

# 年龄相关视觉问题探索及其功能康复的科学对策

吕帆 李瑾 潘安鹏

温州医科大学附属眼视光医院 温州医科大学附属眼视光学院 325000

通信作者:吕帆,Email:lufan@mail.eye.ac.cn

**【摘要】** 按照老龄化社会国际标准,中国已经进入老龄化社会,年龄相关健康问题的研究和对策已经成为国家“主动健康”战略的主要抓手之一。年龄相关性视功能衰退及眼病主要包括老视、白内障、年龄相关性黄斑变性、青光眼、糖尿病视网膜病变等。如何发挥主动眼健康计划的作用,开展该领域的问题探索及研究,出台适宜的科学对策,从而早期干预疾病的发生和发展,具有重要现实意义。本文综合诸多团队的研究及实践探索,分析年龄相关眼健康问题及其严重影响,提出视觉功能衰退及康复的理念及具体工作策略,并结合团队实践探索的经验,分析早期干预的可行性和临床意义。

**【关键词】** 老龄化社会; 年龄相关性视功能衰退; 主动眼健康; 早期干预

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2020YFC2008200)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20210401-00224

## Exploring age-related visual dysfunctions and strategies for visual function restoration

Lyu Fan, Li Jin, Pan Anpeng

Eye Hospital and School of Ophthalmology and Optometry, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, China

Corresponding author: Lyu Fan, Email: lufan@mail.eye.ac.cn

**【Abstract】** According to the international definition on the aging society, China has entered an aging population period. The research and strategies addressed on age-related health problems have become one of the key parts of the national strategy of Active Health. Age-related visual function decline and ocular diseases include presbyopia, cataract, age-related macular degeneration, glaucoma, diabetic retinopathy, etc. It is significant to engage the role of Active Eye Health Project in the research on related areas and in introducing appropriate scientific strategies to early intervene their occurrence and development. On the basis of prior research and practices conducted by other teams, this article analyzed age-related eye health problems as well as their serious impacts, and put forward the concept and specific strategies related to visual function decline and restoration. Additionally, combined with the preliminary practice of our team, the feasibility and the clinical significance of early intervention were investigated.

**【Key words】** Aging society; Age-related visual function decline; Active Eye Health; Early intervention

**Fund program:** National Key Research and Development Program of China (2020YFC2008200)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20210401-00224

年龄的增长是诸多眼病或视觉功能衰退的重要因素,研究发现随着人类饮食的改变和寿命的延长,视功能衰退和眼病的发病率及其严重程度逐渐升高;常见的年龄相关性视功能衰退及眼病包括老视、白内障、年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration, AMD)、青光眼、糖尿病视网膜病变等,严重影响老年人群的视觉和生活质量<sup>[1]</sup>。按照老龄化社会国际标准,即1个国家或地区60岁以上的老年人口占总人口的比重达到10%以上,或者65岁以上的老年人口

占总人口的比重达到7%以上,即说明这个国家或地区的人口处于老龄化社会,我国已进入老龄化社会。到“十四五”末,我国预计60岁以上老年人口占总人口的比例将超过20%,进入中度老龄化阶段。这种老龄化人口结构的变化必将对医疗和公共卫生管理带来新的挑战,对眼和视觉系统的影响更加明显,如图1所示,社会的现代化和人类寿命延长两大因素及其叠加,让眼和视觉问题成为相伴人类一生的健康挑战。

### 1 “主动健康”是推动年龄相关眼健康发展的良机

国家在健康中国战略中提出“主动健康”计划,其中有 2 个核心工作重点,一是将“疾病诊治”前移至“疾病防控”,二是“疾病防控”的工作重心将放到基层或社区为第一道防线,顺势将民众年度全面体检纳入医保,让我国医疗健康工作稳步前移。

根据浙江宁波和温州等地疾控中心的大数据分析,积极参与到以基层卫生院为单位的体检人群中,以 60 岁以上为主要人群,覆盖率可以达到 75% 以上。2019 年的全球疾病负担报告中的统计数据显示,在 50~74 岁人群中,盲及视力减退所造成的疾病负担排名第 19 位(共 369 种疾病),在 75 岁及以上人群中,更是上升至第 15 位<sup>[2]</sup>。与此同时,人眼视网膜血管是唯一可进行无创活体观察的微血管循环系统,通过分析眼底微血管的结构和特征改变,可对糖尿病、高血压、脑卒中、冠心病等系统性疾病进行早期诊断和风险预测<sup>[3-11]</sup>,在老年人群中开展眼科检查,尤其是眼底筛查,具有较高的成本效益。将合理的眼科体检纳入全民体检的内容,不仅可满足老年人群日益增长的眼健康需求,还能在一定程度上将部分系统性疾病的诊断和管理提前,值得我们探索。

