

高频视觉信息对儿童青少年近视作用研究

刘晓玲¹, 谢阳¹, 陶芳标^{1,2}

1.安徽医科大学公共卫生学院儿少卫生与妇幼保健学系,合肥 230032;2.出生人口健康教育部重点实验室/
人口健康与优生安徽省重点实验室/国家卫生健康委配子及生殖道异常研究重点实验室

【摘要】 开展近视防控行动是延缓近视发生和发展的关键,而了解近视发生发展的原因及相关机制有助于更好地开展近视防控。城市化进程加速和室内用眼时间长成为高频视觉信息缺乏的重要因素,高频视觉信息不足成为新的近视病因。研究关注不同场景环境中高频视觉信息与近视关联的研究进展,并从对比敏感度、视觉场景中的局部亮度增量和减量视觉通路及基因表达多个角度探讨高频视觉信息不足的近视病因意义,为在不同场景开展针对性的儿童青少年近视防控措施提供参考依据。

【关键词】 视觉;近视;儿童;青少年

【中图分类号】 R 179 R 778.1⁺¹ R 339.14 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2024)05-0757-04

Effects of high-frequency visual information on myopia among children and adolescents/LIU Xiaoling, XIE Yang, TAO Fangbiao. Department of Maternal, Child and Adolescent Health, School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei (230032), Anhui Province, China

【Abstract】 Prevention and control of myopia is the key to delaying its occurrence and progression. Understanding the causes of myopia and its related mechanisms is conducive to better prevention and control. The acceleration of urbanization and increased time in indoor environments have become significant factors for the lack of high-frequency visual information, which constitutes new etiological considerations. Therefore, the study focuses on the research progress on the association between high-frequency visual information and myopia in different scene environments, and further explores the etiology of insufficient high-frequency visual information in myopia from the perspectives of contrast sensitivity, ON-OFF visual pathways, and gene expression, so as to provide reference for carrying out targeted myopia prevention and control measures in different scenarios.

【Keywords】 Vision; Myopia; Child; Adolescent

近年来,学生近视呈现低龄化和重度化趋势^[1],2020 年国家卫生健康委员会发布我国儿童青少年的总体近视率为 52.7%,近视成为我国重要的公共卫生问题。近视是环境、行为与遗传易感性交互作用的结果,环境、行为因素是当前近视流行的主要外因^[2]。研究者针对多种环境因素如光环境、户外活动、视近作业等对近视的影响及其相关机制已进行深入探讨^[3-5]。关于环境因素如户外活动影响近视的机制较多聚焦在户外光照环境的影响上,包括多巴胺释放假说^[3]、维生素 D 缺乏假说^[4]和紫外线的影响^[5]等。然而,近期研究者提出关于防控近视机制的新视角——高频视觉信息减少可能增加近视发生风险^[6]。本研究旨在从高频视觉信息的角度识别不同空间环境影响儿童青少年近视的机制,探讨高频视觉信息与近视关联的研究进展,为开展针对性的近视防控措施提供

参考依据。

1 不同空间环境中的高频视觉信息

1.1 空间频率与高频视觉信息 空间频率是指每度视角内图像或刺激图形的亮暗作正弦调制的周数,单位是周每度(cycle per degree, cpd),最早是由数学家傅里叶提出的分析振动波形理论得到的描述视觉系统工作特性的概念^[7]。空间频率包括空间结构、物体分布和对比度^[6],根据人眼对空间频率的适应性响应可将其划分为低空间频率(<3 cpd)、中空间频率(3~5 cpd)和高空间频率(>5 cpd)^[8],频率越高表示详细信息越多^[9]。高频视觉信息,即视觉环境中的高空间频率成分,如树叶的纹理、锐利的边缘^[10]等。有研究认为不管在户外环境还是室内环境中,高频视觉信息不

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2021YFC2702100,2021YFC2702105)

【作者简介】 刘晓玲(2000-),女,安徽阜阳人,在读硕士,主要研究方向为儿童青少年近视。

【通信作者】 陶芳标, E-mail: fbtao@ahmu.edu.cn

足均会导致近视的发生和进展^[11],然而高频视觉信息如何发挥作用仍在探索当中。

1.2 空间环境中的高频视觉信息 空间环境可分为自然环境、城市人造环境以及室内环境三大类。自然环境指不包含人为因素的环境,如岩石、树木、云朵等;城市人造环境既有人为因素又有自然因素,如街道等;而室内环境中只有人为因素存在,如墙壁等^[12]。研究发现,不同空间环境中的高频视觉信息有所差异,自然环境中的高频视觉信息最多,而人造室内环境中的高频视觉信息最少,并且人造室内外环境皆具有类似于动物模型中诱发形觉剥夺性近视(form-deprivation myopia, FDM)的空间频率特征^[11],故人造环境的空间特性可能是人类近视流行的驱动因素之一。因此,利用自然场景中的空间信息,增加城市人造环境和室内环境中的高频视觉信息,可能有助于近视防控。

