

角膜塑形镜离焦技术在近视防控中的研究进展

黄建峰¹, 张晓培¹, 李童燕¹, 蒋沁²

引用:黄建峰,张晓培,李童燕,等. 角膜塑形镜离焦技术在近视防控中的研究进展. 国际眼科杂志 2023;23(4):578-581

基金项目:国家自然科学基金项目(No.82101155)

作者单位:¹(210044)中国江苏省南京市,南京科技职业学院;
²(210000)中国江苏省南京市,南京医科大学附属眼科医院

作者简介:黄建峰,毕业于南京大学,本科,讲师,研究方向:眼视光学。

通讯作者:蒋沁,毕业于南京医科大学,博士,教授,博士研究生导师,主任医师,研究方向:眼视光学. jqin710@vip.sina.com

收稿日期:2022-05-20 修回日期:2023-03-01

摘要

近视发病率在全球范围内呈逐渐上升趋势,严重影响青少年儿童的眼部健康,引起了巨大的经济和社会效益损失。因此,近视防控工作至关重要且刻不容缓。近年来,角膜塑形镜逐渐在近视防控领域体现出其优越性。目前,角膜塑形镜控制近视发展的原理主要以视网膜远视性光学离焦学说为主,促使近视患者的远视性离焦向近视性离焦漂移从而延缓眼轴增长。其控制近视发展的效果与多种因素相关,包括离焦总量、瞳孔直径、光学区设计及镜片偏心等。角膜塑形镜的广泛使用将有效降低青少年儿童的近视发病率,本文就角膜塑形镜利用离焦技术控制近视发展的原理、离焦量和离焦环位置与近视防控效果的关系等方面进行综述,旨在阐明角膜塑形镜离焦技术在近视防控中的研究进展。

关键词:近视;角膜塑形镜;光学离焦;近视防控;眼轴

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.4.09

Research progress on defocus technique of orthokeratology lens in the prevention and control of myopia

Jian-Feng Huang¹, Xiao-Pei Zhang¹, Tong-Yan Li¹, Qin Jiang²

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No.82101155)

¹Nanjing Polytechnic Institute, Nanjing 210044, Jiangsu Province, China; ²The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

Correspondence to: Qin Jiang. The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China. jqin710@vip.sina.com

Received:2022-05-20 Accepted:2023-03-01

Abstract

• The incidence of myopia is gradually on the rise

worldwide, which seriously affects the eye health of teenagers and children, causing enormous loss of socioeconomic benefits. As a result, the prevention and control of myopia is crucial and urgent. In recent years, orthokeratology lens have gradually demonstrated its superiority in the field of myopia prevention and control. At present, the principle of controlling the development of myopia by orthokeratology lens is mainly based on the theory of retinal hyperopia optical defocus, which promotes the shift of hyperopic defocus to myopic defocus in myopic patients to curb the growth of the axial length. The effect of controlling the development of myopia is related to various factors, including the total amount of defocusing, pupil diameter, optical zone design, and lens decentration. The widespread use of orthokeratology lenses will effectively reduce the incidence of myopia in teenagers and children. This paper discusses the principle of controlling the development of myopia by the defocus technique of orthokeratology lenses, and the relationship between the amount of defocusing and the position of the defocusing circle and the effect of myopia prevention and control. A specific review was conducted to clarify the research progress on defocus technique of orthokeratology lens in the prevention and control of myopia.

