

# 周边离焦设计框架眼镜在近视防控中的进展

陈浩曦, 申笛, 才俊, 孙西宇, 曹文佳, 李梦晨, 韦伟

引用: 陈浩曦, 申笛, 才俊, 等. 周边离焦设计框架眼镜在近视防控中的进展. 国际眼科杂志, 2024, 24(8): 1275-1279.

作者单位: (710002) 中国陕西省西安市, 西北大学附属第一医院 西安市第一医院 陕西省眼科研究所 陕西省眼科学重点实验室 陕西省眼科疾病临床医学研究中心

作者简介: 陈浩曦, 本科, 视光师, 研究方向: 眼视光学。

通讯作者: 韦伟, 硕士, 主任医师, 西安市第一医院眼科医院副院长, 研究方向: 眼视光学、屈光手术. wills2015@foxmail.com

收稿日期: 2023-10-11 修回日期: 2024-06-17

## 摘要

近视在世界各地越来越普遍, 发病人群也逐渐扩大。多种治疗方法已经被用于近视防控, 包括光学、药物、环境或行为等, 但结果各不相同, 而且缺乏标准化。周边离焦技术目前已有多项试验证明其对近视控制有一定的作用。基于这一技术, 在中国的医疗和视光机构常见到多区正向光学离焦技术(DIMS)、高非球面微透镜技术(HAL)和同心圆带微柱镜技术(CARE)三种周边离焦设计的框架眼镜镜片。这些镜片在提供了中央区清晰视觉的同时, 在周边提供了一定量的近视性离焦来控制近视的进展。文章目的是关注以上三种周边离焦设计镜片的设计原理和近视防控效果, 并评价其在临床实践中的有效性。

**关键词:** 近视; 框架眼镜; 周边离焦; 多区正向光学离焦技术; 高非球面微透镜设计技术; 同心圆带微柱镜技术; 近视防控; 眼轴

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.18

## Progress of peripheral defocus design framework eyeglasses in myopia control

Chen Haoxi, Shen Di, Cai Jun, Sun Xiyu, Cao Wenjia, Li Mengchen, Wei Wei

The First Affiliated Hospital of Northwest University; Xi'an No. 1 Hospital; Shaanxi Institute of Ophthalmology; Shaanxi Key Laboratory of Ophthalmology; Shaanxi Clinical Medical Research Center for Ophthalmic Diseases, Xi'an 710002, Shaanxi Province, China

**Correspondence to:** Wei Wei. The First Affiliated Hospital of Northwest University; Xi'an No. 1 Hospital; Shaanxi Institute of Ophthalmology; Shaanxi Key Laboratory of Ophthalmology; Shaanxi Clinical Medical Research Center for Ophthalmic Diseases, Xi'an 710002, Shaanxi Province, China. wills2015@foxmail.com

Received: 2023-10-11 Accepted: 2024-06-17

## Abstract

• Myopia is becoming more and more common all over

the world, and the incidence of myopia is gradually increasing. Many treatments have been used to prevent and control myopia, including optics, drugs, environment or behavior, but the results are different and lack standardization. At present, many experiments have proved that peripheral defocus technology has a certain effect on myopia control. Based on this technology, three kinds of framed eyeglass lenses with peripheral defocus design, namely defocus incorporated multiple segments (DIMS), highly aspherical lenslets (HAL) and cylindrical annular reactive elements (CARE), are commonly used in medical and optometry institutions in China. These lenses provide not only clear vision in the central area, but also a certain amount of myopic defocus in the periphery to control the progression of myopia. This paper aims to focus on the design principle and myopia prevention and control effect of the above three peripheral defocus lenses, and evaluate their effectiveness in clinical practice.

• **KEYWORDS:** myopia; frame lenses; peripheral defocus; defocus incorporated multiple segments; highly aspherical lenslets; cylindrical annular refractive elements; myopia control; axial length

**Citation:** Chen HX, Shen D, Cai J, et al. Progress of peripheral defocus design framework eyeglasses in myopia control. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2024, 24(8): 1275-1279.

