

·综述·

儿童远视储备影响因素研究进展

赵梦雅 朱懿 许韶君 陶芳标

安徽医科大学公共卫生学院儿少卫生与妇幼保健学系/出生人口健康教育部重点实验室, 合肥 230032

通信作者: 许韶君, Email: xushaojun@ahmu.edu.cn

【摘要】 近年来,我国儿童青少年的近视问题呈现普遍化、低龄化、重度化趋势,近视发生前的远视储备受到越来越多的关注。远视储备过早消耗是近视快速和过早发生的预测因素,儿童远视储备消耗受很多因素影响,如妊娠并发症、孕期营养、早产、母乳喂养、生长速度、户外活动、视近作业和睡眠等。本文通过对儿童远视储备的生理变化及其影响因素进行综述,旨在为儿童青少年近视防控抓早抓小提供科学依据。

【关键词】 近视; 儿童; 远视储备; 影响因素**基金项目:**国家重点研发计划(2021YFC2702100);安徽高校自然科学基金项目(KJ2020A0206)**Research progress on influencing factors of hyperopia reserve in children**

Zhao Mengya, Zhu Yi, Xu Shaojun, Tao Fangbiao

Department of Maternal, Child and Adolescent Health, School of Public Health, Anhui Medical University/Key Laboratory of Population Health Across Life Cycle, Ministry of Education, Hefei 230032, China

Corresponding author: Xu Shaojun, Email: xushaojun@ahmu.edu.cn

【Abstract】 In recent years, myopia among children and adolescents has become widespread, younger, and more severe in China. As the predecessor of the onset of myopia, hyperopia reserve has received increasing attention. Premature depletion of the hyperopia reserve predicts myopia's rapid and premature onset. Depleting the hyperopia reserve in children is influenced by many factors, such as pregnancy complications, pregnancy nutrition, premature birth, breastfeeding, growth velocity, outdoor activities, prolonged work and sleeping. This paper reviews the physiological changes in children's hyperopia reserve and the factors influencing children's hyperopia reserve, aiming to provide evidence for the prevention and control of myopia in children and adolescents at an early age.

【Key words】 Myopia; Child; Hyperopia reserve; Influencing factors**Fund programs:** National Key Research and Development Program of China (2021YFC2702100); Natural Science Foundation of the Higher Education Institutions of Anhui Province (KJ2020A0206)

随着近视患病率在世界范围内急剧增加,近视已经成为一种全球流行病,及早发现近视的发生发展对近视防控至关重要^[1]。中国儿童青少年近视患病率位居世界前位,且呈逐年上升和低龄化趋势,已成为影响中国儿童青少年健康素质的重要问题和全社会关注的焦点^[2]。新生儿的眼球通常处于远视状态,随着儿童生长发育,远视度数逐渐降

低而趋于正视,比较理想的情况是儿童到12岁左右由远视眼发育成正视眼^[3]。相对于近视来说,正视化前的远视储备(hyperopia reserve)是与年龄及生长发育相适应的远视状态,实质上就是“对抗”未来可能发展成为近视的“缓冲区”,如果远视储备消耗过多,正视化过程提早结束,则极易发展成为近视眼^[3]。近视发生前的远视储备研究受到越来越多

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220420-00324

收稿日期 2022-04-20 本文编辑 万玉立

引用格式: 赵梦雅, 朱懿, 许韶君, 等. 儿童远视储备影响因素研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2022, 43(10): 1671-1676. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220420-00324.

Zhao MY, Zhu Y, Xu SJ, et al. Research progress on influencing factors of hyperopia reserve in children[J]. Chin J Epidemiol, 2022, 43(10): 1671-1676. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220420-00324.



的关注,本文对儿童远视储备影响因素研究进展进行综述,旨在为保护儿童青少年远视储备提供科学依据。

一、儿童远视储备的生理变化

远视储备通常以正视化过程中存在的远视度数,即等效球镜度(spherical equivalent, SE)表示^[4]。《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)》认为,准确测量远视储备须在充分麻痹睫状肌的基础上进行验光,6岁儿童的远视储备平均为1.38 D,随后远视储备每年以平均0.12 D的速度减少,9岁(0.88 D)较8岁(1.25 D)下降速度最为明显(0.37 D),12岁时进入正视眼的屈光度数范围(0.50 D),15岁时约为0.31 D;远视储备是眼轴长度(axial length, AL)与角膜及晶状体等参数之间动态匹配的结果,了解儿童眼球发育过程中远视储备相关参数的生理变化,对近视眼防控工作至关重要^[5]。

