



• RSNA2018 聚焦 •

RSNA2018 中枢神经系统影像学

张归玲, 石晶晶, 刘城霞, 赵旭, 李娟, 胡颖, 张妍, 田甜, 江晶晶, 申楠茜, 王剑, 彭小龙, 张巨, 王振熊, 叶海琪, 李葭, 朱文珍

【摘要】 2018 年 RSNA 会议中出现大量新技术和数据分析方法, 主要包括酰胺质子转移成像 (APT)、神经突起方向弥散与密度成像 (NODDI)、静息态 (fMRI)、体素内不相干运动 (IVIM) 扩散加权成像、磁共振高分辨率血管壁成像 (HRMR)、动脉自旋标记 (ASL)、动态磁敏感对比磁共振成像 (DSC-MRI)、2-羟基戊二酸磁共振波谱 (2HG-MRS)、新的 3D 量化序列 QALAS 等。在中枢神经系统疾病的应用研究主要包括: ①胶质瘤的分子分型及异质性, 鉴别胶质细胞瘤复发和放射性坏死、判断肿瘤真性和假性进展; ②大血管卒中后血管内血栓切除术 (EVT) 的评估, 利用多模态影像学来评估急性脑梗死 (AIS) 患者的梗塞核心区; ③磁共振高分辨率血管壁成像观察颅内动脉粥样硬化斑块的稳定性及与脑血管事件的关系; ④探索 AD 与脑小血管病的关系以及脑白质高信号与认知障碍的关系; ⑤静息态磁共振的新型处理方法及在脑肿瘤及认知障碍等疾病中的应用; ⑥深度学习用于各疾病的诊断与鉴别。

【关键词】 脑肿瘤; 脑血管病; 神经系统变性疾病; 脑功能; 深度学习

【中图分类号】 R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)03-0234-015

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.001

RSNA2018 中枢神经影像诊断方面的研究进展和新技术的应用概括主要体现在以下方面。

脑肿瘤的研究进展

酰胺质子转移成像 (amide proton transfer weighted-MRI, APTw-MRI) 是一种新型分子成像技术, 主要根据内源性细胞蛋白产生与水分子的交换进行成像, Jiang 等利用基于蛋白质的酰胺质子转移加权 (APTW) 和磁化转移 (MT) MRI 的机器学习来解码 II 级和 III 级胶质瘤的 IDH 基因型, 对 105 例 II 级或 III 级胶质瘤患者进行回顾性研究, 包括术前常规和 APTW-MRI, 以及 IDH 突变状态的实验室检测报告。从 APTW、MT 和结构磁共振图像的肿瘤 ROI 中提取 391 个放射学特征。与 IDH 突变组相比, IDH-野生型组显示出更大的年龄和更高的 WHO 等级, 对模型贡献最大的 10 个特征包括年龄、等级、APTw_mean, APTw_10th 百分位数、APTw_25th 百分位数、MT_75th 百分位数等。机器学习模型在测试集中实现了 95.2% 的准确度。该研究结果支持使用从 APTw 和 MT MRI 提取的纹理来辅助 IDH 基因型的准确诊断

分类。且 APTw 和 MT MRI 提取的纹理可用于 WHO II 级和 III 级胶质瘤患者的 IDH 基因型的诊断分类。同时, 该团队还评估了 APTw-MRI 体积是否可以识别疑似复发性胶质母细胞瘤患者中的复发性肿瘤。招募了 31 名疑似复发性胶质母细胞瘤的患者, 记录了 Gd 增强、异常 FLAIR 和 APTw 高信号体积的比例: VGd/VFLAIR、VAPT/VFLAIR、VAPT/VGd 及 APTw 直方图参数, 包括平均值和百分位数, 结果发现 VAPT 图像指标是标准化放疗治疗后疑似复发性胶质母细胞瘤患者肿瘤复发的重要预测指标。

假性进展 (pseudoprogression, psp) 的诊断是胶质母细胞瘤患者在治疗后早期面临的一个挑战。Kim 等使用扩散和灌注加权磁共振成像开发了多参数磁共振模型, 并通过外部验证来促进诊断。回顾性分析了 61 例 3 个月内接受治疗的胶质母细胞瘤患者 (psp = 26), 从 T₁ 增强、FLAIR、ADC 和 CBV 图像中提取 6472 个多参数放射学征象。利用接收端工作特性曲线 (AUROC) 下面积计算了模型的性能, 并与 ADC (ADC₁₀) 和 CBV (CBV₉₀) 的直方图参数进行比较。为了提高有效性, 在组织病理学证实的外部数据集中对多参数放射模型进行了测试 (n = 34)。选择 12 个重要的放射学特征 (1 个来自 T₁ 增强, 2 个来自 FLAIR, 2 个来自 ADC, 7 个来自 CBV 图) 构建放射学模型。多参数放射免疫学模型 (AUROC 0.90, 95%, CI

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: 张归玲 (1994-), 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要从事中枢神经系统影像学诊断和研究工作。

通讯作者: 朱文珍, E-mail: zhuwenzh8612@163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (81730049, 81570462)

0.82~0.98)显示 psp 的诊断效能明显优于 ADC10 (AUROC 0.70, CI 0.46~0.76)或 CBV90 (AUROC 0.61, CI 0.66~0.88)的任何单一参数,并且优于仅使用 T_1 增强和 FLAIR 的传统放射学模型 (AUROC 0.76, CI 0.63~0.88)。多参数放射免疫学模型在外部验证 (AUROC 0.85, CI 0.71~0.99)中也显示出比单一参数 (AUROC 0.43~0.50)和常规放射学模型 (AUROC 0.74, CI 0.67~0.97)更好的诊断效能,可用于诊断早期治疗后胶质母细胞瘤患者的 psp。

Zhang 等采用 T_2 WI 直方图鉴别胶质母细胞瘤与孤立性脑转移,其中,胶质母细胞瘤 29 例(男 17 例,女 12 例),星形细胞瘤 28 例(男 15 例,女 13 例),有 7 个直方图参数(平均值、峰度、偏度、perc. 10%、perc. 50%、perc. 90%和 perc. 99%)差异具有统计学意义 ($P<0.05$),其中偏度的敏感度为 82.1%,特异度为 82.8%,曲线下面积为 0.865。因此, T_2 WI 灰度直方图分析有助于诊断胶质母细胞瘤的脑孤立转移,且偏度具有较高的诊断效能。

纹理分析是一种提取定量特征的方法,评估一个体积中灰度的空间排列,以获得更多关于肿瘤异质性的信息。Causans 等回顾性纳入了 70 名患者胶质母细胞瘤 (GBM >2 cm)和 70 名脑部转移瘤的患者 (MET >2 cm),计算 42 个放射学特征,根据对训练集的单变量分析 (gbm: $n=46$, met: $n=46$)发现,6 个纹理特征具有统计学意义 (3 个 $P<0.00001$, 3 个 $P<0.001$),说明对比增强后 3DTI MR 图像的纹理分析可用于区分脑转移瘤和胶质母细胞瘤。

动态磁敏感对比磁共振成像 (dynamic susceptibility contrast, DSC-MRI)可同时进行灌注和渗透性测量。Lee 等纳入 145 例经病理证实的胶质母细胞瘤 ($n=89$)和原发性中枢神经系统淋巴瘤 (primary central nervous system lymphoma, PCNSL)患者 ($n=56$),计算脑血容量 (CBV)和血管通透性参数 (EF)。与胶质母细胞瘤 ($EF 4.30 \pm 2.4\%$, $nCBV 6.01 \pm 4.1$, $CBV_{res} 6.45 \pm 3.54$, $P<0.001$)相比,PCNSL 显示出显著更高的 EF [$(10.49 \pm 6.89)\%$]和更低的 CBV ($nCBV 3.13 \pm 1.33$; $CBV_{res} 3.23 \pm 2.51$)。灌注和通透性联合测量的诊断效能 (AUROC 0.89, 95% 置信区间 0.84~0.94)显著高于单个参数 nCBV (AUROC 0.78, 0.71~0.85, $P=0.02$)和 CBVRES (AUROC 0.80, 0.73~0.86, $P<0.001$)的,也优于 EF (AUROC 0.83, 0.75~0.86)。因此,在 DSC-MRI 上同时测量血管通透性有助于 PCNSL 与胶质母细胞瘤的鉴别诊断。