## 0 引言

近视在全球范围内愈来愈普遍, 目前全球约有 20 多亿的患病人群<sup>[1-4]</sup>, 并且呈现上升趋势。数据预测, 到 2050 年近视问题将会影响到世界一半以上的人口。东亚和东南亚地区近视流行, 青壮年近视患病率约为 80%-90%, 青壮年高度近视患病率也达到 10%-20%<sup>[5-7]</sup>。尤其在中国, 根据国家卫健委调查报告显示: 2020 年中国儿童青少年总体近视率已经达到 52.7%, 随着年龄的增长, 近视率也逐渐上升, 高中生的近视率高达 80.5%。根据研究显示, 需要标准化的方法来控制近视进展, 避免出现相关并发症, 如近视黄斑病变、青光眼、视网膜脱离和白内障<sup>[8]</sup>, 这些病症很可能对视力造成严重的影响。综上所述, 近视问题可以被认为是一个重大的医疗健康问题。一旦儿童被诊断为近视, 医疗或视光机构就应该制定一个全面的治疗计划。同时仍需要考虑发病年龄、基线屈光状态、视觉环境、患者的依从性、父母近视(遗传因素)、最终治疗的风险和优势, 以及治疗费用等因素。无论采用何种治疗方式, 最重要的治疗目的是延缓近视进展, 即“防大于治”。目前已经探索了多种方法, 如配戴框架眼镜、使用低浓度阿托品滴眼液<sup>[9]</sup>、角膜塑形镜、多焦软性角膜接触镜和周边离焦镜片等<sup>[10-11]</sup>。离焦框架眼镜因其使用简便, 经济成本相对较低, 提升了广大患者及家属的依从性。

本文通过检索 PubMed 以及 CNKI 数据库中与常见三种周边离焦设计的框架眼镜的相关研究,就其在近视防控中的进展进行综述。

## 1 周边离焦设计镜片概述

**1.1 周边离焦原理** 人眼在出生时,呈现出短眼轴的远视屈光状态,随着生长发育,眼轴和眼屈光度相匹配朝向正视化发展。轴性近视的患者由于眼轴过长,呈现焦点落在视网膜前,进而导致视网膜成像不清。此时配戴普通单光镜片的框架眼镜(single vision, SV)进行视力矫正,虽然在黄斑中心凹处成像清晰满足了看远和看近的需求,但在视网膜周边处,成像于视网膜后方,形成了周边远视性离焦(图1)。在动物实验中表明,外界视觉刺激对眼球生长发育具有调节作用<sup>[12]</sup>,当处于远视性离焦时,为了在视网膜上获得清晰的成像,会引起脉络膜变薄,增加了眼轴的长度;但处于近视性离焦时,脉络膜产生了相反的变化,使得眼轴减少<sup>[13]</sup>。

**1.2 周边离焦设计的镜片** 周边离焦设计的镜片,则是根据上述离焦学说设计的一种特殊的单光镜片,其通过特殊设计,在满足中央获得清晰视力的同时,周边成像的焦点落在了视网膜前,形成近视性离焦,以达到减缓眼轴增长,进而控制近视的发展进程。就我国目前而言,市场上常见的周边离焦设计的镜片包括以下三种:多区正向光学离焦技术(defocus incorporated multiple segments, DIMS)、高非球面微透镜技术(highly aspherical lenslets, HAL)和同心圆带微柱镜技术(cylindrical annular refractive elements, CARE)。三种设计的镜片上市时间不同, DIMS 设计镜片在 2018-07 中国上市销售, HAL 设计镜片在 2020-11 中国上市销售, CARE 设计镜片在 2022-05 中国上市销售。

## 2 三种周边离焦镜片的设计特点及光学原理

**2.1 三种周边离焦镜片的设计特点** DIMS 设计的镜片,材质为聚碳酸酯,折射率为 1.590。在 DIMS 镜片的中央区域采用球形设计,其屈光度与配戴者的中央屈光力相对应,直径在 9.4 mm 左右。旁中央区也称为治疗区,是由 396 个球形微透镜组成的一个蜂窝设计的区域,直径在 33 mm 左右,每个微透镜的屈光力为 +3.50 D<sup>[14-16]</sup>(图 2)。HAL 设计的镜片,折射率为 1.591。中央区采用球形设计,旁中央区为离焦区域。HAL 镜片中央区同样采用球形设计,旁中央区由 1 021 个微透镜构成 11 个同心圆环。每个环内的球形微透镜屈光度一致,但环与环之间的球形微透镜存在屈光度差异<sup>[17-18]</sup>(图 2)。CARE 设计的镜片,材质为 PC。中央区域采用球形设计,旁中央区为同心圆排列的环带微柱镜。每个环带微柱镜的加光量相同,轴位不断变化,形成动态光信号。环带微柱镜间隔设计光度与处方光度保持一致,结合特殊自由环面设计为全视野提供精准视觉矫正(图 2)。