AL随儿童年龄的增加而增长,6岁时约为22.46 mm,随后每年以平均0.09 mm的速度增长,8岁(22.78 mm)较7岁(22.56 mm)增长速度最为明显(0.22 mm),15岁时AL约为23.39 mm^[5]。研究显示,儿童的SE与AL呈负相关,随着儿童年龄增长,AL增长,眼球的远视储备减少^[6]。

AL和角膜曲率半径(corneal curvature radius, CR)之间的比率,即轴率比(AL/CR)也是远视储备的一个重要参考指标。He等^[7]的研究显示,AL/CR随儿童年龄的增加而增加,4岁男童和女童的AL/CR分别为2.85和2.83,15岁男童和女童的AL/CR分别为3.19和3.17。胡学敏等^[8]对6~12岁儿童调查发现,SE减少伴随着AL增长及AL/CR增加,AL每增长1 mm,SE减少1.138 D;AL/CR每增加0.1个单位,SE减少1.119 D。

AL和AL/CR对近视预测都具有较高准确性,结合年龄和性别后,AL/CR预测近视的准确性高于AL,AL/CR和AL联合预测的准确性最高^[7]。定期监测儿童SE并结合AL和AL/CR联合预测,有助于早发现儿童远视储备过快消耗的倾向或征兆,及时采取近视防控措施。

二、儿童远视储备的影响因素

1. 妊娠并发症:妊娠并发症可能会改变子代眼球发育,影响远视储备的消耗。国内外研究发现,妊娠期糖尿病可能导致子代视网膜发育异常,是子代远视储备消耗和近视发生发展的危险因素之一。一项对丹麦儿童25年的随访研究发现,与未暴露于母体糖尿病的子代相比,暴露于母体糖尿病的子代患近视、远视和散光的风险增加39%,其成年后近视的风险更高($HR=1.34, 95\%CI: 1.08\sim 1.66$)^[9]。西班牙的一项观察性研究也发现,暴露于妊娠期糖尿病孕母所生子女近视和远视的发病率更高^[10]。Tariq等^[11]的调查发现,暴露于母体糖尿病的子代黄斑区内层和外层视网膜厚度较薄,黄斑体积较小,表明母体糖尿病可能会影响子代的视网膜发育。鸡胚实验研究发现,胚胎期暴露于高血糖环境会影响视网膜和晶状体的发育,在胚胎发育第1天注射高浓度葡萄糖,可导致第5天47.3%的胚眼畸形,这与调节早期眼球发育的关键基因Pax6表达下调有关^[12]。动物模型研

究发现,斑马鱼胚胎在受精后24~48、72~96和96~120 h分别接受4% D-葡萄糖暴露,其胚胎视网膜会发生不同的变化:在胚胎受精后24~48 h,视网膜神经上皮层厚度降低了17.3%;受精后72~96 h,视网膜内核层厚度增加了16%;受精后96~120 h,视网膜神经节细胞层厚度与内核层厚度分别增加了49%、50%,提示斑马鱼胚胎生长发育不同时间点在高糖暴露下对胚胎视网膜细胞层的发育有不同影响,并且这种影响可能会持续到成年期^[13]。以上研究表明暴露于母体妊娠期糖尿病可能对子代的视网膜发育造成影响,进一步导致儿童青少年屈光发育异常。

此外,妊娠期高血压也是一项风险因素,可能对子代的眼部发育造成不良影响。一项3 748对母子队列的随访研究发现,患有妊娠期高血压的孕母所生子女6岁时的视网膜小动脉口径较窄,而父亲血压则与儿童视网膜血管口径无关^[14]。除视网膜血管外,母亲妊娠期高血压还可能影响子代的视网膜厚度。Zhao等^[15]的调查显示,暴露于妊娠期高血压孕母所生子女5~6岁的黄斑厚度、视网膜神经纤维层厚度和神经节细胞内丛状层厚度较薄,而AL与这些变化呈负相关。

2. 孕期营养:孕期母亲营养状况对子代的视力也有影响,其中叶黄素和玉米黄质是对眼健康至关重要的类胡萝卜素。一项82对母婴胎盘、母血和脐带血中的类胡萝卜素水平检测结果显示,胎盘叶黄素和玉米黄质水平与母血和脐带血的水平显著相关,且母血到胎儿血液的叶黄素和玉米黄质转移率为16.0%,是所有类胡萝卜素中最高的^[16]。一项对母体类胡萝卜素水平与婴儿黄斑色素密度的研究发现,母血的玉米黄质水平与婴儿黄斑色素密度相关($r=0.59, P=0.032$),表明母体营养状况可能会影响婴儿黄斑发育^[17]。Lai等^[18]的调查发现,分娩时母血的叶黄素和玉米黄质水平与子代3岁时的视力存在关联,其中,母体玉米黄质水平较高与儿童视力不良风险较低相关,且母体叶黄素水平与儿童视力之间呈“U”形关联。但也有研究显示,母亲妊娠早期和晚期的叶黄素和玉米黄质摄入量与子代11~12岁时的视觉功能不存在关联,原因可能是孕期母亲摄入叶黄素和玉米黄质对子代视觉功能的影响仅在生命早期表现出来^[19]。

