

人眼调节机制及相关治疗的研究进展

武可馨

西安医学院研究生院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年5月5日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月9日

摘要

人眼调节机制是指睫状体与晶状体协同作用, 实现对不同距离物体精准对焦的视觉功能。近年来, 随着电子产品的普及与老龄化趋势的加剧, 调节不足、调节过度以及老视等调节异常相关疾病的发病率逐渐上升, 严重影响患者的视觉质量与正常生活。因此, 本文对人眼调节机制及调节异常相关疾病的治疗方法进行综述, 以期为后续人眼调节机制的相关研究及临床治疗方案的选择提供参考, 从而推动相关研究成果的转化应用, 以改善人群的视觉质量。

关键词

人眼, 调节机制, 治疗方案

Research Progress on the Accommodation Mechanism of the Human Eye and Related Treatments

Kexin Wu

Graduate School of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: May 5, 2026; accepted: May 29, 2026; published: June 9, 2026

Abstract

The accommodation mechanism of the human eye refers to the visual function achieved via the synergistic interaction between the ciliary body and the crystalline lens, which enables accurate focusing on objects at varying distances. In recent years, driven by the widespread adoption of electronic devices and the intensification of population aging, the incidence of accommodation anomalies, including insufficient accommodation, excessive accommodation and presbyopia, has gradually increased, seriously impairing patients' visual quality and daily life. Therefore, this paper presents a

review of the accommodation mechanism of the human eye and the therapeutic approaches for accommodation-related diseases, aiming to provide a reference for subsequent research on human eye accommodation mechanism and the selection of clinical therapeutic regimens, so as to promote the translational application of relevant research findings and improve the overall visual quality of the population.

Keywords

Human Eye, Accommodation Mechanism, Therapeutic Regimen

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

人眼调节机制依靠晶状体、睫状肌、悬韧带等组织的相互协调，保障视近与视远过程中均可获得清晰成像；该机制一旦出现异常，会导致患者视物模糊、视疲劳及视距切换困难等问题，进而诱发假性近视、老视等疾病，严重影响患者的正常生活与工作[1][2]。相关调查研究显示，我国年轻群体中，超过 50% 的视疲劳由调节异常直接导致，却常被误判为“用眼过度”；在全球范围内，老视患者已达 18 亿，且这一数据仍随老龄化进程的加剧持续攀升[3][4]。随着科学技术的发展，学界对人眼调节机制的研究逐步深入，各类治疗技术也不断改进与完善，为调节异常相关疾病患者提供了更多治疗选择。基于此，本研究从人眼调节机制及相关治疗技术等方面展开文献梳理，以期后续基础研究及临床诊疗工作提供思路。

2. 调节机制

正常情况下，人眼要清晰视物，视觉系统需将双眼视线对准目标物体并完成精准对焦。其中，双眼视线对准物体的过程被称为集合，精准对焦的过程则被称为调节[5]。调节是指眼睛通过调整屈光系统的屈光力，看清外界不同距离物体的生理过程，该过程涉及睫状体 - 晶状体屈光系统调节、瞳孔调节、眼球会聚的近反射三联动过程，三者协同作用，共同保障视觉的清晰与稳定[6]。当眼睛注视近距离物体时，睫状肌收缩，带动睫状突向晶状体方向移动，使连接晶状体与睫状突的悬韧带放松；晶状体前囊的弹性对抗晶体内的弹性张力，使晶状体中央部分凸起形成曲率半径约 5 mm 的球形，通过这一系列调节，人眼即可看清近距离物体[7]。当眼睛注视远距离物体时，睫状肌则会舒张，脉络膜及晶状体韧带随之复位，前方的晶状体悬韧带反向牵拉晶状体囊，使晶状体恢复至自然扁平状态，进而实现远距离视物[8]。瞳孔调节是近反射三联动的关键环节：视近时，副交感神经兴奋，瞳孔括约肌收缩，使瞳孔缩小至 2~3 mm，以此提升成像清晰度；视远时，交感神经兴奋，瞳孔开大肌收缩，使瞳孔扩大至 5~6 mm 左右，增加进光量以适配远距离视物需求。眼球会聚表现为：视近时双眼内直肌收缩，视轴向鼻侧会聚，确保物像落在双眼视网膜的对称位置上，从而形成立体视觉。若涉及调节、瞳孔缩小、眼球会聚的近反射三联动功能失调，则可能引发斜视或视疲劳等问题。视功能调节评估是诊断调节异常的关键手段，核心评价指标包括调节幅度、调节灵敏度及调节反应[9]。调节幅度指人眼能够产生的最大屈光力变化，其数值会随年龄增长呈线性下降趋势；调节灵敏度反映调节系统的动态响应能力，临床多采用翻转拍进行评估，若单眼调节灵敏度 < 12 次/min、双眼 < 8 次/min，则提示调节灵敏度异常；调节反应用于评估调节的准确性，其正常范围为 +0.25 D~+0.50 D，若测量值低于该范围下限提示调节不足，高于上限则提示调节过度。

