·综 述·

头戴式电子助视器在低视力患者康复中的研究进展

王雪彤，柯碧莲*
（上海交通大学医学院附属第一人民医院眼科，上海 200025）

摘要：低视力（low vision，LV）严重影响患者日常生活，其诊疗与康复意义重大。LV 康复方案制定需在专业评估后，规范原发病诊疗，采取视觉或非视觉康复手段，帮助改善患者生活质量。在视觉康复中，基于虚拟现实和增强显示技术的新型头戴式电子助视器近年来发展迅速，可帮助 LV 人群改善视功能和生活质量。现对 LV 诊疗及康复研究进展作一综述，旨在为临床提供参考。

关键词：低视力；视觉康复；电子助视器
中图分类号：R778.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1672-9188（2023）10-1110-04
DOI：10.13683/j.wph.2023.10.016

Progress on the application of head-mounted display in patients with low vision

WANG Xuetong, KE Bilian*
(*Department of Ophthalmology, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China*)

Abstract: Low vision (LV) seriously affected the daily life of patients. The diagnosis, treatment and rehabilitation of LV are of great significance. The LV rehabilitation program should be formulated after professional evaluation, the primary disease diagnosis and treatment should be standardized, and visual or non-visual rehabilitation means should be adopted to improve the quality of life of patients. In visual rehabilitation, new head-mounted display based on virtual reality and augmented display technology have developed rapidly in recent years, which can help LV patients improve visual function and quality of life. This article reviewed the research progress of diagnosis, treatment and rehabilitation of LV in order to provide clinical reference.

Key words: low vision; visual rehabilitation; electronic visual aid

低视力（low vision，LV）指经治疗或标准屈光矫正后仍有视功能损害，优势眼最佳矫正视力＜0.3或视野半径＜10度，但仍能应用或有潜力应用残留视力准备或进行各项工作。至2015年，全球视力障碍（visual impairment）患者共约4.41亿例，预计2050年可能上升至5.9亿例[1]。2006年我国LV和盲（blindness）在全球视力残疾（visual acuity）中占比分别为20.9%和27.3%[2]。随着我国老龄化进展和LV人数增多，LV康复需求亦日益增加[3]。

在LV人群康复过程中，专业视功能评估和视觉辅助器具的个性化验配至关重要。现有助视器主要分为光学助视器和电子助视器，我国LV门诊常用传统光学助视器，其价格低廉、简便易用，能帮助提高视觉质量，但存在成像畸变、功能单一等不足。头戴式电子助视器（head-mounted display，HMD）作为一种新型显示技术，采集图像并系统处理后输出至视频终端，由控制系统操控实现各种功能，可解放双手，覆盖远、中、近全程距离，具有扩大视野、增加照度以及增强视敏度等功能[4—5]。行为训练、

收稿日期：2023-03-28
作者简介：王雪彤，主治医师，研究方向：眼镜学。
通信作者：柯碧莲，主任医师，研究方向：近视眼临床诊治。
基金项目：科技部国家重点研发计划（2020YFC2003904）；国家自然科学基金（81770953、82070992）；上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金项目（YG2021ZD18）

心理咨询等非视觉康复手段亦为 LV 人群获取外界信息提供了多种途径，现对 LV 诊疗及康复的研究进展作一综述，旨在为临床提供一定参考。

1 LV 的原发病治疗

在 LV 的治疗中，积极治疗原发病为首要任务，可对症使用手术、药物以及屈光矫正等方式改善病情。如可应用超声乳化手术联合人工晶体置换术改善白内障（cataract）患者视力障碍；可通过降眼压药物或周边虹膜切除术、小梁切除术以及阀门管植入术等控制青光眼（glaucoma）患者眼压，避免视神经受损；可使用降糖药物或视网膜激光光凝术、玻璃体切割术提高糖尿病性视网膜病变（diabetic retinopathy，DR）患者视力。在导致 LV 和盲的眼病中，脉络膜新生血管的眼底疾病如老年性黄斑变性（senile macular degeneration）、DR、病理性近视（pathological myopia）等占比较大。

