

弱视的影像学研究进展

李秋玉*, 于晨雨*, 邵毅

引用: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

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.81660158)

作者单位:(330006)中国江西省南昌市,南昌大学第一附属医院眼科

*:李秋玉和于晨雨对本文贡献一致。

作者简介:李秋玉,女,在读硕士研究生,研究方向:角膜病、眼表疾病;于晨雨,女,在读本科,研究方向:角膜病、眼表疾病。

通讯作者:邵毅,男,毕业于中山大学,博士,主任医师,副主任,博士研究生导师,研究方向:角膜病及眼表疾病。freebee99@163.com

收稿日期:2020-07-06 修回日期:2021-04-22

摘要

眼科是以影像学诊断为主的学科,随着现代医学发展,眼科方面的影像学研究进展迅猛。弱视是常见的严重损害视力的眼部疾病之一,在弱视研究方面,磁共振成像(MRI)、功能性磁共振(fMRI)、光学相干断层扫描(OCT)以及光学相干断层扫描血管造影(OCTA)等影像技术应用广泛,促进了相关影像学研究的进展。本文就各类弱视的影像学研究进展做一总结概述。

关键词:弱视;影像学;功能性磁共振成像;光学相干断层扫描

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2021.6.15

Research progress in imaging research of amblyopia

Qiu-Yu Li*, Chen-Yu Yu*, Yi Shao

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No.81660158)

Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, Jiangxi Province, China

Co-first authors: Qiu-Yu Li and Chen-Yu Yu

Correspondence to: Yi Shao. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, Jiangxi Province, China. freebee99@163.com

Received:2020-07-06 Accepted:2021-04-22

Abstract

• Ophthalmology is a subject that mainly applying the imaging examination to diagnose. With the development of modern medicine, the study in clinical imaging of ophthalmology has made a great progress recently.

Amblyopia is one of the common eye diseases, which usually result in devastating loss of vision. Sum of imaging technologies such as magnetic resonance imaging, functional magnetic resonance imaging, optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography have been extensively used in the field of amblyopia. Then that contributed to stimulate the development of the related imaging studies. In this article, we summarized and overviewed the recent progress of clinical imaging studies in various types of amblyopia.

• KEYWORDS: amblyopia; imaging; functional magnetic resonance imaging; optical coherence tomography

Citation: Li QY, Yu CY, Shao Y. Research progress in imaging research of amblyopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2021; 21(6):1012-1016

0 引言

眼球内外经检查无任何器质性病变,而视力不能矫正到正常者称为弱视。弱视按发病机制可分五种类型:斜视性弱视、屈光参差性弱视、形觉剥夺性弱视、屈光不正性弱视以及先天性弱视。影像学技术在弱视研究方面应用广泛,为弱视的诊断和治疗方案提供了更加精准的结果与依据,推动了弱视研究的发展。目前弱视研究常用的临床影像学技术有磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)以及光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA)等手段,其影像学研究及临床诊断治疗有无限的发展潜力。

1 磁共振成像

MRI技术是利用磁共振现象从人体中获得电磁信号,从而重建出信息图像,是目前弱视临床研究应用最广泛的非功能性脑成像技术之一。利用MRI技术发现,屈光不正性弱视儿童的枕叶面积改变有一定规律:屈光不正性弱视患儿双侧半球楔叶、舌回和距状沟周边区,左侧半球枕外侧叶与对照组相比范围明显变小($P < 0.05$),提示皮层形态及功能改变与弱视发生、发展密切相关^[1]。在弱视发生机制的研究中,Lebedeva等^[2]利用MRI分析了弱视儿童与视觉皮层相关的主要区域。相关分析表明,弱视眼视敏度与同侧皮层厚度呈正相关,并且用另一解剖图集获得的弱视眼视敏度与同侧V1区皮层厚度之间的正相关关系经多次比较校正后仍然存在。这一发现支持了弱视儿童的病理个体发生过程导致初级视觉皮层结构异常的假说。Lu等^[3]在研究中也证实了成年弱视患者左枕外侧皮

