

论著

文章编号:1000-5404(2012)07-0666-05

利用弥散张量成像评估中小量基底节区高血压脑出血微创手术的治疗效果

蒋永祥, 马颖, 程远, 陈维福 (400010 重庆, 重庆医科大学附属第二医院神经外科)

[摘要] 目的 利用弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)评估中小量基底节区高血压脑出血的微创治疗效果。方法 以101例中小量(10~40 ml)基底节区高血压脑出血患者为对象,根据治疗方式不同分为微创手术组(52例)和内科治疗组(49例),血肿体积为15~36(23.36±7.24) ml。所有患者在发病后48 h内和发病后14 d进行DTI扫描,得到双侧皮质脊髓束(corticospinal tract, CST)的各向异性分数(fractional anisotropy, FA)及弥散张量纤维束成像(diffusion tensor tractography, DTT)图像,并根据CST完整性将微创手术组分为A(1~2级,22例)、B(3级,30例)两个亚组,比较微创手术组和内科治疗组之间及A、B亚组之间在以上指标的差异。结果 发病后首次DTI扫描显示微创手术组、内科治疗组受累侧的内囊区和大脑脚FA值均降低,两组间无明显差异($P>0.05$),第2次DTI扫描提示,微创手术组的FA值[内囊区(0.49±0.02)、大脑脚(0.47±0.03)]较内科治疗组[内囊区(0.39±0.02)、大脑脚(0.43±0.03)]明显升高($P<0.05$),且从DTT图像上可见微创手术组的CST恢复程度明显好于内科治疗组,提示对于这类患者微创手术治疗效果优于内科治疗。微创手术组的A亚组术后FA值[(0.51±0.02)高于B亚组(0.48±0.02)]($P<0.05$),提示CST损伤越小,手术效果越好。结论 微创治疗可以提高中小量基底节区高血压脑出血患者预后,尤其是DTT显示CST以推移、变形为主者(1~2级)应更为积极采取微创治疗。

[关键词] 高血压脑出血;基底节区;微创治疗技术;弥散张量成像;各向异性

[中图分类号] R445.2; R651.12; R743.34 **[文献标志码]** A

Therapeutic efficiency of minimally invasive techniques for evacuating small to medium hematoma in hypertensive intracerebral hemorrhage in basal ganglia: an evaluation by diffusion tensor imaging

Jiang Yongxiang, Ma Ying, Cheng Yuan, Chen Weifu (Department of Neurosurgery, Second Affiliated Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing, 400010, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the effect of minimally invasive evacuation on small to medium hypertensive intracerebral hemorrhage (ICH) in basal ganglia by diffusion tensor imaging (DTI). **Methods** A total of 101 patients with small to medium hypertensive ICH in the basal ganglia who were hospitalized in our department during June 2010 to October 2011 were enrolled, and prospectively divided into 2 matched groups, a minimally invasive treatment group ($n=52$) and a non-surgical group ($n=49$). Their volume of hematoma was 15 to 36 ml, with an average volume of 23.36±7.24 ml. All patients received DTI scanning within 48 h after intracerebral hemorrhage and in 14 d after onset. Fractional anisotropy (FA) and diffusion tensor tractography (DTT) of corticospinal tract (CST) in the affected and unaffected side were obtained. The minimally invasive treatment group was divided into A sub-group (1 to 2 grade, $n=22$) and B sub-group (3 grade, $n=30$) according to the integrity of CST. The data were compared between minimally invasive treatment group and medical treatment group, and also between A sub-group and B sub-group. **Results** The initial DTI scanning showed that FA values of CST in internal capsule and cerebral peduncle of affected side were significantly decreased as compared with the unaffected side, and there was no significant difference between two groups ($P>0.05$). The second DTI scanning displayed that FA values of internal capsule (0.49±0.02) and cerebral peduncle (0.47±0.03) in minimally invasive treatment group were significantly increased as compared with the non-surgical group (0.39±0.02, 0.43±0.03) ($P<0.05$), respectively. The recovery

extent of CST in minimally invasive treatment group were better than the non-surgical group, which suggested minimally invasive treatment were superior to non-surgical group. The post-operative FA values of A sub-group (0.51 ± 0.02) were higher than B sub-group (0.48 ± 0.02) ($P < 0.05$) in minimally invasive treatment group, which meant the less injury of CST was the better outcome of operation. **Conclusion** Minimally invasive treatment is a good method for small to medium hypertensive ICH in basal ganglia, especially when CST is displaced and deformed (1 to 2 grade) by DTT.

