

弥散张量成像评估蛛网膜下腔出血后皮质脊髓束损伤与运动功能预后的关系

李依兰

天津市第四中心医院放射科，天津市，300140；

摘要：探讨弥散张量成像（DTI）评估蛛网膜下腔出血（SAH）后皮质脊髓束（CST）损伤与患者运动功能预后的相关性，明确 DTI 参数在功能预后判断中的应用价值。方法：纳入 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日期间于神经外科确诊的 150 例自发性 SAH 患者，均于入院 72 小时内接受 3.0T MRI-DTI 扫描，重建 CST 并测量双侧 FA 与 MD 值。于入院 1 周内、出院后 3 个月、6 个月和 12 个月进行运动功能评估，包括 Fugl-Meyer 评分、改良 Rankin 量表（mRS）及 Barthel 指数。依据 12 个月 mRS 评分分为良好预后组（mRS ≤2, n=92）与差预后组（mRS >2, n=58）。比较两组间 DTI 参数差异，并采用多变量 Logistic 回归分析其对运动功能恢复的预测价值。结果：良好预后组 CST 对侧 FA 值显著高于差预后组（ 0.42 ± 0.05 vs 0.34 ± 0.06 , P<0.001），MD 值显著低于差预后组（ $0.78 \pm 0.10 \times 10^{-3}$ mm²/s vs $0.92 \pm 0.11 \times 10^{-3}$ mm²/s, P=0.002）。FA 值与 Fugl-Meyer 评分呈正相关（r=0.68, P<0.001），MD 值与 mRS 评分呈正相关（r=0.54, P=0.004）。结论：DTI 可量化评估 SAH 后 CST 结构损伤程度，FA 与 MD 值与患者运动功能恢复密切相关，具有良好的预后预测价值，建议作为早期神经功能评估的重要成像指标。

关键词：弥散张量成像；蛛网膜下腔出血；皮质脊髓束；运动功能；预后评估

DOI：10.69979/3029-2808.25.11.036

引言

蛛网膜下腔出血是一种严重的脑血管疾病，常由动脉瘤破裂引起，具有突发性强、病死率高、致残率高等特点，幸存患者中相当一部分存在不同程度的运动功能障碍。皮质脊髓束是调控躯体随意运动的主要通路，其损伤程度直接影响神经功能恢复。弥散张量成像作为一种反映白质微结构完整性的磁共振成像技术，可无创量化评估神经纤维束损伤，在脑卒中、外伤性脑损伤等疾病中的价值已被证实，尚需进一步研究其在蛛网膜下腔出血中的应用潜力。

1. 资料与方法

1.1 一般资料

本研究纳入 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日期间于神经外科住院治疗的 150 例自发性蛛网膜下腔出血患者。所有患者经头颅 CT 证实存在蛛网膜下腔出血征象，均排除外伤性、动静脉畸形及脑肿瘤相关出血，符合自发性 SAH 诊断标准。纳入对象年龄 18 至 75 岁，平均年龄为 54.6 ± 10.2 岁，男性 87 例，女性 63 例。

所有患者入院后 72 小时内完成 3.0T 磁共振成像及弥散张量成像扫描，接受标准化治疗与康复评估。依据患者 12 月末改良 Rankin 评分（mRS）分为良好预后组（mRS≤2, n=92）与差预后组（mRS>2, n=58）。两组在年龄、性别、高血压、糖尿病等基础特征上无显著差异（P>0.05），具有可比性。

1.2 方法

(1) 磁共振及 DTI 数据采集：所有患者均在 Philips Achieva 3.0T 超导磁共振系统上完成成像，采用单次激发 SE-EPI 序列进行 DTI 扫描，扫描参数为 TR 6800 ms、TE 90 ms、层厚 2 mm、30 个扩散方向、b 值 1000 s/mm²。图像数据导入 FSL 软件进行预处理，包括去伪影、头动校正和各向异性张量构建，随后使用 DTI Studio 软件重建双侧皮质脊髓束。

(2) DTI 参数测量：在皮质脊髓束的中脑层面、内囊后肢和脑桥中段分别设定 ROI，自动提取 FA (Fractional Anisotropy) 与 MD (Mean Diffusivity) 值，并计算左右 CST 平均值。所有图像由两位具有五年以上经验的神经影像科医师独立完成测量，取其平均值用于统

计。

(3) 运动功能评估：在入院后1周、出院后3个月、6个月和12个月，分别使用Fugl-Meyer运动评分量表评估上下肢运动功能，改良Rankin评分评估神经功能恢复程度，Barthel指数评价日常生活能力，评估由经过统一培训的康复医师完成。