血管内皮生长因子（vascular endothelial growth factor，VEGF）的调节和表达与病变密切相关，药物治疗是重要疗法之一[6—7]。抗 VEGF 药物的主要作用机制为在 VEGF 形成的通路上，抑制 VEGF 生成，从而抑制血管新生和渗漏、减轻水肿[8]。代表性抗 VEGF 药物包括雷珠单抗（leizumab）、贝伐单抗（bevacizumab）、阿柏西普（aflibercept）及康柏西普（conbercept）等。

2 助视器的分类及原理

LV 康复是在明确原发疾病诊断和进行规范原发病治疗后，给予视觉康复和非视觉康复等治疗的过程，光学手段便可在药物治疗基础上提高视觉质量。助视器是帮助患者开发残余视力的重要方法，是视觉康复的主要手段。光学助视器主要分为光学近用助视器和光学远用助视器，均可辅助 LV 人群完成阅读、书写、行走等日常活动。光学近用助视器包括各类放大镜和近用眼镜式助视器等。手持式放大镜工作距离较适中且经济实惠，在 LV 人群中使用最普遍，适合短时间内进行近距离精细工作。近用眼镜式助视器可在解放双手的情况下辅助进行视近工作。光学远用助视器可使远处目标放大，满足视障患者视远需求，但适用于观看活动目标。

HMD 最早将摄像头与显示器集合于头戴设备中，通过镜面反射与光束分离成像于眼前，通过调节放大倍率与可自动对焦的摄像头改善视功能[9]。如今 HMD 基于虚拟现实或增强现实技术，将不同视觉增强策略融合，使用方式和使用场景更灵活。根据视觉信息传递方式，HMD 分为单眼图像、双眼单路图像和双眼立体图像。根据显示原理，HMD 助视器可分为虚拟现实设备（virtual reality，VR）和增强现实设备（augmented reality，AR）[10—12]。

3 HMD 的常用策略

3.1 图像缩放

HMD 通过调节对物体的放大倍率，帮助 LV 人群增视，具有操作便捷、图像畸变少、亮度衰减少、缩放倍率范围大等优势，允许 LV 人群保持较好的阅读姿势与双眼单视，延长使用耐受时间[13]。研究显示，HMD 屏幕中显示约 20 个字母缩放倍率下，患者阅读效率最高[14]。

3.2 提高亮度及对比敏感度（contrast sensitivity，CS）

CS 为在不同照明和眩光条件下确定视觉对不同空间频率条栅的感知极限，可更科学地评价视网膜功能及视觉质量。LV 人群通常存在 CS 低的问题，导致其面部识别困难、定向能力障碍等[15]。LV 人群的阅读速率取决于 CS，在一定范围内提高亮度有助于提高 CS 和视力[16]。HMD 可通过自动增益控制调节照度，弥补 LV 异常明适应、暗适应和眩光恢复过程。其他提升 CS 的策略还包括双色、轮廓增强及对比度拉伸等[5]。

3.3 扩大视野

视野缩小的患者在使用传统倒置望远镜、三棱镜以扩增视野时，常出现眩晕、视野跳跃等[17]。目前，新型 HMD 扩大视野的主要方式为将周边视野画面或轮廓缩小，实时呈现在残留视野内，使视野缺失（peripheral vision loss，PVL）的患者通过残余视野看到更大范围，这种策略在 AR、VR 设备中均有

