 AS-OCT 可很好地识别前房角后退、晶状体脱位的位置和睫状体脱离范围等,上述因素是影响闭合性眼外伤患者视力预后的危险因素。

### 5 目前断层扫描成像技术在晶状体外伤患者中应用的不足与局限

断层扫描成像技术在晶状体外伤评估仍有不足和局限性,主要原因如下: (1) 国际上尚缺乏晶状体外伤的分类标准<sup>[6]</sup>,断层扫描成像技术并无单一金标准,这给标准化设备采集晶状体外伤图像带来了挑战,人工智能建立分类模型的进度也较滞后。(2) 晶状体外伤的形态多变,尽管有研究者指出晶状体外伤眼的术前晶状体形态与术后视力预后有着紧密联系<sup>[48]</sup>,但对外伤的晶状体形态表现并无明确定义,这使得断层扫描成像设备获取的晶状体图像量化分析并无依据和锚点,对形态的描述很难建立起统一标准。(3) 晶状体外伤患者所处的临床场景局限,多为眼科急诊收治,能使用的眼科设备有限,导致大部分晶状体外伤患者在获取完整断层扫描图像前就接受了手术干预,这类患者原始眼部影像的标准化获取路径更为困难。(4) 目前的成像技术仍存在局限性,晶状体外伤眼常合并眼内炎症及前后囊膜破损、皮质溢出等,目前的断层成像设备,如 AS-OCT 因光学成像原理的限制无法获取完整图像,而 UBM 则为接触式检查,不适用于合并眼球破裂的患者。(5) 动态变化下的外伤晶状体无适宜的测量方法,外伤晶状体常因体位变化而出现晶状体位置的改变和玻璃体疝的变化,目前不同的断层扫描成像技术体位相对固定,缺乏同一类检测手段在不同体位下的影像学诊断能力。

### 6 断层扫描成像技术在晶状体外伤评估应用的展望及前景

目前,断层扫描成像技术已成为晶状体外伤不可或缺的诊断方法,未来的应用可重点关注以下方面: (1) 多参数辅助手术方案设计 依据目前临床实践需要及各种检测设备的进展,建议未来晶状体外伤手术设计方案中加入对晶状体外伤多维度的客观量化参

数,依托大数据资源及人工智能技术为晶状体外伤手术方案设计提供可利用的资源。(2)依托于断层扫描成像技术的三维重建 在晶状体外伤中应用断层扫描成像的技术优势在于三维重建的便利性,多维度全方位晶状体外伤影像信息将有助于术前评估及术中观察。(3)手术过程中的影像追踪指导 随着术中 OCT 技术在眼科手术中应用的开展<sup>[49]</sup>,术中 OCT 设备有望极大地提高外伤晶状体的手术安全性及手术效率。

