

• 临床论著 •

# 小脑上脚交叉的各向异性分数和表观弥散系数值与年龄、性别的相关性研究

马得廷 王君霞 孔庆奎 谢元忠

**【摘要】** 目的 量化比较不同年龄段小脑上脚交叉的各向异性分数(FA)值和与表观弥散系数(ADC)值,并探讨小脑上脚交叉的FA值、ADC值与年龄、性别的相关性。方法 回顾性分析100例正常人群横轴位弥散张量成像(DTI)图像,其中男女各50例,年龄30~79岁,平均54.7岁。由一名专家运用感兴趣区(ROI)功能在FA图和ADC图上分别测量小脑上脚交叉的FA值和ADC值。配对或独立样本 $t$ 检验比较性别间的差异,单因素方差分析用于各年龄组之间的差异,双变量相关用于分析年龄对小脑上脚交叉信号的影响或相关性。结果 100例健康成年人中,小脑上脚交叉的FA值( $0.52 \pm 0.04$ )明显低于小脑上脚的FA值( $0.71 \pm 0.05$ ),差异具有统计学意义( $t = -36.718, P = 0.000$ )。其中小脑上脚交叉的男性和女性FA值分别为 $0.52 \pm 0.04$ 和 $0.51 \pm 0.04$ ,无统计学差异( $t = 1.404, P = 0.164$ )。经双变量相关分析,小脑上脚交叉的FA值与年龄呈低度正相关( $r = 0.300, P = 0.002$ )。小脑上脚交叉和小脑上脚的ADC值分别为 $(722.23 \pm 38.75) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $(759.16 \pm 31.23) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,有统计学差异( $t = -8.047, P = 0.000$ )。小脑上脚交叉的女性ADC值为 $(725.98 \pm 35.04) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,虽然高于男性ADC值 $[(718.48 \pm 42.16) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}]$ ,但无统计学差异( $t = -0.967, P = 0.336$ )。经双变量相关分析,小脑上脚交叉的ADC值与年龄无相关性( $r = -0.076, P = 0.451$ )。结论 在DTI图像中,小脑上脚交叉的FA值和ADC值均低于小脑上脚,并且均与性别没有相关性。随着年龄增大,FA值呈现增高趋势,ADC值则与年龄无相关性。本研究的结果可为今后的相关研究提供参考。

**【关键词】** 各向异性; 磁共振成像; 弥散; 表观弥散系数; 小脑上脚交叉

**Fractional anisotropy and apparent diffusion coefficient values of the decussation of superior cerebellar peduncle on diffusion tensor imaging: correlation with age and gender** Ma Deting, Wang Junxia, Kong Qingkui, Xie Yuanzhong. Department of Radiology, Tai'an Central Hospital, Tai'an 271000, China

Corresponding author: Ma Deting, Email: medimage@163.com

**【Abstract】 Objective** To compare with the fractional anisotropy(FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) values of decussation of superior cerebellar peduncle (DSCP) between age groups and investigate relationship between FA and ADC value of the DSCP and age and gender in healthy subjects. **Methods** Axial FA maps and ADC maps of 100 neurologically normal subjects (50 men, 50 women; age range: 30-79 years, mean age: 54.7 years) using diffusion tensor imaging (DTI) were evaluated retrospectively. Measurement of the FAs and ADC values was done by one radiologist and by placing circular ROIs in the DSCP and SCPs. Independent-Sample  $t$ -test was used to evaluate the gender difference of FA and ADC values of DSCP. Difference of age groups was used one-way analysis of variance (ANOVA), and bivariate correlation analysis were performed to evaluate the effects of gender and age, and pearson correlation coefficient ( $r$ ) was obtained. **Results** In 100 healthy patients, the FA value was significantly lower in the DSCP ( $0.52 \pm 0.04$ ) than in the SCP ( $0.71 \pm 0.05$ ), the difference was significant( $t = -36.718, P = 0.000$ ). There were not significant difference ( $t = 1.404, P = 0.164$ ) between

