

第二版国际近视研究学会近视防控白皮书解读

王碧莹,王景慧,杜蓓,刘桂华,刘琳,魏瑞华

引用:王碧莹,王景慧,杜蓓,等. 第二版国际近视研究学会近视防控白皮书解读. 国际眼科杂志 2023;23(6):918-922

基金项目:国家自然科学基金面上项目(No.82070929);天津市医学重点学科(专科)建设项目(No.TJYXZDXK-037A)

作者单位:(300384)中国天津市,天津医科大学眼科医院 眼视光学院 眼科研究所 国家耳鼻咽喉疾病临床医学研究中心天津市分中心 天津市视网膜功能与疾病重点实验室

作者简介:王碧莹,毕业于 La Trobe University, 硕士,初级眼科技师,研究方向:近视防控。

通讯作者:魏瑞华,毕业于天津医科大学,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,研究方向:青少年近视防控、高度近视并发症诊治、干眼、圆锥角膜。rwei@tmu.edu.cn

收稿日期:2022-07-21 修回日期:2023-05-08

摘要

全球近视率居高不下,儿童青少年近视发病率不断攀升。近视进展会影响个人视力、视力相关生活质量和生产力,高度近视及其相关眼部并发症亦会加剧家庭和社会负担。因此,针对近视的机制、相关并发症与防控方法亟需进一步探究。国际近视研究学会(IMI)于2021-04发布了第二版近视防控白皮书,内容包括近视临床实践反思、近视的影响、近视的危险因素、近视进展过程中的调节与双眼视觉、病理性近视、近视防控及年度汇编。第二版白皮书在第一版白皮书的基础上增加了对上千篇文章和重要的会议摘要的研究,突出了近视防控相关的最新研究和进展。本文对上述第二版近视防控白皮书的内容进行简要汇总和解读,包括近视概述、近视影响、危险因素、近视进展过程中的调节与眼结构改变以及近视防控,以期对近视防控的临床和科研工作有所帮助。

关键词:近视/概述;近视/防控;国际近视研究学会(IMI);近视防控白皮书

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.6.07

Interpretation of the International Myopia Institute White Papers II

Bi-Ying Wang, Jing-Hui Wang, Bei Du, Gui-Hua Liu, Lin Liu, Rui-Hua Wei

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (No. 82070929); Tianjin Key Medical Discipline (Specialty) Construction Project (No.TJYXZDXK-037A)

Tianjin Medical University Eye Hospital; School of Optometry and Eye Institute; Tianjin Branch of National Clinical Research Center for Ocular Disease; Tianjin Key Laboratory of Retinal Functions and Diseases, Tianjin 300384, China

Correspondence to:Rui-Hua Wei. Tianjin Medical University Eye Hospital; School of Optometry and Eye Institute; Tianjin Branch of

National Clinical Research Center for Ocular Disease; Tianjin Key Laboratory of Retinal Functions and Diseases, Tianjin 300384, China. rwei@tmu.edu.cn

Received:2022-07-21 Accepted:2023-05-08

Abstract

• Worldwide, the incidence rate of myopia is maintained in a high level. Especially, the morbidity is rising continuously among children and adolescents. The progression of myopia affects visual acuity, vision related quality of life and productivity. Moreover, high myopia and its related ocular complications also aggravate the family and social burden. Therefore, the mechanism of myopia, related complications and methods of myopia prevention and control need further exploration. International Myopia Institute (IMI) published the second-edition white papers in April 2021. These white papers included reflections on the implications for clinical practice, the impact of myopia, the risk factors of myopia, the relationship among accommodation and binocular vision with myopia, pathologic myopia, prevention of myopia and digest. Comparing to the first edition, more than thousands of articles and conference abstracts were considered in white papers II, highlighting the latest research and progress related to myopia prevention and control. This article briefly summarizes and interprets the contents of the above white papers, including overview of myopia, impact of myopia, risk factors in myopia, ocular changes in the progress of myopia, and myopia prevention and control, hoping to provide advice for the clinical and scientific research work relating to myopia prevention and control.

