

青光眼视觉康复研究现状与展望

黄海顺 综述 李轶擎 卓业鸿 审校

中山大学中山眼科中心 眼科学国家重点实验室, 广州 510060

通信作者: 李轶擎, Email: liyiqing3@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 青光眼在当今世界不可逆性致视觉损伤的眼病中位居前列,其所引起的视觉障碍严重影响患者的日常生活及社会心理功能,导致患者生活质量大幅度下降。通过利用患者残余视功能进行视觉损伤康复可有效改善患者生活质量,但目前社会各界对青光眼所致视觉障碍以及视功能康复的重视程度尚显不足。本文总结国内外相关领域的研究进展,从青光眼视觉损伤的流行病学现状入手,揭示青光眼视觉损伤问题的普遍性和严重性,并围绕患者视觉质量的改变特点、患者的康复需求与服务的供给现状、新型扩大视野的辅助设备和最新行之有效的康复干预方法等核心问题进行综述,以期对青光眼视觉康复研究提供一定的启发和思路。

【关键词】 青光眼; 低视力; 视觉康复; 增强现实头戴式助视器; 视觉可塑性

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (81870657); 广东省自然科学基金项目 (2018A030313049); 广东省医学科学技术研究基金项目 (A2018052); 高校基本科研业务费中山大学青年教师培育项目 (18ykpy32)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200119-00783

Current status and directions of vision rehabilitation in glaucoma

Huang Haishun, Li Yiqing, Zhuo Yehong

State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510060, China

Corresponding author: Li Yiqing, Email: liyiqing3@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Glaucoma, the leading cause of irreversible visual impairment in the world, leads to visual function damage that seriously affects the daily life activities and psychosocial function of patients, resulting in a significant decline in the quality of life. The life quality of patients can be efficiently improved through vision rehabilitation based on the residual visual function, but there is not enough attention paid to the visual impairment and vision rehabilitation of glaucoma. From a perspective of the epidemiological status of visual impairment in glaucoma at home and abroad, the universality and severity of the glaucomatous visual impairment was revealed. The characteristics of visual changes and corresponding rehabilitation needs of patients, the current situation of rehabilitation service supply, new devices that can expand visual field and the latest proven effective rehabilitation methods in light of the recent development of these fields were reviewed in order to provide certain inspiration and reference for the research of vision rehabilitation of glaucoma.

【Key words】 Glaucoma; Low vision; Vision rehabilitation; Augmented reality head-mounted typoscope; Visual plasticity

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81870657); Natural Science Foundation of Guangdong Province (2018A030313049); Medical Scientific Research Foundation of Guangdong Province (A2018052); Fundamental Research Funds for the Youth Scholars of Sun Yat-sen University (18ykpy32)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200119-00783

青光眼是世界范围内位居前列的不可逆性致盲眼病,预计至 2040 年,全球 40~80 岁人群中青光眼患者数量将超过 1.1 亿^[1-2]。目前,大部分医疗卫生机构对青光眼、年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration, AMD)等眼病导致的不可逆性视觉损害及其功能康复的重视程度不足^[3-5]。实际上,青

光眼引起的视觉损害可严重影响患者的各项日常生活活动和社会心理功能,导致患者的生活质量大幅度下降^[6-8]。恰当的低视力康复措施可以在很大程度上帮助患者利用残余视功能提高其从事各项活动的的能力,从而改善患者的生活质量,减轻其家庭和社会负担^[9-10]。本文将从青光眼视觉损伤的流行病

学现状、患者的视觉质量变化和整体康复需求以及现有康复策略等问题展开讨论。

1 青光眼视觉损伤流行病学现状

最新全球统计数据 displays, 青光眼在不可逆性致中重度视觉损伤的眼病中位居第 2 位、在不可逆性致盲眼病中位居首位, 且其占比呈现日益升高的趋势^[1,11]。至 2015 年, 全球中重度视觉损伤例数约为 2.17 亿, 盲例数约为 3 600 万^[1]。中重度视觉损伤中患病率排序前 4 位的病因依次为未矫正屈光不正、白内障、AMD 和青光眼, 分别占 53.69%、24.28%、3.88% 和 1.85%; 致盲排序前 3 位的病因依次为白内障、未矫正屈光不正和青光眼, 分别占 35.00%、20.56% 和 8.06%。据估计, 2020 年全球中重度视觉损伤例数达 2.37 亿, 而青光眼导致的中重度视觉损伤达 450 万, 约占 1.90%; 盲例数达 3 850 万, 青光眼导致的盲达 320 万, 约占 8.31%^[1]。预计 2040 年, 全球青光眼的例数将增加到 1.12 亿, 推测青光眼导致的中重度视觉损伤和盲数量将进一步增加^[2]。