males( $0.52 \pm 0.04$ ) and females( $0.51 \pm 0.04$ ) on the FA value of DSCP. The FA value of DSCP significantly positively correlated with patients' age ( $r=0.300$ ,  $P=0.002$ ) by bivariate correlation. The ADC value was significantly lower in the DSCP [ $(722.23 \pm 38.75) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ] than in the SCP [ $(759.16 \pm 31.23) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ]; the difference was significant ( $t=-8.047$ ,  $P=0.000$ ). The ADC value of DSCP tended to be higher in females [ $(725.98 \pm 35.04) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ] than in males [ $(718.48 \pm 42.16) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ]; however, this difference was not significant ( $t=-0.967$ ,  $P=0.336$ ). The ADC value of DSCP was not correlation with patients' age ( $r=-0.076$ ,  $P=0.451$ ) by bivariate correlation. **Conclusions** Both FA and ADC values of the DSCP were lower than those of the SCP which showed no correlation with gender. FA value of the DSCP increased with advancing age, but its ADC value was not correlated with patients' age. The results reported here may serve as a reference for future studies.

**【Key words】** Anisotropy; Diffusion magnetic resonance imaging; Apparent diffusion coefficient; Decussation of superior cerebellar peduncle

磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是一种较常规DWI更高级别的MRI功能成像技术,它从量和方向上反映成像体素内弥散的变化,可以定向定量地评价脑白质的各向异性<sup>[1]</sup>。通过测量白质的部分各向异性(fractional anisotropy, FA)值可以反映纤维束的完整性。人脑结构与功能退化是近年来的研究热点之一。以往有较多关于DTI分析脑白质退化的研究,例如有额叶、颞叶、枕叶、胼胝体、内囊和放射冠等部位的FA值随年龄减低的报道<sup>[2-10]</sup>。关于小脑上脚交叉的FA值国内已有报道<sup>[11]</sup>,但关于小脑上脚交叉FA值与年龄的相关性未见报道。

FA值主要反映神经纤维解剖结构的完整性,而表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值主要反映细胞外间隙的大小<sup>[12]</sup>。关于脑实质ADC值研究国内外已有较多报道<sup>[10,13-18]</sup>,多数研究对颅脑ADC值与年龄、性别的相关性进行了报道,主要集中在额叶、顶叶、枕叶、颞叶的灰质和白质、基底节核团、丘脑和半卵圆中心、小脑半球、脑干、胼胝体等,这些研究均是左右对称分析,少数对中线部位的穹隆<sup>[18]</sup>、小脑上脚交叉的ADC值<sup>[11]</sup>进行了研究,已有文献报道小脑上脚交叉在横轴位彩色张量图像上呈红色圆点状<sup>[19-20]</sup>,然而对小脑上脚交叉的ADC值与年龄、性别的相关性未见报道。

鉴于以上状况,本研究的目的在于量化比较不同年龄段小脑上脚交叉的FA值和ADC值,并探讨小脑上脚交叉的FA值、ADC值与年龄、性别的相关性。

### 资料与方法

所有志愿者均签署知情同意书,本研究经过医

院医学伦理委员会批准。

1. 研究对象:来自泰安市中心医院MR室2013年1~4月成年人颅脑受检者。入选标准包括:(1)无神经及精神疾病史;(2)无固定的义齿或其他金属牙齿充填物;(3)神经科体格检查正常;(4)头颅MR扫描,常规横断面T1WI、T2WI、FLAIR和矢状面T2WI无阳性发现;(5)图像没有出现严重的运动伪影或几何变形、失真。按10岁为一年龄组,每组连续收集到20例,男女各10例且年龄匹配为止。因30岁以下年龄组病例少于20例,且达不到男女各10例且年龄匹配,故以30岁以上成年人为研究对象,最终入选100例,男女各50例且年龄匹配,年龄30~79岁,平均54.7岁。按年龄段分为30~39岁、40~49岁、50~59岁、60~69岁和70~79岁五个年龄组。其磁共振检查的原因包括头痛32例,头晕45例,感觉异常23例。