实现[18]。

4 HMD的临床应用

4.1 HMD在中心LV(central vision loss，CVL)患者中的应用

在有LV康复需求的患者中，3/4存在CVL[19]，HMD因其轻便、高分辨率、功能丰富等优势为CVL视障人士带来了极佳的康复体验。

研究显示，VR设备可帮助提高CVL患者的远视力、CS、阅读水平等，人脸识别能力、生活质量评分等亦提升[20]，且在远程康复和亲自训练这两种方式下患者视功能、生活质量均显著改善[21—22]。另外，移动终端与HMD结合的助视器可显著提高中心视力受损患者视力、CS和阅读能力，可应用于阅读、看电视等场合[23]。VR设备可帮助CVL患者双眼最佳矫正远视力、最佳矫正近视力、阅读准确率提升[24]。AR设备近年来实现了轮廓增强的功能，并对图像进行畸变矫正，显示器中可看到实际图像与增强轮廓叠加的画面，提高CVL患者的CS[12]。

4.2 HMD在PVL患者中的应用

在PVL导致LV的人群中，常有活动能力下降、跌倒风险增加的情况。HMD使患者可看到周边画面缩小图像，且可保留习惯的中心视野。AR设备的轮廓显示技术可缩短大部分管状PVL患者的视野搜寻时间，提高搜索目标物品能力[25]。VR设备可进行自动视野检测和图像重映射，显著提高PVL患者避障能力[26]。

有学者将伪彩色、深度增强模块搭载至AR设备进行临床验证，结果显示其可显著增大视网膜色素变性(retinitis pigmentosa)患者视野大小[27]。同样，叠加眼球跟踪或环境扫描平台的AR设备对改善LV人群行走和避障能力有巨大潜力[28]。由于AR式HMD大多采用透明或半透明显示器，显示画面外的视野区域不受影响，可在一定程度上保持视觉系统平衡，更适用于动态场景。

5 非视觉康复训练手段

在视觉康复基础上，定向行走能力训练、日常生活技能康复训练、学习和工作能力训练等行为训练亦可帮助LV人群便捷地获取外界信息。日常生活训练方面，可指导患者通过听觉、触觉、嗅觉等识别物体和自身定位，如根据大小、厚薄、形状、质量及刻纹辨认物体，对经常使用的物品进行特征标记，对类似物品进行分类，使用带语音功能的电子书、计算器、家电等[29]。在定向行走训练方面，盲杖起着定向、发现障碍及控制方向的作用，是患者最常见的辅助行走工具。基于人工智能的电子导盲装置亦为自主探测路况、避障、依据路线定向行走提供了更优选择。

6 总结与展望

LV康复是一项需全社会参与、长期、系统性的工程，具有重大社会意义。在明确原发病并规范治疗基础上，使用光学助视器、电子助视器及非视觉康复手段可显著提高LV人群视觉功能，改善生活质量。HMD作为一项LV康复的新技术，填补了现有助视方法的不足，提高了助视效果，对PVL、CS降低等LV人群均有不同程度视力改善，有效性良好，应用场景广泛。随着基因治疗、干细胞移植、显示技术、智能算法等新技术的研发，以及防盲、治盲策略的进一步推进，LV康复手段亦将不断完善。

参考文献：

[1] Bourne RRA, 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]. Lancet Glob Health, 2017, 5(9): e888-e897.

[2] 国家统计局, 第二次全国残疾人抽样调查小组. 2006年第二次全国残疾人抽样调查主要数据公报[J]. 中国康复理论与实践, 2006, 12: 1013.

[3] Ehrlich JR, Spaeth GL, Carlozzi NE, *et al*. Patient-centered outcome measures to assess functioning in randomized controlled trials of low-vision rehabilitation: a review[J]. Patient, 2017, 10(1): 39-49.

[4] Van Rheede JJ, Wilson IR, Qian RI, *et al*. Improving mobility performance in low vision with a distance-based representation of the visual scene[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2015,

56(8): 4802-4809.

[5] Moshtael H, Aslam T, Underwood I, *et al*. High tech aids low vision: a review of image processing for the visually impaired[J]. Transl Vis Sci Technol, 2015, 4(4): 6.