• KEYWORDS: myopia; orthokeratology lens; optical defocus; myopia prevention and control; axial length

Citation: Huang JF, Zhang XP, Li TY, et al. Research progress on defocus technique of orthokeratology lens in the prevention and control of myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(4):578-581

0 引言

近视作为一项全球性的公共卫生问题,多数与眼轴过度增长有关。近年来,近视发病率在全球范围内呈上升趋势,且愈发趋向于低龄化^[1]。据统计,截止2018年,我国儿童青少年的近视发病率已达53.6%^[2-3],预计将于2050年达84%^[4]。近视的危害不仅表现为裸眼视力下降,更在于其可并发白内障、视网膜脱离和脉络膜新生血管等眼部其它病变,甚至引起失明^[5]。因此,对近视发生发展的科学控制,已逐渐成为近视治疗工作的重点。随着医疗技术的不断发展,利用离焦技术设计而成的角膜塑形镜用于近视防控应运而生。大量研究表明,角膜塑形镜的配戴可以有效控制近视患者眼轴和等效球镜度数的增加,是控制儿童青少年近视发展的有效方法^[6-8]。本文就角膜塑形镜离焦技术在近视防控中的研究进展作一综述。

1 角膜塑形镜离焦技术控制近视发展的原理

近视的发病机制目前尚无定论^[9-10],学术界普遍认可

的包括视网膜远视性光学离焦、形觉剥夺、调节不足和神经递质学说等^[11]。本文所述角膜塑形镜离焦技术主要以视网膜远视性光学离焦学说为理论基础。

大量动物实验表明,近视性离焦(物像聚焦于视网膜前)和远视性离焦(物像聚焦于视网膜后)均会导致眼睛的轴性变化,以弥补附加离焦所引起的视觉效应^[12-15]。对于近视患者而言,负透镜的配戴可使周边视觉信号聚焦于视网膜后,即形成远视性离焦。视网膜继而识别聚焦在视网膜后方的光学信号,引起脉络膜变薄、巩膜生长速度加快,从而延长眼轴以适应视网膜后的光学焦点。与此相反,正透镜的配戴可使周边视觉信号聚焦于视网膜前,即形成近视性离焦,继而使得脉络膜增厚、巩膜生长速度减慢,延缓眼轴增长^[16-17]。基于此,促使近视患者的远视性离焦向近视性离焦漂移以延缓眼轴增长,将会是控制近视发展的有效手段。

角膜塑形镜是目前较为主流的近视防控措施,其主要利用上述光学离焦技术,促使周边视网膜形成近视性离焦。正常角膜是中央弧度大、周边弧度小的横椭圆形,而角膜塑形镜片则采用逆几何形态设计,与角膜解剖学特征相反,表现为中央弧度小而周边弧度大。角膜塑形镜由内至外分为基弧区、反转弧区、定位弧区和周边弧区^[18]。由于镜片基弧区的曲率半径显著高于角膜中央光学区的曲率半径,患者在配戴镜片后其中央角膜在内向力的驱使下,可被镜片的基弧区压平。而反转弧区则是镜片最陡的区域,其与角膜间形成的间隙可对角膜产生负压作用,使旁中心区的角膜变陡。因此,在基弧和反转弧的共同作用下,角膜中央区组织变平,并向旁中心区移动使得该区域角膜变陡,进而形成离焦环。中央角膜屈光力降低而周边角膜屈光力增加,形成了周边视网膜的近视性离焦漂移,从而达到延缓近视发展的目的^[19-20]。Queirós等^[21]研究发现,与框架眼镜和硬性角膜接触镜(RGP)相比,只有角膜塑形镜可以通过光学离焦使光学信号在中周边聚焦于视网膜上或稍前,进而呈现周边视网膜的正视或低度近视状态。谢培英^[22]也指出,角膜塑形镜可以改变视网膜中周边离焦状态,具有控制眼轴增长的作用。近年大量研究均进一步肯定了角膜塑形镜通过光学离焦技术延缓近视发展的有效性^[23-27]。框架眼镜和角膜塑形镜矫正视网膜中周边离焦机制见图1。

2 影响角膜塑形镜近视防控效果的因素

角膜塑形镜因其在近视防控方面确切有效,故而已得到临床的广泛应用和推广。目前,关于角膜塑形镜近视防控效果的有效率国内外报道尚不统一,造成此差异的原因繁多。本文翻阅近年国内外文献,认为角膜塑形镜的近视防控效果多与离焦总量、瞳孔直径、光学区设计及镜片偏心相关。

