

# 核磁共振技术在高度近视临床研究中的应用

吴雅俊<sup>1,2</sup>, 李文生<sup>1,2</sup>

引用: 吴雅俊, 李文生. 核磁共振技术在高度近视临床研究中的应用. 国际眼科杂志 2023;23(4):612-615

基金项目: 爱尔眼科医院集团科研基金项目(No.AR2001D1)

作者单位:<sup>1</sup>(410000) 中国湖南省长沙市, 中南大学爱尔眼科学院; <sup>2</sup>(200235) 中国上海市, 爱尔眼科集团上海爱尔眼科医院

作者简介: 吴雅俊, 女, 在读博士研究生, 住院医师, 研究方向: 眼底病、近视、神经眼科学。

通讯作者: 李文生, 男, 毕业于中南大学, 博士, 主任医师, 教授, 博士研究生导师, 博士后导师, 研究方向: 高度近视、眼底病、白内障、老视. drlws@qq.com

收稿日期: 2022-04-17 修回日期: 2023-03-07

## 摘要

近视是一种可改变视觉皮层活动, 并影响相应神经功能的危害性眼科疾病。目前我国的近视率呈空前上升之势, 尤其是高度近视(HM), 遂实现近视的有效防控及治疗极为重要。然而近视的具体发病机制至今仍未阐明, 难以从根源上实现该病的防控防治。近年来, 不断有研究从遗传、环境、神经递质等角度出发探讨近视的相关致病因素, 但鲜有研究从大脑结构及神经活动的角度探讨近视的神经影像机制。随着磁共振成像技术的发展, 脑影像逐步出现在近视的相关机制研究中, 本文主要对近视的相关脑影像研究作一综述, 以期开展近视的临床防控防治工作提供重要参考依据。

关键词: 近视; 高度近视; 磁共振成像; 磁共振功能成像

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2023.4.16

## Application of nuclear magnetic resonance in the clinical study of high myopia

Ya-Jun Wu<sup>1,2</sup>, Wen-Sheng Li<sup>1,2</sup>

Foundation item: Aier Eye Hospital Group Scientific Research Fund (No.AR2001D1)

<sup>1</sup>Aier School of Ophthalmology, Central South University, Changsha 410000, Hunan Province, China; <sup>2</sup>Shanghai Aier Eye Hospital, Aier Eye Group, Shanghai 200235, China

Correspondence to: Wen-Sheng Li. Aier School of Ophthalmology, Central South University, Changsha 410000, Hunan Province, China; Shanghai Aier Eye Hospital, Aier Eye Group, Shanghai 200235, China. drlws@qq.com

Received: 2022-04-17 Accepted: 2023-03-07

## Abstract

• Myopia is a harmful ophthalmic disease that may change the activity of the visual cortex and affect the corresponding neural function. At present, the incidence

rate of myopia in China has been rising unprecedentedly, especially in high myopia (HM). Therefore, efficacious prevention and treatment of myopia are extremely important. However, since the specific pathogenesis of myopia has not been clarified so far, it is difficult to achieve the prevention and control of the disease at its source. Recently, there have been studies on the pathogenesis of myopia from the perspective of genetics, environment, neurotransmitters, etc., but few studies have explored the neuroimaging mechanism of myopia from the perspective of brain structure and function. With the development of magnetic resonance imaging (MRI) technology, brain images gradually appear in the study of myopia-related mechanisms. Therefore, this paper summarizes the research on myopia-related brain images, to provide an important reference for the clinical prevention and control of myopia.

• KEYWORDS: myopia; high myopia; magnetic resonance imaging; functional magnetic resonance imaging

Citation: Wu YJ, Li WS. Application of nuclear magnetic resonance in the clinical study of high myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(4):612-615

