

脉络膜厚度与近视防控研究进展

杜冬雪¹, 宋继科^{1,2,3}, 毕宏生^{1,2,3}

引用: 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

基金项目: 国家重点研发计划项目(No.2019YFC1710203)

作者单位:¹(250014) 中国山东省济南市, 山东中医药大学;
²(250002) 中国山东省济南市, 山东中医药大学附属眼科医院
山东省眼病防治研究院;³(250002) 中国山东省济南市, 山东省
中西医结合眼病防治重点实验室 山东省高校中西医结合眼病
防治技术(强化)重点实验室

作者简介: 杜冬雪, 在读硕士研究生, 研究方向: 屈光不正及白
内障防治。

通讯作者: 毕宏生, 博士, 二级教授, 博士研究生导师, 山东中
医药大学附属眼科医院院长, 研究方向: 中西医结合临床眼科疾
病的研究、白内障及屈光不正. hongshengbi1@163.com

收稿日期: 2021-07-07 修回日期: 2022-03-01

摘要

近视是指外界的平行光线经过眼的屈光系统后落在视网
膜黄斑中心凹前方的屈光状态。近视严重影响了青少年的
健康成长, 近视防控成为社会普遍关注的热点问题。研究
普遍认为, 近视与脉络膜变化有着密切关系, 随着屈光度
增加、眼轴增长, 脉络膜厚度呈现逐渐变薄趋势。循证
医学研究证实有效的近视防控方法(角膜塑形镜、离焦镜
片、阿托品滴眼液、光照、后巩膜加固术等)均呈现出脉络
膜增厚效应, 提示脉络膜增厚是近视控制的保护因素。本
文围绕现行的近视防控有效方法对脉络膜厚度的影响展
开综述, 以期将脉络膜厚度变化作为近视防控疗效评价
指标提供参考。

关键词: 近视防控; 循证医学; 有效方法; 脉络膜厚度; 疗效
指标

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.4.13

Research progress of choroidal thickness and myopia prevention and control

Dong-Xue Du¹, Ji-Ke Song^{1,2,3}, Hong-Sheng Bi^{1,2,3}

Foundation item: National Key Research and Development Program
of China (No.2019YFC1710203)

¹Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan
250014, Shandong Province, China; ²Ophthalmic Hospital
Affiliated to Shandong University of Traditional Chinese Medicine;
Institute of Ophthalmology Disease Prevention and Control of
Shandong, Jinan 250002, Shandong Province, China; ³Shandong
Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and

Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases;
Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western
Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases in
Universities of Shandong, Jinan 250002, Shandong Province, China

Correspondence to: Hong - Sheng Bi. Shandong University of
Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, Shandong Province,
China; Ophthalmic Hospital Affiliated to Shandong University of
Traditional Chinese Medicine; Institute of Ophthalmology Disease
Prevention and Control of Shandong, Jinan 250002, Shandong
Province, China; Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated
Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and
Therapy of Ocular Diseases; Key Laboratory of Integrated Traditional
Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular
Diseases in Universities of Shandong, Jinan 250002, Shandong
Province, China. hongshengbi1@163.com

Received: 2021-07-07 Accepted: 2022-03-01

Abstract

• Myopia refers to the refraction state in front of macular
fovea when the external parallel light falls through the
refractive system of the eye. Myopia has seriously affected
the healthy growth of teenagers, so that prevention and
control of myopia have become a hot issue of social
concern. Studies generally agreed that myopia has a close
relationship with choroid changes, and the choroid
thickness shows a gradual thinning trend with the increase
of diopter and ocular axis. Evidence - based medical
studies have proved that effective methods for myopia
prevention and control (orthokeratology, defocus lens,
atropine eye drops, illumination, posterior scleral
reinforcement, etc.) showed choroid thickening effect,
suggesting that choroid thickening is a protective factor
for myopia control. In order to provide a reference for the
change of choroid thickness as an evaluation index of
myopia prevention and control efficacy, this paper
reviews the effect of current effective methods of myopia
prevention and control on choroid thickness.