**2.2 三种周边离焦设计镜片的光学原理** 当近视处于屈光未校正以及未动用调节的状态下,外界的平行光线进入眼内后聚焦于视网膜前方。用传统 SV 校正,会使中央光线聚焦于视网膜黄斑中心凹处,但周边视网膜呈现出远视性离焦状态,这可能会促进眼轴长度的增长<sup>[19-25]</sup>。

在 DIMS 设计的镜片中,从中央区域射入的光线,正好可以落在黄斑中心凹处形成一个清晰的图像,以满足看清物体的需求。视网膜周边近视性的离焦是由 396 个球

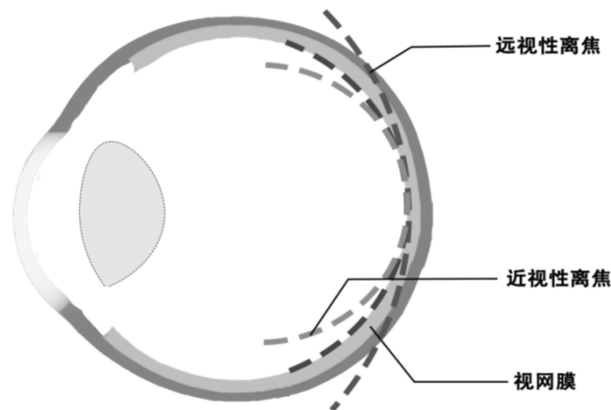


图 1 周边视网膜离焦示意图。

形微透镜从正面嵌入镜片中,呈现出环形并围绕在一个核心矫正区的周边,满足了清晰的中央视觉和周边近视性离焦<sup>[26]</sup>。在 HAL 设计的镜片中,通过 11 个连续小透镜的同心环在视网膜前面提供一定量的近视性离焦。微透镜的设计计算基于修改后的 Atchison 眼模型,用来匹配中国儿童眼屈光状态<sup>[20,27-29]</sup>。CARE 设计的微透镜与 DIMS 和 HAL 设计的微球镜不同,采用了微柱镜的设计,形成焦线的形式。相比于在不同位置提供相同方向离焦信号的传统镜片, CARE 设计的镜片在不同位置提供方向不断变化的离焦信号<sup>[30]</sup>。

## 3 三种周边离焦设计镜片在近视防控中的进展

**3.1 DIMS 设计镜片在近视防控中的进展** 关于 DIMS 设计镜片的首批研究发表在 2019-2020 年。这些研究的主要目的是评估该类型透镜的可接受性和适应性<sup>[14]</sup>。中南大学 Lu 教授团队<sup>[15]</sup>设计了一项前瞻性交叉研究,结果显示 DIMS 镜片与 SV 镜片相比,中央视力均不受影响,虽然中周边视力有所下降,但患者表示可以接受 DIMS 镜片。Lam 团队<sup>[31]</sup>进行为期 2 a 的 双盲、随机、对照研究。儿童随机分配给 DIMS 镜片或 SV 镜片,结果显示 DIMS 组在屈光度的变化较 SV 组速度慢 52%,同样眼轴增长速度慢 62%。在配戴 DIMS 镜片组中有 21.5% 的儿童在 2 a 内近视度数没有加深,但配戴 SV 镜片的儿童只有 7.4% 未加深。证明了 DIMS 设计的镜片具有延缓近视进展以及控制眼轴增长的效果。在此基础上, Lam 团队<sup>[32]</sup>继续进行该研究并随访到第 3 a。之前配戴 SV 镜片的患者转换为配戴 DIMS 镜片为试验组,一直配戴 DIMS 镜片及一直配戴 SV 镜片的患者为对照组,结果表明 DIMS 设计的镜片具有延缓近视进展以及控制眼轴增长的效果,同时也表明了即使在较大年龄开始配戴 DIMS 镜片,同样可以达到控制近视的效果。在 Huang 团队<sup>[33]</sup>的研究中采用了联合防控的手段。结果表明,接受 0.01% 阿托品滴眼液(ATP)和 DIMS 联合治疗的患者的屈光度变化和眼轴增长率低于单独使用 DIMS 镜片和 SV 镜片的患者。这项研究首次评估了 DIMS 设计的镜片联合低浓度阿托品对延缓近视发展以及控制眼轴变化具有叠加效应,同时证明了联合治疗具有累加效应。在最新的回顾性研究中, Liu 团队<sup>[34]</sup>收集了 3 639 例配戴 DIMS 镜片患者和 6 838 例配戴 SV 镜片患者,通过大量样本和数据证实 DIMS 设计的眼镜可以对近视起到防控效果。