断层扫描成像技术目前在晶状体外伤类疾病的临床应用主要为术前辅助诊断和协助手术方案的设计。但由于晶状体外伤目前暂缺形态学分类标准,这一技术尚未在系统性疾病分类及治疗辅助中发挥其应有的作用。待晶状体外伤类疾病分类标准健全后,随着技术的迭代更新和人工智能大数据相关技术的快速发展,断层扫描成像技术将日益在此类疾病的诊疗过程中扮演重要角色。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Fisher RF. Elastic constants of the human lens capsule[J]. *J Physiol*, 1969, 201(1): 1-19. DOI: 10. 1113/jphysiol. 1969. sp008739.
- [2] Bassnett S. Zinn's zonule [J/OL]. *Prog Retin Eye Res*, 2021, 82: 100902 [2024-05-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8139560>. DOI: 10. 1016/j. preteyeres. 2020. 100902.
- [3] Khokhar S, Gupta S, Yogi R, et al. Epidemiology and intermediate-term outcomes of open-and closed-globe injuries in traumatic childhood cataract[J]. *Eur J Ophthalmol*, 2014, 24(1): 124-130. DOI: 10. 5301/ejo. 5000342.
- [4] Peleja MB, da Cunha F, Peleja MB, et al. Epidemiology and prognosis factors in open globe injuries in the Federal District of Brazil[J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22(1): 111 [2024-05-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35264122/>. DOI: 10. 1186/s12886-021-02183-z.
- [5] 封康, 靳瑛, 胡运韬, 等. 中国眼外伤登记网在多中心队列研究中的应用[J]. *中华眼科杂志*, 2014, 50(12): 918-921. DOI: 10. 3760/cma.j. issn. 0412-4081. 2014. 12. 010.
- [6] Shah M, Shah S, Upadhyay P, et al. Controversies in traumatic cataract classification and management; a review[J]. *Can J Ophthalmol*, 2013, 48(4): 251-258. DOI: 10. 1016/j. cjo. 2013. 03. 010.
- [7] Pieramici DJ, Sternberg P Jr, Sr ATM, et al. A system for classifying mechanical injuries of the eye (globe). The Ocular Trauma Classification Group[J]. *Am J Ophthalmol*, 1997, 123(6): 820-831. DOI: 10. 1016/s0002-9394(14)71132-8.
- [8] Hoskin AK, Fliotics MJ, Rousselot A, et al. Globe and adnexal trauma terminology survey[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2022, 140(8): 819-826. DOI: 10. 1001/jamaophthalmol. 2022. 2594.
- [9] Nguyen VD, Singh AK, Altmeyer WB, et al. Demystifying orbital emergencies; a pictorial review[J]. *Radiographics*, 2017, 37(3): 947-962. DOI: 10. 1148/rg. 2017160119.
- [10] Sen P, Kumar N, Mohan A, et al. Role of Scheimpflug imaging for assessment of posterior lens capsule in pediatric traumatic cataract[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69(12): 3520-3524. DOI: 10. 4103/ijo. IJO\_734\_21.
- [11] Tabatabaei SA, Soleimani M, Etesali H, et al. Accuracy of swept-source optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for evaluation of posterior lens capsule in traumatic cataract[J]. *Am J Ophthalmol*, 2020, 216: 55-58. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2020. 03. 030.
- [12] Perry LJ. The evaluation of patients with traumatic cataracts by ultrasound technologies[J]. *Semin Ophthalmol*, 2012, 27(5-6): 121-124. DOI: 10. 3109/08820538. 2012. 712733.
- [13] Lee YE, Joo CK. Assessment of lens center using optical coherence tomography, magnetic resonance imaging, and photographs of the anterior segment of the eye[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56(9): 5512-5518. DOI: 10. 1167/iov. 15-17454.
- [14] Martinez-Enriquez E, Sun M, Velasco-Ocana M, et al. Optical coherence tomography based estimates of crystalline lens volume, equatorial diameter, and plane position[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT600-610. DOI: 10. 1167/iov. 15-18933.
- [15] Kuriyan AE, Flynn HW Jr, Yoo SH. Subluxed traumatic cataract; optical coherence tomography findings and clinical management[J]. *Clin Ophthalmol*, 2012, 6: 1997-1999. DOI: 10. 2147/OPHTH. S37393.
- [16] Chen X, Gu X, Wang W, et al. Distributions of crystalline lens tilt and decentration and associated factors in age-related cataract[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(10): 1296-1301. DOI: 10. 1097/j. jcrs. 0000000000000631.
- [17] Yu Z, Li N, Wang F, et al. Imaging analysis of the biological parameters of the lens in patients with cortical age-related cataracts using ultrasound biomicroscopy[J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 480 [2024-05-20]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37993828>. DOI: 10. 1186/s12886-023-03227-2.
- [18] Ruan X, Liang C, Xia Z, et al. In-vivo lens biometry using the novel ultrasound biomicroscopy[J/OL]. *Front Med (Lausanne)*, 2022, 9: 777645 [2024-05-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8882853>. DOI: 10. 3389/fmed. 2022. 777645.
- [19] Suwan Y, Jiamsawad S, Supakontanasan W, et al. Hidden mechanisms beyond the pupillary block in acute angle closure; ultrasound biomicroscopic study[J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2017, 45(4): 366-370. DOI: 10. 1111/ceo. 12867.
- [20] McWhae JA, Crichton AC, Rinke M. Ultrasound biomicroscopy for the assessment of zonules after ocular trauma[J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(7): 1340-1343. DOI: 10. 1016/S0161-6420(03)00464-0.
- [21] Marques DM, Marques FF, Osher RH. Subtle signs of zonular damage[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30(6): 1295-1299. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2003. 09. 071.
- [22] Tripathy K, Chawla R, Venkatesh P, et al. Clinical profile of medicolegal cases presenting to the eye casualty in a tertiary care center in India[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2016, 64(6): 422-426. DOI: 10. 4103/0301-4738. 187656.
- [23] Bhatt V, Bhatt D, Barot R, et al. Ultrasound biomicroscopy for zonular evaluation in eyes with ocular trauma[J]. *Clin Ophthalmol*, 2021, 15: 3285-3291. DOI: 10. 2147/OPHTH. S323349.
- [24] Shaikh N, Cooper ML, Ramsey DJ. Zonules imaged by anterior segment optical coherence tomography in a patient with traumatic aniridia[J/OL]. *Indian J Ophthalmol Case Rep*, 2021, 1(4): 855 [2024-05-21]. [http://journals.lww.com/ijog/fulltext/2021/01040/Zonules\\_imaged\\_by\\_anterior\\_segment\\_optical.92.aspx](http://journals.lww.com/ijog/fulltext/2021/01040/Zonules_imaged_by_anterior_segment_optical.92.aspx). DOI: 10. 4103/ijo. 920\_21.
- [25] Newsom TH, Oetting TA. Indocyanine green staining in traumatic cataract[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2000, 26(11): 1691-1693. DOI: 10. 1016/s0886-3350(00)00432-6.
- [26] Tabatabaei A, Hasanlou N, Kheirkhah A, et al. Accuracy of 3 imaging modalities for evaluation of the posterior lens capsule in traumatic cataract[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(7): 1092-1096. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2013. 10. 048.
- [27] Ambekar YS, Singh M, Zhang J, et al. Multimodal quantitative optical elastography of the crystalline lens with optical coherence elastography and Brillouin microscopy[J]. *Biomed Opt Express*, 2020, 11(4): 2041-2051. DOI: 10. 1364/BOE. 387361.
- [28] Chen Y, Ye S, Wang Q, et al. In situ assessment of lens elasticity with noncontact optical coherence elastography[J]. *Biomed Opt Express*, 2022, 13(12): 6671-6681. DOI: 10. 1364/BOE. 475306.
- [29] Grulkowski I, Manzanera S, Cwiklinski L, et al. Volumetric macro-and micro-scale assessment of crystalline lens opacities in cataract patients using long-depth-range swept source optical coherence tomography[J].