• **KEYWORDS:**myopia/overview; myopia/prevention and control; International Myopia Institute (IMI); white papers on myopia prevention and control

Citation:Wang BY, Wang JH, Du B, *et al.* Interpretation of the International Myopia Institute White Papers II. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(6):918-922

0 引言

近视的发病率不断攀升,全世界临床和科研人员一直致力于近视防控的研究,包括近视发病机制、控制方法、近视相关的并发症等,从而预防近视对视力和眼健康的影响。随着不同领域专家对近视的多角度深度研究,视力评估以及近视防控方法均得到了提升与创新,人们对高度近视的理解与认知也达到了前所未有的高度。Holden教授认为不断上升的近视和高度近视患病率会影响个人视力,进而造成生产力下降,导致全球性负担加剧,因此近视防控是全球范围内需要解决的公共卫生问题。为促进知识

的共享与合作, Holden 视觉研究所 (Brien Holden Vision Institute) 于 2015 年在澳大利亚悉尼召开了近视和高度近视全球科学会议, 成立了国际近视研究学会 (International Myopia Institute, IMI)。IMI 召集全球的近视领域医生、科学家、政府工作者、政策决策者及教育工作者, 以白皮书的形式共同研讨并提供近视分类、患者管理和研究方面的最新循证建议。2019-02, 由 IMI 最初的 7 个工作组编写的第一版近视防控白皮书在 *Investigative Ophthalmology & Vision Science (IOVS)* 杂志特刊上发表。2021-04, *IOVS* 杂志刊登了由 13 个工作组 130 余名专家共同创作的 IMI 第二版近视防控白皮书, 其突出了近视防控相关的最新研究和进展。IMI 第二版近视防控白皮书的内容包括近视临床实践反思、近视的影响、近视的危险因素、近视进展过程中的调节与双眼视觉、病理性近视、近视防控及年度汇编。本文对 IMI 第二版近视防控白皮书的重点内容进行解读。

1 近视的概述

全世界约 1/5 的盲是屈光不正导致的, 而近视是最常见的屈光不正。近年来, 青少年近视发病率不断攀升, 预估到 2050 年, 全世界有 50% 的人口将患有近视, 其中 10% 为高度近视^[1]。IMI 认为对近视的充分了解可以为解决近视问题提供理论依据支持。IMI 第二版近视防控白皮书沿用了第一版的近视定义和分类方式, 将调节放松时眼等效球镜度 $\leq -0.50D$ 归类为近视, 等效球镜度 $\leq -6.00D$ 为高度近视。这与 2015 年世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 近视专家委员会的高度近视分类有所差异, WHO 报告中定义高度近视为等效球镜度 $\leq -5.00D$, 并同时满足未矫正视力 $< 3/60$ 。IMI 与 WHO 对高度近视标准的定义不同可以进行以下解读: (1) IMI 对高度近视的定义考虑了已发表研究中常用的阈值和临床相关性, 等效球镜度 $\leq -6.00D$ 的个体发生眼部器质性病变导致的无法矫正的视力丧失的风险增加, 该标准更适于研究高度近视并发症对眼健康的影响; (2) WHO 对高度近视的定义采用等效球镜与近视未矫正视力相结合, 并参考了盲的阈值 3/60, 强调了未矫正近视人群其视力对个人视觉功能的影响, 该定义有助于与其他致盲和低视力的原因进行比较。因此, IMI 建议根据研究目的不同可参考不同的近视和高度近视分类阈值, 以便在不同研究之间进行比较和荟萃分析。

2 近视的影响

IMI 总结了近视对个体、家庭及社会的影响。近视对个体的影响包括对未成年人学业和心理健康的影响, 以及近视相关的直接、间接医疗成本支出等。研究表明, 近距离工作是导致近视的原因之一^[2]。青少年在教育压力下可能会长时间维持近距离阅读状态, 进而发展为近视。若近视不准确矫正, 将导致严重的后果: (1) 模糊的视觉感受会降低青少年的阅读速度和注意力, 从而影响学习成绩; (2) 增加青少年心理压力、降低情感质量。这些都将对青少年成年后的健康水平产生负面影响。研究表明, 青少年近视科学矫正后, 学习成绩和心理状况均会得到改善, 但能否坚持配戴合适的眼镜受多重因素影响, 如个体依从性、父母教育程度以及经济情况等^[3]。近视相关的个人经济负担包括矫正费用、交通成本和治疗成本。据统计, 未成年人近视的年平均直接成本为 148 美元, 且随着个人年龄的增长、并发症风险的增加而大幅增加。40 岁及以上成人每年的近视直接成本约为 709 美元/人, 而近