• KEYWORDS: myopia prevention and control; evidence-
based medical studies; effective methods; choroidal
thickness; evaluation index

Citation: Du DX, Song JK, Bi HS. Research progress of choroidal
thickness and myopia prevention and control. *Guoji Yanke Zazhi (Int
Eye Sci)* 2022;22(4):592-596

0 引言

近视是指外界的平行光线经过眼的屈光系统后落在
视网膜黄斑中心凹前方的屈光状态^[1]。近视已成为世界

瞩目的大问题,近 10a 近视的患病率越来越高, Holden 等^[2]预估 2050 年全世界近视患者的数量会达 47.5 亿, 近视防控刻不容缓。

脉络膜位于视网膜和巩膜之间,含有丰富的血管组织,能够滋养视网膜外层,其含有的丰富色素起到遮光暗房的作用。近视与脉络膜厚度变化有着密切关系,随着患者屈光度数的增加、眼轴的增长,脉络膜厚度呈现逐渐变薄趋势^[3-5]。脉络膜厚度是指视网膜色素上皮层到脉络膜与巩膜交界处之间的厚度^[6]。正常情况下黄斑中心凹脉络膜厚度(subfoveal choroidal thickness, SFCT)的范围为 272~448 μm 。距中心凹 6mm 处的几个方位从厚到薄厚度排序依次为上方、中心凹、颞侧、下方、鼻侧。目前临床领域借助增强深部成像的光学相干断层扫描(enhanced-depth imaging optical coherence tomography, EDI-OCT)能够对其厚度精准测量。Fujiwara 等^[5]研究发现,近视患者的黄斑中心凹下脉络膜厚度与屈光度呈负相关,近视度数每增加-1.00D, SFCT 下降 8.7 μm 。循证医学研究证实有效控制近视的方法(角膜塑形镜、近视离焦镜片、低浓度阿托品滴眼液、光照、后巩膜加固术)均呈现脉络膜增厚的效应,提示脉络膜增厚是近视控制的保护因素。

1 光学镜片

1.1 角膜塑形镜

角膜塑形镜(orthokeratology lens)是一种逆几何多弧设计的硬性角膜接触镜,能重塑角膜前表面形态,从而改变其屈光力,达到矫正近视的效果。研究显示,角膜塑形镜能有效延缓儿童青少年近视进展^[7-8]。目前其机制尚未阐明,普遍认为可能是人为改变了周边屈光状态。

诸多学者研究发现角膜塑形镜对脉络膜具有增厚作用, Jin 等^[9]和 Chen 等^[10]研究发现,角膜塑形镜治疗后,患者的脉络膜厚度变化差异较大,颞侧脉络膜厚度变化大于鼻侧。Jin 等^[9]发现 30 例近视儿童配戴角膜塑形镜 3mo 后, SFCT 增加 9.8 \pm 23.5 μm , 其中在中心凹的颞侧增加最多(13.5 \pm 22.5 μm), 中心凹的鼻侧增加最少(8.4 \pm 14.2 μm), 推测这可能是由于脉络膜鼻侧 3mm 处最靠近视盘, 脉络膜萎缩更明显, 从而厚度增加最少, 这与 Wang 等^[11]和唐文婷等^[12]的推测一致。Chen 等^[10]还发现 38 例近视儿童配戴角膜塑形镜 3wk 后每个区域的脉络膜厚度与基线呈比例增厚, 由此提出脉络膜厚度变化值与脉络膜厚度基础值密切相关。

目前,对于长期配戴角膜塑形镜后脉络膜厚度的变化结论尚不统一。唐文婷等^[12]和 Lee 等^[13]进行为期 1a 的研究发现,干预后的颞侧脉络膜厚度大于鼻侧。但不同的是, Lee 等^[13]发现 36 例近视患者 3mo 后脉络膜明显增厚, 在 6、12mo 时的脉络膜厚度值均接近基线; 而唐文婷等^[12]发现 252 例近视患者 1~3mo SFCT 持续变厚, 3mo 后保持稳定。对于长时间干预后脉络膜厚度的稳定性这一结果的差异分析可能与其研究样本量差异有关, 但仍然需要更多的研究来探究长期配戴角膜塑形镜对脉络膜厚度的影响。此外, 角膜塑形镜停戴后脉络膜厚度变化的随访观察也应该纳入相关研究。

