

眼科检查和功能性磁共振在垂体腺瘤研究中的应用进展

郭庆¹, 庞燕华²

引用:郭庆,庞燕华. 眼科检查和功能性磁共振在垂体腺瘤研究中的应用进展. 国际眼科杂志 2022;22(7):1148-1152

作者单位:¹(524000)中国广东省湛江市,广东医科大学;

²(524000)中国广东省湛江市,广东医科大学附属第一医院眼科

作者简介:郭庆,在读硕士研究生,研究方向:眼底病。

通讯作者:庞燕华,毕业于广东医科大学,硕士研究生,主任医师,硕士研究生导师,眼科教研室主任,研究方向:眼底病。1049371818@qq.com

收稿日期:2021-09-22 修回日期:2022-05-27

摘要

垂体腺瘤是颅内最常见的良性肿瘤,其症状主要为视功能受损和内分泌激素紊乱。由于垂体与视交叉的特殊位置关系,视力下降和视野缺损多为首发症状,患者常常首诊于眼科。视野检查和光学相干断层扫描(OCT)可判断视野缺损程度和眼底情况,电生理检查可明确视神经是否受损,均可作为垂体腺瘤患者视功能的评估指标。磁共振作为影像学工具,其衍生技术——功能性磁共振,近年来用于研究垂体腺瘤质地及视神经完整性。此类全面详细的检查可以帮助患者明确最佳治疗时机,提高生活质量。本文针对眼科各项检查(视野、OCT和电生理)和功能性磁共振在垂体腺瘤中的应用进行简要综述。

关键词:垂体腺瘤;光学相干断层扫描;磁共振;视神经

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.7.16

Progress in ophthalmic examination and functional magnetic resonance imaging in pituitary adenoma

Qing Guo¹, Yan-Hua Pang²

¹Guangdong Medical University, Zhanjiang 524000, Guangdong Province, China; ²Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Guangdong Medical University, Zhanjiang 524000, Guangdong Province, China

Correspondence to: Yan - Hua Pang. Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Guangdong Medical University, Zhanjiang 524000, Guangdong Province, China. 1049371818@qq.com

Received: 2021-09-22 Accepted: 2022-05-27

Abstract

• Pituitary adenoma, the most common benign tumor in brain, its symptoms mainly include impaired visual function and endocrine hormone disorder. Visual acuity decline and visual field defect are the first symptoms, because of the special position of pituitary and optic

chiasma, patients are often first seen in the ophthalmology department. Visual field examination and optical coherence tomography (OCT) can determine the degree of visual field defect and fundus condition. Electrophysiology examination can determine whether the optic nerve is damaged. All of them can be used as evaluation indexes of visual function in patients with pituitary adenoma. As an imaging tool, functional magnetic resonance, a derivative technique, has been used to study the texture of pituitary adenoma and optic nerve integrity in recent years. These comprehensive and detailed examinations can determine the best time for treatment and improve quality of life for patients. This article reviews the application of ophthalmic examination (visual field, OCT and electrophysiology) and functional magnetic resonance in pituitary adenoma.

• KEYWORDS: pituitary adenoma; optical coherence tomography; magnetic resonance; optic nerve

Citation: Guo Q, Pang YH. Progress in ophthalmic examination and functional magnetic resonance imaging in pituitary adenoma. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(7):1148-1152

0 引言

垂体腺瘤(pituitary adenoma, PA)是颅内高发肿瘤,发病率为千分之一^[1],大约占有脑肿瘤的15%^[2],视力下降为最常见的主诉,视功能损害发生在32%~70%的患者中^[3]。由于垂体与视交叉解剖位置靠近,瘤体可从下方压迫视交叉,临床上常表现为双眼颞侧视野缺损^[4]。目前内窥镜鼻内蝶窦手术被认为是治疗PA的最佳术式^[5]。但是术后部分患者视功能恢复,部分患者继续恶化,或者出现新的视功能受损^[6],因此预测术后视功能恢复的影响因素成为研究热点,随着技术发展,新的研究方向主要集中在PA对视神经的影响,利用磁共振研究PA大小、质地及压迫程度,利用眼科检查(视野、OCT、电生理等)研究视神经及视网膜的微观改变,以及两者之间的关联性。本文针对眼科检查和影像学检查在PA研究中的新进展进行综述。

