

对比敏感度在近视中的应用研究进展

李可亦^{ID}, 李 华^{ID}

重庆医科大学附属永川医院眼科, 重庆

收稿日期: 2026年1月5日; 录用日期: 2026年1月29日; 发布日期: 2026年2月9日

摘 要

近视是全球高发眼部疾病, 若控制不佳, 眼轴会持续过度增长, 进而引发不可逆眼部病理性改变。长期以来, 对于近视患者视力的评估常优先采用对数视力表, 但其对部分视觉损伤及临床场景中的真实视觉效果评估欠佳。对比敏感度(Contrast Sensitivity, CS)作为一种更敏锐的视功能检测手段, 可弥补这些不足。同时, 近视进展可反映到视网膜微观光感受器等结构改变, CS可无创间接地对该改变进行反映。本文聚焦于CS在近视中的应用, 旨在全面总结CS在近视领域的应用进展, 为后续相关研究及临床应用提供参考。

关键词

对比敏感度, 近视, 光感受器

Research Progress on the Application of Contrast Sensitivity in Myopia

Keyi Li^{ID}, Hua Li^{ID}

Department of Ophthalmology, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: January 5, 2026; accepted: January 29, 2026; published: February 9, 2026

Abstract

Myopia is a globally prevalent ocular disorder. If poorly managed, the axial length will continue to increase excessively, leading to irreversible pathological changes in the eye. For a long time, the logarithmic visual acuity chart has been the preferred tool for evaluating visual acuity in myopic patients; however, it shows limitations in evaluating certain visual impairments and the actual visual performance in clinical scenarios. Contrast Sensitivity (CS), as a more sensitive assessment tool for visual function, can make up for these deficiencies. Meanwhile, the progression of myopia can be reflected

*第一作者。

in structural changes such as the photoreceptors of the retina, and CS can non-invasively and indirectly reflect such changes. This paper focuses on the application of CS in myopia, aiming to comprehensively summarize the research progress of CS in the field of myopia and provide a reference for subsequent related research and clinical application.

Keywords

Contrast Sensitivity, Myopia, Photoreceptor

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对比敏感度(Contrast Sensitivity, CS), 是一种用于衡量人眼对明暗对比度差异分辨能力的指标; 广泛应用于光学、视觉设计学等领域。普通对数视力表仅测量高对比度、高空间频率下的中心视力, 而实际场景中, 不同场景、不同光照条件下物体的空间频率及对比度随环境和光照发生变化, 因此普通对数视力表的检测结果难以全面反映实际场景中的视觉功能。1978年, 英国眼科学家 Arden 等[1]首次制作出 Arden 光栅测试册用于青光眼的筛查, 推动了将空间频率和对比度变化测量联合应用到眼科临床。这使得除中心视力外, 对精细物体、明暗的分辨能力、对实际场景中视功能的判断能力得到量化。随着时间的发展, CS 的测量方法不断衍生改进出各种形式[2]。

当下, 近视已成为全球性健康问题; 作为我国公共卫生问题的重要组成部分, 据有关报道, 预计到达 2050 年, 全球近视率将达到 50%, 近视将会影响全球近 50 亿人[3], 作为我国的近视重点管理人群, 我国青少年近视率已达 51.9%, 高度近视率高达 9.7% [4], 我国成年人高度近视进展率也居高不下[5]。近视度数增高增加了相关眼部疾病风险, 高度近视可导致: 近视性黄斑变性、视网膜脱离、脉络膜新生血管、青光眼等眼部并发症的产生且不可逆转[6]。因此, 对近视的防控和研究不可忽视。

既往研究表明, 视觉信号通过光信号介导视锥细胞、视杆细胞等光感受器发生去极化/超极化反应, 进而特异性激活 ON/OFF 型双极细胞, 经视网膜内相应通路传导至神经节细胞, 最终投射至大脑视觉中枢形成视觉感知[7]。同时, 光感受器作为视觉信号传导的起始环节, 其结构与功能的完整性还参与调控眼球正视化的发育过程。随着近视加深眼轴的拉长, 视锥细胞密度下降[8] [9]。近视的形成可反映为光感受器的排列紊乱和密度降低[10]-[12]。多项研究表明, CS 可以间接观测视锥细胞等光感受器细胞的受损[13] [14]。