2. MR成像程序:扫描设备:所有MR检查应用德国西门子1.5 T超导磁共振成像仪(Siemens Medical Systems, Avanto)。头部8通道线圈,全脑扫描。

常规扫描序列及成像参数:常规MRI进行横轴位T1WI、T2WI和FLAIR,矢状位T2WI。横轴位T1-FLAIR序列:TR=2 000 ms,TE=55 ms,矩阵 $512 \times 512$ ,层厚为5 mm,层间距1.5 mm,视野(FOV)230 mm。横轴位T2WI采用快速自旋回波(FSE)序列:TR=4 000 ms,TE=99 ms,矩阵为 $512 \times 512$ ,层厚为5 mm,层间距1.5 mm,FOV为230 mm。横轴位T2-FLAIR序列:TR=9 000 ms,TE=99 ms,矩阵 $512 \times 512$ ,层厚5 mm,层间距1.5 mm,FOV为230 mm。矢状位T2WI采用快速自旋回波(FSE)序列:TR=4 500 ms,TE=88 ms,

矩阵  $512 \times 512$ , 层厚为 5 mm, 层间距 1.5 mm, FOV 为 230 mm。

DTI 成像参数: 在常规 MR 成像的基础上进行横轴位 DTI, 其扫描参数: 单次激发自旋回波-回波平面成像 (SE-EPI) 序列, TR/TE=2 700 ms/88 ms, 2 次信号平均, 矩阵  $128 \times 128$ , b 值取 0 和  $1000 \text{ s/mm}^2$ , 层厚 3 mm, 无层间隔, FOV=230 mm。弥散敏感梯度方向 6 个, 扫描时间 85 s。

3. 图像评价: DTI 扫描结束后设备自动获得彩色张量图像、FA 图和 ADC 图。虽然 DTI 成像资料传递到 Windows 工作站进行 functool 软件处理后, 还可以获得多种参数图, 例如相对各向异性 (relative anisotropy, RA) 图、容积比 (volume ratio, VR) 图和指数 ADC 图等, 然而在临床和科研工作中最常应用的参数是 FA 值和 ADC 值, 同时这两个参数的图像无需进行后处理即可由设备自动获得, 因此本研究只分析 FA 图和 ADC 图。

在横轴位彩色 FA 图中的中脑下部层面小脑上脚交叉纤维呈边界清楚红色圆点状<sup>[19-20]</sup>。小脑上脚交叉和两侧小脑上脚的 FA 值和 ADC 值测量采用 ROI 功能在相应横轴位 FA 图和 ADC 图上进行 (图 1, 2), 采用盲法, 由一名高年资副主任磁共振医师 (从事本工作 12 年) 完成。为了获得准确的测量数据, 采用三次测量求其平均值作为最终测量结果。ROI 的放置尽量包全靶区域但也尽量避免不相关组织, 以免影响测量数据的准确性。另外 ROI 的放置要参照彩色张量图像。两侧小脑上脚的平均 FA 值和 ADC 值作为小脑上脚的最终 FA 值和 ADC 值。

4. 统计学分析: FA 值和 ADC 值均以均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 来表示。小脑上脚交叉的 FA 值和 ADC 值的性别间的差异采用单因素方差分析 (ANOVA) 或两个独立样本  $t$  检验; 小脑上脚和小脑上脚交叉的 FA 值和 ADC 值比较采用配对样本  $t$  检验; 小脑上脚交叉的 FA 值和 ADC 值与年龄的相关性采用双变量相关 (Bivariate correlation) 分析, 并计算 Pearson 相关系数 ( $r$ )。相关强度的判断标准:  $r \geq 0.7$  为高度相关,  $0.4 \leq r < 0.7$  为中度相关,  $0.2 \leq r < 0.4$  为低度相关,  $r < 0.2$  为弱相关。所有数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

100 例健康成年人受检者全部完成了本项研

究, 所有图像质量符合本研究的要求。小脑上脚交叉在横轴位彩色张量图像中均呈红色圆点为主, 均没有发现 1 例小脑上脚交叉呈蓝色、绿色或其他颜色。

1. 小脑上脚交叉 FA 值相关指标: (1) 小脑上脚交叉与小脑上脚 FA 值比较: 小脑上脚交叉 FA 值为  $0.52 \pm 0.04$ , 明显低于小脑上脚 FA 值  $0.71 \pm 0.05$ , 统计学具有明显差异 ( $t = -36.718$ ,  $P = 0.000$ )。

(2) 小脑上脚交叉 FA 值性别间比较: 女性小脑上脚交叉的 FA 值为  $0.51 \pm 0.04$ , 虽然略低于男性小脑上脚交叉的 FA 值为  $0.52 \pm 0.04$ , 但经统计学处理没有显著性差异 ( $t = 1.404$ ,  $P = 0.164$ )。