3. 调节异常相关疾病

调节异常是指人眼调节系统的速度、幅度及准确性偏离正常生理范围，进而引发的一类视觉功能障碍性疾病。依据临床特征，调节异常可分为调节不足、调节过度及调节灵活度不足三类；而老视作为与年龄增长相关的调节功能衰退性疾病，也被归为常见的调节异常相关疾病范畴[10]。调节不足的核心表现为调节幅度较同年龄段正常水平降低超过 2 D，且常伴随正相对调节能力下降。近视即属于调节不足引发的视功能异常，多见于长期近距离工作人群及青少年群体[11]。此类患者在注视近距离物体约 20 分钟后，易出现眶周疼痛、眼部酸胀、视近物模糊等症状，部分患者还会出现视像不稳定的表现；在转向注视远距离物体时，会因调节滞后出现暂时性远视力下降。调节不足的发生机制主要与晶状体弹性下降或睫状肌收缩力减弱有关，导致眼睛在视近时难以产生足够的屈光力，机体需通过过度集合进行代偿，进而引发睫状肌持续性紧张[12]。调节过度是指眼部睫状肌发生持续性收缩，致使晶状体屈光力异常升高，其调节反应值低于+0.25 D。由于青少年群体存在视觉焦虑、高强度近距离用眼、调节放松功能异常等诱因，该病症在青少年中的发病率高达 35% [13]。调节过度患者在视近过程中可出现暂时性近视，同时伴随视物变形、复视、远视力波动等表现，还会合并睫状肌痉挛引发的前额牵涉痛及眼部胀痛。若长期未得到有效干预，可能导致睫状肌功能永久性损伤，显著增加真性近视的发生风险[14]。调节灵活度不足的特点为调节幅度处于正常范围，但调节灵敏度低于临界值，核心表现为近远距视标切换时调节响应滞后。患者在切换视距的过程中，会出现超过 2 秒的视物不清期；长期近距离工作后，还会出现眼睑沉重、注意力涣散等症状，同时伴随眶周牵拉样疼痛。调节灵活度不足多见于教师、驾驶员等需频繁切换视距的职业人群，尤其是驾驶员群体，可能因视觉信息获取延迟增加职业相关风险，需予以重点关注。老视是与年龄密切相关的调节功能退行性病变，其发病机制在于年龄增长导致晶状体弹性降低、晶状体硬化，同时伴随睫状肌功能减退，最终造成调节幅度下降，无法满足视近需求[15]。老视患者的典型表现为视近物模糊，需将目标物体移至更远距离才能看清，同时合并眼部酸胀、视疲劳及头部不适等症状，且上述症状会随年龄增长逐渐加重，通常需通过光学矫正手段才能有效改善视觉质量。

4. 治疗手段

临床上针对调节异常的干预治疗，始终强调在精准诊断后实施个体化干预，避免盲目为患者佩戴近视眼镜。随着医疗技术的发展，调节异常相关眼病的治疗手段，已从既往的传统光学矫正，逐步拓展至药物治疗、视觉功能训练及手术治疗等多个领域，治疗的有效性与安全性得到进一步提升，能够为不同人群的患者制定针对性治疗方案。