温州医科大学眼视光医院团队在基层体检系统中率先开展眼健康体检可行性研究,经过 1 年的实践,总结出“视力”、“眼屈光”、“眼压”、“眼底图像”4 个参数可以成为率先在基层民众体检中实现的眼健康和全身心血管健康的指数,构成相辅相成的四参数筛查系统,作为主动眼健康的第一道检测防线。该系统的 4 个参数意义如下:(1)视力 可量化视功能的一般情况,并对眼部健康进行初步的筛查和分级,是评价视觉系统综合功能的重要指标之一,在眼健康体检过程中,可通过设置特定的视力阈值标准来判断人眼的整体健康状况,通常包含裸眼视力及最佳矫正视力,远距视力及近距视力。(2)眼屈光 视力指标以外视功能状态的有效补充指标,用以衡量眼球光学系统的屈光状态,进而获得屈光矫正视力,检查形式包括客观验光及主观验光,其结果

是近视、远视、散光及老视的量化指标及诊断依据。(3)眼压 评价人眼健康状态的另一重要指标,正常人眼压稳定在一定范围内,并保持动态平衡,眼压过高或过低提示房水的生成与排出失衡,其可能原因包括原发性青光眼、继发性青光眼、特定的眼部外伤以及部分眼部炎症等,也可见于眼科手术术后。(4)眼底图像 借助特定的眼科仪器可获得后极部一定范围内人眼的眼底图像,用以分析视盘、黄斑、视网膜血管、视神经纤维层等结构正常与否,也可用于筛查和记录眼底血管性疾病、青光眼、黄斑部病变以及视神经病变等异常,其中视网膜血管的相关改变可提示全身心血管系统的健康状况。通过仪器获得的眼底图像的清晰度还可提示人眼屈光介质的透明程度,白内障、角膜混浊、玻璃体积血等疾病均可影响眼底图像的清晰度(图 2)。

在以上系统中,需要 2 个科技要素来支撑:(1)检

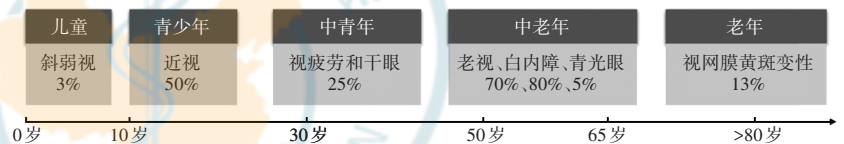


图 1 全生命周期中的眼健康问题  
Figure 1 Eye health issues throughout the life cycle

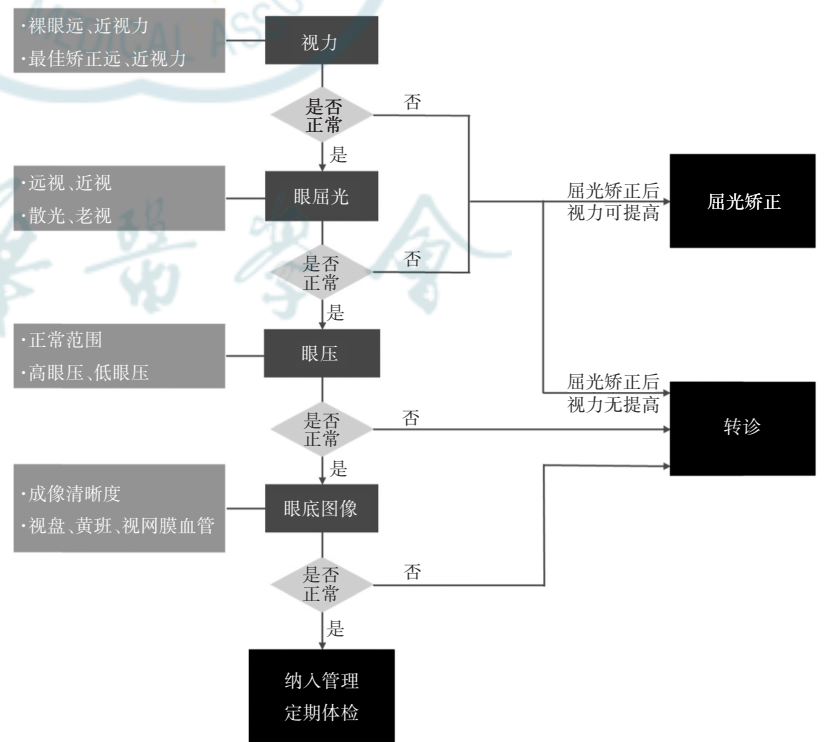


图 2 四参数——主动眼健康的第一道检测防线  
Figure 2 Four parameters: the first line of detection of active eye health