(3) 小脑上脚交叉 FA 值各年龄组间比较: 随着年龄增大, 小脑上脚交叉的 FA 值呈增高趋势 (表 1, 图 3)。经方差分析近似  $F$  检验, 各年龄组之间 FA 值具有统计学差异 ( $P = 0.026$ ) (表 2), 其中第 1 组 (30~39 岁) 与第 3、4 和 5 组 (50~79 岁)、第 2 组 (40~49 岁) 与第 3 组 (50~59 岁)、第 5 组 (70~79 岁) 均具有统计学差异 (均  $P < 0.05$ ), 其余各组之间均无统计学差异。

(4) 小脑上脚交叉 FA 值与年龄的相关性 (图 4): 随着年龄的增加, 小脑上脚交叉的 FA 值呈增高趋势, 经双变量相关分析, 小脑上脚交叉 FA 值与年龄呈低度正相关 ( $r = 0.300$ ,  $P = 0.002$ )。

2. 小脑上脚交叉 ADC 值相关指标: (1) 小脑上脚交叉 ADC 值与小脑上脚 ADC 值比较: 小脑上脚交叉的 ADC 值  $(722.23 \pm 38.75) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$  明显低于小脑上脚的 ADC 值  $(759.16 \pm 31.23) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ , 差异有统计学意义 ( $t = -8.047$ ,  $P = 0.000$ )。

(2) 小脑上脚交叉 ADC 值性别间比较: 男性小脑上脚交叉的 ADC 值为  $(718.48 \pm 42.16) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ , 虽然低于女性小脑上脚交叉的 ADC 值  $[(725.98 \pm 35.04) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}]$ , 但无统计学差异 ( $t = -0.967$ ,  $P = 0.336$ )。

(3) 小脑上脚交叉 ADC 值各年龄组间比较: 随着年龄增大, 小脑上脚交叉的 ADC 值呈减低的趋势 (表 3, 图 5)。但经方差分析, 各年龄组之间 ADC 值无统计学差异 ( $F = 0.911$ ,  $P = 0.461$ ) (表 2)。

(4) 小脑上脚交叉 ADC 值与年龄的相关性: 随着年龄的增加, 小脑上脚交叉的 ADC 值呈降低



表1 不同年龄组中小脑上脚交叉的FA值

| 组别 | 年龄(岁) | 例数  | $\bar{x} \pm s$ | 95%可信区间 |      | 最小值  | 最大值  |
|----|-------|-----|-----------------|---------|------|------|------|
|    |       |     |                 | 下限值     | 上限值  |      |      |
| 1  | 30~39 | 20  | 0.50±0.04       | 0.48    | 0.52 | 0.44 | 0.59 |
| 2  | 40~49 | 20  | 0.50±0.04       | 0.48    | 0.52 | 0.42 | 0.60 |
| 3  | 50~59 | 20  | 0.53±0.05       | 0.51    | 0.55 | 0.44 | 0.61 |
| 4  | 60~69 | 20  | 0.53±0.03       | 0.51    | 0.54 | 0.46 | 0.59 |
| 5  | 70~79 | 20  | 0.53±0.03       | 0.52    | 0.55 | 0.48 | 0.59 |
| 合计 |       | 100 | 0.52±0.04       | 0.51    | 0.53 | 0.42 | 0.61 |

表3 不同年龄组之间小脑上脚交叉ADC值的比较(×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s)

| 组别 | 年龄(岁) | 例数  | $\bar{x} \pm s$ | 95%可信区间 |        | 最小值 | 最大值 |
|----|-------|-----|-----------------|---------|--------|-----|-----|
|    |       |     |                 | 下限值     | 上限值    |     |     |
| 1  | 30~39 | 20  | 731.65±35.75    | 714.92  | 748.38 | 660 | 775 |
| 2  | 40~49 | 20  | 725.80±35.74    | 709.08  | 742.52 | 654 | 799 |
| 3  | 50~59 | 20  | 709.30±44.98    | 688.25  | 730.35 | 613 | 824 |
| 4  | 60~69 | 20  | 723.90±32.86    | 708.52  | 739.28 | 674 | 792 |
| 5  | 70~79 | 20  | 720.50±43.33    | 700.22  | 740.78 | 649 | 798 |
| 合计 |       | 100 | 722.23±38.75    | 714.54  | 729.92 | 613 | 824 |