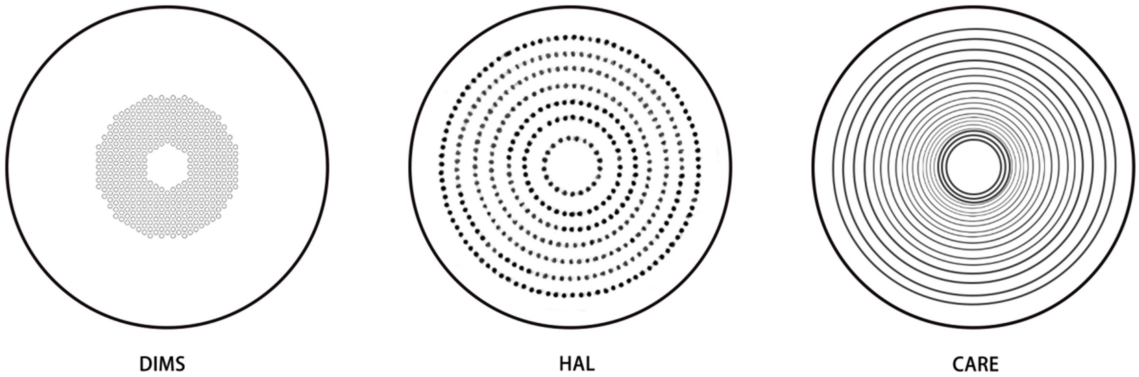


图2 三种周边离焦设计镜片设计示意图。

**3.2 HAL 设计镜片在近视防控中的进展** 在多数研究中表明配戴 HAL 设计的镜片对视觉质量以及主要的视功能不会存在影响,即使存在异常的视功能,基本都在 1 a 后恢复至配戴前水平<sup>[17-18,35-37]</sup>。其中 Gao 团队<sup>[38]</sup>对比了在配戴 HAL 设计的镜片和 SV 镜片两种情况下中央和周边视力。结果显示在高对比度和低亮度条件下,与 SV 镜片相比,HAL 设计的镜片使周边视力比中央视力要减少约 1 行,而对中央视力不随注视方向、年龄或屈光度的变化而变化。在 Bao 团队<sup>[17,36]</sup>的研究中,对近视患者随机分配 HAL 设计的镜片、低非球面微透镜 (slightly aspherical lenslets, SAL) 设计的镜片或 SV 镜片,分别在 1、2 a 时进行统计和分析。无论是在 1 a 还是 2 a 结果均提示,HAL 镜片和 SAL 镜片降低了近视进展率和眼轴增长率,而且 HAL 设计的镜片效果更佳,配戴时间越长,HAL 的近视控制效果越好。Li 团队<sup>[37]</sup>在上述研究的基础上继续进行了 1 a 研究,配戴 HAL 镜片的患者在第 3 a 继续配戴 HAL 镜片,在之前配戴 SAL 镜片或 SV 镜片的患者转为配戴 HAL 镜片,同时招募一个新的对照组来评估第 3 a 的近视进展情况,并与原来的 SV 组合并评估 HAL 镜片 3 a 的近视控制效果。结果显示配戴 HAL 镜片在 3 a 内能有效减缓近视进展和眼轴增长。同样,在第 3 a 改用 HAL 镜片的患者,近视进展和眼轴增长有明显下降。上述研究再次证明了 HAL 设计的镜片具有延缓近视进展以及控制眼轴增长的效果,也表明了即使在较大的年龄开始配戴 HAL 镜片,同样可以达到控制近视的效果。Guo 团队<sup>[18]</sup>回顾性研究了配戴 HAL 和 DIMS 两种不同周边离焦设计镜片 1 a 的效果,结果显示配戴 HAL 设计的镜片比配戴 DIMS 设计的镜片的近视防控效果更好,眼轴增长得更少。