动脉自旋标记 (arterial spin labeling, ASL)可获得脑血流 (CBF)图像,和解剖图标准化后进行匹配,可对 CBF 进行定性和定量分析。Wang 等对 53 例成人

幕上神经胶质瘤进行了 ASL 磁共振成像。结果发现高级别组的灌注显著高于低级别组。低级别组与高级别组间最大 CBF、相对平均 CBF 和相对最大 CBF 均有显著差异。在所有参数中,相对最大 CBF 显示出最佳诊断效果,阈值为 1.59,其敏感度和特异度分别为 81%和 75%。CBF 定性分析显示 IDH1 突变组比 IDH1 野生型组具有更低的灌注,Phi 和 Cramer 的 V 系数为 0.266。在仅含有弥漫性星形细胞瘤、间变性星形细胞瘤和胶质母细胞瘤的样本中, IDH1 突变体和野生型组之间的相对平均 CBF 和最大 CBF 显著不同,相关性分析发现 Phi 和 Cramer 的 V 系数为 0.395。1p/19q 编码与灌注参数之间没有显著关联。因此,ASL 可以为胶质瘤分级提供准确的灌注值, IDH1 基因型与灌注之间存在轻微相关性, 1p/19q 状态与脑胶质瘤灌注之间无显著相关性。

Sun 等对 2-羟基戊二酸 (2HG) 磁共振波谱 (MRS) 诊断异柠檬酸脱氢酶 (IDH) 突变体胶质瘤的原始文献在 Ovid-MEDLINE 和 EMBASE 进行了系统的文献检索,进行 Meta 分析以解释异质性的影响。在纳入的 460 名患者的 14 篇原创文章中,与 IDH 野生型胶质瘤相比, IDH 突变型胶质瘤的 2HG 蓄积显著增加。2HG MRS 预测 IDH 突变胶质瘤的敏感度和特异都分别为 95% (95% CI, 85%~98%) 和 91% (95% CI, 83%~96%)。HSROC 曲线下面积为 0.96 (95% CI, 0.94~0.98),这表明诊断效能高。在荟萃回归中, MRS 序列及 TE 与异质性相关。在使用 PRESS 的研究中,长 TE (97 ms) 显示出更高的敏感度 (92%, 95% CI: 85%~99%) 和特异度 (97%, 95% CI: 92%~100%),短 TE (30~35 ms) 的灵敏度为 90% (95% CI: 79%~100%),特异度为 88% (95% CI: 83%~93%) ($P<0.01$)。因此, 2-HG MRS 在预测 IDH 突变型胶质瘤方面表现出优异的诊断效能。

Nguyen 等对 10 名 IDH⁺ 胶质瘤患者及 35 例 IDH⁻ 胶质瘤患者在手术切除前进行了前瞻性研究,测量了体积转移常数 (K^{trans})、组织中血浆分数体积 (V_p)、表观扩散系数 (d)、伪扩散系数 (d^*) 和灌注分数 (f)。结果发现 IDH⁺ 胶质瘤组的增强和坏死体积较低,而非增强体积较高。IDH⁺ 神经胶质瘤的 K^{trans} 和 V_p 值较低。两组之间的 IVIM 参数没有显著差异。对于 IDH⁻ 和 IDH⁺ 胶质瘤之间的区别,平均 K^{trans} 分别为 89%和 93%,截止值 <0.083 时,平均 V_p 为 89%和 64%。因此,与 IDH⁻ 神经胶质瘤相比, IDH⁺ 神经胶质瘤显示出更高的非增强肿瘤体积和更低的 K^{trans} 和 V_p 。

Evan 等评估定量 MRI 的特征用于术前识别 IDH 突变体 GBM。13 例经病理证实的 IDH 突变体 GBM 患者和 99 例 IDH⁻ 野生型 GBM 患者的术前 MR 图

像用于分析。采用基于卷积神经网络的深度学习算法,对磁共振成像中的三个关键组成部分(增强肿瘤核心、非增强肿瘤和坏死)进行自动体积分割。比较 IDH 突变体和野生型 GBMS 的肿瘤细胞体积分数和 DTI 参数值。结果发现与野生型 GBMS 相比, IDH 突变体 GBMS 的肿瘤增强率较低,增强与非增强肿瘤和增强肿瘤坏死的体积比也较低。IDH 突变体 GBM 在坏死区域内也具有较高的平均表观扩散系数,这与临床观察结果一致,即这些肿瘤通常具有异质性和/或囊性非增强成分;然而,在 Bonferroni 校正后,这种差异并不显著。

Paech 等利用 7T CEST 磁共振技术对 IDH 突变状态、MGMT 启动子甲基化以及中低级别与高级别胶质瘤的分化进行非侵入性预测。研究数据包括 34 名新诊断的胶质瘤患者(WHO I—II 级 7 例, LGG; WHO III—IV 级 27 例, HGG; IDH1-R132H 状态: 9 例 IDH 突变, 24 例 IDH 野生型, 1 名患者未评估; MGMT 启动子甲基化状态: 13 例甲基化, 11 例未甲基化, 4 例不确定, 2 名患者未评估)。患者的 CEST 磁共振扫描数据通过洛伦兹拟合方法进行分析,对肿瘤区域内的核奥夫豪泽效应(NOE)和酰胺质子转移(APT)信号进行研究,以预测 IDH 突变、MGMT 状态以及 LGG 和 HGG 的区别。结果显示,在 IDH 突变状态预测中 APT 的表现优于 NOE,具有较高的敏感度和特异度。此外, dns-APT 可以对 LGG 和 HGG 进行区分,而 MGMT 状态均没有显著差异。说明 APT 成像能够有效预测 IDH 突变状态以及 LGG 和 HGG 的差别,可以作为一种非侵入性 MR 生物标记物用于诊断和评估胶质瘤患者的组织学和遗传亚型。

Yan 等利用多模态 MRI、组织病理学和患者特征的联合分析,通过机器学习预测胶质瘤的存活率,回顾性分析了 102 例经病理证实的 I~IV 胶质瘤患者及完整的生存资料。分别建立基于组织病理学和患者特征的多因素 Cox 模型,以及与多模式 MRI 特征(全特征)相结合的 Cox 模型。结果发现基于全特征的预测模型优于基于局部特征的预测模型。预测总生存率的最重要特征是肿瘤位置、患者年龄、DCE-MRI 和 IVIM-DWI 的结构特征。全特征模型的似然比为 98.23 ($P < 0.0001$),部分特征模型的似然比为 62.48 ($P < 0.0001$)。来自 DCE-MRI 和 IVIM-DWI 的所选图像特征的风险比分别为 0.51 ($P = 0.0003$) 和 -2.37 ($P = 0.0002$)。因此基于多模式 MRI、组织病理学和患者特征的神经胶质瘤患者生存预测比无多模式 MRI 更准确,对疑似胶质瘤患者的诊断工作(主要通过多模式 MRI)在胶质瘤特征鉴定方面具有很大的潜力。

¹⁸F-FDOPA 通过氨基酸转运蛋白介导的过程渗

透到细胞中,比传统的 ¹⁸F-FDG PET 和对比增强 MRI 对神经胶质瘤显示出更高的敏感度和特异度, Sipos 等对 4 例经组织学证实的 GBM 患者的 ¹⁸F-FDOPA 进行了基于 PET/MR 的计划研究的回顾性分析。结果显示平均 ¹⁸F-F-DOPA 肿瘤体积为 37.1 cm³, 平均 T₁ 对比增强 MRI 体积为 7.2 cm³, 平均 CTV 水肿体积为 57.4 cm³, 未被 CTV 水肿体积覆盖的 BTv-F-DOPA 的平均体积为 8.6 cm³。因此,在基于 3D 的放射疗法治疗中基于 ¹⁸F-FDOPA PET/MR 的靶定义将为患有多形性胶质母细胞瘤的患者提供更好的肿瘤延伸表征。