诸多研究证实配戴角膜塑形镜后周边视网膜呈现相对近视离焦状态^[14-15], 故可以推测脉络膜厚度的增加可

能与配戴角膜塑形镜后视网膜离焦状态的改变有关。而脉络膜厚度区域变化的差异可能与其解剖因素有关, 因为脉络膜颞侧厚度本身大于鼻侧厚度, 所以干预后其变化也大于鼻侧。具体机制可能是由于角膜塑形镜改变了角膜屈光状态, 对光信号的传导产生了影响, 改变了脉络膜不同区域的血流变化, 因此脉络膜不同区域的血管增厚程度也不同。但关于角膜塑形镜对脉络膜的增厚作用仍存在争议。也有研究显示配戴角膜塑形镜对近视患者脉络膜厚度并无影响^[16-17]。González-Méijome 等^[15]对 9 例近视儿童在基线和配戴角膜塑形镜后每隔 3mo 测量脉络膜厚度变化, 结果发现脉络膜厚度在任一位置均无显著变化。连燕等^[17]发现 34 例配戴角膜塑形镜 1wk 后的儿童脉络膜厚度在任一区域没有明显的差别。针对以上研究结果, 或许与其研究的样本量过少及研究周期较短有关, 在未来的研究中, 应通过扩大样本量和研究周期验证配戴角膜塑形镜是否对脉络膜有增厚作用。

1.2 近视离焦镜片

近视离焦镜片为一种特殊设计的镜片, 在矫正中央屈光不正的同时还可以矫正近视眼的周边视网膜远视性离焦^[18]。早在 1995 年 Wallman 等^[19]在动物模型中发现近视离焦已显示出可减缓近视的进展, 研究发现当小鸡配戴正镜片时, 脉络膜厚度显著增加。对于近视离焦的机制, 研究发现典型的近视眼周边屈光度为相对远视, 而正视眼和远视眼周边屈光度为相对近视, 为使周边物像成像焦点落在视网膜上, 在儿童眼球发育过程中眼球向后方代偿性增长, 导致眼轴增长。而近视离焦会抑制眼轴的增长, 延缓近视的进展^[20-22]。

在人类中较短时间的近视离焦会使脉络膜快速且明显增厚^[23-25]。Wang 等^[23]发现 2h 的近视离焦(+3.00D 镜片)会引起近视儿童脉络膜相对增厚, 去除光学离焦后, 这些变化是可逆的, 而且对侧眼的脉络膜厚度不受影响。Hoseini-Yazdi 等^[24]对健康成年人进行+3.00D 球形近视离焦发现, 在暴露于近视离焦后 SFCT 持续增厚, 20min 后增厚 4 \pm 4 μm , 40min 后增厚 5 \pm 4 μm , 60min 后增厚 8 \pm 5 μm 。Chiang 等^[25]对 12 名受试者研究发现, 近视离焦眼(+2.00D 镜片)导致其 SFCT 在 60min 内增加约 20 μm 。上述研究脉络膜厚度变化的差异之大可能不仅与离焦程度和光照强度相关, 还可能受到脉络膜日常变化的影响^[26]。对于较长时间的近视离焦对人体脉络膜厚度的影响, Chakraborty 等^[27]研究发现单眼近视离焦破坏了人眼脉络膜厚度的日常变化, +1.50D 的镜片使 13 例近视患者脉络膜在离焦后第 1d 增厚 22 \pm 6 μm , 离焦后第 2d 增厚 27 \pm 9 μm , 离焦后第 3d 恢复正常。但是由于缺乏不同离焦程度的系统研究, 脉络膜厚度的变化是否与光学离焦度呈正比仍然未知。

Hoseini-Yazdi 等^[28]另一项研究还证实了人眼脉络膜对局部近视离焦的反应, 发现当仅上部视网膜暴露于近视离焦时, 脉络膜在上部区域增厚 7 \pm 8 μm , 在下部区域没有明显变化, 当仅下部视网膜暴露于近视离焦时, 脉络膜下部增厚 4 \pm 8 μm , 在上部区域未观察到显著变化。这一研究结果或许有利于未来光学离焦镜片的设计优化。此外, 研究发现周边离焦比中央离焦在眼球生长和屈光发育过程中起着更加重要的作用^[29], 但是现行研究主要聚焦于

中央离焦(单焦点镜片)对脉络膜厚度的增厚作用,对周边离焦镜片缺乏研究。目前周边离焦屈光度的测量在临床还未普及,规范化的周边离焦屈光度测量对于周边离焦镜片在未来的应用发展有着重要意义。