2.1 角膜塑形镜离焦总量 近年关于角膜塑形镜离焦总量与近视防控效果的关系仍是国内外领域内研究的热点。Queirós等^[21]研究指出,近视患者配戴角膜塑形镜后周边视网膜离焦变化量与眼轴增长量密切相关,即离焦变化量越大,眼轴增长越缓慢。其实早在2006年,Atchison等^[28]研究发现,近视患者视网膜水平径线上的周边远视性离焦量与近视度数呈正比。Zhong等^[29]研究也提出,患者的初始近视度数越大,其配戴角膜塑形镜后产生的反转力量也越大,进而产生更大的离焦总量,使得近视控制效果更佳。国内学者李秀红等^[30]提出,初始近视程度是影响近视控

制效果的重要因素之一,不同初始近视度数的患者接受角膜塑形术后产生的离焦不同,具体表现为初始近视度数越高,近视控制效果越好,提示离焦总量在一定程度上影响角膜塑形镜对近视的控制效果。因此,更多的研究指向于设计出产生更大离焦总量的角膜塑形镜,以获取更好的临床近视防控效果。Wan等^[31]研究发现,配戴较高过矫系数(1.75D)角膜塑形镜的患者与配戴普通过矫系数(0.75D)角膜塑形镜的患者相比,前者在配戴1mo内便能矫正屈光不正,且其近视长期防控效果明显优于后者,分析认为或与角膜塑形镜过矫系数的增加带来了更大的离焦总量有关。谢培英等^[32]最新发表的文献中提到了一项正在进行的随机对照研究,研究者修改镜片设计以增加角膜塑形镜的近视性离焦量,结果发现,与常规设计组相比,试验组近视性离焦量的增加可显著延缓患者眼轴的增长。

2.2 瞳孔直径与离焦 以往研究证实,瞳孔直径与眼内光线的进入量密切相关,瞳孔直径越大,光线进入量越大,作用于周边视网膜的光线越多,对周边视网膜屈光状态的影响越大^[33]。因此理论上可以认为,瞳孔直径大小的差异可以引起角膜塑形镜近视性离焦量的差异,进而影响近视防控效果。

朱梦钧等^[34]研究提出瞳孔直径与眼轴增长之间的回归方程,即眼轴增长 = $-0.161 \times \text{瞳孔直径} + 0.987$,提示眼轴增长与瞳孔直径呈负相关。Faria-Ribeiro等^[35]指出,角膜塑形镜控制近视的效果取决于瞳孔直径的大小。Chen等^[36]研究探讨瞳孔直径与离焦量之间的关系,发现瞳孔直径较大的儿童配戴角膜塑形镜后眼轴增长速度相对较为缓慢,近视防控效果更好,证实角膜塑形镜可以通过影响周边视网膜的离焦状态控制近视发展。Pauné等^[37]研究进一步证实上述结论,分析原因或与更多的周边光线通过较大瞳孔进入眼内而产生更多的近视性离焦有关。姜珺教授团队的最新研究中引入了新指标“Half-x”,该指标用以量化配戴角膜塑形镜后的近视性离焦量,最终得出Half-x与瞳孔直径的差值与眼轴增长量呈正相关,因此提出合适的瞳孔直径附加合适的离焦量,才能诱导出合适的近视防控效果^[38]。

2.3 光学设计与离焦 角膜塑形镜的设计包括基弧区、反转弧区、定位弧区和周边弧区四个区域。其中基弧区为光学区,与近视控制效果密切相关;而反转弧区接纳由中央区迁移而来的角膜组织以产生近视性离焦,其设计的差异同样与近视防控效果密不可分。