表2 不同年龄组之间小脑上脚交叉FA值和ADC值的比较

| 组 vs. 组   | P值(FA值) | P值(ADC值) |
|-----------|---------|----------|
| 1组 vs. 2组 | 0.813   | 0.635    |
| 1组 vs. 3组 | 0.021   | 0.072    |
| 1组 vs. 4组 | 0.029   | 0.529    |
| 1组 vs. 5组 | 0.012   | 0.366    |
| 2组 vs. 3组 | 0.037   | 0.182    |
| 2组 vs. 4组 | 0.051   | 0.877    |
| 2组 vs. 5组 | 0.022   | 0.667    |
| 3组 vs. 4组 | 0.890   | 0.237    |
| 3组 vs. 5组 | 0.839   | 0.364    |
| 4组 vs. 5组 | 0.734   | 0.782    |

趋势(图6),经双变量相关分析,小脑上脚交叉的ADC值与年龄没有相关性( $r=-0.076, P=0.451$ )。

### 讨论

DTI是目前唯一可在活体上无创性地显示脑白质纤维束的成像方法,较常规MRI可以更清晰地显示神经纤维束的走行<sup>[21]</sup>。目前,通过DTI技术可定量得到ADC、FA、RA和VR等四个成像参数。FA、VR和RA能很好地反映组织的各向异性,它们只是计算方法不同,其中以FA最为重要和最为常用。FA值是指水分子各向异性成分占整个弥散张量的比例,介于0~1,弥散各向异性最强时,FA值为1时表示弥散各向异性最强,而FA值为0时弥

散的各向异性最低,即各向同性。

FA值的重要意义在于通过FA值的大小可反映出脑白质的精细结构<sup>[22]</sup>。以往有较多研究利用DTI分析脑白质FA值与年龄之间的相关性报道,主要集中在额叶、颞叶、枕叶、胼胝体、内囊和放射冠等部位<sup>[2-10]</sup>。但关于小脑上脚交叉纤维FA值与年龄的相关性未见报道。在100例横轴位FA图像中,小脑上脚交叉的FA值明显低于小脑上脚。随着年龄的增长,小脑上脚交叉的FA值具有增高的趋势,经直线相关分析得知小脑上脚交叉FA值与年龄呈低度正相关。但小脑上脚交叉的FA值不存在性别之间的差异。

ADC是用来描述活体弥散加权成像中的弥散状况,定量ADC值测量可以量化分析脑内的微观病变,可为疾病的早期诊断提供更多、更细致的信息,有助于早期病变的发现。在临床应用中,感兴趣区(ROI)的ADC值测量对某些疾病的诊断具有一定的特异性<sup>[15,23-25]</sup>,因为有些病变的微小变化可能很难通过肉眼识别<sup>[15]</sup>。本组资料显示小脑上脚交叉的ADC值为(722.23±38.75)×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s,范围为(613~824)×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s,明显低于小脑上脚的ADC值(759.16±31.23)×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s,另外本研究还显示小脑上脚交叉的ADC值随年龄的增加具有减低的趋势,但是各年龄组之间ADC值并没有统计学差异,小脑上脚交叉的ADC值与年龄