测系统的客观、快速、精准、经济,这就要求在检测设备的设计和集成上更创新,并具备数据化管理的系统能力;(2)人工智能诊断及远程诊断系统,AI 发展和 5G 为该系统的实现提供了有效的支撑,前者为民众提供了良好的体验感,后者能快速做出研判,为后续的预防或干预预设了通道,形成治疗的有效循环。

## 2 更新思路来探索“老视”的矫正和治疗

人眼调节能力随着年龄的增长逐步衰退,通常在 45~55 岁出现调节能力下降,人人无法避免<sup>[12-13]</sup>。老视的基础研究和临床矫正及治疗研究一直在进行,可以从以下几个角度来分析其发展和贡献。

### 2.1 光学矫正

光学矫正基于屈光力补充的机制,是最先尝试且应用最广泛的老视矫正方式,其形式包括单光框架镜片、双光框架镜片、渐变多焦点镜片、单眼视型角膜接触镜以及同时视型角膜接触镜等<sup>[14-17]</sup>。不同的光学矫正方式有着各自的优缺点,其临床选择需结合诸多考量,包括老视患者的年龄、适应性、视觉需求、经济条件以及眼部条件等<sup>[18]</sup>。无论是何种形式的光学矫正手段,其并未从真正意义上恢复人眼的“动态”调节能力,仍是以“静态”屈光力补偿的方式来进行视近辅助,远未达到从根本上解决老视的目标。

### 2.2 手术矫正

手术矫正老视的研究探索途径较多,包括在人眼角膜、巩膜以及晶状体 3 个部位进行,如切削、植入、扩张、切割以及置换等方式来获得有用的近视力<sup>[19]</sup>。以角膜屈光手术为代表的静态手术矫正方式大致采用与角膜接触镜相同的矫正原理,包括单眼视方案角膜切削以及多焦点角膜切削<sup>[20-23]</sup>;目前主流角膜基质植入物(Inlays)可通过 3 种原理提高近视力,包括植入小孔径基质环形成针孔效应扩大景深<sup>[24-25]</sup>,基质植入薄透镜用于重塑角膜前表面增加角膜中央屈光力<sup>[26-28]</sup>,以及基质植入屈光性微透镜使角膜形成多焦形态<sup>[29-30]</sup>。近年来,衍射型植入物被设计提出,在光学实验中显示出更好的光学性能<sup>[31-33]</sup>;在巩膜部位进行的老视矫正手术尝试恢复真正的生理性调节能力<sup>[34-37]</sup>,但限于老视发生机制的复杂性<sup>[38-42]</sup>,现有的巩膜老视手术未取得令人满意的矫正效果<sup>[18,43]</sup>;得益于近年来人工晶状体设计的不断创新和改进,多焦点人工晶状体植入术已成为目前临床上稳定、可靠的矫正老视的手术方式,患者术后满意度、脱镜率高<sup>[19,44-47]</sup>;除此之外,双眼单眼视设计的单焦点人工晶状体植入亦可获得较高的术后脱镜率,部分解决老视问题<sup>[48-49]</sup>。

### 2.3 基础研究的发现

以上所述的光学或手术矫正方式都还是“调节的光学补充”,从理论上均为“矫正”,并未针对人眼调节机制的“老化”做出一定程度的治疗。近年来,动物实验及人眼活体成像观察使得我们对年龄相关性调节问题发生机制的认识不断加深,年龄造成的调节问题可能涉及眼部诸多结构,包括玻璃体界膜、睫状肌、悬韧带和周边脉络膜<sup>[38-41]</sup>,目前的研究发现最主要的改变发生在晶状体<sup>[41-42,50]</sup>,改变晶状体的弹性成为探索改善老视的主要方向。恢复晶状体弹性的药物尚处于临床试验阶段,这类药物包括辛酸胆碱酯和吡诺克辛<sup>[51-52]</sup>。以辛酸胆碱酯(EV06,Novartis)为例,其原理是减少晶状体蛋白二硫化物,使晶状体弹性增加,恢复部分调节能力,其有效性已在动物实验<sup>[51]</sup>及小范围的临床试验中被证实,针对老视发生机制的药物前景值得期待。一旦有效的药物能够恢复晶状体弹性从而重建人眼调节能力,则老视可以实现从“可矫正”进入“可治疗”的革命性进步。