近年来, 随着 CS 在近视的应用及研究增多, 为不同状态近视的预测、更广泛视功能的检测提供了参考, 更对新型近视防控镜片的测评等提供了依据。本文对既往不同近视状态中 CS 的应用进行综述, 分析其不足及价值, 为日后相关研究提供参考。

2. 正常 CS

CS 通常通过绘制不同空间频率下对应的最低可识别对比度阈值, 形成对比敏感度函数曲线进行表示。CS, 即相应空间频率下对应对比度阈值的倒数。正常人对比敏感度函数为一倒 U 型光滑曲线, 低空间频率下反应对物体轮廓分辨能力, 高空间频率下反应对物体细节分辨能力, 较低; 中空间频率可反应较多实际场景中用眼状态和中心视力, 较高[15] [16]。对比敏感度函数下面积(Area Under the Logarithmic

Contrast Sensitivity Function, AULCSF), 可全面评估整体 CS 水平[17]。截止频率(Cut-off Spatial Frequency, Cut-off SF), 表示人眼可分辨最高空间频率。

常规对数视力表, 仅对高对比度、高空间频率下分辨能力进行检测, 仅为 CS 曲线上一点。实际生活中, 不同场景、不同物体的对比度和空间频率均发生变化, 均可对视觉分辨产生影响; 故 CS 可比对数视力表更好地对实际场景视觉效果进行评估。

3. 近视前期及低中度近视的 CS

既往研究证明, CS 随近视度数增加而降低, 排除散光影响且完全矫正近视情况下亦是如此[18]。因为 CS 本质反应从视网膜感光细胞到大脑视觉皮层的视觉功能, 眼轴的拉长导致视网膜光感受器细胞的结构和分布改变, 另一方面随着近视度数的增高, 主观心理因素也会导致 CS 的降低[19]。临床中, 部分患者会出现裸眼视力正常, 但仍诉视物不清情况。表现为部分患者裸眼视力尚可, 在阴天、傍晚等低对比度场景分辨能力下降, 视物不清, 这可能是近视的先兆表现。有关研究发现, 较低近视度数, 主要表现为高频下的 CS 下降, 随着度数的增加, 低中高频下 CS 均降低, 这解释了以上现象的原因[20]。Ye 等[21]通过对 31 位近视患儿进行为期半年的随访, 使用 VectorVision CSV-1000 对患儿 CS 进行测量, 发现低空间频率下 CS 较低的中国儿童, 近视进展速度更慢; 分析为低空间频率下的低 CS 导致 ON 通路的持续激活, 促使多巴胺能无长突细胞释放多巴胺, 进而促进脉络膜增厚, 延缓眼轴增长。未来合理应用该指标, 可对近视进行进一步的精准防控。实际上, 部分患者在出现视力表可以检测出的裸眼视力下降前, 视网膜视锥细胞等光感受器已出现结构改变和排列的紊乱[22] [23], Park 等[9]对 192 名无眼部病变受试者进行观测, 发现随着眼轴的增长, 视锥细胞密度显著下降。Li 等[8]同样发现随着眼轴的增长, 中心凹旁视锥细胞密度下降, 而中心凹处不显著。Liu 等[14]通过对 81 位近视患者进行观测发现了同样的结论, 同时随着近视程度的加重, 视网膜中心凹周围结构受损与 CS 下降显著相关。推测为随着眼轴拉长, 视网膜上光感受器及血管结构周边较中心凹更早受到影响, 可能为中心凹部位存在特殊组织特性使其对拉伸的耐受性或适应性与周边区域不同, 或存在其他代偿性发育机制, 使得该区域视锥细胞密度受拉伸的影响小于中心凹旁区域。CS 反应中心凹旁视锥细胞损伤, 改变早于黄斑中心凹结构改变。这些光感受器的改变, 便可通过 CS 下降进行无创早期反映。CS 可对对数视力表无法检测的视网膜光感受器损伤进行检测, 可测量超过对数视力表范围外的视觉损伤; 故针对患者情况合理应用 CS 进行评估, 能够在近视初期阶段实现无创性早期筛查, 为近视的早期干预提供客观依据。低频 CS 也可用于预测近视进展速度, 但仍需更多大样本、长期临床研究观测提供更多证据。