1 PA患者视路损伤的机制

垂体位于鞍区内,与视交叉的解剖位置靠近,PA容易向外扩张,侵袭周围组织^[6-7],导致前视觉通路受损,其机制主要有2个:机械压迫和窃血现象^[8-9]。(1)瘤体的机械性压迫:垂体瘤向上生长,突破鞍隔,首先压迫视交叉鼻下纤维,导致颞上象限视野缺损^[4]。视神经上的压力可能导致以下变化:视交叉局部缺血损伤、轴突膜通透性变化、视觉通路信号传导阻滞、神经纤维脱髓鞘、神经突触的逆行变性和顺行变性等^[9-11]。上述变化都会使得视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度变薄, Pócoş等^[12]发现RNFL厚度与肿瘤压迫程度相关, Ho等^[13]认为

肿瘤大小与视野缺损及预后相关,也有研究认为肿瘤大小对视觉预后影响不大,可能是因为瘤体生长缓慢,这给了视交叉和视神经适应压迫的时间^[14-15]。同时,术后视功能改善与瘤体生长位置及视功能损害的时间长短有关^[16]。然而有人报道过视交叉完全未累及,却出现了不同程度的视力下降与视野缺损的病例,说明机械压迫不是视功能损害的唯一机制^[17-18]。(2)“窃血现象”:供应视交叉下部的血管与供应垂体的血管有着广泛的吻合,近年研究表明由于这些吻合的存在,垂体瘤可窃取血流,使视交叉的毛细血管发生缺血,出现相应的视路损伤症状^[15,19]。

2 PA 患者的眼科检查

由于垂体与视交叉靠近,垂体病变可引起眼部症状,其诊治与眼科息息相关。而随着眼科医生对视交叉、视网膜、视功能三者间关系的不断深化了解和眼科仪器的发展,研究手段也愈发丰富。包括视野、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)、电生理检查等。

2.1 视野检查 PA 患者的视野缺损率为 9%~32%^[20-21]。而且常常为特征性的表现:单眼或双眼颞侧视野缺损,视野缺损的顺序一般为颞上、颞下、鼻下和鼻上,这是因为瘤体从下方开始压迫视交叉,导致鼻侧下方神经纤维受损,表现为颞上视野缺损,继而是颞侧神经纤维受损,鼻下方视野缺损^[4],最终全部受压,导致全盲。但是,视野检查容易受主观因素影响,比如 Klauber 等^[22]研究显示,有 37% PA 患者表示没有主观上的视野缺损,但是视野检测确实存在明显问题。与此相仿,有些视交叉受压(影像学已证实)的患者并没有视野缺损的症状,除了主观因素的影响,这也可能是因为视神经的损害是缓慢而隐匿的。例如,同样是造成视神经损害的青光眼疾病,对于青光眼的患者,直到至少 30% 的视网膜神经节细胞死亡,其视野缺损才会出现^[23]。虽然视野检查可以协助对疾病做出诊断,但是针对早期未出现视野改变的患者,临床上需要更精确且更早期的视神经受损的证据,而视神经一旦损伤即会出现视网膜神经节细胞复合体(ganglion cell complex, GCC)和 RNFL 的变薄^[24],因此这两者可以作为评估视神经早期受损的依据。

2.2 OCT 检查 OCT 是一种常见的眼科检查,可以在极其细微的组织学水平上对视网膜进行扫描,现已广泛应用于眼科临床研究视神经和视网膜疾病,可以直接检测 RNFL 层以及 RGC 层的厚度改变。因此 OCT 可以作为可靠的工具来发现 PA 患者是否出现视神经受损。Richard 等^[25]利用 OCT 检测 RNFL 和 GCC 的厚度,证实了 RNFL 和 GCC 分析比视野检查在评估视神经受损方面及评估手术预后更为灵敏。(1)RNFL 厚度:Yoneoka 等^[26-28]研究认为 RNFL 厚度是视野恢复的独立预测因子,而另一方面, Helen 等^[19]利用 OCT 检测了 107 例垂体瘤患者的 RNFL 层厚度,他们将其分为 2 组:变薄组和正常组,并进行了 3 次随访(术前 1mo,术后 1mo,1a),结果发现正常组最佳矫正视力提高更明显,但 Póczy 等^[12]对此持相反意见,认为术前较薄的 RNFL 并不能预示着术后视功能恢复不好。(2)黄斑区 GCC 厚度:这是近年来的研究热点,曾有人报道了视野正常,但异常 GCC 层分析结果与视交叉慢性压迫一致的病例^[29-30]。Micieli 等^[31]认为慢性视交叉受压迫时,黄斑区 GCC 最先出现异常,然后 RNFL 出现异常,最后才是视功能受损。但是 Mark^[32]对此持相反意见,认为

