

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2017.30.007

磁共振弥漫张量成像对儿童弥漫性轴索损伤程度评估的定量研究*

张雨婷¹,李禄生^{2△},何玲¹,蔡金华¹,梁平²,李映良²,翟瑄²

(1. 重庆医科大学附属儿童医院放射科/儿童发育疾病研究教育部重点实验室/儿童发育重大疾病

国家国际科技合作基地/儿科学重庆市重点实验室 400014;

2. 重庆医科大学附属儿童医院小儿外科(国家重点临床专科)神经外科 400014)

[摘要] 目的 比较磁共振弥漫张量成像(DTI)各向异性分数(FA)与入院时格拉斯哥意识障碍量表(GCS)对儿童弥漫性轴索损伤(DAI)患者损伤程度及预后判断的价值。方法 34例DAI患儿入院时采用GCS评分评价意识障碍程度,伤后2周内行DTI检查。健康体检者23例行DTI检查。测量各部位可视性病灶区和健侧对称处FA值及脑中线部位FA值,计算中线部位平均FA值降低程度及可视性病灶平均FA值降低程度。分析GCS评分、可视性病灶平均FA值降低程度及脑中线部位平均FA值与患儿意识障碍时间及伤后半患儿恢复程度的相关性。结果 脑中线部位平均FA值降低程度与患儿意识障碍时间及伤后半患儿恢复程度呈显著相关($r=0.519, P=0.002; r=0.669, P=0.000$);可视性病灶平均FA值降低程度及GCS评分与患儿意识障碍时间及伤后半患儿恢复程度均呈低度相关或微弱相关($r=0.285, P=0.103; r=0.487, P=0.003; r=-0.241, P=0.169; r=-0.229, P=0.192$)。脑中线部位平均FA值降低程度及可视性病灶平均FA值降低程度与伤后半患儿恢复程度的相关性高于GCS评分。结论 DTI为诊断DAI的敏感方法,较临床普遍采用的GCS评分对DAI患儿的损伤程度及预后判断更有价值。

[关键词] 弥漫性轴索损伤;磁共振成像;弥漫;各向异性分数;格拉斯哥意识障碍量表**[中图分类号]** 651.1**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2017)30-4196-04

A quantitative study on evaluation of child diffuse axonal injury severity by using MR diffusion tensor imaging*

Zhang Yuting¹, Li Lusheng^{2△}, He Ling¹, Cai Jinhua¹, Liang Ping², Li Yingliang², Zhai Xuan²

(1. Department of Radiology, Affiliated Children's Hospital, Chongqing Medical University/Ministry of Education

Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing International Science and Technology

Cooperation Center for Child Development and Disorders/Key Laboratory of Pediatrics in Chongqing,

Chongqing 400014, China; 2. Department of Neurosurgery, Pediatric Surgery (National Key Clinical Specialist),

Affiliated Children's Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China)

[Abstract] **Objective** To compare the value of fractional anisotropy(FA)of MR diffusion tensor imaging(DTI) and Glasgow coma scale(GCS) at admission for judging the injury severity and prognosis of diffuse axonal injury (DAI). **Methods** Thirty-four patients with DAI adopted the GCS score to evaluate the conscious disturbance levels at admission and conducted the DTI examination within 2 weeks. Twenty-three individuals undergoing healthy physical examination conducted the DTI examination. The FA values of visuality lesion area in various sites, healthy side symmetric site and cerebral midline site were measured. The reduction degree of mean FA value at midline site and visuality lesions were measured. The correlation between GCS score, mean FA value reduction degree in visuality lesions and mean FA value at cerebral midline site with consciousness disorder time and recovery degree in half a year after injury was analyzed. **Results** The reduction degree of mean FA value at cerebral midline site was significantly correlated with consciousness disorder time and recovery degree in half a year after injury($r=0.519, P=0.002; r=0.669, P=0.000$); the mean FA value reduction degree in visuality lesions and GCS score had low or weak correlation with consciousness disorder time and recovery degree in half a year after injury($r=0.285, P=0.103; r=0.487, P=0.003; r=-0.241, P=0.169; r=-0.229, P=0.192$). The correlation between mean FA reduction degree in cerebral midline site and mean FA value reduction degree in visuality lesions with the recovery degree in a half years after injury was higher than that in GCS score. **Conclusion** DTI is a sensitive sequence for diagnosing DAI and has much more value for judging the injury degree and prognosis than the GCS score generally adopted by clinic.

