

# 磁共振扩散张量及 3D-OCT 对高眼压症患者视路的初步研究

谭志<sup>1</sup>, 黄蓉<sup>1</sup>, 郭庆<sup>2</sup>, 梁德茂<sup>2</sup>, 庞燕华<sup>2</sup>

引用: 谭志, 黄蓉, 郭庆, 等. 磁共振扩散张量及 3D-OCT 对高眼压症患者视路的初步研究. 国际眼科杂志 2020; 20 (8): 1443-1447

基金项目: 广东省湛江市财政资助项目 [湛科(2017)139号] (No.2017A01020)

作者单位: (524023) 中国广东省湛江市, 广东医科大学附属医院<sup>1</sup>放射科; <sup>2</sup>眼科

作者简介: 谭志, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 功能磁共振。

通讯作者: 庞燕华, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 眼底病、青光眼、白内障. 1049371818@qq.com

收稿日期: 2020-03-02 修回日期: 2020-06-29

## 摘要

**目的:** 应用磁共振扩散张量成像(DTI)技术及三维光学相干断层成像(3D-OCT)技术研究高眼压症患者(OHT)视路的微观改变。

**方法:** 纳入我院眼科 2016-01/2019-10 确诊为双眼 OHT 的患者 26 例 52 眼作为病例组, 选取同期年龄、性别均与高眼压组相匹配的健康体检者 26 例 52 眼作为对照组。所有受检眼均进行最佳矫正视力检测、中央角膜厚度(CCT)测量、非接触性眼压、视盘 3D-OCT 扫描检测及视神经、视交叉、视束及视放射 DTI 检测, OHT 患者增加房角镜检查, 并对比两组的差异。

**结果:** OHT 组 CCT 值比正常对照组薄, 眼压值较正常对照组增高(均  $P < 0.05$ )。OHT 视盘面积较正常对照组变大, 视杯面积增大; 平均青光眼视盘旁神经纤维层(CP-RNFL)厚度、鼻侧 RNFL 厚度比正常对照组变薄(均  $P < 0.05$ ), 上方、下方及颞侧 RNFL 无差异(均  $P > 0.05$ )。双侧视神经及视放射的 FA 值较正常对照组下降(均  $P < 0.05$ )。两组视交叉、双侧视束 FA 值、双侧视路 ADC 值无差异(均  $P > 0.05$ )。

**结论:** 3D-OCT 可以获取 CP-RNFL 厚度值, 视盘的参数; DTI 可以重建颅内视觉通路, 能早期发现视神经、视交叉、视束、视放射的微观变化。联合 3D-OCT 及新兴的 DTI 技术可有效了解 OHT 患者视路的微观改变, 为临床研究高眼压症提供新的思路和研究模式。

**关键词:** 磁共振扩散张量成像; 高眼压症; 光学相干断层成像; 视觉通路

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2020.8.32

## Preliminary study of visual pathway in ocular hypertension patients using magnetic resonance diffusion tensor and 3D-OCT

Zhi Tan<sup>1</sup>, Rong Huang<sup>1</sup>, Qing Guo<sup>2</sup>, De - Mao Liang<sup>2</sup>, Yan-Hua Pang<sup>2</sup>

**Foundation item:** Financial Support Project of Zhanjiang City,

Guangdong Province [zhanke(2017)139] (No.2017A01020)

<sup>1</sup>Department of Radiology; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Guangdong Medical College, Zhanjiang 524023, Guangdong Province, China

**Correspondence to:** Yan-Hua Pang, Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Guangdong Medical College, Zhanjiang 524023, Guangdong Province, China. 1049371818@qq.com

Received:2020-03-02 Accepted:2020-06-29

## Abstract

• **AIM:** To study the microscopic changes of visual pathology in ocular hypertension (OHT) patients using magnetic resonance diffusion tensor imaging (DTI) technology and three - dimensional optical coherence tomography (3D-OCT) technology.