## 0 引言

近视是屈光不正的主要表现形式, 眼球前后径过长、角膜过度弯曲和晶状体屈光力增加是近视的主要原因, 高度近视(high myopia, HM)是指屈光度(diopter, D)至少达-6.00的屈光不正<sup>[1]</sup>。目前, 近视已成为全球性的公共卫生问题, 相关荟萃分析表明全球近视患病率显著增加。至2050年, 世界近一半的人口可能患有近视, 其中HM人口将高达10%<sup>[2]</sup>。在东亚地区, 尤其是我国, 近视率急剧上升, 研究表明, 中国的近视率在60a前为10%~20%, 而现在, 高达90%的青少年和年轻人成为近视患者<sup>[3]</sup>, 形势十分严峻。HM极易形成病理性近视, 后者易导致青光眼、视网膜脱离和近视性黄斑变性等致盲性并发症<sup>[4]</sup>, 给患者及其家人带来沉重的负担。因此, 有效地防控与治疗近视极其重要。尽管配戴眼镜、屈光手术等手段等够矫正近视, 但这些方法并不能从根本上改善眼轴拉长、巩膜、视网膜变薄等情况, 难以有效阻止并发症的发生<sup>[3]</sup>。且即使近视患者的屈光状况得到矫正, 但是相比于正视眼, 近视患者的视功能表现(如对比敏感度、分辨视力、视觉注意力等)表现异常<sup>[5]</sup>。因此, 了解近视的发生发展机制才是实现其防控的关键。但近视的具体病因及其致病机制至今仍未完全阐明, 且近视的视觉通路和视觉皮层在相关机制研究中也经常被忽视, 遂实现其病因治疗任重道远。近期, 磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)及磁共振功能成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术已被广泛用来评估近视患者的大脑结构、中枢神经系统

活动的改变。尤其是 fMRI,其作为一种无辐射、非侵入式<sup>[6]</sup>、活体的影像检查方法,具有良好的时间、空间分辨率,已较成熟地应用于临床上各大疾病的协助诊断。本文主要就近视,尤其是 HM 的神经影像学研究展开一综述,以期对近视的有效防控及治疗提供重要临床指导意义。

### 1 MRI 技术在近视研究中的初步应用

MRI 技术为近视神经影像机制的探讨提供了重要作用,其作为一种人体断层成像方法建立于 20 世纪 70 年代,并于 80 年代开始全面应用于临床。目前,MRI 已成为了医学领域不可或缺的影像诊断方法。MRI 包括血氧水平依赖性核磁共振成像(blood oxygenation level dependent-MRI, BOLD-MRI)、弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)、弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)和磁共振波谱成像(magnetic resonance spectroscopy, MRS)等<sup>[7]</sup>。尽管 MRI 技术独有的成像方法正在临床中得到应用,但是常规 MRI 在大脑成像中的应用有限,往往被用于判断脑结构的改变,而难以评估中枢神经系统活动的变化。fMRI 的出现则极大地推动了脑影像的发展,并为我们了解人类视觉皮层的功能和结构特性提供了较大突破。fMRI 分为任务态和静息态<sup>[8]</sup>,其中任务态 fMRI 可用于测量刺激或任何认知任务引起的神经活动诱发的血流动力学变化;静息态 fMRI(resting-state fMRI, rs-fMRI)的受试者则不执行任何明确的任务<sup>[9]</sup>。fMRI 不但包含解剖学信息,而且具有神经系统的反应机制,这对进一步了解人类中枢神经系统的作用机制,以及临床研究提供了一个重要的途径。由于近视会影响视觉皮层的活动<sup>[10]</sup>,视皮层作为高级中枢在视觉通路中发挥重要作用,遂 fMRI 逐渐被应用于近视的相关研究中。早在 2001 年,Malecaze 等<sup>[11]</sup>就首次利用 fMRI 技术探索屈光手术后的近视患者发生眩光效应的神经机制,他们对 4 例双眼准分子激光角膜原位磨镶术(laser *in situ* keratomileusis, LASIK)后单眼患有畏光、眩光等症状的患者进行了 fMRI 扫描,扫描期间通过光纤分别照射有症状眼及对对照眼以诱发眩光症状,发现刺激不同眼别时大脑激活情况明显不同,对对照眼行光刺激时激活了大脑双侧初级视皮层、舌回和枕正中回;而对症状眼刺激时,信号增强和激活团簇的大小有明显变化,且激活主要从初级视觉皮层至腹侧视觉通路的相关视觉区域(外侧下、中、上枕回、内侧舌回和梭形回联合皮质,以及颞下回和后扣带回)扩散。Malecaze 等<sup>[11]</sup>认为 LASIK 术后眩光近视患者的视联想区激活的增加可能是由于手术角膜的光学畸变引起的,由于光纤传递的刺激可能会引起局限于初级视觉皮层的反应,视联合区域的额外活动可能是由皮瓣皱褶形成的光学像差致视网膜图像不完全模糊造成的,他们认为近视患者术后形成眩光不是 LASIK 手术本身的原因,而是与皮瓣并发症有关。这不仅说明 MRI 技术能够较好地应用于近视的相关研究,有助于在临床上指导治疗 LASIK 手术的并发症,且也认可了 fMRI 在协助探索屈光手术后近视患者的主观畏光症状与视觉通路改变关联上的重要价值。