[Key words] diffuse axonal injury; magnetic resonance imaging; diffusion; fractional anisotropy; Glasgow coma scale

弥漫性轴索损伤(diffuse axonal injury, DAI)是指头部在外力作用后引起的以脑白质轴索弥漫性损伤为主要特征的一种创伤性脑损伤,是儿童颅脑损伤较为常见的一种损伤形式,以意识障碍为其主要临床表现。DAI是病理组织形态学的诊断,在脑白质及脑干发现有广泛性分布的轴索收缩球是确诊的依据。目前临床早期准确诊断和判断预后较为困难,给临床治

疗带来一定的困扰,格拉斯哥意识障碍量表(Glasgow coma scale, GCS)评分为临床普遍采用的判断损伤程度及预后的依据,但缺乏特异性^[1]。磁共振弥漫张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是目前唯一能应用于活体、定量分析和评估脑白质各向异性改变的技术,部分各向异性分数(fractional anisotropy, FA)是DTI检查最常用的参数,被称为“髓鞘损伤的探

针”^[2-3]。本研究探讨可视性病灶平均 FA 值降低程度及脑中
线部位平均 FA 值变化在 DAI 患儿损伤程度及预后判断中的
价值,并与 GCS 评分作为评价指标的相关性进行比较,现将结
果报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2014 年 3 月至 2016 年 1 月在本院治疗的
DAI 患儿 34 例,男 19 例,女 15 例;年龄 1 个月至 13 岁,0~
3 岁 5 例,3~6 岁 15 例,6 岁以上 14 例,平均(5.50±3.45)岁。
患儿均符合 DAI 临床及影像诊断标准。其中车祸伤 24 例,坠
落伤 10 例;根据入院时 GCS 评分,轻度意识障碍(13~15 分)5
例,中度意识障碍(9~12 分)17 例,重度意识障碍(3~8 分)12
例;所有患儿伤后立即出现意识障碍,意识障碍时间小于 3 d
15 例,3~7 d 6 例,>7~15 d 9 例,大于 15 d 4 例;治疗方法为
急性期防止继发性脑损伤及亚急性期营养支持为主的综合性
治疗。病情稳定后行后期康复治疗,半年后随访恢复良好 14
例,肢体运动障碍 17 例,面瘫 2 例,语言障碍 2 例,智力障碍 2
例,创伤性精神障碍 1 例。患儿于伤后 2 周内完成常规磁共振
成像(MRI)及 DTI 检查。选择本院同期正常体检的对照组 23
例,男 14 例,女 9 例,年龄 1~12 岁,平均(4.96±3.07)岁,行
常规 MRI 及 DTI 检查。所有对象由监护人签署知情同意书,
研究经本院伦理委员会审核并通过。DAI 组和对照组的性别
和年龄差异无统计学意义($P>0.05$)。

1.2 方法

1.2.1 诊断标准 目前临床诊断 DAI 主要根据损伤机制、伤
后意识障碍及持续时间,无明确定位体征及影像学(主要是
CT)除外其他局灶性脑挫裂伤等^[4],并无统一的诊断标准。影
像学表现以脑白质内弥漫性或散在多发小病灶为特征。其好
发部位在灰、白质交界处,半卵圆中心深部脑白质,胼胝体及内
囊等处。CT 和 MRI 平扫诊断敏感性均较差。DTI 灵敏度高
于 T1、T2、FLAIR 序列,可以明确诊断^[5]。

1.2.2 图像数据采集 采用 GE Signa propeller HD 1.5 T 超
导磁共振扫描仪及标准头部鸟笼线圈。常规 MRI 扫描采用快
速自旋回波序列,轴位 DTI 扫描采用单次激发自旋回波平面
成像。扫描时间 252 s(TR/TE:9 000 ms/83.2 ms,弥漫加权系
数 b 值取 0 和 1 000,方向数 25,层厚 4.0 mm,层间距 1.0
mm,NEX=1,视野 24 cm×24 cm)。