[Key words] hypertensive intracerebral hemorrhage; basal ganglion; minimally invasive techniques; diffusion tensor imaging; fractional anisotropy

Corresponding author: Cheng Yuan, Tel: 86-23-63693542, E-mail: chengyuan023@yahoo.com.cn

高血压脑出血 (hypertensive intracerebral hemorrhage, ICH) 最常发生于基底节区, 此部位血肿的占位效应及其引起的神经纤维束的损伤直接影响患者的预后。磁共振弥散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 是新近应用于临床且能有效观察及追踪脑白质纤维束的非侵入性检查方法, 也是目前唯一能够活体显示脑白质纤维束的技术^[1]。目前 DTI 在脑卒中的研究主要集中于脑梗死^[2], 而应用于脑出血的研究较少, 关于神经纤维传导束与血肿关系的活体研究更是鲜有文献报道^[3]。由于 DTI 能够检测到受到血肿影响的神经纤维束所产生的异常情况并可进行定量分析, 因此其可以作为高血压脑出血患者一种新的预后评估手段。本研究应用 DTI 技术活体观察中小量基底节区高血压脑出血患者皮质脊髓束 (corticospinal tract, CST) 受损情况及进行微创治疗后 CST 完整性的恢复变化情况, 以探讨微创治疗对中小量基底节区高血压脑出血患者预后改善的作用。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究采用的纳入标准为以下几点: ①急性发病, 符合 1999 年 WHO/ISH 高血压脑出血诊断标准, 并经头颅 CT 确诊; ②脑出血位于基底节区; $15 \text{ ml} < \text{血肿体积} < 40 \text{ ml}$; 患者在治疗前处于清醒状态; 受累侧肢体肌力小于 2 级; 住院期间没有严重并发症; ③所有患者/家属知情同意, 手术者签署手术同意书。排除标准为: ①非高血压脑出血; 血肿未累及内囊; 发病时受累侧肢体肌力大于 2 级; 住院期间有肺部感染或颅内感染等严重并发症; ②有明显意识障碍和严重认知障碍者; 患者躁动或失语不能配合磁共振 (MRI) 检查; ③体内有固定金属假牙、金属异物或心脏起搏器者。

根据以上纳入和排除标准, 本研究选择 2010 年 6 月至 2011 年 10 月在重庆医科大学附属第二医院神经外科住院治疗的 101 例中小量基底节区高血压脑出血患者为研究对象, 其中男性 62 例, 女性 39 例, 年龄 $32 \sim 85$ (59.35 ± 11.95) 岁; 从出现症状到入院就医的时间为 (5.97 ± 5.81) h; 入院时受累肢体

肌力为 0~2 级; 患者均行头颅 CT 扫描, 血肿体积 (根据多田公式计算) 在 $15 \sim 36$ (23.36 ± 7.24) ml 之间。

1.2 MRI 扫描

使用 3.0T 超导型 MR 扫描仪 (Philips, Achieva TX 3.0T); 梯度场 40 mT/m , 梯度切换率 $150 \text{ mT}/(\text{m} \cdot \text{s})$; 16 通道相位阵列头线圈。所有病例行常规头颅 MRI 平扫及 DTI 扫描。DTI 扫描参数: 采用 SE-EPI 脉冲序列, 横轴面扫描, 扫描层面与前后连合间连线 (AC-PC 线) 平行。TR: $7\,000 \text{ ms}$, TE: 78 ms , 视野: $224 \text{ mm} \times 224 \text{ mm}$, 层厚: 2.0 mm , 层间距 0 mm , 采集矩阵: 112×112 , 激励次数 (NEX): 2 次, 扩散梯度方向为 15, $b = 0$ 和 $1\,000 \text{ s}/\text{mm}^2$, 扫描层数: 32~37 层, 扫描时间: $4 \text{ min } 16 \text{ s}$ 。