### 2 BOLD-fMRI 的不同方法在探讨 HM 神经影像机制研究中的应用

BOLD-fMRI 被认为是狭义的 fMRI,其在近视的相关影像研究中应用极为广泛,可为近视中枢神经病理机制的探讨发挥重要作用。BOLD-fMRI 亦被称为大脑 fMRI,能定量分析大脑的功能改变情况<sup>[12]</sup>。此外,它主要反映与

局部神经代谢活动相关的血流氧合变化。在大脑神经元活动期间,局部耗氧量、脱氧血红蛋白水平及局部脑血流量会增加,且随着脑血流量的增加,脱氧血红蛋白/氧合血红蛋白比值会相应降低,从而我们可计算出相应大脑活动区域的 BOLD 信号,并获得该区域的影像结果<sup>[13]</sup>。BOLD-fMRI 的常用分析方法有低频振荡振幅(amplitude of low-frequency fluctuation, ALFF)、分数低频振荡振幅(fractional amplitude of low frequency fluctuation, fALFF)、度中心度(degree centrality, DC)、功能连接(functional connectivity, FC)等,这些分析方法均在近视的神经机制探讨中得以应用。Mirzajani 等<sup>[14]</sup>利用 BOLD-fMRI 揭示了近视会改变大脑的视觉皮层活动,他们通过比较正视眼和近视眼患者的视觉皮层对光刺激的反应,发现近视患者的视觉皮层对光刺激的反应呈非线性下降,这可能是近视患者的视模糊增加所导致的;此外,Mirzajani 等<sup>[13]</sup>还对不同屈光状态下的 HM 患者进行了 BOLD-fMRI 扫描,发现近视会使视觉皮层 BOLD 信号的强度产生不规则差异,并揭示了轻、中度 HM 引起的视力模糊是 fMRI 的干扰因素,他们的研究提示 HM 患者的大脑皮层活动可能会发生改变,这可能是由于近视会影响人体对图像的感知能力导致的。以上研究证实了 BOLD-fMRI 在 HM 神经机制研究中的有效应用。

**2.1 ALFF 与 fALFF** ALFF 为量化大脑自发神经活动低频振荡强度的方法之一,ALFF 值与 BOLD 信号强度呈正相关变化,值越高表明相应脑区神经元越活跃<sup>[15]</sup>,该方法可用于探索特定的脑损伤区域<sup>[16]</sup>。fALFF 与 ALFF 均为通过测量 0.01~0.08Hz 频率的 BOLD 信号来反应局部神经元自发活动振幅的方法,但 fALFF 的敏感性更高。Huang 等<sup>[17]</sup>首次采用 ALFF 方法研究 HM 患者的自发脑活动及其与行为表现的关系,他们对 38 例 HM 患者及同数量的健康对照者进行了 BOLD-fMRI 扫描,并用 ALFF 方法评估所有研究对象的自发性脑活动的局部特征,最后发现相比于健康对照者,HM 患者的多个脑区存在异常自发活动(右下、中颞回、左中颞回、左额下回/壳核的 ALFF 值显著降低,而右侧额下回/壳核/岛叶、右侧额中回和右侧顶下小叶,双侧扣带回中部皮质、左侧中央后回和左侧楔前叶/顶下小叶的 ALFF 值较高),根据以上脑区的主要执行功能,他们认为该研究结果可能表明近视患者存在与语言理解和注意控制缺陷相关的神经生物学变化。此外,胡裕翔等<sup>[18]</sup>纳入了 21 例 HM 及 21 名健康被试者,并用 fALFF 技术探讨了 HM 患者的神经病理改变机制,他们同样发现近视患者涉及语言理解与注意力控制的多个脑区存在异常自发活动。这些研究表明近视患者的中枢神经系统可能存在异常活动。基于以上研究结果,Yu 等<sup>[19]</sup>运用 ALFF 技术对比分析了 15 例行 LASIK 术的近视患者手术前后的自发脑活动变化,他们发现同一患者特定脑区的 ALFF 值在 LASIK 手术前后有显著波动(左侧海马旁回、小脑蚓部和左侧后扣带回皮质等脑区的 ALFF 值较术前升高;左侧边缘上回和右侧三角额下回等脑区的 ALFF 值较术前降低),他们认为可根据特定脑区出现的显著活动变化来推测患者是否将具有更好的视功能,这可能对于预测 LASIK 术后患者视力的恢复水平具有重要作用。由此可见,ALFF 与 fALFF 等分析方法能为近视神经机制的研究及临床诊断、治疗等的评估发挥重要作用。