无论是中重度视觉损伤还是盲, 发展中地区的患病率均远高于发达地区^[1]。根据中国第二次残疾人抽样调查结果, 在不可逆性致视力残疾的眼病中, 青光眼位居第 3 位^[12]。随着我国防盲治盲工作的开展, 特别是白内障手术的大力开展, 推测我国视力残疾的病因及其流行病学特征将产生一定变化, 青光眼所占的比例将会有一定升高, 但目前尚无最新全国范围的统计数据佐证^[13]。

2 青光眼对患者视觉质量的影响

青光眼的视觉损伤复杂多样且持续进展, 其可导致周边视野和中心视力损害^[14]。此外, 青光眼还可引起对比敏感度受损和获得性色觉异常等^[15]。实际上, 对比敏感度比视力更能准确、全面地反映患者的形觉功能, 其在日常生活中对辨认浓淡不分明或对比不强弱的物体具有重要作用^[15-16]。研究表明, 青光眼引起的对比敏感度损害, 尤其是合并色觉损害会导致患者辨别面孔的能力下降, 从而影响面对面语言交流以及在低照度条件下视物困难^[17-18]。Jammal 等^[16]研究发现, 绝大部分视力接近正常但视野已呈晚期改变的青光眼患者均表现出中至重度的对比敏感度下降, 这可能是很多晚期青光眼患者表现出与其视力不符的视觉障碍的原因之一。研究表明, 部分青光眼患者在出现明显视野缺损之前即可出现获得性色觉改变和对比敏感度下降^[15,19], 这为部分青光眼患者早期即可感知到视觉质量的改变提供了可能的解释。

3 青光眼患者的康复需求

Aspinall 等^[20]研究发现阅读或辨认细节困难以及外出行走受限是大部分青光眼患者生活质量受影响的 2 个主要方面。Macnaughton 等^[21]进行的视觉障碍患者康复需求研究也显示, 患者在实际生活中最想获得以上 2 个方面的康复。有研究发现, 青光眼患者阅读困难程度会随着视野缺损而逐渐加重, 推测其与视野缺损较重者出现识字错误率较高、辨认生词难词的

速度较慢及换行的速度较慢有关^[22-23]。基于周边视觉信息缺乏以及视力和对比敏感度下降等原因, 青光眼患者发生跌倒和驾驶意外的风险增加, 加剧了患者对跌倒和驾驶的恐惧, 限制了患者的日常活动, 进一步影响患者的生活质量^[6,24-25]。此外, 不少青光眼患者有社会心理康复服务的需求^[26-27]。Zhang 等^[8]研究发现, 青光眼与焦虑和抑郁均显著相关。Chan 等^[28]研究显示, 青光眼视觉损害越严重, 其社会心理功能降低越明显。

最新一项研究显示, 中国视力残疾者中 90% 有康复需求, 但能提供低视力康复诊疗服务的三级医疗机构仅占 37.07%, 真正获得低视力服务的患者比例不到 5%^[29]。而在 2005 年的美国或加拿大, 获取低视力服务的视觉障碍患者比例已经将近 20%^[30-31]。在一项加拿大蒙特利尔的研究中, 67% 的视觉障碍患者了解低视力康复服务并且有 54% 的患者接受了康复服务^[32]。对比可见, 我国低视力康复服务网络的建设与发展水平较发达国家存在较大差距, 反映出我国低视力康复工作所面临的巨大挑战和迫切任务。

4 青光眼视觉损伤的康复策略

研究表明, 将近 90% 的低视力患者拥有有用的残余视力, 可以从专业的低视力康复中受益^[33]。目前, 国际上常用的青光眼视觉康复的手段主要有助视器适配和康复训练^[34]。为了满足患者多方位的康复需求, 多学科综合康复服务被广泛推崇^[10,34]。

