

从形态学角度评价可调节人工晶状体植入的临床疗效

冷林 综述 陈绮 审校

【摘要】 模拟人眼调节功能的可调节人工晶状体(AIOL)可为白内障患者术后提供远、中和近距离连续的清晰视觉。然而,临床工作和研究发现,部分术前评估良好的患者即使植入 AIOL,其近视力仍不佳,或即使植入初期效果良好,但拟调节效果随植入时间的延长而逐渐减弱。因此,AIOL 是否能够像设计者最初的设计理念那样发挥调节效果仍存争议。临床大多采用近视力、主客观调节幅度等指标来评价 AIOL 的临床疗效,但由于受到伪调节等因素的影响,它们并不能准确、全面地反映其重建人眼调节功能的实际效果。随着成像技术的不断发展,从形态学角度评价 AIOL 调节效果得以实现。本文就国内外临床上广泛应用的几种 AIOL 在眼内调节过程中的形态学参数改变特征进行综述,以帮助了解其实际临床疗效。

【关键词】 人工晶状体, 可调节; 调节; 形态学; 成像技术

Evaluation of clinical efficacy of accommodating intraocular lens implantation in pseudophakic eyes from the perspective of morphological studies Leng Lin, Chen Qi. School of Ophthalmology and Optometry, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China

Corresponding author: Chen Qi, Email: qichen1983@126.com

【Abstract】 The accommodating intraocular lens (AIOL) is designed to simulate the accommodation of the crystalline lens and satisfy patients by its ability to focus on an object at any distance independent of spectacles. However, near vision in the short-term or long-term future of some patients with AIOLs is not good in clinical practice and there is still no consistent conclusion as to whether they can restore sufficient accommodation. Most clinical evaluations of AIOL performance have been based on visual function, such as the testing of near visual acuity and subjective measurements of accommodation, but these tests may not determine whether the lenses are actually working according to the principle of their design. With the rapid development of imaging technologies, the performance of AIOLs can be observed from the perspective of morphology. This article described the biometry of the anterior segments in the subjects with AIOL during accommodation in order to understand the actual clinical effects of AIOLs.

【Key words】 Intraocular lens, accommodating; Accommodation; Morphology; Imaging technology

白内障摘出联合人工晶状体(intraocular lens, IOL)植入术发展日益完善,已成为治疗白内障、恢复视力最有效的方法。传统单焦点 IOL 由于其固定的屈光度数,术后只能维持较好的视远或视近视力,但无法满足患者视远和视近同时清楚的需求。多焦点 IOL 依靠其镜片表面特殊的光学设计,能为患者提供良好的远近视力,但是由于其引起的对比敏感度降低、光晕和眩光等不良光学效应,使得 7% 的患者终生无法适应^[1]。可调节 IOL (accommodating IOL, AIOL) 是近几年应用于临床的新型 IOL。AIOL 拟调节效果的实现是以老视人群睫状肌的收缩功能仍然存在^[2]为前提,设计者采用较高含水量、亲水性好且具有高度生物兼容性的材料,设计独特的 AIOL 衬及衬与光学部的连接,使 AIOL 能很好地固定于晶状体囊袋内,并接收睫状

肌的收缩力,将其有效地传递给 AIOL 光学部,使之产生相应位移或形变来发挥调节作用^[3],为白内障患者术后提供远、中和近距离连续的清晰视觉,这是设计者最初的理念。基于形状改变而设计的 AIOL 尚无大样本临床资料,有些仍然处于动物实验阶段^[4]。目前,临床上应用较广泛的 AIOL 大多是借助其光学部的前后移动来实现视近的功能,主要包括 Crystalens AT-45 (美国 C&C Vision 公司)^[5-6]、ICU (德国 Human Optics 公司)^[6-7] 和 Tetraflex KH-3500 (美国 Lenstec 公司)^[8] 等。

大量临床工作和研究发现,AIOL 植入眼的视近效果并不像理论设计的那么令人满意^[9]。即使植入初期效果良好,但随着植入时间的延长这种拟调节效果也会逐渐减弱^[10],这提示它们的调节过程可能存在某些缺陷。临床医师大多采用近视力、主客观调节幅度等指标来评价 AIOL 的临床疗效,但由于受到伪调节等因素的影响,这些方法并不能准确、全面地反映 AIOL 重建人眼调节功能的实际效果。近年来,随着眼科成像技术的迅速发展,使得精确观察 AIOL 在眼中发生的形态变化