3. 早产:近年来关于早产对儿童屈光状态的关联性研究表明,早产可能会引起眼球屈光发育异常,影响远视储备的消耗。Semeraro等^[20]的研究发现,早产儿患先天性近视的风险比足月儿高4倍。早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity, ROP)常见于早产儿,是一种血管增生性视网膜病变,会影响早产儿的视网膜血管发育,导致牵拉性视网膜脱离和失明^[21]。研究发现,ROP组早产儿前房更浅,晶状体更厚,角膜屈光力更高,且SE与ROP病情轻重密切相关,ROP组患儿中Ⅱ区亚组的SE小于Ⅲ区亚组^[22]。Zhu等^[23]调查126名6岁儿童的屈光状态发现,有无轻度ROP的早产儿都易发生近视和散光,且与足月儿相比,早产儿的AL较短。Uporety等^[24]的研究发现,与足月儿相比,未发生ROP的早产儿在出生后6个月时表现出向近视转变的趋势,并表现出

比足月儿更大的散光和屈光参差。另一项研究也表明,ROP和早产共同影响8岁组早产儿的屈光状态,其中早产起主要作用,8岁组早产儿及ROP患儿的AL较足月儿短,更易发生近视和散光^[25]。早产儿和ROP患儿的近视可能不是通过AL增长实现的,而是角膜曲率、前房深度及晶状体屈光力等屈光参数发育及匹配共同作用的结果^[26]。早产儿出生时眼部生物学参数发育差,随年龄增长,早产儿正视化较足月儿快,可能是由于眼球屈光参数之间的不匹配,使得AL增长与晶状体变化不能使眼球向正视化方向发展等,导致AL增长加快,早期近视形成^[27]。目前发现早产对儿童屈光发育有影响,一些研究将其归因于ROP、早产儿眼部发育不全和后期正视化过程加速等,未来需要更多的研究来证实早产对远视储备的影响机制。

4. 母乳喂养:越来越多的研究关注到母乳喂养与SE之间的关联,但研究结论目前尚不一致。一项对6~12岁儿童的横断面研究发现,母乳喂养儿童的近视患病率(51.8%)低于非母乳喂养儿童(64.7%),母乳喂养时间不足6个月的儿童比非母乳喂养儿童具有更高的远视度数,其SE比非母乳喂养儿童高0.653 D,但母乳喂养与AL无关,这种关联可能仅存在于儿童时期^[28]。Aksoy等^[29]调查一、二年级小学生出生前6个月的喂养类型结果发现,与混合喂养和纯母乳喂养的儿童相比,非母乳喂养儿童的屈光不正更为常见。一项前瞻性队列研究通过问卷调查获得儿童在出生后2、6和12个月时的喂养情况,在6岁时测量儿童视网膜小动脉和小静脉的口径结果发现,未进行母乳喂养的儿童视网膜血管口径较窄,表明母乳成分可能对视网膜发育有益处,但没有观察到母乳喂养时间与视网膜血管口径之间的关联^[30]。可能是由于母乳中含有二十二碳六烯酸和花生四烯酸等长链多不饱和脂肪酸和必需维生素,有利于提升婴儿视神经早期发育水平^[31]。尽管有研究发现母乳喂养对屈光发育是保护性因素,但也有学者对此提出异议。Owen等^[32]对31家医院进行整群随机试验的随访发现母乳喂养与儿童青少年16岁时的视力之间不存在关联。一项对2 346名七年级学生的研究发现,在调整混杂因素后,母乳喂养与近视之间的关联不显著($OR=0.75, 95\%CI: 0.55\sim 1.04, P=0.09$)^[33]。造成研究结果差异的一个重要原因可能是研究对象的年龄和种族不同,为进一步探讨母乳喂养和远视储备之间的关联,建议使用更大的样本量进行更多的队列研究,探索母乳喂养与SE、AL、AL/CR等其他眼部生物学参数之间的关系,以确定母乳喂养与远视储备的影响机制。

5. 生长速度:近视与儿童生长速度的关系早在1954年就引起了Gardiner^[34]的关注,近视儿童的身高和体重增长速度更快,并且其生长速度和近视进展速度呈一致性。一项对新加坡6~14岁儿童的调查结果显示,身高增长高峰出现越早的儿童,AL和SE变化速度越快,近视发生的年龄越早^[35]。儿童2.5~10岁的身高增长速度与15岁时的屈光不正呈负相关,与AL呈正相关,身高增长速度比平均值高出一个标准差的儿童,其SE的变化为-0.06 D,表明身高增长