视人群的终生经济成本约为 17020 美元^[4]。

IMI 认为由于随着近视发病率的增加, 全球近视和高度近视的社会经济成本将在未来大幅上升。2019 年, 全球近视指导成本 (包括检查、眼镜、手术、并发症护理) 约为 3587 亿美元, 预计到 2050 年将升至 8700 亿美元。同时, 还要考虑未矫正近视导致的生产力损失。2015 年, 未矫正近视所致视力障碍导致的潜在生产力损失估计为 2440 亿美元, 预计到 2050 年将上升至 2293 亿美元^[5]。IMI 认为应早期开展近视防控, 尽管在短期内直接医疗支出可能会大幅增加, 但预期收益将远大于近视相关眼健康管理负担成本。此外, 早期近视防控可以减轻未矫正近视的后果, 减少发展为高度近视的风险、减轻家庭和社会的负担, 从而产生积极的影响。目前, 近视防控干预措施的成本和效益评估还处于早期阶段。IMI 将为个人、政府和决策者提供可量化的信息, 将有助于政府做出最佳的卫生资源分配决定。

3 近视的危险因素

IMI 认为近视的危险因素分析是制定近视干预措施的重要基础。通过循证医学得出以下危险因素与近视的发生发展相关。在现代社会, 接受教育的儿童比未接受教育的儿童更易近视。如中国、新加坡、英国高等教育政策改变后, 儿童的学业压力增加、户外活动时间缩短, 其近视发生率和严重程度均呈现上升趋势。因此, IMI 认为近视程度与学业负担呈正相关性, 与户外活动时间呈负相关性^[6]。IMI 提出了以下两种假说: (1) 长时间近距离视物增加调节需求, 其可能会刺激眼轴的生长^[7]; (2) 黑白印刷的阅读材料为高空间频率视觉刺激, 激活视网膜 Off 通路从而抑制多巴胺分泌, 导致眼轴增长^[8]。因此, IMI 建议教育政策制定者应考虑近视防控计划, 鼓励儿童多进行户外活动。此外, 影响近视发生发展的危险因素是多方面的, 如性别、种族、父母对教育的态度、提供教育的机会以及学校的教育体制等, 与近视发生发展的相关因素和可能的混淆问题见表 1^[9-10]。IMI 提议未来近视防控研究需要更加严谨, 对近视危险因素进行进一步的研究可为近视防控提供更可靠的理论基础和循证依据。

4 近视进展过程中的调节与眼结构改变

4.1 调节与眼结构改变

依据 Helmholtzian 调节模型, 视近时调节需求增加, 睫状肌向心收缩、悬韧带放松、晶状体厚度增加; 调节结束时, 睫状肌会受到脉络膜给予的弹性回缩力而回到松弛位置^[11-12]。在眼近视化过程中, 眼结构改变主要表现为玻璃体腔深度增加、眼轴长度增长、前房深度变深、后极部脉络膜厚度变薄及眼球壁变薄。研究表明, 近视儿童的睫状肌偏厚且与眼轴长度呈正相关^[13]。调节时, 睫状肌的厚度与调节反应存在线性关系。随着调节刺激增加, 睫状肌前部变厚而后部变薄^[14]。IMI 认为, 较厚的睫状肌收缩能力下降, 导致调节不准确, 在视近时形成视网膜远视离焦。人眼长时间受到近距离调节刺激后, 看远通常会出现调节放松延迟, 这种现象一般是由于睫状肌能力下降导致的, 称为“近距离工作诱导的短暂性近视”。这种长期的视网膜远视离焦和频繁的“短暂性近视”可能会导致近视的进展。另有研究者认为增厚的睫状肌在眼球赤道部方向施加压力, 因此眼球以长椭圆形态发育, 赤道方向增长幅度下降, 导致轴向增长加快^[15]。此外, Woodman 等^[16]发现在调节刺激下, 近视眼与正视眼的瞬时眼轴增长差异无统计学意义, 但瞬时脉络膜厚度变薄

