

· 专家述评 ·

# 从证据到实践:有效预防儿童青少年近视的关键要素

何鲜桂

上海市眼病防治中心/同济大学附属眼科医院 国家眼部疾病临床医学研究中心,上海 200331  
Email:xianhezi@163.com

**【摘要】** 儿童青少年近视防控目前已成为我国健康战略任务,预防近视发生、降低青少年近视患病率是重要目标。当前亟待推行防控并重、前移预防关口和聚焦重点人群策略。如何精准评估个体风险、匹配差异化预防需求、优化群体和个体预防技术方案实现资源利用最大化等,仍是提高近视预防效果和效率亟待解决的关键问题。本文基于当前循证证据,针对预防青少年近视的关键要素进行论述,包括通过评估个体远视储备水平和抓住近视前期,早期识别高风险人群;探索简便易行的远视储备测量与屈光分类方法;结合遗传、环境和行为等多维参数,建立和优化风险预测模型工具;针对不同年龄段、风险水平制定个性化防控策略,在个体和群体水平合理、综合选择户外活动、光学干预或药物干预等明确有效手段。以期为探索近视预防的研究方向、促进个性精准近视防控实践和加快下降儿童青少年近视患病率提供参考。

**【关键词】** 近视;儿童;青少年;预防;远视储备;个性化干预

**基金项目:** 国家自然科学基金(82273648);上海市科学技术委员会优秀学术带头人计划(22XD1422900);上海市卫生健康委员会学科带头人人才计划(2022XD032);上海市第六轮公共卫生体系建设三年行动计划重点学科建设项目(GWVI-11.1-30);上海市第六轮公共卫生体系建设三年行动计划(GWVI-7)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20250312-00078

**From evidence to practice: key elements for effective prevention of myopia in children and adolescents**

He Xiangui

Shanghai Eye Diseases Prevention and Treatment Center/Shanghai Eye Hospital, School of Medicine, Tongji University, National Clinical Research Center for Eye Diseases, Shanghai 200331, China

Email:xianhezi@163.com

**[Abstract]** The prevention and control of myopia in children and adolescents has become a strategic health task in China, with the important goals of preventing myopia onset and reducing the incidence of myopia in adolescents. Currently, it is urgent to implement a strategy that emphasizes both prevention and control, advances the prevention checkpoint, and focuses on key populations. At present, how to accurately assess individual risks, how to meet differentiated prevention needs, how to optimize group and individual prevention technology solutions to maximize resource utilization, etc., are still key issues that urgently need to be addressed to improve the effectiveness and efficiency of myopia prevention. Based on current evidence, this paper discusses key elements of myopia prevention in children and adolescents. These include the assessment of individual hyperopia reserve to identify high-risk individuals at an early stage, the development of simplified methods to measure hyperopia reserve and classify refractive status, and the establishment and refinement of risk prediction models by integrating genetic, environmental, and behavioral factors. Additionally, personalized prevention strategies should be tailored to different age groups and risk levels, with appropriate and comprehensive interventions—such as outdoor activities, optical correction, and pharmaceutical treatments—at both the individual and population levels. This paper aims to provide a reference for research directions in myopia prevention, promote personalized and precise myopia prevention and control practices, and accelerate the reduction of myopia rates in children and adolescents.

**[Key words]** Myopia; Child; Adolescent; Prevention; Hyperopia reserve; Personalized intervention

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (82273648); Outstanding Academic Leader



Program of Shanghai Municipal Science and Technology Commission (22XD1422900); Talent Program for Discipline Leaders of Shanghai Municipal Health Commission (2022XD032); Key Discipline Construction Project of the Sixth Round of Three-Year Action Plan for Public Health System Construction in Shanghai (GWVI-11.1-30); Sixth Round of Three-Year Action Plan for Public Health System Construction in Shanghai (GWVI-7)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20250312-00078

近视累及全球超过 30% 人口,高度近视导致的眼底病变已成为经济发达地区致盲主因<sup>[1]</sup>。研究表明,屈光度每增加 1.0 D,眼底病变风险增加 67%<sup>[2]</sup>。我国近视患病率居于全球高位,近视人数居首位,6~18 岁儿童青少年筛查性近视率为 51.9%,约达 1 亿人<sup>[3]</sup>。2018 年起,降低近视患病率纳入国家健康战略,至今防控成效初显。然而,近视机制仍未完全阐明,一旦发生难逆转,因此强化预防是降低近视患病率的关键。国家有关政策着力于改变重治疗轻预防局面,转向防控并重、加强预防,将近视防控的关口前移至幼儿园和小学阶段重点人群,监测远视储备分级干预,推动近视患病率以更快速度降低。随着技术的进步,根据不断更新的近视预防循证依据指导实践,有效预防近视发生成为可能。增加户外活动等行为干预已纳入全人群预防策略与实践并取得一定成效<sup>[4]</sup>。同时,研究证实特殊光学设计眼镜、低浓度阿托品及低强度红光等技术对未近视儿童具有较明确预防效果<sup>[5-7]</sup>。其中,如何精准评估个体风险、匹配差异化预防需求、优化群体和个体预防技术方案实现资源利用最大化等,仍是提高近视预防效果和效率亟待解决的关键问题。本文针对有效预防儿童青少年近视的关键要素进行探讨,以期为新时期近视预防的研究与实践提供参考。