Kumar 等对 1250 例各种组织学类型的成人大脑半球胶质瘤进行了临床 MRI 检查和特征分析。复杂病例在 3D 下用解剖图-E(德克萨斯州休斯顿)进行比较虚拟现实(VR)和增强现实(AR)评估。研究发现,在封闭的“纯虚拟”环境中,使用计算机屏幕和耳机的 VR 是一项强大的技术。它有助于术前规划,包括绘制解剖图、动脉、静脉以及肿瘤浸润模式。但是,此技术只能由单个用户使用。而 AR 使用清晰的护目镜系统,允许用户查看他/她的“真实”环境并将全息图像叠加到患者的 MR 图像上。该研究发现 AR 在解剖学和肿瘤显示方面优于 VR。AR 还能够被多个观看者共享,这对于与外科医生进行实时沟通和其他同事进行咨询具有重要的价值。然而,AR 目前还不够稳定,无法在临床病例中持续使用。AR 有可能在手术过程中通过将全息图像融合到患者自己的大脑中来使用。VR 和 AR 都是创新的替代方案,可用于分析复杂的胶质瘤病例,以进行术前计划。此时,VR 优于 AR,因为它建立得更好,平台也更稳定。然而,随着技术的进步,在脑肿瘤的术前计划中,AR 可能会超过 VR。

胶质母细胞瘤(GBM)是成人中最常见的原发性恶性脑肿瘤,标准治疗包括最大安全性手术切除,然后是辅助放疗(RT)和化疗,但手术与辅助治疗开始之间的最佳时间间隔仍不清楚。Buszek 等对 11480 名患者接受全面切除(GTR)和 13608 名患者接受了次全切除或活检(STR)的患者进行研究。发现较低的年龄、女性、黑人种族、甲基化状态、单灶性疾病和治疗开始时间 > 4 周与更好的总生存率 OS 相关,且 RT > 8 周后接受 GTR 的患者存活率较差。

立体定向放射外科(SRS)通常用于未切除的大型脑转移瘤(BrM)患者的确定性治疗,因为它提供了优异的 1 年局部控制率(LC),但由此容易产生放射性坏死(RN)。分次立体定向放射外科(fSRS)是一种治疗选择,旨在降低放射性坏死的发生率并改善这些患者的局部控制率。Lehrer 等对现有的回顾性和前瞻性研究进行了 Meta 分析。发现在接受放射外科治疗的未切除的大型 BrM 患者中,与 SRS 相比, fSRS 与放

射性坏死(RN)的降低相关,并且可能改善 1 年的 LC。Huang 等研究发现,18Gy 的 fSRS 方案(9Gy $\times$ 2)提供了可接受的局部控制,同时症状性放射性坏死率非常低。因此,低剂量、双分割放射外科手术可能适用于体积大,病情较差的患者或接受中枢神经系统穿透全身治疗的患者。

脑血管疾病

急性脑梗塞面积的大小对指导治疗至关重要,然后传统手动勾画梗塞面积的方法不仅耗时,也存在较大的个体间差异。Chang 等利用深度学习的方法,对 1247 例急性脑梗死患者的 DWI 图像进行了梗塞体积分割,结果显示,与手动勾画的体积比,998 例训练组的平均相似系数是 0.679,敏感度是 0.703,特异度为 1。247 例测试组的平均相似系数是 0.626,平均敏感度为 0.648,特异度为 0.999。手动分割与自动分割梗塞面积相比,组内相关系数为训练组 0.938,测试组 0.964。因此,深度学习的方法可以运用于脑梗死体积的全自动分割,从而替代手动分割,及时指导临床治疗、减少不良事件发生。

有研究从疑似卒中入院的 1644 名患者中纳入了随访确诊的 121 名大脑中动脉梗死患者和可用的 NCCT 和 CT 灌注(CTP)数据,使用自动化软件评估 ASPECTS 区域密度,相对 HU(rHU)定义为健侧与对侧区域密度的比率,在 CTP 图上测量梗塞核心。rHU 评分在症状发作时间 TFSO $\leq$ 4.5 h 有明显差异[曲线下面积(AUC)=0.721, $P=0.018$]。此外,该分数能够对符合缺血核心大小 <70 mL 和不匹配区 >1.8 (AUC=0.759, $P<0.001$)的 CTP 选择标准的患者进行分类,在有和没有后续占位性水肿发展的患者之间进行区分(AUC=0.771, $P<0.001$)。因此,NCCT 的 rHU 评分允许对符合溶栓条件的症状发作时间的患者进行分类,并且当前 CTP 成像标准用于延长窗口血栓切除术选择。该评分还确定了患者随后的占位性水肿发展。

Omura 等建立了一种新型的方法(phase ratio map, PR 图),利用 MP-CTA(多期 CTA)图像来评估急性脑梗死(AIS)患者的梗塞核心区,通过比较 23 例脑梗死患者梗塞核心的 PR 图及 MP-CTA 评分发现,PR 图与 MP-CTA 评分在评价梗塞核心面积上是一致的,另外,PR 图能够可视化的显示清晰的梗塞核心区。因此,与传统的 MP-CTA 相比,PR 图能提供更加稳健的信息来诊断 AIS。

DAWN 与 DEFUSE3 指出,入院前大血管闭塞(LVO)性脑梗死发生进展的变异较大。Westerheide 等研究接受血管内血栓切除术的 LVO 性梗塞患者在入院前梗塞进展情况与临床及影像学参数之间的关

系。通过对在 94 名受试者回归分析(年龄、性别、梗塞位置、NIHSS、凝血评分、Alberta 脑卒中早期 CT 评分、软脑膜侧支评分(rLMC)、血压),只有 rLMC 与入院前梗塞进展独立相关($b=-0.31$, $P=0.042$),侧支好的梗塞进展速度为 0.22 mL/min,侧支一般的进展速度为 0.35 mL/min,侧支较差的进展速度为 0.58 mL/min。因此,入院前梗塞进展与侧支情况密切相关,侧支血流可以对进展缓慢和快速的中风患者进行分类。这就使初级医院能在转移患者到手术医院进行取栓前进行梗塞进展的评估,从而决定哪些患者能够进行转移治疗。

Apel 等发现血栓到颈动脉的距离(DT)可影响血管内血栓切除术(EVT)的抉择。162 名患者纳入研究,通过中位数 DT 对研究人群进行二分法,DT $\leq$ 14.0 mm 的患者 NIHSS 评分显著较高,修正的 Rankin 量表(mRS)评分在出院时和 90 d 较差,NCCTASPECTS 评分较差,梗死体积无显著差异。线性回归分析显示仅入院 NIHSS($b=0.229$, $P=0.006$)和 NCCTASPECTS($b=-0.357$, $P<0.001$)与最终梗死体积之间存在显著相关性,仅入院 NIHSS 是出院 mRS($b=0.144$, $P<0.001$)和 90 d mRS($b=0.137$, $P=0.004$)的独立预测因子。因此,对急性卒中 DT 值的综合分析表明,DT 的表现优于现有的影像学结果预测,但对临床结果没有独立的预测价值。

在机械血栓切除术(MT)之前,由于可获得的数据很少,血栓迁移(ThrMi)是治疗急性缺血性卒中(AIS)过程中的一种偶然现象。Cohen 等回顾性分析了 205 例接受 MT(tPA 和非 tPA)治疗的 AIS 患者的临床资料。结果发现 tPA-MT 组中 27 例(20.9%)有 5~10 mm 的中度移位,11 例(8.5%)有超过 10 mm 的远端移位或向另一段移位,9 例(7%)出现自发 TICI 积分 $\geq 2B$ 的再通。MT 组中无 ThrMi 者有 69 例(90.8%),中度 ThrMi 者占 6.6%,血栓扩张为 2.6%,无患者表现为远端移位或再通。两组患者的临床预后(48 小时出血事件、出院时 NIHSS、3 个月时 mRS 和死亡率)相同。tPA-MT 组血栓清除通畅次数为 1.40(± 1.39)次,MT 组为 1.63(± 1.09)次, $P=0.061$ 。因此静脉溶栓似乎促进血栓迁移,与 MT 组 6.6%相比,tPA-MT 组为 36.4%。

基于脑梗死大范围溶栓(eTICI)的再灌注分级,Wolfgang 等利用 Markov 模型评估接受 EVT 治疗患者的质量校正寿命(QALY)以及与其治疗相关的费用情况。研究发现,QALY 随着灌注等级的提高而提高,治疗的相关费用则随着再灌注等级的提高而降低。因此,每提高一个再灌注等级,就会提高患者的 QALY 并且会大幅度的降低医疗费用。