表 1 近视相关因素

因素	证据/因果关系	混淆的问题
主要因素		
教育	强/有因果联系	户外时间
户外时间	强/有因果联系	光的作用(强度、持续时间、光谱)
屏幕时间	可疑	近距离工作
出生相关因素		
性别	弱	社会因素
种族	不一致	文化或基因
父母近视	强	遗传或致近视环境
出生顺序	弱	教育年限
出生季节	弱	教育年限
个人因素		
身高	弱	社会因素
智力	中等	教育,户外时间
体育活动	中等	户外时间
睡眠	弱	教育压力
家庭特征		
经济社会地位	中等	教育
吸烟	中等	教育,社会经济地位
饮食	中等	教育,社会经济地位
环境		
城市/农村	中等	教育,社会经济地位,户外时间
污染	弱	社会经济地位
住房	弱	教育,社会经济地位
昼夜节律	弱	多巴胺
夜晚灯光	阴性	
光谱	弱	数据有限
其他因素		
过敏性结膜炎、花粉热、川崎病、发热性疾病	弱	数据有限,户外时间
生育治疗	弱	数据有限
在昏暗的灯光下、交通途中阅读	弱	数据有限
读/写的姿势和握笔的姿势、书本的字体大小	弱	数据有限

的变化量有统计学差异,表明眼轴增长后的脉络膜变薄可能不仅仅是眼轴长度改变后的机械性结构变化,也是调节引起的脉络膜联动反应,以维持调节过程中稳定的视网膜图像,减少像差对视觉质量的影响。而脉络膜厚度与眼轴长度的关系是相互作用的,在视近眼调节状态下脉络膜变薄的变化量更大,可能更易导致眼轴的进一步增加。

眼球发育过程中,半刚性的巩膜经历着长期、永久的重塑过程。巩膜的组织结构和生物力学特征的变化使眼球轴向增长。研究表明,当调节时巩膜的生物力学会很快发生变化,随着调节,巩膜变得更薄并向前移动^[17]。这可能是由于调节时,睫状肌作为重要的调节组织,在组织结构上毗邻前巩膜而影响到前巩膜的性质,而巩膜性质的改变亦会导致眼轴的进一步增长。

4.2 调节与近视进展 近视常伴随异常高水平的调节滞后。早期理论认为,在儿童发育过程中,睫状肌增厚、收缩力下降,调节能力下降,导致调节滞后。长时间近距离工作伴随调节滞后会形成视网膜远视离焦,进而造成近视进展。然而,近 5a,多数研究认为调节滞后是近视所导致的结果,而非原因。尤其是 Donald 等对近视组和正视组进行了为期 10a 的随访,发现在近视发生前 5a,近视组与正

视组调节滞后无差异,而在近视发生后的 5a,近视组调节滞后明显高于正视组^[18]。但直至今日,眼轴增长与调节滞后二者何为因果还未得到一致的结论。IMI 认为高度的调节滞后是眼轴增长后导致的结果,而非导致近视的原因。

4.3 调节与近视控制眼镜 传统双焦点或渐进多焦点眼镜是指在一个镜片上设计两个或多个不同焦距的透镜,并将远用光区和近用光区有机地连接在一起,达到在一只镜片上可同时拥有看不同距离所需的屈光度。尽管荟萃分析表明,双焦点或渐进多焦点眼镜有控制眼轴过度增长的效果^[19],但双焦点或多焦点眼镜视远部分与单光眼镜无异,即负度数镜片置于眼前导致球面像差向负向变化,增加近视眼的调节需求,进而导致调节滞后^[20-22]。此外,双焦点或多焦点眼镜的近用区屈光度高导致调节放松,青少年长期使用可能会导致调节反应下降、外隐斜度数增加、双眼视功能异常^[23-24]。角膜塑形镜的设计原理为重塑角膜表面,增加周边视网膜近视性离焦,其可以使球面像差向正向改变并增加焦深、降低视近时的调节需求。研究证明,长期配戴角膜塑形镜可增加调节反应的准确性、减少调节滞后量^[19]。