• **METHODS:** Twenty-six patients with 52 eyes diagnosed as OHT in our hospital from January 2016 to October 2019 were included in the case group. Twenty - six healthy patients who were matched with age and gender in the same period were included in the control group. All eyes were examined for best corrected visual acuity, central corneal thickness (CCT), non - contact intraocular pressure, while all eyes were examined by optical disc 3D-OCT combined optic nerve, optic chiasma, optic tract, and optic radiation DTI. Compared the differences between the two groups.

• **RESULTS:** The CCT of the OHT group was thinner than that of the normal control group; the intraocular pressure was higher than that of the normal control group, and the difference was statistically significant (all  $P < 0.05$ ). The optic disc area of the OHT group was larger than that of the normal control group, while the optic cup area was increased, and the average CP-RNFL thickness and nasal CP-RNFL thickness were thinner than those of the normal control group (all  $P < 0.05$ ). There was no statistic difference in the superior, inferior and temporal CP-RNFL (all  $P > 0.05$ ). The FA values of bilateral optic nerve and optic radiation decreased compared with the normal control group, and the difference was statistically significant (all  $P < 0.05$ ). There was no significant difference of optic chiasma, bilateral visual tract's FA value, and bilateral visual pathway ADC value between the two groups (all  $P > 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** 3D-OCT can obtain the thickness of CP-RNFL and the parameters of optic disc, DTI can reconstruct the intracranial visual pathway and can detect the microscopic changes of optic nerve, optic chiasma, optic tract, and optic radiation at early stage. Combining 3D-OCT and DTI technology can effectively understand

the microscopic changes of the visual pathway and provide new models for clinical research of ocular hypertension patients.

• KEYWORDS: magnetic resonance diffusion tensor imaging; ocular hypertension; optical coherence tomography; visual pathway

**Citation:** Tan Z, Huang R, Guo Q, *et al.* Preliminary study of visual pathway in ocular hypertension patients using magnetic resonance diffusion tensor and 3D-OCT. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2020;20(8):1443-1447

## 0 引言

青光眼是全球首位不可逆转的致盲性眼病<sup>[1]</sup>,传统观点认为眼压增高是疾病进展的危险因素,视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度变薄以及视神经萎缩是其主要的病理改变。然而眼压增高并不意味着就一定发生青光眼。多次测量眼压高于统计学正常上限,但没有可检测的视神经和视野损害、房角开放,临床上称为高眼压症(ocular hypertension, OHT)。据研究发现 10a 里高达 25% 的患眼发展成原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma, POAG)<sup>[2]</sup>。但是, OHT 的发病机制尚未明确,早期青光眼又未出现明显的视野损害,要区分两者非常困难;到底何时需要治疗 OHT, 如何治疗,也都存在着非常大的争议。近年来很多研究显示青光眼不仅仅是累及视神经的眼部疾病,而可能是一种累及颅内多级神经元的神经退行性疾病<sup>[3-4]</sup>。新兴的功能磁共振成像技术(fMRI)广泛应用于青光眼的代谢和细胞生物学改变的研究<sup>[5]</sup>,其中扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)作为一种无创性显示活体组织深部结构扩散特性的影像学方法,利用水分子在组织中弥散的各向异性,追踪神经纤维的走向来研究组织结构是否连续和完整,并且能重建整个视觉通路。最常应用于临床的 DTI 参数包括<sup>[6]</sup>:(1)各向异性分数(fraction anisotropy, FA):反映白质纤维中水分子各向异性的扩散程度,与纤维束的方向性与完整性有关。(2)平均扩散率(mean diffusivity, MD):测量水分子的平均运动而不考虑纤维的方向性。(3)表面弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值:是组织中水分子弥散的速度和范围,反映弥散的整体情况;ADC 值越大,水分子弥散运动越强。任何神经轴突的破坏或通过脱髓鞘改变神经纤维的膜通透性都会改变弥散张量指标<sup>[7]</sup>。DTI 是目前研究青光眼颅内视路改变的有效手段,但是用于 OHT 的研究则很少报道。眼科常用的三维光学相干断层成像(three-dimensional optical coherence tomography, 3D-OCT)技术可以获得活体眼组织的显微结构,具有非接触、无创性、非侵入性的优点,获得大量活体视神经视网膜组织学以及病理生理信息,近年来常用于监测青光眼视盘旁神经纤维层(CP-RNFL)的厚度改变。因此,我们联合了 3D-OCT 及 DTI 技术,研究 OHT 患者 CP-RNFL 厚度、视盘参数、视神经、视交叉、视放射的 FA 值及 ADC 值,并与正常对照组比较,拟为临床研究 OHT 提供新的思路和研究模式。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 前瞻性临床病例对照研究方法。选取 2016-01/2019-10 在广东医科大学附属第一医院眼科确诊为双眼高