1.2.3 图像后处理 在 GE 公司的 AW4.4 工作站上进行数
据后处理,产生 FA 图及三维纤维束成像图(3D-DTT 图)。在
FA 图上选取可视性病灶及健侧对称处作为兴趣区(region of
interest,ROI),测量同一部位相近 3 处 FA 值后取平均值。测
量脑中线结构可视性病灶平均 FA 值包括胼胝体、内囊、中脑、

脑桥及延髓。计算中线部位平均 FA 值降低程度(对照组中线
部位 FA 值-中线部位 FA 值/对照组中线部位 FA 值)及可视
性病灶平均 FA 值降低程度[(健侧 FA 值-患侧 FA 值)/健侧
FA 值+中线部位 FA 值降低程度/病灶数目]。ROI 为标准圆
形,面积 30~35 mm²。可视性病灶由 1 名神经外科医生及 2
名影像科医生共同确认,胼胝体膝部、压部 ROI 选择示意图见
图 1。将伤后半年随访患儿按恢复程度分为恢复良好(指不遗
留肢体运动障碍、语言障碍、智力障碍及创伤性精神障碍等后
遗症)和恢复不良(指遗留肢体运动障碍、语言障碍、智力障碍及
创伤性精神障碍等一种或多种后遗症)两大类。分析 GCS 评分、
可视性病灶平均 FA 值降低程度及脑中中线部位平均 FA 值与患
儿意识障碍时间及伤后半年患儿恢复程度的相关性。

1.3 统计学处理 采用 SPSS12.0 统计学软件处理数据,计
量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,DAI 患儿可视性病灶 FA 值与健侧对称
处 FA 值进行配对样本 t 检验,脑中中线部位 FA 值与对照组 FA
值进行独立样本 t 检验,分别对本组 DAI 患儿 GCS 评分、可视
性病灶平均 FA 值降低程度及脑中中线部位平均 FA 值与患儿
意识障碍时间及伤后半年患儿恢复程度进行 Spearman 秩相关
分析,GCS 评分、可视性病灶平均 FA 值降低程度与伤后半年
患儿恢复程度的关系采用 χ^2 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计
学意义。

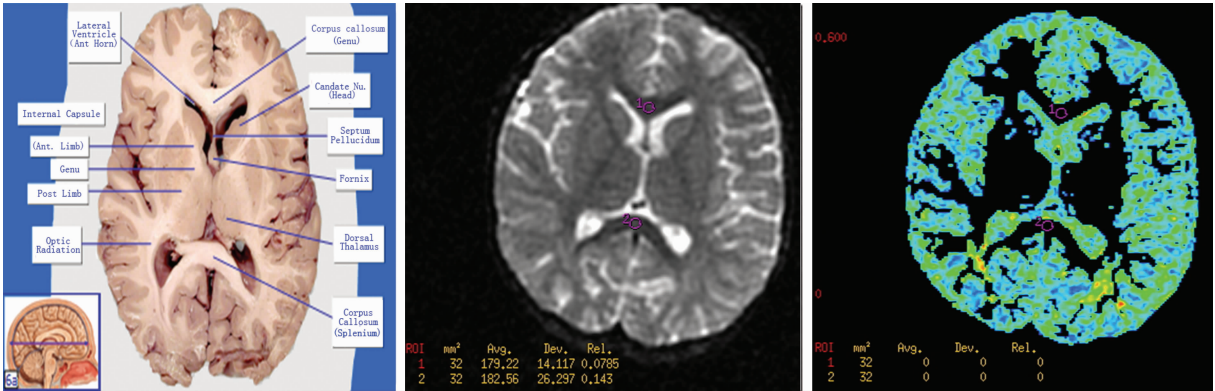
2 结 果

2.1 DAI 患儿影像学表现 轻度 DAI 患儿 CT 平扫未见明显
异常,MRI 平扫 T1WI、T2WI 序列隐约可见胼胝体、双侧额叶
散在斑点状稍长 T1 长 T2 异常信号。而 DTI 序列可清晰显示
DAI 患儿的病灶,并可以定量分析和评估白质各向异性改变,
白质纤维束成像可显示脑外伤后白质纤维束的形态变化,见图
2。中重度 DAI 患儿的 CT、MRI、DTI 表现更明显,显示胼胝
体、基底节多发病变,白质纤维束受损,明显稀少,见图 3。