2 低浓度阿托品滴眼液

阿托品很早就被尝试用于控制近视发展,但因其副作用明显和作用机制尚不明确,限制了其临床应用。近年来低浓度阿托品被发现能有效控制近视发展,且临床上副作用发生率低,引起了学者广泛的关注^[30-31]。在动物实验中,阿托品已被发现可抑制由远视离焦引起的脉络膜变薄^[32]。阿托品防控近视的机制目前有非调节机制学说、M受体学说、脉络膜周边离焦学说等^[33]。

近年临床研究发现,阿托品在控制近视发展的同时,也会对脉络膜厚度产生显著影响。Zhang等^[34]发现1wk每天2次1%阿托品凝胶点眼能显著提高儿童眼部脉络膜厚度,其中在中心凹下侧变化最大($20.44 \pm 30.21 \mu\text{m}$),鼻侧变化最小($11.19 \pm 15.54 \mu\text{m}$)。Li等^[35]对中国上海市35例近视儿童用0.01%阿托品滴眼液治疗8wk前后脉络膜厚度进行测量,发现脉络膜厚度显示出明显且连续的增厚,在中央凹处变化最大,这与Zhang等^[34]研究结论一致。虽然两者应用阿托品的浓度不同,但是均在中心凹处发生了最大的变化。分析可能是由于中心凹处与药物接触的时间最长,受到最高的药物浓度,从而对脉络膜产生的作用最强。Sander等^[36]研究发现远视离焦导致近视成年人脉络膜显著变薄($-11 \pm 2 \mu\text{m}$),而联用0.01%阿托品滴眼液抑制了SFCT变薄($-4 \pm 8 \mu\text{m}$),在无远视离焦仅用0.01%阿托品单独治疗后,SFCT出现了轻微增厚($6 \pm 2 \mu\text{m}$)。Ye等^[37]还将较高浓度的阿托品与低浓度阿托品进行对比,发现每晚1次,连续1wk的1%阿托品会使中国近视患者脉络膜厚度明显增厚($24 \pm 13 \mu\text{m}$),且有眼轴长度和屈光度的改变,但0.01%的阿托品仅使脉络膜厚度轻微增加($6 \pm 9 \mu\text{m}$),其他生物测量指标未显示出显著变化。

研究认为,脉络膜厚度变薄与调节时睫状肌的收缩有关^[38],所以推测睫状肌在调节过程中被阿托品麻痹,导致睫状肌舒张受限,脉络膜由此增厚。Cooper等^[39]研究不同浓度阿托品对近视患者的副作用,发现诸多浓度的阿托品中,0.02%阿托品是不出现临床症状的最高浓度。找到在安全范围使脉络膜增厚最大范围的阿托品浓度对近视的防控有着重要意义。虽然其副作用相对于较高浓度阿托品少,但潜在副作用仍然需要警惕,其安全性还需要长时间的临床验证。

3 光照

研究表明,眼部的屈光发育受到不同的光谱组成和光强度、光照周期、频闪等多种因素的影响^[40]。增加室外时间和更多的曝光时间可以减少近视的发生^[41-42]。澳大利亚和新加坡的流行病学调查研究发现,防控近视的关键在于户外,而不是活动。然而,户外光的保护作用机制也尚未阐明。

目前尚缺乏直接的户外活动对脉络膜厚度影响的研究,已有研究表明人为增加光照也会对脉络膜厚度产生一定的影响。Read等^[43]对22例近视受试者进行连续7d,每天配戴30min的光疗眼镜(506lx),发现其SFCT显著增

加($5.4 \pm 10 \mu\text{m}$)。2021年最新的一项研究中将6~16岁近视儿童分为3组,分别进行低强度激光治疗、角膜塑形镜治疗、框架眼镜治疗,6mo后脉络膜厚度变化依次为 35.30 ± 31.75 、 14.98 ± 22.50 、 $-16.84 \pm 7.85 \mu\text{m}$,表明光疗对脉络膜厚度的增厚作用,且增厚效果优于角膜塑形镜^[44]。对于不同光照强度对脉络膜厚度的影响在人和动物中均有研究。Lan等^[45]发现小鸡的脉络膜厚度在光照(15000lx)的环境下比光照(500lx)的环境下增厚更加明显。而Ahn等^[46]在5个晚上20:00~0:00将27例近视患者置于光照实验室中,结果发现暴露前3个晚上照明(1000lx)后的SFCT显著低于后2个晚上照明(150lx)后。分析可能是因为期间脉络膜厚度的变化还受到光照波长和频率等其它因素的影响。不同波长的光也会对脉络膜厚度产生不同的影响,Lou等^[47]将受试者置于窄带短波(蓝光)或长波(红光)或黑暗中1h,发现短期暴露于长波(红光)下会引起脉络膜厚度显著变薄,而短波(蓝光)则没有影响。目前可以确定的是户外活动能够防控近视,光照能够影响脉络膜厚度的变化,但是光照与脉络膜增厚程度之间的具体关系尚不清楚。