4. 高度近视的 CS

高度近视患者晚期易出现视网膜结构病理性改变及相关并发症[24], 往往视力表检测出现明显改变时, 视网膜已损伤严重。Wang 等[13]使用自适应光学成像(Adaptive Optics, AO)对正视、低中度近视及单纯高度近视组受试者的视锥细胞密度、间距和规则性进行检测, 同时对比不同组间 CS、脉络膜参数改变, 发现单纯高度近视组的视锥细胞密度、AULCSF 和 Cut-off SF、脉络膜厚度及脉络膜血管指数较其余两组显著降低, 且视锥细胞密度与 AULCSF 正相关, 证实随着眼轴增长视锥细胞改变导致 CS 改变且 CS 可对其进行观测。Liu 等[14]通过对完全矫正近视的单纯高度近视受试者和低中度近视受试者进行观测, 使用快速对比敏感度函数(quick Contrast Sensitivity Function, qCSF)测量其 CS, 发现单纯高度近视受试者即使经过矫正, AULCSF 和 Cutoff SF 仍较对照组下降; 除此之外, 单纯高度近视受试者的视网膜外层厚度(Outer Retinal Thickness, ORT)、视网膜深层血管密度(retinal Deep Vascular Density, DVD)均与 CS 的下降显著相关; 同理先前研究, 视网膜结构的改变主要体现在中心凹周围结构。这些研究表明, 随着高度近

视眼轴的拉长, 可能导致视网膜及脉络膜变薄、血管化程度降低等结构改变, 导致光感受器代谢所需的氧气和营养供应不足, 进而加剧光感受器变性, 进一步影响对比敏感度。由此可见, CS 可较好地反映视网膜微观解剖结构改变。单纯性高度近视若不加控制, 进展为病理性高度近视后, 常常伴随黄斑裂孔、脉络膜新生血管、黄斑劈裂等中心凹受损改变[6]。在高度近视患者中, 早期矫正视力可能尚可, 视觉损坏难以检测, 视力仅可能为一较差终点指标, 可能仅在晚期出现病理改变或并发症时才受影响[25] [26]。CS 可作为一灵敏指标对视网膜微观结构进行无创观测, 可以在单纯高度近视患者发生病理性改变前, 提前了解视功能情况, 明确视觉损坏, 提早干预减慢病情进展。

5. CS 在近视防控镜片中的应用

当下, 不同设计的新型近视防控镜片均具备一定的防控效果, 但效果存在差异; 且仍有部分矫正视力尚可近视儿童佩戴后出现视觉疲劳、视物不清等视觉质量下降情况, 可能与镜片设计特性相关, 而 CS 可对其进行评估。

5.1. 同心双焦离焦软镜

同心双焦离焦软镜, 通过周边区域环状离焦区和屈光矫正区交替排列, 形成周边视网膜近视性离焦控制近视。韩丁等[27]通过 CSV-1000E 对佩戴同心双焦设计的离焦软镜和单焦软镜的视觉效果进行检测, 发现离焦软镜组受试者高空间频率 CS 及调节功能有所降低。García-Marqués 等[28]通过采用 VCTS 6500 进行测量, 同样发现了类似的结论。分析为离焦软镜镜片周边屈光矫正区域与离焦区域之间的屈光力变化影响了光线传导, 增加了视觉干扰, 从而降低了 CS。

5.2. 微透镜镜片

框架镜片方面, 虽中心矫正视力均尚可, 但日常生活中眼球转动时存在少量视轴通过含微透镜的周边区域情况, 可能导致视觉质量下降。

5.2.1. 非球面微透镜片

非球面微透镜片通过镜片表面多个微型凸透镜产生光学离焦的效果, 抑制眼轴生长, 延缓近视发展。Li 等[29]通过遮盖透明区, 使受试近视儿童仅通过周边微透镜区视物, 通过 VectorVision CSV-1000 进行测量, 对单光镜片、高非球面同心环微透镜镜片、低非球面同心环微透镜镜片、球面微透镜蜂窝状镜片几种镜片短期佩戴的 CS 进行比较, 发现微透镜较单焦镜片而言, 降低了短期视觉质量, 高空间频率 CS 降低; 且根据镜片结构不同, 球面微透镜蜂窝状镜片比高、低两种同心环非球面微透镜引起更大的 CS 损失, 考虑为光圈大小、透镜直径对光学质量的影响所导致。