眼压症的患者 26 例 52 眼纳入研究。选取同期年龄、性别均与高眼压组相匹配的健康体检者 26 例 52 眼作为对照组。所有受检者就诊时完善最佳矫正视力、非接触性眼压计测量眼压、3D-OCT 检查、DTI 检查;OHT 患者增加房角镜检查。研究对象均为首次确诊 OHT,既往未接受任何相关治疗。本研究已通过医院伦理委员会审核,所有受检者均签署知情同意书。

**OHT 纳入标准:**根据英国 National Collaborating Centre for Acute Care 出版的 Guideline Development Group(GDG)指南<sup>[8]</sup>:(1)中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT) <555 $\mu$ m,未治疗时 3 次及以上眼压测量数值 >21mmHg; CCT 为 555~590 $\mu$ m,未治疗时 3 次及以上眼压测量数值 >25mmHg。(2)前房角镜检查房角开放。(3)未出现典型的青光眼视乳头改变,如青光眼视杯扩大、盘沿变窄等。(4)未出现视野缺损。(5)OCT、DTI 成像质量好。OHT 排除标准:(1)继发性青光眼。(2)既往有可疑慢性青光眼记录。(3)既往及随访期间有眼部手术史、颅内疾病、可引起视神经视网膜改变的疾病。(4)屈光不正  $\geq \pm 6.00D$ (球镜)和(或)  $\geq 3.00D$ (柱镜)。(5)身体内金属异物植入。正常对照组纳入标准:(1)眼压 <21mmHg。(2)视力或矫正视力  $\geq 0.6$ ,屈光不正  $\leq \pm 6.0D$ (球镜)和 <3.00D(柱镜)。(3)视盘 C/D  $\leq 0.5$ ,双眼 C/D 差值 <0.2。排除标准:(1)青光眼家族史。(2)视神经视网膜病变,颅内疾病。(3)内眼手术史。(4)身体内金属异物植入。

## 1.2 方法

**1.2.1 OCT 检查** 采用 Topcon 3D-1000 OCT ver 2.4 对视盘进行 3D-OCT 扫描。OCT 仪器的光源波长 840nm;轴向分辨率 5 $\mu$ m,横向分辨率 20 $\mu$ m;扫描速度 18 000A 扫描/s;扫描深度 2.0mm,视盘及视盘旁扫描范围达直径 6mm。以镜头内的视盘注视点为注视目标,扫描模式为视盘及视盘旁 3D 扫描。视盘面积、视杯面积、盘沿面积、C/D 面积比、C/D 水平直径比、C/D 垂直直径比、CP-RNFL 平均厚度及鼻侧、上方、颞侧、下方各象限的 CP-RNFL 厚度均由系统自带软件自动测量计算所得,CCT 应用 OCT 自带的 AS-OCT 模式采集中央角膜图像后手工测量 3 次,取平均值所得。所有数据均由同一医师操作测量。