RNFL 异常比 GCC 出现更早。我们认为,造成这样结果差异巨大的部分原因可能是:部分研究仅关注视神经视网膜的损伤评估;部分文献仅着重于研究瘤体导致视交叉的局部受压缺血;部分研究仅探讨视放射、视皮层的改变。(3)黄斑区与视盘 OCT 血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA):OCTA 可以对黄斑和视神经内的血管组织进行非侵入性评估,常用于检测视网膜血管及血流密度,关于 OCTA 应用垂体瘤方面的研究目前极少,Dallorto 等^[33]在研究中除了统计视野, RNFL 和 GCC 厚度等数据,还首次利用 OCTA 引入了视乳头血管密度(peripapillary vessel density, PPVD)和黄斑血管密度(vascular density, VD),将患有视神经病变(optic neuropathy, ON)的 PA 患者与未患有 ON 的患者以及健康受试者进行比较,结果发现与健康组相比, ON 患者的浅表血管丛 PPVD 和 VD 显著降低(分别为 $45.21\% \pm 5.69\%$ vs $50.52\% \pm 2.14\%$, $43.79\% \pm 5.03\%$ vs $48.96 \pm 2.94\%$)。在两组之间的黄斑深层血管复合物(deep capillary complex, DVC)中未观察到显著差异。与健康受试者相比, ON 患者的 PPVD 平均降低了 10.51%。与其他组相比, ON 患者 RNFL 和 GCC 厚度显著降低, PPVD 与 RNFL 厚度和视野 MD 值显著相关。OCTA 测量数据可以确认与神经节细胞功能障碍或丢失有关的血流减少,因为它们显示了 ON 患者浅层血管丛中的血管密度减少,且浅层血管丛主要供应 GCC 层的血流,相反,主要供血 INL 层(内核层)的深层血管丛中的血管密度在 PA 患者和健康受试者之间没有显著不同^[33-34]。上述结论都表明, OCTA 的应用可以为研究 PA 与视神经之间血供关系及窃血现象,提供新的思路和证据。

2.3 电生理检查 视觉诱发电位(visual evoked potential, VEP),它是视网膜受到图形或闪光刺激后,经放置在头颅枕区的头皮作用电极记录的电位反应,反映被测者自视网膜神经节细胞至视皮质的形觉信息的传递功能, P-VEP 成分的振幅和 P100 波潜伏期两项参数较为恒定,有很高的临床应用价值,是评估视神经损伤一种灵敏而客观的方法,可用于检测和量化视交叉前视觉通路的异常。视觉功能与 VEP 中 P100 波的潜伏期和幅度相关,视神经内或周围的压迫性或破坏性病变以及手术操作会延长反应潜伏期、减弱振幅并扭曲振幅形态^[35]。VEP 在 PA 患者治疗期间可以作为较好的参考指标^[35-36]。Nidan 等^[37]采用了多焦点视诱发电位(multiple-function VEP, mfVEP)作为 PA 患者的检查手段,发现视野与 mfVEP 之间表现出良好的一致性。VEP 也曾应用于手术中。Wright 等^[38]首先在眼眶肿瘤手术期间应用 VEP 监测,自那以后,其余的学者也证明了 VEP 监测技术在切除垂体肿瘤过程中的重要性^[39-40]。视网膜电图(electroretinogram, ERG)的参数变化对于检测神经节细胞功能障碍和提供视觉结果的预后指标也很重要^[40-42]。Kamio 等^[43]在经蝶窦入路手术中对患者进行了术中 VEP 联合 ERG 监测,当手术中 VEP 和 ERG 幅度变化超过规定阈值时,外科医生立即收到警报,并停止手术操作,直到 VEP 恢复,发现术中 ERG 振幅降低的患者,术后视力预后差,而振幅稳定不变的患者,没有观察到视力下降,其研究结果肯定了 ERG 可以作为一个可靠指标。这些研究对于 PA 患者的手术方式及术中监测提供了潜在的新思路。

3 PA 患者的功能性磁共振检查

磁共振(magnetic resonance, MR)成像清,分辨率高,受颅骨伪影的影响较少,可清晰地显示视交叉的形态及其相邻组织,是指导 PA 患者治疗计划的重要工具。一些新的功能性磁共振成像技术,如弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI),近年来成为 PA 临床研究中的热点^[44]。