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.11.016

基金项目:国家青年科学基金项目(81200672);温州市科技计划项目(Y20120151)

作者单位:325027 温州医科大学眼视光学院

通信作者:陈绮,Email:qichen1983@126.com

成为可能,这将有助于临床医师正确、客观地评价其临床疗效和探究其调节效果不佳的原因,并为今后的 AIOL 设计提供可靠的参考依据。本文就国内外临床上广泛应用的几种 AIOL 在眼内调节过程中的形态学参数改变特征进行综述,以帮助了解其实际临床疗效。

1 AIOL 植入眼的临床疗效

Sander 等^[11]通过对 59 例 95 眼植入 Tetraflex AIOL 患者进行 6 个月的随访,发现术后远矫正近视力可以达到或超过 20/40 者达 63%,主观调节幅度超过 2.0 D 者达 75.7%;较传统单焦点 IOL,其远矫正近视力和近阅读能力具有明显优势^[12-13]。Saiki 等^[14]报道了 12 例患者经 ICU AIOL 植入后 4 年的临床效果,发现远矫正近视力为 0.50 ± 0.25 ,主观调节幅度为 (1.36 ± 0.89) D,且术后效果稳定,与术后 1 个月和 1 年的随访结果比较差异均无统计学意义。另外,Macasai 等^[15]通过对 112 例植入 Crystalens AT-45 AIOL 和同等例数传统单焦点 IOL 的患者进行 6 个月的随访研究,发现 AIOL 组可以提供较好的裸眼近视力 $(0.69 \pm 0.23$ 与 $0.35 \pm 0.12)$,且 90% 眼可以达到 J3 或者更好的水平。

然而,Beiko^[8]在控制了影响患者伪调节的相关因素,如年龄、瞳孔大小和角膜散光等之后,结果发现 2 种 AIOL 组与传统单焦点 IOL 组的患者在双眼裸眼远视力、中间视力和近视力等方面差异均无统计学意义。此外,Takakura 等^[9]通过对既往 6 项同质性研究进行 Meta 分析发现,各种类型 AIOL 组患者的远矫正近视力相较传统单焦点 IOL 组并不具有明显优势,差异无统计学意义。有研究表明,采用自动验光仪测量 AIOL 植入眼在视近时的客观调节反应,调节幅度值为 $-0.10 \sim 0.72$ D, AIOL 的调节效果有限^[10,16-17]。研究表明,即使 AIOL 植入眼后初期视近效果表现良好,但是随着时间的延长,其调节功能有下降趋势^[10,18-20]。由此可见 AIOL 在人眼中的调节效果仍然不明确,目前还达不到像设计者最初的设计理念那样完全满足患者术后的远、中和近全程视觉需求。

2 AIOL 调节效果的形态学评价

由于患者的远近视力和调节幅度容易受到伪调节等因素的影响,临床上仅依靠这些方法无法有效地判断 AIOL 是否在真正意义上发挥了调节功能,而迅速发展的眼科成像技术在一定程度上实现了从形态学角度评价 AIOL 的调节效果。根据 Helmholtzian 理论,眼为了看清近处物体,通过睫状肌收缩,引起悬韧带松弛,晶状体由于自身弹性而发生形变,导致晶状体前后表面曲率变大,厚度增加,前房变浅,从而产生调节^[18]。为了验证 AIOL 是否产生调节效果,使用眼成像仪器观察其在眼中的形态变化是有效的方法。目前临床上常用的检查仪器主要有裂隙灯显微镜检查、超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope, UBM) 检查、Purkinje 像、Scheimpflug 技术和 OCT 等^[21-28]。裂隙灯显微镜检查是临床上常用的测量手段,但其检查结果易受检查者主观影响,且不能定量获取眼内部结构参

数^[24]。UBM 不受角膜混浊等因素的影响,对眼前节细微结构进行高频超声成像,并能提供不同断面的眼部结构二维图像,但 UBM 亦存在一定的局限性,如仪器探头需要水浴接触受试者眼球而造成结膜水肿、患者需要仰卧位和被测眼无法注视视标等^[25]。Purkinje 像的 4 个像点分别是角膜前后表面和 IOL 前后表面的反射像,多用于测量 IOL 的倾斜和偏心,缺点是测量误差大,无法观察眼前节形态结构^[23]。基于 Scheimpflug 原理的 Pentacam 眼前节三维成像系统在临床和科研工作中得到广泛使用,其重复性好,可以精确测量眼前节的轴向信息,如角膜厚度、前房深度和晶状体厚度等,但是在测量 IOL 参数时,需要进行扩瞳,这样无法观察调节状态下 AIOL 眼的形态变化^[28]。眼前节 OCT 是一种基于光学干涉原理的非接触式检查技术,具有操作简单、非接触性、高分辨率和成像速度快等优势,在眼科临床和研究中应用日益广泛,但是其现阶段的局限性在于无法清晰测量被虹膜遮挡的结构^[21,26]。