## 3 早诊断、精准干预是青光眼、白内障、AMD 等疾病致盲率下降的重要抓手

除老视外,与年龄相关眼科问题占比较高的是年龄相关性白内障、青光眼和 AMD,这几类眼部疾病也是造成视力减退及盲的主要原因<sup>[1]</sup>。

### 3.1 年龄相关性白内障

目前,年龄相关性白内障尚无有效的预防手段,手术是最有效的治疗方法<sup>[53]</sup>。年龄相关性白内障管理中手术时机的选择对于精准干预白内障非常重要。得益于手术技术、设备以及人工晶状体设计的不断进步,白内障的治疗已进入屈光性白内障手术时代<sup>[54]</sup>。与传统复明性白内障手术不同,现代白内障手术在保障手术安全性的基础上同时考虑最大限度地提高患者的术后视觉质量,但白内障的干预时机不应仅限于视觉功能的改善,在手术时机的选择中,还应综合考虑患者的生存质量以及手术本身的社会、公共卫生价值,其内涵包括单眼或双眼白内障手术对老年人跌倒相关意外的预防<sup>[55-58]</sup>,白内障手术对老年人幸福感的提升、收入的增加以及抑郁情绪和认知功能的改善<sup>[59-62]</sup>。

世界卫生组织在一项报告跌倒的前瞻性随机对照试验中发现,在转诊后 1 个月内进行第一眼白内障手术的患者在 12 个月内跌倒率比经历了常规 12 个月等待后手术的患者降低了 34%;同样 2018 年有一项研究表明,第一眼手术后老年人的跌倒风险降低了 54%,第二眼白内障手术后跌倒风险降低了 73%,表明及时

的二眼手术可显著降低老年人跌倒的风险。

基于人口的研究还表明白内障术后严重车祸发生率下降,与未做白内障手术者相比,只有一半的意外撞车风险。可考虑将白内障手术列为 65 岁以上司机的优先选项。

随着年龄的增加,人体反应能力及骨骼和关节系统功能都逐渐下降,老年人群跌倒风险增加,恢复能力下降,所以更高龄老人的白内障手术时机也更需要重新定义。

因此,年龄相关性白内障手术干预时机、双眼手术间隔时间、人工晶状体选择、患者视力需求与综合视觉功能效应预测评估等将是一个考量医疗和管理水平的综合性评估系统,值得不断研究。

### 3.2 青光眼

青光眼的防盲重心无疑是疾病的早期诊断与干预,筛查则是早发现、早诊断青光眼的重要手段。

温州医科大学眼视光医院团队于 2014 年 3 月至 2015 年 9 月在温州开展青光眼社区筛查,结果显示社区筛查可将青光眼的诊断提早 5.1~8.6 年<sup>[63]</sup>,筛查组较临床组的视野丢失更少(平均 10 dB),可预见的是,这部分早期诊断的患者通过合理随访和干预,绝大部分能长期维持良好的视觉功能。筛查和随后的治疗将延缓青光眼疾病的进展,但可能会增加医疗保健系统的成本,开展青光眼筛查是否经济仍需进一步探索。为此,本研究团队基于温州青光眼社区筛查的资料,运用 Markov 决策模型对中国青光眼筛查进行了系统的卫生经济学评价,结果显示实施闭角和开角型青光眼联合筛查,在农村每筛查 10 万人,能挽回 246 个盲年,在城市每筛查 10 万人,能挽回 1 325 个盲年,其成本低于人均国内生产总值(GDP)的 3 倍,因此在中国实施以人群为基础的闭角型青光眼和开角型青光眼联合筛查具备较好的成本效益比<sup>[64]</sup>。

### 3.3 AMD

随着我国人口老龄化的加剧,AMD 的发病率呈逐年上升趋势,已成为我国老年人群主要的致盲原因之一<sup>[1]</sup>,到 2040 年,全球 AMD 的患病人数预计将增至 2.88 亿。AMD 的管理中最重要的是延缓进展,患者学会自我评估以及及时精准的治疗和随访管理,尽量减少或逆转患者的视力丧失和功能障碍。

AMD 患者的自我评估极为重要。进行科普并建议老年人或已有 AMD 家族史的患者使用 Amsler 网格进行黄斑疾病的初筛;对于已有高风险 AMD 的患者则建议他们在发现新的脉络膜新生血管相关症状时及时就诊。

目前的研究结果证实,在营养良好的 AMD 人群中使用抗氧化维生素(即维生素 C、维生素 E)、叶黄素、玉米黄质和锌已被证明可以减缓 AMD 的进展。服用抗氧化剂维生素加锌可能会减缓 AMD 晚期和视力丧失的进展,仅含有叶黄素和玉米黄质的补充剂可能对 AMD 的进展无影响。 $\Omega$ -3 摄入对于延缓 AMD 进展也有积极作用。研究表明  $\Omega$ -3 摄入量最高的参与者在 12 年后发展为晚期 AMD 的可能性降低 30%。地中海饮食,包括水果、蔬菜、豆类和鱼,也有助于降低晚期 AMD 的风险。