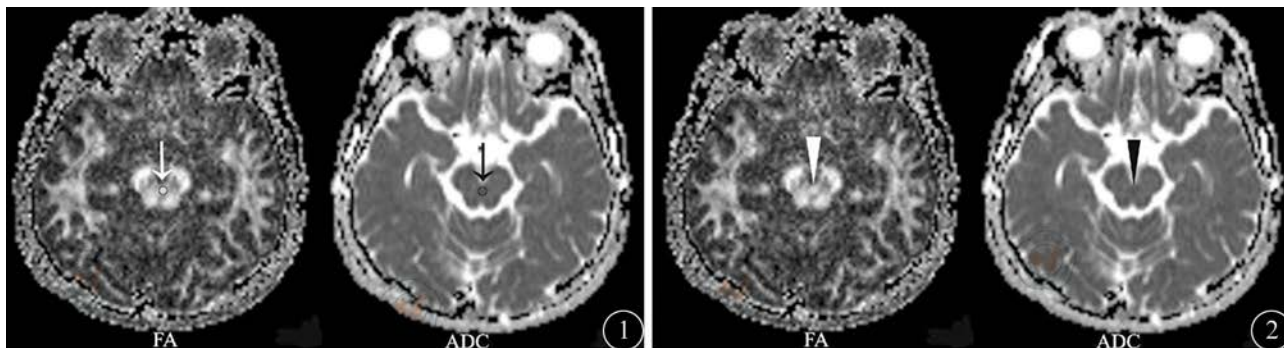


图1 小脑上脚交叉在横轴位FA图和ADC图上的ROI放置示意图 图2 小脑上脚交叉分别在横轴位FA图和ADC图上的表现

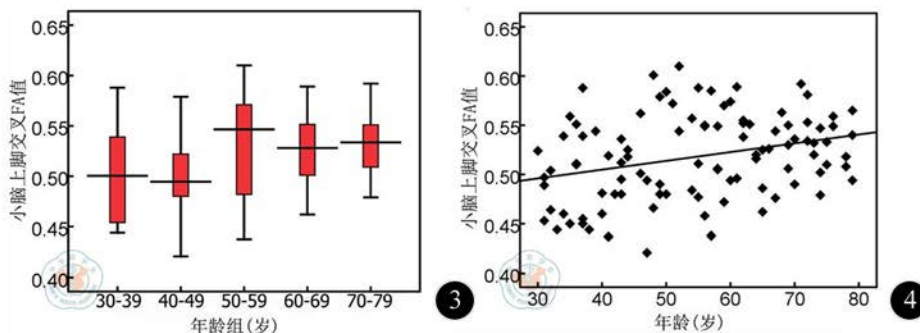


图3 不同年龄段小脑上脚交叉部分各向异性 (FA) 值变化的箱图。随着年龄增大, 小脑上脚交叉的FA值呈增高趋势 图4 小脑上脚交叉FA值与年龄呈低度正相关 ( $r=0.300, P=0.002$ )

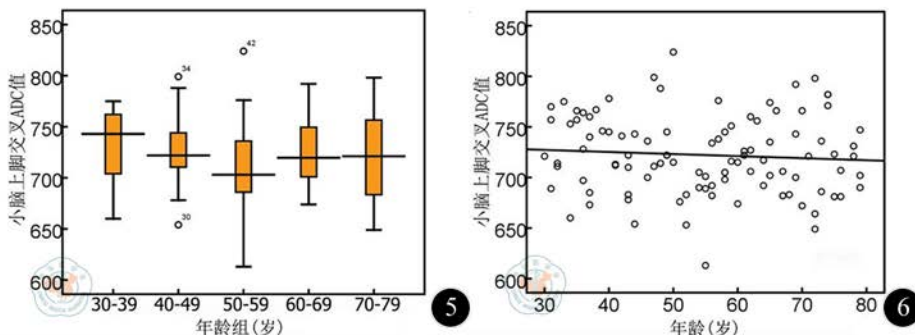


图5 不同年龄段小脑上脚交叉ADC值变化趋势的箱图。随着年龄增大, 小脑上脚交叉的ADC值呈减低的趋势 图6 小脑上脚交叉的ADC值与年龄不存在相关性 ( $r=-0.076, P=0.451$ )

之间无相关性, 与性别亦无相关性。

ADC值和FA值在DTI中是两组不同的成像参数, 两者之间存在着一定的联系, 脑组织水分子弥散受限越小, 则ADC值越高, 而FA值越低。单独的ADC值或各向异性参数值虽然可以大致对脑组织的微细结构变化进行评价, 但是将这两个参数结合起来考虑可以更准确地了解脑白质的形态学改变以及病变发生的机制<sup>[26]</sup>。

国外DTI研究表明, 尽管不同部位大脑白质FA值与年龄的相关性的研究结果不尽一致, 但是FA值与年龄呈负相关, FA值随年龄增长而下降<sup>[27-28]</sup>已经成为共识。本研究表明小脑上脚交叉FA值与年龄呈低度正相关, 这与大脑白质的变化不同。因