2.1 睫状肌与悬韧带的研究

2.1.1 睫状肌 睫状肌是人眼发挥调节功能的发动机, IOL 植入眼中的睫状肌是否仍然存在收缩功能是 AIOL 发挥调节效果的关键。Strenk 等^[29]通过 MRI 观察 22~91 岁正常人与白内障术后患者的眼部睫状肌,发现正常人眼的晶状体随着年龄的增加而膨胀,致使睫状肌位置向前牵拉,而 IOL 植入眼中的睫状肌由于失去晶状体的牵拉而恢复到年轻时的初始位置(图 1),且在调节刺激时睫状肌发生向心性收缩。此外,Modesti 等^[27]和 Marchini 等^[30-31]均利用 UBM 观察到了睫状肌收缩功能的存在,并没有随着年龄的增加而丧失。

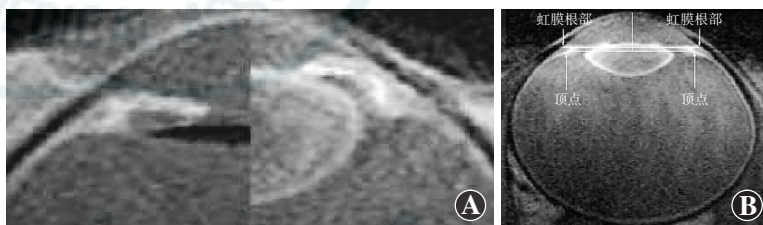


图 1 IOL 眼与正常人眼的 MRI 合成图^[29]

2.1.2 悬韧带 悬韧带是连接晶状体囊袋与睫状体的桥梁,也是调节机制中至关重要的结构。由于白内障手术已经从囊内摘出术发展到囊外摘出术,目前应用广泛的超声乳化白内障摘出术和最新的飞秒激光辅助白内障手术对晶状体囊袋赤道部的影响更小,因此有助于减少悬韧带的损伤,维持其功能。悬韧带结构纤细透明,且隐藏在虹膜后方不易观察,因此对其的研究较少。利用 UBM 观察白内障患者手术前后眼前节结构的变化,Modesti 等^[27]发现晶状体囊袋在水平方向上受到 IOL 脚襻的支撑而被拉伸,使囊袋与睫状体之间的空间减小(图 2),因此推断悬韧带受到挤压,影响了调节机制的通路,不利于 AIOL 发挥调节效果。由于悬韧带与睫状体和晶状体囊袋之间的相互联系较为复杂,因此有待新的成像技术的发展对其作进一步研究。

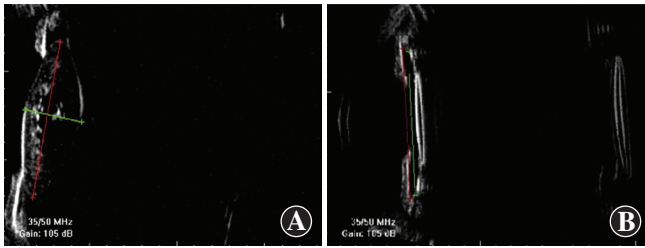


图 2 手术前后晶状体囊袋结构的 UBM 示意图^[27] A:术前囊袋结构,晶状体囊袋直径为 8.91 mm(红线),厚度为 3.30 mm(绿线) B:术后囊袋结构,晶状体囊袋直径为 9.17 mm(绿线),两侧睫状沟之间的距离为 9.63 mm(红线)