4.1 扩大视野的新型辅助设备

如前所述, 大部分青光眼患者的视觉障碍与视野缺损密切相关, 扩大视野一直是晚期青光眼患者的期望, 也是广大视觉康复专家及学者所致力突破的问题之一。传统扩大视野的助视器主要有倒置望远镜、膜状三棱镜和负镜片。由于存在倍率固定、不能增强图像对比度、空间和距离感失真、难以应对复杂多变的视觉场景等缺点, 这些助视器的实际应用价值有限^[35-36]。Virgili 等^[37]在综述了以往研究的基础上指出, 目前尚无较充分的证据来支持棱镜作为阅读辅具的有效性。

随着虚拟现实、增强现实 (augmented reality, AR)、视网膜投影等技术的不断发展, 扩大视野助视器的研发取得了新的突破, 可扩大视野的 AR 头戴式助视器就是其中一个代表^[36,38]。这类助视器应用高清摄像头采集现实图像, 通过图像压缩、边缘勾勒、对比增强等多种处理, 将之投影至视网膜以实现扩大视野和视觉增强的效果。除了具备对比度、亮度、放大倍率可调等电子助视器所特有的优势以外, 这类助视器还具有增强轮廓、简化视觉场景、转变色彩等多种算法, 有望通过扩大视野和增强视觉以帮助患者捕捉到更多的视觉信息, 提高患者定向行走、视觉搜寻、辨认等多方面的能力, 从而满足患者各方面的康复需求^[39]。但这类助视器也存在一个跟传统的扩大视野助视器类似的问题, 即经过压缩后的图像会引起一种空间和距离感的失真。患者需要在适应系统的这一限制的情况下去完成日常任务^[24]。Trese 等^[40]报道了 1 例视野严重狭窄的青光眼患者佩戴谷歌眼镜后视野范围扩大到 8.9 倍的案例。该眼镜镜框上安装有广角摄像头和处理器, 摄像头所拍摄到的图像被实

时投射到显示棱镜上。患者可以通过凝视棱镜而感受到一个图像缩小但视野显著扩大的视觉场景;并且,使用该眼镜后,患者在不熟悉和繁杂的环境中行动能力有所改善。Angelopoulos 等^[41] 报道了一种新型 AR 头戴式设备在 10 例视网膜色素变性 (retinitis pigmentosa, RP) 患者中的辅助效果。该设备将深度距离信息编码为 4 种颜色信息并以不同颜色线框勾勒出眼前不同距离物体边缘。使用该辅助设备后,受试者在行走测试中的碰撞次数减少了 50%,而在抓握测试中的碰撞次数减少了 70%,说明该设备在定向行走和物体抓取方面有明显辅助作用。由于晚期青光眼患者与晚期 RP 患者存在类似的视觉改变 (如管状视野),可推断这类辅助设备在青光眼视觉康复中也具有应用前景。Htike 等^[42] 进行系统综述发现,AR 类视觉增强设备虽然有降低患者行走速度的可能性,但在障碍物检测和物体识别方面改善作用明显。可见,基于 AR 技术的头戴式助视器有很大潜力成为青光眼视觉康复的有效辅具。未来应开展大样本的研究以确定这类助视器在青光眼视觉康复中的实际效果和应用价值。

此外,Iyama 等^[43] 应用模拟管状视野的方法进行了一项单臂临床研究以评价一种新型激光扫描投影系统——QD 激光眼镜的视觉辅助效果,该研究共纳入 19 名健康成年人,应用模拟管状视野的方法对比戴镜前后受试者的动态视野范围以及识别目标图形所需的时间,结果发现戴镜后受试者视野扩大了 3 倍,并且识别图形所需时间明显缩短;虽然该研究关注的人群是晚期 RP 患者,但这一新设备也为青光眼扩大视野辅助设备研发提供一种新的思路。