**2.2 DC** 大脑是由神经元组成的一个极其复杂的结构网

络,其结构和功能系统具有复杂网络的特征<sup>[20]</sup>。DC是基于图论衍生的度量标准,而图论是量化大脑结构和功能系统强有力的方法<sup>[21]</sup>,可将大脑分为90个区域,每一个区域作为脑网络的一个节点,DC则反映了功能性脑网络“中枢”的特性,其可衡量单个节点在脑网络中的重要性。ALFF/fALFF的研究主要反映的是视皮层和大脑区域活动的局部自发神经活动,无法直接探索全脑网络中枢,而DC则表明局部活动与全脑网络之间的关联<sup>[22]</sup>,值越大关联越强,反之则低。Hu等<sup>[23]</sup>利用DC方法研究HM患者的脑活动变化,发现HM患者不同脑区的DC值发生了改变(右侧额下回/脑岛、右侧额中回、右侧边缘上/顶叶下小叶DC值显著降低,右侧小脑后叶、左侧中央前回/中央后回、右侧中扣带回DC值显著升高),表明以上脑区与全脑网络的关联发生了变化,他们认为这可能意味着HM患者视觉运动整合网络、感觉运动网络和边缘系统发生了重组,该研究可能提示了HM的神经机制,DC值的改变可作为评估HM患者脑活动变化的生物标志物之一。另一项近视的DC研究探讨了HM与低度近视(low myopia, LM)大脑活动功能网络的差异,该研究发现HM与LM患者的DC值在不同脑区具有显著差异(HM患者的右侧小脑前叶/脑干、右侧海马旁回、左侧尾状核的DC值更高,而LM患者的左侧额内侧回、右侧额下回、左侧额中回、左侧顶叶下小叶的DC值更高),他们认为这些差异可能表明两种近视的神经机制不同,该研究可能为近视的诊断和治疗提供新的方向<sup>[24]</sup>。以上研究均提示DC值可能成为衡量近视的生物学指标之一,并提供了可能参与近视发病机制的相关脑区信息,这为近视神经机制的研究提供了重要信息。

**2.3 FC** 可通过分析脑区间BOLD信号波动的时间关系来评估各脑区间的FC。FC定义为全脑不同信号的远程神经生理指标之间的统计时间相关性,它主要用来评估各个脑区之间的活动是如何相互关联的<sup>[25]</sup>。Zhang等<sup>[26]</sup>从脑功能分离和整合的角度检测了HM患者自发脑活动的变化,他们发现相比于正常对照者,HM患者脑内的ALFF值和默认脑网络(default mode network, DMN)区域之间的FC发生了变化(扣带回后叶/楔前叶FC增加,左内侧前额回FC减少),基于此结果及DMN的执行功能,他们猜测近视可能会导致机体认知力的改变,但其具体机制的解释需有能够描述近视全面认知特征的神经影像图,目前还未成实现。尽管如此,上述FC研究在近视神经机制探讨中具有一定意义,并可能为近视的治疗提供临床指导作用。另一项关于近视的FC研究就探讨了左右视皮层间的FC在HM治疗中的作用<sup>[27]</sup>,由于过量的糖皮质激素(glucocorticoids, GC)会引起机体近视的加重,遂该研究建立了GC增强镜片诱导性近视(lens-induced myopic, LIM)的豚鼠模型,并在豚鼠背部的肾俞穴进行了电针(electroacupuncture, EA)治疗。该研究发现经过EA治疗后豚鼠的左右视皮层间的FC增加了,此外,豚鼠的近视症状也得到了抑制(眼轴相比治疗前缩短),且由GC引起的症状也得到了改善[游离三碘甲状腺原氨酸(free triiodothyronine, FT3),游离四碘甲状腺原氨酸(free thyroxine, FT4)、雌二醇(estradiol, E2)等激素浓度显著升高,睾酮(testosterone, T)浓度显著降低];而刺激假穴的对照LIM豚鼠的FC值下降,其生理参数也相应恶化(体质量下降,激素平衡破坏),该研究认为,EA可以通过增