以上研究表明,光照对脉络膜增厚的影响不仅与光照强度相关,还受光照的波长及频率的影响,找到使脉络膜增厚又不造成儿童眼睛损伤的最适宜光照强度、波长及频率是将来防控近视努力的方向。阳光下户外活动和人为光照存在区别,但是目前尚缺乏直接的阳光下户外活动对脉络膜厚度影响的研究。阳光下户外活动虽已经明确能够降低近视的发生率,但户外活动具体适宜的时长、频率及时间段也还不明确,是否会受到季节和地区的影响也是我们未来需要探究的问题。

4 后巩膜加固术

后巩膜加固术(posterior scleral reinforcement, PSR)术能够有效减缓近视发展,特别是对于高度近视。其是由学者Shevelev最先提出的一种手术方式,主要是通过机械加固、改善血供、促进胶原增生以及减轻牵拉来机械增强巩膜,阻止轴向长度拉长,减缓近视进一步发展^[48-49]。

研究表明,PSR术也会对脉络膜厚度产生一定的影响。Peng等^[50]对38眼病理性近视成人行PSR术后,在进行3a的随访时发现PSR术组的脉络膜厚度趋于相对稳定,而未接受PSR术治疗的近视程度相匹配的成年人(30眼)的脉络膜厚度与基线时相比从1mo~3a逐渐变薄。许军等^[51]对行PSR术的病理性近视患者34例随访2a,其术前SFCT为 $122.4 \pm 31.9 \mu\text{m}$,术后第1mo SFCT增厚到 $134.4 \pm 32.9 \mu\text{m}$,且2a内脉络膜厚度没有回退现象。而张熙芳等^[52]对病理性近视患者10例20眼进行检测发现,行PSR术后60d浅层及深层视网膜血流明显增加,脉络膜厚度无明显变化,分析可能与其研究对象数量过少和时间过短有关。

目前,PSR术后对脉络膜厚度的影响研究较少,且现进行研究的样本量小,尚不能确定其作用的稳定性。在未来的研究中可以建立PSR术对脉络膜厚度影响的大样本病例库,将脉络膜厚度和血流密度作为术后疗效评价指标进行长期的随访研究。

5 总结与展望

综上,角膜塑形镜、近视离焦镜片、阿托品药物治疗等近视防控措施均会对脉络膜厚度造成一定影响。目前有关 PSR 术的研究较少,尚不能确定其作用的稳定性。此外,虽然人为增加光照对脉络膜厚度的影响已确定,但还不能直接证明阳光下户外活动对脉络膜厚度的影响,仍然需要进一步研究。而且在研究期间,脉络膜厚度的变化可能受到血压、心率、温度及检测时间的影响,在以后的研究中应该注意此类问题。同时应该着重观察脉络膜厚度及眼轴变化之间的联系,验证脉络膜厚度变薄是否是眼轴增长

的信号。近年来,研究发现近视患者不仅脉络膜厚度变薄,且脉络膜血流密度也降低^[53-54]。随着光学相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)的发展,无创、快速、可分层、可量化的眼底血流研究已成为可能。将脉络膜厚度和血流的改变作为评价近视发生、发展的即时疗效指标,将儿童青少年屈光发育过程中屈光度和眼轴长度的变化作为远期临床疗效评价指标是我们未来研究的重点方向。

