



## RSNA2014 中枢神经系统影像学

石晶晶, 杨时骐, 王剑, 申楠茜, 朱文杰, 苏昌亮 综述 朱文珍 审校

**【摘要】** RSNA2014 报道的拓展 MRI 新技术及数据分析方法主要包括非高斯分布扩散成像模型(FROC 模型)、扩散峰度成像(DKI)、酰胺质子转移成像(APT)、高分辨率敏感加权成像(HR-SWI)、化学交换饱和转移(CEST)、高分辨率磁共振成像(HRMRI)、反相-对比结合磁共振血管成像(HOP-MRA)、反转恢复超短回波时间(IR-UTE)序列等,在中枢神经系统疾病的应用研究主要包括:①鉴别高低级别胶质瘤、预测胶质瘤复发以及评价胶质瘤治疗反应;②检测缺血性卒中随时间变化特点、评估缺血半暗带、预测侧支循环及血管再通状态;③磁共振高分辨率血管壁成像观察颅内动脉粥样硬化血管壁的异常;④量化评估阿尔茨海默病脑部微结构损害、阿尔茨海默病病理性铁沉积定量;⑤证实帕金森病特定脑区损害、辅助帕金森病分子水平诊断;⑥糖尿病脑损伤的认知功能以及精神疾病功能成像。

**【关键词】** 脑肿瘤; 脑血管病; 神经系统变性疾病; 非高斯分布扩散成像; 扩散峰度成像; 酰胺质子转移成像

**【中图分类号】** R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)02-0102-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.02.001

RSNA2014 中枢神经系统影像诊断方面的研究进展和新技术的应用概况主要体现在以下几个方面。

## 脑肿瘤研究进展

## 1. 脑肿瘤功能成像

非高斯分布扩散成像(non-gaussian diffusion imaging)可以量化分析生物组织内非高斯分布的扩散运动,修正高斯模型中高 b 值时信号衰减偏离单指数线性相关的缺陷。其采用的 b 值更大(在脑部需达 2000 s/mm<sup>2</sup>),经特殊的图像后处理,可较传统扩散技术提供更丰富的组织结构细节的相关信息。对 13 例低级别胶质瘤(I、II级)和 14 例高级别胶质瘤(III、IV级)共 27 例患者,采用 17 个 b 值(0~4000s/mm<sup>2</sup>)行扩散成像扫描,通过分数阶微积分(fractional order calculus, FROC)模型可直接测量获得组织微结构信息,包括 ADC、体素内组织不均质性指数  $\beta$  和平均自由扩散长度  $\mu$  等参数。避开坏死、囊变、出血和水肿区在扩散图像上绘制感兴趣区,测得 ADC 值[(1.7 ± 0.5)  $\mu\text{m}^2/\text{ms}$  vs (1.1 ± 0.4)  $\mu\text{m}^2/\text{ms}$ ,  $P=0.005$ ] 和  $\beta$  值(0.84 ± 0.06 vs 0.77 ± 0.04,  $P=0.001$ ) 在高低级别胶质瘤间的差异具有显著性意义,而  $\mu$  值[(8.7 ± 0.6)  $\mu\text{m}$  vs (8.1 ± 0.7)  $\mu\text{m}$ ,  $P=0.06$ ] 的差异无统计学意义。ADC、 $\beta$  和  $\mu$  的受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC)为 0.817、0.876 和 0.722,表明  $\beta$  为最好的诊断指标,将三者联合应用时 AUC 值可增至 0.953。高 b 值扩散成像与非高斯扩散模型(FROC 模型)联用能有效鉴别高低级别胶质瘤,为胶质瘤患者的诊疗提供有价值的信息。

另有研究表明,应用 FROC 模型监控小细胞肺癌的转移性脑部肿瘤的放射治疗,发现肿瘤治疗反应与治疗神经病学检查的积极结果相符合,患者表现为 D 的平均值(如  $\Delta D=0.2 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ )和标准差(如  $\Delta D=0.1 \text{D} \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ )增加,  $\beta$  平均值(如  $\Delta \beta=0.1$ )减少,以及  $\mu$  平均值升高(如  $\Delta \mu=0.5 \mu\text{m}$ )。这些结果可以解释为肿瘤内坏死增加、细胞结构减少,与治疗有关的高度体素内组织异质性。D 标准偏差的增加表明整个肿瘤治疗反应的变化。 $\beta$  提供的体素内异质性连同 D 和  $\mu$  揭示的细胞结构可以用来更可靠和及时评估小细胞肺癌转移性脑瘤的放射治疗疗效。FROC 模型参数可以为监测癌症治疗提供一个敏感的方式。

磁共振波谱成像在脑肿瘤的应用:对 15 例经病理学证实为胶质瘤的患者行二维化学位移成像(2D chemical shift imaging, 2D-CSI)以及单体素定位波谱相关二维波谱 MRS(2D spectral MRS using single-voxel localized correlated spectroscopy, 2D-COSY)扫描,2D-CSI 数据在后处理在 MRI 工作站上采用临床可用软件和 LC 模型,2D-COSY 数据后处理采用商业上可用软件 FelixNMR 和 Crosspeaks,测量 2.25~4.00ppm 和 1.9~4.0ppm 的结果。研究发现 2D-CSI 可以提供空间分辨率,2D-COSY 可以提供波谱分辨率,二者结合能为检测胶质瘤 IDH1 突变型中 2HG 的特征提供最大的敏感性和特异性。开发检测 2HG 的 MRS 方法有助于诊断 IDH1 突变的胶质瘤,可能作为评价胶质瘤治疗反应的分子影像标记物。

酰胺质子转移成像(amide proton transfer, APT)在预测胶质瘤复发中的应用价值:对 27 例同步放化疗后放疗区域出现新的或扩大的增强病灶的患者行 APT 成像,测量对比增强扩大区域实体部分和坏死部分的 APT 信号,参考标准为病理学依据或临床放射诊断结果,ROC 曲线和交叉验证法评价 APT 参数的诊断效能。其中 19 例为肿瘤复发,8 例为治疗后反应,二者肿瘤实体部分 APT 信号差异具有显著性意义(平均 0.055

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介:石晶晶(1988-),女,河南驻马店人,博士研究生,主要从事中枢神经影像诊断工作。

通讯作者:朱文珍, E-mail: zhuwenzhen@hotmail.com

基金资助:十二五国家支撑计划(2011BAI08B10)及国家自然科学基金资助(No. 81171308, No. 30570531, No. 30870702)

vs 0.024,  $P=0.007$ ), 而坏死部分 APT 信号差异无统计学意义 (平均 0.004 vs 0.009,  $P=0.339$ )。ROC 曲线和交叉验证表明肿瘤实体部分 APT 信号可以预测肿瘤复发, 敏感度和特异度分别为 94.7% 和 71.4%, 瘤实体部分 APT 信号与坏死部分 APT 信号同类相关系数分别为 0.81 和 0.89。对比增强显示的扩大的病灶实体部分的 APT 信号可将新近诊断为胶质母细胞瘤的患者中肿瘤复发与治疗相关效应鉴别开来。