**1.2.2 DTI 检查及图像后处理** 应用 GE1.5T Optima MR360 成像系统,采用头 16 通道相控阵线圈对所有受检者进行 T1WI、DTI 扫描。扫描参数:T1WI 扫描采用 Ax 3D BRAVO 序列,参数扫描为 TR/TE 12.3/5.1ms,矩阵 256 $\times$ 256,FOV 240mm $\times$ 240mm,层厚 1.4mm,间隔 0mm,NEX 为 1;DTI 扫描采用单次激发 DW-SE-EPI 序列,参数为 TR/TE 9000/100.1ms,矩阵 128 $\times$ 128,FOV 240mm $\times$ 240mm,1 次采集,扩散敏感梯度方向数 25 个,b 值 = 1000s/mm<sup>2</sup>,层厚、层间距为 2/0mm,轴位扫描,可获得彩色编码张量 FA 图以及 ADC 图等。DTI 数据预处理:彩色编码张量 FA 图、ADC 图均设定为前后方向为绿色、左右为红色,上下为蓝色。每组研究对象视神经、视束、视放射前、中、后三个部位,视交叉左、中、右三个部位均由 GE1.5 核磁共振机器自带软件(ADW 4.2 function tool)分别测量、分析、记录。在双侧视神经、视交叉、双侧视束、视放射图上显示最清楚的位置各选定 3 个感兴趣区域,对此范围进行 FA 值及 ADC 值的测量。参照经典的神经解剖学描述和相关文献<sup>[9]</sup>确立 ROI 的划定和测量方法,ROI 大小