参考文献

- 魏瑞华, 鹿大千, 金楠, 等. 国际近视研究学会(IMI)近视防控研究白皮书解读. 眼科新进展 2019;39(8):701-713
- 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
- Shin JW, Shin YU, Cho HY, et al. Measurement of choroidal thickness in normal eyes using 3D OCT-1000 spectral domain optical coherence tomography. *Korean J Ophthalmol* 2012;26(4):255-259
- Flores-Moreno I, Lugo F, Duker JS, et al. The relationship between axial length and choroidal thickness in eyes with high myopia. *Am J Ophthalmol* 2013;155(2):314-319.e1
- Fujiwara T, Imamura Y, Margolis R, et al. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in highly myopic eyes. *Am J Ophthalmol* 2009;148(3):445-450
- Fujiwara A, Shiragami C, Shirakata Y, et al. Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography of subfoveal choroidal thickness in normal Japanese eyes. *Jpn J Ophthalmol* 2012;56(3):230-235
- Huang JH, Wen DZ, Wang QM, et al. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: a network meta-analysis. *Ophthalmology* 2016;123(4):697-708
- 陈晓琴, 刘金丽, 张姝贤, 等. 青少年近视患者配戴角膜塑形镜5年的有效性及安全性. 眼科新进展 2021;41(3):236-239
- Jin WQ, Huang SH, Jiang J, et al. Short term effect of choroid thickness in the horizontal meridian detected by spectral domain optical coherence tomography in myopic children after orthokeratology. *Int J Ophthalmol* 2018;11(6):991-996
- Chen Z, Xue F, Zhou JQ, et al. Effects of orthokeratology on choroidal thickness and axial length. *Optom Vis Sci* 2016;93(9):1064-1071
- Wang SM, Wang Y, Gao XM, et al. Choroidal thickness and high myopia: a cross-sectional study and meta-analysis. *BMC Ophthalmol* 2015;15:70
- 唐文婷, 田美, 张莉, 等. 角膜塑形镜对近视青少年脉络膜厚度的影响研究. 中国眼耳鼻喉科杂志 2021;21(1):29-33
- Lee JH, Hong IH, Lee TY, et al. Choroidal thickness changes after

- orthokeratology lens wearing in young adults with myopia. *Ophthalmic Res* 2021;64(1):121-127
- 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
- González-Méjome JM, Faria-Ribeiro MA, Lopes-Ferreira DP, et al. Changes in peripheral refractive profile after orthokeratology for different degrees of myopia. *Curr Eye Res* 2016;41(2):199-207
- Gardner DJ, Walline JJ, Mutti DO. Choroidal thickness and peripheral myopic defocus during orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2015;92(5):579-588
- 连燕, 金婉卿, 毛欣杰, 等. 框架眼镜与角膜塑形镜矫正的近视儿童脉络膜厚度差异比较研究. 眼科新进展 2017;37(5):431-434
- 张勇, 万川, 潘红飘, 等. 减少旁中心远视离焦镜片治疗儿童近视的疗效观察. 眼科新进展 2016;36(10):967-969
- Wallman J, Wildsoet C, Xu A, et al. Moving the Retina: choroidal modulation of refractive state. *Vision Res* 1995;35(1):37-50
- 刘长辉, 魏栋栋, 梁玲. 配戴减少周边远视离焦眼镜对近视儿童眼部参数的影响. 国际眼科杂志 2019;19(5):878-880
- Lam CSY, Tang WC, Tse DYY, et al. Defocus Incorporated Soft Contact (DISC) lens slows myopia progression in Hong Kong Chinese schoolchildren: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol* 2014;98(1):40-45
- 郭寅, 田飞飞, 吴敏, 等. 周边离焦设计框架眼镜对学龄儿童近视进展的影响: 四年回顾分析. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2021;23(4):267-271
- Wang DY, Chun RK, Liu ML, et al. Optical defocus rapidly changes choroidal thickness in schoolchildren. *PLoS One* 2016;11(8):e0161535
- Hoseini-Yazdi H, Vincent SJ, Read SA, et al. Astigmatic defocus leads to short-term changes in human choroidal thickness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020;61(8):48
- Chiang STH, Phillips JR, Backhouse S. Effect of retinal image defocus on the thickness of the human choroid. *Ophthalmic Physiol Opt* 2015;35(4):405-413
- Usui S, Ikuno Y, Akiba M, et al. Circadian changes in subfoveal choroidal thickness and the relationship with circulatory factors in healthy subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53(4):2300-2307
- Chakraborty R, Read SA, Collins MJ. Monocular myopic defocus and daily changes in axial length and choroidal thickness of human eyes. *Exp Eye Res* 2012;103:47-54
- Hoseini-Yazdi H, Vincent SJ, Collins MJ, et al. Regional alterations in human choroidal thickness in response to short-term monocular hemifield myopic defocus. *Ophthalmic Physiol Opt* 2019;39(3):172-182
- Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron* 2004;43(4):447-468
- Chua WH, Balakrishnan V, Chan YH, et al. Atropine for the treatment of childhood myopia. *Ophthalmology* 2006;113(12):2285-2291
- Polling JR, Kok RGW, Tideman JW, et al. Effectiveness study of atropine for progressive myopia in Europeans. *Eye (Lond)* 2016;30(7):998-1004
- Nickla DL, Zhu XY, Wallman J. Effects of muscarinic agents on chick choroids in intact eyes and eyecups: evidence for a muscarinic mechanism in choroidal thinning. *Ophthalmic Physiol Opt* 2013;33(3):245-256
- 李蔚然, 周激波. 阿托品在近视防控中的应用研究进展. 国际眼科纵览 2019;43(2):133-137
- Zhang ZW, Zhou YT, Xie ZF, et al. The effect of topical atropine on