## 1 评估个体远视储备水平,抓住近视前期

目前远视储备是判断个体近视风险的核心指标。美国 CLEERE 随访研究发现,基线屈光度小于 +0.75 D 的 6~11 岁儿童 2 年近视发生风险显著增加<sup>[8]</sup>。一项系统综述研究证实,远视储备量在预测近视风险方面具有主导的表现力,预测模型加入遗传、行为因素后准确度提升幅度不大<sup>[9]</sup>。安阳儿童眼病研究 5 年随访结果发现,远视储备每增加 +1.0 D,5 年后屈光度可减少降低 +1.69 D<sup>[10]</sup>。笔者所在课题组上海宝山研究也发现,基线等效球镜度 (spherical equivalent, SE) 预测 1~3 年级学生 2 年近视发生的受试者工作特征曲线下面积 (area under curve, AUC) 可达 0.862<sup>[11]</sup>。国家卫生健康委员会《儿童青少年近视防控适宜技术指南(更新版)》给出中文远视储备量定义:正视化前的远视,即“对抗”发展为近视的“缓冲区”<sup>[12]</sup>。

近年来,国内外研究者开始重视远视储备严重不足(近视前期)特殊人群的强化干预。近视前期是指儿童在屈光状态上尚未达到近视标准,视力仍正常,但远视储备量已达到近视发生“风险高值”状态。国际近视研究院近视白皮书和国家卫生健康委员会《儿童青少年近视防控适宜技术指南(更新版)》将近视前期定义为  $-0.50\text{ D} < \text{SE} \leq +0.75\text{ D}$ <sup>[12-13]</sup>,其中基线屈光度低、年龄小、父母近视史、高强度学习和近距离工作、户外时间减少等组合因素极大提高了发展成近视的可能性,应在此阶段及时采取预防干预措施。《近视防治指南(2024 版)》也基于公共卫生策略将屈光发育分为近视前驱期、近视发展期、高度近视期和病理性近视期,其中近视前驱期与近视前期定义近似,对于近视防控具有重要意义<sup>[14]</sup>。近视前期儿童不仅未来近视风险较高,还有其典型的屈光发育特征。CLEERE 研究发现,远视储备充足儿童的屈光度和眼轴长度(axial length, AL)进展相对稳定,而进入近视前期后屈光度和 AL 迅速进展<sup>[8]</sup>。这一发现在石梦海等<sup>[15]</sup>和上海 STORM 队列研究<sup>[16]</sup>中也得到了证实。根据笔者团队统计数据,6~12 岁近视前期儿童占比达 36%,全国约有 2 000 万名近视前期儿童<sup>[17]</sup>,如能得到有效预防,将带来巨大的健康效益并减轻远期经济负担。

然而,也有研究者认为,强化预防的起点 +0.75 D 并不能在所有年龄适用。由中华医学会眼科学分会眼视光学组等<sup>[18]</sup>发布的近视管理白皮书(2022)中对近视前期的定义考虑了儿童年龄和远视储备的个体差异,参考美国 CLEERE 研究,将屈光度小于或等于同年龄儿童远视储备下限且大于 -0.50 D 作为判断标准,该定义开始关注不同年龄段儿童应设置不同的远视储备“安全”界值。更进一步地,《中国学龄儿童眼球远视储备、眼轴长度、角膜曲率参考区间及相关遗传因素专家共识(2022 年)》中给出了 6~15 岁不同年龄的远视储备均值和参考区间<sup>[19]</sup>。笔者所在团队基于 3~18 岁儿童纵向随访数据开展研究,2024 年发布首个地方远视储备参考值标准 DB31/T 1481-2024《儿童青少年裸眼视力和屈光度评价规范》。并牵头组织起草国家卫生行业标准,基于多方专家经验和参考值制定原则、结合储备本底现状,建议远视储备推荐值调整

至各年龄段参考值下限,提出基于远视储备的分级分类精准干预建议<sup>[20]</sup>,将未近视人群分类为远视储备充足、相对不足和严重不足(近视前期),并予以分级干预。2024 年已在上海 1.5 万名 6~12 岁小学生开展实践应用,具有较好应答率。值得注意的是,不同研究推荐的远视储备界值存在差异,具体选择何种参考值范围需根据应用场景确定,当需要筛检更多高危儿童时,可选择较高参考值,避免漏诊;而当医疗资源有限时,则可选择较低阈值,减少误诊。期待从研究和实践中持续总结和更新,形成更合理的远视储备应用参考值。

## 2 探索测量远视储备量与屈光分类的简易方法

在大规模人群推进基于远视储备的分类分级预防干预实践时,有赖于便捷精准测量远视储备量的方法。目前,睫状肌麻痹验光能够去除睫状肌调节影响,仍是测定儿童青少年真实远视储备量的金标准,因其操作需专业医务资质人员和更多专业设备支持、测量耗时长、恢复期带来一定的视近模糊和畏光等不便,限制了其在社区或学校场景推广应用于人群。因此,寻找替代性简易屈光分类方法成为人群远视储备相关工作的迫切需求。