质体积减小,双侧颞下回、左中央前回皮质厚度减小,它们是视觉皮质的投射区,对视觉形态和物体位置信息的处理有重要作用。有研究表明,可将高分辨率 MRI 与视力测试相结合,用于分析弱视儿童白质体积的改变。与对照组相比,弱视儿童的白质体积减少,受累区域以枕叶两侧为主,而额叶中部较小,该结果提示弱视的视觉缺陷会影响脑白质的发育^[4]。目前 MRI 技术对弱视患者的脑结构及部分功能的改变有一定提示,且经济成本较低,易于得出结果,对弱视发生机制的研究有一定的贡献。但其对弱视的临床诊断及疗效评估方面效果及准确性较差,故而在弱视研究中应用并不十分广泛,尚有发展提升空间。

2 功能性磁共振成像

fMRI 可无创、准确、以三维形式呈现视皮层神经元的功能活动状态,为弱视神经机制及治疗效果评价提供了可靠依据。其中,血氧水平依赖性功能核磁共振 (blood oxygenation level dependent-functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI) 以及扩散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 技术以其高度的空间分辨率等优势在弱视研究中得到了广泛应用与认可,现已逐渐成为神经系统功能和视觉发育等研究领域重要的辅助手段。

眼间抑制在弱视患者的视觉缺陷中起着重要作用。大多数弱视抑制的神经生理学和 fMRI 研究都使用了视野内重叠的分视刺激。然而,当双眼刺激不重叠时,弱视眼睛也会受到抑制,这种现象称为远距离抑制。在 Thompson 等^[5]最初的研究中,使用 fMRI 没有在 V1、V2 或 V3 观察到远距离弱视眼抑制的神经特征,这种类型的抑制可能涉及大脑中更高级的处理区域;Dai 等^[6]利用 fMRI 研究单侧弱视儿童与健康对照组 (healthy controls, HCs) 之间的局部大脑活动和功能连接 (FC) 的差异,发现单侧弱视可能会降低背侧和腹侧视觉通路中的局部脑活动和 FC,并影响自上而下的注意力控制。除此之外,fMRI 结果表明弱视还可能改变大脑功能网络之间的 FC。

2.1 血氧水平依赖性功能核磁共振 BOLD-fMRI 是目前应用最广泛的 fMRI,是以内源性顺磁性物质脱氧血红蛋白为对比剂,获得大脑皮层血管内 MRI 信号变化,从而获得活动区域图像。因其能在活体无创性观察人脑功能并进行定量分析,所以该技术的出现具有划时代的意义。利用 BOLD-fMRI 技术发现了弱视患者枕叶皮质功能的改变情况。Zeng 等^[7]采用 BOLD-fMRI 技术将儿童弱视眼与 HCs 结果进行比较,发现人类弱视可能导致枕叶皮质功能障碍,降低初级视觉活动。此外,在应用 BOLD-fMRI 技术对屈光参差性弱视患者进行枕叶皮层纹状体区和纹状体外侧的激活情况与视敏度相关性的研究中发现,纹状皮质和纹状体外皮质的激活区视敏度仍明显低于正常眼,表明纹状体和纹状体外皮质的激活与患者视敏度没有关系,屈光参差性弱视的视敏度与视皮层纹状区、纹状体外皮质的激活情况无相关性^[8]。由此可见,fMRI 检查结果对弱视患者的脑功能评价有很大的潜在价值。

BOLD-fMRI 在治疗效果评估方面也起着重要作用。张惠芳等^[9]利用 BOLD-fMRI 评估了屈光参差性弱视儿童治疗后色觉视觉皮层激活范围的治疗后恢复情况。