高分辨力敏感加权成像 (high resolution susceptibility weighted MR imaging, HR-SWI) 肿瘤内磁敏感信号 (intratumoral susceptibility signals, ITSS) 应用于脑内孤立性强化灶 (solitary enhancing brain lesions, SEL) 的鉴别诊断。对 32 例 (15~65 岁) 有 SEL 的患者行常规 MRI 和 HR-SWI 扫描。ITSS 定义为强度良好的细线样或点状低信号, 在常规 MRI 上不明显, 伴或不伴 HR-SWIs 瘤内团块状信号。ITSS 被分级为 1 级, 无 ITSS; 2 级, 1~10 点样或细线样 ITSS; 3 级  $\geq 11$  点样或细线样 ITSS。结果显示与传统的成像相比, ITSSs 能为 SELs 鉴别诊断提供益处。ITSSs 的表现反映增加的肿瘤内新生血管, 表明肿瘤的恶性程度更高。ITSS 缺乏可能是诊断淋巴瘤或非肿瘤病变特定的标志的成像。

对 4 例已知或疑似颅内肿瘤患者和 15 例没有证据表明颅内肿瘤的对照行对比增强 MP-RAGE 和  $T_1$ W-VISTA 扫描, 评估每例患者发生肿瘤转移的数量。研究发现, 相比传统 MP-RAGE 序列, 黑血 3D- $T_1$ W-VISTA 检测大脑转移性肿瘤的信噪比提高近一倍, 具有显著性优势。这将有助于更多转移病变的发现, 提高诊断信心。

## 2. 肿瘤与基因

对有基因和微小 RNA 表达资料 (MGMT 甲基化状态) 的 86 例患者的定性 VASARI 成像特性进行评估, 定量容积分析采用 3D 软件 3.6 (<http://www.slicer.org>) 分割模块, FLAIR 用于分割水肿, 增强后  $T_1$ WI 用于分割增强 (定义为肿瘤) 和坏死。通过回归分析建模和使用各种变量的组合分区创建多个分类模型, 用以预测 MGMT 启动子甲基化状态。结果显示 AUC 0.847 的敏感度为 82%, 特异度为 83.8%。MGMT 甲基化状态在 GBM 患者预测预后和预后分层起着重要的作用。MGMT 甲基化的非侵入性生物标志物的确定有助于患者特定的治疗分层和预测治疗反应。成像基因特征有望促进对患者的个体化诊治, 加快药物开发和临床试验。

## 脑血管疾病研究进展

### 1. 缺血性脑卒中和脑血管储备

扩散峰度成像 (diffusion kurtosis imaging, DKI) 可对白质和灰质的非高斯扩散分布进行定量分析, 更好地表征组织微环境的复杂性和异质性。对 114 例缺血性卒中患者行 DWI 和 DKI 扫描, 包括 8 例超急性期梗死 ( $<6$  h), 14 例急性期梗死 (7~24 h), 60 例亚急性早期梗死 (1~7 d), 20 例亚急性晚期梗死 (8~14 d), 12 例慢性期梗死 (15 天~2 个月)。ADC 和 DKI 参数用 ROI 法在病灶区和其对侧镜像区域进行测量。研究显示 MK、 $K_{//}$  和  $K_{\perp}$  参数图在梗死区域呈不均匀高信号。MK、 $K_{//}$  和  $K_{\perp}$  值在急性、亚急性早期上升到一个高峰, 然后逐渐减小, 并趋于正常化。梗死区 MK 值 ( $1.445 \pm 0.432$ ) 显著高于对侧镜像区 ( $0.870 \pm 0.174$ )。在梗死各个时期, MK、 $K_{//}$  和  $K_{\perp}$

的百分比变化幅度超过 50%, 急性期 MK 和  $K_{//}$  超过 100%, 而 MD、 $D_{//}$  和  $D_{\perp}$  的百分比变化低于 50%。可以预见在急性期 MK、 $K_{//}$  和  $K_{\perp}$  值比 ADC、MD、 $D_{//}$  和  $D_{\perp}$  值在鉴定缺血损伤区域方面更加敏感。平行于轴突的扩散变化率比垂直方向 (如髓鞘) 更大。当发生梗死时轴索损伤是梗死的主要原因, 表现为轴索、内质网和其他细胞内细微结构的肿胀。扩散峰度成像能更好地反映组织显微结构的变化, 更敏感发现扩散受限的区域, 可作为临床诊断的补充方法。

酰胺质子转移成像 (APT) 是一种新的可以非侵入性检测组织 pH 值的 MRI 方法。通过急性脑梗死患者组织酸中毒及预后用来评估缺血半暗带。对 10 例由于前循环或后循环障碍导致急性中风发作的患者 (2 例不确定的发病时间  $<24$  h, 8 例为 24~36 h), 于住院后以及治疗后 1 d、1 星期、1 个月进行 4 次 APT 和 DWI 扫描。对比正常表现脑白质 (normal-appearing white matter, NAWM) 与缺血区域在 APT 图像上的强度值。每例患者治疗前和治疗后行 NIHSS 评分。一般而言, 相对于 NAWM 缺血区域显示 APT 值显著减低。在 APT 图像上缺血区的面积约比 DWI 图像上 (最终梗死区域) 大 10%~50%, 或者在住院后的第一次磁共振扫描中两种图像显示病变大小一致。在一些病例中, APT 值下降区不仅位于缺血灶, 而且可扩展到相邻脑组织, 或许预示着潜在的发生梗死的可能。治疗后最终梗死区域 APT 信号有减弱趋势, 在有风险的组织中可观测到 APT 信号的恢复。NIHSS 评分表明病情好转同时患者的缺血区域在 APT 图像上变得更小。在两种图像上有相同大小信号灶的患者没有显示更好的预后。APT 图像可以更准确的定义缺血半暗带, 发病后 36 小时的急性脑梗死患者也许仍有神经细胞能够复苏, APT 成像可以帮助鉴别这些组织。

脑血管反应性 (cerebrovascular reactivity, CVR) 可以评价脑血管的自动调节能力, 对脑血管病的诊治具有重要临床意义。32 例患者使用二氧化碳刺激血氧水平依赖 (BOLD) 磁共振成像来检测脑血管反应性, 单体素磁共振波谱在 CVR 成像匹配区域采集。体素放置于传统成像表现正常的皮层区。平均 CVR 值对应于体素测定。CVR 与 NAA/Cr 有弱相关 ( $N=32$ ,  $R=0.322$ ,  $P=0.010$ )。这表明在血管反应性降低的区域可能存在神经元密度的减少或神经元退化。CVR 减少可能会导致灰质损伤, 这是常规 MRI 所无法发现的。这一发现可能在认知功能障碍和老年痴呆症等疾病中有临床意义。