在有限资源条件下,笔者团队首创的视力联合非扩瞳验光筛查近视方法<sup>[21]</sup>,比以往单纯远视力筛查方法可使筛查效率提升 26%,AUC 达到 0.985,于 2018 年被国家卫健委和教育部采纳为全国近视调查方案,并于 2019 年写入国家卫健委《儿童青少年近视防控适宜技术指南》<sup>[12]</sup>,2020 年进一步作为国家卫生行业标准(WS/T663-2020《中小学生屈光不正筛查规范》)发布,推广全国。标准中指出,对于视力正常儿童,若非睫状肌麻痹 SE 小于 0 D,可初步判定为疑似远视储备不足、具有较高近视风险,建议转诊至医疗机构进行睫状肌麻痹验光进一步确认真实远视储备,提早预防。这一分类方法基于专家共识形成,2013 年起已在上海大规模百万屈光发育建档中进行应用,未来可进一步加强相关应用效能的验证,给出更科学合理的判定界值。此外,AL 作为近视防控管理中判断屈光度的指标也得到了广泛的探索与应用,李仕明等<sup>[22]</sup>研究显示,视力联合 AL 的筛查效能(灵敏度为 48.46%,AUC=0.924)略优于视力联合非扩瞳验光(灵敏度为 45.08%,AUC=0.925),证实 AL 作为客观生物标志物在近视筛查中的作用。笔者团队牵头制定发布《眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)》<sup>[23]</sup>,给出了 AL 的人群生长发育曲线,以及评估远视储备消耗过快与否的参考界值,3~5 岁、6~12 岁 AL 安全增长值中位数分别为 0.25 和 0.18 mm/年。在资源有

限的地区或应用场景,通过采用这些便捷的方法,可满足低成本、广覆盖的应用需求。

如今人工智能技术的迅速发展为屈光分类和测定方法带来更多可能。在传统非扩瞳验光数据基础上,结合机器学习算法的模型展现了更高的预测能力,例如,Ying 等<sup>[24]</sup>通过 XGBoost 和随机森林构建的模型判断是否近视的 ROC 曲线下面积达 0.984~0.987;Lin 等<sup>[25]</sup>基于电子病历中的海量临床数据(年龄、基线 SE 和年进展率)利用随机森林模型预测未来特定时间点的睫状肌麻痹屈光度,预测 1~3 年、4~5 年和 6~8 年的平均绝对误差(mean absolute error, MAE)分别为 0.253~0.395 D、0.394~0.496 D 和 0.503~0.799 D,在外部验证中也显示出临床相对可接受的精度。深度学习通过分析视网膜眼底图像,提取与屈光度相关的重要信息,也显示了一定的潜力。例如,Zou 等<sup>[26]</sup>利用眼底图像预测睫状肌麻痹球镜和柱镜度数,MAE 分别为 0.50 和 0.31 D。此外,还有研究探索应用眼部外观图像、超广角眼底图像和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)图像训练深度学习模型进行近视判断和屈光度预测的可行性<sup>[27-28]</sup>。基于超广角眼底图像训练的模型预测 SE 的 MAE 为 1.72~1.76 D,约 30%的预测误差在 0.75 D 以内<sup>[27]</sup>;基于 OCT 图像的模型预测 SE 的 MAE 为 2.66 D<sup>[28]</sup>。这些模型在近视分类任务中表现不凡,但在屈光度预测精度上仍有较大提升空间。市场上也开始出现一些新型的光学生物测量仪,通过智能算法给出了更接近真实远视储备量的估计,但尚无经同行评议的研究验证其准确性。智能技术的应用为突破简易测定儿童真实屈光度的瓶颈提供了希望,预测值和实际值的差异绝大部分比例能够落在 0.50 D 以内,是未来努力的目标。

## 3 探索精确预测个体近视发生风险的工具

随着近视研究的不断深入,风险评估方法从传统的基于基线眼部生物参数的模型,逐步扩展到结合生活方式、遗传因素和人工智能图像分析等多维度数据的综合模型。

基于基线眼部生物参数的风险评估模型通常采用儿童的基线 SE、AL、角膜曲率、晶状体厚度等指标进行评估<sup>[8]</sup>。研究表明,SE 是预测近视发生的最强单一指标,国内一项 5 年随访研究发现,SE 预测儿童青少年 5 年累计近视发生率的 AUC 达 0.82,显著优于轴率比(AL/CR, AUC=0.72)和前房深度(AUC=0.64);联合 SE、性别及父母近视史可将 AUC 提升至 0.84<sup>[29]</sup>。这一结果与 PreMO 风险评分模型结论一致:PreMO 综



合考虑年龄、基线 SE 和父母近视史等因素,在英国和中国香港儿童中预测未来近视发生风险的 AUC 分别为 0.996 和 0.834<sup>[30]</sup>。笔者团队基于上海市宝山区小学生的 4 年随访数据,构建了结合年龄、性别、基线 SE、AL/CR 和父母近视史的多元线性回归模型,对未来 2 和 4 年内近视发生的预测准确度 AUC 分别达到 0.880 和 0.861<sup>[11]</sup>。此外,有研究显示 AL 或 AL/CR 达到年龄段第 50 百分位数以上的儿童,其未来发展为近视的可能性显著增加,从 6~7 岁的 <5% 提升至 15 岁的 98%<sup>[31]</sup>。《眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)》进一步明确了分年龄 AL/CR 判断近视风险的参考值,6 岁儿童 AL/CR  $\geq 2.96$ (男)/2.93(女)时提示近视高风险,判断界值随年龄增长逐渐升高,至 18 岁时界值达 3.07<sup>[23]</sup>。