通过直接比较 13 例单眼屈光参差性弱视儿童彩色单眼刺激产生的视觉皮层活动治疗前后的变化,发现经 4wk 的治疗后,屈光参差性弱视儿童色觉的视觉皮层激活范围扩大,但变化的程度较低。该结果表明,经过短期治疗,屈光参差性弱视患者色觉的视觉皮层活化有一定程度的恢复但效果相对较不显著。长期来看,可以应用 BOLD-fMRI 定期评价弱视儿童正常训练后视觉皮层功能的激活程度。李阳等^[10]通过选取 13 例屈光参差性弱视儿童治疗前后的 BOLD-fMRI 检查结果进行自我对照研究,比较分析弱视治疗前、治疗后 18、24mo 和停止治疗后 6mo 的脑区域激活数据差异,发现屈光参差性弱视在经过 2a 治疗后其视觉皮层功能基本无变化,说明弱视的持续治疗对视皮层功能重建无明显作用。BOLD-fMRI 的应用有效地评估了屈光性弱视的治疗效果,对治疗意义的评价及治疗手段的取舍和改善起到了关键性作用。

2.2 扩散张量成像 DTI 是一种高效、无创的影像学技术,可探究白质纤维束的特点和作用,还可以用于研究神经系统的结构和功能之间的关系,视觉发展的可塑性和损伤修复,以及视觉通路相关的白质异常问题。近年来,DTI 被用于对弱视患者的对侧膝状体至枕叶视觉皮层间的白质纤维束进行定量研究,为其白质的功能和结构情况提供了形态学信息。

Li 等^[11]应用 DTI 技术研究单眼弱视儿童灰质和白质的潜在形态改变时发现,与正常对照组相比,单眼弱视组的左侧枕下回、双侧海马旁回和左额上/中央后回灰质体积 (grey matter volume, GMV) 减小,舌回 GMV 增大,与此同时,左侧胼胝体、双侧额下回和右侧楔前叶的白质体积 (white matter volume, WMV) 减少,右侧楔前叶、右侧枕中回、左侧眶额区白质体积 (white matter volume, WMV) 增加,表明在单眼弱视中,与空间视觉相关的皮质发生体积丢失,该发现为立体视觉缺陷提供了神经解剖学证据。Duan 等^[12]使用 DTI 技术对 28 个主要白质束的组织特性进行了调查,发现患有长期斜视性弱视的成年人视束的平均弥散率 (mean diffusivity, MD) 升高,根据 MD 大小对视束进行排序,其中额叶前部胼胝体 (ACC)、右侧枕叶垂直束 (VOF)、左侧下纵束 (ILF) 和左侧视辐射受累最严重。此外,利用 DTI 研究发现屈光参差性弱视患者视辐射的可压缩性、完整性和指向性均下降^[13]。

3 光学相干断层扫描

OCT 是一种高分辨、非接触性的活体生理组织结构成像技术,利用近红外线及光学干涉原理对生物组织进行成像与精确测量,其测量值不会受到眼轴长短及屈光度的影响^[14]。OCT 目前的最新进展是一种增强深度成像 (enhanced depth imaging, EDI) 技术,以无创方式实现了出色的脉络膜可视化。近年来,已有多项研究使用 EDI-OCT 来评估各种眼病的脉络膜变化。在临床上和弱视研究中使用最广泛的 OCT 亚型是光谱域 OCT (SD-OCT),使用 SD-OCT 对弱视患者眼部组织厚度进行测量观察到一些发现。

3.1 脉络膜厚度 现已有许多项研究利用 OCT 针对弱视眼脉络膜厚度 (choroidal thickness, CT) 变化进行分析,但

其结论却并不尽相同。

Liu 等^[15]采用 EDI-OCT 测量了 3 个国家 768 名参与者(449 例患者,319 例对照者)的中央凹下脉络膜厚度,分别针对考虑眼轴长度和不考虑眼轴长度进行了单独分析。两种分析得出相同的结论,即与同伴和对照眼相比,弱视眼的脉络膜厚度总体增加。Hansen 等^[16]对调整眼轴长度与否的检测分析得出了更进一步的结论,他们对 20 例弱视儿童进行 EDI-OCT 检测后得出,调整眼轴长度后,弱视眼的中央凹下脉络膜厚度与正常眼相比有所增厚,而未调整眼轴长度一组出现显著增厚。另一研究表明,不同类型弱视的 EDI-OCT 分析其脉络膜厚度变化可能有差异。Niyaz 等^[17]使用 EDI-OCT 比较了 90 例患有各种弱视的儿童(包括 20 例屈光参差患者,57 例斜视性弱视患者和 13 例混合型患者)与 30 例对照者(其中 10 例为远视性弱视患者)的脉络膜厚度,发现屈光参差性眼的脉络膜厚度有所增加,但其他弱视类别眼的脉络膜厚度没有显著差异。此外,Bitirgen 等^[18]利用 SD-OCT 检测了 53 例单眼弱视患儿(29 例远视性屈光参差弱视和 24 例斜视性弱视)瞳孔周围的脉络膜厚度,发现弱视一侧眼的乳头周围脉络膜厚于对侧健康眼。