AMD 进展晚期患者的随访管理也非常重要,及时治疗可改善视力或保留原有视力。在我国,AMD 的防盲、治盲工作仍存在诸多不足,其原因包括老年人群对本病的认识及风险因素知晓不足,临床上对高风险人群未纳入有效管理,晚期 AMD 患者,甚至是部分临床医师不知晓也不重视有效的低视力康复。因此,眼科临床医师与医疗机构应开展广泛宣传科普,提高人群对本病的认识,对高风险人群进行有效的疾病咨询、风险评估以及监控管理,以利于疾病的早期发现和及时精准治疗。对于晚期视觉功能严重受损的患者,可以提供有效的低视力康复,提高患者的生存质量。

## 4 眼科和视觉功能康复临床工作需要与时俱进地丰富

眼科临床工作在不断丰富中,诸多医院眼科或专科医院都开放了眼视光学门诊,从设计上,多数将基础眼保健作为主要内容,包括青少年近视防控和眼病初级筛查。更可喜的是,不少区域领衔医院或领衔眼科系统都开始将重心下移,与社区卫生院对接,利用现代数字化管理和 5G 技术,疏通中心与基层的对接渠道,方便患者,让优质眼科医疗资源更合理地发挥作用。

建议眼科和视觉功能康复临床工作主要应从以下几个方面加强建设和管理:(1)规范流程 针对 45 岁以上就诊者,除了解当前远距离和近距离视力状态外,应增加眼压测量、眼屈光检查以及眼底图像采集以进行四参数系统筛查,分析其一般眼部健康状况,近距离的工作能力等,践行主动眼健康的具体要求。(2)重视视觉质量的提升 普及视光学理念,强调其重要性,从单纯看得见的眼病康复理念转变为看得清、看得舒服、看得持久的眼视光康复理念,并将这一理念积极应用于临床治疗的选择决策以及医患信息的沟通当中,以期提升视觉质量;(3)优化患者及疾病管理 在基层或社区为第一道防线中,借助信息化手段优化对患

者信息的管理,做到数字化、可溯源、可跟踪随访,在中心与基层的对接中,开通数字信息传输、5G 远程会诊以及点对点的有效转诊通道,使得患者及疾病信息在中心与基层之间的信息传递渠道保持畅通。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在任何利益冲突