**3.3 CARE 设计镜片在近视防控中的进展** 与上述两种设计的镜片不同,CARE 设计透镜上市时间较短,开展的研究和发表文章数量较少。Liu 团队<sup>[30]</sup>评价了 CARE 设计的镜片 1 a 近视控制效果。患者被随机分配配戴 CARE 镜片或 SV 镜片,结果显示使用 CARE 设计的镜片比 SV 镜片的患者近视防控效果和眼轴控制效果更好。

#### 4 总结与展望

根据上述文章,表 1 展示了文中不同的近视治疗方法的结果。多种试验数据证明了上述 DIMS、HAL 和 CARE 三种设计的镜片与 SV 镜片的视觉功能无显著差异,同时

相比于 SV 镜片可以对眼轴增长进行一定控制。三种不同设计的镜片均在保证中央区清晰的视觉质量的情况下,在旁中央或周边采用了近视性离焦,虽然在周边视网膜上产生了不同形态的近视性离焦,但同样控制了近视的进展,每天配戴使用可以有效延缓近视儿童眼轴的增长。与药物疗法或配戴角膜接触镜疗法相比,这种技术使用起来更简单,侵入性更小,花费以及后期的维护也更小而简便。虽然 DIMS、HAL、CARE 三种不同设计的镜片在控制近视进展方面均有效,但比较三者之间效果的研究很少,目前仅有一篇提示 HAL 镜片比 DIMS 镜片的控制效果更好,其结果还有待更多和更长时间的研究进行证明。

近年来,随着近视眼的发病率不断增多,人们对青少年近视的控制要求也越来越高,周边离焦设计的镜片由于其操作简便、经济实用的特点,受到近视患者的广泛关注。在提高矫正视力,保证视觉质量的前提下长期使用,能有效延缓近视进展,此外不同的离焦设计也推动了镜片的研发和科学研究的进展。然而目前大多数研究针对的屈光不正度数基本在 -1.00--5.00 D,且散光度在 -1.50 D 以内,但在临床中高度散光以及高度近视的患者也很常见,不同近视程度的患者其防控效果可能存在差异,如何给予个性化设计的镜片以达到更好的防控效果,有待进一步深入研究。

此外,大多数研究集中在近视控制效果上,对耐受性结果如眼部疲劳或紧张关注较少。头痛和头晕都是近视或散光处方中屈光能力增加的常见副作用。在关注防控效果的同时,患者的舒适度以及视觉质量同样会对生活质量产生举足轻重的影响。近视人群浅层及深层视网膜毛细血管血流密度会不同程度降低,脉络膜、视网膜微循环的改变可能是近视相关疾病的早期表现<sup>[39]</sup>,针对周边离焦设计的框架眼镜对于脉络膜厚度和脉络膜血流变化的相关研究也较少。对于低度近视或者远视储备不足的患者,周边离焦设计的框架眼镜可能是一种有效的防控手段,来延缓近视的发生或控制近视的发展。

总而言之,配戴周边离焦设计的框架镜是一个重要且最为普遍的工具来减少近视的进展,但长期随机研究仍需要定义其实际有效性,它们相比于角膜接触镜或药物治疗拥有更大的可操作性和安全性。但是,需要注意的是青少年儿童在使用过程中易出现框架眼镜形变,导致离焦镜片