5.2.2. 多区正向光学离焦镜片

多区正向光学离焦(Defocus Incorporated Multiple Segments, DIMS)镜片通过 396 个屈光度为+3.50 D 的微型透镜, 形成周边视网膜离焦控制近视。刘陇黔教授团队通过对 176 例分别佩戴 DIMS 镜片和单焦镜片的儿童进行一年观测, 发现两组儿童在半年、一年时各空间频率下的 CS 均无明显差异, 证明 DIMS 镜片对 CS 无明显影响且不随戴镜时间的延长而发生改变, 及 DIMS 镜片在控制视觉质量方面的长期优越性[30]。

5.3. 角膜塑形镜

角膜塑形镜, 通过在角膜中央产生正压而中轴部产生负压, 重塑角膜屈光力, 形成离焦环, 从而在视网膜中诱导相对周边近视离焦进而控制近视。Lu 等[31]通过对 25 名佩戴角膜塑形镜患儿 3 月前 CS

进行对照, 发现戴镜 1 月后, 1.5 cpd 下 CS 下降, 但 3 月后有所恢复, 其余空间频率下无显著改变。兰长郡教授团队通过自适应光学模拟器(Adaptive Optics Visual simulator, VAO)对 52 名患儿戴镜 3 月前 CS 进行对照, 发现所有空间频率下 CS 均显著下降, 与 Lu 等的结果不同[32]。佩戴角膜塑形镜后 CS 下降, 可能与角膜形态改变导致高阶像差、散射增加等光学质量下降高度相关。未来还需更多深入研究进行探讨角膜塑形镜的 CS 改变及原因。

以上表明, 将 CS 应用到新型近视防控镜片的视觉质量评估中, 可以更综合地测评镜片性能, 为镜片选择和设计提供参考, 优化近视儿童的佩戴体验。考虑到目前对于近视防控镜片的 CS 测量长期研究较少, 多测量当下即刻 CS 情况, 长期佩戴过程中, 存在度数增长等多种因素干扰, 未来可在更多长期随访研究中增加 CS 的测量从而综合评估镜片性能。

6. 新型 CS 仪器

临床工作中, 为了更好地将 CS 测量融入临床, 研究者们对测量的方式进行了多种优化。Lesmes 等[33][34]提出的自适应心理物理学程序快速对比敏感度函数, 极大地缩减了测量时长; 且已通过 qCSF 可以得到更精确的采样, 且较传统的图表、测试卡等测试方式更灵活; 减少光照、记忆错误等对测量结果的影响。现有新型可在平板电脑上进行测量 Optopad-CSF 等, 为未来快捷、便利的 CS 测量提供了可能性[35]。

新型的 CS 测量方法在测量精度和耗时方面得到改善。王丽萍等[36]提出基于扰动算子的自适应 ψ -marginal 算法; 该方法在保证阈值精度的前提下, 平均收敛速度提升 27.75%, 当阈值处于刺激范围边缘时, 收敛速度更是提升 47.37%; 减少了传统测试中探索阈值的冗余试次, 从而缩短测试时间。qCSF 技术[37]基于通用人群的对比敏感度先验数据库, 可自动选择快速缩小阈值置信区间的刺激参数。且通过 25~30 次靶向试次获取的离散数据点, 拟合出的对比敏感度函数曲线, 可精准覆盖全空间频率段的敏感度特征; 且使用计算机化测试呈现刺激时, 可严格控制刺激的亮度、对比度、呈现时间等参数, 从而有效提升测量的精度。

但在 AI 技术日渐发展的当下, 目前尚未出现将 AI 技术有效融入 CS 测量的研究, 未来尚需要更多这方面的研究进一步优化 CS 测量; 另一方面, 现有新型测量设备及方法, 尚缺乏与临床 CS 测量传统金标准的系统性一致性对比研究, 其测量结果的临床等效性尚未得到充分证实, 这也限制了此类新技术在临床诊疗中的广泛推广与规范化应用。