2.2 DAI 患儿可视性病灶 FA 值的测量结果 DAI 患儿可视
性病灶 FA 值(0.12±0.06)与健侧对称处 FA 值(0.17±0.09)
比较,差异有统计学意义($t=-6.801,P<0.01$)。

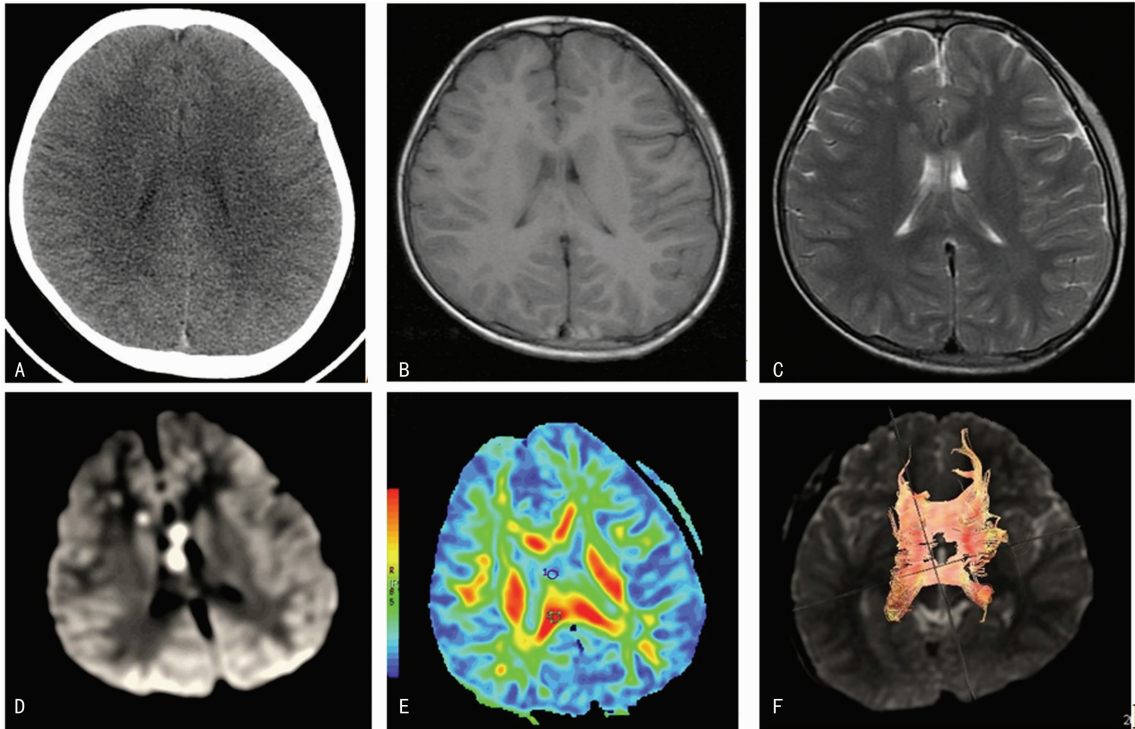
2.3 DAI 患儿脑中中线部位 FA 值的测量结果 DAI 患儿脑
中线部位胼胝体膝部 FA 值(0.22±0.07)、胼胝体压部 FA 值
(0.30±0.14)与对照组(0.32±0.08、0.43±0.07)比较,差异
有统计学意义($t=3.461,3.851,P<0.01$)。

2.4 DAI 患儿平均 FA 值降低程度及 GCS 评分与患儿临床
表现的相关性分析 DAI 患儿平均 FA 值降低程度及 GCS 评
分与患儿临床表现的相关性分析见表 1。其中脑中中线部位平
均 FA 值降低程度与患儿意识障碍时间及伤后半年患儿恢复
程度呈显著相关。