4.2 康复训练与视觉可塑性

传统的低视力康复训练,如定向行走训练、功能性视力训练、生活技巧训练,致力于指导患者掌握视觉技巧以克服生活和工作中的障碍^[34,44]。Ivanov 等^[45] 在一项纳入了 25 例管状视野患者的随机对照试验中发现,视觉搜寻训练不仅可以显著缩短管状视野患者在视觉搜索任务中的反应时间,还可以提高患者的步行速度,并且在训练结束后 6 周改善效果仍保持稳定。Bowman 等^[46] 通过对比虚拟街道训练组 (8 例) 与真实街道训练组 (4 例) 低视力患者定向行走训练前后过马路安全分数的变化,发现这 2 种训练方式均可显著提高患者过马路的安全分数,且二者之间差异无统计学意义。

近年来,随着对视觉神经系统可塑性机制研究的不断深入,在视觉康复中如何有效地诱发神经系统的可塑性以激活残余视力或改变大脑的功能性网络已成为视觉康复研究的重点问题之一^[47]。鉴于胆碱能神经系统在知觉学习和神经可塑性等方面起着至关重要的作用,许多研究者在不同青光眼动物模型以及青光眼患者中探讨胆碱能系统活动与青光眼性损害的相关性,结果表明增强胆碱能系统的活性可以有效保护视网膜神经节细胞、改善视觉感知和视觉生物电反应,揭示了胆碱能系统在诱导神经可塑性和促进视觉恢复方面的机制和潜力^[48-49]。另一种被证明对青光眼有效的可诱导神经可塑性的手段是非侵入性交流电刺激 (alternating current stimulation, ACS),通过在眶周或额部给予微弱的电流脉冲,以增强视觉皮

层兴奋性、改善“眼部-大脑”的血液供应并促进大脑功能连接网络的重新同步^[50-53]。Gall 等^[54] 的一项多中心随机对照临床研究结果显示,经 ACS 治疗对视神经损伤患者平均视野缺损改善率为 24.0%,显著高于假刺激治疗患者,并且这种改善至少可持续 2 个月,说明 ACS 可以诱导神经可塑性并部分逆转受损的视功能。此外,Sabel 等^[55] 进行了一项随机对照临床试验以确定一种基于光刺激的视觉恢复训练 (vision restoration training, VRT) 能否提高青光眼患者对刺激光点检测的准确率,结果表明与假训练对照组相比,15 例接受了 3 个月 VRT 的青光眼患者在视野检查中对刺激光点检测的准确率显著提高且反应时间更快,差异均有统计学意义,提示青光眼患者的视野缺损在 VRT 训练后明显改善,并推测视觉皮质或更高级皮质区域的神经可塑性是其可能的机制。另外,Li 等^[56] 通过小样本前瞻性观察研究探讨个性化的双眼视知觉训练能否提高青光眼患者视力和改善视野缺损,结果显示这 7 例原发性青光眼患者在进行为期 3 个月训练后视力较训练前有明显提高,视野缺损在进行 1 个月训练后即有改善,训练 3 个月后视力进一步提高。以上研究结果表明,通过增强胆碱能神经系统活性、使用 ACS 或个性化视知觉训练诱发神经系统可塑性有望改善青光眼患者的视功能。未来有待开展大样本研究以确定不同干预手段的长期效果、适用标准、视功能改善程度和实际康复意义等。

4.3 多学科综合康复服务

随着现代社会科技的迅猛发展和人们生活节奏的不断加快,视觉障碍患者的生活、学习、社交、心理等深层次需求日益高涨^[7]。为了满足患者多方位的康复需求,通常还需要眼科医师、视光医师和低视力康复师之外的其他学科人员,如辅具研发工程师、心理咨询师、职业规划师、社工人员和志愿者等,为患者提供多学科综合的康复服务。多学科综合康复服务模式除了包含助视器验配和康复训练外,还涵盖了职业训练、就业指导、教育支援、心理咨询和社区服务等^[34]。其重要性日益得到认可,并且近期一些研究表明,多学科综合康复服务可以显著提高视觉障碍患者的视觉能力和视觉相关生活质量^[9-10,57-58]。但是关于多学科综合康复服务的受益人群、效果评估、成本效益以及其中的关键要素等问题仍待进一步探讨。

相比于国外较完善且灵活的低视力转诊程序和服务体系,我国目前尚未建成一套较为成熟的低视力康复模式或服务架构^[59-62]。虽然已有地区和机构向多学科综合康复发展,但服务质量参差不齐。未来应借鉴国外低视光学科的发展经验和研究基础,着力建成适合中国发展和推广的康复模式和服务体系。