Nishi 等^[19]研究发现,弱视眼的脉络膜不仅厚度增加,其总脉络膜面积也较对照组大。他们发现在脉络膜内,相对于对照眼和远视眼,弱视眼的脉络膜腔与基质的比要更大,并推测此比值的增加可能表示该眼发育不成熟,但这种差异可能是由细胞变化引起的。

3.2 黄斑区视网膜厚度 Niyaz 等^[17]分析 28 项 2015 年前针对弱视黄斑区视网膜厚度(macular retinal thickness, MRT)的临床研究结论发现,7 项研究显示中央凹最小厚度增加,11 项研究显示平均中央凹厚度增加,13 项研究显示平均黄斑厚度增加。同时,在多项研究弱视眼和对照眼的黄斑差异的研究中,3 项研究显示中央凹的最小厚度增加,但 8 项研究显示屈光参差性弱视与斜视性弱视的平均中央凹或黄斑厚度没有差异^[20]。屈光参差性弱视患者的平均黄斑中央厚度变化可能与患者年龄有一定关系,Demircan 等^[21]发现 5~12 岁的屈光参差性弱视患者平均黄斑中央厚度明显增加,但 13~42 岁较年长患者中却未发现这种差异。Chen 等^[22]通过 OCTA 对 85 例弱视儿童(5~12 岁)和 66 例年龄相匹配的对照组的浅表和深层毛细血管丛的黄斑血管密度(SCP、DCP)和视网膜厚度进行测量,对比发现弱视的 SCP 中黄斑中心凹厚度和黄斑中心血管密度低于正常儿童($P \leq 0.008$),得出屈光参差性弱视黄斑血管密度降低明显,其他弱视则降低程度较小和视网膜小血管密度与黄斑内视网膜的厚度有关的结论,但视网膜改变的因果仍未确定。闫锡秋等^[23]对远视性弱视患者和正常者进行 OCT 检查的结果显示,弱视治愈后黄斑中心区视网膜厚度变薄,能够达到正常眼的厚度。还有多项研究均显示弱视眼中央黄斑区视网膜厚度与正常眼相比有增厚,但在 Niyaz 等^[17]的汇总分析中,没有发现黄斑内膜或黄斑外膜厚度的显著差异。

3.3 视网膜神经纤维层厚度 早期运用 OCT 对视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)的研究是基于弱

视代表轻度视神经病变的假设^[24],Liu 等^[15]对 2017 年前的研究分析发现,20 项研究数据显示,弱视眼的 RNFL 厚度总体上更厚,但是其中有 4 项研究比较了弱视眼和对照组的 RNFL 厚度,没有发现差异。2017 年后有 11 项研究专门检查了弱视眼的 RNFL,其中 2 项发现 RNFL 厚度显著增加^[17]。吕勇等^[25]对单侧先天性白内障术后屈光性弱视眼的 RNFL 厚度进行评估,发现其视网膜存在鼻侧 RNFL 厚度增加的架构性改变。然而 Atsushi 等^[26]使用 OCT 对 26 例持续性单侧弱视患者和 25 例恢复单侧弱视患者的视网膜神经纤维层厚度(retinal nerve fiber layer thickness, RNFLT)进行测量和分析,结果发现持续弱视眼与已恢复的弱视眼之间的 RNFLT 无显著差异,Kavitha 等^[27]对 30 例单侧趋光性参差弱视患者和正常儿童进行检查同样发现弱视眼和正常同侧眼以及闭塞治疗前后的之间的 RNFLT 没有差异。另外 Sahin 等^[28]运用 OCT 对 74 例屈光参差性弱视患者和 78 名正常视力者的 RNFLT 进行测量分析,进一步证实弱视的存在并没有导致 RNFLT 差异,即弱视过程可能对视网膜并没有深刻的影响,这也对弱视的治疗提供了参考意义。