## 参考文献

- [1] Xu T, Wang B, Liu H, et al. Prevalence and causes of vision loss in China from 1990 to 2019; findings from the Global Burden of Disease Study 2019 [J/OL]. *Lancet Public Health*, 2020, 5 (12) : e682-e691 [2021-03-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33271081>. DOI:10.1016/S2468-2667(20)30254-1.
- [2] GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019; a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396 (10258) : 1204-1222. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
- [3] Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K, et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning [J]. *Nat Biomed Eng*, 2018, 2(3) : 158-164. DOI:10.1038/s41551-018-0195-0.
- [4] Wang JJ, Liew G, Wong TY, et al. Retinal vascular calibre and the risk of coronary heart disease-related death [J]. *Heart*, 2006, 92 (11) : 1583-1587. DOI:10.1136/hrt.2006.090522.
- [5] Wong TY, Klein R, Nieto FJ, et al. Retinal microvascular abnormalities and 10-year cardiovascular mortality: a population-based case-control study [J]. *Ophthalmology*, 2003, 110 (5) : 933-940. DOI:10.1016/S0161-6420(03)00084-8.
- [6] Sun C, Liew G, Wang JJ, et al. Retinal vascular caliber, blood pressure, and cardiovascular risk factors in an Asian population; the Singapore Malay Eye Study [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49 (5) : 1784-1790. DOI:10.1167/iovs.07-1450.
- [7] Wong TY, Klein R, Couper DJ, et al. Retinal microvascular abnormalities and incident stroke: the Atherosclerosis Risk in Communities Study [J]. *Lancet*, 2001, 358 (9288) : 1134-1140. DOI:10.1016/S0140-6736(01)06253-5.
- [8] Rim TH, Teo A, Yang H, et al. Retinal vascular signs and cerebrovascular diseases [J]. *J Neuroophthalmol*, 2020, 40(1) : 44-59. DOI:10.1097/WNO.0000000000000888.
- [9] Rim TH, Lee G, Kim Y, et al. Prediction of systemic biomarkers from retinal photographs: development and validation of deep-learning algorithms [J/OL]. *Lancet Digit Health*, 2020, 2 (10) : e526-e536 [2021-03-02]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33328047>. DOI:10.1016/S2589-7500(20)30216-8.
- [10] Wong TY, Mohamed Q, Klein R, et al. Do retinopathy signs in non-diabetic individuals predict the subsequent risk of diabetes? [J]. *Br J Ophthalmol*, 2006, 90 (3) : 301-303. DOI:10.1136/bjo.2005.084400.
- [11] Ong YT, Wong TY, Klein R, et al. Hypertensive retinopathy and risk of stroke [J]. *Hypertension*, 2013, 62 (4) : 706-711. DOI:10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.01414.
- [12] Fricke TR, Tahhan N, Resnikoff S, et al. Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: systematic review, meta-analysis, and modelling [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125 (10) : 1492-1499. DOI:10.1016/j.ophtha.2018.04.013.
- [13] Frick KD, Joy SM, Wilson DA, et al. The global burden of potential productivity loss from uncorrected presbyopia [J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(8) : 1706-1710. DOI:10.1016/j.ophtha.2015.04.014.
- [14] Charman WN. Developments in the correction of presbyopia I: spectacle and contact lenses [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2014, 34(1) : 8-29. DOI:10.1111/opo.12091.
- [15] Meister DJ, Fisher SW. Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 1: design and development of progressive lenses [J]. *Clin Exp Optom*, 2008, 91(3) : 240-250. DOI:10.1111/j.1444-0938.2007.00245.x.
- [16] Meister DJ, Fisher SW. Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 2: modern progressive lens technologies [J]. *Clin Exp Optom*, 2008, 91(3) : 251-264. DOI:10.1111/j.1444-0938.2008.00246.x.
- [17] Morgan PB, Efron N, Woods CA, et al. An international survey of contact lens prescribing for presbyopia [J]. *Clin Exp Optom*, 2011, 94(1) : 87-92. DOI:10.1111/j.1444-0938.2010.00524.x.
- [18] Wolffsohn JS, Davies LN. Presbyopia: effectiveness of correction strategies [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2019, 68 : 124-143. DOI:10.1016/j.preteyeres.2018.09.004.
- [19] Charman WN. Developments in the correction of presbyopia II: surgical approaches [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2014, 34(4) : 397-426. DOI:10.1111/opo.12129.
- [20] Mahrous A, Ciralsky JB, Lai EC. Revisiting monovision for presbyopia [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018, 29(4) : 313-317. DOI:10.1097/ICU.0000000000000487.
- [21] Schallhorn SC, Teenan D, Venter JA, et al. Monovision LASIK versus presbyopia-correcting iols: comparison of clinical and patient-reported outcomes [J]. *J Refract Surg*, 2017, 33 (11) : 749-758. DOI:10.3928/1081597X-20170721-03.
- [22] Garcia-Gonzalez M, Teus MA, Hernandez-Verdejo JL. Visual outcomes of LASIK-induced monovision in myopic patients with presbyopia [J]. *Am J Ophthalmol*, 2010, 150 (3) : 381-386. DOI:10.1016/j.ajo.2010.03.022.
- [23] William B, Alain H, Mikhael L, et al. PresbyPRK versus presbyLASIK using the SUPRACOR algorithm and micro-monovision in presbyopic hypermetropic patients: visual and refractive results at 12 months [J/OL]. *J Cataract Refract Surg*, 2020 [2021-03-05]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33315735>. DOI:10.1097/j.jcrs.0000000000000544.
- [24] Dextl AK, Jell G, Strohmaier C, et al. Long-term outcomes after monocular corneal inlay implantation for the surgical compensation of presbyopia [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(3) : 566-575. DOI:10.1016/j.jcrs.2014.05.051.
- [25] Seyeddain O, Riha W, Hohensinn M, et al. Refractive surgical correction of presbyopia with the AcuFocus small aperture corneal inlay: two-year follow-up [J]. *J Refract Surg*, 2010, 26 (10) : 707-715. DOI:10.3928/1081597X-20100408-01.
- [26] Whitman J, Dougherty PJ, Parkhurst GD, et al. Treatment of presbyopia in emmetropes using a shape-changing corneal inlay: one-year clinical outcomes [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123 (3) : 466-475. DOI:10.1016/j.ophtha.2015.11.011.
- [27] Whitman J, Hovanesian J, Steinert RF, et al. Through-focus performance with a corneal shape-changing inlay: one-year results [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2016, 42(7) : 965-971. DOI:10.1016/j.jcrs.2016.04.024.
- [28] Steinert RF, Schwiegerling J, Lang A, et al. Range of refractive independence and mechanism of action of a corneal shape-changing hydrogel inlay: results and theory [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(8) : 1568-1579. DOI:10.1016/j.jcrs.2015.08.007.
- [29] Limnopolou AN, Bouzoukis DI, Kymionis GD, et al. Visual outcomes and safety of a refractive corneal inlay for presbyopia using femtosecond laser [J]. *J Refract Surg*, 2013, 29(1) : 12-18. DOI:10.3928/1081597X-20121210-01.
- [30] Beer S, Werner L, Nakano EM, et al. A 3-year follow-up study of a new corneal inlay: clinical results and outcomes [J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(5) : 723-728. DOI:10.1136/bjophthalmol-2019-314314.
- [31] Furlan WD, Garcia-Delpech S, Udaondo P, et al. Diffractive corneal inlay for presbyopia [J]. *J Biophotonics*, 2017, 10(9) : 1110-1114. DOI:10.1002/jbio.201600320.
- [32] Montagud-Martínez D, Ferrando V, Monsoriu JA, et al. Proposal of a new diffractive corneal inlay to improve near vision in a presbyopic eye [J/OL]. *Appl Opt*, 2020, 59 (13) : D54-D58 [2021-03-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32400623>. DOI:10.1364/AO.