侧支循环的结果是急性缺血性卒中的重要指标。对 104 例脑梗死行介入治疗 (interventional management of stroke, IMS) III 期临床试验的受试者行 CTP 研究。定量分析缺血核心区 (阈值为  $rCBF < 30\%$ ,  $T_{max} > 6$  s)、严重低灌注区域 ( $T_{max} > 6$  s) 和不匹配区的比率。治疗前行常规血管造影 (DSA) 及 CT 血管成像 (CTA) 对侧支循环进行评估。结果显示, 在三期临床试验中 CTP 显示较高的不匹配率及更小的梗死核心与基线侧支循环显著相关。CTP 有潜力作为一种非侵入性工具来预测侧支循环的状态。

血管再通与急性脑梗死良好预后呈显著相关。CTA 已经成为脑血管评估的临床和科研的重要手段。目前还没有经过验证的标准化再通评分系统。对 30 例基线和 2~6 h 后行 CTA 检查的患者进行评估。基准扫描的评价包括: 原发性颅内动脉闭塞病变 (primary intracranial arterial occlusive lesion, PIAOL)

的位置、通过 PIAOL 的剩余流量和远端血栓负荷 (distal thrombus burden, DTB)。复查 CTA 进行再通评价, 主要包括 PIAOL 再通、剩余流量的改变以及 DTB。CTA 再通评分 (CTA recanalization score, CTARS) 由 8 类组成, 用以评估 PIAOL 及其远端血管再通情况。结果显示, 基线水平 PIAOL 的位置分布在近端 (ICA, M1, M2 近端) 一致性非常好; 远端一致性较差。剩余流量的一致性较好 ( $Kw=0.67, 0.49$  和  $0.55$ ), 而 DTB 一致性一般 ( $Kw=0.41, 0.17$  和  $0.31$ )。复查 PIAOL 再通 ( $Kw=0.87, 0.90$  和  $0.92$ ) 和剩余流量变化 ( $Kw=0.91, 0.88$  和  $0.86$ ) 的可信度非常高, DTB ( $Kw=0.78, 0.43$  和  $0.51$ ) 较好, CTARS 一致性非常好 ( $Kw=0.90, 0.96, 0.88$ )。CTARS 是评估 PIAOL 及其远端脉管系统再通的可靠方法。

## 2. 血管壁成像及斑块

高分辨率磁共振成像 (high-resolution MRI, HRMRI) 能够较好显示血管壁的状态。对 55 例有症状的患者行 MRA 或 CTA 检查, 观察同侧大脑中动脉 (MCA) 的狭窄情况, 并于 3.4 d 后行 MRA、HRMRI 和 DSA 检查。基于 DSA 的结果, 将其与 MRA 比较。结果显示, DSA 与 HRMRI 的诊断一致率为 83.6%, 而 MRA 的高估率达 61.8%。对 MCA 狭窄的检出率在 HRMRI、DSA 和 MRA 分别为  $70\% \pm 17\%$ 、 $68\% \pm 19\%$  和  $85\% \pm 20\%$ , HRMRI 和 DSA 对血管狭窄程度的诊断效能的差异无统计学意义 ( $Z = -1.192, P = 0.233$ ); 而在 HRMRI 和 MRA 之间差异有统计学意义 ( $t = -6.604, P = 0.000$ )。HRMRI 与 DSA 的相关性 (Pearson's  $r = 0.893, P = 0.000$ ) 高于 MRA (Spearman's  $r = 0.602, P = 0.000$ )。HRMRI 和 DSA 在评估狭窄方面具有更好的一致性 ( $Kappa = 0.773$ ), HRMRI 和 MRA 之间的一致性只有 0.355。对于 MCA 狭窄或闭塞的评估, HRMRI 和 DSA 优于 MRA, 并且能避免 MRA 对狭窄程度的过度评估。

颅内动脉粥样硬化是发生中风的原因之一。对 18 例无症状和 22 例急性卒中患者行 3T MRI TOF 和  $T_1$  SPACE 扫描。采用  $T_1$ -SPACE 技术评估颅内动脉外壁, 使用 TOF 源图像 (source image, TOF-SI) 评估血管内壁的情况。进行  $T_1$ -SPACE 和 TOF-SI 的影像融合后, 分别测量基底动脉 (basilar artery, BA) 和双侧颈内动脉海绵窦段的管腔面积 (luminal area, LA)。在 BA、双侧颈内动脉床突上段及双侧大脑中动脉 M1 段, 用  $T_1$ -SPACE 的测量值减去 TOF-SI 的测量值来计算血管壁厚度。负荷指数 (burden index, BI) 是五个颅内动脉血管壁厚度测量值的总和。结果显示, 两组患者的管腔面积在 TOF-SI 和  $T_1$ -SPACE 图像上显著相关 ( $P < 0.001$ ), 且在无症状患者中的相关系数 (0.909) 比中风患者 (0.762) 更高。脑卒中患者在  $T_1$ -SPACE 图像上的 LA 值显著高于对照组 ( $P = 0.006$ )。两组病例在 TOF 图像上的 LA 值差异无统计学意义 ( $P = 0.143$ )。卒中患者的 BI 值这 [ $(7.7 \pm 2.3) \text{ mm}^2$ ] 显著高于无症状患者 [ $(3.1 \pm 1.1) \text{ mm}^2, P = 0.012$ ]。使用  $T_1$ -space 和 TOF MRI 图像来评估颅内动脉粥样硬化的程度是可行的。

反相-对比结合磁共振血管成像 (hybrid of opposite-contrast magnetic resonance angiography, HOP-MRA) 是一种新技术, 它结合了 3D-TOF 和血流敏感黑血 MRA 的优势。对 15 例动脉瘤进行评估, 测得动脉瘤低信号背景内高信号区的相对信号强度 (RSI)。动脉粥样硬化斑块被分为 3 个等级: A 级 (全瘤

内弥漫分布有粥样硬化斑块), B 级 (动脉瘤部分区域充填有动脉粥样硬化斑块), C 级 (动脉瘤内无动脉粥样硬化斑块), 并与术中所见对比。结果显示, 6 个动脉瘤被列为 A 级, 4 个 B 级, 5 个 C 级。A、B 和 C 级平均 RSI 分别是  $4.65 \pm 1.53$ 、 $1.42 \pm 0.69$  和  $0.93 \pm 0.16$ 。A 级和 B 级 ( $P = 0.028$ ), A 级和 C 级 ( $P = 0.017$ ), B 级和 C 级 ( $P = 0.038$ ) 之间差异有统计学意义。HOP-MRA 图像上颅内动脉瘤的相对信号强度与动脉粥样硬化斑块的程度呈正相关。HOP-MRA 有望用于预测脑动脉粥样硬化的严重程度。