[6] Hwang D, Ryou J, Oh JR, *et al*. Anti-human VEGF repebody effectively suppresses choroidal neovascularization and vascular leakage[J]. PLoS One, 2016, 11(3): e0152522.

[7] Stewart MW, Rosenfeld PJ. Predicted biological activity of intravitreal VEGF trap[J]. Br J Ophthalmol, 2008, 92(5): 667-668.

[8] Cheung GCM, Lai TYY, Gomi F, *et al*. Anti-VEGF therapy for neovascular AMD and polypoidal choroidal vasculopathy[J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila), 2017, 6(6): 527-534.

[9] Harper R, Culham L, Dickinson C. Head mounted video magnification devices for low vision rehabilitation: a comparison with existing technology[J]. Br J Ophthalmol, 1999, 83(4): 495-500.

[10] Yoon HJ, Kim J, Park SW, *et al*. Influence of virtual reality on visual parameters: immersive versus non-immersive mode[J]. Bio Med Central Ophthalmol, 2020, 20(1): 200.

[11] 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.

[12] Hwang AD, Peli E. An augmented-reality edge enhancement application for Google Glass[J]. Optom Vis Sci, 2014, 91(8): 1021-1030.

[13] Crossland MD, Starke SD, Imielski P, *et al*. Benefit of an electronic head-mounted low vision aid[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2019, 39(6): 422-431.

[14] Lowe JB, Drasdo N. Efficiency in reading with closed-circuit television for low vision[J]. Ophthalmic Physiol Opt. 1990, 10(3): 225-233.

[15] Chung STL, Legge GE. Comparing the shape of contrast sensitivity functions for normal and low vision[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(1): 198-207.

[16] Brown B. Reading performance in low vision patients: relation to contrast and contrast sensitivity[J]. Am J Optom Physiol Opt, 1981, 58(3): 218-226.

[17] Qiu C, Jung JH, Tuccar-Burak M, *et al*. Measuring pedestrian collision detection with peripheral field loss and the impact of peripheral prisms[J]. Transl Vis Sci Technol, 2018, 7(5): 1.

[18] 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.

[19] 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.

[20] Wittich W, Lorenzini MC, Markowitz SN, *et al*. The effect of a head-mounted low vision device on visual function[J]. Optom Vis Sci, 2018, 95(9): 774-784.

[21] Lorenzini MC, Wittich W. Personalized telerehabilitation for a head-mounted low vision aid: a randomized feasibility study[J]. Optom Vis Sci, 2021, 98(6): 570-581.

[22] Lorenzini MC, Wittich W. Head-mounted visual assistive technology-related quality of life changes after telerehabilitation[J]. Optom Vis Sci, 2021, 98(6): 582-591.

[23] Deemer AD, Swenor BK, Fujiwara K, *et al*. Preliminary evaluation of two digital image processing strategies for head-mounted magnification for low vision patients[J]. Transl Vis Sci Technol, 2019, 8(1): 23.

[24] Yeo JH, Bae SH, Lee SH, *et al*. Clinical performance of a smartphone-based low vision aid[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 10752.

[25] Bowers AR, Luo G, Rensing NM, *et al*. Evaluation of a prototype minified augmented-view device for patients with impaired night vision[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2004, 24(4): 296-312.

[26] 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.

[27] Angelopoulos AN, Ameri H, Mitra D, *et al*. Enhanced depth navigation through augmented reality depth mapping in patients with low vision[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 11230.

[28] Fox DR, Ahmadzada A, Wang CT, *et al*. Using augmented reality to cue obstacles for people with low vision[J]. Opt Express, 2023, 31(4): 6827-6848.

[29] Liu CJ, Brost MA, Horton VE, *et al*. Occupational therapy interventions to improve performance of daily activities at home for older adults with low vision: a systematic review[J]. Am J Occup Ther, 2013, 67(3): 279-287.

（编辑：虞　瑛）