一项多中心随机对照试验,评估机械血栓切除术与静脉组织-纤溶酶原激活剂(IV-tPA)在急性缺血性卒中和近端闭塞患者中的疗效中发现高效的工作流程允许使用 MRI 作为中风患者的筛查工具,不会延误治疗,也不会对临床结果产生负面影响。纳入的 403 例患者(300 例行 MRI 检查,103 例行 CT 检查)从中风发作到成像的时间间隔相似($P=0.23$)。MRI 扫描持续时间较 CT 长($P<0.001$),与成像方案无关(无灌注加权成像或灌注加权成像, $P<0.001$)。从中风发作到 IV-tPA 的时间无明显差异[MRI: 150 min (121~179),CT: 150 min (123~180), $P=0.31$]。因此,在 THRACE 试验中,缺血性卒中急性期患者在血管内治疗后,使用 MRI 与使用 CT 相比,并未延迟治疗或导致功能较差。

Xie 等利用机器学习的方法分析临床及影像学的综合数据,预测急性脑卒中患者的恢复情况。通过分析 520 例颈内动脉及大脑中动脉性脑卒中患者发现,只需运用五个特征:ASPECTS(Alberta 卒中早期 CT 评分)、年龄、大脑中动脉高密度点征、24 h NIHSS 评分、左侧北美症状性颈动脉内膜切除术试验评分, xgboost(极梯度增压机)算法就能够准确的预测 3 个月后的 mRS 分值。GBT(梯度增强树模型)的预测效能则较前者略差。总之,利用住院时得到的诊断信息,机器学习模型就能够准确预测卒中患者 3 个月后的恢复情况;利用筛选后的临床及影像学特征, xgboost 算法则能够达到最好的预测效果。

Iorga 利用 fMRI 神经功能网络研究 60 例右利手的左侧大脑半球梗塞患者,这些患者均接受了三种失语治疗中的一种(句子理解与生成、命名、拼写)。通过比较这些患者治疗前与治疗 3 个月的 fMRI 的 20 个主要的功能神经网络发现,接受了句子理解与生成治疗的患者有 3 个网络活动增加;接受拼写治疗的患者有 4 个网络活动增加;接受命名治疗的患者有 5 个网络活动增加;4 个网络可以区分初始的失语缺陷。总之,以上三种治疗均能引起不同模式的静息态功能网络活跃,因此, fMRI 可以有效的评估脑卒中失语患者的治疗效果。

Lyu 等利用高分辨率血管壁成像(HRMRI)采集血栓的图像数据,进行定量评估和定量的纹理分析,试图找出早期血栓的影像学特征。通过研究 19 个患者的 23 根栓塞血管,其中 4 个血栓为早期血栓,19 个是晚期到慢性期血栓。早期血栓与晚期到慢性期血栓的信号强度定量分析无显著差异。然而,二者关系的纹理分析存在显著差异,二者关联的 AUC 值为 0.908 ($P<0.001$)。阈值 ≤ 0.330 时敏感度为 100%,特异度为 78.95%。因此,纹理分析可能是辨别缺血性脑

梗死患者早期血栓的一个有效的影像学标志。

Zhang 等对 32 例动脉粥样硬化患者进行回顾性研究,并进行颅内动脉 HRMRI 检查,包括 3D T₁WI, 反转恢复(IR)序列。对大脑中动脉斑块的形态、分布、强化、狭窄程度及重建指数(阳性重建)进行分析。在 32 例急性脑梗死患者中,21 例为多发性急性脑梗死,11 例为单发急性脑梗死。在多发性急性脑梗死中,边缘区梗死最常见(16, 76.2%),其中 12 个位于腹侧壁(75.0%)。11 例单发急性脑梗死均为皮质下深穿支动脉梗死(100%),其中 7 个(63.6%)位于上壁。30 例患者的斑块是偏心性的(93.8%)。单发和多发性脑梗死患者的临床资料和实验室检查结果无显著性差异($P>0.05$)。多发性脑梗死组位于腹侧壁斑块的比例、斑块的明显强化、PR 重建方式及管腔狭窄程度均明显高于单发性脑梗死组($P<0.05$)。

Liu 等用 HRMR 评价大脑中动脉斑块特征在半暗带面积阳性与阴性之间的差异,并探讨影响半暗带体积的危险因素。其中单侧大脑中动脉重度狭窄 67 例。将患者分为阳性半暗带组(PP 组)和阴性半暗带组(NP 组)。在 T₁-SPACE 上测量 MCA 的斑块特征,并在 T₁-SPACE 上对狭窄的 MCA 计算斑块特征:血管外壁面积(OWA)、管腔面积(LA)和管壁面积(WA)。其他扩展参数包括标准化的室壁指数(NWI)、动脉重构、斑块长度、形态和增强形式。用灌注扩散(rapid processing and diffusion system, RAPID)软件进行快速处理,获得 Mismatch 容积。结果表明,PP 组有 10 个(37.04%)、NP 组有 32 个(80.00%)出现偏心性斑块,两组有显著性差异($\chi^2=12.72$, $P<0.001$)。两组在 WA($P=0.761$)、NWI($P=0.572$)、扩张性重构($P=0.427$)、弥散斑块分布($P=0.370$)和强化($P=0.262$)方面无显著差异。PP 组弥散斑块长度较局限性斑块体积更大($Z=-2.754$, $P=0.005$)。说明大脑中动脉伴有偏心性斑块是预测半暗带存在的重要标志。对于半暗带阳性的患者,斑块长度弥散的斑块提示半暗带体积较大,需及时治疗。

Yang 等利用磁共振黑血血栓成像技术对急性脑静脉窦血栓(CVST)患者的治疗效果进行定量评估。研究数据集包括 34 名被诊断为 CVST 的患者,其中 19 名接受血管内治疗的患者作为实验组,另外 15 名接受抗凝治疗的患者作为对照组。所有患者均接受了 MRBTI 和 MRV 检查,其血栓体积由 BTI 图像获取,同时记录了每名患者的静脉收缩、再通程度和改良的 Rankin 量表评分。结果显示,血管内治疗组和抗凝治疗组血栓体积在治疗前后分别减小了(7509 ± 4660) mm³和(3782 ± 2269) mm³ ($P<0.01$),血管内治疗组的再通程度由于抗凝治疗组($P<0.01$)。综

上,MRBTI 技术可以用于定量评估 CVST 患者血管内治疗的效果,且该成像技术可用于跟踪和判断 CVST 患者的预后效果。

神经变性性疾病

1. 阿尔茨海默症(Alzheimer's disease, AD)

AD 仍然是研究的热点。主要的研究方向为探索 AD 与脑小血管病的关系。脑小血管病的 MRI 特征包括脑白质高信号、腔隙性梗塞、脑微出血、脑萎缩和扩大的血管周围间隙。以往研究表明脑小血管病与 AD 存在协同效应。有研究者通过对 AD 患者、轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)患者和健康对照者进行认知功能评估和 SWI 检查,分析上述脑小血管病的影像征象的差异。该研究发现,在基底节层面,AD 病例扩大的血管周围间隙评分(2.08 ± 0.77)高于 MCI 病例(1.29 ± 0.46)和健康对照(1.09 ± 0.29)($P < 0.01$);而 MCI 病例与健康对照者之间没有显著性差异($P > 0.05$)。在半卵圆中心层面,AD(2.87 ± 0.79)和 MCI(2.112 ± 0.53)病例扩大的血管周围间隙评分显著高于对照组(1.36 ± 0.49)($P < 0.01$)。脑微出血在三组间没有显著性差异($P > 0.05$)。AD 病例的侧脑室周围脑白质高信号和深部脑白质高信号显著高于对照组($P < 0.05$)。AD 患者的侧脑室周围脑白质高信号显著高于 MCI 患者($P < 0.01$)。腔隙性梗塞在 AD 患者中最常见,MCI 患者次之。由此可见,脑小血管病在 AD 患者中比在 MCI 患者中更常见。同时,扩大的血管周围间隙和脑白质高信号对认知功能有影响。