the choroidal thickness of healthy children. *Sci Rep* 2016;6:34936

35 Li W, Jiang R, Zhu Y, *et al.* Effect of 0.01% atropine eye drops on choroidal thickness in myopic children. *J Fr Ophthalmol* 2020;43(9):862-868

36 Sander BP, Collins MJ, Read SA. Short-term effect of low-dose atropine and hyperopic defocus on choroidal thickness and axial length in young myopic adults. *J Ophthalmol* 2019;2019:4782536

37 Ye LY, Li SS, Shi Y, *et al.* Comparisons of atropine versus cyclopentolate cycloplegia in myopic children. *Clin Exp Optom* 2020;104(2):143-150

38 Woodman EC, Read SA, Collins MJ. Axial length and choroidal thickness changes accompanying prolonged accommodation in myopes and emmetropes. *Vision Res* 2012;72:34-41

39 Cooper J, Eisenberg N, Schulman E, *et al.* Maximum atropine dose without clinical signs or symptoms. *Optom Vis Sci* 2013;90(12):1467-1472

40 唐国栋, 宋继科, 解孝锋, 等. 光照对屈光发育的影响研究. 国际眼科杂志 2021;21(4):636-639

41 Rose KA, Morgan IG, Ip J, *et al.* Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology* 2008;115(8):1279-1285

42 Pan CW, Wu RK, Li J, *et al.* Low prevalence of myopia among school children in rural China. *BMC Ophthalmol* 2018;18(1):140

43 Read SA, Pieterse EC, Alonso-Caneiro D, *et al.* Daily morning light therapy is associated with an increase in choroidal thickness in healthy young adults. *Sci Rep* 2018;8(1):8200

44 Xiong F, Mao T, Liao HF, *et al.* Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children. *Biomed*

Res Int 2021;2021:8915867

45 Lan WZ, Feldkaemper M, Schaeffel F. Bright light induces choroidal thickening in chickens. *Optom Vis Sci* 2013;90(11):1199-1206

46 Ahn J, Ahn SE, Yang KS, *et al.* Effects of a high level of illumination before sleep at night on chorioretinal thickness and ocular biometry. *Exp Eye Res* 2017;164:157-167

47 Lou LJ, Ostrin LA. Effects of narrowband light on choroidal thickness and the pupil. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020;61(10):40

48 刘修铎, 吕嘉华, 褚仁远. 后巩膜加固术治疗高度近视眼的远期临床疗效观察. 中华眼科杂志 2011;47(6):527-530

49 Wang GH, Chen WY. Effects of mechanical stimulation on viscoelasticity of rabbit scleral fibroblasts after posterior scleral reinforcement. *Exp Biol Med (Maywood)* 2012;237(10):1150-1154

50 Peng C, Xu J, Ding XY, *et al.* Effects of posterior scleral reinforcement in pathological myopia: a 3-year follow-up study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2019;257(3):607-617

51 许军, 彭程, 杨德琪, 等. 后巩膜加固术对病理性近视球后血管血流动力学及脉络膜厚度的影响. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2016;18(5):264-268

52 张熙芳, 乔利亚, 李晓霞, 等. 病理性近视眼患者后巩膜加固术后视网膜及脉络膜厚度与血流改变的初步研究. 中华眼科杂志 2017;53(1):39-45

53 Fan H, Chen HY, Ma HJ, *et al.* Reduced macular vascular density in myopic eyes. *Chin Med J (Engl)* 2017;130(4):445-451

54 Wang Q, Chan S, Yang JY, *et al.* Vascular density in *Retina* and choriocapillaris as measured by optical coherence tomography angiography. *Am J Ophthalmol* 2016;168:95-109