3.1 DWI DWI 是目前唯一能在活体组织中测量水分子扩散运动的检查方法, DWI 成像原理是在自旋回波(SE)或梯度回波(GRE)的基础上,依赖水分子运动的一种新的对比成像技术。常用表观弥散系数值(apparent diffusion coefficient, ADC)量化水分子弥散运动的情况,该值越大,代表水分子弥散运动越自由;反之代表水分子弥散运动越受限。ADC 值在正常组织与异常组织中存在着差异,而且 ADC 值与肿瘤组织及细胞关系密切,因此通过常规 MR 平扫和测量 ADC 值可以很好地对脑肿瘤进行鉴别及预测肿瘤质地^[45],如垂体 Rathkes 囊肿与出血性垂体瘤在常规 MR 上不好分辨,而在 DWI 上囊肿的 ADC 值和相对 ADC 值大于垂体瘤^[45-46]。国内外的学者认为,垂体瘤质地与胶原含量有关,瘤体中所含胶原越多,质地越韧^[4, 47-49],而垂体瘤质地对手术方式的选择密切相关^[50]。因此许多研究者试图用 ADC 值作为术前肿瘤质地的参考,比如 Khant 等^[51]将术前 DWI 的 ADC 值与术后病理对比,发现 ADC 随着胶原蛋白含量的增加而降低,而胶原蛋白越多,肿瘤越硬,并能预测 ADC<1.077 时肿瘤的坚硬一致性。而 Lu 等^[49]的研究也证实了这一点,然而, Mahmoud 等^[52]认为,虽然垂体瘤质地与胶原蛋白含量相关,但是,肿瘤质地和胶原蛋白含量均与 MRI 表现或 ADC 值无关,这和上述研究所相悖,这些差异可能是因为瘤体质地的分组(质软、质中、质硬)存在着主观差异,同时也需考虑到取材部位与肿瘤整体的差异。总而言之, DWI 和 ADC 值相对于传统的 MRI 来说,对研究垂体瘤瘤体质地提供了新的方向和思路。

3.2 DTI DTI 是以 DWI 作为基础,在多个不同的线性方向上施加弥散敏感梯度而得来的影像。通过检测分子扩散的方法,了解中枢系统组织中白质纤维的连通性及完整性。相较于 DWI, DTI 在定量评估白质纤维束完整性方面更具有优势,可以检测对白质束的任何损伤或轴突膜通透性的变化,因此更适用于评估视神经^[53-55]。目前 DTI 的参数有:各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、平均扩散率(mean diffusivity, MD)、相对各向异性(relative anisotropy, RA)、容积比(volume ratio, VR)、径向扩散张量(radial diffusion, RD),这些均代表水分子弥散运动各向异性的参数,可能反映诸如视神经髓鞘形成和轴突密度^[52, 54, 56]。其中 FA 值和 MD 值最常用,当中枢系统组织中白质纤维发生病变时, FA 值就会随之变化, FA 值正常值区间为 0.57~0.64,其大小与神经纤维的完整性成正相关^[57],大部分研究表明^[58-61], DTI 参数的变化可以反映由于颅内病变导致的神经纤维压缩或变性等改变,例如脱髓鞘、轴突丢失、细胞/组织变性、神经胶质变性等^[59, 61]。Ihsan Anik 等明确指出了 PA 患者存在视神经 FA 值和 MD 值的改变,且视神经的 FA 值与视觉参数之间存在相关性^[9]。Schmierer 等^[62]报道, MD 值和 FA 值与髓鞘含量以及轴突计数密切相关。国内也有人对 PA 患者进行了 DTI