2 高频视觉信息对近视作用的动物实验和人群研究

2.1 高频视觉信息与近视的动物实验 虽早已有学者通过动物实验探索空间频率对近视的影响,但近年来的相关研究较少。1997 年 Schmid 等^[13]对雏鸡的视觉环境加以控制,该研究认为屈光变化受空间频率影响,仅中空间频率对雏鸡的正视化过程发挥作用,而高频视觉信息在预防形觉剥夺性近视的作用方面非常差。但 Tran 等^[14]认为高频视觉信息的缺失会导致近视的发生,该团队给 4 日龄雏鸡的单眼佩戴 4 种班格特漫射滤光镜[0.6, 0.1, <0.1 和仅光感(light perception only, LP)]与透明平光镜片的组合以及单独的平光镜片。用高频 A 扫描超声检查和自动验光仪监测眼轴尺寸和屈光不正,结果发现佩戴滤过高空间频率的遮挡箔的小鸡出现近视。Bowrey 等^[15]使用 81 只豚鼠进行实验,将其分别佩戴形觉剥夺扩散器、班格特闭塞箔、中性密度滤光片以及纤维环和支架,其中班格特闭塞箔以近似渐变的方式降低空间频率和亮度,中性密度滤光片仅降低亮度,纤维环和支架不存在任何过滤器或箔,使眼睛获得不受阻碍的宽视野,最终结果发现,被剥夺高空间频率的豚鼠发生屈光不正的程度更严重。上述两项动物实验表明高频视觉信息对视觉系统发育至关重要,高频视觉信息缺乏会破坏眼的正常功能进而导致近视的发生。

尽管不同学者在动物实验中所得结果有所差异,但从总体上看,多数学者支持高频视觉信息对视觉发育有益的观点^[14]。多物种的动物实验增加结论的可靠性,为高频视觉信息与近视关联的假说提供支持,为人群研究提供依据^[14-15]。但由于不同物种的晶状

体屈光力不同,可能涉及到不同的空间频率,未来应探索不同物种的最佳空间频率范围,并通过人群干预实验进一步验证高频视觉信息对近视的影响。

2.2 高频视觉信息与近视的人群研究 有研究学者开展的人群研究表明,对于标准对比度目标,当空间频率增加时,大多数受试者眼睛降低调节,在空间频率为 2 cpd 时,对眼球调节能力的要求最高,随着空间频率的增加这种要求逐渐下降^[8],即高频视觉信息是相对较弱的调节刺激,可以减少眼负荷、降低眼疲劳,从而延缓近视的发生和进展。关于空间频率和对比度对视觉系统调节反应的影响,不同研究获得的结果有争议,因此该团队在此基础上进行了深入研究,发现儿童视觉系统的调节反应具有空间频率依赖性^[16]。但与之前研究结论不同的是,该研究结果表明,对于标准对比度光栅目标,儿童视觉系统的调节反应在中空间频率时最稳定,即可通过改变空间频率成分中的固定目标以稳定儿童的调节反应,最终达到预防近视的目的。

现有的认知主要是近视与高频视觉信息缺乏有关,但具体关联机制需要进一步探索。人群研究已探讨高频视觉信息与近视的关系,但研究方法较为局限,多为人为控制单一研究因素,对参与者的眼部参数进行测量,无法代替真实情况下人眼经历的复杂环境;缺乏动态变化的观察,无法得知高频视觉信息缺失时近视的发展,缺乏因果关联,获得的研究结果论证强度不足,并不能作为高频视觉信息与近视关联的直接证据^[8]。未来的研究可从如何转化自然图像中的二维空间频率信息入手,使研究条件更加符合真实暴露情况;也可选择环境中高频视觉信息有差异的地区进行随访调查,观察视力变化的情况以及两地区间视力的差异。