光学矫正一直是调节异常相关眼病的基础治疗方式，其核心原理是通过佩戴框架眼镜或隐形眼镜，纠正患者晶状体的屈光力异常，使物体成像精准聚焦于视网膜上，从而缓解视疲劳与视物模糊的症状。依据矫正眼镜的类型，光学矫正可分为单光镜矫正、双光镜矫正及渐进多焦镜矫正三类[16]。其中，渐进多焦镜可实现视远、视中、视近全程的视觉切换，是老视患者光学矫正的首选方案。针对调节过度或调节不足患者的光学矫正，需在精准验光并全面评估调节功能后实施：对于调节过度者，其核心异常是睫状肌持续性收缩、晶状体屈光力过高，可通过佩戴凹透镜缓解睫状肌痉挛，辅助睫状肌舒张，帮助其恢复视远时的正常调节状态；对于调节不足者，其核心异常是睫状肌收缩力减弱或晶状体弹性下降，无法产生足够屈光力，可佩戴低度凸透镜辅助视物，以此减轻睫状肌的调节负担，弥补晶状体凸起不足的缺陷。

药物治疗的核心目标在于改善调节功能、缓解调节痉挛，临床常用药物主要分为胆碱能受体激动剂与睫状肌麻痹剂两大类。对于调节过度患者，其核心异常是睫状肌持续性收缩，可应用阿托品滴眼液、复方托吡卡胺滴眼液等睫状肌麻痹剂，直接作用于睫状肌，抑制其过度收缩，改善睫状肌持续性收缩的

状态,帮助其恢复正常的舒张功能。其中,阿托品滴眼液多用于青少年假性近视的治疗,能够轻度麻痹睫状肌,缓解调节痉挛,同时抑制眼轴增长;复方托吡卡胺滴眼液则具有起效迅速、作用时间短的优势,可快速解除睫状肌痉挛[17]。但需注意,睫状肌麻痹剂的使用可能引发畏光、瞳孔散大、视近物不清等不良反应,因此临床应用时需严格遵循医嘱规范用药。相关研究表明,低剂量毛果芸香碱滴眼液在改善老视患者近视力方面的效果优于溶媒对照组,且不会对远视力造成影响,安全性良好[18]。另有研究显示,老视患者经毛果芸香碱滴眼液治疗1个月后,经屈光校正的近视力得到显著提升,近距屈光力下降,调节幅度与屈光力范围均有所扩大,提示1.25%毛果芸香碱滴眼液可作为改善老视患者近视力的有效替代干预方案[19]。

手术治疗主要适用于对光学矫正不耐受、罹患中重度老视及其他调节异常的患者,其核心原理是通过手术改善睫状肌功能,或调整晶状体的屈光力与形态,从而恢复人眼正常调节功能。目前临床上常用的手术方案主要包括晶状体置换术与角膜屈光术两大类。晶状体置换术主要针对老视患者晶状体硬化、弹性下降这一核心调节异常环节,操作流程为摘除患者眼内硬化、老化的自然晶状体,再植入人工晶状体,借助人工晶状体的屈光特性,替代原有晶状体的调节功能,改善视觉质量。一项关于三种不同老视矫正用衍射型人工晶状体虚拟植入的研究显示,与PanOptix、ATELANA人工晶状体相比,Tecnis Synergy ZFR00V人工晶状体的光晕图案尺寸更大;在短期疗效对比中,这款新型三焦点人工晶状体在夜间驾驶场景的应用体验更优,更受患者青睐[20]。但晶状体置换术也存在一定局限性,例如对于合并青光眼的老视患者,通常需植入单焦点人工晶状体,这是因为多焦点人工晶状体可能干扰视野检查,且其光学特性与部分青光眼治疗药物或病情之间的相互作用尚需谨慎评估。因此,术前需完善角膜地形图、生物测量等相关检查,同时明确患者的视觉需求,这对提升术后满意度至关重要。角膜屈光手术则针对调节异常导致的角膜屈光力异常,通过激光切削角膜组织,调整角膜的非球面形态与屈光力,辅助晶状体与睫状肌完成对焦调节,以实现视近、视远均能清晰成像的目标。但该术式术后易出现角膜愈合不良、干眼等并发症,且手术效果具有不可逆性,临床应用时需严格把控手术适应症[21]。