此在用DTI技术观察和评价中脑尤其是小脑上脚交叉, 要考虑到患者年龄因素引起的相应微细结构的变化。

对大脑实质ADC值国内外的研究结果亦不尽相同, 多数研究表明大脑实质的ADC值不存在年龄相关的变化<sup>[13-15]</sup>, 少数研究结果显示大脑实质的ADC值随年龄的增加而增高<sup>[29]</sup>。本研究表明小脑上脚交叉的ADC值随年龄的增加而有减低的趋势, 但没有统计学差异。这与大脑实质的变化相反。因此利用ADC值评价中脑尤其是小脑上脚交叉疾病时, 要考虑到患者年龄因素导致的ADC值的变化。

虽然本研究显示小脑上脚交叉的FA值和ADC值与年龄的关系与大脑实质和年龄的关系具有相

反的趋势,但是小脑上脚交叉的FA值和ADC值仍然保持着负相关的关系,因此本研究结果是可靠的。

本研究尚存在一定的不足。一是本研究的指标仅限于FA值和ADC值,这有可能导致本研究的结果不能完全反映小脑上脚交叉的弥散特征。二是本研究的对象限于30岁以上的成年人,因此缺乏30岁以下年龄组的相关数据,这可能对研究的整体结果产生偏移。三是小脑上脚交叉和两侧的小脑上脚的解剖结构较小,运用ROI对所测量的FA值和ADC值的结果受测量者的主观因素较大,虽然测量者努力设定ROI的大小以包全靶部位,但主观因素所导致的偏差不可避免。四是本研究虽然采用了DTI技术,但是没有进行三维脑白质束示踪,窦郁等<sup>[29]</sup>应用DTT-FACT重建小脑上脚交叉纤维,发现小脑上脚交叉纤维在DTT图中呈向前形成盲端、上下交叉上行、前后交叉上行、吻接上行、单侧向前等五种表现类型。因此小脑上脚交叉形态的多样性可能对ADC值和FA值的测量产生一定的影响。