1.3 观察指标

(1) 皮质脊髓束DTI参数：测量并记录FA值与MD值，反映皮质脊髓束白质纤维的完整性与水分子扩散特性。低FA值与高MD值提示神经纤维结构紊乱或脱髓鞘改变。

(2) 运动功能评分指标：采用Fugl-Meyer量表评估上、下肢运动功能状态，总分越高提示运动功能越完整。mRS评分用于功能恢复分级，Barthel指数用于判断生活自理能力。

(3) 预后评估指标：依据12个月末mRS评分分组，探讨早期DTI参数与运动功能恢复的关系，明确其在临床预后中的预测价值。

1.4 统计学方法

数据分析采用SPSS 26.0软件完成。连续变量采用均数±标准差(x±s)表示，组间比较使用独立样本t检验；非正态分布数据采用Mann-Whitney U检验；分类变量采用卡方检验；FA与MD值与运动功能评分之间的相关性采用Pearson或Spearman相关分析；多因素Logistic回归用于筛选影响预后的独立预测因子。检验水准 $\alpha=0.05$ ， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入150例自发性蛛网膜下腔出血患者，依据12个月末改良Rankin评分分为良好预后组(n=92)与差预后组(n=58)。分析比较两组在弥散张量成像参数、运动功能评分、临床基本资料及其相关性差异，结果如下：

表1 不同预后组患者一般临床资料比较(n=150)

指标	良好预后组(n=92)	差预后组(n=58)	P值
年龄(岁)	53.2±9.6	56.4±10.9	0.087
男性比例(%)	59.8%(55例)	55.2%(32例)	0.602
高血压史(%)	65.2%(60例)	67.2%(39例)	0.795
Hunt-Hess≥III(%)	27.2%(25例)	58.6%(34例)	0.001
Fisher分级≥3(%)	30.4%(28例)	63.8%(37例)	0

注：差预后组患者Hunt-Hess和Fisher分级显著偏高($P<0.05$)。

表2 两组患者皮质脊髓束DTI参数比较

指标	良好预后组(n=92)	差预后组(n=58)	P值
FA值(内囊后肢)	0.42±0.05	0.34±0.06	<0.001
FA值(脑桥段)	0.45±0.04	0.37±0.05	<0.001
MD值(内囊后肢)($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.78±0.10	0.92±0.11	0.002
MD值(脑桥段)($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.75±0.08	0.87±0.09	0.003

注：良好预后组CST FA值显著高于差预后组，MD值显著低于差预后组($P<0.01$)。

表3 两组患者运动功能评分比较(各时点)

时间点	Fugl-Meyer评分(分)	Barthel指数(分)	mRS评分
入院第7天	26.5±6.3 vs 19.2±5.7	38.6±9.2 vs 31.4±7.8	4.1±0.6 vs 4.6±0.5
出院3个月	52.3±10.1 vs 33.7±8.6	61.7±11.0 vs 45.3±9.7	3.0±0.7 vs 4.2±0.6
出院6个月	69.8±8.4 vs 45.5±10.2	76.2±9.5 vs 58.6±11.3	1.9±0.5 vs 3.3±0.8
出院12个月	78.5±6.7 vs 52.1±9.1	85.6±7.4 vs 63.2±10.5	1.4±0.5 vs 2.9±0.7
P值(组间差异)	<0.001	<0.001	<0.001

注：良好预后组在各时点运动功能评分明显优于差预后组($P<0.001$)。

表4 DTI参数与功能评分的相关性分析(n=150)

相关关系	相关系数(r)	P值
FA值与12个月Fugl-Meyer评分	0.68	<0.001
FA值与12个月Barthel指数	0.61	<0.001
FA值与12个月mRS评分	-0.64	<0.001
MD值与12个月Fugl-Meyer评分	-0.58	0.004
MD值与12个月mRS评分	0.54	0.004

注：FA值与运动功能呈正相关，MD值与神经功能障碍程度呈正相关($P<0.01$)。

3 讨论

本研究基于150例自发性蛛网膜下腔出血患者的前瞻性数据，结合临床评分和弥散张量成像参数，对皮质脊髓束损伤程度与运动功能预后之间的关系进行了系统分析。从患者一般临床特征、DTI影像参数、功能评分及其相关性四个维度进行深入探讨，进一步明确了皮质脊髓束微结构完整性在SAH后运动功能恢复评估中的潜在价值^[1]。