加左右视皮层之间的FC来治疗GC增强型近视。以上关于近视的神经影像学研究揭示了fMRI的应用及FC分析方法可在近视的诊断及治疗中发挥一定作用,这可能为近视的临床治疗提供重要参考意义。

### 3 MRI在HM的神经解剖学结构改变中的应用

大脑由左右两个半球构成,大脑皮层由覆盖在其表面呈高度折叠状的灰质(grey matter, GM)构成,白质(white matter, WM)则位于大脑皮层的深部,除了分成两个半球外,大脑皮层在宏观上还分为向外折叠的脑回和向内折叠的脑沟<sup>[28]</sup>。大脑是机体获得清晰视觉感知图像不可或缺的部分,MRI可以对人脑进行活体测量,并判断大脑结构是否发生了改变。Li等<sup>[29]</sup>发现HM患者屈光不正的状态会导致其大脑结构发生变化,他们对30例成人HM患者和30名对照受试者进行了MRI扫描,发现两组被试的GM浓度无明显差异,但HM组的WM浓度增加,且WM浓度较高的区域主要分布在胼胝体区,较小的区域分布在前额叶和顶叶区,他们推测近视患者的大脑结构会发生改变,其屈光不正的状态可能会通过增强视觉皮层与视觉相关区域的相关性得到补偿。此外,我们的一项近视MRI研究中也发现了HM患者的大脑结构与健康对照者相比具有显著差异,我们发现HM患者的视觉中枢及视觉加工脑区的皮质厚度减少,而左侧多模态整合区的皮质厚度增加,这表明HM可能会导致相关脑区或易感区的结构改变,进而引起近视的加重,或者上述两种机制相互存在<sup>[30]</sup>。然而我们的研究仅仅处于发现阶段,我们希望该研究能够为探索HM的神经机制提供新的突破,并为其治疗提供新的方向。值得肯定的是,MRI在研究近视的神经结构改变中具有重要作用,近视的大脑结构相比于正视眼具有显著差异,这将为从中枢神经系统的角度上揭示近视的神经机制奠定重要基础。

### 4 总结与展望

综上所述,近视患者的大脑结构及功能均可能发生改变;脑影像相关技术的发展极大地推动了近视神经影像机制研究的进展,其中MRI可用于探讨近视患者大脑结构的改变,而fMRI在探索近视患者中枢神经系统活动的改变中具有重要作用。然而,近视的神经机制极其复杂,其相应的研究也较为有限,我们希望在接下来的研究中,近视的神经影像机制探讨不仅仅局限于发现阶段,而更多的是去探索近视患者中枢神经系统改变的具体机制。尽管现阶段的研究方法有限,但我们相信,不断地探索才能完全揭示近视患者的神经机制,为近视的防控及治疗带来新的突破。

#### 参考文献

- 1 罗丽佳,刘可,段宣初.高度近视脉络膜结构与血流变化的研究新进展.国际眼科杂志 2022;22(7):1107-1112
- 2 Holden BA. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016; 123(5): 1036-1042
- 3 Dolgin E. The myopia boom. *Nature* 2015;519(7543):276-278
- 4 Wong TY, Ferreira A, Hughes R, et al. Epidemiology and disease burden of pathologic myopia and myopic choroidal neovascularization: an evidence-based systematic review. *Am J Ophthalmol* 2014;157(1):9-25. e12
- 5 Zhai LY, Li Q, Wang TY, et al. Altered functional connectivity density in high myopia. *Behav Brain Res* 2016;303:85-92
- 6 Srinivas NS, Vimalan V, Padmanabhan P, et al. An overview on