所有患者在发病后 48 h 内进行首次 MRI 扫描获得 DTI 数据, 第 2 次 DTI 数据在发病后 14 d 进行采集。所得 DTI 数据由飞利浦磁共振自带的 DTI 后处理软件进行处理。以 FA 图和解剖学知识为基础在双侧内囊区 and 大脑脚的 2D 各向异性 (fractional anisotropy, FA) 彩色图上人工设定 6 个感兴趣区 (regions of interest, ROI)^[4], 最后用于比较患侧和健侧的 FA 值实为各个感兴趣区 FA 值的平均值。

将 ROI 分别设在大脑脚和内囊区, 在此基础上获得弥散张量纤维束成像 (diffusion tensor tractography, DTT) 图像。为便于区别, 我们将这次两次检查获得的 FA 值及 DTT 图像分别定义为 FA(f) 值、FA(s) 值及 DTT(f)、DTT(s) (f: first, s: second)。根据 DTT 图像我们将 CST 的完整性分为 3 级: 1 级: CST 基本或完全连续, 纤维束显示达对侧全部纤维束的 2/3 或相仿; 2 级: CST 部分中断, 纤维束显示小于对侧全部纤维束的 2/3, 但大于其 1/3; 3 级: CST 大部分中断, 纤维束显示小于对侧全部纤维束的 1/3^[5]。

1.3 患者分组

手术入选条件为: ①血肿部位及体积符合纳入标准; ②发病至少 6~12 h 后进行手术; ③患者及其家属接受手术风险。手术组患者均在发病后 48 h 内进行手术, 并在术前行首次 DTI 扫描。

患者根据是否进行手术分为微创手术组 (52 例) 和内科治疗组 (49 例), 两组在年龄、血压及发病到入院时间、血肿体积、受累肢体肌力方面无明显统计学差异 ($P > 0.05$, 表 1)。微创手术组根据 CST 完整性分为 A (1~2 级, 22 例)、B (3 级, 30 例) 两个亚组。

1.4 微创手术材料及方法

我们采用YL-1型一次性使用颅内血肿粉碎穿刺针(北京万特福医疗器械有限公司)作为微创手术器械。手术过程由两名训练有素的神经外科医师参与,根据术前头颅CT进行穿刺点的定位,并由穿刺点与血肿中心的距离决定穿刺针的长度,患者采用侧卧位,标准局部麻醉,运用专用电钻进行血肿穿刺,抽吸出部分液态血肿,无菌生理盐水进行3~5次轻柔冲洗,当冲洗液颜色变淡后结束手术。术后24h内密切观察有无术后出血而引起的神经症状,并复查头颅CT了解残留血肿体积,若血肿无扩大则通过引流管注入2000U尿激酶,关闭2h后开放让其自行引流,每日1次,持续2~3d,待复查头颅CT证实血肿完全或大部分清除后拔出穿刺针。

1.5 预后评估

对患者瘫痪侧肢体运动能力采用美国国立卫生院卒中量表(national institutes of health stroke scale, NIHSS)进行评估,并将上下肢NIHSS得分相加总和分数定义为瘫痪分级(paresis grading, PG)^[4],无瘫痪为0分,完全瘫痪为8分,得分越高表示运动能力越差。患者受累肢体运动能力的判定由2名经验丰富的神经外科医师实施。肢体运动能力判定时间为发病当天和发病后14d。

1.6 统计学分析

采用SPSS 19.0统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组间比较行t检验。

2 结果

2.1 一般情况

本组中患者在治疗过程中没有出现严重肺部感染、应激性溃疡、严重腹泻等可能影响疾病转归的并发症,手术患者通过

术后头颅CT均证实没有发生再出血或者血肿扩大。

2.2 颅内血肿的变化

根据入院时首次头颅CT,微创手术组和内科治疗组血肿体积无明显统计学差异($P > 0.05$)。由于微创手术的实施,该组中颅内血肿消失速度显著快于内科治疗组,复查头颅CT提示颅内血肿大部分或完全消失后拔出YL-1型穿刺针,拔针时间为 (2.74 ± 0.81) d,此时血肿残余量为 (9.10 ± 3.13) ml,发病后14d血肿量为 (0.99 ± 1.39) ml,而内科治疗组在发病后14d血肿量为 (7.64 ± 3.72) ml,两组间存在显著统计学差异($P < 0.05$)。