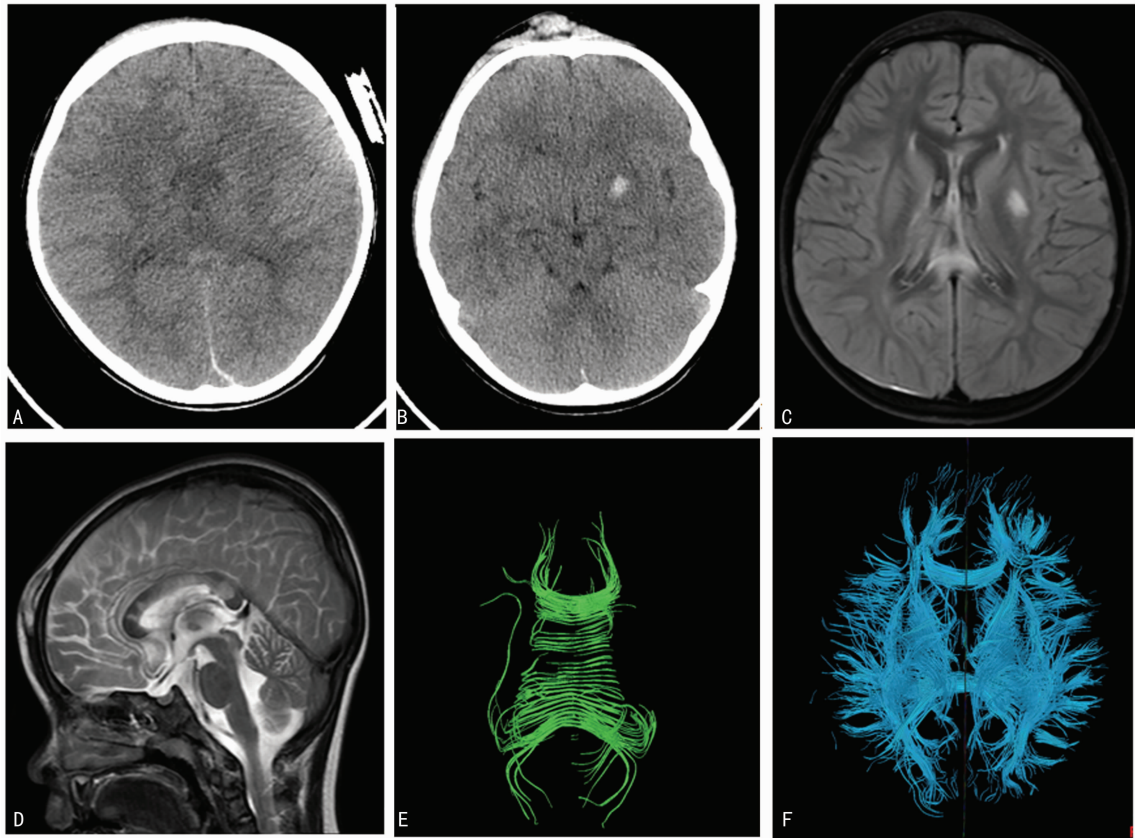


A:解剖示意图;B:DTI 原始图像;C:FA 图;ROI 1:胼胝体膝部;ROI 2:胼胝体压部

图 1 胼胝体膝部、压部 ROI 选择示意图



A:CT 平扫;B、C:MRI 平扫(T1WI、T2WD);D:弥漫加权成像扫描;E:DTI FA 图;F:白质纤维束成像
图 2 轻度 DAI 患儿影像学表现



A、B:CT 平扫;C、D:MRI 平扫(T2FLAIR、T2WD);E、F:白质纤维束成像
图 3 中重度 DAI 患儿影像学表现

2.5 平均 FA 值降低程度及 GCS 评分与伤后半患儿恢复程度的关系 将可视性病灶平均 FA 值降低程度分为轻、中、重 3 组,3 组患儿预后比较,差异有统计学意义($\chi^2 = 12.544, P < 0.05$)。将脑中线部位平均 FA 值降低程度分为轻、中、重

3 组,3 组患儿预后比较,差异有统计学意义($\chi^2 = 17.412, P < 0.05$)。将患儿意识障碍程度根据 GCS 评分分为轻、中、重 3 组,3 组患儿预后比较,差异有统计学意义($\chi^2 = 3.882, P < 0.05$),见表 2。