- 383581.
- [33] Montagud-Martínez D, Ferrando V, Monsoriu JA, et al. Optical evaluation of new designs of multifocal diffractive corneal inlays [J/OL]. *J Ophthalmol*, 2019, 2019 : 9382467 [2021-03-10]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31827914>. DOI: 10.1155/2019/9382467.
- [34] Elander R. Scleral expansion surgery does not restore accommodation in human presbyopia [J/OL]. *J Refract Surg*, 1999, 15 (5) : 604 [2021-03-10]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10504089>.
- [35] Qazi MA, Pepose JS, Shuster JJ. Implantation of scleral expansion band segments for the treatment of presbyopia [J]. *Am J Ophthalmol*, 2002, 134 (6) : 808-815. DOI: 10.1016/s0002-9394(02)01831-7.
- [36] Lin JT, Kadambi V. Update of presbyopia treatment by scleral ablation using Er:YAG and UV lasers [J]. *J Refract Surg*, 2006, 22 (1) : 16-17; author reply 17.
- [37] Hunter JJ, Campbell MC. Potential effect on the retinoscopic reflex of scleral expansion surgery for presbyopia [J]. *Optom Vis Sci*, 2006, 83 (9) : 649-656. DOI: 10.1097/O1.opx.0000232813.73127.db.
- [38] Croft MA, McDonald JP, Katz A, et al. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54 (7) : 5035-5048. DOI: 10.1167/iops.12-10846.
- [39] Croft MA, Nork TM, McDonald JP, et al. Accommodative movements of the vitreous membrane, choroid, and sclera in young and presbyopic human and nonhuman primate eyes [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54 (7) : 5049-5058. DOI: 10.1167/iops.12-10847.
- [40] Lütjen-Drecoll E, Kaufman PL, Wasielewski R, et al. Morphology and accommodative function of the vitreous zonule in human and monkey eyes [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51 (3) : 1554-1564. DOI: 10.1167/iops.09-4008.
- [41] Shao Y, Tao A, Jiang H, et al. Age-related changes in the anterior segment biometry during accommodation [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56 (6) : 3522-3530. DOI: 10.1167/iops.15-16825.
- [42] Shao Y, Tao A, Jiang H, et al. Simultaneous real-time imaging of the ocular anterior segment including the ciliary muscle during accommodation [J]. *Biomed Opt Express*, 2013, 4 (3) : 466-480. DOI: 10.1364/BOE.4.000466.
- [43] Hipsley A, Hall B, Rocha KM. Scleral surgery for the treatment of presbyopia: where are we today? [J/OL]. *Eye Vis (Lond)*, 2018, 5 : 4 [2021-03-16]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29497624>. DOI: 10.1186/s40662-018-0098-x.
- [44] Agresta B, Knorz MC, Kohnen T, et al. Distance and near visual acuity improvement after implantation of multifocal intraocular lenses in cataract patients with presbyopia: a systematic review [J]. *J Refract Surg*, 2012, 28 (6) : 426-435. DOI: 10.3928/1081597X-20120518-06.
- [45] Pepose JS, Qazi MA, Chu R, et al. A prospective randomized clinical evaluation of 3 presbyopia-correcting intraocular lenses after cataract extraction [J]. *Am J Ophthalmol*, 2014, 158 (3) : 436-446. DOI: 10.1016/j.ajo.2014.06.003.
- [46] Modi S, Lehmann R, Maxwell A, et al. Visual and patient-reported outcomes of a diffractive trifocal intraocular lens compared with those of a monofocal intraocular lens [J]. *Ophthalmology*, 2021, 128 (2) : 197-207. DOI: 10.1016/j.ophtha.2020.07.015.
- [47] Fernández-García JL, Llovet-Rausell A, Ortega-Usobiaga J, et al. Unilateral versus bilateral refractive lens exchange with a trifocal intraocular lens in emmetropic presbyopic patients [J]. *Am J Ophthalmol*, 2021, 223 : 53-59. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.09.044.
- [48] Kelava L, Barić H, Bušić M, et al. Monovision versus multifocality for presbyopia: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Adv Ther*, 2017, 34 (8) : 1815-1839. DOI: 10.1007/s12325-017-0579-7.
- [49] Labiris G, Toli A, Perente A, et al. A systematic review of pseudophakic monovision for presbyopia correction [J]. *Int J Ophthalmol*, 2017, 10 (6) : 992-1000. DOI: 10.18240/ijo.2017.06.24.