Charman等^[39]提出,较小的光学区直径会产生更好的近视防控效果,并认为这是由于较小的光学区将产生较小中心视野的屈光矫正和较大面积的近视性离焦。近年Lin等^[40]研究支持了这一结论,该研究发现对于接受较小光学区直径角膜塑形镜的患者而言,其配戴1a后眼轴增长显著延缓。Guo等^[27]研究发现,光学区直径设计成5mm不仅不会影响镜片性能的完整性,而且与传统的6mm光学直径的镜片相比,其可显著延缓眼轴增长。显然,小直径光学区将更有利于近视的控制,但如果其直径过小乃至不足以覆盖整个瞳孔区,将可能造成眩光、复视等视觉质量下降的问题,进而影响近视防控效果^[41]。林思思等^[42]研究证实,角膜塑形镜配戴者的光学区直径约 $3.48 \pm 0.49\text{mm}$,明显小于暗环境下的瞳孔最大直径($7.02 \pm 0.82\text{mm}$),提示角膜塑形镜配戴后夜间眩光、复视等情况普遍存在。因此,我们认为在尽可能保证视觉质量的前提

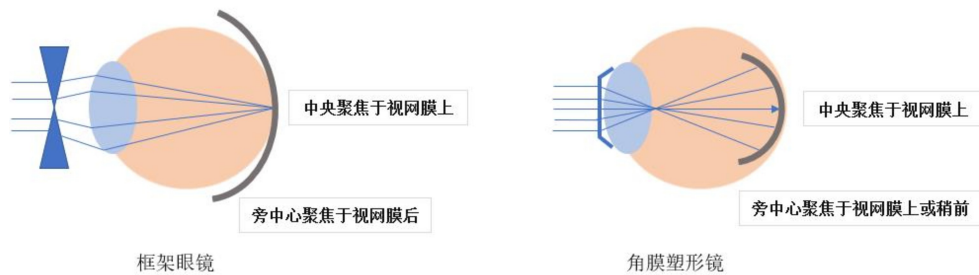


图1 框架眼镜和角膜塑形镜矫正的视网膜旁中心离焦。

下,减小光学区直径以获得更好的近视防控效果,是角膜塑形镜设计者和临床验配者追求的目标。

除却光学区大小,反转弧区的设计亦可直接影响近视的防控效果。Gifford 等^[43]研究发现,反转弧区设计不同的角膜塑形镜防控近视的效果也不一样,推测或与反转弧区不同的设计弧度有关。不同弧度的反转弧导致了周边屈光的模式不同,进而产生近视防控效果的差异。夏国选等^[44]探究配戴角膜塑形镜后产生离焦环的位置与近视防控效果的关系,结果表明,离焦环越远离瞳孔区,近视防控效果越差。由于离焦环的位置主要与反转弧相关,故而进一步证实了反转弧的设计可显著影响角膜塑形镜的近视防控效果。因此,如何设计出一款同时具备最优光学区直径和反转弧弧度的角膜塑形镜,或许是研究者接下来需要攻破的难题。

2.4 偏心与离焦 角膜塑形镜的验配需遵从严格规范的流程,各种原因引起的配适不良均可能导致镜片中心偏离角膜顶点而发生镜片偏心,而偏心对近视防控效果的影响,学术界观点尚未统一。李晓柠等^[45]通过对角膜塑形镜配戴者随访 1.5a 发现,镜片的偏心程度与眼轴的变化程度并无显著相关性。陈子扬等^[46]回顾性分析了 139 例(眼)患者配戴角膜塑形镜后镜片偏心程度与眼轴增长的关系,结果发现三组不同程度偏心患者的眼轴增长并无显著差异。郭丽等^[47]研究结果却与之相反,该研究随访 1a 发现,镜片偏离中心的距离与眼轴增长呈负相关,即镜片偏心程度越大,眼轴增长量越少。分析认为,由于镜片偏心,反转弧与角膜的相对位置发生改变,继而引起离焦环的分布不均是该结果出现的主要原因。但该研究同样提出,对于镜片偏心程度造成眼轴增长差异的原因,尚不能完全用角膜塑形镜的近视性漂移原理解释。另有研究表明,患者配戴角膜塑形镜前的眼部基础参数,如初近视度数、散光度数和角膜形态等,均可能影响镜片偏心继而影响角膜塑形镜的近视防控效果^[48]。国外学者 Hiraoka 等^[49]认为角膜塑形镜的偏心可以延缓眼轴增长。谢培英等^[32]研究也支持这一观点。