2.2 AIOL 的轴向位移

前房深度测量是评价 AIOL 是否移动,是否产生真正意义上调节效果的重要指标^[3]。为了引发调节来观察 AIOL 在眼中的运动情况,既往大量研究使用了质量分数 2% 毛果芸香碱作为药物诱导,但由于它会引睫状肌产生超出生理反应的过度收缩,因此会高估 AIOL 眼的调节效果^[2-3,32]。在药物诱导下,Findl 等^[22]和 Kuchle 等^[24]分别利用 Pentacam 和 IOL Master 发现 1CU AIOL 的前移量分别为 0.31 mm 和 0.63 mm;Langenbucher 等^[33]利用 IOL Master 和 A 型超声发现 1CU AIOL 的前移量分别为 0.78 mm 和 0.63 mm;Stachs 等^[32]应用三维超声显微镜对 4 例植入 Crystalens AT-45 AIOL 患者进行测量发现,其前移量为 0.13 mm;而 Koepl 等^[34]则借助 Pentacam 发现 Crystalens AT-45 AIOL 向后移 0.15 mm。相比之下,利用注视视标刺激调节引起的 AIOL 移动量则小很多。蓝婕等^[35]同时利用 A 型超声和 B 型超声对 3 个组不同年龄患者进行临床观察表明,3 个组视标诱导的 Tetraflex AIOL 前移量明显小于毛果芸香碱缩瞳后引起的前移量;Wolffsohn 等^[10]利用眼前节 Visante OCT 对 13 眼进行研究,结果显示 Tetraflex AIOL 在眼中平均后移 0.02 mm;Marcos 等^[26]利用高分辨率 3D-OCT 对植入 Crystalens-AO AIOL 的 20 例患者进行观察,发现药物诱导时 AIOL 的前移量平均为 0.02 mm,而在调节视标刺激下 AIOL 的前后移动无一致性,其中 9 例前移,11 例后移。造成既往研究结果差异较大的因素除了是否使用缩瞳药物之外,还有受试者的年龄、术式、AIOL 类型和材料以及检查手段等,尤其是新的眼科成像技术的推陈出新,使得检查分辨率进一步提高,为临床医师提供了更多、更准确的信息。

不少研究已经证实 AIOL 眼在调节过程中随着睫状肌的收缩会发生一定量的移动,但几十微米的移动量能对其调节效果起到的作用并不明确^[3,36]。在模型眼的研究中,根据光路追迹法计算^[37],当 +19 D 的 AIOL 植入眼中前移量达 670 μm 时,仅产生 1 D 调节力。既往文献测得的 AIOL 的移动量远小于这一值^[10,26,34,38],因此通过位置前移设计来实现调节的单焦点 AIOL 可能尚不能满足患者的视近需求,新型 AIOL 的设计有待进一步完善,其效果有待长期观察。

2.3 AIOL 曲率的变化

临床上应用的 AIOL 光学部材料主要是由亲水性丙烯酸酯或硅胶制成,它们有良好的弹性,易折叠,且生物相容性较

好^[3,21,26]。患者在视近时,其光学部的前后移动是目前 AIOL 引起调节的设计原理,但是 Wolffsohn 等^[10]认为 Tetraflex AIOL 在调节过程中可能发生了表面曲率的变化,这对调节效果有贡献;结合 Visante OCT 和哈特曼像差仪共同评价 AIOL 的临床效果发现,AIOL 在调节时向后移,但是某些成分的像差,如离焦值、三叶草、彗差等却随着调节刺激的增加而产生一定的相关性。由于时域 OCT 分辨率的限制,Wolffsohn 等^[10]未能精确量化 AIOL 的曲率变化。Chen 等^[21]利用频域 OCT 首次在人眼中记录了 AIOL 的曲率值,从方法学上实现了在调节过程中检测曲率的可能,但由于样本量小,尚不能明确 AIOL 的曲率在调节过程中是否发生了改变。

2.4 AIOL 的倾斜或偏心

从设计原理上来讲,由于 AIOL 材料的高度生物兼容性和祥及祥与光学部连接的独特设计,睫状肌收缩力能有效地传递给 AIOL 光学部,使其在囊袋内模拟人眼晶状体的调节变化,从而使植入 AIOL 眼具有一定的拟调节力。然而,手术撕囊口大小、AIOL 材料和设计、皮质残留和囊袋收缩等因素,会使 AIOL 的居中性和稳定性(主要用倾斜度和偏心量来表示)受到一定的影响^[39-41],导致睫状肌的收缩力不能完全传递给 AIOL,进而影响 AIOL 的调节功能,影响视网膜成像质量。针对 IOL 的倾斜度和偏心量测量常用以下几种方法:

2.4.1 Purkinje 像 根据光线射入眼球,经过角膜和 IOL 各个界面所形成的一系列反射像,可被识别为 P I、P III 和 P IV 3 个反射像,分别代表角膜前表面、IOL 前表面和 IOL 后表面反射像,角膜后表面反射像 P II 由于成像位置很接近 P I,且亮度很弱,因此不易分辨。研究者提出多种计算方法,但倾斜量和偏心度的定义一致,倾斜量为 IOL 与瞳孔轴的夹角,偏心度为 IOL 光学中心与瞳孔中心的距离^[23,42-43](图 3)。