表 1 FA 值及 GCS 评分与患儿意识障碍时间及伤后半年患儿恢复程度的相关性

参数	与患儿意识障碍时间的相关性		与伤后半年患儿恢复程度的相关性	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
平均 FA 值降低程度	0.285	0.103	0.487	0.003
脑中线部位平均 FA 值	0.519	0.002	0.669	0.000
GCS 评分	−0.241	0.169	−0.229	0.192

表 2 平均 FA 值降低程度及 GCS 评分与伤后半年患儿恢复程度的比较(*n*)

参数	可视性病灶平均 FA 值降低程度			脑中线部位平均 FA 值降低程度			GCS 评分		
	轻度组 (<10%)	中度组 (10%~30%)	重度组 (>30%)	轻度组 (<10%)	中度组 (10%~30%)	重度组 (>30%)	轻度组 (13~15 分)	中度组 (9~12 分)	重度组 (3~8 分)
恢复良好	6	7	0	13	1	0	4	7	3
恢复不良	1	10	10	3	8	9	1	10	9

3 讨 论

外伤性脑损伤(TBI)是引起人类残疾和死亡的重要原因之一,儿童缺乏安全意识和自我保护能力,TBI 一直是威胁儿童健康的主要因素之一。TBI 主要包括脑震荡、DAI、脑挫裂伤、原发性脑干损伤及下丘脑损伤等。DAI 是儿童最常见和最严重的 TBI 形式之一^[6]。由于颅骨的保护,大脑不易受到暴力直接的损伤,但不同质量的组织因形成相对位移而产生的剪切力会对神经轴索、毛细血管造成损伤,因而脑深部白质更易发生损伤即轴索损伤。胼胝体、内囊是投射和联络纤维高度集中的区域,负责躯体感觉和运动等重要信息的传递,也是 DAI 最常累及的部位。其病理改变以轴索回缩、断裂和最终神经纤维分解为特征。在脑白质及脑干发现有广泛性分布的轴索收缩球是确诊的依据^[7]。

因而,DAI 实际是病理组织形态学的诊断,目前尚无统一的临床诊断和判断预后的标准。国际上普遍采用 GCS 评分作为急性期判断伤情轻重的依据。GCS 评分结合早期 CT 检查对于早期 TBI 伤情判断有一定的指导作用,但对于判断预后和指导临床抢救及后期康复却不尽如人意。尤其是儿童,不同年龄阶段由于神经功能发育水平不同,配合度较差,统一的 GCS 评分标准更不能很好地反映早期的意识情况从而判断损伤程度^[8]。本研究中,尽管根据不同年龄患儿使用改良 GCS 评分^[9],但结果仍然是早期 GCS 评分与伤后半年患儿恢复程度呈微弱相关,也证实用 GCS 评价 DAI 损伤程度的准确性较差。传统的影像学检查,头颅 CT 及 MRI 平扫对 DAI 的漏诊率极高^[5]。所以至今临床尚没有很好的早期诊断 DAI 并判断其损伤程度的方法,这已成为制约 DAI 救治、康复及预后判断的瓶颈。神经科学发展迅猛,而 DAI 的相关研究却明显滞后,严重制约了其个体化治疗的发展。

DTI 是由弥漫加权成像技术改进和发展而来的一项新型 MRI 技术,可利用弥漫敏感梯度从多个方向对水分子的弥漫各向异性进行量化,从而反映活体组织内的细微结构、神经纤维束的走向及受损情况、膜渗透性和温度方面的信息。DTI 对白质结构改变十分敏感,可定量分析和评估白质各向异性改变。白质纤维束成像可显示脑白质纤维束的走行和分布,并可观察白质纤维束的完整性和空间方向性,可显示脑外伤后白质纤维束的形态变化^[10]。