颈动脉 CT 血管成像: 对 43 例患者行颈动脉 CTA, 其中 21 例扫描参数为: 120 kVp, 240 mAs, 对比剂碘浓度为 320 mg I/mL, 5 mL/s 注射速率; 其它 22 例扫描参数为: 100 kVp, 288 mAs, 相同的对比剂, 4 mL/s 注射速率及 50% ASiR 重建。比较增强动脉的图像质量 (IQ)、噪声、信号噪声比 (SNR) 和对比剂噪声比 (CNR), 并对比有效辐射剂量 (ED) 和对比剂剂量。结果显示相对于 120 kVp 组, 100 kVp 组表现出较好的增强效果以及较低的图像噪声。有效辐射剂量 (ED) 和对比剂剂量在 100 kVp 组比 120 kVp 组低 25.86% 和 12.89%。使用 100 kVp、50% ASiR 重建技术及更低的对比剂注射速率相比 120 kVp 方案能够提供较少的碘对比剂剂量和更低的辐射剂量。

## 神经系统变性疾病与老龄化

### 1. 阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD)

阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD) 是一种进行性退行性疾病, 依次累及不同脑区。对 23 例临床确诊的 AD 患者, 以及 24 例年龄及性别相匹配的健康志愿者行常规 MRI 和 DKI 扫描。测量双侧额叶、顶叶、枕叶和颞叶白质、海马、丘脑、胼胝体压部、胼胝体膝部、胼胝体体部、内囊前支、内囊后支、外囊及小脑半球的 MK、Ka、Kr、MD、Da、Dr、FA 值。结果显示所有脑区 MK、Ka、Kr、MD、Da、Dr、FA 值均存在组间差异, 尤其是顶叶白质、颞叶白质、海马 ( $P < 0.05$ )。DKI 可量化评估 AD 患者的脑部微结构损害, DKI 参数评估结果显示颞叶白质、海马、顶叶白质是 AD 患者比较脆弱的脑结构区域。

脑内铁沉积与老化、阿尔茨海默病有关。磁共振技术可以检测铁沉积, 这可能是导致 AD 病理学进展的指标。对 94 例受试者大脑半球 (所有大脑半球在死亡早期浸泡在 4% 福尔马林溶液中, 约死亡 30d 后进行成像) 行 3D 多回波梯度回波序列成像, 离体磁共振检查后, 对大脑进行神经病理学检查。用幅度加权 L1 调制算法生成磁量图 (quantitative susceptibility mapping, QSM)。勾画壳核、尾状核模板, 并投射到磁量图。每个脑区采用线性回归分析法来观察磁敏感中位值和 AD 病理复合测值的联系。结果显示, 壳核 ( $P = 0.035$ )、尾状核 ( $P = 0.021$ ) 的磁敏感值与 AD 病理复合测量值之间呈显著正相关。QSM 可敏感检测与 AD 病理有关的铁沉积, 对于 AD 病理学标志物的发展起着重要的作用。

阿尔茨海默病是最常见的痴呆原因, 早期诊断非常有益。灌注动脉自旋标记成像 (arterial spin labeling, ASL) 可定量分析局部脑血流, 而这是神经退变疾病过程中很早期的改变, 此时患者记忆丢失的症状尚不明显。灌注 ASL 能印证出现临床症状前的 AD。

机器学习的方法如支持向量机(support vector machine, SVM)提供了有力的方法来量化鉴别AD与正常人。对24例受试者(12例对照和12例AD患者)行SPGR T<sub>1</sub>WI及ASL扫描。SVM应用于所有结构和灌注图像。研究显示SVM机器学习ASL图像能区别AD和对照,敏感度、特异度、诊断符合率均为92%。而SPGR结构像的区分效能较低,敏感度、特异度、符合率分别为42%、75%、58%。全自动学习机器算法用于灌注ASL在印证阿尔茨海默痴呆方面有很高的准确性。这些方法可用于临床提高疾病的诊断准确性。

## 2. 帕金森病(Parkinson's Disease, PD)

帕金森病(Parkinson's disease, PD)是中枢神经系统的一种神经变性疾病,严重影响老年人。在帕金森病亚临床期可以观测到异常铁沉积。病理性铁沉积位于黑质网状部(substantia nigra pars reticulata, SNr)、黑质致密部(substantia nigra pars compacta, SNc)、红核(red nucleus, RN),而非苍白球(globus pallidus, GP)、壳核(putamen, PUT)、尾状核(caudate nucleus, CN)、丘脑(thalamus, THA)、额叶白质(frontal white matter, FWM)。在检测铁沉积方面,磁敏感(susceptibility weighted imaging, SWI)技术提供了有用信息,可能会用于PD早期诊断。对59例单侧发病PD患者和59例正常对照行常规MRI及SWI扫描。测量两侧黑质致密部(SNc)、黑质网状部(SNr)、红核(RN)、苍白球(GP)、壳核(PUT)、尾状核头(CN)、丘脑(THA)、额叶白质(FWM)的T<sub>2</sub>\*值。组间黑质致密部(SNc)的T<sub>2</sub>\*值差异有统计学意义(P<0.05),而同侧黑质网状部(SNr)、苍白球(GP)、壳核(PUT)、尾状核头(CN)、丘脑(THA)和额叶白质(FWM)的T<sub>2</sub>\*值未见组间差异。比较单侧PD患者的同侧与对照组的对侧的T<sub>2</sub>\*值,在黑质致密部(SNc)(P<0.01)、黑质网状部(SNr)(P<0.05)存在显著不同,而在GP、PUT、CN、THA、FWM等脑区差异无统计学意义。比较单侧PD患者与对照组的对侧T<sub>2</sub>\*值,在黑质致密部(SNc)(P<0.05)、红核(RN)(P<0.05)存在显著不同,而在GP、PUT、CN、THA、FWM等处差异无统计学意义。比较单侧PD患者的对侧与对照组同侧的T<sub>2</sub>\*值,未发现差异脑区。