鉴于以上各研究,我们分析认为镜片的偏心或稍有利于控制近视的发展,但由于镜片偏心所造成的各类视觉问题同样不容忽视。钱晓文等^[50]研究表明,镜片重度偏心者配戴角膜塑形镜后并发症的发生率显著高于低度偏心者。角膜塑形镜的配戴会导致各项角膜高阶像差增加,进而造成视觉质量下降^[29]。林思思等^[42]研究指出,镜片的垂直偏心距离和水平偏心距离分别决定了角膜塑形镜配戴后的垂直彗差和水平彗差增加量,提示无论是方向还是幅度,镜片的偏心均是影响彗差增加的决定因素。可见,镜片的偏心或许是把双刃剑,为了确保近视的防控效果,镜片偏心的程度应控制在多大范围内,目前学术界尚无定

论。临床验配中,须对镜片偏心情况进行预判,严格把握偏心程度,以提高角膜塑形镜验配成功率。

3 总结与展望

近年来,近视发病率在全球范围内不断攀升,近视防控工作已不仅仅是眼科医师的任务,更是全社会的职责所在。角膜塑形镜利用离焦技术延缓近视发展的有效性已被越来越多的人认可。本文从光学离焦原理层面阐述了影响角膜塑形镜近视防控效果的因素。目前,角膜塑形镜与阿托品的联合治疗在近视防控方面逐渐受到关注。国内外研究也逐步肯定了二者联合治疗的有效性。角膜塑形镜联合阿托品治疗在临床上的广泛使用,或许将更大程度降低青少年儿童近视的发病率,亦能减少病理性近视甚至视网膜脱离等眼底并发症的发生。

此外,角膜塑形镜近视防控效果还与不同个体的年龄、角膜曲率参数、个体体质等因素相关。角膜塑形镜验配过程中,需针对个体化差异,制定更为合理的验配方案以给患者带来最佳效果。由于角膜塑形镜配戴过程中存在着配适不良、角膜上皮受损或感染等风险,验配者需对患者进行全面而规范的宣教。对于设计者而言,光学离焦技术也尚需进一步探讨以促进角膜塑形镜的更优化发展。

参考文献

- 1 Bremond-Gignac D. Myopia in children. *Med Sci (Paris)* 2020; 36(8-9): 763-768
- 2 Du R, Xie SQ, Igarashi-Yokoi T, et al. Continued increase of axial length and its risk factors in adults with high myopia. *JAMA Ophthalmol* 2021; 139(10): 1096-1103
- 3 Cho P, Tan Q. Myopia and orthokeratology for myopia control. *Clin Exp Optom* 2019; 102(4): 364-377
- 4 Dong L, Kang YK, Li Y, et al. Prevalence and time trends of myopia in children and adolescents in China: a systemic review and meta-analysis. *Retina* 2020; 40(3): 399-411
- 5 Xu L, Wang YX, Wang S, et al. High myopia and glaucoma susceptibility the Beijing eye study. *Ophthalmology* 2007; 114(2): 216-220
- 6 Cho P, Cheung SW, Edwards M. The longitudinal orthokeratology research in children (LORIC) in Hong Kong: a pilot study on refractive changes and myopic control. *Curr Eye Res* 2005; 30(1): 71-80
- 7 唐文婷, 李佳倩, 周里深, 等. 角膜塑形镜对青少年近视的相对周边屈光度影响. *国际眼科杂志* 2021; 21(4): 734-737
- 8 Kong QH, Guo J, Zhou J, et al. Factors determining effective orthokeratology treatment for controlling juvenile myopia progression. *Iran J Public Health* 2017; 46(9): 1217-1222
- 9 Kloss BA, Tompson SW, Whisenhunt KN, et al. Exome sequence analysis of 14 families with high myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(4): 1982-1990
- 10 Williams KM, Bertelsen G, Cumberland P, et al. Increasing prevalence of myopia in Europe and the impact of education. *Ophthalmology* 2015; 122(7): 1489-1497