表1 三种周边离焦设计镜片近视防控效果

研究人	随访时间 (mo)	年龄 (岁)	屈光度范围 (D)	方法和样本量	眼轴变化值 ( $\bar{x}\pm s$ , mm)	屈光度变化值 ( $\bar{x}\pm s$ , D)
Lam CSY 2020 <sup>[31]</sup>	24	8-13	-1.00--5.00	DIMS( $n=79$ ) SV( $n=81$ )	DIMS(0.21±0.02) SV(0.55±0.02)	DIMS(-0.41±0.06) SV(-0.85±0.08)
Lam CSY2022 <sup>[32]</sup>	12(第3 a)	10-15	-1.00--5.00	SV 更换至 DIMS( $n=55$ ) SV( $n=76$ )	DIMS(0.08±0.12) SV(0.18±0.14)	DIMS(-0.04±0.38) SV(-0.35±0.40)
Zhu Huang 2022 <sup>[33]</sup>	12	7-12	-1.00--5.00	DIMS+ATP( $n=30$ ) DIMS( $n=38$ ) SV( $n=39$ )	DIMS+ATP(0.28±0.24) DIMS(0.41±0.22) SV(0.52±0.22)	DIMS+ATP(-0.49±0.66) DIMS(-0.79±0.47) SV(-1.07±0.64)
Jinhua Bao 2022 <sup>[17]</sup>	12	8-13	-0.75--4.75	HAL( $n=54$ ) SAL( $n=55$ ) SV( $n=52$ )	HAL(0.14±0.02) SAL(0.24±0.02) SV(0.36±0.02)	HAL(-0.27±0.06) SAL(-0.48±0.05) SV(-0.81±0.06)
Jinhua Bao 2022 <sup>[36]</sup>	24	8-13	-0.75--4.75	HAL( $n=54$ ) SAL( $n=53$ ) SV( $n=50$ )	HAL(0.28±0.04) SAL(0.46±0.04) SV(0.69±0.04)	HAL(-0.48±0.10) SAL(-0.95±0.08) SV(-1.44±0.10)
Hui Guo 2023 <sup>[18]</sup>	12	<16		HAL( $n=193$ ) DIMS( $n=64$ )	HAL(0.17±0.02) DIMS(0.28±0.04)	HAL(-0.34±0.04) DIMS(-0.63±0.07)
Xue Li 2023 <sup>[37]</sup>	12	8-13	-0.75--4.75	HAL( $n=51$ ) SAL-HAL( $n=50$ ) SV-HAL( $n=42$ ) SV( $n=48$ )	HAL(0.19±0.02) SAL-HAL(0.18±0.02) SV-HAL(0.14±0.02) SV(0.27±0.02)	HAL(-0.41±0.05) SAL-HAL(-0.35±0.05) SV-HAL(-0.32±0.05) SV(-0.54±0.05)
Xinting Liu 2023 <sup>[30]</sup>	12	8-12	-1.00--4.00 散光<1.50	CARE( $n=61$ ) SV( $n=57$ )	CARE(0.27) SV(0.35)	CARE(-0.56) SV(-0.71)

的中心聚焦偏离视网膜黄斑区,使得周边离焦效果减弱。所以,配戴离焦设计的镜片,定期随访,及时校准框架眼镜是非常必要的。

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] Flitcroft DI, He MG, Jonas JB, et al. IMI - defining and classifying myopia: a proposed set of standards for clinical and epidemiologic studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019,60(3):M20-M30.  
 [3] Resnikoff S, Jonas JB, Friedman D, et al. Myopia - A 21st century public health issue. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019,60(3).  
 [4] Wildsoet CF, Chia A, Cho P, et al. IMI - interventions myopia institute: interventions for controlling myopia onset and progression report. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019,60(3):M106-M131.  
 [5] Morgan IG, French AN, Ashby RS, et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention. *Prog Retin Eye Res*, 2018, 62: 134-149.  
 [6] Sun J, Zhou JB, Zhao PQ, et al. High prevalence of myopia and high myopia in 5060 Chinese university students in Shanghai. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012,53(12):7504-7509.  
 [7] Jung SK, Lee JH, Kakizaki H, et al. Prevalence of myopia and its association with body stature and educational level in 19-year-old male conscripts in Seoul, South Korea. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012,53(9):5579-5583.  
 [8] Ruiz-Medrano J, Montero JA, Flores-Moreno I, et al. Myopic maculopathy: Current status and proposal for a new classification and grading system (ATN). *Prog Retin Eye Res*, 2019,69:80-115.  
 [9] 周堃, 尚晓, 申笛, 等. 低浓度阿托品控制近视的临床研究进展. *国际眼科杂志*, 2022,22(6):977-980.