对27例PD患者及22例年龄匹配的正常对照行常规及化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)序列MRI扫描。FLAIR图像用于解剖定位、勾画兴趣区(黑质、红核、苍白球、壳核、尾状核、两侧半球的额枕叶白质及灰质),并测量3.5 ppm的不对称磁化转移率(magnetization transfer ratio asym, MTR<sub>asym</sub>)、0~4 ppm MTR<sub>asym</sub>积分即总磁化转移率(MTR<sub>total</sub>)、15.6 ppm的磁化转移率(MTR)。结果显示与对照组相比,PD组黑质MTR<sub>total</sub>显著减低(P=0.006),这可能与多巴胺能神经元丢失有关;PD组在苍白球、壳核、尾状核和额叶灰质等处,3.5 ppm频率偏移的基于蛋白质的CEST图像信号显著增高(P<0.001, P=0.003, P<0.001, P=0.005);PD组枕叶灰质的MTR<sub>total</sub>显著减低(P=0.005);组间额枕叶白质的MTR<sub>asym</sub>(3.5 ppm)、MTR<sub>total</sub>无明显差异。组间所测脑区的MTR(15.6 ppm)均未发现差异。CEST图像信号是一种无创性有潜力的方法,有助于辅助PD的分子水平诊断。

采用超高b值成像经后处理得到的表现扩散系数比标准b

值更有诊断价值。对20例PD患者、18例对照行两种b值的扩散加权成像,两种b值分别为标准b值(0, 1000 s/mm<sup>2</sup>)和15个多b值(0, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 3500, 4000, 5000 s/mm<sup>2</sup>)。标准b值计算ADC<sub>st</sub>图,超高b值(2000~5000 s/mm<sup>2</sup>)计算ADC<sub>uh</sub>。纯扩散系数(pure diffusion coefficient, D)和伪扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D\*)分别由高b值(200~2000 s/mm<sup>2</sup>)、低b值(0~200 s/mm<sup>2</sup>)计算得出。测量比较PD组和正常对照组苍白球、壳核、黑质的ADC<sub>st</sub>、ADC<sub>uh</sub>、D、D\*值。研究显示PD患者苍白球、壳核、黑质的ADC<sub>uh</sub>值显著低于正常对照(P=0.000 or P=0.001, P<0.001),而苍白球、壳核、黑质的ADC<sub>st</sub>、D、D\*值组间差异无统计学意义(P>0.05)。ADC<sub>uh</sub>可用于证实PD患者特定脑区损害。

对22例受试者(12例PD, 10例对照)行SWI扫描,用磁敏感图像软件(SWI mapping software, SWIM)在PD患者大脑两侧黑质纹状体束(striatonigral tract, SNT)进行磁敏感性测值,记录最大值、均值,测量部位从苍白球开始止于黑质(SN)连接处,径线2 mm跨度,于红核不可见的水平停止测值。结果显示PD患者SNT测值显示在SNT下方比SNT上方有磁敏感性增高趋势,而对照组SNT上下方更趋向一致。与对照相比,PD组右侧SNT最大值的标准差显著性增加(P<0.0)。PD组右侧SNT/SN连接处的磁敏感性显著增加。与对照组相比,PD组SNT最下缘铁沉积显著增加, SNT铁沉积异常分布可能与轴向传输异常有关,在PD病理机制中起作用。

富亮氨酸重复激酶(leucine-rich repeat kinase, LRRK2)病理性突变是导致帕金森病的一个主要成因。对20例基因型PD患者(4例有症状、2例无症状帕金森患者;9例有症状、5例无症状LRRK2患者)、20例原发性帕金森病(idiopathic Parkinson's disease, IPD)和20例正常对照行多回波T<sub>2</sub>及T<sub>2</sub>\*序列扫描,测量黑质、纹状体、苍白球和丘脑的R<sub>2</sub>及R<sub>2</sub>\*值。结果显示LRRK2突变和帕金森基因突变携带者的铁负荷增加;R<sub>2</sub>\*测量可以用于突变基因携带者临床前期黑质纹状体损害的检查。无症状的帕金森基因突变携带者R<sub>2</sub>\*增高和临床病程无显著相关性,提示疾病早期(临床前期)即存在铁沉积,临床相关性缺乏说明R<sub>2</sub>\*可能不是评价疾病严重程度的指标。

多系统萎缩(multiple system atrophy, MSA)和进行性核上性麻痹(progressive supranuclear palsy, PSP)属于不典型帕金森综合征(Parkinsonisms, PSM)。对15例正常对照、15例PD患者、13例MSA-P患者和14例PSP患者进行高分辨力磁共振检查(T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI、T<sub>2</sub>\*WI、DTI)。测量壳核(putamen)、苍白球(global pallidus)、黑质(substantia nigra, SN)、红核(red nucleus, RN)的R<sub>2</sub>\*、部分各向异性(fractional anisotropy, FA)、平均扩散度(mean diffusivity, MD)。结果显示与对照组相比,PD和PSM组在黑质存在R<sub>2</sub>\*升高(P=0.0137 for PD; P=0.0014 for MSA; P<0.0001 for PSP)、FA值减低(P=0.0088 for PD; P=0.0004 for MSA; P<0.0096 for PSP),在红核只有PD组R<sub>2</sub>\*升高(P=0.0105)。有趣的是,与对照相比,在壳核(P<0.0001, MSA; P<0.0001, PSP)和尾状核(P<0.0001, MSA; P<0.0001, PSP)只有PSM组FA值降低。联用R<sub>2</sub>\*和DTI(c-statistic=0.763)或R<sub>2</sub>\* (c-statistic=0.615)、单

用DTI( $c$ -statistic=0.71)的鉴别能力更好。PD、PSM组脑部多模态MRI改变提示MSA、PSP组涉及更多的扩散改变,包括壳核、尾状核,而PD组主要集中在黑质。联合应用R2\*和DTI可提高对PD和PSM的鉴别能力。

### 3. 老龄化

对148例受试者行动脉自旋标记成像(arterial spin labeling, ASL),其中75例保持稳定状态(sCON组),73例在随后的18个月临床随访中证实有认知功能减退(dCON组)和65例轻度认知障碍(MCI组)。基于体素的ASL分析显示,在后扣带回皮层区域,与sCON组相比,dCON组出现脑相对血流量显著减少,MCI组也有广泛下降,而dCON与MCI组相比差异无统计学意义( $P>0.05$ )。在认知功能正常老年个体中后扣带回皮层相对脑血流量的减低与随后神经心理功能减退的发展相关。在组间水平,dCON与MCI组在相对脑血流量方面相似,这些状态最初可能通过动员自身的认知储备而保持基线稳定,但在随后也容易发展为认知功能障碍。

对827例受试者(年龄18~83岁,男337例,女490例)行磁共振检查,采用自动算法获得白质高信号(white matter hyperintensity, WMH)空间分布的标准化图像。以往研究证明WMH容积在55岁以后显著增加,故分为两组:70例 $\leq 55$ 岁,125例 $> 55$ 岁。平均而言,老年组每个体素的预测概率比年轻组高6.2倍。双对数线性回归分析显示概率比例和与侧脑室的距离呈正相关( $> 75000$ 数据点,  $R^2 = 0.23$ , 斜率  $P < 0.0001$ ),表明老化与远离侧脑室的WMH更加相关。相比较而言,直接相邻侧脑室的体素,年龄效应的概率只增加了1.06倍。正常老化对深部脑白质高信号的影响大于脑室周围白质。