- 11 相璐, 姜思宇, 沈玺. 近视的发病机制及防控研究进展. 眼科新进展 2021; 41(5): 488-494
- 12 Zhu XY, Park TW, Winawer J, et al. In a matter of minutes, the eye can know which way to grow. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005; 46(7): 2238-2241
- 13 Zhu XY. Temporal integration of visual signals in lens compensation (a review). *Exp Eye Res* 2013; 114: 69-76
- 14 Zhong XW, Ge J, Smith EL 3rd, et al. Image defocus modulates activity of bipolar and amacrine cells in macaque retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45(7): 2065-2074
- 15 Arumugam B, Hung LF, To CH, et al. The effects of the relative strength of simultaneous competing defocus signals on emmetropization in infant Rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(10): 3949-3960
- 16 Benavente-Perez A, Nour A, Troilo D. The effect of simultaneous negative and positive defocus on eye growth and development of refractive state in marmosets. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(10): 6479-6487
- 17 Arumugam B, Hung LF, To CH, et al. The effects of simultaneous dual focus lenses on refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55(11): 7423-7432
- 18 陈浩. 接触镜验配技术: 角膜塑形镜的验配. 北京: 高等教育出版社 2015; 134-135
- 19 谢培英. 促进我国现代角膜塑形术的健康发展. 中华眼科杂志 2007; 43(8): 676-679
- 20 Nti AN, Berntsen DA. Optical changes and visual performance with orthokeratology. *Clin Exp Optom* 2020; 103(1): 44-54
- 21 Queirós A, González-Méijome JM, Jorge J, et al. Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2010; 87(5): 323-329
- 22 谢培英. 重新认识角膜塑形术. 眼科 2012; 21(6): 361-365
- 23 Jakobsen TM, Møller F. Control of myopia using orthokeratology lenses in Scandinavian children aged 6 to 12 years. Eighteen-month data from the Danish Randomized Study: clinical study of near-sightedness; Treatment with Orthokeratology Lenses (CONTROL study). *Acta Ophthalmol* 2022; 100(2): 175-182
- 24 Zhao Q, Hao Q. Comparison of the clinical efficacies of 0.01% atropine and orthokeratology in controlling the progression of myopia in children. *Ophthalmic Epidemiol* 2021; 28(5): 376-382
- 25 Zhao WC, Li ZY, Hu Y, et al. Short-term effects of atropine combined with orthokeratology (ACO) on choroidal thickness. *Cont Lens Anterior Eye* 2021; 44(3): 101348
- 26 Santodomingo-Rubido J, Villa-Collar C, Gilmartin B, et al. Long-term efficacy of orthokeratology contact lens wear in controlling the progression of childhood myopia. *Curr Eye Res* 2017; 42(5): 713-720
- 27 Guo BY, Cheung SW, Kojima R, et al. One-year results of the Variation of Orthokeratology Lens Treatment Zone (VOLTZ) Study: a prospective randomised clinical trial. *Ophthalmic Physiol Opt* 2021; 41(4): 702-714
- 28 Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res* 2006; 46(8-9): 1450-1458