5 近视预防的进展

IMI 总结了减少近视发生和预防近视进展的措施和手段,包括环境等公共卫生干预、低浓度阿托品滴眼液等药理学方法,以及光学方法如角膜塑形镜和多焦点眼镜等。

5.1 环境与近视防控 研究表明,增加户外时间可以降低近视的发生率,同时有助于减缓眼轴增长,每天增加 40~80min 的户外时间可以显著降低近视发病率、推迟近视的发生时间,并可能减缓近视的进展速度;每周户外活动时间每增加 1h,近视患病率会降低 2%。其机制可能为户外场景物像距离差异小,减少调节的动用及改变量;户外日光可刺激视网膜释放更多多巴胺,抑制眼轴增长^[25]。很多国家已经为此制定了相关政策,如新加坡儿童组织规定学龄前儿童应每天有至少 1h 的户外活动,我国也实施了减少中小学生家庭作业负担、增加户外活动的政策。最近一项研究显示,停止为期 1a 的 30min/d 的户外活动后,近视控制效果出现反弹的现象^[26]。提示户外活动也应该保持规律、持久,尤其在北方冬季时节也应注意保证儿童青少年户外活动时间。

5.2 药物与近视防控 研究表明,抗胆碱药物阿托品滴眼液作为典型的非选择性 M 胆碱受体阻滞剂,有近视控制效果。与安慰剂相比,分别使用浓度为 0.05%、0.025%、0.01% 的阿托品滴眼液 1a,近视进展分别为 -0.27、-0.36、-0.59、-0.81D,眼轴增长分别为 0.20、0.29、0.36、0.41mm,使用 0.01% 阿托品滴眼液 1a 可以减少 27% 的近视进展,0.05% 阿托品滴眼液的疗效是 0.01% 阿托品滴眼液的 2 倍,但使用浓度分别为 0.5%、0.1%、0.01% 阿托品滴眼液 2a,相关的副作用为瞳孔大小分别增大 3.11、2.42、0.91mm,调节幅度分别降低 11.7、6.0、3.6D^[27]。0.01% 阿托品滴眼液对于瞳孔和调节幅度的影响最小且停药后反弹效应最小^[28]。因此,综合考虑,IMI 认为,临床上 0.01% 浓度阿托品滴眼液可被广泛应用于近视防控。此外,研究表明,抗毒蕈碱药物哌仑西平凝胶或环戊酮滴眼液是选择性 M1 受体拮抗剂,可以抑制玻璃体腔增大而抑制眼轴增长。10a 前有动物实验和儿童临床试验证实其延缓近视发展的有效性,但由于不良事件报告严重且显著,如头痛、流感综合征、呼吸道感染和鼻炎、皮疹等^[29],近 5a 对其近视控制效果的研究非常少,且无正式的药品投入临床使用^[30]。因此,IMI 提出对于近视控制手段的药物研究方面,在未来需要进一步探究何时开始低浓度阿托品治疗、最佳使用剂量、使用频率和时间、治疗持续时间、停止治疗后可能出现的反弹现象、安全性等。

5.3 光学方法与近视防控 动物实验证实,增加近视性离焦可以减缓眼球长度的增加。因此,部分学者猜测近视欠矫可以进行近视防控。IMI 对近期研究进行总结表明,在儿童临床试验中,对近视性屈光不正的过矫、欠矫或足矫方式均无近视控制效果。但增加周边视网膜近视性离焦的光学镜片可以有效控制近视^[31]。因此,与普通单光眼镜相比,周边视网膜近视性离焦眼镜和角膜塑形镜有较好的近视控制效果。

研究表明,非球面多焦透镜框架眼镜 DIMS 可以延缓眼轴增长。DIMS 设计原理为中央直径 9mm 光学区矫正近视性屈光不正,周边 33mm 范围内有 300 余个直径为 1.03mm 的凸透镜,形成周边视网膜近视性离焦。DIMS 组戴镜 2a 近视增长低于单焦对照组 (-0.41D vs -0.85D),同时