## 脑白质成像和脱髓鞘疾病

### 1. 多发性硬化(multiple sclerosis, MS)

对12例多发性硬化患者和10例健康志愿者行反转恢复双回波超短回波时间(inversion recovery prepared dual echo ultrashort echo time, IR-dUTE)序列扫描,  $T_2^*$ 通过IR-UTE信号衰减的单指数拟合量化。脑白质正常髓鞘在IR-dUTE图像上表现为高信号,在髓鞘损失区域表现为低信号。髓鞘超短  $T_2^*$  时间为0.2~0.5 ms。这些结果表明,IR-UTE序列可以产生显示髓鞘的高对比度图像,并且通过  $T_2^*$  测量可直接评估髓鞘的损失和变化,2D-UTE序列可以对脑白质超短  $T_2^*$  成分进行成像和量化。多发性硬化患者脑白质有显著的超短  $T_2^*$  成分损失,与其存在髓鞘损失一致。

另有研究使用反转恢复超短回波时间(IR-UTE)序列评估多发性硬化患者脑内铁沉积情况。对10瓶不同铁浓度的模型和5例MS患者行IR-UTE扫描,研究表明,传统的IR-FSE序列在铁沉积浓度达2 mM(千分之一摩尔每升)表现为高对比度的图像;基于梯度回波序列如MP-RAGE序列扫描时,当铁沉积浓度达5 mM可产生高对比度图像;而IR-UTE序列上当铁沉积浓度达20 mM可产生高对比度的图像。体内研究表明,IR-UTE序列能够检测MS患者铁沉积。初步研究表明,IR-UTE序列可以在铁沉积浓度高达20 mM产生高对比度的图像,也能够检测MS患者脑内铁沉积。

对33例多发性硬化(MS)患者、38例视神经脊髓炎(neuro-

myelitis optica, NMO)患者和40例志愿者对照组行多模态磁共振扫描。从多模态MRI获得整个丘脑及7个丘脑内亚区域的灰质体积(gray matter volume, GMV)、分数各向异性(fractional anisotropy, FA)、平均扩散度(mean diffusivity, MD)、低频波动振幅(amplitude of low-frequency fluctuation, ALFF)、自发低频交叉相关系数(cross-correlation coefficient of spontaneous low-frequency, COSLOF)和加权功能连接强度(weighted functional connectivity strength, wFCS)共6个参数。结果显示整个丘脑GMV和白质完整性(FA和MD)表现出显著的组间差异。与对照组相比,MS患者表现为COSLOF和wFCS下降,NMO与对照无显著差异。MS患者表现为丘脑结构和功能的广泛改变,而NMO结果显示轻微的结构损伤而无显著功能异常。丘脑结构参数具有较高特异性,可鉴别MS和NMO。

另有研究对27例MS患者、27例NMO和27例健康对照(healthy controls, HC)行静息态fMRI。三组间脑区的功能连接表现出显著不同。与HC相比,MS患者中有20处脑区发现有功能连接改变,包括12处连接上升和8处连接下降。MS患者功能连接增加主要位于额叶,而丘脑与颞叶和枕叶皮层区域的功能连接减少。与HC相比,NMO出现44处功能连接显著增加;与MS相比,NMO出现65处功能连接显著增加,主要位于深部灰质,如杏仁核、尾状核、海马旁和广泛的皮层区域。MS和NMO患者之间显示不同的全脑功能连接变化。MS患者功能性损伤和可塑性并存,而NMO患者表现出更广泛的功能重组。

### 2. 系统性红斑狼疮(systemic lupus erythematosus, SLE)

对18例神经精神症状的SLE患者(neuropsychiatric systemic lupus erythematosus, NPSLE)患者、23例非NPSLE患者和23例对照组行三维多回波梯度序列扫描。测量不同脑区的平均QSM值(丘脑,壳核,苍白球,脑桥,胼胝体和额叶白质),并研究壳核和苍白球的QSM值与SLE和NPSLE患者症状持续时间关系。结果显示,在壳核区,NPSLE患者QSM值显著高于非NPSLE患者和对照组( $P < 0.05$ );而在非NPSLE患者和对照组间差异无统计学意义。在苍白球区,NPSLE患者QSM值较对照组显著升高( $P < 0.05$ );但NPSLE患者和非NPSLE患者之间差异无统计学意义。NPSLE患者壳核QSM值与神经精神症状的持续时间有显著相关性;与非NPSLE患者和对照组相比,NPSLE患者壳核的QSM值显著升高。壳核内铁沉积的程度可能反映神经精神症状的持续时间。

## 癫痫

对20例单侧颞叶癫痫(TLE)患者和20例对照组行DTI扫描,计算FA、ADC、平行本征值( $\lambda_{//}$ )和垂直本征值( $\lambda_{\perp}$ )。感兴趣区选取内囊前后肢(anterior/posterior limb of the internal capsule, AIC/PIC)、外囊(external capsule, EC)、尾状核头(head of caudate nucleus, HCN)、豆状核(lenticular nucleus, LN)、丘脑(thalamus, TL)和胼胝体膝部、压部、体部(genu/body/splenium of the corpus callosum, GCC/BCC/SCC)。研究发现,与对照组相比,TLE组所有区域的FA值减低,双侧ECs、HCNs、TLs和BCC的ADC升高;同侧LN以及双侧AICs、TL、GCC的 $\lambda_{//}$ 减低。除了双侧PICs,所有感兴趣区的 $\lambda_{\perp}$ 升高。TLE患者中,与对侧TL相比,同侧TL的FA值减

低。Pearson 相关分析表明 GCC 的 ADC 值、同侧 PIC 的  $\lambda_{//}$  值与癫痫患者的发病年龄呈负相关,对侧 AIC 的  $\lambda_{\perp}$  值与癫痫持续时间呈负相关;GCC 的 ADC 值和  $\lambda_{\perp}$  值与癫痫持续时间呈正相关。

对 36 例癫痫发作后的患者行 ASL 扫描和脑电图(EEG)检查。其中 8 例患者亦行<sup>99m</sup>Tc-HMPAO SPECT 检查。使用 ROC 曲线评价相对于 EEG 来说 ASL 对致痫灶的诊断效能。以 EEG 为标准检测 ASL 对致痫灶的定位诊断的准确性。结果显示,ASL 描述临床致痫灶的 ROC 曲线下面积为 0.903 (95% 可信区间:0.756~0.976,  $P < 0.0001$ )。ASL 描述致痫灶的敏感度为 87% (26/30),特异度为 33% (2/6),阳性预测值为 87% (26/30),阴性预测值为 33% (2/6)。8 例行<sup>99m</sup>Tc-HMPAO SPECT 检查的患者均显示脑血流灌注异常,7 例患者致痫灶的定位与 EEG 一致。ASL 可作为一种非侵入性的方法评估癫痫发作患者的致痫灶。