近年来,行为与遗传因素对预测近视风险的增量价值逐渐被重视。研究发现,户外活动时间不足、近距离用眼及使用电子设备时间过长是近视发生的重要行为学风险因素。然而,目前将生活方式因素纳入预测模型对提高准确性的作用尚有限<sup>[9]</sup>。随着科技进步,未来更客观的生活方式数据采集与分析方法,有望进一步优化预测模型性能。遗传数据的引入为近视风险评估提供了全新视角。大量全基因组关联研究已鉴定出数百个近视相关基因位点<sup>[32]</sup>,而基于全外显子组测序的研究进一步揭示了高度近视的致病突变,如 *BSG* 基因等<sup>[33]</sup>。高度近视的遗传易感性已被广泛证实。《高度近视防控专家共识(2023)》建议,对于早期出现 AL 和 SE 快速增长或具有高度近视家族史的个体,应进行遗传易感性筛查<sup>[34]</sup>。基于多基因风险评估的评估方法可以识别高风险个体,例如,Chen 等<sup>[35]</sup>通过年龄、性别、父母近视度数、户外和近距离工作时间以及遗传风险评估构建线性混合效应模型,预测 18 岁时是否发生高度近视,AUC 达 0.984,但也指出添加遗传评分对简单模型(仅含年龄、性别和屈光数据)的改进程度有限。值得关注的是,有研究结合中国人群近视相关遗传学和干预联盟(MAGIC)研究和英国生物银行(UKBiobank)的全外显子组测序数据,提出了一种全外显子遗传风险评估(ExGRS)模型,预测个体高度近视的风险准确性 AUC 提高至 0.856<sup>[36]</sup>。遗传技术与基因研究的进步将为个体近视风险的提前预测带来更多实践应用。

深度学习技术正在革新近视风险评估,体现在更高的准确度或更大的便利性。Lin 等<sup>[25]</sup>通过智能模型对预测 10 年内高度近视发生和 18 岁时高度近视的存在具有较好的准确度,3 年内预测的 AUC 达 0.9 以

上。新加坡的研究则最早通过眼底图像实现了儿童未来 5 年高度近视发生风险的预测,AUC 在 0.9 以上<sup>[37]</sup>。而笔者团队开发的 DeepMyopia 模型结合儿童青少年的视网膜眼底图像及非睫状肌麻痹参数,能够较为精准预测未来 3 年内的近视发生风险,预测 1 年近视发生 AUC 达 0.908,并成功识别高危个体<sup>[38]</sup>;相比传统依赖睫状肌麻痹参数的模型,DeepMyopia 在大规模筛查中显示出更高的可行性;模拟随机对照试验还验证了其在个性化干预中的实际应用价值,结果表明 DeepMyopia 辅助的干预措施显著降低了近视发病率,并在减少近视疾病负担方面具有潜在的公共卫生效益。

综上,未来的近视风险评估应进一步结合多维度数据,减少对睫状肌麻痹验光的依赖,构建更加全面和精准的预测模型,并开发形成适宜多场景应用的工具,提高近视高危个体的早期识别率,为实施个性化精准防控措施提供充分依据。

#### 4 推进个体和群体层面的近视综合预防

根据笔者团队应用 Markov 模型进行的趋势预测,当总体预防效率达到近视发生率相对下降 70%,才有可能实现 2030 国家近视防控目标<sup>[39]</sup>。因此,在现有技术手段下,还需加强多个预防技术的综合应用,以达到最大化的预防效果。个体层面和群体层面的近视预防策略有所差异。群体层面强调普遍易行、具有较好成本效益的预防措施和方案;而个体层面则可推行更个性精准化的预防策略,根据个体偏好和负担能力可进行更多样化的选择。

对个体而言,通过改善用眼行为与环境来预防近视是“基本款”。户外活动已被证实是预防学龄儿童近视发生的重要保护因素<sup>[4,40]</sup>,一项 meta 分析结果显示每天户外时间增加 1 h 可使近视发生风险降低 45%<sup>[4]</sup>,Wu 等<sup>[41]</sup>研究表明每周有 200 min 或更长时间户外活动者暴露于 1 000 lx 或以上光强度时近视进展即显著减缓,于 10 000 lx 强光环境下每周暴露 125~199 min 亦能达到近视防控效果。笔者团队在上海开展的 STORM 研究<sup>[40]</sup>则显示,在 5 000 lx 的光照条件下,每日户外活动时间为 170 min 或累积光照强度达 850 000 lx/日近视发生率可相对降低 30%。以上均提示通过户外活动预防近视既要讲究时长也要讲究光照强度,在充分暴露的操场和绿地进行户外活动具有更佳的预防效果,但同时也要注意做好防晒措施。同时,居家选用合适的照明灯具和适合儿童身高的课桌椅,控制近距离用眼时间和使用电子屏幕时间,确保充足的睡眠以及合理的饮食,通过远像屏、类纸屏辅助

阅读等,这些虽尚待补充循证证据,但对近视的预防同样值得重视。另外,控制高糖饮食目前已有证据支持<sup>[42]</sup>。借助智能工具实现对儿童户外活动时长、读写行为、用眼时长和灯光环境等进行量化监测与提醒<sup>[40,43]</sup>,也是重要的研究与应用方向,促进实现更个性精准的个体行为和环境管理。