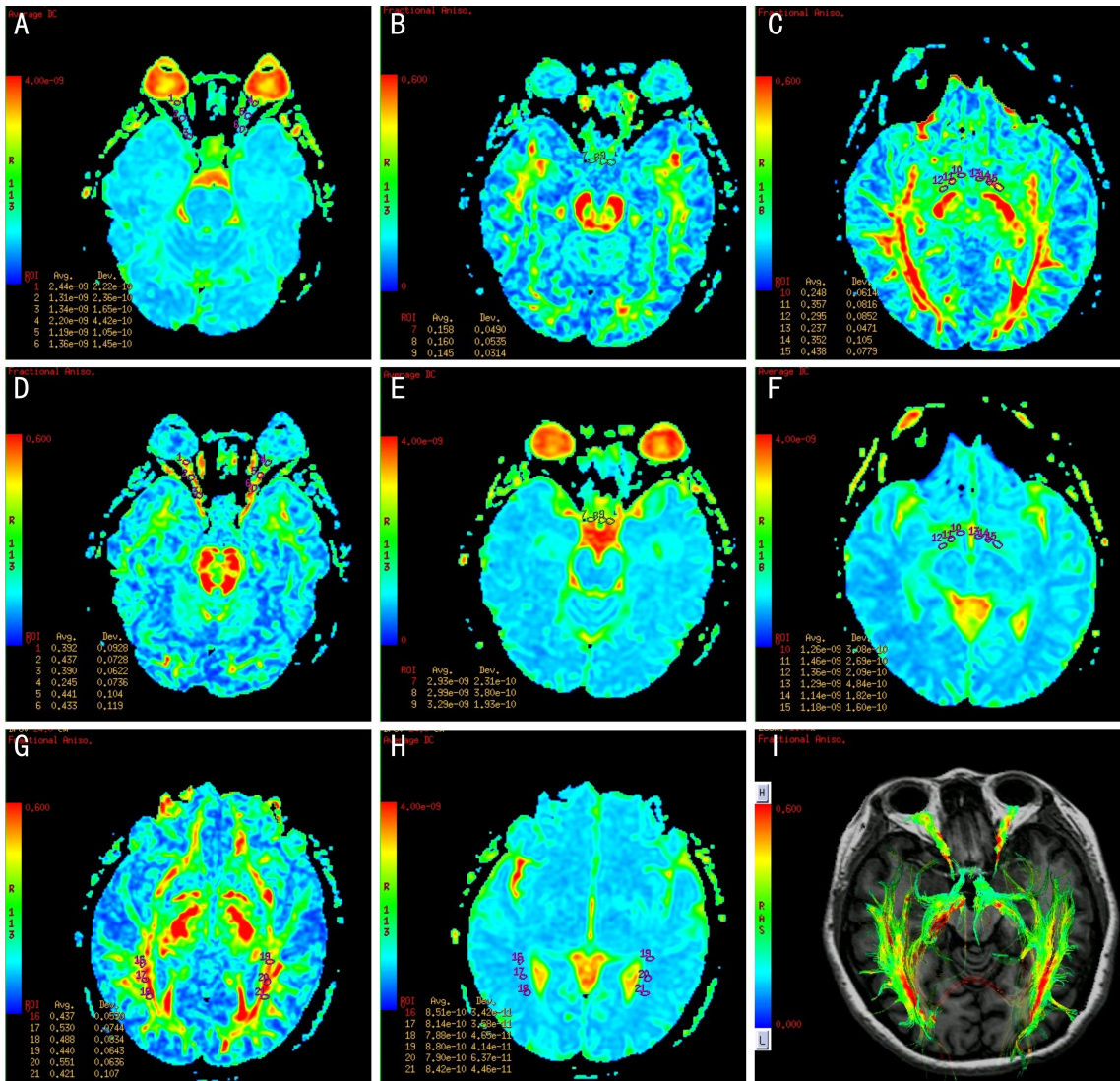


图 1 高眼压组视路 DTI 的 FA 图及 ADC 图 A、D;双侧视神经种子点 FA、ADC 图及数值;B、E;视交叉种子点 FA、ADC 图及数值;C、F;双侧视束种子点 FA、ADC 图及数值;G、H;双侧视放射种子点 FA、ADC 图及数值;I:T1WI 解剖与视路 DTI 功能融合图。

表 1 OHT 与正常对照组受检眼 CP-RNFL 厚度比较 ( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ )

组别	眼数	平均厚度	鼻侧	上方	颞侧	下方
OHT 组	52	100.42±7.78	70.64±15.14	121.49±16.71	85.88±16.53	123.75±14.43
正常对照组	52	103.23±6.57	77.48±11.83	124.24±11.50	83.55±10.65	127.56±9.99
<i>t</i>		-2.145	-2.776	-1.059	0.927	-1.699
<i>P</i>		0.034	0.006	0.292	0.356	0.092

为:8~12mm<sup>2</sup>(图 1)。所有数据均由同一医师操作测量;视神经、视交叉、视束、视放射的 FA 值及 ADC 值均分别取三个 ROI 的平均值。

统计学分析:应用 SPSS20.0 统计学软件对数据进行处理。计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示。两组 CCT、CP-RNFL、视盘参数与视神经、视交叉、视束、视放射的 FA、ADC 值满足正态分布且方差齐性,两组间比较采用独立样本 *t* 检验,均以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 两组的 CCT 以及眼压比较 OHT 组的 CCT 值为 559.14±20.56μm,正常对照组为 579.18±34.07μm,差异有统计学意义(*t*=-4.071,*P*<0.01);OHT 组的眼压值为 25.25±2.33mmHg,正常对照组为 15.22±2.63mmHg,差异

有统计学意义(*t*=19.173,*P*<0.001)。

2.2 视盘参数及 CP-RNFL OHT 视盘面积较正常对照组变大,视杯面积增大;平均 CP-RNFL 厚度、鼻侧 RNFL 厚度比正常对照组变薄,差异均有统计学意义(*P*<0.05),上方、下方及颞侧 CP-RNFL 均无统计学差异(*P*>0.05),见表 1、2。