2.4.2 Scheimpflug 像 根据 Pentacam 成像系统拍摄的图像,首先进行光学矫正,然后通过图形分析软件识别角膜和 IOL 轮廓并进行分析。倾斜量定义为 IOL 的光学轴(IOL 经前后表面拟合圆交点所在的直线)与虹膜平面所在直线的夹角,偏心度定义为 IOL 的光学中心到瞳孔轴(虹膜平面所在直线的中垂线)的垂直距离^[44](图 4)。

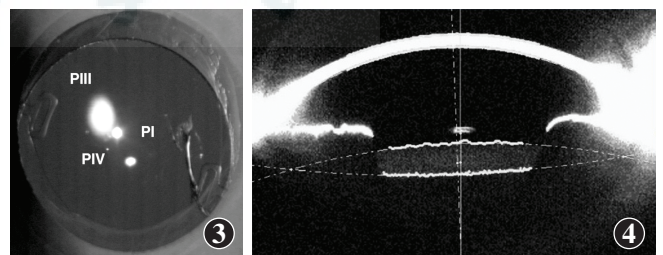


图 3 IOL 瞳孔孔处典型的 Purkinje 像^[42] P I:角膜前表面反射像;P III:IOL 前表面反射像;P IV:IOL 后表面反射像 图 4 IOL 眼典型 Scheimpflug 图像 Pentacam 成像系统拍摄的 IOL 眼眼前节 Scheimpflug 图像

2.4.3 UBM 检查 受试者取仰卧位,经眼球表面麻醉后,以水浴法拍摄图像。倾斜量与偏心度定义方法与 Scheimpflug 像一致,其中虹膜平面所在的直线为两侧虹膜内皮之间的连线^[44-45]

(图 5)。

2.4.4 眼前节 OCT 检查 眼前节 OCT 拍摄速度快,图像分辨率高,随着三维 OCT 的出现,其在眼前节诊断的重要性愈加明显。倾斜与偏心的定义方法与 Scheimpflug 像一致,其中瞳孔轴为连接瞳孔中心与角膜前表面中心的直线^[46](图 6)。

2.4.5 研究结果 对 IOL 居中性 and 稳定性的研究主要以传统单焦点 IOL 为主,通过扩瞳的方式观察其倾斜度和偏心量,测量技术以 Purkinje 像、Scheimpflug 技术和 UBM 为主。研究发现,即使患者手术顺利且术后具有良好的视力,传统单焦点 IOL 在眼中仍然存在一定的倾斜和偏心^[47],这就会在不同程度上影响患者的视觉质量^[48]。最近利用频域 OCT,Chen 等^[21]和 Marcos 等^[26]对 AIOL 调节前后的形态学变化进行了研究。由于样本量较小,Chen 等^[21]未发现倾斜量和偏心度在调节过程中变化差异有统计学意义,但是在自然放松调节下,AIOL 存在微小的倾斜度和偏心量,分别为 $1.96^\circ \pm 3.25^\circ$ 和 $(44 \pm 34) \mu\text{m}$ 。Marcos 等^[26]利用 3D-OCT 精确测量了 AIOL 的不稳定性,发现 Crystalens AIOL 在 20 眼中倾斜度平均为 5.01° ,随着调节刺激的增加,AIOL 水平方向上保持不变,而垂直方向上的倾斜度增加,倾斜最大量可达 9.5° 。从患者的左眼中还发现,撕囊口的大小与 AIOL 的倾斜度和偏心量均有相关性,因此推断手术切口位置和囊袋的纤维化会影响 AIOL 的居中性 and 稳定性。Marcos 等^[26]还认为,倾斜所引起的彗差会增加焦深,这有利于