对于高危个体,还可在专业医师指导下选择“强化款”进行近视预防。对于远视储备不足,尤其是近视前期对象,近视发生风险很高,传统应用于临床的方法探索应用于近视预防也取得了较满意的效果。特殊光学设计眼镜因其安全性好、可及性高等优势在近视预防中的应用受到关注。最新一项研究报道,低度远视储备儿童每周配戴高非球微透镜超过 30 h 者,1 年 AL 增长可减缓 59.3%,且 AL 和屈光进展程度与离焦框架镜配戴时间呈负相关,提示长期配戴可能获得更好的近视控制效果<sup>[7]</sup>;另有 2 项随机对照试验正在进行中,旨在评估特殊光学设计眼镜延缓学龄前近视前期和 6~8 岁正视儿童近视进展的有效性<sup>[44-45]</sup>。尽管角膜塑形镜和软性离焦接触镜在控制近视儿童近视进展方面的疗效已被广泛证实,但在未近视儿童中开展预防性应用的研究尚未见报道,可能与其验戴需要较高的医疗专业支持以及配戴需要较精细的日常护理有关。

低浓度阿托品、低强度红光等在近视预防的应用探索也有高质量的研究报道。LAMP2 研究结果显示,0.05%阿托品可使近视前期儿童 1 年近视发生率相对降低 68.5%,2 年发生率相对降低 46.4%,0.01%阿托品与对照组相比差异无统计学意义<sup>[6]</sup>;另有研究发现,0.01%阿托品对近视前期儿童呈现有意义的保护效果<sup>[46]</sup>。笔者团队采用低强度红光对近视前期儿童进行每周 5 d、每天 2 次、每次 3 min 的照射,1 年后干预组始终坚持的干预对象较对照组的近视发生率降低比例达 54.1%<sup>[5]</sup>;Cao 等<sup>[47]</sup>的研究报道了近似结果,1 年近视发生率降低 69.2%,这些均显示出红光作为防控近视技术的潜力,但作为新型干预措施,其长期安全性仍待验证,目前列入国家药品监督管理局第三类医疗器械管理。除此之外,临床研究注册网上也有多个临床措施和新型方法预防儿童近视的研究评价,期待更多的循证医学证据。

在群体层面上,推行普遍可行的预防技术是群体综合预防的思路。加强近视宣传教育,增加校内户外活动时长,减少课间持续近距离用眼、推行远眺,改善学校教学设施与条件,包括落实教室采光照度要求、个性化调整课桌椅高度、确保书本簿册达标、控制教学电子设备使用时长等仍是“基本款”。其中,抓住主要因

素,提高户外活动和近距离用眼行为达标率是重中之重。在笔者团队开展的户外活动干预 STORM 研究中,干预组依从性欠佳导致未能达到预定户外活动目标影响了干预效果<sup>[40]</sup>。笔者团队使用穿戴手环监测学生户外活动时间与光暴露强度,发现每次至少 15 min 且不低于 2 000 lx 的户外活动模式才能预防儿童往近视方向偏移<sup>[48]</sup>,这为学校合理安排课间休息时长提供了依据。Li 等<sup>[49]</sup>研究显示,采用每天给父母发 2 次短信提示带孩子进行户外活动的干预措施,可使 1 年近视发生率降低 11.7%;另一项研究通过微信每周开展校园家庭健康教育,包括增加户外活动、纠正用眼习惯和限制电子屏幕使用时间,2 年累积近视发生率降低 20.1%<sup>[50]</sup>。在近距离用眼行为管理上,Hu 等<sup>[43]</sup>研究采用每周 2 个工作日让学生配戴用眼监测仪监测用眼行为,49 周随访时提醒与反馈组近视发生率为 13.3%,明显低于对照组的 27.8%。此外,Bao 等<sup>[51]</sup>研究结果表明,较高的绿地水平有利于降低学校学生近视发生率。研究结果均为群体近视预防提供了新思路。在群体预防的“强化款”上,考虑到学校非医疗场所,在当前阶段,特殊设计光学眼镜属于非医疗器械,鼓励学生近距离用眼时进行配戴,具有一定推广可行性。目前也已出现能监测配戴眼镜时间和用眼行为的智能眼镜,可助力监测和督促学生达到预期预防近视效果的配戴时间。期待有更多具备循证证据的“强化款”措施能够应用到群体预防中。

## 5 总结与展望

有效预防儿童青少年近视仍需更多高质量证据和技术进步。实施人群近视分级分类综合预防并重点聚焦近视前期高危人群强化干预策略是快速有效降低近视患病率的关键。未来防控实践应充分运用现有循证医学研究成果,基于不同年龄远视储备参考值以及结合多维度数据建立的人工智能模型工具评估个体近视风险等级和干预措施敏感性,合理运用预防干预新技术,给予针对性的干预方案,注重提升干预的个性化和精准化。在筛查评估方面,需进一步研发免扩瞳测量技术,更便捷、准确地判断真实远视储备和评估屈光纵向进展,更新迭代近视前期分年龄判断标准,阐明学龄前儿童远视储备发育规律等;在预防干预技术方面,需进一步研究兼具安全性、有效性、便捷性和舒适性的干预措施,加强提高干预依从性的措施研究和联合预防干预研究,以及各类干预技术措施的成本效益评价等,为近视预防实践提供更先进的技术和可行方案,更有效地促进近视患病率下降,助力实现国家健康战略目标。