- Biomed Opt Express, 2018, 9(8) : 3821-3833. DOI: 10.1364/BOE.9.003821.
- [30] Chen D, Li Z, Huang J, 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. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-312661.
- [31] Wang W, Zhang J, Gu X, 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. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2020-318334.
- [32] Mackenbrock L, Łabuz G, Yildirim TM, et al. Automatic quantitative assessment of lens opacities using two anterior segment imaging techniques: correlation with functional and surgical metrics [J/OL]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(10) : 2406 [2024-05-21]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36292095>. DOI: 10.3390/diagnostics12102406.
- [33] Zhang X, Xiao Z, Fu H, et al. Attention to region: region-based integration-and-recalibration networks for nuclear cataract classification using AS-OCT images [J/OL]. Med Image Anal, 2022, 80 : 102499 [2024-05-21]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35704990>. DOI: 10.1016/j.media.2022.102499.
- [34] Soleimani M, Cheraqpour K, Salari F, et al. All about traumatic cataracts: narrative review [J]. J Cataract Refract Surg, 2024, 50(7) : 760-766. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000001424.
- [35] Behbehani AM, Lotfy N, Ezzdean H, et al. Open eye injuries in the pediatric population in Kuwait [J]. Med Princ Pract, 2002, 11(4) : 183-189. DOI: 10.1159/000065816.
- [36] Modjtahedi BS, Rong A, Bobinski M, et al. Imaging characteristics of intraocular foreign bodies: a comparative study of plain film X-ray, computed tomography, ultrasound, and magnetic resonance imaging [J]. Retina, 2015, 35(1) : 95-104. DOI: 10.1097/IAE.0000000000000271.
- [37] Custer PL, Kent TL. Pitfalls of ophthalmic radiographic imaging [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2014, 25(5) : 432-435. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000064.
- [38] Wang K, Liu J, Chen M. Role of B-scan ultrasonography in the localization of intraocular foreign bodies in the anterior segment: a report of three cases [J/OL]. BMC Ophthalmol, 2015, 15 : 102 [2024-05-21]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26268356>. DOI: 10.1186/s12886-015-0076-1.
- [39] Rong AJ, Fan KC, Golshani B, et al. Multimodal imaging features of intraocular foreign bodies [J]. Semin Ophthalmol, 2019, 34(7-8) : 518-532. DOI: 10.1080/08820538.2019.1674894.
- [40] Ang M, Baskaran M, Werkmeister RM, et al. Anterior segment optical coherence tomography [J]. Prog Retin Eye Res, 2018, 66 : 132-156. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2018.04.002.
- [41] Wu W, Wang Y, Xu L. Meta-analysis of Pentacam vs. ultrasound pachymetry in central corneal thickness measurement in normal, post-LASIK or PRK, and keratoconic or keratoconus-suspect eyes [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2014, 252(1) : 91-99. DOI: 10.1007/s00417-013-2502-5.
- [42] Xu Z, Peng M, Jiang J, et al. Reliability of Pentacam HR thickness maps of the entire cornea in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconus eyes [J]. Am J Ophthalmol, 2016, 162 : 74-82. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.11.008.
- [43] de Sanctis U, Loiacono C, Richiardi L, et al. Sensitivity and specificity of posterior corneal elevation measured by Pentacam in discriminating keratoconus/subclinical keratoconus [J]. Ophthalmology, 2008, 115(9) : 1534-1539. DOI: 10.1016/j.ophtha.2008.02.020.
- [44] Shi G, Jiang Z, Deng G, et al. Automatic classification of anterior chamber angle using ultrasound biomicroscopy and deep learning [J/OL]. Transl Vis Sci Technol, 2019, 8(4) : 25 [2024-05-22]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31448182>. DOI: 10.1167/tvst.8.4.25.
- [45] Lu M, Wang X, Lei L, et al. Quantitative analysis of anterior chamber inflammation using the novel CASIA2 optical coherence tomography [J]. Am J Ophthalmol, 2020, 216 : 59-68. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.03.032.
- [46] Shi C, Xu Z, Xu W. Anterior segment OCT image of vitreous hernia [J/OL]. Ophthalmology, 2024 : S0161-6420(24)00100-3 [2024-05-22]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38430072>. DOI: 10.1016/j.ophtha.2024.02.001. [published online ahead of print].
- [47] 赵红, 李新玉, 金学民. 眼前节 OCT 在闭合性眼球损伤患者眼前节病变治疗中的应用 [J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2022, 44(9) : 675-679. DOI: 10.3760/cma.j.cn116022-20220326-00130. Zhao H, Li XY, Jin XM. The application of anterior segment optical coherence tomography during the treatment of anterior segment in closed ocular injury [J]. Chin J Ocul Traumat Occupat Eye Dis, 2022, 44(9) : 675-679. DOI: 10.3760/cma.j.cn116022-20220326-00130.
- [48] Shah MA, Shah SM, Shah SB, et al. Morphology of traumatic cataract: does it play a role in final visual outcome? [J/OL]. BMJ Open, 2011, 1(1) : e000060 [2024-05-22]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22021742/>. DOI: 10.1136/bmjopen-2011-000060.
- [49] Ung C, Miller JB. Intraoperative optical coherence tomography in vitreoretinal surgery [J]. Semin Ophthalmol, 2019, 34(4) : 312-316. DOI: 10.1080/08820538.2019.1620811.