患者视近。Modesti 等^[27]也认为在一定范围内,IOL 的倾斜度越大,调节效果越好。

2.5 瞳孔直径的变化

AIOL 眼的调节能力包括真性调节和伪调节两部分,前者是通过睫状肌收缩引起 AIOL 沿视轴前后移动或改变其形状,造成其屈光度数发生改变;后者不依赖调节机制,由眼部其他结构,如角膜散光、瞳孔直径和眼轴长度等光学特性引起^[36],其中瞳孔直径被认为是参与伪调节的重要因素,它主要通过瞳孔缩小,引起景深增大来实现视近清晰。Wolffsohn 等^[10]利用 OCT 观察 Tetraflex AIOL 眼在最大调节视标诱导时的瞳孔变化,发现瞳孔直径从 $(4.50 \pm 1.70) \text{mm}$ 缩小至 $(3.27 \pm 1.33) \text{mm}$,缩小量为 $(0.62 \pm 0.41) \text{mm}$;Cambell^[49]在正常人眼中研究发现,当瞳孔大小为 0.8、2.5 和 7.0 mm 时,所引起的景深大小分别为 1.00、0.38 和 0.16 D。此外,Marcos 等^[26]利用高分辨率 3D-OCT 观察 20 例 Crystalens AIOL 眼在调节时,瞳孔变化不一致,如在 +1.25 D 刺激时,瞳孔直径平均增加量为 $(0.041 \pm 0.150) \text{mm}$,而在 +2.5 D 刺激时,瞳孔直径变小,平均缩小量为 $(0.015 \pm 0.210) \text{mm}$,仅 7 眼在不同调节刺激时瞳孔保持一致性收缩(图 7)。调节过程中瞳孔变化的不一致也在正常人眼中报道过,Radhakrishnan 等^[50]认为调节产生的同时未必会伴随瞳孔的收缩,瞳孔收缩的量也与睫状肌收缩强度无关。因此,瞳孔的变化量不是评价 AIOL 是否产生调节的有效指标。

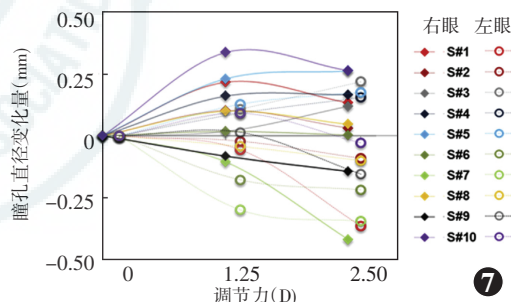
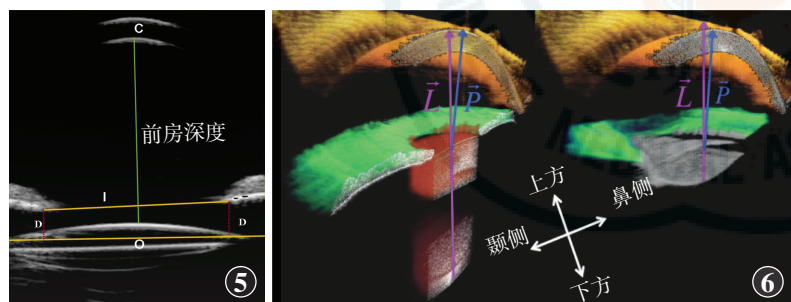


图 5 UBM 扫描测量 IOL 的倾斜度和偏心量^[45] I:经过虹膜内皮层的连线;O:IOL 光学轴;D:IOL 两端到 I 的距离;C:角膜 图 6 三维眼前节 OCT 图像^[46] 左侧为患者白内障术前眼前节形态,右侧为患者白内障术后眼前节形态 P:瞳孔轴;L:IOL 轴 图 7 瞳孔直径随调节力的变化量^[26] 随着调节力的增加,瞳孔直径未表现出一致的变化规律

术后瞳孔直径的大小在 IOL 眼中的调节作用也存在争议。Elder 等^[51]指出,近视 -0.75D 且无散光的 IOL 眼中,直径 2.5mm 瞳孔可达到 N5 的近视力;部分研究通过光路计算和临床试验证实,术后瞳孔直径与调节力呈负相关^[52-53];也有研究发现术后瞳孔大小与调节力无相关性^[50];而 Fukuyama 等^[54]在对 121 例 IOL 眼的研究中却发现术后瞳孔大小与调节力呈正相关。手术类型、角膜散光和瞳孔大小等因素可能是导致既往研究结果不一致的原因。当瞳孔直径大于 3mm 时,景深会随着瞳孔直径的缩小而增大,当瞳孔直径小于 3mm 时,衍射效应会阻碍景深的效果^[55]。伪调节是由多种因素影响的复杂机制,瞳孔直径大小对其的影响尚待深入研究。