回顾性分析 21 例表现为脑卒中症状的癫痫患者的 CTP 检查结果。对一侧高灌注的患者,计算与对侧比较的相对脑血容量、相对脑血流量和平均通过时间。与对称性灌注的患者相比,一侧高灌注区的患者对侧运动障碍和失语的发生率更高(12/16 vs 1/5,  $P = 0.047$ );而具有对称灌注的患者中最常见的临床表现是精神状态的改变(3/5 vs 1/16,  $P = 0.028$ )。与弥漫性或单侧缓慢放电的患者相比较,一侧高灌注和异常 EEG 的患者中( $n = 13$ ),4 例有一侧快速痫样放电,这与其相对 CBF ( $2 \pm 0.3$  vs  $1.5 \pm 3.7$ ,  $P = 0.034$ )升高和相对 MTT ( $0.47 \pm 0.05$  vs  $0.93 \pm 0.34$ ,  $P = 0.030$ )减低相关。表现为一侧偏瘫或失语的癫痫发作患者 CTP 常显示有对侧脑灌注升高;然而那些精神状态改变的患者中常常表现为对称性的脑血流灌注。结论:一侧快速痫样放电的患者与其相对 CBF 升高和相对 MTT 减低相关。

## 脊髓及周围神经影像

对 21 例研究对象行颈髓 DTI 扫描,包括两种 2D 小视野 DTI 序列: ss-IMIV-DWEPI (iDTI) 和传统 ss-DWEPI (cDTI)。测量 C<sub>1</sub> 至 Th<sub>1</sub> 水平脊髓的 FA 和 ADC 值。结果显示,与 cDTI 相比,iDTI 测量的脊髓 FA 值明显升高、ADC 明显降低(FA 为 0.563 vs 0.679;ADC 为 1026 vs 631;  $P < 0.0001$ )。在低位颈髓,这些值始终较低。在所有参数 iDTI 的测量上均优于 cDTI。低位颈髓 iDTI 的平均评分高于 cDTI,高位颈髓也是如此。在提高图像质量方面,2D rFOV ss-IMIV-DWEPI 优于传统 2D rFOV ss-DWEPI,即使是在低位颈髓。

对 10 例肿瘤性病变患者和 1 例肿瘤样病变患者行常规 MRI 和 DTI 扫描,其中 8 例为神经鞘瘤、1 例为侵袭性纤维瘤、1 例为滑膜肉瘤。测量病灶的 FA 值并进行臂丛神经纤维成像。示踪成像清晰的显示了神经纤维被推移变形。病灶区、神经纤维周围区及对侧正常区的平均 FA 值:神经鞘瘤为 0.235 ± 0.031、0.352 ± 0.074、0.403 ± 0.108;侵袭性纤维瘤为 0.229 ± 0.062、0.272 ± 0.075、0.352 ± 0.046;滑膜肉瘤为 0.289 ± 0.153、0.383 ± 0.001、0.412 ± 0.104。肿瘤样病变患者的平均 FA 值为 0.308 ± 0.095,对侧正常区为 0.409 ± 0.003。DTI 及三维纤维追踪成像可以清晰显示肿瘤与臂丛神经纤维之间的关系,FA 值为诊断提供了更准确的信息。

对 20 例腰椎间盘突出症患者以及 20 例健康志愿者行横轴面 T<sub>2</sub>WI、DTI 和 DTT 扫描。以 T<sub>2</sub>WI 作为解剖定位像追踪神经根,并测量两组的双侧神经根 FA 值和 ADC 值。结果显示,DTI 示踪成像显示腰椎神经根的成功率 > 90%。与健侧及对侧对照组相比,观察到神经根受压部位在融合了 T<sub>2</sub>WI 解剖像的 DTI 上呈高信号,在相应部位可发现明显的形态学变化,如推移、弯曲及纤维束稀疏。在同一水平双侧 FA 和 ADC 均值无明显差异。但是,受压部位的 FA 均值明显降低( $P < 0.05$ )。DTI 示踪成像在定性和定量诊断方面提供了丰富的信息,有助于评估腰椎神经根的受压情况。

## 脑功能成像研究进展

### 1. 认知功能

对 38 例 II 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者和 39 例健康志愿者行 fMRI、T<sub>1</sub>WI 及扩散张量成像扫描。采用种子点全脑相关来生成丘脑的功能连接并进行组间比较。Pearson 相关分析用于丘脑功能连接及临床数据。与正常对照组相比,T2DM 组丘脑与右颞叶皮层、中央前回、两侧枕叶皮层的功能连接明显减低;与左小脑、两侧额叶皮层、扣带回的功能连接增加( $P < 0.05$ , AlphaSim 校正)。T2DM 患者对复杂数字测试的延迟评分和言语流畅性评分都与丘脑-右楔叶、丘脑-左颞叶的功能连接呈正相关( $r = 0.575$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = 0.591$ ,  $P < 0.01$ ),并且 T2DM 患者没有结构损害(丘脑萎缩及 DTI 上异常改变)。T2DM 患者存在丘脑功能连接受损,且与患者的认知功能损害相关。静息态丘脑的功能连接可用于 T2DM 患者的早期诊断,并可以用来评估患者的认知功能障碍。

### 2. 运动功能

对 9 例有持续性上肢功能障碍并接受康复治疗的大脑梗死患者于治疗前、治疗中和治疗后行 DTI 和 fMRI 扫描。在患者活动患侧手的手指时采集功能 MRI 图像。计算 PLIC 的 FA 值作为运动皮层活跃体素的数量。运动功能在每一次扫描时使用动作研究手臂测试 (ARAT) 及卒中损伤评分 (SIS) 来检测。结果显示在损伤同侧对比损伤对侧大脑半球 PLIC-FA 值显著降低,fMRI 可观测到大脑皮层活动的双边模式。病灶侧 PLIC-FA 与患侧皮层神经活动无相关性。ARAT 和 SIS 手功能得分与 PLIC-FA 相关,但不与皮层运动相关。治疗前的 FA 值也与治疗后的 ARAT 和 SIS 手功能得分相关。保护患侧 PLIC 的完整性也许有助于运动功能的预后更好,这需要患侧运动皮层范围内有更少的大脑皮层活动。此外,PLIC-FA 也许对接受介入治疗的患者运动功能恢复的追踪和预测有帮助。探究脑卒中患者中 DTI、fMRI 和行为评分的关系,是开发新的生物标志物来预测和跟踪运动恢复的关键。