速度高于平均水平的儿童发生近视的风险更高^[36]。一项3年的随访研究发现,7~9岁儿童的身高增长与AL增长相关,但与SE变化无关^[37]。国内另一项随访5年的队列研究也发现,6~9岁儿童的身高增长与AL增长呈正相关,特别是新发近视儿童的AL增长与身高增长呈显著相关($r=0.289, P=0.009$)^[38]。一项双生子研究表明,AL增长和身高增长可能部分由共同遗传基因介导^[39]。Tideman等^[40]研究发现,较高的身高和较重的出生体重与较长的AL和较大的CR相关,儿童6岁时的体重与AL和AL/CR存在正向关联,提示身体发育和眼生物学参数之间可能存在共同的遗传背景。除了基因,激素也起着重要作用。如胰岛素样生长因子(IGF-1)也可能加速近视的发生^[41]。

6. 行为与生活方式:

(1)户外活动:增加户外活动时间延缓近视发生发展已经成为专家共识。平均日照时间更长的儿童,AL增长和SE变化更为缓慢^[42]。中国广州市的一项整群随机对照试验发现,通过在学校每天增加40 min的户外活动,可降低6岁儿童未来3年的近视发病率^[43]。另一项对照试验发现,通过鼓励干预组一年级儿童每周进行至少11 h的户外活动,1年后随访发现,与对照组相比,干预组的SE变化和AL增长更少(0.35 D vs. 0.47 D; 0.28 mm vs. 0.33 mm),且近视快速进展的风险降低54%^[44]。并且从3岁开始,户外活动时间越长,发生近视的风险就越低,增加3~9岁儿童在户外活动的时间与10~15岁的近视发病率降低有关^[45]。增加户外时间可有效预防低龄儿童近视的发生以及延缓近视发展,与11~12岁组的儿童相比,6岁组儿童户外活动对近视的保护作用更强,表明低龄儿童的眼球发育可能对户外活动更敏感^[46]。多巴胺作为近视发生发展过程中一种重要的视网膜神经递质,在实验性近视动物模型眼中发现,视网膜多巴胺水平下降,而通过向玻璃体内注射多巴胺受体激动剂可以抑制实验性近视的发展;流行病学研究也发现长时间户外活动可以减少儿童青少年罹患近视的概率,并推测这种保护作用极有可能是通过增加多巴胺释放来介导的^[47]。通过户外活动接触阳光,阳光刺激视网膜分泌多巴胺,可以保护儿童青少年的远视储备,进而延缓近视发生发展。

(2)视近作业(near work):儿童视近作业包括近距离读写、使用电子产品等行为。研究发现,与非近视的五年级儿童相比,近视儿童平均每天在不足20 cm的近距离读写上花费的时间为(1.89±0.61) h,高于非近视儿童的(1.52±0.77) h^[48]。Huang等^[49]比较了读写距离、读写时间和户外活动对9~11岁儿童近视进展的影响,结果发现近距离读写<30 cm、持续近距离读写>0.50 h和户外活动时间较少的儿童在6个月后的近视度数更高、近视进展速度更快。除了近距离读写,长时间使用电子产品也可能会带来较高的近视风险。一项对6~14岁儿童近视度数的调查结果发现,使用智能手机和电脑的时间每增加1 h,SE分别降低0.28 D($P=0.042$)和0.33 D($P=0.018$),且不同类型的电子产品与SE的变化程度不同^[50]。与每天使用智能手机和平板电脑的时间均<2 h的

8~14 岁儿童相比,每天使用智能手机时间 ≥ 2 h 且每天使用平板电脑时间 < 2 h 的儿童表现出更大的近视进展,其 1 年的 SE 变化分别为 0.25 D 和 0.09 D^[51]。表明长时间使用智能手机的儿童其远视储备消耗更快、近视发生发展风险更高。长时间的视近作业使睫状肌持续收缩引起痉挛,导致眼球调节力下降,在远距离用眼时晶状体不能及时复原,视网膜处于持续离焦状态,进而诱导近视的发生^[52]。此外,视近作业时间增加,意味着户外活动时间减少,这可能也是远视储备消耗过快的一个重要原因。