研究,发现这些患者的双侧视放射 FA 值下降,证实了患者视交叉、视束受压后,视路中的髓鞘及轴突等细微结构发生了改变^[63]。Yamada 等^[64]对 PA 患者进行了手术前后 DTI 分析研究,结果发现, FA 值与视功能呈负相关;并且发现,术前就存在视交叉受压的患者,其术后 FA 值显著降低,而 RD 值显著升高。Anik 等^[65]报道过 PA 患者在术后视力不提高,与视神经的 FA 值降低和 MD 值升高,两者有明显关联。Hussam 等对比了 PA 患者术前与术后 FA 值的变化,发现术后视神经的 FA 值明显降低, FA 的减少与视力改善最密切相关^[9, 66]。近年来,有学者^[67-68]结合使用具有特殊参数的 DTI 和 3D 成像来可视化颅内神经,实现肿瘤的 3D 重建,清晰地显示了病灶与神经的相邻、包裹、浸润关系, Wang 等^[68]也发现可以使用 DTI 对下丘脑-垂体干道进行可视化和特征化,这可能有助于垂体柄的术前定位。在手术中,将这些技术与术中 DTI 应用相结合, 3D 重建可清晰显示肿瘤受压引起的神经变形和移位,使术者有意识地避开神经的位置,精确保护正常组织,以确保肿瘤切除的准确性^[67]。当然 DWI 与 DTI 也存在着一些缺陷:(1)其诊断需要依赖于正常人群的组织 DTI 量化指标,这些指标有待于进一步地开展大样本、多中心的临床调查研究与归纳,同时这些指标还存在其他的干扰因素,特别是陈旧性脑损伤、原发性脑病对指标影响较大,诊断证据易被掩盖;(2)DTI 的成像原理是回波序列,对运动较为敏感,这将导致运动伪影。而且,脑白质纤维的分布存在着个体差异,其走行纵横交错,人为测量难免会有误差。对于 PA 患者,垂体与鞍区、视交叉的复杂位置关系,也会受到颅骨与气体、出血的伪影影响;(3)相比经济适宜的计算机断层扫描(CT)检查, MR 检查的价格较为昂贵,使其很难作为一种常规的筛查手段。

4 展望与小结

目前,国内外对于利用功能性磁共振成像技术研究视路损伤,多集中在相关参数的改变,探究参数与疾病的相关性。DTI 与 DWI 除了监测 PA 患者视路的参数值变化外,还应结合不同的治疗方法,在治疗周期前后,搜集视功能预后良好的患者的治疗前 DTI 和 DWI 参数值变化,分析并建立相关参数阈值区间,与临床相结合,相信对于 PA 患者临床诊疗,评价其预后有良好的应用前景。另一方面,不仅仅局限于此,该技术已经逐渐被应用于青光眼、视神经炎、缺血性视神经病变等眼科疾病,并取得一定的成果。目前, DTI 在高血压性视神经病变、外伤性视神经病变、遗传性视神经病变等疾病中的研究较少,相信随着 DTI 的完善,这些疾病也会成为新的研究热点。同时, DWI 中的表观扩散系数也在渐渐应用于视网膜疾病,如血管病变、黄斑病变、遗传性营养不良性病变等,该系数和这些疾病具有相关性。由此可见,功能性磁共振成像技术在眼科疾病研究方面有广阔应用前景。PA 由于其症状的多样性,其治疗必须是多学科的。不少患者由于早期即可出现视力障碍、视野缺损,常首诊于眼科。因此,眼科评估需要更早和更完整,包括视野测试、OCT 检查、VEP 检查等,同时也要结合影像学检查(DTI, DWI)来进行术前及术后的评估,并且通过这些手段来制订更好的手术方式,提高安全系数。日新月异的设备和技术,也使得检查的敏感度和精度大幅上升,可以让临床医生尽早发现问题、解决问题,提高患者的生活质量。