- [50] Wendt M, Croft MA, McDonald J, et al. Lens diameter and thickness as a function of age and pharmacologically stimulated accommodation in rhesus monkeys [J]. *Exp Eye Res*, 2008, 86 (5) : 746-752. DOI: 10.1016/j.exer.2008.01.022.
- [51] Garner WH, Garner MH. Protein disulfide levels and lens elasticity modulation: applications for presbyopia [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57 (6) : 2851-2863. DOI: 10.1167/iops.15-18413.
- [52] Tsuneyoshi Y, Higuchi A, Negishi K, et al. Suppression of presbyopia progression with pirenixine eye drops; experiments on rats and non-blinded, randomized clinical trial of efficacy [J/OL]. *Sci Rep*, 2017, 7 (1) : 6819 [2021-03-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28754903>. DOI: 10.1038/s41598-017-07208-6.
- [53] Liu YC, Wilkins M, Kim T, et al. Cataracts [J]. *Lancet*, 2017, 390 (10094) : 600-612. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30544-5.
- [54] 俞阿勇. 屈光性白内障手术的若干挑战 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19 (2) : 65-70. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.02.001.
- Yu AY. Challenges of refractive cataract surgery [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 19 (2) : 65-70. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.02.001.
- [55] Feng YR, Meuleners LB, Fraser ML, et al. The impact of first and second eye cataract surgeries on falls: a prospective cohort study [J]. *Clin Interv Aging*, 2018, 13 : 1457-1464. DOI: 10.2147/CIA.S164419.
- [56] Keay L, Palagyi A. Preventing falls in older people with cataract-it is not just about surgery [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2018, 38 (2) : 117-118. DOI: 10.1111/opo.12445.
- [57] Meuleners LB, Fraser ML, Ng J, et al. The impact of first-and second-eye cataract surgery on injurious falls that require hospitalisation: a whole-population study [J]. *Age Ageing*, 2014, 43 (3) : 341-346. DOI: 10.1093/ageing/af177.
- [58] Palagyi A, Morlet N, McCluskey P, et al. Visual and refractive associations with falls after first-eye cataract surgery [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43 (10) : 1313-1321. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.07.029.
- [59] Feeny S, Posso A, McDonald L, et al. Beyond monetary benefits of restoring sight in Vietnam: evaluating well-being gains from cataract surgery [J/OL]. *PLoS One*, 2018, 13 (2) : e0192774 [2021-03-28]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29432447>. DOI: 10.1371/journal.pone.0192774.
- [60] Fraser ML, Meuleners LB, Lee AH, et al. Vision, quality of life and depressive symptoms after first eye cataract surgery [J]. *Psychogeriatrics*, 2013, 13 (4) : 237-243. DOI: 10.1111/psyg.12028.
- [61] Palagyi A, Rogers K, Meuleners L, et al. Depressive symptoms in older adults awaiting cataract surgery [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2016, 44 (9) : 789-796. DOI: 10.1111/ceo.12800.
- [62] Pellegrini M, Bernabei F, Schiavi C, et al. Impact of cataract surgery on depression and cognitive function: systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 48 (5) : 593-601. DOI: 10.1111/ceo.13754.
- [63] Liang Y, Jiang J, Ou W, et al. Effect of community screening on the demographic makeup and clinical severity of glaucoma patients receiving care in urban China [J]. *Am J Ophthalmol*, 2018, 195 : 1-7. DOI: 10.1016/j.ajo.2018.07.013.
- [64] Tang J, Liang Y, O'Neill C, et al. Cost-effectiveness and cost-utility of population-based glaucoma screening in China: a decision-analytic Markov model [J/OL]. *Lancet Glob Health*, 2019, 7 (7) : e968-e978 [2021-03-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31122906>. DOI: 10.1016/S2214-109X(19)30201-3.

(收稿日期:2021-04-01)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)