(3)睡眠:关于睡眠与 SE 的研究结果目前尚不一致。韩国国家健康和营养调查发现,12~19 岁儿童青少年的睡眠时间和近视呈负相关^[53]。Ostrin 等^[54]的调查发现,澳大利亚 10~15 岁近视儿童的睡眠持续时间不稳定,睡眠潜伏期更短。Liu 等^[55]的调查显示,晚睡的 6~9 岁儿童是近视发生的高危群体,21:30 以后就寝的儿童 2 年的 SE 变化比 21:30 之前就寝的儿童平均高 0.16 D,晚睡使儿童更长时间暴露在人工照明条件下,在室内会花更多的时间进行视近作业,如阅读或视屏,从而增加了近视发生的风险。但 Wei 等^[56]的研究在调整了混杂因素后,未发现小学生的睡眠时间和就寝时间与 SE 变化及 AL 增长之间存在关联。一项对儿童 2 岁时的睡眠时间和 5 岁时戴眼镜的研究结果显示二者存在“U”形关联,即 2 岁时的睡眠时间不足或过长均与 5 岁时屈光不正的风险增加相关^[57]。学龄前儿童对睡前 1 h 的光暴露高度敏感,即使是最低水平的光暴露(5~40 lux),学龄前儿童褪黑素水平也会平均下降 77.5%^[58]。Quinn 等^[59]的研究也发现,2~16 岁儿童近视和高度近视的患病率与 2 岁前暴露在夜间光照环境下有关。动物模型研究表明,夜间光线可导致昼夜节律紊乱,改变 AL 和脉络膜厚度,进而引起屈光不正^[60]。

三、总结与展望

近视一旦发生则不可逆转。儿童近视发病年龄及近视进展持续时间是高度近视最重要的预测因素^[61]。0~12 岁是儿童视觉发育的敏感期,对敏感期儿童及早进行眼保健和视力检查、定期随访及矫正近视屈光不正,将有助于减少近视增长过快所导致的眼部并发症,降低高度近视致盲的风险^[62]。

学龄儿童近视进展更快,更有可能发展为高度近视或病理性近视,近视防控从学龄前就要抓起,监测儿童远视储备,以防止早发性近视和高度近视的发生和发展^[4]。近视防控关口前移,抓早抓小,关注儿童可能影响远视储备消耗的危险因素,及早预防和控制儿童可控性眼病及屈光不正的发展。对怀疑远视储备不足、有近视高危因素者,应当予以高危预警,重点干预^[3]。

当前,我国尚缺乏高质量、大样本、有代表性的出生队列从生命历程不同阶段探究近视的发育起源。基于队列特别是出生队列的研究有助于深入理解生命不同阶段的暴露或生长发育特征对远视储备的影响,阐明生命历程不同阶段的生物和社会因素以及生命早期危险因素如何以独立、

累积以及交互作用等方式影响儿童近视的发生和进展^[63]。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Bremond-Gignac D. Myopia in children[J]. Med Sci (Paris), 2020, 36(8/9):763-768. DOI:10.1051/medsci/2020131.
- [2] 陶芳标, 潘臣炜, 伍晓艳, 等. 户外活动防控儿童青少年近视专家推荐[J]. 中国学校卫生, 2019, 40(5):641-643. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2019.05.001.
- [3] Tao FB, Pan CW, Wu XY, et al. Expert recommendation for outdoors activities as myopia prevention and control in children and adolescents[J]. Chin J Sch Health, 2019, 40(5): 641-643. DOI: 10.16835/j.cnki. 1000-9817.2019. 05.001.
- [4] 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]. (2021-10-11)[2021-12-25]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s5899tg/202110/65a3a99c42a84e3f8a11f392d9fea91e.shtml>.
- [5] Li SM, Wei SF, Atchison DA, et al. Annual incidences and progressions of myopia and high myopia in Chinese schoolchildren based on a 5-year cohort study[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2022, 63(1): 8. DOI: 10.1167/iiov. 63.1.8.
- [6] 中华预防医学会公共卫生眼科学分会. 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.
- [7] 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.
- [8] Li SM, Li SY, Kang MT, et al. Distribution of ocular biometry in 7- and 14-year-old Chinese children[J]. Optom Vis Sci, 2015, 92(5): 566-572. DOI: 10.1097/OPX. 0000000000000570.
- [9] 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, 2021:bjophthalmol-2021-319431. DOI:10.1136/bjophthalmol-2021-319431.
- [10] 胡学敏, 周炼红, 金小琴, 等. 6~12 岁儿童眼轴长度、角膜曲率半径及其比值与等效球镜的关系[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2021, 29(2):8-11. DOI: 10.3969/j.issn.1005-328x.2021.02.003.
- [11] Hu XM, Zhou LH, Jin XQ, et al. Relationship between axial length, corneal curvature radius, AL/CR ratio and refractive errors in children aged 6-12 years[J]. Chin J Strabismus Pediatr Ophthalmol, 2021, 29(2): 8-11. DOI: 10.3969/j.issn.1005-328x.2021.02.003.
- [12] Du JB, Li J, Liu XQ, et al. Association of maternal diabetes during pregnancy with high refractive error in offspring: a nationwide population-based cohort study[J]. Diabetologia, 2021, 64(11): 2466-2477. DOI: 10.1007/s00125-021-05526-z.
- [13] Alvarez-Bulnes O, Monés-Llivina A, Caverro-Roig L, et al. Ophthalmic pathology in the offspring of pregnant women with gestational diabetes mellitus[J]. Matern Child Health J, 2020, 24(4): 524-529. DOI: 10.1007/s10995-020-02887-6.