[10] Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Expert consensus on stages of public health strategies for myopia prevention and control in children and adolescents. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, 2023,57(6):806-814.  
 [11] 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.  
 [12] Smith EL III, Hung LF. The role of optical defocus in regulating refractive development in infant monkeys. *Vis Res*, 1999, 39(8): 1415-1435.  
 [13] Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron*, 2004,43(4):447-468.  
 [14] Kaymak H, Graff B, Neller K, et al. Myopia treatment and prophylaxis with defocus incorporated multiple segments spectacle lenses. *Ophthalmologe*, 2021,118(12):1280-1286.  
 [15] Lu YQ, Lin ZH, Wen LB, et al. The adaptation and acceptance of defocus incorporated multiple segment lens for Chinese children. *Am J Ophthalmol*, 2020,211:207-216.  
 [16] Carlà MM, Boselli F, Giannuzzi F, et al. Overview on defocus incorporated multiple segments lenses: a novel perspective in myopia progression management. *Vision*, 2022,6(2):20.  
 [17] Bao J, Yang A, Huang Y, et al. One-year myopia control efficacy of spectacle lenses with aspherical lenslets. *Br J Ophthalmol*, 2022,106(8):1171-1176.  
 [18] Guo H, Li XF, Zhang XX, et al. Comparing the effects of highly aspherical lenslets versus defocus incorporated multiple segment spectacle lenses on myopia control. *Sci Rep*, 2023,13(1):3048.  
 [19] Mutti DO, Sholtz RI, Friedman NE, et al. Peripheral refraction and ocular shape in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2000,41(5): 1022-1030.  
 [20] Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Peripheral refraction and

refractive error in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(2):1181-1190.

[21] Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(11):7880-7887.

[22] Radhakrishnan H, Allen PM, Calver RI, et al. Peripheral refractive changes associated with myopia progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013,54(2):1573-1581.

[23] Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL, et al. Relative peripheral refractive error and the risk of onset and progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(1):199-205.

[24] Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL, et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2007,48(6):2510-2519.

[25] Smith EL, Hung LF, Arumugam B. Visual regulation of refractive development; insights from animal studies. *Eye (Lond)*, 2014,28(2):180-188.

[26] Lam CSY, Tang WC, Qi H, et al. Effect of defocus incorporated multiple segments spectacle lens wear on visual function in myopic Chinese children. *Transl Vis Sci Technol*, 2020,9(9):11.

[27] Atchison DA. Optical models for human myopic eyes. *Vision Res*, 2006,46(14):2236-2250.

[28] Li SM, Wang N, Zhou Y, et al. Paraxial schematic eye models for 7- and 14-year-old Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015,56(6):3577-3583.

[29] Chen X, Sankaridurg P, Donovan L, et al. Characteristics of peripheral refractive errors of myopic and non-myopic Chinese eyes. *Vision Res*, 2010,50(1):31-35.

[30] Liu XT, Wang PQ, Xie Z, et al. One-year myopia control efficacy of cylindrical annular refractive element spectacle lenses. *Acta Ophthalmol*, 2023,101(6):651-657.

[31] Lam CSY, Tang WC, Tse DY, et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression; a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(3):363-368.

[32] Lam CS, Tang WC, Lee PH, et al. Myopia control effect of defocus incorporated multiple segments (DIMS) spectacle lens in Chinese children; results of a 3-year follow-up study. *Br J Ophthalmol*, 2022,106(8):1110-1114.

[33] Huang Z, Chen XF, He T, et al. Synergistic effects of defocus-incorporated multiple segments and atropine in slowing the progression of myopia. *Sci Rep*, 2022,12(1):22311.

[34] Liu JX, Lu YQ, Huang D, et al. The efficacy of defocus incorporated multiple segments lenses in slowing myopia progression; results from diverse clinical circumstances. *Ophthalmology*, 2023,130(5):542-550.

[35] Lanca C, Pang CP, Grzybowski A. Effectiveness of myopia control interventions; a systematic review of 12 randomized control trials published between 2019 and 2021. *Front Public Health*, 2023,11:1125000.

[36] Bao JH, Huang YY, Li X, et al. Spectacle lenses with aspherical lenslets for myopia control vs single-vision spectacle lenses; a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol*, 2022,140(5):472-478.

[37] Li X, Huang YY, Yin ZA, et al. Myopia control efficacy of spectacle lenses with aspherical lenslets; results of a 3-year follow-up study. *Am J Ophthalmol*, 2023,253:160-168.

[38] Gao Y, Spiegel DP, Muzahid IAI, et al. Spectacles with highly aspherical lenslets for myopia control do not change visual sensitivity in automated static perimetry. *Front Neurosci*, 2022,16:996908.

[39] Zhang S, Zhang GY, Zhou X, et al. Changes in choroidal thickness and choroidal blood perfusion in guinea pig myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019,60(8):3074-3083.