5 问题与展望

随着人口老龄化趋势的加剧,青光眼患者低视力的患病率呈现升高的趋势,且青光眼视觉损伤的传统治疗和康复成本较高,其所带来的直接医疗成本和社会保障负担应引起足够重视。尽管将近 90% 的患者可以从专业的低视力康复中受益,但从各医疗机构获得低视力康复服务的患者比例很低。虽然我国低视力康复工作已开展多年,但在低视光学科建设、专业人员配置以及服务的普及性、可及性和有效性等方面仍面临着许

多问题和挑战。未来需进一步完善三级医疗机构低视光学科建设和专业人员配置,健全服务体系以及相关公共卫生教育等。随着 AR 显示技术、智能可穿戴设备的日益成熟以及视觉训练研究的不断进展,青光眼患者的视觉康复将迎来全新的突破。虽然我国目前尚未建成一套较为成熟的低视力服务架构,但终将探索出适合我国发展的模式和体系。在科学技术迅猛发展的今天,有望利用大数据、人工智能、物联网、区块链等新技术为我国视觉障碍者提供科学化、规范化、全方位的康复服务,从而实现视觉障碍人士的“无障碍”发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Flaxman SR, Bourne R, Resnikoff S, et al. Global causes of blindness and distance vision impairment 1990-2020: a systematic review and meta-analysis [J/OL]. *Lancet Glob Health*, 2017, 5 (12): e1221-e1234 [2020-08-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29032195>. DOI: 10.1016/S2214-109X(17)30393-5.
- [2] Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis [J]. *Ophthalmology*, 2014, 121 (11): 2081-2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
- [3] Khanna RC, Marmamula S, Rao GN. International vision care: issues and approaches [J]. *Annu Rev Vis Sci*, 2017, 3: 53-68. DOI: 10.1146/annurev-vision-102016-061407.
- [4] 刘熙朴. 低视力康复: 我们面临的挑战 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2013, 15 (8): 449-453. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2013.08.001.
- [5] 孙兴怀. 注重青光眼的科普教育以减少青光眼性低视力和盲 [J]. *中华眼科杂志*, 2017, 53 (2): 81-84. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2017.02.001.
Sun XH. Focus on popular science education of glaucoma and reduce glaucomatous low vision and blindness [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2017, 53 (2): 81-84. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2017.02.001.
- [6] Ramulu PY, Mihailovic A, West SK, et al. Predictors of falls per step and falls per year at and away from home in glaucoma [J]. *Am J Ophthalmol*, 2019, 200: 169-178. DOI: 10.1016/j.ajo.2018.12.021.
- [7] Nollett CL, Bray N, Bunce C, et al. High prevalence of untreated depression in patients accessing low-vision services [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123 (2): 440-441. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.07.009.
- [8] Zhang X, Olson DJ, Le P, et al. The association between glaucoma, anxiety, and depression in a large population [J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 183: 37-41. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.07.021.
- [9] Stelmack JA, Tang XC, Wei Y, et al. Outcomes of the veterans affairs low vision intervention trial II (LOVIT II): a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2017, 135 (2): 96-104. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2016.4742.
- [10] Gothwal VK, Bharani S. Outcomes of multidisciplinary low vision rehabilitation in adults [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56 (12): 7451-7461. DOI: 10.1167/iovs.15-16892.
- [11] Bourne R, Flaxman SR, Braithwaite T, et al. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis [J/OL]. *Lancet Glob Health*, 2017, 5 (9): e888 - e897 [2020-09-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28779882>. DOI: 10.1016/S2214-109X(17)30293-0.
- [12] 周翔天. 低视光学 [M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 5-6.
- [13] 袁中华, 李兰. 我国盲和视力损伤的流行病学研究现状 [J]. *云南医药*, 2016, 37 (3): 345-349.
- [14] De Moraes CG, Liebmann JM, Levin LA. Detection and measurement of clinically meaningful visual field progression in clinical trials for glaucoma [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2017, 56: 107-147. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2016.10.001.
- [15] Bambo MP, Ferrandez B, Güerri N, et al. Evaluation of contrast sensitivity, chromatic vision, and reading ability in patients with primary open angle glaucoma [J/OL]. *J Ophthalmol*, 2016, 2016: 7074016 [2020-09-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27872754>. DOI: 10.1155/2016/7074016.
- [16] Jammal AA, Ferreira BG, Zangalli CS, et al. Evaluation of contrast sensitivity in patients with advanced glaucoma: comparison of two tests [J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104 (10): 1418-1422. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2019-315273.