基础研究提示脑微出血灶与 AD 的发生发展有密切的联系。有研究者通过对 AD 患者、MCI 患者和健康对照者进行 PiB-PET 和 3T SWI 检查,分析脑微出血灶与 AD 的病理标志物之间的关系。该研究发现,当校正了性别、年龄、教育程度、脑血管危险因素和临床诊断后,脑微出血仍与全脑($P < 0.001$)和局部脑区($P = 0.01$)的晚期 PiB 摄取直接相关,并与早期 PiB 摄取($P = 0.04$)呈负相关。在 MCI 患者中,伴微出血的病例较不伴微出血的病例,有更高的血流灌注($P = 0.001$)和代谢($P = 0.03$)。而 AD 患者中,伴微出血的病例较不伴微出血的病例,有较低的血流灌注($P = 0.03$)但代谢率没有显著差异。另外,脑微出血也削弱了灌注与代谢之间的联系($R^2 = 0.2$ vs $R^2 = 0.49$)。因此,脑微出血与 AD 的多种病理学标志物存在显著关联。脑微出血可能通过影响脑血流灌注与代谢加速 AD 的病程进展。

CEST MRI 技术对固体样蛋白敏感,可检测组织中移动的蛋白和多肽,但目前尚无对胺、羟基质子等物质 Z 谱的研究。Choi 等利用 CEST 技术对痴呆患者

化学交换质子库的特征进行评估。本研究包括 19 名痴呆患者和 22 名非痴呆受试者。在 3T 磁共振下使用 3D TSE 序列对受试者-5.00 到 5.00 ppm 频率偏移范围内(频率间隔为 0.25 ppm)共 38 个完整的动态 Z 谱进行测量。本研究利用基于酰胺、胺、羟基、直接含水饱和度、核溢流效应以及磁化转移的六库模型的洛伦兹拟合对质子的交换进行评估,分别在 1.00、3.00 和 3.50 ppm 的频率偏移参数下计算了基于体素的 MTR_{asym} 图,并利用双样本 t 检验对其进行了组间比较。结果显示,酰胺在两组间没有显著差异,而前扣带回、海马、海马旁回和脑桥处的胺含量存在显著的组间差异。另外,前扣带回、海马和壳核处的 MTR_{asym} 值在 3.00 ppm 和 3.50 ppm 参数下具有显著的组间差异。痴呆患者中胺和 MTR_{asym} 值的增加可能与蛋白质、神经递质或代谢物的增加有关。与淀粉样蛋白 PET 相比,CEST 磁共振技术具有无辐射和高分辨率的优点,可用于痴呆患者脑部变化的研究。

2. 帕金森氏病(PD)

PD 是一种神经退行性疾病,其发病率呈增加趋势,但目前基于 MRI 的诊断或通过成像生物标记物监测的可用性有限。多巴胺转运蛋白成像如¹⁸F-FP-CIT PET(CIT PET)可以用来评估突触前多巴胺能功能,但其实用性及费用限制了其使用。Yu 等试图比较 nigrosonome-1 磁敏度图加权成像(SMWI)与 0.8 mm 各向同性 NMI 成像预测突触前多巴胺能的功能。共 79 名接受 MRI 和 CIT PET 扫描的帕金森病患者。帕金森病 54 例和药物诱发的帕金森综合征 25 例。对于每个黑质分析,NMI 显示出 86.8%的敏感度和 88.5%的特异度(AUC=0.896),SMWI 表现出 89.6%的敏感性和 75.0%的特异度(AUC=0.846),两者无显著差异。对于每个参与者分析,NMI 显示出 96.3%的敏感度和 92.0%的特异度;SMWI 显示出 92.6%的敏感度和 72.0%的特异度,两者无显著差异。因此,预测突触前多巴胺能功能方面,SMWI 和高空间分辨力 NMI 具有可比性,都可以作为进一步评估患者多巴胺转运蛋白功能的影像筛查工具。

MR 指纹识别是最近开发的定量 MR 采集和后处理技术,可能具有显著缩短 MR 成像序列时间和用 T₁ 和 T₂ 时间特异性检测 PD 的潜力。25 名 PD 患者和 25 名健康对照(HC)纳入研究。PD 患者和 HC 在年龄、性别和 MMST 评分方面没有显著差异。MRF-qT1 图发现 PD 患者与 HC 间存在显著差异:灰质[PD (1408.6 ± 42.7) ms vs HC (1435.9 ± 39.3) ms, $P = 0.02$];白质[PD (1053.9 ± 45.1) ms vs HC (1010.8 ± 65.8) ms, $P = 0.01$];左侧杏仁核[MP (1517.9 ± 81.3) ms vs HC (1579.7 ± 95.7) ms, $P =$

0.02];右杏仁核[PD (1523.1 ± 111.6) ms vs HC (1601.7 ± 87.8) ms, $P = 0.01$]。说明基于 MR 指纹的 T1 成像似乎是识别 PD 患者的有前途的工具。PD 异常区域包括白质和杏仁核,表明 PD 在全脑范围内影响大脑而不局限于基底神经节。

早期 PD 由快速眼动睡眠行为障碍(RBD)发展而来,该疾病先前已被报道为 PD 的前驱状态。Takahashi 等研究了黑质致密部(SNpc)中多巴胺神经元变化与 MRI 在评估 PD 发展早期阶段的效用。18 名早期 PD 患者(PD 组),13 名 RBD 患者(RBD 组)和 20 名年龄匹配的健康对照组(HC 组)接受神经黑色素成像和扩散张量成像(DTI)的 3T 磁共振检查,RBD 组和 PD 组的神经黑色素面积显著减少,MD 值显著高于 HC 组($P < 0.05$),而两组间 FA 值没有显著差异。神经黑色素面积与 MD 值存在中度相关性($|r| = 0.47$)。神经黑色素面积/MD 值的 ROC 曲线下各区域对于 RBD 为 0.76/0.79,对于早期 PD 为 0.80/0.80。Logit(p)的 ROC 曲线下与神经黑色素面积和 MD 值相关的各个区域对于 RBD 为 0.81,对于早期 PD 为 0.85。说明使用神经黑色素和 MD 值量化 SNpc 中的连续多巴胺神经元变化可能是评估 PD 早期阶段的有用技术。该团队继续研究了 PD 发展早期阶段获得测量多巴胺能黑质纹状体系统扩散率连续变化的临床应用。对上述研究对象行 3T MR DTI 和 3D T₁WI 成像。在 SNpc 中,RBD 和 PD 组的 MD 值显著高于 HC 组($P < 0.05$),而 FA 值没有显著差异。在壳核中,PD 组的 MD 值显著高于 HC 和 RBD 组,RBD 组的 FA 值显著高于 HC 组,PD 组显著低于 RBD 组($P < 0.05$)。说明测量 SNpc 中多巴胺神经元的扩散率可以区分健康受试者、RBD 和早期 PD 患者。同时,测量壳核中多巴胺神经元中的扩散性可能不仅可用于区分 RBD 早期 PD 患者与健康受试者,还可用于评估 RBD 向早期 PD 的进展。

Zhang 等回顾性评估 MRI 自动及手动测量中脑、脑桥、小脑、第三脑室、壳核的体积,以研究帕金森综合征的不同萎缩模式,并区分进行性核上性麻痹(PSP)、PD 和多系统萎缩(MSA)。56 例 PSP 患者,69 例 PD,15 例 MSA 和 50 例健康对照被纳入研究。MSA 中的脑桥体积比小于 PD 和对照组。PSP 中脑体积比小于 PD。诊断 PSP 的最合适的临界值为:中脑脑桥短轴比(M/P)为 0.57(特异度为 86.57%,敏感度为 76.54%)和 10.81 的 MRPI(特异度为 82.84%,敏感度为 78.57%)。因此手动和自动脑测量相结合的方法可以找出在帕金森综合征中呈现的不同的脑萎缩特征,有助于区分 PSP 与其他帕金森病退行性疾病。

3. 脑白质病

该领域的研究重点仍然是多发性硬化(multiple sclerosis,MS)和脑小血管病。单纯依据临床症状和神经影像有时难以鉴别多发性硬化与脑小血管病。有研究者通过统计与机器学习算法(包括一种结合 t-分布和探试算法的新算法)建立基于临床-神经影像的多发性硬化与脑小血管病的预测模型。该预测模型鉴别复发-缓解型多发性硬化和脑小血管病具有 95% 的敏感度和 99% 的特异度。该研究建立了基于机器学习新算法的预测模型,远期应加入更多的指标以提高对多发性硬化与脑小血管病的预测效能。