利益冲突 作者声明无利益冲突

志谢 感谢王菁菁医师、戚紫怡博士和章歆梓博士为本文整理资料

## 参考文献

- [1] Morgan IG, French AN, Ashby RS, et al. The epidemics of myopia: aetiology and prevention[J]. *Prog Retin Eye Res*, 2018, 62: 134-149. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2017.09.004.
- [2] Brennan NA, Toubouti YM, Cheng X, et al. Efficacy in myopia control [J/OL]. *Prog Retin Eye Res*, 2021, 83: 100923 [2025-01-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33253901/>. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2020.100923.
- [3] 疾病预防控制中心. 国家疾控局积极推进儿童青少年近视防控近视率呈下降趋势[EB/OL]. (2024-03-13) [2025-03-12]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202403/content\\_6939270.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202403/content_6939270.htm).
- [4] Xiong S, Sankaridurg P, Naduvilath T, et al. Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review[J]. *Acta Ophthalmol*, 2017, 95(6): 551-566. DOI: 10.1111/aos.13403.
- [5] He X, Wang J, Zhu Z, et al. Effect of repeated low-level red light on myopia prevention among children in China with premyopia: a randomized clinical trial [J/OL]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(4): e239612 [2025-01-20]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10134010/>. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.9612.
- [6] Yam JC, Zhang XJ, Zhang Y, et al. Effect of low-concentration atropine eyedrops vs placebo on myopia incidence in children: the LAMP2 randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2023, 329(6): 472-481. DOI: 10.1001/jama.2022.24162.
- [7] Zhang Z, Zeng L, Gu D, et al. Spectacle lenses with highly aspherical lenslets for slowing axial elongation and refractive change in low-hyperopic Chinese children: a randomized controlled trial [J]. *Am J Ophthalmol*, 2025, 269: 60-68. DOI: 10.1016/j.ajo.2024.08.020.
- [8] Zadnik K, Sinnott LT, Cotter SA, et al. Prediction of juvenile-onset myopia [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133(6): 683-689. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.0471.
- [9] Han X, Liu C, Chen Y, et al. Myopia prediction: a systematic review [J]. *Eye (Lond)*, 2022, 36(5): 921-929. DOI: 10.1038/s41433-021-01805-6.
- [10] 李仕明, 康梦田, 李蕾, 等. 小学生远视储备与近视眼发病率关系的队列研究: 安阳儿童眼病研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(10): 754-759. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20211028-00509. Li SM, Kang MT, Li L, et al. Cohort study on the association between hyperopia reserve and myopia incidence in primary school students: the Anyang Childhood Eye Study [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2022, 58(10): 754-759. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20211028-00509.
- [11] Ma Y, Zou H, Lin S, et al. Cohort study with 4-year follow-up of myopia and refractive parameters in primary schoolchildren in Baoshan district, Shanghai [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 46(8): 861-872. DOI: 10.1111/ceo.13195.
- [12] 疾病预防控制中心. 《儿童青少年近视防控适宜技术指南(更新版)》及解读[EB/OL]. (2021-10-13) [2025-03-12]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/13/content\\_5642345.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/13/content_5642345.htm).
- [13] Sankaridurg P, Berntsen DA, Bullimore MA, et al. IMI 2023 digest [J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(6): 7 [2025-01-26]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10155872/>. DOI: 10.1167/iovs.64.6.7.
- [14] 国家卫生健康委员会. 《近视防治指南(2024版)》[EB/OL]. (2024-05-17) [2025-03-25]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202406/content\\_6957665.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202406/content_6957665.htm).
- [15] 石梦海, 黄瑛, 李嵩, 等. 儿童近视发生前后的屈光度和眼生物参数变化: 安阳儿童眼病研究 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42(5): 453-461. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230913-00097. Shi MH, Huang Y, Li H, et al. Changes in refractive power and ocular biometrics before and after the onset of myopia in children: the Anyang Childhood Eye Study [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2024, 42(5): 453-461. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230913-00097.
- [16] 戚紫怡, 何鲜桂, 潘臣炜, 等. 上海地区 6~8 岁儿童近视前期流行病学调查 [J]. *中国学校卫生*, 2022, 43(9): 1314-1318. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.09.009. Qi ZY, He XG, Pan CW, et al. Epidemiology of premyopia among children aged 6-8 in Shanghai [J]. *Chin J School Health*, 2022, 43(9): 1314-1318. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.09.009.
- [17] 何鲜桂. 对儿童近视眼前期防控的认识与思考 [J]. *中华眼科杂志*, 2024, 60(4): 316-321. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20240130-00056. He XG. Understanding and reflection on the prevention and control of pre-myopia in children [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2024, 60(4): 316-321. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-2024 0130-00056.
- [18] 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, 等. 近视管理白皮书(2022) [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2022, 24(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220812-00321. Chinese Optometric Association, Chinese Ophthalmological Society; Ophthalmology and Optometry Committee, Ophthalmologists Association, Chinese Doctor Association; Ophthalmology and Optometry Group, Ophthalmologic Committee, Chinese Non-government Medical Institutions Association, et al. Expert consensus on myopia management white paper (2022) [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2022, 24(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220812-00321.
- [19] 中华预防医学会公共卫生眼科分会. 中国学龄儿童眼球远视储备、眼轴长度、角膜曲率参考区间及相关遗传因素专家共识(2022年) [J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(2): 96-102. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20210603-00267. Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on the reference interval of ocular hyperopia reserve, axial length, corneal curvature and genetic factors in school-age children (2022) [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2022, 58(2): 96-102. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20210603-00267.
- [20] 何鲜桂, 李仕明. 重视远视储备应用 促进近视预防关口前移 [J]. *中国学校卫生*, 2024, 45(7): 913-917. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2024216. He XG, Li SM. Emphasizing the application of hyperopia reserve to promote the early prevention of myopia [J]. *Chin J School Health*, 2024, 45(7): 913-917. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2024216.
- [21] Ma Y, He X, Zou H, et al. Myopia screening: combining visual acuity and noncycloplegic autorefractometry [J]. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(12): 1479-1485. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000095.
- [22] 李仕明, 任明畅, 张三国, 等. 眼轴长度用于近视预测模型对儿童和青少年近视筛查的效能研究 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2019, 37(4): 269-273. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.006. Li SM, Ren MY, Zhang SG, et al. Effectiveness of myopia prediction model in screening children and teenager myopia [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2019, 37(4): 269-273. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.006.
- [23] 《眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)》专家组. 眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023) [J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42(1): 1-11. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20231010-00121. Expert Workgroup of Expert consensus on the application of axial length in myopia prevention and control management (2023). Expert consensus on the application of axial length in myopia prevention and control management (2023) [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2024, 42(1): 1-11. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20231010-00121.
- [24] Ying B, Chandra RS, Wang J, et al. Machine learning models for predicting cycloplegic refractive error and myopia status based on non-cycloplegic data in Chinese students [J/OL]. *Transl Vis Sci Technol*, 2024, 13(8): 16 [2025-01-20]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11318358/>. DOI: 10.1167/tvst.13.8.16.
- [25] Lin H, Long E, Ding X, et al. Prediction of myopia development among Chinese school-aged children using refraction data from electronic