- [17] Ichhpujani P, Thakur S, Spaeth GL. Contrast sensitivity and glaucoma [J]. *J Glaucoma*, 2020, 29 (1): 71-75. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001379.
- [18] Bierings R, Overkempe T, van Berkel CM, et al. Spatial contrast sensitivity from star- to sunlight in healthy subjects and patients with glaucoma [J]. *Vision Res*, 2019, 158: 31-39. DOI: 10.1016/j.visres.2019.01.011.
- [19] 李劲嵘, 余敏斌, 钟华, 等. 蓝黄视野与自动视野检查法联合光学相干断层成像在原发性开角型青光眼诊断中的应用 [J]. *中国实用眼科杂志*, 2009, 27 (11): 1229-1232. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2009.11.005.
Li JR, Yu MB, Zhong H, et al. The application of blue-on-yellow perimetry, standard automated perimetry and optical coherence tomometry in the diagnosis of primary open angle glaucoma [J]. *Chin J Pract Ophthalmol*, 2009, 27 (11): 1229-1232. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2009.11.005.
- [20] Aspinall PA, Johnson ZK, Azuara-Blanco A, et al. Evaluation of quality of life and priorities of patients with glaucoma [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49 (5): 1907-1915. DOI: 10.1167/iovs.07-0559.
- [21] Macnaughton J, Latham K, Vianya-Estopa M. Rehabilitation needs and activity limitations of adults with a visual impairment entering a low vision rehabilitation service in England [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019, 39 (2): 113-126. DOI: 10.1111/opo.12606.
- [22] Ramulu PY, Swenor BK, Jefferys JL, et al. Difficulty with out-loud and silent reading in glaucoma [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54 (1): 666-672. DOI: 10.1167/iovs.12-10618.
- [23] Mathews PM, Rubin GS, McCloskey M, et al. Severity of vision loss interacts with word-specific features to impact out-loud reading in glaucoma [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56 (3): 1537-1545. DOI: 10.1167/iovs.15-15462.
- [24] Sayed AM, Kashem R, Abdel-Mottaleb M, et al. Toward improving the mobility of patients with peripheral visual field defects with novel digital spectacles [J]. *Am J Ophthalmol*, 2020, 210: 136-145. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.10.005.
- [25] Montana CL, Bhorade AM. Glaucoma and quality of life: fall and driving risk [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018, 29 (2): 135-140. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000455.
- [26] Prager AJ, Liebmann JM, Cioffi GA, et al. Self-reported function, health resource use, and total health care costs among medicare beneficiaries with glaucoma [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2016, 134 (4): 357-365. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.5479.
- [27] Zhang D, Fan Z, Gao X, et al. Illness uncertainty, anxiety and depression in Chinese patients with glaucoma or cataract [J/OL]. *Sci Rep*, 2018, 8 (1): 11671 [2020-09-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30076311>. DOI: 10.1038/s41598-018-29489-1.
- [28] Chan EW, Chiang PP, Liao J, et al. Glaucoma and associated visual acuity and field loss significantly affect glaucoma-specific psychosocial functioning [J]. *Ophthalmology*, 2015, 122 (3): 494-501. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.09.030.
- [29] 詹磊磊, 安磊, 冯晶晶, 等. 中国大陆三级医疗机构低视力服务专业人员配置和服务提供情况分析 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2019, 21 (4): 297-301. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.04.010.
Zhan LL, An L, Feng JJ, et al. Analysis of human resource allocation and service delivery for low vision in tertiary medical institutions in mainland China [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 21 (4): 297-301. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.04.010.
- [30] Lim YE, Vukicevic M, Koklanis K, et al. Low vision services in the Asia-Pacific region: models of low vision service delivery and barriers to access [J]. *J visual impair blin*, 2014, 108 (4): 311-322. DOI: 10.