参考文献

- 1 Agustsson TT, Baldvinsdottir T, Jonasson JG, et al. The epidemiology of pituitary adenomas in Iceland, 1955–2012: a nationwide population-based study. *Eur J Endocrinol* 2015;173(5):655–664
- 2 Wang WF, Yang LH, Han L, et al. Efficacy of transsphenoidal surgery for pituitary tumor: a protocol for systematic review. *Medicine (Baltimore)* 2019;98(6):e14434
- 3 Anderson D, Faber P, Marcovitz S, et al. Pituitary tumors and the ophthalmologist. *Ophthalmology* 1983;90(11):1265–1270
- 4 Kim TG, Jin KH, Kang J. Clinical characteristics and ophthalmologic findings of pituitary adenoma in Korean patients. *Int Ophthalmol* 2019;39(1):21–31
- 5 Singh H, Essayed WI, Cohen-Gadol A, et al. Resection of pituitary tumors: endoscopic versus microscopic. *J Neurooncol* 2016;130(2):309–317
- 6 Muskens IS, Zamanipour Najafabadi AH, Briceno V, et al. Visual outcomes after endoscopic endonasal pituitary adenoma resection: a systematic review and meta-analysis. *Pituitary* 2017;20(5):539–552
- 7 Destrieux C, Kakou MK, Velut S, et al. Microanatomy of the hypophyseal Fossa boundaries. *J Neurosurg* 1998;88(4):743–752
- 8 Harris FS, Rhoton AL. Anatomy of the cavernous sinus. A microsurgical study. *J Neurosurg* 1976;45(2):169–180
- 9 Thomas R, Shenoy K, Seshadri MS, et al. Visual field defects in non-functioning pituitary adenomas. *Indian J Ophthalmol* 2002;50(2):127–130
- 10 Anik I, Anik Y, Cabuk B, et al. Visual outcome of an endoscopic endonasal transsphenoidal approach in pituitary macroadenomas: quantitative assessment with diffusion tensor imaging early and long-term results. *World Neurosurg* 2018;112:e691–e701
- 11 Phal PM, Steward C, Nichols AD, et al. Assessment of optic pathway structure and function in patients with compression of the optic chiasm: a correlation with optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57(8):3884–3890
- 12 Pócoš P, Kremláček J, Česák T, et al. The use of optical coherence tomography in chiasmal compression. *Czech Slovak Ophthalmol* 2019;75(3):120–127
- 13 Ho RW, Huang HM, Ho JT. The influence of pituitary adenoma size on vision and visual outcomes after trans-sphenoidal adenectomy: a report of 78 cases. *J Korean Neurosurg Soc* 2015;57:23–31
- 14 Akin S, Isikay I, Soylemezoglu F, et al. Reasons and results of endoscopic surgery for prolactinomas: 142 surgical cases. *Acta Neurochir (Wien)* 2016;158(5):933–942
- 15 Constantino ER, Leal R, Ferreira CC, et al. Surgical outcomes of the endoscopic endonasal transsphenoidal approach for large and giant pituitary adenomas: institutional experience with special attention to approach-related complications. *Arq Neuropsiquiatr* 2016;74(5):388–395
- 16 周文剑龙, 牛国栋, 管修东, 等. PA患者视力视野受损的危险因素分析. *中华神经外科杂志* 2016;32(9):890–895
- 17 卜曙暘, 徐国旭, 兰青, 等. 57例垂体瘤患者视野分析. *临床眼科杂志* 2009;17(5):451–453
- 18 祖朝辉, 王颖, 阚志生, 等. 垂体瘤和视交叉的关系与视功能障碍. *华北煤炭医学院学报* 2009;11(3):300–301
- 19 Danesh-Meyer HV, Yoon JJ, Lawlor M, et al. Visual loss and recovery in chiasmal compression. *Prog Retin Eye Res* 2019;73:100765
- 20 Kohler PO, Ross GT. Diagnosis and treatment of pituitary tumors. Amsterdam: Excerpta Medica 1973;53–59
- 21 Ebersold MJ, Quast LM, Laws ER Jr, et al. Long-term results in transsphenoidal removal of nonfunctioning pituitary adenomas. *J Neurosurg* 1986;64(5):713–719
- 22 Klauber A, Rasmussen P, Lindholm J. Pituitary adenoma and visual function. The prognostic value of clinical, ophthalmological and neuroradiologic findings in 51 patients subjected to operation. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1978;56(2):252–263
- 23 Kerrigan-Baumrind LA, Quigley HA, Pease ME, et al. Number of ganglion cells in glaucoma eyes compared with threshold visual field tests in the same persons. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(3):741–748
- 24 Sihota R, Sony P, Gupta V, et al. Diagnostic capability of optical coherence tomography in evaluating the degree of glaucomatous retinal nerve fiber damage. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(5):2006–2010
- 25 Richard J, Jonathan A, Nelson M. Optical coherence tomography retinal ganglion cell complex analysis for the detection of early chiasmal compression. The neurohypophy seal capillarybed. II. Specializations within median eminence. *Am J Anat* 1978;153(1):33
- 26 Yoneoka Y, Hatase T, Watanabe N, et al. Early morphological recovery of the optic chiasm is associated with excellent visual outcome in patients with compressive chiasmal syndrome caused by pituitary tumors. *Neurol Res* 2015;37(1):1–8
- 27 Danesh-Meyer HV, Wong A, Papchenko T, et al. Optical coherence tomography predicts visual outcome for pituitary tumors. *J Clin Neurosci* 2015;22(7):1098–1104
- 28 Zhang J, Zhang SF, Song YL, et al. Predictive value of preoperative retinal nerve fiber layer thickness for postoperative visual recovery in patients with chiasmal compression. *Oncotarget* 2017;8(35):59148–59155
- 29 Tieger MG, Hedges TR 3rd, Ho J, et al. Ganglion cell complex loss in chiasmal compression by brain tumors. *J Neuroophthalmol* 2017;37(1):7–12
- 30 Yum HR, Park SH, Park HY, et al. Macular ganglion cell analysis determined by cirrus HD optical coherence tomography for early detecting chiasmal compression. *PLoS One* 2016;11(4):e0153064
- 31 Micieli JA, Newman NJ, Biousse V. The role of optical coherence tomography in the evaluation of compressive optic neuropathies. *Curr Opin Neurol* 2019;32(1):115–123
- 32 Lukewich MK, Micieli JA. Chronic chiasmal compression and persistent visual field defect without detectable changes in optical coherence tomography of the macular ganglion cell complex. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2019;16:100533
- 33 Dallorto L, Lavia C, Jeannerot AL, et al. Retinal microvasculature in pituitary adenoma patients: is optical coherence tomography angiography useful? *Acta Ophthalmol* 2019[Online ahead of print]
- 34 Danesh-Meyer HV, Carroll SC, Foroosan R, et al. Relationship between retinal nerve fiber layer and visual field sensitivity as measured by optical coherence tomography in chiasmal compression. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(11):4827–4835
- 35 Gökalp HZ, Egemen N, Culcuoglu A, et al. The use of Nd:YAG laser in pituitary surgery and evaluation of visual function by visual evoked potential (VEP). *Neurosurg Rev* 1992;15(3):193–197
- 36 Lachowicz E, Lubiński W. The clinical value of the multi-channel PVEP and PERG in the diagnosis and management of the patient with pituitary adenoma: a case report. *Doc Ophthalmol* 2018;137(1):37–45
- 37 Nidan Q, Yichao Z, Zhao Y. Comparison of multifocal visual evoked potential, static automated perimetry, and optical coherence tomography findings for assessing visual pathways in patients with pituitary adenomas. New York: Springer Science Business Media 2014
- 38 Wright JE, Arden G, Jones BR. Continuous monitoring of the visually evoked response during intra-orbital surgery. *Trans Ophthalmol Soc U K* 1973;93:311–314
- 39 Chacko AG, Babu KS, Chandy MJ. Value of visual evoked potential monitoring during trans-sphenoidal pituitary surgery. *Br J Neurosurg* 1996;10(3):275–278
- 40 Chung SB, Park CW, Seo DW, et al. Intraoperative visual evoked