- medical records; a retrospective, multicentre machine learning study [J/OL]. *PLoS Med*, 2018, 15 ( 11 ) : e1002674 [ 2025 - 01 - 20 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6219762/>. DOI: 10. 1371/journal.pmed. 1002674.
- [26] Zou H, Shi S, Yang X, et al. Identification of ocular refraction based on deep learning algorithm as a novel retinoscopy method [J/OL]. *Biomed Eng Online*, 2022, 21 ( 1 ) : 87 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9758840/>. DOI: 10. 1186/s12938-022-01057-9.
- [27] Yang D, Li M, Li W, et al. Prediction of refractive error based on ultrawide field images with deep learning models in myopia patients [J/OL]. *Front Med ( Lausanne )*, 2022, 9 : 834281 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9007166/>. DOI: 10. 3389/fmed. 2022. 834281.
- [28] Yoo TK, Ryu IH, Kim JK, et al. Deep learning for predicting uncorrected refractive error using posterior segment optical coherence tomography images [J]. *Eye ( Lond )*, 2022, 36 ( 10 ) : 1959 - 1965. DOI: 10. 1038/s41433-021-01795-5.
- [29] Li SM, Wei S, Atchison DA, et al. Annual incidences and progressions of myopia and high myopia in Chinese schoolchildren based on a 5-year cohort study [J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022, 63 ( 1 ) : 8 [ 2025 - 01 - 20 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8742535/>. DOI: 10. 1167/iovs. 63. 1. 8.
- [30] Fulton JM, Leung TW, McCullough SJ, et al. Cross-population validation of the PreMO risk indicator for predicting myopia onset in children [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2025, 45 ( 1 ) : 89 - 99. DOI: 10. 1111/opo. 13416.
- [31] He X, Sankaridurg P, Naduvilath T, et al. Normative data and percentile curves for axial length and axial length/corneal curvature in Chinese children and adolescents aged 4 - 18 years [J]. *Br J Ophthalmol*, 2023, 107 ( 2 ) : 167 - 175. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2021-319431.
- [32] Tedja MS, Haarman A, Meester-Smoor MA, et al. IMI - myopia genetics report [J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60 ( 3 ) : M89 - M105 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6892384/>. DOI: 10. 1167/iovs. 18-25965.
- [33] Jin ZB, Wu J, Huang XF, et al. Trio-based exome sequencing arrests de novo mutations in early-onset high myopia [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2017, 114 ( 16 ) : 4219 - 4224. DOI: 10. 1073/pnas. 1615970114.
- [34] 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, 等. 高度近视防控专家共识 (2023) [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2023, 25 ( 6 ) : 401 - 407. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115909-20230509-00147.  
Chinese Optometric Association, Chinese Ophthalmological Society; Ophthalmology and Optometry Committee, Ophthalmologists Association, Chinese Doctor Association; Ophthalmology and Optometry Group, Ophthalmologic Committee, Chinese Non-Government Medical Institutions Association; et al. Expert consensus on prevention and control of high myopia (2023) [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 25 ( 6 ) : 401 - 407. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115909-20230509-00147.
- [35] Chen Y, Han X, Guo X, et al. Contribution of genome-wide significant single nucleotide polymorphisms in myopia prediction; findings from a 10-year cohort of Chinese twin children [J]. *Ophthalmology*, 2019, 126 ( 12 ) : 1607 - 1614. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2019. 06. 026.
- [36] Yuan J, Qiu R, Wang Y, et al. Exome-wide genetic risk score (ExGRS) to predict high myopia across multi-ancestry populations [J/OL]. *Commun Med ( Lond )*, 2024, 4 ( 1 ) : 280 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11685959/>. DOI: 10. 1038/s43856-024-00718-1.
- [37] Foo LL, Lim G, Lanca C, et al. Deep learning system to predict the 5-year risk of high myopia using fundus imaging in children [J/OL]. *NPJ Digit Med*, 2023, 6 ( 1 ) : 10 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9879938/>. DOI: 10. 1038/s41746-023-00752-8.
- [38] Qi Z, Li T, Chen J, et al. A deep learning system for myopia onset prediction and intervention effectiveness evaluation in children [J/OL]. *NPJ Digit Med*, 2024, 7 ( 1 ) : 206 [ 2025 - 02 - 26 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11306751/>. DOI: 10. 1038/s41746-024-01204-7.