2.3 视神经、视交叉、视束、视放射的 FA 值、ADC 值 OHT 组双侧视神经及视放射 FA 值较正常对照组降低,差异有统计学意义(*P*<0.05);但是视交叉、双侧视束 FA 值无统计学差异(*P*>0.05)。尽管双侧视神经、视放射 ADC 值较正常对照组变大,但是差异无统计学意义(*P*>0.05);两组视交叉、双侧视束 ADC 值差异均无统计学意义(*P*>0.05,表 3、4)。

表2 OHT与正常对照组受检眼视盘参数比较

组别	眼数	视盘面积( $\mu\text{m}^2$ )	视杯面积( $\mu\text{m}^2$ )	盘沿面积( $\mu\text{m}^2$ )	C/D面积比	C/D水平直径比	C/D垂直直径比	$\bar{x}\pm s$
OHT组	52	2.37±0.48	0.86±0.54	1.52±0.35	0.34±0.17	0.56±0.17	0.53±0.18	
正常对照组	52	2.17±0.37	0.68±0.41	1.49±0.31	0.30±0.14	0.53±0.14	0.52±0.13	
<i>t</i>		2.605	1.993	0.470	1.301	0.878	0.533	
<i>P</i>		0.010	0.049	0.639	0.196	0.382	0.595	

表3 OHT与正常对照组右侧受检眼DTI参数比较

组别	眼数	视神经		视交叉		视束		视放射		$(\bar{x}\pm s, \times 10^{-3} \text{mm/s})$
		FA	ADC	FA	ADC	FA	ADC	FA	ADC	
OHT组	26	0.40±0.04	1.67±0.15	0.22±0.05	2.37±0.54	0.28±0.07	1.97±0.48	0.49±0.03	8.06±0.37	
正常对照组	26	0.44±0.06	1.58±0.20	0.20±0.04	2.36±0.45	0.27±0.03	2.13±0.59	0.52±0.04	7.78±0.62	
<i>t</i>		-2.462	1.491	0.978	0.036	0.616	-0.838	-2.472	1.534	
<i>P</i>		0.020	0.146	0.336	0.972	0.543	0.408	0.019	0.135	

表4 OHT与正常对照组左侧受检眼DTI参数比较

组别	眼数	视神经		视束		视放射		$(\bar{x}\pm s, \times 10^{-3} \text{mm/s})$
		FA	ADC	FA	ADC	FA	ADC	
OHT组	26	0.39±0.04	1.74±0.21	0.29±0.06	1.87±0.41	0.48±0.02	8.50±0.41	
正常对照组	26	0.45±0.06	1.65±0.33	0.32±0.06	1.87±0.39	0.52±0.03	8.29±0.32	
<i>t</i>		-3.674	0.914	-0.979	0.008	-3.886	1.634	
<i>P</i>		0.001	0.368	0.335	0.994	0.001	0.113	

### 3 讨论

目前认为 CCT 与眼压测量值呈正相关<sup>[10]</sup>, CCT 较厚的患者真正的眼压可能是正常的,只是 CCT 的变异使得测量的数值偏高;CCT 较薄的患眼其实际眼压值比测得的数值要高。GDG 指南考虑了 CCT 以及眼压的影响,认为中央角膜厚度 <555 $\mu\text{m}$ ,眼压 >21mmHg 的 OHT 患眼,以及中央角膜厚度 555~590 $\mu\text{m}$ ,眼压 >25mmHg 的 OHT 患眼是高危的,一经诊断即需要长期应用药物治疗,密切观察<sup>[8]</sup>。因此,我们遵循 GDG 指南,纳入了这些高危 OHT 患者,希望能了解这些患者的 CP-RNFL、视盘参数以及颅内视路的微观改变。