3 高频视觉信息对近视作用的可能机制

3.1 高频视觉信息与对比敏感度 视物能力的好坏取决于对可视空间信息的分辨能力的好坏,对比敏感度函数(contrast sensitivity function, CSF)在其中起了关键性作用。对比敏感度(contrast sensitivity, CS)是指不同空间频率人眼感觉的阈值对比度的倒数,可全面评价视觉功能的不同明暗背景下各空间频率感觉程度^[17]。在一些屈光发育异常的情况下,如弱视和近视,可以观察到 CS 的降低^[18-19];高频视觉信息缺失会导致 CS 的降低或无,造成双眼功能障碍^[20]。可能是高频视觉信息缺失引起 CS 的降低,造成进一步的对比度适应,从而引起视网膜图像退化导致感知模糊,进而导致近视的发生与发展^[21]。

3.2 高频视觉信息与 ON-OFF 视觉通路 使用视觉在其环境中导航的动物,从苍蝇到灵长类动物,都有两个主要的视觉通路,其对视觉场景中的局部亮度增量(ON)和减量(OFF)做出响应,称之为“ON-OFF 视觉通路”^[22]。视网膜图像在大脑中通过 ON-OFF 视觉通路进行处理,有专家曾提到当 ON 通路的转导信号丢失时,会更容易发展成高度近视^[23]。ON 和 OFF 视觉通路具有不同的时空属性,高频视觉信息由 ON 通路处理,ON 通路的活动可以为眼睛生长提供理想的停止信号从而预防近视的发生^[24];另一方面,高频视觉信息可均衡大多数皮层神经元视觉反应的 ON-OFF 响应,使得屈光发育更稳定^[25]。另外,ON 通路会驱动视网膜无长突细胞释放神经递质多巴胺,多巴胺从视网膜的释放速率是决定眼睛轴向生长的因素之一,有多项动物实验表明,多巴胺水平降低与近视发生有关^[26]。Chakraborty 等^[27]使用 ON 通路突变体的小鼠进行实验,以多巴胺活性的变化作为指标进行观察,最终发现 ON 通路异常的小鼠视网膜中多巴胺的周转率降低,导致近视的发生。通过这些研究发现,高频视觉信息可以通过影响 ON-OFF 通路响应和多巴胺的释放来影响近视发展。

3.3 高频视觉信息与基因表达 表达易受视觉刺激改变影响的基因和蛋白质有胰高血糖素、视黄酸、血管肠肽、音猬因子和转录因子 ZENK 等^[28]。音猬因子在胚胎眼发育的许多阶段中起关键作用,包括眼泡图案形成、神经元分化、视柄发育和轴突引导^[29]。研究表明音猬因子可以调节导致近视眼的轴向伸长和玻璃体扩大的信号级联^[30],进一步的研究表明音猬因子可能是通过增强近视动物模型中基质金属蛋白酶-2 的表达和活性来诱导近视的发展^[31]。在小鼠实验中,使用扩散器诱导其发生 FDM 后,音猬因子信号传导因子的表达发生改变^[32];而扩散器是一种低通滤波器,说明高频视觉信息的缺乏可能会影响音猬因子信号的传导,干扰眼轴的正常生长从而导致近视。鸡实验表明,转录因子 ZENK 与眼轴生长和近视发展的视觉控制反馈机制有关^[33]。也有研究表明,视网膜图像中的空间信息对视网膜 ZENK 具有调节作用,使用去除了高空间频率的磨砂遮挡物覆盖小鼠的眼睛,结果发现小鼠视网膜中的 mRNA 和 ZENK 蛋白有所减少^[34];即高频视觉信息缺失可以使 ZENK 转录水平下调,眼睛生长的调节延长,无法及时抑制眼轴的过度增长,进而导致近视。

4 结语

自然环境提供的所有视觉信息被分类为空间和

时间刺激,且在色度和强度上可能有所不同,户外环境具有更大的光强度、更高的空间频率^[35]、更广泛的对比度和短到中波长的阳光条件^[36]。动物研究已表明,低频视觉信息会增加近视发生发展的风险,中频视觉信息有助于新生动物的屈光发育^[37],而高频视觉信息有助于预防近视的发生和进展^[16]。因此,增加儿童青少年高频视觉信息接触可能更有利于近视防控,如可多种植花草树木,保护生态环境;家庭和学校均可在室内模拟自然环境,如墙壁上张贴含有花草树木的壁画,天花板上张贴天空的壁纸,并用鸟类、气球和风筝等图片进行装饰,可使用绿色桌面的书桌或者用小草装饰。