FA 是 DTI 检查最常用的参数,是弥漫各向异性成分与整

个扩散张量的比值,反映各向异性程度,数值在 0 与 1 之间,0 代表最大各向同性,1 代表最大各向异性。FA 值的变化与神经元脱失、神经纤维走行方向改变有关,因此被称为“髓鞘损伤的探针”。FA 值的高低与白质纤维束的方向有关,平行纤维越多,方向一致性越强,FA 值越高;相反,FA 值越低。近几年国外已有学者对 DTI 与 DAI 患儿神经功能恢复的相关性进行了初步的研究。认为 DTI 不仅是检测 DAI 患儿的有效方法,对 DAI 患儿认知功能障碍的检测也有效。在 TBI 患儿中,损伤灶越小,FA 值越高,FA 值的变化越小,预后越好。FA 值可定量评估轴索损伤的程度,可作为评价 DAI 严重程度的指标^[11]。但如前文所述,儿童 DAI 的早期临床诊断和预后判断更为困难,目前尚少见相关研究报道。

笔者的研究表明 DAI 患儿脑中线部位平均 FA 值降低程度与患儿意识障碍时间呈显著相关,可视性病灶平均 FA 值降低程度及 GCS 评分与患儿意识障碍时间呈微弱相关,前者的相关性略高于后者。脑中线部位平均 FA 值降低程度与伤后半年患儿恢复程度呈显著相关,可视性病灶平均 FA 值降低程度与伤后半年患儿恢复程度均呈低度相关;GCS 评分与伤后半年患儿恢复程度呈微弱相关;脑中线部位平均 FA 值降低程度及可视性病灶平均 FA 值降低程度与伤后半年患儿恢复程度的相关性高于 GCS 评分。提示 DTI 为诊断 DAI 的敏感序列,较临床普遍采用的 GCS 评分对 DAI 患儿的损伤程度及预后判断更有价值。脑中线部位的 FA 值与 DAI 的意识障碍时间和远期预后均有较强的相关性,优于可视化病灶的 FA 值和 GCS 评分,提示脑中线部位的 FA 值是诊断 DAI 和判断预后最敏感的指标。这是本研究与目前国内外其他已报道研究的最大区别,既往研究主要集中于可视化病灶^[12]。而本研究同时分析脑中线部位的 FA 值和可视化病灶的 FA 值,得到这样的结果,分析原因可能是 DAI 损伤部位通常较为复杂,可视化病灶虽然是损伤最严重的部位,但并不一定是影响预后最大的部位。而脑中线部位是重要的神经功能传导束集中的区域,尽管不一定有普通 MRI 扫描下的可视化病灶,但其损伤后导致的神经功能障碍更为明显。

尽管本研究在 DAI 患儿诊断技术方面取得了一定的进步,提示 DTI 可能成为 DAI 的早期诊断和预后判断的更为可靠和准确的手段。但作为单中心的临床研究,偏倚较大,又不能进行组织病理学的证实,所以其可靠性仍(下转第 4203 页)

总之,在没有专门 RCA 模式的血液净化机时,透析泵代替枸橼酸泵在儿童行改良 RCA-CHF 治疗时,可以显著减少输液泵气泡报警的发生,使枸橼酸泵注更准确,减少医源性枸橼酸蓄积及液体失衡的风险。

参考文献

[1] 郑寅,丁峰. 局部枸橼酸抗凝在连续性肾脏替代治疗中的应用[J]. 中国血液净化,2015,14(1):47-50.

[2] Sorensen LG,Neighbors K,Zhang S,et al. Neuropsychological functioning and health-related quality of Life:pediatric acute liver failure study group results[J]. J Pediatr Gastroenterol Nutr,2015,60(1):75-83.

[3] 中华医学会儿科学分会急救学组,中华医学会急诊医学分会儿科学组,中国医师协会儿童重症医师分会. 儿童脓毒性休克(感染性休克)诊治专家共识(2015 版)[J]. 中华儿科杂志,2015,53(8):576-580.

[4] Stucker F,Ponte B,Tataw J,et al. Efficacy and safety of citrate-based anticoagulation compared to heparin in patients with acute kidney injury requiring continuous renal replacement therapy:a randomized controlled trial[J]. Crit Care,2015,19(1):91.

[5] Oudemans-van Straaten HM. Citrate for continuous renal replacement therapy: safer, better and cheaper [J]. Crit Care,2014,18(6):661.

[6] Palevsky PM1,Liu KD,Brophy PD,et al. KDOQI US commentary on the 2012 KDIGO clinical practice guideline for acute kidney injury[J]. Am J Kidney Dis,2013,61(5):649-672.