4 光学相干断层扫描血管造影

光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA)采用传统的横断面扫描(B 扫描)结合冠状面扫描(C 扫描)的 En face 模式获取三维数据图像,能直接观察到眼部病变范围、深度及新生血管长度、口径大小、面积等变化^[29],且其快速的,可量化血流,非接触性等特点在弱视的影像学研究中具有重要意义。

Cinar 等^[30]在应用 OCTA 技术评价弱视眼视网膜血管结构的研究中,发现弱视眼视网膜上象限的浅、深毛细血管丛密度明显降低。虽然 OCTA 在弱视眼中没有发现明显的血管损伤,但局部的缺陷可能是其特有的,需要更多的研究来评估与弱视相关的血管损伤的特异性定位。OCTA 对弱视的发病机制的研究上也有着重要临床意义,Kaur 等^[31]对 14 例弱视患者进行了视网膜和绒毛膜的 OCTA 检查,发现与正常眼相比,弱视眼的绒毛膜毛细血管密度较低,而绒毛膜毛细血管密度与视敏度呈正相关,从而推论出弱视的发病机制可能与视锥肌有关,视锥肌是光感受器血液供应的主要来源。Chen 等^[22]对 85 例弱视儿童(5~12 岁)和 66 名年龄匹配的对照者采用 OCTA 检测,比较弱视组和对照组的黄斑血管密度和视网膜厚度,结果发现弱视组的黄斑中心凹血管密度和黄斑血管密度均低于对照组,屈光参差性弱视患者视网膜浅层毛细血管丛与对照组相比差异最大($P \leq 0.005$),深层毛细血管丛与对照组相似,且黄斑血管密度在屈光参差性弱视时降低,而在其他弱视时降低程度较轻。

印度一项研究通过 OCTA 检查比较了斜视性弱视患者的斜视眼与其者正常眼上、下、鼻和颞象限视网膜浅层毛细血管密度差别,发现斜视眼以视网膜中央凹为中心的 4.5mm×4.5mm 视网膜浅层毛细血管密度与正常眼相似^[32]。另外,Cinar 等^[30]运用 OCTA 对 37 例等距性弱视眼患者和 37 例健康对照组患者进行比较,发现中央凹和

中央凹区的浅层和深层毛细血管丛血管密度在两组之间无显著差异;在上象限中,弱视眼的浅表和深层毛细血管丛中央凹旁密度明显较低;两组之间的中央凹无血管区域无显著差异。

5 其他

除上述主要影像学技术用于弱视研究外,目前临床应用较广泛的脑磁图(magnetoencephalography, MEG)、正电子发射型计算机断层显像(positron emission tomography, PET)、单光子发射计算机断层显像(single photon emission computed tomography, SPECT)等影像学 and 电生理检查手段也对弱视检查、诊断及治疗起到了极大的帮助。MEG 是 20 世纪 60 年代后期发展起来的无创性研究脑磁场信号的图像技术,能对大脑活动进行真正的实时监测,并能准确地描记电磁波产生的部位。应用 MEG 技术可以研究屈光参差性弱视儿童视皮层功能损害,探索屈光参差性弱视发病的可能中枢机制^[33]。PET 是继 CT 和 MRI 之后应用于临床的一种新型的影像技术,由脑糖代谢和脑血流所成的 PET 图像可以较好地评估弱视患者的中枢异常情况,但运动处理中枢的功能异常需要取决于弱视的类型。SPECT 是目前核医学中先进的设备和显像方式,利用注入人体内的单光子放射性核素(如 ^{99m}Tc , ^{123}I 等)发出的 γ 射线在计算机辅助下重建影像,构成断层影像。通过 SPECT 检测的实验结果表明,弱视眼发出的放射强度相对于正常眼睛要弱得多,说明弱视眼由刺激所引起的中枢反应明显低于正常眼^[34]。目前现有的影像学研究已经可以较为准确的定位弱视发生中枢损害的脑区定位,并且,它们具有直观、实时、无创等优点,在视觉中枢的研究中有着广阔的应用前景。