综上所述,虽然已有动物实验和人群研究表明高频视觉信息可能有助于近视的防控,但仍缺乏有力的证据支撑,且目前关于人群研究的方法单一,并不能深入检验其可能机制的正确性。未来应基于人群干预实验探索利用高频视觉信息进行近视防控的可能性,如能够知晓高频视觉信息的作用机制和最佳频率,可利用最佳空间频率刺激人眼,从而对近视起到矫正的作用;或可通过改善室内环境中的空间频率使其接近人眼所需的最佳刺激,营造良好的视觉环境,让不方便户外活动的儿童青少年在室内也能达到良好的预防近视的效果。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- [1] 高宗石,许韶君,朱懿,等.3 种远视力检查方法在儿童中的应用比较[J].中国学校卫生,2023,44(9):1414-1417.
GAO Z S, XU S J, ZHU Y, et al. Comparative application of three methods for testing distance visual acuity among children[J]. Chin J Sch Health, 2023, 44(9):1414-1417. (in Chinese)
- [2] 中国学生营养与健康促进会视力健康分会,中华预防医学会公共卫生眼科学分会.中国儿童青少年近视防控公共卫生综合干预行动专家共识[J].中华医学杂志,2023,103(38):3002-3009.
Vision Health Branch of Chinese Association for Student Nutrition and Health Promotion, Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on comprehensive public health intervention for myopia prevention and control in children and adolescents[J]. Natl Med J China, 2023, 103(38):3002-3009. (in Chinese)
- [3] LANDIS E G, PARK H N, CHRENNEK M, et al. Ambient light regulates retinal dopamine signaling and myopia susceptibility[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2021, 62(1):28.
- [4] PAN C W, QIAN D J, SAW S M. Time outdoors, blood vitamin D status and myopia: a review[J]. Photochem Photobiol Sci, 2017, 16(3):426-432.
- [5] TORII H, KURIHARA T, SEKO Y, et al. Violet light exposure can be a preventive strategy against myopia progression[J]. E-Bio Med, 2017, 15:210-219.