综上所述,在颅脑DTI图像中,不同年龄段小脑上脚交叉的FA值具有差异性,随着年龄增大,FA值呈现增高趋势,ADC值则与年龄无相关性,两者均没有性别间的差异。本研究结果对今后研究小脑上脚交叉可提供参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 郭睿, 邓奎品, 刘铁军. 磁共振弥散张量成像在中枢神经系统的应用研究进展[J]. 医学影像学杂志, 2009, 19(6): 762-765.
- [2] Stadlbauer A, Salomonowitz E, Strunk G, et al. Age-related degradation in the central nervous system: assessment with diffusion-tensor imaging and quantitative fiber tracking[J]. Radiology, 2008, 247(1): 179-188.
- [3] Stadlbauer A, Salomonowitz E, Strunk G, et al. Quantitative diffusion tensor fiber tracking of age-related changes in the limbic system[J]. Eur Radiol, 2008, 18(1): 130-137.
- [4] Salat DH, Tuch DS, Greve DN, et al. Age-related alterations in white matter microstructure measured by diffusion tensor imaging[J]. Neurobiol Aging, 2005, 26(8): 1215-1227.
- [5] Zhang YT, Zhang CY, Zhang J, et al. Age-related changes of normal adult brain structure: analysed with diffusion tensor imaging[J]. Chin Med J (Engl), 2005, 118(13): 1059-1065.
- [6] Nusbaum AO, Tang CY, Buchsbaum MS, et al. Regional and global changes in cerebral diffusion with normal aging[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2001, 22(1): 136-142.
- [7] Wang Q, Xu X, Zhang M. Normal aging in the basal ganglia evaluated by eigenvalues of diffusion tensor imaging[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010, 31(3): 516-520.
- [8] Hsu JL, Leemans A, Bai CH, et al. Gender differences and age-related white matter changes of the human brain: a diffusion tensor imaging study[J]. Neuroimage, 2008, 39(2): 566-577.
- [9] Pal D, Trivedi R, Saksena S, et al. Quantification of age- and gender-related changes in diffusion tensor imaging indices in deep grey matter of the normal human brain[J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(2): 193-196.
- [10] Abe O, Aoki S, Hayashi N, et al. Normal aging in the central nervous system: quantitative MR diffusion-tensor analysis[J]. Neurobiol Aging, 2002, 23(3): 433-441.
- [11] 韩鸿宾, 王俭, 阎军浩, 等. 层面选择方向扩散加权成像在中脑大脚间产生高信号的机制[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(9): 936-940.
- [12] 王红, 马景旭, 贾文霄, 等. 弥散张量成像FA值和ADC值在颅内肿瘤病变中的应用[J]. 磁共振成像, 2012, 3(2): 136-140.
- [13] Zhao XY, Zhang XL, Wang J, et al. Correlation between age and average apparent diffusion coefficient in normal-appearing cerebral white matter[J]. Di Yi Jun Yi Da Xue Xue Bao, 2004, 24(11): 1316-1318.
- [14] Watanabe M, Sakai O, Ozonoff A, et al. Age-related apparent diffusion coefficient changes in the normal brain[J]. Radiology, 2013, 266(2): 575-582.
- [15] Helenius J, Soenne L, Perkiö J, et al. Diffusion-weighted MR imaging in normal human brains in various age groups[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2002, 23(2): 194-199.
- [16] Ryan L, Walther K, Bendlin BB, et al. Age-related differences in white matter integrity and cognitive function are related to APOE status[J]. Neuroimage, 2011, 54(2): 1565-1577.
- [17] Naganawa S, Sato K, Katagiri T, et al. Regional ADC values of the normal brain: differences due to age, gender, and laterality[J]. Eur Radiol, 2003, 13(1): 6-11.
- [18] Jang SH, Cho SH, Chang MC. Age-related degeneration of the fornix in the human brain: a diffusion tensor imaging study[J]. Int J Neurosci, 2011, 121(2): 94-100.
- [19] Spampinato MV, Kraas J, Maria BL, et al. Absence of decussation of the superior cerebellar peduncles in patients with Joubert syndrome[J]. Am J Med Genet A, 2008, 146A(11): 1389-1394.
- [20] Poretti A, Boltshauser E, Loenneker T, et al. Diffusion tensor imaging in Joubert syndrome[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2007, 28(10): 1929-1933.
- [21] Okada T, Miki Y, Fushimi Y, et al. Diffusion-tensor fiber tractography: Intra-individual comparison of 3.0T and 1.5T MR Imaging[J]. Radiology, 2006, 238(2): 668-678.
- [22] Hamime T, Noriko K, Yoshio M, et al. How does water diffusion in human white matter change following ischemic stroke?[J]. Magn Reson Med Sci, 2009, 8(3): 121-134.
- [23] Dardzinski BJ, Sotak CH, Fisher M, et al. Apparent diffusion coefficient mapping of experimental focal cerebral ischemia using diffusion-weighted echo-planar imaging[J]. Magn Reson Med, 1993, 30(3): 318-325.
- [24] Engelter ST1, Wetzel SG, Bonati LH, et al. The clinical significance of diffusion-weighted MR imaging in stroke and TIA patients[J]. Swiss Med Wkly, 2008, 138(49/50): 729-740.
- [25] 武刚, 詹青霞, 丁小龙, 等. 正常成人脑白质纤维磁共振弥散张量成像的定量研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2012, 18(1): 6-8.
- [26] Pfefferbaum A, Sullivan EV, Hedehus M, et al. Age-related decline in brain white matter anisotropy measured with spatially corrected echo-planar diffusion tensor imaging[J]. Magn Reson Med, 2000,

44(2): 259-268.

- [27] Sullivan EV, Adalsteinsson E, Hedehus M, et al. Equivalent disruption of regional white matter micro- structure in ageing healthy men and women[J]. Neuroreport, 2001, 12(1): 99-104.
- [28] Engelter ST, Provenzale JM, Petrella JR, et al. The effect of aging on the apparent diffusion coefficient of normal-appearing white

matter[J]. AJR Am J Roentgenol, 2000, 175(2): 425-430.

- [29] 窦郁, 韩鸿宾, 郭顺林, 等. 不同参数扩散张量脑白质成像重建小脑上脚交叉示踪[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(4): 752-755.

(收稿日期: 2013-12-13)

(本文编辑: 吴莹)

马得廷, 王君霞, 孔庆奎, 等. 小脑上脚交叉的各向异性分数和表观弥散系数数值与年龄、性别的相关性研究 [J/CD]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2014, 8 (3): 415-421.



中华医学会