OHT 患眼的 CP-RNFL 及视盘参数与正常对照组是否存在差异,各家报道结果不一。Dagdelen 等<sup>[11]</sup>研究认为 OHT 患眼的 CP-RNFL 及视盘参数与正常人群相比有统计学差异,主要表现为盘沿面积变小,C/D 增大,各象限 CP-RNFL 厚度变薄;周娜磊等<sup>[12]</sup>发现 POAG 可疑组的 CP-RNFL 厚度薄于对照组。然而 Demir 等对此持相反意见,他们研究认为,与正常人群相比,OHT 患眼的 CP-RNFL 及视盘参数差异没有统计学意义<sup>[13]</sup>。本研究仅纳入高危的 OHT 患者与正常对照组相比,平均 CP-RNFL 厚度以及鼻侧 CP-RNFL 变薄,视盘及视杯面积变大,但 C/D 面积比、C/D 水平及垂直径线比没有统计学差异。与以往的研究结果不尽相同。我们认为这表明尽管 OHT 患眼没有出现视野缺损,CP-RNFL 厚度及视盘参数值在正常范围,仍然是一个异于正常人群的群体;同时推测纳入对象的 CCT 以及眼压值的差异是造成各家结果不同的因素之一。

FA 值是 DTI 最常用于研究青光眼的参数,国内外不少关于这方面的研究。Li 等<sup>[14]</sup>认为视神经的 FA 值是评估青光眼敏感而可靠的标志,其在  $\leq 0.412$  时具有 79.2%

的敏感性和 89.6% 的特异性。Schmidt 等<sup>[4]</sup>研究认为视神经和视放射 FA 值均较正常人群降低。Sidek 等<sup>[15]</sup>研究认为视疾病进展,视神经和视放射的 FA 值逐渐降低。尽管研究结果不尽相同,但大都认同 FA 值可以比较准确地评估青光眼患者颅内视路是否损伤,以及损伤的程度。但是很少文献报道 OHT 患者视路的 DTI 表现。对比有限的文献,Zhang 等<sup>[16]</sup>应用 DTI 首次研究了早期 POAG、OHT 患者和正常对照组的视神经、视放射,发现 POAG 患者双侧视放射的 FA 值较高眼压症及正常对照组明显降低,而高眼压组与正常对照组没有差异。这与本研究结果不同,我们研究发现,OHT 患者的视神经以及视放射的 FA 值相比正常人群降低,这说明高危的 OHT 患者视神经及视放射纤维束中细胞结构的排列程度,及纤维束的结构完整性已经出现了损害,提示神经纤维可能存在髓鞘的损伤,表现为 FA 值下降。推测本研究与 Zhang 等的研究结果不同是因为:(1) 纳入的 OHT 标准不同,我们的研究全部纳入的是高危 OHT 患者;(2) 正常对照组年龄的影响;(3) 成像技术的影响、选取的参数种类不同,所选取的种子点与真实的解剖结构有所偏差。

ADC 值是另一个常用的 DTI 指标。反映组织中水分子弥散的速度和范围,ADC 值越大,水分子弥散运动越强;原因可能为神经轴突髓鞘发生崩解、脱失,髓鞘化程度下降,降低了对水分子弥散的约束力,使得水分子的弥散运动加快<sup>[17]</sup>。但在临床应用中,Garaci 等<sup>[9]</sup>研究认为虽然 FA 值和 ADC 值都能反映青光眼严重程度,但 FA 值更可靠。我们的研究对比高危 OHT 与正常对照组,未发现视神经、视交叉、视束及视放射 ADC 值有统计学差异,但我们可以看到视神经的 ADC 值比正常对照组高,推测可能是因为 OHT 患者神经轴突髓鞘的损伤程度很低,对水

分子弥散的约束没有明显下降。

综上所述,由于青光眼视神经损伤的不可逆转,因此OHT及时的诊治在临床上显得极其重要。3D-OCT可以获取CP-RNFL厚度值,视盘即视神经眼内段的参数,同时我们的研究发现高危OHT患者的CP-RNFL较正常人群变薄,视杯面积变大;其DTI视神经、视放射FA值下降,但是ADC值没有统计学差异。这些都表明,联合3D-OCT及新兴的DTI技术可有效了解OHT患者视路的微观改变,为临床研究高眼压症提供新的思路和研究模式。当然,我们的研究也存在不足,首先是样本量比较小,往后需要扩大样本量再进一步研究;其次没有进行OHT的追踪研究,缺乏OHT患者DTI参数的动态观察。