- 1177/0145482x1410800406.
- [31] Malkin AG, Ross NC, Chan TL, et al. U. S. Optometrists' reported practices and perceived barriers for low vision care for mild visual loss [J]. *Optom Vis Sci*, 2020, 97(1) : 45-51. DOI: 10. 1097/OPX. 0000000000001468.
- [32] Fraser SA, Johnson AP, Wittich W, et al. Critical success factors in awareness of and choice towards low vision rehabilitation [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2015, 35 (1) : 81-89. DOI: 10. 1111/opo. 12169.
- [33] Lamoureux EL, Pallant JF, Pesudovs K, et al. The effectiveness of low-vision rehabilitation on participation in daily living and quality of life [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2007, 48(4) : 1476-1482. DOI: 10. 1167/iovs. 06-0610.
- [34] Fontenot JL, Bona MD, Kaleem MA, et al. Vision rehabilitation preferred practice pattern[®] [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(1) : P228-P278. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2017. 09. 030.
- [35] Houston KE, Bowers AR, Peli E, et al. Peripheral prisms improve obstacle detection during simulated walking for patients with left hemispatial neglect and hemianopia [J]. *Optom Vis Sci*, 2018, 95(9) : 795-804. DOI: 10. 1097/OPX. 0000000000001280.
- [36] Ehrlich JR, Ojeda LV, Wicker D, et al. Head-mounted display technology for low-vision rehabilitation and vision enhancement [J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 176 : 26-32. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2016. 12. 021.
- [37] Virgili G, Acosta R, Bentley SA, et al. Reading aids for adults with low vision [J/OL]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 4 : CD003303 [2020-09-21]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29664159>. DOI: 10. 1002/14651858. CD003303. pub4.
- [38] Sayed AM, Abdel-Mottaleb M, Kashem R, et al. Expansion of peripheral visual field with novel virtual reality digital spectacles [J]. *Am J Ophthalmol*, 2020, 210 : 125-135. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2019. 10. 006.
- [39] Deemer AD, Bradley CK, Ross NC, et al. Low vision enhancement with head-mounted video display systems: are we there yet? [J]. *Optom Vis Sci*, 2018, 95(9) : 694-703. DOI: 10. 1097/OPX. 0000000000001278.
- [40] Trese MG, Khan NW, Branham K, et al. Expansion of severely constricted visual field using Google Glass [J]. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*, 2016, 47 (5) : 486-489. DOI: 10. 3928/23258160-20160419-15.
- [41] Angelopoulos AN, Ameri H, Mitra D, et al. Enhanced depth navigation through augmented reality depth mapping in patients with low vision [J/OL]. *Sci Rep*, 2019, 9(1) : 11230 [2020-10-06]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31375713>. DOI: 10. 1038/s41598-019-47397-w.
- [42] Htike HM, Margrain TH, Lai YK, et al. Ability of head-mounted display technology to improve mobility in people with low vision: a systematic review [J/OL]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(10) : 26 [2020-10-15]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33024619>. DOI: 10. 1167/tvst. 9. 10. 26.
- [43] Iyama C, Shigeno Y, Hirano E, et al. QD laser eyewear as a visual field aid in a visual field defect model [J/OL]. *Sci Rep*, 2019, 9(1) : 1010 [2020-10-15]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30700817>. DOI: 10. 1038/s41598-018-37744-8.
- [44] Shah P, Schwartz SG, Gartner S, et al. Low vision services: a practical guide for the clinician [J/OL]. *Ther Adv Ophthalmol*, 2018, 10 : 2515841418776264 [2020-10-16]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29998224>. DOI: 10. 1177/2515841418776264.
- [45] Ivanov IV, Mackeben M, Vollmer A, et al. Eye movement training and suggested gaze strategies in tunnel vision-a randomized and controlled pilot study [J/OL]. *PLoS One*, 2016, 11(6) : e0157825 [2020-10-20]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27351629>. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0157825.
- [46] Bowman EL, Liu L. Individuals with severely impaired vision can learn useful orientation and mobility skills in virtual streets and can use them to improve real street safety [J/OL]. *PLoS One*, 2017, 12 (4) : e0176534 [2020-10-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28445540>. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0176534.