3 新型 AIOL 的设计及研究现状

3.1 双光学面设计的 AIOL

双光学面设计的 AIOL 以 Synchrony^[56-57] 和 Sarfarazi^[58] 2 种类型为代表,由 2 个光学面设计而成,前光学面为凸透镜,后光学面为屈光度数较前表面低的凹透镜,两者之间通过类似弹簧的弹性攀连接。视近时,睫状肌收缩,前光学面受到向心力的作用而向前移动,随 2 个凸-凹镜之间轴向距离的增加,整个 AIOL 的屈光度数增大,从而增加调节力。Ossma 等^[57]对植入 Synchrony AIOL 的 24 眼进行 6 个月的随访发现,其调节幅度为 $(3.22 \pm 0.88) \text{D}$,较传统单焦点 IOL 的 $(1.65 \pm 0.58) \text{D}$ 大。Marques 等^[56]通过研究 148 眼发现,非球面 Synchrony Vu 双光学面 AIOL 可以提供较好的远、中、近全程视力,78% 的患者视近无需戴镜,且具有极高的安全性。Sarfarazi AIOL 仅在恒河猴眼中获得 $7 \sim 9 \text{D}$ 的调节力^[58],尚无植入人眼的临床报道。

另外,Hermans 等^[59]研究表明,双光学面 AIOL 并不是通过前后镜片的轴向移动来实现调节,而是通过借助睫状肌的收缩

- 1775-1784. doi:10.1016/j.jcrs.2011.04.035.
- [28] Nemeth G, Lipez A, Szalai E, et al. Accommodation in phakic and pseudophakic eyes measured with subjective and objective methods[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(10): 1534-1542. doi:10.1016/j.jcrs.2013.04.030.
- [29] Strenk SA, Strenk LM, Guo S. Magnetic resonance imaging of the anteroposterior position and thickness of the aging, accommodating, phakic, and pseudophakic ciliary muscle[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(2): 235-241. doi:10.1016/j.jcrs.2009.08.029.
- [30] Marchini G, Pedrotti E, Modesti M, et al. Anterior segment changes during accommodation in eyes with a monofocal intraocular lens; high-frequency ultrasound study[J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(6): 949-956. doi:10.1016/j.jcrs.2008.02.018.
- [31] Marchini G, Pedrotti E, Sartori P, et al. Ultrasound biomicroscopic changes during accommodation in eyes with accommodating intraocular lenses: pilot study and hypothesis for the mechanism of accommodation[J]. J Cataract Refract Surg, 2004, 30(12): 2476-2482.
- [32] Stachs O, Schneider H, Beck R, et al. Pharmacological-induced haptic changes and the accommodative performance in patients with the AT-45 accommodative IOL[J]. J Refract Surg, 2006, 22(2): 145-150.
- [33] Langenbucher A, Huber S, Nguyen NX, et al. Measurement of accommodation after implantation of an accommodating posterior chamber intraocular lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2003, 29(4): 677-685.
- [34] Koeppl C, Findl O, Menapace R, et al. Pilocarpine-induced shift of an accommodating intraocular lens: AT-45 Crystalens [J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(7): 1290-1297.
- [35] 蓝婕, 黄钰森, 韩冬生, 等. 不同年龄人群植入可调节人工晶状体的伪调节对比研究[J]. 中华眼科杂志, 2013, 49(2): 139-143. doi:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2013.02.010.
- [36] Glasser A. Restoration of accommodation; surgical options for correction of presbyopia[J]. Clin Exp Optom, 2008, 91(3): 279-295. doi:10.1111/j.1444-0938.2008.00260.x.
- [37] Mcleod SD, Portney V, Ting A. A dual optic accommodating foldable intraocular lens[J]. Br J Ophthalmol, 2003, 87(9): 1083-1085.
- [38] Schneider H, Stachs O, Gobel K, et al. Changes of the accommodative amplitude and the anterior chamber depth after implantation of an accommodative intraocular lens[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2006, 244(3): 322-329.
- [39] Guo H, Goncharov A, Dainty C. Intraocular lens implantation position sensitivity as a function of refractive error[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2012, 32(2): 117-124. doi:10.1111/j.1475-1313.2011.00888.x.
- [40] Kumar DA, Aqarwal A, Prakash G, et al. Evaluation of intraocular lens tilt with anterior segment optical coherence tomography [J]. Am J Ophthalmol, 2011, 151(3): 406-412. doi:10.1016/j.ajo.2010.09.013.
- [41] Crnej A, Hirschall N, Nishi Y, et al. Impact of intraocular lens haptic design and orientation on decentration and tilt [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(10): 1768-1774. doi:10.1016/j.jcrs.2011.04.028.
- [42] Rosales P, De Castro A, Jimenez-Alfaro I, et al. Intraocular lens alignment from purkinje and Scheimpflug imaging[J]. Clin Exp Optom, 2010, 93(6): 400-408. doi:10.1111/j.1444-0938.2010.00514.x.