7. CS 测量的不足

CS 的测量经过多年的优化和进步, 虽已取得改善, 但仍因机型、测量方式等存在各种测量误差, 因价格、测量繁琐等存在各种推广困难。CS 在临床的应用主要存在以下问题: 1) 不同测量方式、机型存在测量误差。Anstice 等[38]使用 Pelli-Robson 图表对佩戴同心双焦设计和单焦设计的软镜的受试者 CS 进行测量, 并未发现其 CS 差异, 与韩丁等[27]使用 CSV-1000E 的研究结果相反; 分析认为该图表仅测量中等空间频率的对比度阈值, 缺乏全范围的 CS 所致。Jung 等[39]通过对比手动 CST (OPTEC-6500)和自动 CST (CGT-2000)对近视或近视矫正术后患者 CS 的测量情况, 与手动 CST 相比, 自动 CST 与主观夜间视力下降的相关性更好, 并且对屈光手术史的敏感性更高。证明不同测量方式可对测量结果造成影响, 未来仍需集中进行更多大型研究明确测量金标准, 制定联网数据库等进行参考, 减少误差。2) 常见测量方式耗时长、对儿童而言配合困难。如得到广泛使用的 CSV-1000E, 其测量时长仍需约 30~60 分钟, 部分儿童存在因配合困难导致的测量误差, 限制了其在临床上的广泛应用。3) 大部分测量仪器价格昂贵, 限制了其在下级医院的推广。

8. 结语

CS 可以评估较普通对数视力表而言更广泛的视功能, 更能体现在实际场景中的视觉效果。将其应用到近视临床和研究方面, 可更敏锐地对近视前期、近视的进展起到评估和预测作用, 提早干预避免病情进展导致不可控眼部病理性改变; 协助测评改进新型近视防控镜片, 取得更好的视觉质量。CS 可通过无创性的检查反映微观的视网膜光感受器等解剖情况。CS 对近视各方面的视觉质量评估不可或缺。但目前看来, 近视中涉及 CS 的研究多聚焦于短期、中小样本、横断面研究; 未来仍需更多长期、大样本前瞻性研究追踪各种条件下长期 CS 的变化。从临床应用方面, CS 在统一标准、价格优化和精简测量流程等方面还需要改进。总之, CS 作为更敏锐的视功能指标应用于近视, 正日益得到更广泛应用。未来通过更多大样本、长期前瞻性研究及测量方式的不断改进, 相信可以得到更多有效应用。

参考文献

- [1] Arden, G.B. and Jacobson, J.J. (1978) A Simple Grating Test for Contrast Sensitivity: Preliminary Results Indicate Value in Screening for Glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **17**, 23-32.
- [2] Pelli, D.G. and Bex, P. (2013) Measuring Contrast Sensitivity. *Vision Research*, **90**, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.04.015>
- [3] Jong Monica, Resnikoff Serge, Tan Kah Ooi, 等. 亚洲近视管理共识[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022, 24(3): 161-169.
- [4] 中华医学会眼科学分会眼视光学组, 中国医师协会眼科医师分会眼视光专业委员会, 中国非公立医疗机构协会眼科专业委员会视光学组. 近视管理白皮书(2025) [J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2025, 27(7): 481-489.
- [5] Du, R., Xie, S., Igarashi-Yokoi, T., Watanabe, T., Uramoto, K., Takahashi, H., *et al.* (2021) Continued Increase of Axial Length and Its Risk Factors in Adults with High Myopia. *JAMA Ophthalmology*, **139**, 1096-1103. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.3303>
- [6] Morgan, I.G., French, A.N., Ashby, R.S., Guo, X., Ding, X., He, M., *et al.* (2018) The Epidemics of Myopia: Aetiology and Prevention. *Progress in Retinal and Eye Research*, **62**, 134-149. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.09.004>
- [7] Neitz, J. and Neitz, M. (2024) Diffusion Optics Technology (DOT): A Myopia Control Spectacle Lens Based on Contrast Theory. *Translational Vision Science & Technology*, **13**, Article 42. <https://doi.org/10.1167/tvst.13.10.42>