6 总结

从以上各种方法的研究结果来看,随着影像学的发展,这些技术对于弱视患者中枢结构和功能变化的研究具有一定敏感性,其应用是切实可行的,并且应用范围逐渐广泛。影像技术是研究人类弱视的有效工具,其直观、客观以及精确度较高等特点使得影像学技术在弱视的研究领域具有广阔的应用前景,同时也为弱视患者的神经病理机制的研究提供了重要依据,为弱视的诊断和治疗提供了参考意义,但现有的各类影像技术均具有各自的局限性,并且目前的技术还无法为弱视的发病机制提供较为精确的阐释,目前逐渐精确的弱视中枢定位对弱视机制的进一步研究至关重要,对弱视进一步的矫正和治疗方案也提供了更多的可行性参考。在未来的研究中,可结合多种检查方法、数据分析方法进行更深一步分析,在影像学 and 眼科神经科学工作者的不断探索、共同的挑战下,明确的弱视发病机制将逐渐清晰明朗。

参考文献

- 1 杜寒剑,王健,谢兵,等. 屈光不正性弱视儿童枕叶面积的磁共振成像研究. *眼科* 2007;16(5):315-318
- 2 Lebedeva IS, Hatsenko IE, Sturov NV, et al. Cerebral structural characteristics in children with unilateral amblyopia: a MRI study. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 2018;118(52):69-74
- 3 Lu L, Li Q, Zhang LQ, et al. Altered cortical morphology of visual cortex in adults with monocular amblyopia. *J Magn Reson Imaging* 2019;

- 50(5):1405-1412
- 4 Jiang Q, Li Q, Guo M, et al. VBM analysis of white matter volume in children with ametropic amblyopia. *Biomedical Engineering Informatics (BMEI)* 2012; 10: 387-390
- 5 Thompson B, Maehara G, Goddard E, et al. Long-range interocular suppression in adults with strabismic amblyopia: a pilot fMRI study. *Vision* 2019;3(1):2
- 6 Dai P, Zhang J, Wu J, et al. Altered Spontaneous Brain Activity of Children with Unilateral Amblyopia: A Resting State fMRI Study. *Neural Plast* 2019;25:3681430
- 7 Zeng W, Jiang L. Bold-fMRI activation from visual stimuli in human amblyopia with independent component analysis. *Concepts Magn Reson Part B* 2010;37B(1):7-12
- 8 Li C, Cheng L, Yu Q, et al. Relationship of Visual Cortex Function and Visual Acuity in Anisometric Amblyopic Children. *Int J Med Sci* 2012;9(1):115-120
- 9 张惠芳,燕振国. 屈光参差性弱视儿童色觉中枢激活范围的 BOLD-fMRI 初步研究. *国际眼科杂志* 2014;14(8):1484-1487
- 10 李阳,燕振国,曹虹,等. 儿童屈光参差性弱视立体视觉中枢区激活的 fMRI 远期研究. *国际眼科杂志* 2015;15(11):1980-1983
- 11 Li Q, Jiang QY, Guo MX, et al. Grey and white matter changes in children with monocular amblyopia: voxel-based morphometry and diffusion tensor imaging study. *Br J Ophthalmol* 2013;97(4):524-529
- 12 Duan Y, Norcia AM, Yeatman JD, et al. The Structural Properties of Major White Matter Tracts in Strabismic Amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56(9):5152-5260
- 13 宋海燕,齐顺,唐鹤菡,等. 屈光参差性弱视放射发育的磁共振 DTI 及 DTT 研究. *四川大学学报(医学版)* 2010;41(4):648-651
- 14 Syunsuke A, Atsushi M, Tsutomu Y, et al. A comparison between amblyopic and fellow eyes in unilateral amblyopia using spectral-domain optical coherence tomography. *Clin Ophthalmol* 2014; 8(1): 2199-2207
- 15 Liu Y, Dong Y, Zhao K. A meta-analysis of choroidal thickness changes in unilateral amblyopia. *J Ophthalmol* 2017;2017:2915261
- 16 Hansen MH, Munch IC, Li XQ, et al. Visual acuity and amblyopia prevalence in 11-to 12-year-old Danish children from the Copenhagen Child Cohort 2000. *Acta Ophthalmol* 2018; 97(1):29-35
- 17 Niyaz L, Yucel OE, Ariturk N, et al. Choroidal thickness in strabismus and amblyopia cases. *Strabismus* 2017;25(2):56-59
- 18 Bitirgen G, Mirza E, Ozkagnici A, et al. Analysis of Peripapillary Choroidal Thickness in Unilateral Amblyopia. *J Ophthalmic Vis Res* 2019; 14(1):42-47
- 19 Nishi T, Ueda T, Hasegawa T, et al. Choroidal thickness in children with hyperopic anisometric amblyopia. *Br J Ophthalmol* 2014; 98(2): 228-232
- 20 Li J, Ji P, Yu M. Meta-analysis of retinal changes in unilateral amblyopia using optical coherence tomography. *Eur J Ophthalmol* 2015; 25(5):400-409
- 21 Demircan S, Gokce G, Yuvaci I, et al. The assessment of anterior and posterior ocular structures in hyperopic anisometric amblyopia. *Med Sci Monit* 2015; 21:1181-1188
- 22 Chen W, Lou J, Thorn F, et al. Retinal Microvasculature in Amblyopic Children and the Quantitative Relationship Between Retinal Perfusion and Thickness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019; 60(4): 1185-1191
- 23 闫锡秋,苑明茹. 弱视治愈儿童视网膜厚度的光学相干断层扫描. *中国伤残医学* 2014;22(10):188
- 24 Yen MY, Cheng CY, Wang AG. Retinal nerve fiber layer thickness in