2.3 受累肢体运动能力的变化

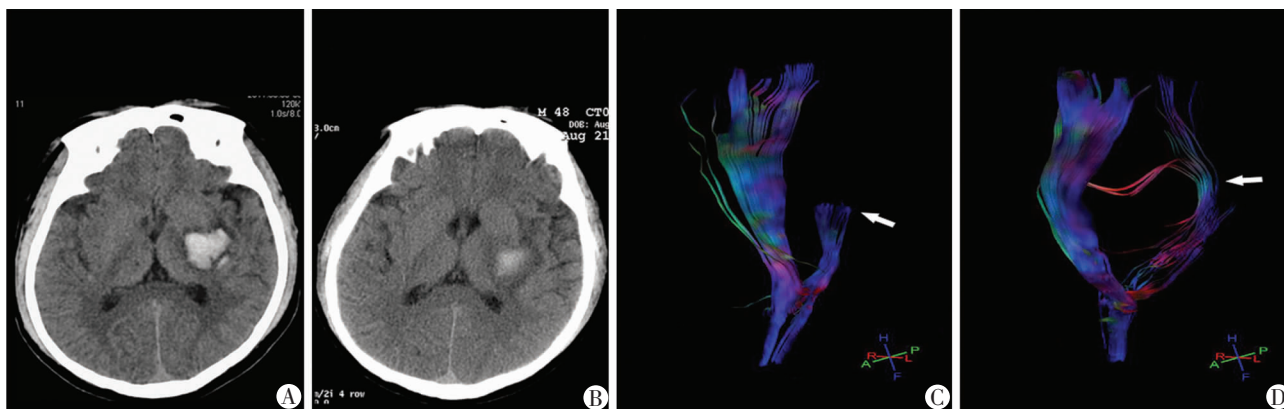
微创手术组 (7.38 ± 0.72) 和内科治疗组在发病当天 (7.16 ± 0.85) 的PG值无统计学差异($P > 0.05$),而发病后14d微创手术组的PG值 (3.70 ± 0.70) 则明显优于内科治疗组 $[(5.04 \pm 0.82), P < 0.05]$ 。同时我们观察到,在微创手术组两个亚组间存在一定的差异,在拔针时A亚组的PG值 (5.52 ± 0.79) 低于B亚组 (6.02 ± 0.58) ($P < 0.05$);在肢体活动恢复启动时间(指与发病时肌力相比出现好转的时间点)这一观察指标中也发现A亚组 (2.61 ± 0.69) d略短于B亚组 (3.58 ± 0.59) d,二者间有统计学差异($P < 0.01$)。

2.4 DTI结果

2.4.1 CST的完整性 由于血肿的压迫,通过DTI可观察到CST的完整性受到明显的影响。最为直观的是所有患者的DTT(f)都观察到CST不同程度的移位、扭曲和破坏,白质纤维断裂或者明显减少。在DTT(s)中,由于血肿的吸收或者通过手术清除,CST均有一定程度的恢复,但内科治疗组的CST恢复程度低于微创手术组(图1),在微创手术组中可见到移位的内囊恢复至正常位置,且内囊区的神经纤维有明显的恢复(图2)。

表1 两组患者一般情况比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	年龄(岁)	入院时收缩压(mmHg)	入院时舒张压(mmHg)	发病到入院时间(h)	血肿体积(ml)	受累侧肢体肌力(级)
微创手术组	52	59.40 ± 12.39	170.73 ± 26.13	96.92 ± 17.06	6.23 ± 6.30	24.04 ± 6.66	1.62 ± 0.72
内科治疗组	49	59.29 ± 11.59	177.29 ± 31.75	101.22 ± 21.63	5.71 ± 5.28	22.73 ± 7.71	1.84 ± 0.85
P值		0.961	0.259	0.268	0.657	0.365	0.160



A:治疗前的头颅CT;B:治疗后14d的头颅CT;C:治疗前DTI扫描,CST完全中断(↑);D:治疗后14d的DTI扫描,CST少量恢复(↑)