- [8] Li, K.Y., Tiruveedhula, P. and Roorda, A. (2010) Intersubject Variability of Foveal Cone Photoreceptor Density in Relation to Eye Length. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **51**, 6858-6867. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5499>
- [9] Park, S.P., Chung, J.K., Greenstein, V., Tsang, S.H. and Chang, S. (2013) A Study of Factors Affecting the Human Cone Photoreceptor Density Measured by Adaptive Optics Scanning Laser Ophthalmoscope. *Experimental Eye Research*, **108**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2012.12.011>
- [10] Crewther, D.P. (2000) The Role of Photoreceptors in the Control of Refractive State. *Progress in Retinal and Eye Research*, **19**, 421-457. [https://doi.org/10.1016/s1350-9462\(00\)00004-5](https://doi.org/10.1016/s1350-9462(00)00004-5)
- [11] Shen, Y., Ye, X., Zhou, X., Yu, J., Zhang, C., He, S., *et al.* (2024) *In Vivo* Assessment of Cone Loss and Macular Perfusion in Children with Myopia. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 26373. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78280-y>
- [12] Xin, X., Guo, Q., Ming, S., Liu, C., Wang, Z. and Lei, B. (2021) High-Resolution Image Analysis Reveals a Decrease in Lens Thickness and Cone Density in a Cohort of Young Myopic Patients. *Frontiers in Medicine*, **8**, Article 796778. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.796778>
- [13] Wang, J., Liu, X., Huang, J., Deng, R., Zhao, S., Chen, Y., *et al.* (2024) Reduced Contrast Sensitivity Function Is Correlated with Changes to Cone Photoreceptors in Simple High Myopia. *Frontiers in Neuroscience*, **18**, Article 1274651. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1274651>
- [14] Liu, X., Wang, Y., Ying, X., Zhang, F., Huang, J., Yu, H., *et al.* (2022) Contrast Sensitivity Is Associated with Chorioretinal Thickness and Vascular Density of Eyes in Simple Early-Stage High Myopia. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article 847817. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.847817>
- [15] Przekoracka, K., Michalak, K., Olszewski, J., Zeri, F., Michalski, A., Paluch, J., *et al.* (2020) Contrast Sensitivity and Visual Acuity in Subjects Wearing Multifocal Contact Lenses with High Additions Designed for Myopia Progression Control. *Contact Lens and Anterior Eye*, **43**, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2019.12.002>
- [16] 李凤鸣. 眼科全书[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1996: 390-391.
- [17] Leung, T., Li, R.W. and Kee, C. (2023) Brief Adaptation to Astigmatism Reduces Meridional Anisotropy in Contrast