- [47] Legge GE, Chung S. Low vision and plasticity: implications for rehabilitation [J]. *Annu Rev Vis Sci*, 2016, 2 : 321-343. DOI: 10. 1146/annurev-vision-111815-114344.
- [48] Faiq MA, Wollstein G, Schuman JS, et al. Cholinergic nervous system and glaucoma: from basic science to clinical applications [J/OL]. *Prog Retin Eye Res*, 2019, 72 : 100767 [2020-10-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31242454>. DOI: 10. 1016/j. preteyeres. 2019. 06. 003.
- [49] Vaucher E, Laliberté G, Higgins MC, et al. Cholinergic potentiation of visual perception and vision restoration in rodents and humans [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2019, 37(6) : 553-569. DOI: 10. 3233/RNN-190947.
- [50] Fu L, Fung FK, Lo AC, et al. Transcorneal electrical stimulation inhibits retinal microglial activation and enhances retinal ganglion cell survival after acute ocular hypertensive injury [J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2018, 7(3) : 7 [2020-10-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29862139>. DOI: 10. 1167/tvst. 7. 3. 7.
- [51] Henrich-Noack P, Sergeeva EG, Eber T, et al. Electrical brain stimulation induces dendritic stripping but improves survival of silent neurons after optic nerve damage [J/OL]. *Sci Rep*, 2017, 7(1) : 627 [2020-10-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/283776081>. DOI: 10. 1038/s41598-017-00487-z.
- [52] Sabel BA, Gao Y, Antal A. Reversibility of visual field defects through induction of brain plasticity: vision restoration, recovery and rehabilitation using alternating current stimulation [J]. *Neural Regen Res*, 2020, 15(10) : 1799-1806. DOI: 10. 4103/1673-5374. 280302.
- [53] Sabel BA, Thut G, Hauelsen J, et al. Vision modulation, plasticity and restoration using non-invasive brain stimulation-an IFCN-sponsored review [J]. *Clin Neurophysiol*, 2020, 131(4) : 887-911. DOI: 10. 1016/j. clinph. 2020. 01. 008.
- [54] Gall C, Schmidt S, Schittkowski MP, et al. Alternating current stimulation for vision restoration after optic nerve damage: a randomized clinical trial [J/OL]. *PLoS One*, 2016, 11(6) : e0156134 [2020-10-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27355577>. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0156134.
- [55] Sabel BA, Gudlin J. Vision restoration training for glaucoma: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2014, 132(4) : 381-389. DOI: 10. 1001/jamaophthalmol. 2013. 7963.
- [56] Li B, Chu H, Yan L, et al. Individualized visual reality training improves visual acuity and visual field defects in patients with glaucoma: a preliminary study report [J]. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 2020, 23(3) : 179-184. DOI: 10. 1089/cyber. 2020. 0083.
- [57] Acton JH, Molik B, Court H, et al. Effect of a home visit-based low vision rehabilitation intervention on visual function outcomes: an exploratory randomized controlled trial [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(15) : 6662-6667. DOI: 10. 1167/iovs. 16-19901.
- [58] Gothwal VK, Sumalini R, Bharani S. Assessing the effectiveness of low vision rehabilitation in children: an observational study [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56(5) : 3355-3360. DOI: 10. 1167/iovs. 14-15760.
- [59] Gobeille M, Malkin A, Jamara R, et al. Clinical outcomes of low vision rehabilitation delivered by a mobile clinic [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2018, 38(2) : 193-202. DOI: 10. 1111/opo. 12440.
- [60] Coker MA, Huisingh CE, McGwin G Jr, et al. Rehabilitation referral for patients with irreversible vision impairment seen in a public safety-net eye clinic [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(4) : 400-408. DOI: 10. 1001/jamaophthalmol. 2018. 0241.
- [61] van Nispen RM, Virgili G, Hoeben M, et al. Low vision rehabilitation for better quality of life in visually impaired adults [J/OL]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 1 : CD006543 [2020-11-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31985055>. DOI: 10. 1002/14651858. CD006543. pub2.
- [62] Bittner AK, Yoshinaga PD, Wykstra SL, et al. Telerehabilitation for people with low vision [J/OL]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 2 : CD011019 [2020-11-04]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32102114>. DOI: 10. 1002/14651858. CD011019. pub3.

(收稿日期:2020-11-19 修回日期:2021-08-03)

(本文编辑:张宇)