- [43] Nishi Y, Hirschall N, Crnej A, et al. Reproducibility of intraocular lens decentration and tilt measurement using a clinical Purkinje meter[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(9): 1529-1535. doi:10.1016/j.jcrs.2010.03.043.
- [44] De Castro A, Rosales P, Marcos S. Tilt and decentration of intraocular lenses in vivo from Purkinje and Scheimpflug imaging. Validation study[J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(3): 418-429.
- [45] Kumar DA, Agarwal A, Packialakshmi S, et al. In vivo analysis of glued intraocular lens position with ultrasound biomicroscopy [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(7): 1017-1022. doi:10.1016/j.jcrs.2013.01.039.
- [46] Ortiz S, Perez-Merino P, Duran S, et al. Full OCT anterior segment biometry: an application in cataract surgery [J]. Biomed Opt Express, 2013, 4(3): 387-396. doi:10.1364/BOE.4.000387.
- [47] 李玉珍, 魏锐利, 朱煌, 等. 不同材料的人工晶体植入术后的临床疗效观察[J]. 眼科新进展, 2004, 24(4): 295-297.
- [48] Wang X, Dong J, Wang X, et al. IOL tilt and decentration estimation from 3 dimensional reconstruction of OCT image [J/OL]. PLoS One, 2013, 8(3): e59109 [2015-07-16]. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3598664/. doi:10.1371/journal.pone.0059109.
- [49] Cambell FW. The depth of field of the human eye [J]. Optica Acta, 1957, 4(4): 157-164.
- [50] Radhakrishnan H, Charman WN. Age-related changes in static accommodation and accommodative miosis[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2007, 27(4): 342-352.
- [51] Elder MJ, Murphy C, Sanderson GF. Apparent accommodation and depth of field in pseudophakia [J]. J Cataract Refract Surg, 1996, 22(5): 615-619.
- [52] Lim DH, Han JC, Kim MH, et al. Factors affecting near vision after monofocal intraocular lens implantation [J]. J Refract Surg, 2013, 29(3): 200-204. doi:10.3928/1081597X-20130129-06.
- [53] Nakazawa M, Ohtsuki K. Apparent accommodation in pseudophakic eyes after implantation of posterior chamber intraocular lenses: optical analysis[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1984, 25(12): 1458-1460.
- [54] Fukuyama M, Oshika T, Amano S, et al. Relationship between apparent accommodation and corneal multifocality in pseudophakic eyes [J]. Ophthalmology, 1999, 106(6): 1178-1181.
- [55] Charman WN, Radhakrishnan H. Accommodation, pupil diameter and myopia [J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2009, 29(1): 72-79. doi:10.1111/j.1475-1313.2008.00611.x.
- [56] Marques EF, Castanheira-Dinis A. Clinical performance of a new aspheric dual-optic accommodating intraocular lens [J]. Clin Ophthalmol, 2014, 8: 2289-2295. doi:10.2147/OPTH.S72804.
- [57] Ossma IL, Galvis A, Vargas LG, et al. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 2: pilot clinical evaluation [J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(1): 47-52.
- [58] Olson RJ, Werner L, Mamalis N, et al. New intraocular lens technology [J]. Am J Ophthalmol, 2005, 140(4): 709-716.
- [59] Hermans EA, Terwee TT, Koopmans SA, et al. Development of a ciliary muscle-driven accommodating intraocular lens [J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(12): 2133-2138. doi:10.1016/j.jcrs.2008.08.018.
- [60] Schwartz DM, Sandstedt CA, Chang SH, et al. Light-adjustable lens; development of in vitro nomograms [J]. Trans Am Ophthalmol Soc, 2004, 102: 67-74.
- [61] Alio JL, Ben-Nun J, Rodriguez-Prats JL, et al. Visual and accommodative outcomes 1 year after implantation of an accommodating intraocular lens based on a new concept [J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35(10): 1671-1678. doi:10.1016/j.jcrs.2009.04.043.

(收稿日期:2015-08-02)

(本文编辑:尹卫靖 杜娟)

消息

欢迎浏览《中华实验眼科杂志》网站

《中华实验眼科杂志》新网站已经启用, 欢迎浏览相关信息并留言。网站域名: <http://zhshykzz.yiigle.com/>。

(本刊编辑部)