- Sensitivity. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **64**, Article 4. <https://doi.org/10.1167/iovs.64.12.4>
- [18] Stoimenova, B.D. (2007) The Effect of Myopia on Contrast Thresholds. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **48**, 2371-2374. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-1377>
- [19] McKinney, P. and Zukowski, M.L. (1989) The Value of Tear Film Breakup and Schirmer's Tests in Preoperative Blepharoplasty Evaluation. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **84**, 572-576. <https://doi.org/10.1097/00006534-198984040-00002>
- [20] 田春慧, 雷秀丽, 连丽英, 等. 对比敏感度在近视初期患者检查中的作用[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2018, 26(4): 22-24.
- [21] Ye, Y., Liu, F., Xian, Y., Li, M., Niu, L., Zhou, X., *et al.* (2025) Correlation of Contrast Sensitivity at Low Spatial Frequencies with Myopic Shift in Chinese Children. *BMC Ophthalmology*, **25**, Article No. 99. <https://doi.org/10.1186/s12886-025-03858-7>
- [22] Comune, C., Montorio, D. and Cennamo, G. (2021) Optical Coherence Tomography Angiography in Myopic Peripapillary Intrachoroidal Cavitation Complicated by Choroidal Neovascularization. *European Journal of Ophthalmology*, **31**, 1920-1924. <https://doi.org/10.1177/1120672120944016>
- [23] Na, H., Lee, E.J., Lee, S.H. and Kim, T. (2020) Evaluation of Peripapillary Choroidal Microvasculature to Detect Glaucomatous Damage in Eyes with High Myopia. *Journal of Glaucoma*, **29**, 39-45. <https://doi.org/10.1097/jjg.0000000000001408>
- [24] Du, Y., Meng, J., He, W., Qi, J., Lu, Y. and Zhu, X. (2024) Complications of High Myopia: An Update from Clinical Manifestations to Underlying Mechanisms. *Advances in Ophthalmology Practice and Research*, **4**, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.aopr.2024.06.003>
- [25] Lee, J.H., Lee, S.C., Kim, S.H., Koh, H.J., Kim, S.S., Byeon, S.H., *et al.* (2017) Choroidal Thickness and Chorioretinal Atrophy in Myopic Choroidal Neovascularization with Anti-Vascular Endothelial Growth Factor Therapy. *Retina*, **37**, 1516-1522. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000001384>
- [26] Iacono, P., Battaglia Parodi, M., Selvi, F., Parravano, M.C., Chiaravalloti, A., Varano, M., *et al.* (2017) Factors Influencing Visual Acuity in Patients Receiving Anti-Vascular Endothelial Growth Factor for Myopic Choroidal Neovascularization. *Retina*, **37**, 1931-1941. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000001436>
- [27] 韩丁, 王宇欣, 贺美男, 等. 同心双焦设计离焦软镜与单焦软镜的主观视觉效果比较[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2024, 26(11): 816-823.
- [28] García-Marqués, J.V., Macedo-De-Araújo, R.J., Cerviño, A., García-Lázaro, S., McAlinden, C. and González-Méijome, J.M. (2020) Comparison of Short-Term Light Disturbance, Optical and Visual Performance Outcomes between a Myopia Control Contact Lens and a Single-Vision Contact Lens. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **40**, 718-727. <https://doi.org/10.1111/opo.12729>
- [29] Li, X., Ding, C., Li, Y., Lim, E.W., Gao, Y., Fermigier, B., *et al.* (2021) Influence of Lenslet Configuration on Short-Term Visual Performance in Myopia Control Spectacle Lenses. *Frontiers in Neuroscience*, **15**, Article 667329. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.667329>
- [30] 李晓莹, 马薇, 宋雨桐, 等. 多区正向光学离焦镜片对双眼视功能和视觉质量影响的随机双盲对照研究[J]. 中华实验眼科杂志, 2025, 43(2): 130-137.
- [31] Lu, W., Song, G., Zhang, Y., Lian, Y., Ma, K., Lu, Q., *et al.* (2023) The Effect of Orthokeratology Lenses on Optical Quality and Visual Function in Children. *Frontiers in Neuroscience*, **17**, Article 1142524. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1142524>
- [32] 王艳, 廖萱, 兰长骏, 等. 自适应光学视觉模拟器评价角膜塑形镜配戴前后的视觉质量变化[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文), 2025, 27(10): 747-753.
- [33] Dorr, M., Wille, M., Viulet, T., Sanchez, E., Bex, P.J., Lu, Z., *et al.* (2015) Next-Generation Vision Testing: The Quick CSF. *Current Directions in Biomedical Engineering*, **1**, 131-134. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2015-0034>
- [34] Hou, F., Lesmes, L.A., Kim, W., Gu, H., Pitt, M.A., Myung, J.I., *et al.* (2016) Evaluating the Performance of the Quick CSF Method in Detecting Contrast Sensitivity Function Changes. *Journal of Vision*, **16**, Article 18. <https://doi.org/10.1167/16.6.18>
- [35] Mena-Guevara, K.J., Piñero, D.P., Luque, M.J. and de Fez, D. (2024) The Measurement of Contrast Sensitivity in Near Vision: The Use of a Digital System vs. a Conventional Printed Test. *Technologies*, **12**, Article 108. <https://doi.org/10.3390/technologies12070108>
- [36] 王丽萍, 陆佳峰, 邱飞岳, 等. 度量对比敏感度阈值的自适应优化方法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2022, 43(8): 1638-1643.
- [37] Stellmann, J., Young, K., Pöttgen, J., Dorr, M. and Heesen, C. (2015) Introducing a New Method to Assess Vision: Computer-

-
- Adaptive Contrast-Sensitivity Testing Predicts Visual Functioning Better than Charts in Multiple Sclerosis Patients. *Multiple Sclerosis Journal—Experimental, Translational and Clinical*, **1**, 1-8. <https://doi.org/10.1177/2055217315596184>
- [38] Anstice, N.S. and Phillips, J.R. (2011) Effect of Dual-Focus Soft Contact Lens Wear on Axial Myopia Progression in Children. *Ophthalmology*, **118**, 1152-1161. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.10.035>
- [39] Jung, H., Han, S.U., Kim, S., Ahn, H., Jun, I., Lee, H.K., *et al.* (2022) Comparison of Two Different Contrast Sensitivity Devices in Young Adults with Normal Visual Acuity with or without Refractive Surgery. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 12882. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16855-3>