- [11] Tariq YM, Samarawickrama C, Li HT, et al. Retinal thickness in the offspring of diabetic pregnancies[J]. *Am J Ophthalmol*, 2010, 150(6): 883-887. e1. DOI: 10.1016/j.ajo.2010.06.036.
- [12] Zhang SJ, Li YF, Tan RR, et al. A new gestational diabetes mellitus model: hyperglycemia-induced eye malformation via inhibition of *Pax6* in the chick embryo[J]. *Dis Model Mech*, 2016, 9(2): 177-186. DOI: 10.1242/dmm.022012.
- [13] Singh A, Castillo HA, Brown J, et al. High glucose levels affect retinal patterning during zebrafish embryogenesis[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 4121. DOI: 10.1038/s41598-019-41009-3.
- [14] Yesil GD, Gishti O, Felix JF, et al. Influence of maternal gestational hypertensive disorders on microvasculature in school-age children: the generation R study[J]. *Am J Epidemiol*, 2016, 184(9): 605-615. DOI: 10.1093/aje/kww059.
- [15] Zhao XY, Li R, Huang D, et al. Decreased retinal thickness in preschool offspring of maternal gestational hypertension: the Nanjing Eye Study[J]. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(6): e674-679. DOI: 10.1111/aos.14351.
- [16] Thoene M, Anderson-Berry A, van Ormer M, et al. Quantification of lutein + zeaxanthin presence in human placenta and correlations with blood levels and maternal dietary intake[J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 134. DOI: 10.3390/nu11010134.
- [17] Henriksen BS, Chan G, Hoffman RO, et al. Interrelationships between maternal carotenoid status and newborn infant macular pigment optical density and carotenoid status[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(8): 5568-5578. DOI: 10.1167/iovs.13-12331.
- [18] Lai JS, Veetil VO, Lanca C, et al. Maternal lutein and zeaxanthin concentrations in relation to offspring visual acuity at 3 years of age: the GUSTO study[J]. *Nutrients*, 2020, 12(2): 274. DOI: 10.3390/nu12020274.
- [19] Anderson MJ, Romaguera D, Saint-Amour D, et al. Lutein and zeaxanthin intake during pregnancy and visual function in offspring at 11-12 years of age[J]. *Nutrients*, 2022, 14(4): 872. DOI: 10.3390/nu14040872.
- [20] Semeraro F, Forbice E, Nascimbeni G, et al. Ocular refraction at birth and its development during the first year of life in a large cohort of babies in a single center in Northern Italy[J]. *Front Pediatr*, 2020, 7: 539. DOI: 10.3389/fped.2019.00539.
- [21] Zin A, Gole GA. Retinopathy of prematurity-incidence today[J]. *Clin Perinatol*, 2013, 40(2): 185-200. DOI: 10.1016/j.clp.2013.02.001.
- [22] 傅征, 杨晖, 尹雪, 等. 早产儿早期屈光参数特点及相关因素研究[J]. *中华眼科杂志*, 2021, 57(5): 353-357. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200427-00288.
- Fu Z, Yang H, Yin X, et al. Characteristics and associated factors of early refractive parameters in premature infants[J]. *Chin J Ophthalmol*, 2021, 57(5): 353-357. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200427-00288.
- [23] Zhu XH, Zhao RL, Wang Y, et al. Refractive state and optical compositions of preterm children with and without retinopathy of prematurity in the first 6 years of life[J]. *Medicine*, 2017, 96(45): e8565. DOI: 10.1097/MD.00000000000008565.
- [24] Upreti S, Morjaria P, Shrestha JB, et al. Refractive status in Nepalese pre-term and full-term infants early in life[J]. *Optom Vis Sci*, 2017, 94(10): 957-964. DOI: 10.1097/OPX.0000000000001118.