- [6] 潘臣炜.积极探索可控性环境和行为因素在儿童青少年近视防控中的作用[J].中国学校卫生,2022,43(9):1281-1283,1292.
PAN C W. Actively explore the role of controllable environmental and behavioral factors in the prevention and control of myopia among children and adolescents[J]. Chin J Sch Health, 2022, 43(9): 1281-1283, 1292. (in Chinese)
- [7] 柴豆豆,王怡影,李雯雯.空间频率变化对图像质量影响的研究[J].安徽工程大学学报,2019,34(4):51-55.
CHAI D D, WANG Y Y, LI W W. Research on the effect of spatial frequency change on image quality[J]. J Anhui Polytech Univ, 2019, 34(4): 51-55. (in Chinese)
- [8] XU J, ZHENG Z, DROBE B, et al. The effects of spatial frequency on the accommodation responses of myopes and emmetropes under various detection demands[J]. Vis Res, 2015, 115(Pt A): 1-7.
- [9] WILSON A H, ALSIUS A, PARE M, et al. Spatial frequency requirements and gaze strategy in visual-only and audiovisual speech perception[J]. J Speech Lang Hear Res, 2016, 59(4): 601-615.
- [10] ESTEVE-TABOADA J J, BERNAL-MOLINA P, MONTES-MICO R, et al. Accommodative stimulus-response curves to low-pass filtered natural images[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2018, 256(9): 1731-1737.
- [11] FLITCROFT D I, HARB E N, WILDSOET C F. The spatial frequency content of urban and indoor environments as a potential risk factor for myopia development[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2020, 61(11): 42.
- [12] CAVALCANTE A, MANSOURI A, KACHA L, et al. Measuring street-scene complexity based on the statistics of local contrast and spatial frequency[J]. PLoS One, 2014, 9(2): e87097.
- [13] SCHMID K L, WILDSOET C F. Contrast and spatial-frequency requirements for emmetropization in chicks[J]. Vis Res, 1997, 37(15): 2011-2021.
- [14] TRAN N, CHIU S, TIAN Y, et al. The significance of retinal image contrast and spatial frequency composition for eye growth modulation in young chicks[J]. Vis Res, 2008, 48(15): 1655-1662.
- [15] BOWREY H E, METSE A P, LEOTTA A J, et al. The relationship between image degradation and myopia in the mammalian eye[J]. Clin Exp Optom, 2015, 98(6): 555-563.
- [16] XU J, LU X, ZHENG Z, et al. The effects of spatial frequency on the accommodative responses of myopic and emmetropic chinese children[J]. Transl Vis Sci Technol, 2019, 8(3): 65.
- [17] 田春慧,雷秀丽,连丽英,等.对比敏感度在近视初期患者检查中的作用[J].中国斜视与小儿眼科杂志,2018,26(4):22-24.
TIAN C H, LEI X L, LIAN L Y, et al. Study on the effect of contrast sensitivity in early myopia patients[J]. Chin J Strabismus Pediatr Ophthalmol, 2018, 26(4): 22-24. (in Chinese)
- [18] PANG Y, ALLEN M, ROBINSON J, et al. Contrast sensitivity of amblyopic eyes in children with myopic anisometropia[J]. Clin Exp Optom, 2019, 102(1): 57-62.
- [19] YE Y, XIAN Y, LIU F, et al. Characteristics and related parameters of quick contrast sensitivity function in Chinese ametropia children[J]. Eye Contact Lens, 2023, 49(6): 224-233.
- [20] CHANGBING H, LIMING T, YIFENG Z, et al. Treated amblyopes remain deficient in spatial vision: a contrast sensitivity and external noise study[J]. Vis Res, 2007, 47: 22-34.
- [21] LI S, WU J, DING H, et al. Flicker downregulates the content of crystallin proteins in form-deprived C57BL/6 mouse retina[J]. Exp Eye Res, 2012, 101: 1-8.
- [22] TRING E, DUAN K K, RINGACH D L. ON/OFF domains shape receptive field structure in mouse visual cortex[J]. Nat Commun, 2022, 13(1): 2466.
- [23] KIM H M, JOO K, HAN J, et al. Clinical and genetic characteristics of Korean congenital stationary night blindness patients[J]. Genes, 2021, 12(6): 789.
- [24] POUDEL S, RAHIMI-NASRABADI H, JIN J, et al. Differences in visual stimulation between reading and walking and implications for myopia development[J]. J Vis, 2023, 23(4): 3.
- [25] JANSEN M, JIN J, LI X, et al. Cortical balance between ON and OFF visual responses is modulated by the spatial properties of the visual stimulus[J]. Cereb Cortex, 2019, 29(1): 336-355.
- [26] 相璐,姜思宇,沈玺.近视的发病机制及防控研究进展[J].眼科新进展,2021,41(5):488-494.
XIANG L, JIANG S Y, SHEN X. Research on the mechanism, prevention and control of myopia[J]. Rec Adv Ophthalmol, 2021, 41(5): 488-494. (in Chinese)
- [27] CHAKRABORTY R, PARK H N, HANIF A M, et al. ON pathway mutations increase susceptibility to form-deprivation myopia[J]. Exp Eye Res, 2015, 137: 79-83.
- [28] BRAND C, SCHAEFFEL F, FELDKAEMPER M P. A microarray analysis of retinal transcripts that are controlled by image contrast in mice[J]. Mol Vis, 2007, 13: 920-932.
- [29] HAMMERSCHMIDT M, BROOK A, MCMAHON A P. The world according to hedgehog[J]. Trends Genet, 1997, 13(1): 14-21.
- [30] ESCANO M F, FUJII S, SEKIYA Y, et al. Expression of sonic hedgehog and retinal opsin genes in experimentally-induced myopic chick eyes[J]. Exp Eye Res, 2000, 71(5): 459-467.
- [31] CHEN M, QIAN Y, DAI J, et al. The sonic hedgehog signaling pathway induces myopic development by activating matrix metalloproteinase (MMP)-2 in Guinea pigs[J]. PLoS One, 2014, 9(5): e96952.
- [32] QIAN Y S, CHU R Y, HU M, et al. Sonic hedgehog expression and its role in form-deprivation myopia in mice[J]. Curr Eye Res, 2009, 34(8): 623-635.
- [33] SCHIPPERT R, BURKHARDT E, FELDKAEMPER M, et al. Relative axial myopia in Egr-1 (ZENK) knockout mice[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48(1): 11-17.
- [34] BRAND C, BURKHARDT E, SCHAEFFEL F, et al. Regulation of Egr-1, VIP, and Shh mRNA and Egr-1 protein in the mouse retina by light and image quality[J]. Mol Vis, 2005, 11: 309-320.
- [35] LINGHAM G, MACKEY DA, LUCAS R, et al. How does spending time outdoors protect against myopia? A review[J]. Br J Ophthalmol, 2020, 104(5): 593-599.
- [36] SAW S M, MATSUMURA S, HOANG Q V. Prevention and management of myopia and myopic pathology[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2019, 60(2): 488-499.
- [37] ZHI Z, PAN M, XIE R, et al. The effect of temporal and spatial stimuli on the refractive status of Guinea pigs following natural emmetropization[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2013, 54(1): 890-897.