- 29 Zhong YY, Chen Z, Xue F, et al. Corneal power change is predictive of myopia progression in orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2014; 91(4): 404-411
- 30 李秀红, 钟梅, 朱豫, 等. 角膜塑形术在青少年近视控制中的作用. 中华眼外伤职业眼病杂志 2017; 39(7): 491-495
- 31 Wan K, Lau JK, Cheung SW, et al. Refractive and corneal responses of young myopic children to short-term orthokeratology treatment with different compression factors. *Cont Lens Anterior Eye* 2020; 43(1): 65-72
- 32 谢培英, 郭曦. 角膜塑形术矫治近视眼的新进展. 中华眼科杂志 2021; 57(4): 315-318
- 33 曾欣蔚, 徐国旭, 李娜, 等. 正常人瞳孔及其对光反射的定量分析研究. 中华实验眼科杂志 2019; 37(6): 485-487
- 34 朱梦钧, 冯浩雁, 朱剑锋. 瞳孔直径对角膜塑形镜近视控制作用的影响. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2014; 16(2): 84-87
- 35 Faria-Ribeiro M, Navarro R, González-Méijome JM. Effect of pupil size on wavefront refraction during orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2016; 93(11): 1399-1408
- 36 Chen Z, Niu LL, Xue F, et al. Impact of pupil diameter on axial growth in orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2012; 89(11): 1636-1640
- 37 Pauné J, Fonts S, Rodríguez L, et al. The role of back optic zone diameter in myopia control with orthokeratology lenses. *J Clin Med* 2021; 10(2): 336
- 38 Jiang F, Huang XP, Xia HX, et al. The spatial distribution of relative corneal refractive power shift and axial growth in myopic children: orthokeratology versus multifocal contact lens. *Front Neurosci* 2021; 15: 686932
- 39 Charman WN, Atchison DA, Scott DH. Theoretical analysis of peripheral imaging after excimer laser corneal refractive surgery for myopia. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(11): 2017-2025
- 40 Lin WP, Li N, Gu TP, et al. The treatment zone size and its decentration influence axial elongation in children with orthokeratology treatment. *BMC Ophthalmol* 2021; 21(1): 362
- 41 瞿小妹, 褚仁远. 角膜塑形术后眼波前像差变化. 眼视光学杂志 2005; 7(4): 245-247
- 42 林思思, 陈镇国, 王建勇, 等. 角膜塑形术后光学治疗区大小及偏心对光学及视觉质量的影响. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2018; 20(9): 530-535
- 43 Gifford KL, Gifford P, Hendicott PL, et al. Stability of peripheral refraction changes in orthokeratology for myopia. *Cont Lens Anterior Eye* 2020; 43(1): 44-53
- 44 夏国选, 魏少华, 魏琳, 等. 配戴角膜塑形镜后离焦环距离角膜缘宽度对控制近视的影响. 国际眼科杂志 2019; 19(1): 118-120
- 45 李晓柠, 王琳琳, 陈兆, 等. 光学治疗区偏心对角膜塑形镜配戴后角膜高阶像差及眼轴发育的影响. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2017; 19(9): 540-547
- 46 陈子扬, 叶照达, 张晔, 等. 角膜塑形镜的偏心对眼轴及视觉质量的影响. 国际眼科杂志 2020; 20(12): 2023-2027
- 47 郭丽, 陈小虎. 角膜塑形镜离焦环偏心对近视发展的影响. 川北医学院学报 2021; 36(8): 990-993
- 48 吴娟, 余惠文. 角膜塑形镜治疗后光学区偏离中心的角膜地形图参数分析. 中国斜视与小兒眼科杂志 2013; 21(2): 10, 16-19
- 49 Hiraoka T, Kakita T, Okamoto F, et al. Influence of ocular wavefront aberrations on axial length elongation in myopic children treated with overnight orthokeratology. *Ophthalmology* 2015; 122(1): 93-100
- 50 钱晓文, 蒋伟, 戴国林. 角膜塑形镜配戴后偏心对青少年近视患者视觉质量的影响. 眼科新进展 2018; 38(10): 917-920