potential has no association with postoperative visual outcomes in transsphenoidal surgery. *Acta Neurochir (Wien)* 2012; 154 (8): 1505-1510

41 Brecej J. Visual electrophysiology in the clinical evaluation of optic neuritis, chiasmal tumours, achiasmia, and ocular albinism: an overview. *Doc Ophthalmol* 2014;129(2):71-84

42 Parmar DN, Sofat A, Bowman R, et al. Visual prognostic value of the pattern electroretinogram in chiasmal compression. *Br J Ophthalmol* 2000;84(9):1024-1026

43 Kamio Y, Sakai N, Sameshima T, et al. Usefulness of intraoperative monitoring of visual evoked potentials in transsphenoidal surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2014;54(8):606-611

44 Zamecnik P, Essig M. Perspectives of 3 T magnetic resonance imaging in radiosurgical treatment planning. *Acta Neurochir Suppl* 2013; 116:187-191

45 Kitis O, Altay H, Calli C, et al. Minimum apparent diffusion coefficients in the evaluation of brain tumors. *Eur J Radiol* 2005;55(3): 393-400

46 Lai PH, Ho JT, Chen WL, et al. Brain abscess and necrotic brain tumor: discrimination with proton MR spectroscopy and diffusion-weighted imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002;23(8):1369-1377

47 张永超, 张振, 吴洪喜, 等. 垂体瘤质地与MR信号强度的相关性研究. *中国实用神经疾病杂志* 2014;17(19):24-25

48 张寒, 胡卫星. PA质地及其相关因素分析. *江苏医药* 2014;40(16):1871-1873

49 Lu YP, Xiong J, Geng DY, et al. Prediction of the consistency of pituitary adenoma; a comparative study on diffusion-weighted imaging and pathological results. *J De Neuroradiol* 2016;43(3):186-194