unilateral amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45(7):2224-2230

25 吕勇, 李创, 高莎莎, 等. 儿童单眼先天性白内障术后形觉剥夺性弱视眼视盘周围RNFL和黄斑厚度检测. *郑州大学学报* 2015;50(3):420-423

26 Atsushi M, Motohiro S, Kiyoshi Y, *et al.* Retinal nerve fiber layer thickness in recovered and persistent amblyopia. *Clin Ophthalmol* 2010;20(4):1061-1064

27 Kavitha V, Heralgi MM, Harishkumar PD, *et al.* Analysis of macular, foveal, and retinal nerve fiber layer thickness in children with unilateral anisometropic amblyopia and their changes following occlusion therapy. *Indian J Ophthalmol* 2019;67(7):1016-1022

28 Sahin G, Dal D. Analysis of retinal nerve fiber layer thickness in anisometropic amblyopia via optic coherence tomography. *Albrecht Von Graefes Arch Fur Klinische Und Exp Ophthalmol* 2019;257(10):2103-2110

29 邵毅. 光学相干断层扫描血管造影(OCTA)在眼科临床的应用.

眼科新进展 2017;37(9):801-805

30 Cinar E, Yuce B, Aslan F, *et al.* Comparison of Retinal Vascular Structure in Eyes With and Without Amblyopia by Optical Coherence Tomography Angiography. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2020;57(1):48-53

31 Kaur S, Singh SR, Katoch D, *et al.* Optical Coherence Tomography Angiography in Amblyopia. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2019;50(11):294-299

32 Pujari A, Chawla R, Mukhija R, *et al.* Assessment of macular vascular plexus density using optical coherence tomography angiography in cases of strabismic amblyopia. *Indian J Ophthalmol* 2019;67(4):520-521

33 张萌, 孙伟, 孙吉林, 等. 屈光参差性弱视儿童脑磁图的初步研究. *中国斜视与小儿眼科杂志* 2009;17(4):148-152,193

34 梁平, 王秦令. 功能性影像技术在弱视研究中的进展. *眼视光学杂志* 2006;8(1):63-65