图1 内科治疗组患者CT及DTI的治疗前后变化

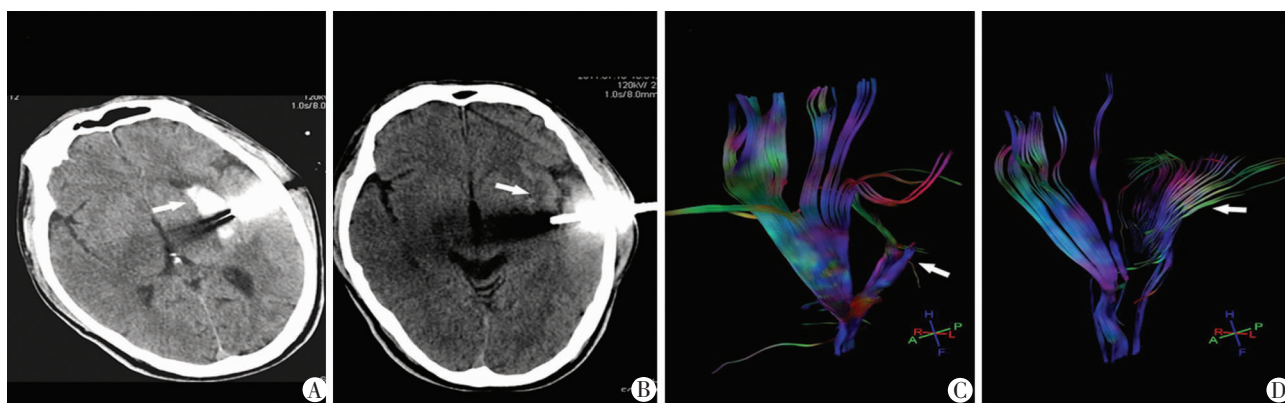


图2 微创治疗组患者CT及DTI的治疗前后变化
A:术后首次头颅CT, 血肿位于内囊(↑), 量约15 ml; B:术后2 d 头颅CT, 血肿完全清除(↑); C:首次DTI扫描, 左侧CST完全中断(↑); D:发病14 d的DTI扫描, CST大量恢复(↑)

图2 微创治疗组患者CT及DTI的治疗前后变化

2.4.2 FA值的变化 分析首次DTI检查结果提示在微创手术组和内科治疗组之间, 受累侧大脑脚和内囊区FA(f)值差别不大($P > 0.05$), 但都明显低于未受累侧($P < 0.05$)。在第2次DTI检查时尽管两组受累侧FA值仍低于未受累侧, 但微创手术组内囊区的FA(s)值却明显高于内科治疗组($P < 0.05$, 表2)。

表2 2组内囊区和大脑脚的FA(f)值及FA(s)值($\bar{x} \pm s$)

组别	n	FA(f)值		FA(s)值	
		受累侧	未受累侧	受累侧	未受累侧
微创手术组	52				
内囊		0.32 ± 0.03 ^a	0.59 ± 0.03	0.49 ± 0.02 ^b	0.61 ± 0.03
大脑脚		0.38 ± 0.03 ^a	0.60 ± 0.03	0.47 ± 0.03 ^b	0.59 ± 0.03
内科治疗组	49				
内囊		0.34 ± 0.02 ^a	0.61 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.60 ± 0.03
大脑脚		0.39 ± 0.04 ^a	0.63 ± 0.03	0.43 ± 0.03	0.61 ± 0.04

a: $P < 0.05$, 与未受累侧比较; b: $P < 0.05$, 与内科治疗组比较

根据DTT(f)图像将微创手术组分为A、B两个亚组。A亚组(1~2级)主要表现为CST的推移、变形, 而B亚组(3级)主要表现为CST的严重扭曲、神经纤维明显减少或断裂。由于血肿的清除, 两个亚组的DTT(s)均可见CST的大量恢复, 内囊可基本恢复至正常位置。由于CST损伤程度不同, 手术效果也不同, A亚组受累侧内囊区的术后FA值即FA(s)高于B亚组, 其差异有统计学意义($P < 0.05$, 表3)。

表3 微创手术组中两个亚组间受累侧、内囊区的FA值($\bar{x} \pm s$)

组别	n	FA(f)	FA(s)
A	22	0.31 ± 0.03	0.51 ± 0.02 ^{ab}
B	30	0.32 ± 0.03	0.48 ± 0.02 ^a

a: $P < 0.05$, 与FA(f)比较; b: $P < 0.05$, 与B亚组比较

3 讨论

众所周知, 高血压脑出血是危及人类生命和生存质量的一种严重疾病, 具有高发病率和高致残率的特点, 由于幸存者中80%留有不同程度的残疾^[6]。幕上高血压脑出血大部分位于基底节包括豆状核(壳核、