- cognitive function enhancement through physical exercises. *Brain Sci* 2021;11(10):1289
- 7 Inoue T, Kozawa E, Ishikawa M, et al. Application of magnetic resonance imaging in the evaluation of nutritional status: a literature review with focus on Dialysis patients. *Nutrients* 2021;13(6):2037
- 8 Song TB, Han XW, Du L, et al. The role of neuroimaging in the diagnosis and treatment of depressive disorder: a recent review. *Curr Pharm Des* 2018;24(22):2515-2523
- 9 Raimondo L, Oliveira LAF, Heij J, et al. Advances in resting state fMRI acquisitions for functional connectomics. *NeuroImage* 2021;243:118503
- 10 Atchison DA, Schmid KL, Pritchard N. Neural and optical limits to visual performance in myopia. *Vision Res* 2006;46(21):3707-3722
- 11 Maleceza FJ, Boulanouar KA, Demonet JF, et al. Abnormal activation in the visual cortex after corneal refractive surgery for myopia: demonstration by functional magnetic resonance imaging. *Ophthalmology* 2001;108(12):2213-2218
- 12 李秋玉, 于晨雨, 邵毅. 弱视的影像学研究进展. 国际眼科杂志 2021;21(6):1012-1016
- 13 Mirzajani A, Ghorbani M, Rasuli B, et al. Effect of induced high myopia on functional MRI signal changes. *Phys Med* 2017;37:32-36
- 14 Mirzajani A, Tavan M, Jafarzadehpur E. The effect of optical blurring on the visual cortex response was studied by functional magnetic resonance imaging. *Modern Rehabilitation* 2012;5(4):1-8
- 15 任行玉, 周志斌, 高玉军. 静息态功能磁共振在颞叶癫痫的应用新进展. 分子影像学杂志 2021;44(1):198-201
- 16 Ding YD, Ou YP, Pan P, et al. Cerebellar structural and functional abnormalities in first - episode and drug - naive patients with schizophrenia: a meta-analysis. *Psychiatry Res Neuroimaging* 2019;283:24-33
- 17 Huang X, Zhou FQ, Hu YX, et al. Altered spontaneous brain activity pattern in patients with high myopia using amplitude of low-frequency fluctuation: a resting-state fMRI study. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2016;12:2949-2956
- 18 胡裕翔, 周荃, 李宇平, 等. 应用静息态功能磁共振成像分数低振幅技术研究中高度近视患者大脑活动的异常改变. 眼科新进展 2017;37(3):239-243
- 19 Yu YJ, Liang RB, Yang QC, et al. Altered spontaneous brain activity patterns in patients after lasik surgery using amplitude of low-frequency fluctuation: a resting-state functional MRI study. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2020;16:1907-1917
- 20 Bullmore E, Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nat Rev Neurosci* 2009;10(3):186-198
- 21 Bullmore ET, Bassett DS. Brain graphs: graphical models of the human brain connectome. *Annu Rev Clin Psychol* 2011;7:113-140
- 22 Sato JR, Biazoli CE Jr, Moura LM, et al. Association between fractional amplitude of low-frequency spontaneous fluctuation and degree centrality in children and adolescents. *Brain Connect* 2019;9(5):379-387
- 23 Hu YX, He JR, Yang B, et al. Abnormal resting-state functional network centrality in patients with high myopia: evidence from a voxel-wise degree centrality analysis. *Int J Ophthalmol* 2018;11(11):1814-1820
- 24 Cheng Y, Yan L, Hu LQ, et al. Differences in network centrality between high and low myopia: a voxel-level degree centrality study. *Acta Radiol* 2020;61(10):1388-1397
- 25 Friston KJ. Functional and effective connectivity: a review. *Brain Connect* 2011;1(1):13-36
- 26 Zhang XW, Dai RP, Cheng GW, et al. Altered amplitude of low-frequency fluctuations and default mode network connectivity in high myopia: a resting-state fMRI study. *Int J Ophthalmol* 2020;13(10):1629-1636
- 27 Zhang T, Jiang Q, Xu FR, et al. Alternation of resting-state functional connectivity between visual cortex and hypothalamus in Guinea pigs with experimental glucocorticoid enhanced myopia after the treatment of electroacupuncture. *Front Neuroinform* 2021;14:579769
- 28 Dahnke R, Yotter RA, Gaser C. Cortical thickness and central surface estimation. *Neuroimage* 2013;65:336-348
- 29 Li Q, Guo MX, Dong HH, et al. Voxel-based analysis of regional gray and white matter concentration in high myopia. *Vision Res* 2012;58:45-50
- 30 Wu YJ, Wu N, Huang X, et al. Evidence of cortical thickness reduction and disconnection in high myopia. *Sci Rep* 2020;10(1):16239