- [25] 刘敏, 皮练鸿, 欧阳丽娟, 等. 早产儿及早产儿视网膜病变患儿的屈光状态及视神经纤维层厚度分析[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020, 22(10): 775-780. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20200110-00008.
- Liu M, Pi LH, Ouyang LJ, et al. Analysis of refractive status and thickness of retinal nerve fiber layer in children with or without retinopathy of prematurity[J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 22(10): 775-780. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20200110-00008.
- [26] 谢黎, 王平, 罗毅, 等. 早产儿视网膜病变近视患儿的屈光参数分析[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19(3): 163-167. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.03.008.
- Xie L, Wang P, Luo Y, et al. Optical components of myopic children with a history of retinopathy of prematurity[J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 19(3): 163-167. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.03.008.
- [27] 王平, 陶利娟, 杨俊芳, 等. 早产儿眼球发育及屈光状态变化[J]. *国际眼科杂志*, 2010, 10(12): 2302-2304. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2010.12.024.
- Wang P, Tao LJ, Yang JF, et al. Development of ocular optical components and refractive error in premature infants[J]. *Int J Ophthalmol*, 2010, 10(12): 2302-2304. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2010.12.024.
- [28] Liu SX, Ye S, Wang QF, et al. Breastfeeding and myopia: a cross-sectional study of children aged 6-12 years in Tianjin, China[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 10025. DOI: 10.1038/s41598-018-27878-0.
- [29] Aksoy A, Ozdemir M, Aslan L, et al. Effect of breast feeding on ocular morbidity[J]. *Med Sci Monit*, 2014, 20: 24-27. DOI: 10.12659/msm.889879.
- [30] Gishti O, Jaddoe VWV, Duijts L, et al. Influence of breastfeeding on retinal vessel calibers in school-age children. The Generation R Study[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2016, 70(1): 72-77. DOI: 10.1038/ejcn.2015.113.
- [31] Koletzko B. Human milk lipids[J]. *Ann Nutr Metab*, 2016, 69 Suppl 2: 28-40. DOI: 10.1159/000452819.
- [32] Owen CG, Oken E, Rudnicka AR, et al. The effect of longer-term and exclusive breastfeeding promotion on visual outcome in adolescence[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(7): 2670-2678. DOI: 10.1167/iovs.17-23211.
- [33] Wu RK, Liang JH, Zhong H, et al. The lack of association of breastfeeding and myopia in children and adolescents: finding from a school-based study and a meta-analysis of the literature[J]. *Breastfeed Med*, 2019, 14(8): 580-586. DOI: 10.1089/bfm.2019.0117.
- [34] Gardiner PA. The relation of myopia to growth[J]. *Lancet*, 1954, 266(6810): 476-479. DOI: 10.1016/S0140-6736(54)91187-3.
- [35] Yip VCH, Pan CW, Lin XY, et al. The relationship between growth spurts and myopia in Singapore children[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(13): 7961-7966. DOI: 10.1167/iovs.12-10402.
- [36] Northstone K, Guggenheim JA, Howe LD, et al. Body stature growth trajectories during childhood and the development of myopia[J]. *Ophthalmology*, 2013, 120(5): 1064-1073.e1. DOI: 10.1016/j.optha.2012.11.004.
- [37] Huang CY, Hou CH, Lin KK, et al. Relationship of lifestyle and body stature growth with the development of myopia and axial length elongation in Taiwanese elementary school children[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2014, 62(8): 865-869. DOI: 10.4103/0301-4738.141047.
- [38] Tao LX, Wang CX, Peng YY, et al. Correlation between