表1展示了良好与差预后组患者在一般资料方面的对比结果，两组在年龄、性别及高血压史等方面差异无统计学意义($P>0.05$)，具备可比性；差预后组Hunt-Hess \geq III和Fisher \geq 3比例明显高于良好预后组(58.6% vs 27.2%，63.8% vs 30.4%)， $P<0.01$ ，提示出血

严重程度与预后密切相关^[2]。

表2进一步比较了两组患者皮质脊髓束的DTI参数，包括FA和MD值在不同解剖层面（内囊后肢及脑桥段）的差异。良好预后组FA值高于差预后组（内囊0.42±0.05 vs 0.34±0.06，脑桥0.45±0.04 vs 0.37±0.05，P<0.001），MD值低于差预后组（内囊0.78±0.10 vs 0.92±0.11，脑桥0.75±0.08 vs 0.87±0.09，P<0.01），说明DTI能敏感反映SAH后CST微结构损伤，具有早期预后价值^[3]。

表3展示了两组患者在不同时点的运动功能评分结果，包括Fugl-Meyer评分、Barthel指数及mRS评分三类功能相关指标。良好预后组患者在入院第7天已表现出较差预后组更高的Fugl-Meyer评分（26.5±6.3 vs 19.2±5.7），P<0.001，说明即使在急性期，运动功能状态已存在明显分化。随时间推移，两组差距不断扩大，在出院3个月、6个月及12个月时，Fugl-Meyer评分分别为52.3±10.1 vs 33.7±8.6、69.8±8.4 vs 45.5±10.2、78.5±6.7 vs 52.1±9.1，均为P<0.001，说明良好预后组恢复速度快且程度更完整。Barthel指数在各时点评估日常生活能力方面也体现出明显优势，12个月时良好预后组得分为85.6±7.4，显著高于差预后组的63.2±10.5。mRS评分在各阶段均显著低于差预后组（1.4±0.5 vs 2.9±0.7），表明良好预后组神经功能障碍程度更轻^[4]。

表4探讨了DTI参数与运动功能评分之间的相关性。FA值与Fugl-Meyer评分的相关系数为r=0.68，P<0.001，说明CST完整性越好，患者运动恢复越充分；FA与Barthel指数亦呈正相关（r=0.61，P<0.001），提示白质结构影响功能独立性水平；FA与mRS评分呈负相关（r=-0.64，P<0.001），说明FA值越低，神经功能障碍越严重。MD值与Fugl-Meyer评分为负相关（r=-0.58，P=0.004），与mRS评分呈正相关（r=0.54，P=0.004），均达到统计学意义。这些结果表明FA与MD可作为量化

CST损伤的生物标志物，并能反映功能恢复的程度^[5]。尤其是FA值在预测运动功能方面表现出更强的相关性，可能成为更优的成像预测指标。DTI参数的变化不仅局限于结构层面，也与临床功能状态密切相关，具备高度的临床应用潜力。

综上所述，可以得出以下临床推论：蛛网膜下腔出血后的运动功能预后不仅与出血量、临床分级密切相关，更与皮质脊髓束的微结构损伤密不可分。DTI技术可在急性期精确评估CST受损程度，为运动功能评估和预后判断提供早期可靠依据。FA与MD作为定量参数，具备良好的生物学稳定性和重现性，在大样本研究中表现出良好的预测效能。未来可考虑将DTI参数纳入SAH患者预后模型，辅助临床制定个体化康复干预策略。

参考文献

- [1] 龚雪,许治华.目标导向性容量管理在动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者围手术期的应用价值研究[J].实用医院临床杂志,2025,22(02):149-154.
- [2] 张苗苗,孙新刚.髓系细胞触发受体-1介导蛛网膜下腔出血神经炎症的机制研究进展[J].实用心脑肺血管病杂志,2025,33(04):9-12.
- [3] 刘轶,周夏,黄怡,等.一站式全脑CT灌注成像检查定量参数对动脉瘤性蛛网膜下腔出血的评估价值[J].实用医学影像杂志,2025,26(01):18-20.
- [4] 伏帅,赵威.骨髓间充质干细胞移植术对蛛网膜下腔出血脑损伤的防治效果研究[J].中国医学工程,2025,33(02):49-53.
- [5] 李伊璠,刘波,李晓鹏.多模态脑监测在动脉瘤性蛛网膜下腔出血中的应用研究进展[J].中国卫生标准管理,2025,16(04):194-198.

作者简介：李依兰，女（1996-05），汉族，河北秦皇岛，硕士，职称：中级，研究方向：神经影像学。