视觉训练是通过针对性的训练方案,改善睫状肌功能及神经协调控制能力,从而恢复眼睛调节功能、缓解视疲劳症状的干预手段,可作为调节不足、调节过度及调节灵活度不足患者手术或药物治疗的辅助方案。针对调节功能不足(睫状肌收缩力减弱、晶状体弹性下降)的患者,可通过字母表训练、推进训练等方式延长舒适视近时长,提升睫状肌收缩力与调节幅度;针对调节过度(睫状肌痉挛、无法正常舒张)的患者,则可通过远眺训练、睫状肌放松训练及眼部热敷等方式缓解睫状肌痉挛,促进调节功能恢复放松状态;针对调节灵活度不足(睫状肌收缩与舒张切换障碍)的患者,以快速切换正负镜片为核心的翻转拍训练是首选方案,可有效提升睫状肌的调节响应能力与调节灵敏度[22][23]。近年来,随着技术的发展,视觉训练与科学技术的融合趋势日益显著,基于增强现实或虚拟现实技术的新型视觉训练手段逐渐涌现。这类技术能够根据患者个体的调节功能状况制定个性化训练方案,在一定程度上提升了训练的有效性与趣味性。

5. 小结及展望

人眼调节依赖晶状体、睫状肌、悬韧带协同作用,如今调节过度、不足及老视等眼病发病率攀升,严重影响生活工作。科技进步推动其治疗方式不断完善,形成光学、药物、手术、视觉训练并行的多元临床方案,极大地丰富了临床治疗选择。尽管人眼调节机制的研究及相关治疗方案的探索已取得一定进展,但目前仍存在诸多局限性:光学矫正只能缓解症状、不能修复调节功能,长期佩戴还会加重眼部负担;药物治疗有畏光、瞳孔散大等副作用,且疗效难长效;手术不可逆,易引发干眼等并发症,适用人群有限;视觉训练效果因人而异,形式枯燥、患者配合度低,作用机制也未完全明晰。因此,未来仍需科研人员持续深入探索,开发具有更长效、更少副作用的新型缩瞳剂,探索基于人工智能的个性化视觉训练

方案对改善调节功能的有效性及其神经机制,改良眼部手术技术、研发适配人工晶状体以减少并发症,从多方面着手,为患者提供更安全、有效的干预策略,全面改善患者的视觉质量。