50 Alimohamadi M, Sanjari R, Mortazavi A, et al. Predictive value of diffusion-weighted MRI for tumor consistency and resection rate of nonfunctional pituitary macroadenomas. *Acta Neurochir (Wien)* 2014;156(12):2245-2252

51 Khant ZA, Azuma M, Kadota Y, et al. Evaluation of pituitary structures and lesions with Turbo spin-echo diffusion-weighted imaging. *J Neurol Sci* 2019;405:116390

52 Mahmoud OM, Tominaga A, Amatya VJ, et al. Role of propeller diffusion-weighted imaging and apparent diffusion coefficient in the evaluation of pituitary adenomas. *Eur J Radiol* 2011;80(2):412-417

53 Chen ZY, Lou X, Liu MQ, et al. Assessment of optic nerve impairment in patients with neuromyelitis optica by MR diffusion tensor imaging. *PLoS One* 2015;10(5):e0126574

54 Cauley KA, Filippi CG. Diffusion-tensor imaging of small nerve bundles: cranial nerves, peripheral nerves, distal spinal cord, and lumbar nerve roots-clinical applications. *Am J Roentgenol* 2013;201(2): W326-W335

55 von Hohenberg CC, Schocke MF, Wigand MC, et al. Radial

diffusivity in the cerebellar peduncles correlates with clinical severity in Friedreich Ataxia. *Neurol Sci* 2013;34(8):1459-1462

56 Song SK, Yoshino J, Le TQ, et al. Demyelination increases radial diffusivity in corpus callosum of mouse brain. *NeuroImage* 2005;26(1): 132-140

57 Wheeler-Kingshott CA, Trip SA, Symms MR, et al. *In vivo* diffusion tensor imaging of the human optic nerve: pilot study in normal controls. *Magn Reson Med* 2006;56(2):446-451

58 Wiesmann UC, Symms MR, Parker GJ, et al. Diffusion tensor imaging demonstrates deviation of fibres in normal appearing white matter adjacent to a brain tumour. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000;68(4): 501-503

59 Schonberg T, Pianka P, Hendler T, et al. Characterization of displaced white matter by brain tumors using combined DTI and fMRI. *NeuroImage* 2006;30(4):1100-1111

60 Osuka S, Matsushita A, Ishikawa E, et al. Elevated diffusion anisotropy in gray matter and the degree of brain compression. *J Neurosurg* 2012;117(2):363-371

61 Kinoshita M, Nakada M, Okita H, et al. Predictive value of fractional anisotropy of the arcuate fasciculus for the functional recovery of language after brain tumor resection; a preliminary study. *Clin Neurol Neurosurg* 2014;117:45-50

62 Schmierer K, Wheeler-Kingshott CAM, Boulby PA, et al. Diffusion tensor imaging of post mortem multiple sclerosis brain. *NeuroImage* 2007; 35(2):467-477

63 张权, 张云亭, 张敬, 等. 垂体大腺瘤对后视路影响的功能磁共振成像和弥散张量成像联合研究. *中华生物医学工程杂志* 2009;15(1):9-13

64 Yamada H, Yamamoto A, Okada T, et al. Diffusion tensor imaging of the optic chiasm in patients with intra- or parasellar tumor using readout-segmented echo-planar. *Magn Reson Imaging* 2016;34(5):654-661

65 Anik I, Anik Y, Koc K, et al. Evaluation of early visual recovery in pituitary macroadenomas after endoscopic endonasal transsphenoidal surgery: quantitative assessment with diffusion tensor imaging (DTI). *Acta Neurochir* 2011;153(4):831-842

66 Metwali H, Giordano M, Kniese K, et al. Prognostic significance of intraoperative change in the fractional anisotropy and the volume of the optic chiasma during resection of suprasellar tumors. *J Neurosurg* 2018; 128(5):1479-1485

67 Ma J, Su SB, Yue SY, et al. Preoperative visualization of cranial nerves in skull base tumor surgery using diffusion tensor imaging technology. *Turk Neurosurg* 2016;26(6):805-812

68 Wang FY, Jiang JL, Zhang JS, et al. Predicting pituitary stalk position by *in vivo* visualization of the hypothalamo-hypophyseal tract in craniopharyngioma using diffusion tensor imaging tractography. *Neurosurg Rev* 2018;41(3):841-849