(收稿日期:2024-07-08 修回日期:2025-02-22)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

读者·作者·编者

## 本刊对来稿中作者署名的著录要求

作者向本刊投稿时署名应符合以下条件:(1)参与课题的选题和实验设计,参与实验资料的收集、分析和论证。(2)参与论文的起草或能够对论文中的方法学或关键部分进行修改。(3)能对审稿专家和编辑提出的修改意见进行核修,能够答辩并承担责任。(4)对论文的诚信负责。仅参与筹得资金或收集资料者以及仅对科研小组进行一般管理者均不宜署名为作者。文中如有外籍作者,应附外籍作者亲笔签名的在本刊发表的同意函。集体署名的文章应于题名下列出署名单位,于文末列出论文整理者的姓名,并须明确该文的主要责任人。

作者署名的名次应按对论文贡献大小顺序排列于文题下方,每篇论文须列出通信作者 1 名。如无特殊约定,则视第一作者为通信作者。作者(包括通信作者)的署名及其排序应在投稿前由所有研究者共同讨论确定,在编排过程中不宜变更或增减,尤其是通信作者和前三名作者,若确需变动者须提供所有署名作者的签名同意函并出示单位证明。有英文文题的论著和综述应有全部作者姓名的汉语拼音,列于英文文题之下。

(本刊编辑部)