### 3. 精神疾病

有假说认为严重的抑郁性障碍(major depressive disorder, MDD)与默认模式网络(default mode network, DMN)功能连接异常有关。后扣带回(Posterior cingulate cortex, PCC)是 DMN 的关键脑区,与 MDD 的病理生理学改变有关。对 17 例首发偶发性、未用药的、严重的抑郁性障碍患者,以及 30 例正常对照行静息态 MRI 扫描。与正常组相比,MDD 组中 PCC 与左颞中回、右侧额上回的连接明显减少;PCC 与右岛叶、右颞叶、左楔前叶、右舌回、左扣带回、左额上/中回、右楔叶及楔前叶功能连

接增加。静息态功能 MRI 能证实 MDD 的 DMN 功能连接异常,说明 DMN 在 MDD 病理生理学机制中有重要作用。

慢性精神分裂症 (chronic schizophrenia, SCZ) 患者的一个特点是与正常对照相比默认模式网络 (default mode network, DMN) 的内在功能连接下降。对 23 例 SCZ 患者行功能磁共振成像。提取每例患者的 DMN 用于双重回归的独立成分分析。对患者症状的严重性采用正性和负性症状量表 (positive and negative symptom scale, PANSS) 进行评估。结果显示前额叶内侧部的 DMN 功能连接与疾病正性症状及焦虑严重程度负相关。DMN 与右侧纹状体功能连接与一般症状严重程度 (PANSS 总分) 负相关。负性症状的严重程度与 DMN 功能连接无相关。默认模式网络的内在功能连接不仅能检测 SCZ 与正常对照组间差异,还能为 SCZ 患者不同症状严重程度提供相关影像证据。

## 儿科中枢神经系统影像学研究进展

### 1. 儿科癫痫

研究已经证实癫痫易损伤语言及其它认知功能,而且常累及白质纤维通路。对 20 例神经精神学家评定语言功能的儿童进行 DTI 扫描,评估胼胝体、皮质脊髓束 (CSP)、下行纤维束 (ILF)、额枕叶下行纤维束 (IFOF) 及钩型纤维束 (UF)、弓形纤维束 (AF) 对语言功能的独立影响。结果显示左侧 UF、IFOF 及 AF 与语言功能有关,突出了这三种纤维束在人类语言功能中的重要性。

对 158 例癫痫儿童进行常规 MRI 及 MRS 扫描,在有癫痫相关病因诊断的 46 例儿童中,25 例 (54%) MRS 提供了额外信息,尤其对于缺血缺氧损伤和围产期感染的儿童,而在 112 例无癫痫相关病因诊断的儿童中,MRS 有阳性发现者为 28 例 (25%),有助于鉴别新生物和异常增生、促使临床进行代谢和基因检查。总之,对于经临床评估的癫痫儿童患者,MRS 可以在常规 MRI 的基础上提供额外的信息。

幼年发作型癫痫儿童的皮层灌注或血流量与脑组织电活动之间可能存在联系。选取 297 例儿童,在癫痫发作 24h 内分别行 SWI 和 EEG 检查,根据 SWI 和 EEG 的结果将患儿分为 3 组:A 组,无脑血流量增加和异常放电;B 组,脑血流量增加与异常放电区域不一致;C 组,脑血流量增加与异常放电区域一致。研究发现频繁发作或者真性癫痫发作的患者脑血流量增加和异常放电区域一致,表明 SWI 有助于发现频繁发作的癫痫患儿的皮层脑血流量的异常。

### 2. 注意力缺陷/多动症

注意力缺陷/多动症 (ADHD) 是儿童及青少年最常见的神

经性障碍。对 11 例 ADHD 儿童于临床治疗 1 年前后进行 DTI 扫描。研究发现多动症儿童的小脑-前额叶连接纤维在治疗后得到极大恢复。基于 MRI 提供的定量参数 (FA 值和纤维数) 有助于鉴别真性多动症与双极障碍,并且能更好地诊断和追踪多动症患者的精确亚型。

### 3. 髓鞘化评估

对 914 例研究对象分别在 1.5T 和 3.0T 磁共振仪上进行 MRI 扫描,常规 DTI 检查后至少两年以上,40 例进行多次 MRI 检查。在每例患者 FA 直方图基础上,计算 FA 值与全脑容积的比值,即 FM。比较两台仪器不同年龄段的 FM 列线图并进行回归分析。在不同年龄段,FA 均值和 FM 都成指数收敛。同时,FM 显示了更好的信噪比以及更适合于指数模型。DTI 直方图可以追踪婴儿到青少年的髓鞘化过程。FM 可以作为自动测量髓鞘化年龄的基础。

## 脑外伤

对 19 例轻度外伤后颈痛的患者以及 9 例轻度外伤后周围性感觉异常的患者行 DTI 检查。对照组包括 56 例轻度外伤后无颈痛和 66 例轻度外伤后无感觉异常的患者。相比于对照组,轻度脑外伤后颈痛的患者右侧上纵束的各向异性分数 (FA) 值减小,这个结果支持外伤后颈痛存在中央轴索损伤成分这一假说。上纵束的损伤与偏身忽视有关,而偏身忽视常常通过振动颈部肌肉来治疗。这表明外伤后颈痛不是源自颈部区域的直接损伤,而是轻度外伤后空间方向感缺失后的代偿。外伤后颈痛可检测到中央弥漫性轴索损害 (diffuse axonal injury, DAI),这表明 DAI 不仅能解释认知、执行力的缺失,还能解释更多外伤后脑震荡的相关症状。因此,对外伤后颈痛的患者,治疗和诊断不能仅局限于颈部,还应考虑可能的颅内损害。

对 12 例脑脂肪栓塞 (cerebral fat embolism, CFE) 患者以及 16 例出血性 DAI 患者行 SWI 及 GRE 检查。CFE 患者在 FLAIR 图像上表现为融合、片状或点状白质损伤,而 DAI 患者病灶之间的区域显示更加明确。CFE 患者上 SWI 在更多的表现为融合或点状异常。各组出血病灶的总数之间差异无统计学意义,但是 CFE 患者侧脑室周围 ( $P=0.0011$ ) 和深部 ( $P=0.0061$ ) 白质、脑干和小脑有更多的出血病灶。CFE 患者表现为典型的小 ( $P=0.0061$ ) 或点状出血病灶,而 DAI 患者表现为小或线状出血。两组患者在 SWI 和 GRE 图像上显示的出血数目差异有统计学意义,但在 CFE 患者中表现更明显。MRI 可以把 CFE 与 DAI 区分开来,并且可用 SWI 代替 GRE 对 CFE 患者进行评估。