眼轴增长也少于单焦对照组 (0.21mm vs 0.55mm)^[32]。特殊设计的多焦点软性角膜接触镜 MiSight 为同心环式光学设计,增加周边正屈光度以达到增加周边视网膜近视性离焦效果,配戴 1a 可减少 36.4% 的近视进展和 37.9% 的眼轴增长。但镜片屈光度的最佳分布设计以达到最大程度的近视防控效果仍是目前研究的热点。配戴特殊反几何设计的角膜塑形镜可以重塑角膜形态、减少日间周边视网膜远视离焦,对 -0.50~-4.00D 屈光不正以及 -3.50D 以内的散光患者有延缓眼轴增长、控制近视的效果,其近视控制率达 43%~63%,对于高度近视患者可与日间配戴的眼镜结合使用。

IMI 认为,在诸多近视防控方式中,户外活动是最安全的近视防控手段,也可达到预防肥胖等其他影响儿童青少年健康的问题,因此应鼓励增加户外活动时间、养成健康的生活方式。此外,使用低浓度阿托品滴眼液,尽管有调节幅度轻微降低、轻微瞳孔散大和过敏反应风险等副作用,但近视防控效果显著。增加周边视网膜近视性离焦设计的光学镜片、角膜接触镜及角膜塑形镜需根据患者的年龄、健康状况和生活方式进行个性化选择和调整。对于使用单一近视防控方式效果不佳者,IMI 建议考虑联合治疗,但由于不同治疗方式的作用机制不同,联合治疗时治疗顺序和累积效果还有待进一步研究。此外,尽管已有证据表明光学和药物治疗有近视控制效果,但近视病因及其管理相关问题的研究仍在继续。近视防控的总目标不仅是开发一种减缓或阻止近视进展的方法,还是要着重于寻找从根本上预防儿童青少年近视发展的方法^[33]。

6 小结

IMI 呼吁近视防控应在全球引起高度重视。增加户外活动时间是已知的减少近视发病率的唯一干预措施。因为近视的发生和发展机制存在不一致性,且有明显的个体差异,所以近视防控需要根据个体情况对其近视风险进行个性化评估,进而采取不同的近视控制手段。各类近视防控的方法、作用,以及在不同个体中的协同作用和效果还有待进一步探索。眼科医生必须及时了解最新的文献信息及研究进展,以便在循证实践中为患者选择最佳的个性化治疗方式。

参考文献

- 1 Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, *et al.* Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016; 123(5): 1036-1042
- 2 Morgan IG, French AN, Ashby RS, *et al.* The epidemics of myopia: aetiology and prevention. *Prog Retin Eye Res* 2018; 62: 134-149
- 3 Morjaria P, McCormick I, Gilbert C. Compliance and predictors of spectacle wear in schoolchildren and reasons for non-wear: a review of the literature. *Ophthalmic Epidemiol* 2019; 26(6): 367-377
- 4 Zheng YF, Pan CW, Chay J, *et al.* The economic cost of myopia in adults aged over 40 years in Singapore. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(12): 7532-7537
- 5 Naidoo KS, Fricke TR, Frick KD, *et al.* Potential lost productivity resulting from the global burden of myopia: systematic review, meta-analysis, and modeling. *Ophthalmology* 2019; 126(3): 338-346
- 6 Mountjoy E, Davies NM, Plotnikov D, *et al.* Education and myopia: assessing the direction of causality by Mendelian randomisation. *BMJ* 2018; 361: k2022
- 7 Chia A, Lu QS, Tan D. Five-year clinical trial on atropine for the treatment of myopia 2: myopia control with atropine 0.01% eyedrops. *Ophthalmology* 2016; 123(2): 391-399