#### 参考文献

- 1 Tham YC, Li X, Wong TY, *et al.* Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014;121:2081-2090
- 2 Salvat ML, Zeppieri M, Tosoni C, *et al.* Baseline factors predicting the risk of conversion from ocular hypertension to primary open-angle glaucoma during a 10-year follow-up. *Eye (Lond)* 2016; 30(6): 784-795
- 3 Yucel YH, Gupta N. A framework to explore the visual brain in glaucoma with lessons from models and man. *Exp Eye Res* 2015; 141: 171-178
- 4 Schmidt MA, Engelhorn T, Dörfner A, *et al.* Impairment of the Visual System in Glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd* 2019;236(2):134-141
- 5 Ho LC, Wang B, Conner IP, *et al.* *In vivo* evaluation of white matter integrity and anterograde transport in visual system after excitotoxic retinal injury with multimodal MRI and OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:3788-3800
- 6 唐丽媛,刘钰鑫,邵毅. 弥散张量成像(DTI)在眼科临床的应用. *眼科新进展* 2018;38(9):887,891
- 7 Horsfield MA, Jones DK. Applications of diffusion-weighted and diffusion tensor MRI to white matter diseases—a review. *NMR Biomed*

2002;15(7-8):570-577

- 8 National Collaborating Centre for Acute Care (UK). Glaucoma: diagnosis and management of chronic open angle glaucoma and ocular hypertension. London: National Collaborating Centre for Acute Care at The Royal College of Surgeons of England 2009:3
- 9 Garaci FG, Bolacchi F, Cerulli A, *et al.* Optic nerve and optic radiation neurodegeneration in patients with glaucoma: *in vivo* analysis with 3T diffusion-tensor MR imaging. *Radiology* 2009;252(2):496-501
- 10 陈春丽,付青,马强,等. 高眼压症的研究进展. *中国实用眼科杂志* 2017;35(2):102-108
- 11 Dagdelen K, Dirican E. The assessment of structural changes on optic nerve head and macula in primary open angle glaucoma and ocular hypertension. *Int J Ophthalmol* 2018;11(10):1631-1637
- 12 周娜磊,马心龙,安建斌,等. DTI对可疑原发性开角型青光眼后视路的早期观察. *中国实用眼科杂志* 2017;35(10):991-995
- 13 Barua N, Sitaraman C, Goel S, *et al.* Comparison of diagnostic capability of macular ganglion cell complex and retinal nerve fiber layer among primary open angle glaucoma, ocular hypertension, and normal population using Fourier-domain optical coherence tomography and determining their functional correlation in Indian population. *Indian J Ophthalmol* 2016;64(4):296-302
- 14 Li M, Ke M, Song YW, *et al.* Diagnostic utility of central damage determination in glaucoma by magnetic resonance imaging: An observational study. *Exper Therap Med* 2019;17:1891-1895
- 15 Sidek S, Ramli N, Rahmat K, *et al.* Glaucoma severity affects diffusion tensor imaging (DTI) parameters of the optic nerve and optic radiation. *Eur J Radiol* 2014;83:1437-1441
- 16 Zhang YY, Tang WJ, Song XY, *et al.* Diffusion Tensor Imaging Detects Microstructural Differences of Visual Pathway in Patients with Primary Open Angle Glaucoma and Ocular Hypertension. *Front Hum Neurosci* 2018;12:426
- 17 Li HL, Shao Y, Peng ZY, *et al.* Study and correlative analysis between DTI parameters and clinical stages in normal tension glaucoma. *Rec Adv Ophthalmol* 2016;36(12):1129-1132