脑白质高信号是脑小血管病的影像标志物之一。它可能与认知损害有密切的关系,但其机制不明。有研究者通过对老年人进行 PiB-PET,¹¹C-PK11195-PET 和 MR 检查分析神经炎症与淀粉样物质沉积是否与脑白质高信号相关。研究结果显示,脑白质内的¹¹C-PK11195 摄取率与脑白质高信号体积具有线性相关性($R = 0.54$, $P = 0.022$),提示脑白质内存在神经炎症。而淀粉样物质沉积与脑白质高信号体积无显著相关性($P = 0.067$)。该研究结果表明,神经炎症可能是脑血管病与血管性认知障碍的潜在病理机制,而淀粉样物质沉积可能与脑白质高信号没有关联。

癫痫

内侧颞叶硬化(medial temporal sclerosis,MTS)是成人可手术治疗癫痫的常见原因。大部分 MTS 可在 MRI 上显示,但仍有部分无法在 MRI 上显示。Richard 等使用卷积神经网络的深度学习来检测 MRI 中的 MTS。纳入 88 名正常对照和 119 名临床及 EEG 诊断一致的 MTS 患者,回顾性地获取其匿名的 T₁ 容积图像。在 MTS 患者中,39 例在 MRI 上诊断为无 MTS,80 例诊断为 MTS。将研究对象分为训练(173)、验证(17)和测试组(17)。对图像进行偏差校正,并使用 FSL(Analysis Group, FMRIB, Oxford, UK)对海马进行分割。使用海马分割来构建每个海马周围的边界框用于模型训练。使用 Tensor Flow,在 VGG 架构之后构建 3D 卷积神经网络并训练以预测正常与 MTS,并且定位每个海马周围的边界框。在培训期间,验证集上最大符合率为 100%。使用该时期的模型权重,在测试集上符合率可达 88%,敏感度为 89%,特异度为 88%,而医师诊断的敏感度为 67%。

海马内部结构(HIA)清晰度的不对称性被认为是海马硬化(HS)的标志。Zhang 等纳入 39 名 MTLE 患者,分别进行 3T 和 7T MRI 扫描,利用视觉评分系统对 HIA 进行半定量评估。发现在 3T MRI($P = 0.0166$)及 7T MRI($P = 0.0014$)中,致病灶同侧海马的 HIA 评分均低于对侧。7T MRI 中双侧海马的 HIA 评分均高于 3T MRI(对侧 $P < 0.0001$,同侧 $P =$

0.0002), 3T MRI 及 7T MRI 的 HIA 不对称评分均是致痫灶定侧的有力预测因子(3T MRI: $B=1.504$, $P=0.033$; 7T MRI: $B=1.705$, $P=0.019$)。但在 3T MRI 及 7T MRI 中, 术后无癫痫发作(ILAE 1)患者的 HIA 不对称评分与术后持续癫痫发作(ILAE 2-5)的患者相比无显著差异。

夜间额叶癫痫(NFLE)是一种主要发生在睡眠期间, 以肢体剧烈运动或强直-失张力姿势为特征的局灶性癫痫。 γ -氨基丁酸(GABA)和谷氨酸是分别与 NFLE 的病理生理学有关的主要抑制性神经递质及兴奋性神经递质。Wang 等用 MRS 测量双侧背外侧前额叶皮层(DLPFC)区域的 GABA 和 Glx 水平。发现与对照组相比, 右侧 DLPFC 区域的全局水平在 NFLE 中更高($P=0.020$)。本研究未发现任何 GABA 水平的改变。NFLE 患者的疾病持续时间与右侧 DLPFC Glx 水平显著正相关($R^2=0.514$, $P=0.05$)。在以复杂运动行为为特征的癫痫患者中, 癫痫发作区域可能涉及 DLPFC。与本研究一致, 特发性全面性癫痫患者 Glx 升高, 可能提示神经元兴奋性增加。NFLE 患者的疾病持续时间与右侧 DLPFC Glx 水平显著正相关, 提示较长的疾病持续时间可能是由过度兴奋所致。这些发现是根据 NFLE 的病理生理学模型来解释的, 其中右侧 DLPFC 中的兴奋性神经递质丰富可导致过度兴奋, 并且可能导致与癫痫发作相关的神经元功能障碍。

扩散张量纤维束成像(DTT)作为颞叶癫痫(TLE)的预测模型, 并分析其与术后结果的关系。Alizadeh 等纳入 19 名行开颅前颞叶切除术(ATL)或选择性激光杏仁核海马切除术(SLAH)的 TLE 患者。使用基于纤维定向分布(FOD)的确定性纤维追踪产生 68 个白质区的纤维束密度成像(TDI), 并且在手术治疗有效组($n=10$)与无效组($n=9$)之间进行比较。结果发现手术无效组的五个白质区域的纤维束密度显著增加, 包括同侧舌回($P=0.04$)、同侧颞极($P=0.007$)、同侧眶顶($P=0.03$)、同侧顶下小叶($P=0.04$)和对侧额极($P=0.04$)。说明同侧半球纤维束密度显著减少可能由硬化性疾病的病理过程所致, 例如 TLE 患者的同侧颞极, 亦可能由邻近结构的疾病过程/破坏累及。

Lee 等利用 ASL-PWI 评估癫痫发作后与时间相关的灌注变化, 并评估了 ASL-PWI 在癫痫患者中的作用。61 名疑似癫痫发作的患者进行了 ASL-PWI 和 EEG 检查。回顾性分析并记录患者癫痫发作和 MRI 检查的时间间隔、癫痫发作症状和疑似病因。癫痫发作与 ASL-PWI 之间的时间间隔为 $0.5\sim 121.5$ h(平均 31.6 h)。5 例患者(8.2%) 在 6 h 内进行 MRI, 9 例

(14.8%) 为 $6\sim 12$ h, 27 例(29.5%) 为 $6\sim 24$ h, 29 例(47.5%) 超过 24 h。时间间隔与位置一致性之间存在负相关。在单次癫痫发作组中, 第一次低灌注是 13 h, 最后一次高灌注是 26 h。延迟性高灌注(>24 h)似乎与多次癫痫发作有关。在常规 MRI 显示正常的患者中, 56.8%(21/37) 的 ASL-PWI 显示异常。在常规 MRI 显示异常的患者中, 29.1%(7/24) 显示病灶周围灌注改变。说明癫痫发作后的 ASL-PWI 结果虽然具有时间依赖性, 但由于在许多癫痫患者中观察到 ASL-PWI 的异常灌注结果, 因此推荐在癫痫常规扫描方案中加行 ASL-PWI 扫描。

既往较多研究显示海马硬化型内侧颞叶癫痫(MTLE-HS)患者左右侧大脑半球结构或功能改变不完全一致, 即致痫灶同侧半球改变较对侧更明显。但 MTLE-HS 患者白质微结构不对称性改变的特点尚未完全明确。因此, Zhao 等对 MTLE-HS 患者双侧大脑半球白质微结构的不对称性进行分析。搜集 25 例 MTLE-HS 患者(左侧 13 例, 右侧 12 例) 及 26 例正常志愿者的扩散张量成像(DTI)数据。发现 HC 组双侧半球白质纤维束存在广泛不对称的区域, LMTLE-HS 组、RMTLE-HS 组与 HC 组相比, 其不对称区域明显缩小, 穹窿、扣带束、钩束、上纵束、上额枕束的不对称性消失。LMTLE-HS 组与 HC 组的 AI 无显著差异, RMTLE-HS 组与 LMTLE-HS 或 HC 组相比部分纤维束存在显著差异。三组之间不对称性的差异可能有助于对左侧与右侧 MTLE-HS 进行鉴别, 因此可能有助于对致痫灶进行定侧。

在难治性癫痫中, 癫痫组织的手术切除可以显著改善癫痫控制。准确识别癫痫发作区域对于手术计划以及术后预后至关重要。iEEG 是目前癫痫发作区域定位的黄金标准, 是侵入性的, 只能提供局部评估。因此 Michael 等研究了休息状态 fMRI 对全脑网络架构的系统评估是否可用于癫痫发作定位。15 名患者纳入研究, 其中癫痫发作被确定为 5 个右额叶、3 个左额叶、3 个右颞叶和 4 个左颞叶。留一法分类符合率为 14/15(93%)。具有最大辨别力的解剖区域分布在整个大脑中, 与局灶性癫痫与全局网络异常相关的观点一致, 本研究说明从静息状态 fMRI 获得的区域内连接性与癫痫发作区的临床诊断密切相关。