参考文献

- [1] Lin, Z., Christaras, D., Duarte-Toledo, R., Yang, Z., Arias, A., Lan, W., *et al.* (2025) Dynamic Accommodation Responses in Subjects Wearing Myopia Control Spectacles Modifying Peripheral Refraction. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **66**, 55-64. <https://doi.org/10.1167/iovs.66.1.55>
- [2] Jin, C., Wang, S., Ye, H., Wei, R., Dong, Y. and Zhao, P. (2024) Effects and Related Factors of Short-Time Accommodation Training on Measuring Consistency of InnovEyes Sitemap, Autorefractometry, and Subjective Refraction. *Journal of Refractive Surgery*, **40**, 941-955. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20241022-01>
- [3] 孙燕, 王海燕, 刘泉. 优化单眼视 LASIK 矫正年龄相关性调节不足伴近视对调节功能的影响[J]. 中华实验眼科杂志, 2025, 43(6): 535-541.
- [4] 宋艳霞, 赵敬聪, 杨晓格, 等. 不同近视防控眼镜配戴后对调节功能的影响分析[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2025, 33(3): 22-24, 39.
- [5] 边忠华, 关少伟, 王雪瑶, 等. 浅析近视合并调节及双眼视功能异常致视疲劳的诊治[J]. 中国中医眼科杂志, 2023, 33(12): 1155-1159.
- [6] 伍叶, 张珍, 唐雪林, 等. 调节和双眼视功能检查在评估民航飞行员双眼视功能异常中的应用[J]. 临床眼科杂志, 2020, 28(1): 66-68.
- [7] 苗景鹏, 马芙蓉, 赵世强, 等. 客观评价近视眼配镜过矫对人眼调节功能影响的临床研究[J]. 中华眼科医学杂志(电子版), 2020, 10(5): 262-268.
- [8] 宋继科, 吴秋欣, 田庆梅, 等. 眼周经皮穴位电刺激干预假性近视及低中度近视伴调节功能异常临床观察[J]. 山东中医杂志, 2023, 42(3): 260-265, 283.
- [9] 郭丽莉, 王乐今. 儿童间歇性外斜视手术前后双眼调节功能变化[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021, 23(11): 840-844.
- [10] Summers, A.I., Morrison, D.G., Chandler, D.L., Henderson, R.J., Chen, A.M., Leske, D.A., *et al.* (2023) A Pilot Randomized Clinical Trial of Base-in Relieving Prism Spectacle Treatment of Intermittent Exotropia. *Optometry and Vision Science*, **100**, 432-443. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000002039>
- [11] 李晶, 叶青青, 罗晓慧, 等. 双眼调节集合功能的检查和干预对干眼主观不适症状的影响[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(32): 2519-2524.
- [12] 龚胜, 吴晓彤, 张莉唯, 等. 近视儿童眼调节功能的客观检查与分析[J]. 眼科新进展, 2022, 42(12): 957-961.
- [13] 唐敏, 许亚菲, 侯杰, 等. 角膜屈光手术近视患者调节和集合功能异常的检出率[J]. 临床眼科杂志, 2023, 31(1): 5-9.
- [14] 黄梓庭, 钟菁, 李姬静, 等. 基于虚拟现实的调节力训练仪对调节过度型视疲劳的治疗效果分析[J]. 中华实验眼科杂志, 2025, 43(2): 121-129.
- [15] 张陶陶, 金廷恒, 夏燕婷, 等. 韦氏三联九针对肝郁脾虚型老视合并视疲劳患者眼调节作用的影响[J]. 中国针灸, 2022, 42(6): 625-628, 653.
- [16] 陈思佳, 李安琪, 曲超. 儿童眼与老视眼睫状肌厚度在调节中变化的研究[J]. 实用医院临床杂志, 2023, 20(1): 83-85.
- [17] 郭彦芳, 刘颖, 胡志伟, 等. 不同浓度阿托品对近视患儿视力和双眼调节功能影响[J]. 青岛大学学报(医学版), 2025, 61(4): 598-602.
- [18] Holland, E., Karpecki, P., Fingeret, M., Schaeffer, J., Gupta, P., Fram, N., *et al.* (2024) Efficacy and Safety of CSF-1 (0.4% Pilocarpine Hydrochloride) in Presbyopia: Pooled Results of the near Phase 3 Randomized, Clinical Trials. *Clinical Therapeutics*, **46**, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2023.12.005>
- [19] Saxena, R., Gupta, V., Velpandian, T., Nidhi, T., Thakur, H., Titiyal, J.S., *et al.* (2025) Pilocarpine 1.25% Efficacy for Management of Uncorrected Presbyopia (PILE-UP Study). *Indian Journal of Ophthalmology*, **73**, 1486-1490. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_96_25
- [20] Marx, S., Fernández, J., Gerlach, M., Schallhorn, S. and Sickenberger, W. (2025) Evaluation of Perception of Photic Phenomena through Diffractive Multifocal Intraocular Lens Designs by Its Virtual Implantation. *Journal of Refractive Surgery*, **41**, 968-974. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20250707-01>
- [21] Kohonen, T., Lwowski, C., Böhm, M., Hemkepler, E. and Jandewerth, T. (2024) Visual Outcomes and Safety of a Refractive

Corneal Inlay for Presbyopia: One-Year Results. *Journal of Refractive Surgery*, **40**, 1-9.
<https://doi.org/10.3928/1081597x-20231204-02>

- [22] 罗玥, 陶杰, 谢娟, 等. 视功能训练对近视儿童青少年眼调节功能及屈光相关参数的影响[J]. 川北医学院学报, 2025, 40(11): 1383-1389.
- [23] 田玉景, 虞瑛青, 曹葭, 等. 双眼视力调节训练对儿童近视的疗效及对视功能的影响[J]. 河北医学, 2022, 28(11): 1878-1882.