- increase of axial length and height growth in Chinese school-age children[J]. *Front Public Health*, 2022, 9: 817882. DOI:10.3389/fpubh.2021.817882.
- [39] Zhang J, Hur YM, Huang WY, et al. Shared genetic determinants of axial length and height in children: the Guangzhou twin eye study[J]. *Arch Ophthalmol*, 2011, 129(1):63-68. DOI:10.1001/archophthalmol.2010.323.
- [40] Tideman JWL, Polling JR, Jaddoe VWV, et al. Growth in foetal life, infancy, and early childhood and the association with ocular biometry[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019, 39(4):245-252. DOI:10.1111/opo.12630.
- [41] Liu YX, Sun Y. MMP-2 participates in the sclera of guinea pig with form-deprivation myopia via IGF-1/STAT3 pathway[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2018, 22(9): 2541-2548. DOI:10.26355/eurrev.201805.14945.
- [42] Cui DM, Trier K, Ribell-Madsen SM. Effect of day length on eye growth, myopia progression, and change of corneal power in myopic children[J]. *Ophthalmology*, 2013, 120(5):1074-1079. DOI:10.1016/j.ophtha.2012.10.022.
- [43] He MG, Xiang F, Zeng YF, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2015, 314(11):1142-1148. DOI:10.1001/jama.2015.10803.
- [44] 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.
- [45] Shah RL, Huang Y, Guggenheim JA, et al. Time outdoors at specific ages during early childhood and the risk of incident myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(2):1158-1166. DOI:10.1167/iovs.16-20894.
- [46] Xiong SY, 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.
- [47] 徐超立, 吴建峰, 毕宏生. 多巴胺在近视发生发展中的作用[J]. *眼科新进展*, 2014, 34(1):86-90. DOI:10.13389/j.cnki.rao.2014.0024.
- Xu CL, Wu JF, Bi HS. Role of dopamine in the development of myopia[J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2014, 34(1): 86-90. DOI:10.13389/j.cnki.rao.2014.0024.
- [48] Wen LB, Cao YP, Cheng Q, et al. Objectively measured near work, outdoor exposure and myopia in children[J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(11): 1542-1547. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2019-315258.
- [49] Huang PC, Hsiao YC, Tsai CY, et al. Protective behaviours of near work and time outdoors in myopia prevalence and progression in myopic children: a 2-year prospective population study[J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(7): 956-961. DOI:10.1136/bjophthalmol-2019-314101.
- [50] Liu SX, Ye S, Xi W, et al. Electronic devices and myopic refraction among children aged 6-14 years in urban areas of Tianjin, China[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019, 39(4): 282-293. DOI:10.1111/opo.12620.
- [51] Do CW, Chan LYL, Tse ACY, et al. Association between time spent on smart devices and change in refractive error: a 1-year prospective observational study among Hong Kong children and adolescents[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(23):8923. DOI:10.3390/ijerph17238923.
- [52] 慕璟玉, 王雁, 杨依宁, 等. 近视的流行病学、病因学与发病机制研究现状[J]. *眼科新进展*, 2021, 41(11): 1089-1096. DOI:10.13389/j.cnki.rao.2021.0229.
- Mu JY, Wang Y, Yang YN, et al. Research progress on epidemiology, etiology and pathogenesis of myopia[J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2021, 41(11): 1089-1096. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2021.0229.
- [53] Jee D, Morgan IG, Kim EC. Inverse relationship between sleep duration and myopia[J]. *Acta Ophthalmol*, 2016, 94(3):e204-210. DOI:10.1111/aos.12776.
- [54] Ostrin LA, Read SA, Vincent SJ, et al. Sleep in myopic and non-myopic children[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(9): 22. DOI:10.1167/tvst.9.9.22.
- [55] Liu XN, Naduvilath TJ, Wang J, et al. Sleeping late is a risk factor for myopia development amongst school-aged children in China[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 17194. DOI: 10.1038/s41598-020-74348-7.
- [56] Wei SF, Li SM, Liu LR, et al. Sleep duration, bedtime, and myopia progression in a 4-year follow-up of Chinese children: the Anyang childhood eye study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(3): 37. DOI: 10.1167/iovs.61.3.37.
- [57] Rayapoullé A, Gronfier C, Forhan A, et al. Longitudinal association between sleep features and refractive errors in preschoolers from the EDEN birth-cohort[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):9044. DOI:10.1038/s41598-021-88756-w.
- [58] Hartstein LE, Behn CD, Akacem LD, et al. High sensitivity of melatonin suppression response to evening light in preschool-aged children[J]. *J Pineal Res*, 2022, 72(2): e12780. DOI:10.1111/jpi.12780.
- [59] Quinn GE, Shin CH, Maguire MG, et al. Myopia and ambient lighting at night[J]. *Nature*, 1999, 399(6732): 113-114. DOI:10.1038/20094.
- [60] Nickla DL, Totonelly K. Brief light exposure at night disrupts the circadian rhythms in eye growth and choroidal thickness in chicks[J]. *Exp Eye Res*, 2016, 146: 189-195. DOI:10.1016/j.exer.2016.03.003.
- [61] Chua SYL, Sabanayagam C, Cheung YB, et al. Age of onset of myopia predicts risk of high myopia in later childhood in myopic Singapore children[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2016, 36(4):388-394. DOI:10.1111/opo.12305.
- [62] 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 儿童屈光矫正专家共识(2017)[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19(12): 705-710. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1674-845X. 2017.12.001.
- Chinese Optometric Association, Chinese Ophthalmological Society. Consensus guidelines of refractive correction for children[J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 19(12): 705-710. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1674-845X. 2017.12.001.
- [63] 伍晓艳, 陶芳标. 加强近视行为风险因素研究弥合应用鸿沟[J]. *中国学校卫生*, 2022, 43(3):321-324. DOI:10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.03.001.
- Wu XY, Tao FB. Strengthening research on behavioral risk factors with myopia, bridge the gap between research and practice[J]. *Chin J Sch Health*, 2022, 43(3):321-324. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.03.001.