- 8 Aleman AC, Wang M, Schaeffel F. Reading and myopia: contrast polarity matters. *Sci Rep* 2018; 8(1): 10840
- 9 Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, et al. IMI risk factors for myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(5): 3
- 10 慕璟玉, 王雁, 浏梦, 等. 近视的病因研究新进展. 国际眼科杂志 2021; 21(10): 1746-1750
- 11 Khan A, Pope JM, Verkicharla PK, et al. Change in human lens dimensions, lens refractive index distribution and ciliary body ring diameter with accommodation. *Biomed Opt Express* 2018; 9(3): 1272-1282
- 12 杜冬雪, 宋继科, 毕宏生. 脉络膜厚度与近视防控研究进展. 国际眼科杂志 2022; 22(4): 592-596
- 13 Wagner S, Zrenner E, Strasser T. Ciliary muscle thickness profiles derived from optical coherence tomography images. *Biomed Opt Express* 2018; 9(10): 5100-5114
- 14 Wagner S, Zrenner E, Strasser T. Emmetropes and myopes differ little in their accommodation dynamics but strongly in their ciliary muscle morphology. *Vision Res* 2019; 163: 42-51
- 15 张瑞雪, 蒋文君, 毕宏生, 等. 近视与调节力关系的研究进展. 眼科新进展 2020; 40(9): 893-895
- 16 Woodman EC, Read SA, Collins MJ. Axial length and choroidal thickness changes accompanying prolonged accommodation in myopes and emmetropes. *Vis Res* 2012; 72: 34-41
- 17 Niyazmand H, Read SA, Atchison DA, et al. Effects of accommodation and simulated convergence on anterior scleral shape. *Ophthalmic Physiol Opt* 2020; 40(4): 482-490
- 18 Yu H, Zeng J, Li Z, et al. Variability of accommodative microfluctuations in myopic and emmetropic juveniles during sustained near work. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(12): 7066
- 19 Remón L, Pérez-Merino P, Macedo-de-Araújo RJ, et al. Bifocal and multifocal contact lenses for presbyopia and myopia control. *J Ophthalmol* 2020; 2020: 8067657
- 20 Tarrant J, Severson H, Wildsoet CF. Accommodation in emmetropic and myopic young adults wearing bifocal soft contact lenses. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008; 28(1): 62-72
- 21 Gifford K, Gifford P, Hendicott PL, et al. Near binocular visual function in young adult orthokeratology versus soft contact lens wearers. *Cont Lens Anterior Eye* 2017; 40(3): 184-189
- 22 Gifford KL, Gifford P, Hendicott PL, et al. Zone of clear single binocular vision in myopic orthokeratology. *Eye Contact Lens* 2020; 46(2): 82-90
- 23 Aller TA, Liu M, Wildsoet CF. Myopia control with bifocal contact lenses: a randomized clinical trial. *Optom Vis Sci* 2016; 93(4): 344-352
- 24 Gong CR, Troilo D, Richdale K. Accommodation and phoria in children wearing multifocal contact lenses. *Optom Vis Sci* 2017; 94(3): 353-360
- 25 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. *Acta Ophthalmol* 2017; 95(6): 551-566
- 26 Guo Y, Liu LJ, Lv YY, et al. Outdoor jogging and myopia progression in school children from rural Beijing: the Beijing children eye study. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8(3): 2
- 27 Chia A, Chua WH, Wen L, et al. Atropine for the treatment of childhood myopia: changes after stopping atropine 0.01%, 0.1% and 0.5%. *Am J Ophthalmol* 2014; 157(2): 451-457. e1
- 28 Wu PC, Chuang MN, Choi J, et al. Update in myopia and treatment strategy of atropine use in myopia control. *Eye (Lond)* 2019; 33(1): 3-13
- 29 Walline JJ, Lindsley KB, Vedula SS, et al. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2020; 1(1): CD004916
- 30 Sankaridurg P, Conrad F, Tran H, et al. Controlling progression of myopia: optical and pharmaceutical strategies. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2018; 7(6): 405-414
- 31 陈楠, 薛劲松, 蔡江怀, 等. 光学离焦技术控制近视的研究进展. 国际眼科杂志 2022; 22(2): 260-264
- 32 Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group. Progressive - addition lenses versus single-vision lenses for slowing progression of myopia in children with high accommodative lag and near esophoria. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52(5): 2749-2757
- 33 Kang P. Optical and pharmacological strategies of myopia control. *Clin Exp Optom* 2018; 101(3): 321-332