- [39] 陈军, 何鲜桂, 王菁菁, 等. 2021 至 2030 年我国 6 ~ 18 岁学生近视眼患病率预测分析 [J]. *中华眼科杂志*, 2021, 57 ( 4 ) : 261 - 267. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20201228-000851.  
Chen J, He XG, Wang JJ, et al. Forecasting the prevalence of myopia among students aged 6 - 18 years in China from 2021 to 2030 [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2021, 57 ( 4 ) : 261 - 267. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20201228-000851.
- [40] He X, Sankaridurg P, Wang J, et al. Time outdoors in reducing myopia: a school-based cluster randomized trial with objective monitoring of outdoor time and light intensity [J]. *Ophthalmology*, 2022, 129 ( 11 ) : 1245 - 1254. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2022. 06. 024.
- [41] Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al. Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125 ( 8 ) : 1239 - 1250. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2017. 12. 011.
- [42] Lin X, Lei Y, Pan M, et al. Augmentation of scleral glycolysis promotes myopia through histone lactylation [J/OL]. *Cell Metab*, 2024, 36 ( 3 ) : 511 - 525 [ 2025 - 01 - 26 ]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38232735/>. DOI: 10. 1016/j. cmet. 2023. 12. 023.
- [43] Hu Y, Yu M, Han X, et al. Behavioral intervention with eye-use monitoring to delay myopia onset and progression in children; a cluster randomized trial [J/OL]. *Ophthalmology*, 2025 : S0161 - 6420 ( 25 ) 00004 - 1 [ 2025 - 02 - 16 ]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39793658/>. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2025. 01. 003.
- [44] Yang HY, Tsai DC, Yang YC, et al. Efficacy of defocus incorporated multiple segments ( DIMS ) lenses and low-dose atropine on retarding myopic shift among premyopic preschoolers; protocol for a prospective, multicenter, randomized controlled trial [J/OL]. *PLoS One*, 2024, 19 ( 12 ) : e0312935 [ 2025 - 02 - 26 ]. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0312935.
- [45] Shen L, He W, Yang W, et al. Effect of wearing peripheral focus-out glasses on emmetropization in Chinese children aged 6 - 8 years; study protocol for a 2-year randomized controlled intervention trial [J/OL]. *Trials*, 2023, 24 ( 1 ) : 746 [ 2025 - 02 - 16 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10666424/>. DOI: 10. 1186/s13063-023-07799-8.
- [46] Jethani J. Efficacy of low-concentration atropine ( 0. 01% ) eye drops for prevention of axial myopic progression in premyopes [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2022, 70 ( 1 ) : 238 - 240. DOI: 10. 4103/ijo. IJO\_1462\_21.
- [47] Cao K, Tian L, Ma DL, et al. Daily low-level red light for spherical equivalent error and axial length in children with myopia; a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2024, 142 ( 6 ) : 560 - 567. DOI: 10. 1001/jamaophthalmol. 2024. 0801.
- [48] Chen J, Wang J, Qi Z, et al. Smartwatch measures of outdoor exposure and myopia in children [J/OL]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7 ( 8 ) : e2424595 [ 2025 - 02 - 16 ]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11322842/>. DOI: 10. 1001/jamanetworkopen. 2024. 24595.
- [49] Li SM, Ran AR, Kang MT, et al. Effect of text messaging parents of school-aged children on outdoor time to control myopia; a randomized clinical trial [J]. *JAMA Pediatr*, 2022, 176 ( 11 ) : 1077 - 1083. DOI: 10. 1001/jamapediatrics. 2022. 3542.
- [50] Li Q, Guo L, Zhang J, et al. Effect of school-based family health education via social media on children's myopia and parents' awareness; a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2021, 139 ( 11 ) : 1165 - 1172. DOI: 10. 1001/jamaophthalmol. 2021. 3695.
- [51] Bao WW, Zhao Y, Dadvand P, et al. Urban greenspace and visual acuity in schoolchildren; a large prospective cohort study in China [J/OL]. *Environ Int*, 2024, 184 : 108423 [ 2025 - 02 - 16 ]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38241831/>. DOI: 10. 1016/j. envint. 2024. 108423.

( 收稿日期: 2025-03-12 修回日期: 2025-03-28 )

( 本文编辑: 刘艳 施晓萌 )