苍白球)和尾状核。由于内囊的皮质脊髓束受到破坏, 内囊后肢控制的运动功能常常受到影响, 患者通常表现为瘫痪。然而中小量的基底节区脑出血由于血肿体积较小, 占位效应作用有限, 其死亡率远低于血肿体积大的患者^[7-9], 那么对于这部分患者就应该将治疗重点放在怎样更好的恢复瘫痪肢体的运动功能, 从而达到改善预后的目的。

由于缺乏直观和明确的影像学证据, 微创治疗是否有助于改善这类患者的预后, 一直存在着较大争议。弥散张量成像是最近发展起来能使脑白质纤维可视化的新技术, 能够显示CST的结构和完整性, 可以作为高血压脑出血患者一种新的预后评估手段, 在之前的研究中已经证实了DTI和DTT的有效性和可靠性^[10-11], 同时也有研究利用DTI来预测高血压脑出血的预后^[12-14], 但是用于研究手术效果仅有2项^[14-15]。

本研究旨在运用微创手术的方式清除中小量基底节区高血压脑出血, 并通过DTI及DTT进行观察和评估疗效。近10年的研究表明, ICH介导的脑损伤直接与血肿体积以及血肿残留在脑组织内的持续时间有关, 因此血肿应该尽可能早的予以清除^[16-18]。从本研究结果发现, 发病后14 d微创手术组患者的肢体运动能力评分(PG)高于内科治疗组, 发病14 d后微创手术组受累侧大脑脚和内囊区CST的FA值明显升高, 尽管未恢复至正常水平, 但升高程度优于内科治疗组。同时, 通过DTT我们观察到发病14 d后受累侧内囊纤维大部分或者完全恢复至正常位置, 但内科治疗组中的CST在相同时间段仍然受到血肿的压迫, 处于移位、扭曲、变形的状态, 说明短时间内清除血肿有利于CST的恢复, 这是由于微创手术的实施使颅内血肿的存留时间明显短于内科治疗组, 颅内血肿的占位效应及其分解产物能够作用于周围脑组织尤其是CST的

时间缩短,因此神经纤维受继发性损伤的时间也就相应缩短。基于以上3个方面的结果,我们认为对于中小量基底节区高血压脑出血采用微创治疗可以获得更好的运动能力恢复和更为良好的改善 CST 损伤状态,其治疗效果优于内科治疗。

另外,在微创手术组的 A、B 两个亚组中,最大的差别在于 CST 完整性的损伤程度不同,B 亚组受血肿的影响较 A 亚组更大,CST 受到的损伤更为严重,主要表现为严重扭曲、神经纤维明显减少或断裂。我们发现 A、B 亚组之间存在一定差异,在术后 PG(拔针时)、肢体活动恢复启动时间及内囊区 FA(s)值等几方面 A 亚组均优于 B 亚组,这提示我们 CST 受到的损伤越小,手术效果越好。由于 A、B 两个亚组在头颅 CT 上的表现相似,单纯从 CT 上无法区别 CST 的损伤程度,但采用 DTI 扫描后就能清楚判断血肿对于 CST 的影响到底有多大,这可以影响到治疗决策的制定,对于 CST 以推移、变形为主(1~2 级)的高血压脑出血患者治疗理念应该有所转变,在避开血肿相对不稳定期后,应尽早的、更为积极的采用微创方式清除颅内血肿,达到神经减压的作用,从而获得更为良好的临床预后。

从本研究的各项数据来看,对于中小量的幕上高血压脑出血尤其是位于基底节区的颅内血肿,采用微创治疗能够获得优于内科治疗的短期预后。由于患者时间依从性的原因,我们只能获得发病后 14 d 的预后评估值,如果能将随访时间延长并能获得完整 DTI 数据则可能使本研究所得结果更为严谨。另外,由于医疗条件有限,本研究并未采用立体定向设备或者神经导航装置,如果采用更为先进的设备和技术,可能预后结果会有进一步的提高。

参考文献:

- [1] 张冬,廖翠薇,舒通胜,等. 脑胶质瘤的磁共振弥散张量成像研究[J]. 第三军医大学学报, 2008, 30(16):1496-1498.
- [2] Nelles M, Gieseke J, Flacke S, *et al.* Diffusion tensor pyramidal tractography in patients with anterior choroidal artery infarcts[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29(3): 488-493.
- [3] Jang S H, Kim S H, Cho S H, *et al.* Demonstration of motor recovery process in a patient with intracerebral hemorrhage[J]. *NeuroRehabilitation*, 2007, 22(2): 141-145.
- [4] Kusano Y, Seguchi T, Horiuchi T, *et al.* Prediction of functional outcome in acute cerebral hemorrhage using diffusion tensor imaging at 3T: a prospective study [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(8): 1561-1565.
- [5] 李祥,于如同,徐凯,等. 磁共振弥散张量成像在基底节区高血压脑出血致皮质脊髓束损伤中的应用研究[J]. *中华神经医学杂志*, 2010, 9(7):719-722.
- [6] Broderick J P, Brott T, Tomsick T, *et al.* Intracerebral hemorrhage is more than twice as common as subarachnoid hemorrhage[J]. *J Neurosurg*, 1993, 78(2):188-191.
- [7] Nilsson O G, Lindgren A, Brandt L, *et al.* Prediction of death in patients with primary intracerebral hemorrhage: a prospective study of a defined population[J]. *J Neurosurg*, 2002, 97(3): 531-536.
- [8] Shaya M, Dubey A, Berk C, *et al.* Factors influencing outcome in intracerebral hematoma: a simple, reliable, and accurate method to grade intracerebral hemorrhage[J]. *Surg Neurol*, 2005, 63(4): 343-348.
- [9] Maeshima S, Ueyoshi A, Matsumoto T, *et al.* Unilateral spatial neglect in patients with cerebral hemorrhage: the relationship between hematoma volume and prognosis[J]. *J Clin Neurosci*, 2002, 9(5): 544-548.
- [10] Burgel U, Amunts K, Hoemke L, *et al.* White matter fiber tracts of the human brain: three-dimensional mapping at microscopic resolution, topography and intersubject variability[J]. *Neuroimage*, 2006, 29(4): 1092-1105.
- [11] Jang S H, Kim Y H, Kwon Y H, *et al.* Restoration of corticospinal tract compressed by hematoma: a tractography study using diffusion tensor imaging [J]. *Arch Neurol*, 2006, 63(1): 140-141.
- [12] Yoshioka H, Horikoshi T, Aoki S, *et al.* Diffusion tensor tractography predicts motor functional outcome in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. *Neurosurgery*, 2008, 62(1): 97-103.
- [13] Cho S H, Kim S H, Choi B Y, *et al.* Motor outcome according to diffusion tensor tractography findings in the early stage of intracerebral hemorrhage[J]. *Neurosci Lett*, 2007, 421(2):142-146.
- [14] Hsieh C T, Chen C Y, Chiang Y H, *et al.* Role of diffusion tensor imaging in a patient with spontaneous intracerebral hematoma treated by stereotactic evacuation [J]. *Surg Neurol*, 2008, 70(1): 75-78.
- [15] Wu G, Wang L, Hong Z, Mao Y, *et al.* Effects of minimally invasive techniques for evacuation of hematoma in basal ganglia on cortical spinal tract from patients with spontaneous hemorrhage: observed by diffusion tensor imaging [J]. *Neurol Res*, 2010, 32(10): 1103-1109.
- [16] Morgan T, Zuccarello M, Narayan R, *et al.* Preliminary findings of the minimally-invasive surgery plus rtPA for intracerebral hemorrhage evacuation (MISTIE) clinical trial [J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2008, 105: 147-151.
- [17] Newell D W, Shah M M, Wilcox R, *et al.* Minimally invasive evacuation of spontaneous intracerebral hemorrhage using sonothrombolysis [J]. *J Neurosurg*, 2011, 115(3): 592-601.
- [18] Barrett R J, Hussain R, Coplin W M, *et al.* Frameless stereotactic aspiration and thrombolysis of spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. *Neurocrit Care*, 2005, 3(3): 237-245.

(编辑 王小寒)