[7] Davis TK,Neumayr T,Geile K,et al. Citrate anticoagulation during continuous renal replacement therapy in pedi-

atric critical care[J]. Pediatr Crit Care Med,2014,15(5):471-485.

[8] Soltysiak J,Warzywoda A,Kociński B,et al. Citrate anticoagulation for continuous renal replacement therapy in small children[J]. Pediatr Nephrol,2014,29(3):469-475.

[9] Elhanan N,Skippen P,Nuthall G,et al. Citrate anticoagulation in pediatric continuous venovenous hemofiltration [J]. Pediatr Nephrol,2004,19(2):208-212.

[10] 王海涛,吴华. 枸橼酸抗凝在连续性肾脏替代治疗中的应用[J]. 中国血液净化,2013,12(12):642-645.

[11] 陈志文,王星,代明金,等. 持续缓慢低效血液透析患者应用枸橼酸抗凝剂的护理[J]. 中华护理杂志,2013,48(11):928-930.

[12] 彭劲民,王宇石,翁利,等. 危重症患者持续静脉静脉血液滤过局部枸橼酸抗凝与全身普通肝素抗凝的比较研究[J]. 中国实用内科杂志,2010,30(8):717-719.

[13] Schultheiss C,Saugel B,Phillip V,et al. Continuous venovenous hemodialysis with regional citrate anticoagulation in patients with liver failure:a prospective observational study[J]. Critical Care,2012,16(4):162-171.

[14] Hetzel GR,Taskaya G,Sucker C,et al. Citrate plasma levels in patients under regional anticoagulation in continuous venovenous hemofiltration[J]. Am J Kidney Dis,2006,48(5):806-811.

[15] Tolwani AJ,Wille KM. Anticoagulation for continuous renal replacement therapy[J]. Semin Dial,2009,22(2):141-145.

(收稿日期:2017-01-31 修回日期:2017-04-19)

(上接第 4199 页)
有待进一步研究。

参考文献

[1] 姜曙,鞠延,贺民,等. 56 例脑弥漫性轴索损伤的临床分析[J]. 中华创伤杂志,2000,16(10):589-591.

[2] Marquez de la Plata CD,Yang FG,Wang JY,et al. Diffusion tensor imaging biomarkers for traumatic axonal injury:analysis of three analytic methods[J]. J Int Neuropsychol Soc,2011,17(1):24-35.

[3] Huisman TA,Schwamm LH,Schaefer PW,et al. Diffusion tensor imaging as potential biomarker of white matter injury in diffuse axonal injury[J]. AJNR Am J Neuroradiol,2004,25(3):370-376.

[4] 何永生,黄光富,章翔. 新编神经外科学[M]. 北京:人民卫生出版社,2014.

[5] 潘恩源,陈丽英. 儿科影像诊断学[M]. 北京:人民卫生出版社,2007.

[6] Tong KA,Ashwal S,Holshouser BA,et al. Diffuse axonal injury in children:clinical correlation with hemorrhagic le-

sions[J]. Ann Neurol,2004,56(1):36-50.

[7] Adams JH,Doyle D,Graham DI,et al. Diffuse axonal injury in head injuries caused by a fall[J]. Lancet,1984,2(8417/8418):1420-1422.

[8] 孙浪痕,鲁中原,张建,等. 32 例儿童弥散性轴索损伤的临床分析[J]. 中华小儿外科杂志,2013,34(11):806-809.

[9] 谢敏,裴莉敏. 弥漫性轴索损伤的 CT 诊断探讨[J]. 现代医学,2012,40(2):178-181.

[10] Kinnunen KM,Greenwood R,Powell JH,et al. White matter damage and cognitive impairment after traumatic brain injury[J]. Brain,2011,134(Pt 2):449-463.

[11] Spitz G,Maller JJ,O'Sullivan R,et al. White matter integrity following traumatic brain injury: the association with severity of injury and cognitive functioning[J]. Brain Topogr,2013,26(4):648-660.

[12] 冯振广,李牧,夏爽,等. 联合磁敏感加权成像和扩散加权成像对脑弥漫性轴索损伤的诊断和预后评价[J]. 中华创伤杂志,2014,30(1):33-38.

(收稿日期:2017-01-19 修回日期:2017-04-07)