儿科

体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)可评价胎儿脑水扩散率和灌注的年龄相关的正常变化。Xiao 等对未使用镇静的健康孕妇扫描了妊娠 25~39 周的 79 个正常单胎胎儿。结果发现不同右脑区的纯扩散系数(D)和灌注分数(f)有显著差异。幕上深部白质区域的平均 D 值高于其他区域($P<0.0001$), 大

脑半球(CH),基底节区(BGR),丘脑(TH)和脑桥中孕龄 GA 和纯扩散系数 D 值之间存在显著的负相关,幕上区域的 D 值在第 29 个 GA 之前逐渐增加而后减少。脑桥中的 f 值与 GA 呈正相关。其他大脑区域的 f 值在 32~36 GA 时更高。这些结果表明 IVIM-DWI 参数在评估胎儿大脑发育方面具有重要的应用前景。

最近出现了使用静息状态功能 MRI(rs-fMRI)成像研究早期的脑功能发育。然而,脑功能发育是否可以嵌入高维连接组空间还不清楚,Zhang 等探索了发育功能连接组的大规模神经机制。从具有大样本量的纵向 rs-fMRI 数据集为每个婴儿建立全脑区域功能连接组(新生儿到 2 岁在自然睡眠状态,≤6 岁的受试者被动接受电影观看)。发育梯度显示出主要的模块间连接,功能枢纽区位于听觉和空间注意相关区域以及丘脑中。与状态相关的梯度显示了视觉、默认模式和执行控制网络中的突出连接,功能枢纽区位于高阶认知功能相关区域中。这是首次研究 0~6 岁脑发育的功能连接组研究。通过检测这两个梯度,并且突出显示对这个快速、动态发展的发育阶段最重要的区域和链接,可揭示最初几年的大脑功能变化。

中枢听觉系统的发育在生命的最初几年具有敏感期。Wang 等表征了早期敏感期内双侧严重至深度感音神经性聋(SNHL)婴儿的全脑结构和功能连接变化模式。SNHL 婴儿表现出明显和广泛的 WM 异常,包括皮质-皮质白质纤维束(上纵束 SLF、下纵束 ILF、钩束 UF 和下额枕束),远离皮层的白质纤维束(皮质脊髓束、外囊、放射冠以及丘脑辐射)和半球间连接胼胝体。此外,SNHL 婴儿在左侧 A1 与右侧岛叶和右侧颞上回,右侧 A1 与右侧颞上回之间表现出增强的功能连接。为支持听力丧失引起的断开假设提供了新的证据,揭示了在早期敏感期,先天性重度至深度 SNHL 婴儿的早期脑重组和代偿性激活变化的特征。

Zhu 等使用 10 名受试者的婴儿 MR 脑图像提出了一种用于 HC 子区域分割的新型深度神经网络。该方法可用于研究神经退行性疾病。人类大脑的高阶功能依赖于跨功能专业化脑网络信息的有效整合,Golriz 等研究了儿童癫痫大脑中的言语智能与语言网络结构之间的关系。结果发现聚类系数、全局效率、传递性、模块性和路径长度都显示出与言语理解指数独立相关。聚类系数是言语理解指数的最强预测指标。因此局灶性癫痫患儿构建的语言网络拓扑结构与脑功能的核心方面有关。

脑萎缩(解剖学成像)和结构损伤(扩散成像)通常用于量化多发性硬化症(MS)中的神经变性及其对神经认知障碍的影响。然而,很少有研究调查儿科起病 MS(POMS)患者的这种关系。Sindhuja 等研究了儿

科起病 MS 患者的萎缩和扩散度变化,并将其与认知障碍相关联。与 HC 相比,POMS 显示总 WM、丘脑(Thal)、尾状核(Put)和乳头体(Pall)体积减少。仅在 POMS 组中,发现 Put 和 Thal 体积与 SDMT($P < 0.01$)、海马体积与 RAVLT($P < 0.05$)、总 GM 和 Put 体积与 WRAT($P < 0.05$)之间存在显著关联。与对照组相比,POMS 中的 MD 值普遍增加。胼胝体、L/R 放射冠上部和后部、L/R 上纵束的 MD 值增加与 SDMT(处理速度)负相关,与 CogState(处理时间)呈正相关($P < 0.05$,校正)。MD 与其他神经心理学评分无显著相关性。因此,在轻度残疾 POMS 队列中,处理速度损伤与深部灰质结构体积减少和 MD 增加相关,分别代表组织损失和结构损伤。

Payabvash 等前瞻性招募感觉处理障碍(sensory processing disorder,SPD)患者(8~12 岁)。结果发现,SPD 患儿在胼胝体压部、放射冠后部、后丘脑辐射和毯部具有较低的连接组边缘密度 ED 和概率性纤维密度 TD,压部的平均 TD 是区分 SPD 与正常儿童的唯一变量。在不同的机器学习模型中,使用 ED 的随机森林算法对识别 SPD 效果最佳。Paldino 等选择了 17 对年龄匹配的自闭症-对照兄弟姐妹。结果发现在这组小儿自闭症患者中,皮质厚度和脑网络模块化是自闭症患者与正常受试者间的重要鉴别因素,脑成像可用于在症候群出现之前诊断自闭症。

Kralik 等采用单指数、双指数和拉伸指数扩散加权成像(DWI)来区分低级别和高级别的儿科脑肿瘤。发现多个 b 值 DWI 获得的双指数和拉伸指数扩散参数可能优于 ADC 鉴别低级和高级别小儿脑肿瘤。Wang 等研究了 ADC 直方图是否能够预测成神经管细胞瘤的新亚组,结果发现 ADC 的直方图分析可为儿童成神经管细胞瘤的分子亚群提供可靠的客观依据。

造血骨髓增生和过度灌注是镰状细胞贫血(SCA)的代偿机制。骨髓移植(BMT)后 SCA 中骨髓扩散和 ASL 灌注值的变化,可能代表有利治疗反应的生物标志物。Whitehead 等在 BMT 输血前和之后比较 SCA 患者的 ASL 灌注和骨髓扩散/ADC 值。与输血患者相比,蝶窦翼和枕骨后的 ADC 值显著增加,全脑平均 CBF 在 BMT 后早期显著下降,此后没有显著变化。干预前 BMT 和输血组之间的平均 CBF 无显著差异,因此,BMT 可改善 SCA 患儿的 CBF 和骨髓扩散。

Qin 等研究了 51 例新生儿科的可疑颅内高压患者。所有患者接受了 MRI 检查和经腰椎穿刺测量脑脊液压力。结果发现,白质或灰质的体积与颅内压之间没有显著相关性。CSF 与颅内容积的比例与颅内压呈显著负相关。颅内压正常组 CSF 与颅内容积的比例与颅内高压组有显著差异。两组间基底神经节

T_2 值有显著差异。颅内高压患者基底神经节区 T_2 值显著增加,提示颅内高压引起的脑血管病最常见于基底神经节区域,该研究还证明 MRI T_1 MP2RAGE 和 T_2 MAP 是无创且方便的,可为新生儿颅内高压的诊断和治疗提供有力的帮助。

神经影像学已经证实了先天性心脏病(CHD)患儿的结构和功能异常。然而,很少有研究关注静息状态下自发波动的区域强度以及异常性质临床变量与神经认知表现之间的关系。Liu 等采用低频振幅波动(ALFF)探讨修复法洛四联症(TOF)对儿童自发性低频脑活动的影响。与正常对照相比,修复 TOF 的儿童双侧小脑、左侧枕叶、左侧枕叶皮质、左侧内侧前额叶皮质(MPFC)及左后扣带(PCC)的 ALFF 显著降低,在修复手术后患有 CHD 的儿童常常伴有神经发育障碍,包括认知、言语、行为和执行控制功能障碍,并发现 Wechsler 量表评分与 ALFF 变化系数具有相关性,这可能为神经发育障碍提供有力的新见解。

Kim 等研究发现青少年足球运动员的白质纵向应变与非接触性运动控制运动员不同,足球运动员胼胝体部和压部右侧存在更大的轴向应变(收缩)。与足球运动员相比,对照组中胼胝体压部有更大的径向应变(扩张)白质束特异的应变,可以反映与头部重复次级震荡撞击暴露相关的变化。与非接触性运动控制组相比,重复运动相关的头部撞击会改变青少年足球运动员的默认模式网络(DMN)连接强度,主要包括右中/上颞叶皮质和右角回、左中颞和左角回、右上/中额回、左中/上回和左前扣带皮层,反映了具有重复运动相关的非脑震荡头部撞击暴露的青少年运动员相关功能的中断。

神经突起方向弥散与密度成像(neurite orientation dispersion and density imaging, NODDI)是一种基于磁共振扩散成像技术的新兴成像方法,可评估神经突密度和方向离散度对微观结构变化的意义,反映脑组织中不同组织的信息,Li 等探索了 NODDI 在胶质瘤分级和细胞增殖评估中的表现。实验共纳入 80 名确诊为胶质瘤的患者,并对所有患者进行 NODDI 和 DWI 扫描。通过计算得到相应的细胞内体积分数(ficvf)、各向同性体积分数(fiso)和方向分散指数(odi),利用对侧正常白质数据对其进行标准化,并与 Ki-67 的表达进行相关性分析。结果显示,以上三个参数在低级别和高级别胶质瘤间、Ⅱ级和Ⅲ级之间具有显著差异($P < 0.001$),ficvf 在Ⅲ级和Ⅳ级间也具有显著差异($P = 0.004$)。另外 Ki-67 与 ficvf 和 odi 呈正相关($r = 0.758/0.616$),而与 fiso 和 ADC 呈负相关($r = -0.523/-0.703$)。说明 NODDI 可以有效对胶质瘤进行分级,且在预测 Ki-67 表达方面也具有巨大

潜力。

脑功能

Adora 等利用互连分析(MCA)计算框架构建了一个亲和度矩阵,用以表征静息态功能磁共振(rsfMRI)中每对体素信号间的非线性可预测性。MCA 的目标是基于两个时间序列相互预测来确定其动态耦合度。本研究中采用广义径向基函数神经网络作为非线性时间序列的预测器,得到的亲和度矩阵分别使用 Louvain(LM)、凝聚聚类(AC)和邻近地形图(TMP)方法进行非度量聚类。实验将该方法应用于四名受试者的 rsfMRI 数据,并同时采集手指敲击运动刺激任务的功能影响。静息态数据在经过头动校正等预处理后,计算得到分割网络,并将其与来自运动任务的定位进行比较,以定量评估网络分割相对实际运动激活的运动皮层的准确度。结果显示,三种方法计算得到的双侧运动皮层和辅助运动区的重合系数分别为 0.57(LM)、0.50(AC)和 0.60(TMP),AUC 值分别为 0.79(LM)、0.86(AC)和 0.85(TMP),且采用各方法的分割表现不存在显著差异。以上结果说明,使用非线性 MCA 方法得到的亲和度矩阵可以从 rsfMRI 数据中获取有效的功能网络结构信息,利用该信息可以对到大脑进行功能分割。

胶质瘤弥散性侵入大脑可能导致脑功能连接受到影响,Sophia 等提出了一种全新的功能连接检测方法,旨在建立该生物标记物与肿瘤侵袭性(如 WHO 分级、IDH 突变状态以及临床参数,尤其包括神经认知表现和总体存活率)间的关系。本研究纳入了 34 名原发性神经胶质瘤患者,采用 3T 磁共振设备分别采集了患者的 rsfMRI 和 3D 结构像数据,并利用蒙特利尔认知测试对患者的神经认知状态进行了评估。本研究定义了一种评估患者与正常人间出现的功能连接异常度,对于个体患者大脑的每个体素可以计算得到一个异常分数(AS),并与患者的年龄、肿瘤体积和数据的信噪比进行了相关性分析。结果显示,AS 与 WHO 分级显著相关,IDH 野生型胶质瘤患者的 AS 显著增加,神经认知表现和 AS 显著相关,且在受损脑半球中最为明显。本研究全新提出的 AS 功能连接评估方法可应用于个体受试者,该方法在获取信息方面具有优于传统结构 MRI 的潜力。

Pasquini 等对左脑肿瘤侵入 Broca 区患者的皮层形态和 fMRI 与非优势半球语言激活的相关性进行了回顾性研究,目的在于检验肿瘤诱发的语言功能重组是否会伴随着皮层的增厚。受试者的招募标准为:右利手、左侧肿瘤侵入 Broca 区、可采集 fMRI、无手术伪影。研究使用基于体素的形态测量(FSL-VBM)工具对结构数据进行测量已得到皮质的厚度(或体积),并

进行组间比较。结果显示,非典型语言患者右侧 Broca 区出现皮质增厚($P < 0.05$),右侧海马灰质出现体积增加($P < 0.05$),SMA 和右侧导叶灰质体积增加($P < 0.05$)。在成人脑中,结构可塑性是由位于脑室周围和海马周围(PGZ)的干细胞所驱动,右侧语言重组患者 PGZ 体积增加可能导致 fMRI 激活的代偿性增加,与 PGZ 干细胞的介导有关。

Matthew 等研究了初级听觉皮层(A1)实时功能磁共振成像神经反馈训练(fMRI-NFT)对量化脑灌注(CBF)的影响。实验中 18 名听力受损的受试者共进行 5 次实验。第一阶段使用 3D 伪连续动脉自旋标记序列对静息态 CBF 进行基线测量,接下来 fMRI-NFT 利用白噪声执行一个没有听觉刺激的任务序列,然后进行两次神经反馈,要求受试者在连续白噪声存在的条件下放松并降低 A1 区域的活动;第二、三、四阶段只进行 fMRI-NFT;第五阶段测量最终 fMRI-NFT 的 CBF 数据。对照组包含 8 名受试者执行相同任务,从每个 fMRI-NFT 实验中提取目标 ROI 中的平均失活作为 A1 自调节性能的代表性度量。重复测量 ANOVA 揭示了训练对 A1 自主调节能力产生了显著影响($P = 0.0175$),分析表明左侧颞叶、双侧顶叶和双侧额回出现 CBF 增加。本研究首次观察到了 fMRI-NFT 使静息态 CBF 产生了变化,并指出 fMRI-NFT 可能会改变静息态的代谢率,这在治疗诸如慢性耳鸣的神经系统疾病中有着重要意义。

Xu 等利用 rsfMRI 的多中心性(DC)参数对 20 名重度吸烟者、12 名轻度吸烟者和 70 名非吸烟者(年龄 20~55 岁)进行对比,采用 fagerstrom 测试对尼古丁依赖性(FTND)进行测试。rsfMRI 参数经过预处理和双样本 t 检验对组间 DC 进行比较。结果显示,重度吸烟者的额叶、脑桥、左侧后扣带和左侧脑干出现 DC 值降低,而在梭状回和颞叶出现 DC 值增加。而轻度吸烟者的右侧上枕叶、左侧颞上回和右侧角回出现 DC 值显著降低。说明 DC 作为新型 rsfMRI 参数可能成为研究重度吸烟者病理和神经心理状态的一种有效替代方法。

Gurang 等利用 Philips 3T MR 对 28 名脑肿瘤患者的影像数据进行采集,包括闭眼状态下的 rsfMRI 序列和运动语言任务序列。数据使用 DynaSuite Neuro 软件进行分析并生成运动语言任务激活图,同时使用 FastICA 计算得到静息态功能网络分布图,对受试者的运动语言任务激活图和静息态独立成分分析(ICA)图进行空间重叠比较,得到两者的空间相似度 Dice 系数。结果显示,运动任务激活图与静息态网络分布图较高(0.73 ± 0.14),静息态语言 ICA 网络与动词任务激活也具有较高的空间重叠(0.83 ± 0.17)。结

果说明静息态 ICA 网络图与任务激活图具有较好的空间重叠性,可用于运动语言中枢的术前定位。

Mehmet 等提出了一种基于迭代的皮层分割方法,联合 T_1 、fMRI 和 Destrieux 皮层分割图谱作为输入数据,迭代由矢量场 $F(\mathbf{r}_{ij})$ 驱动,且垂直于 P_i 和 P_j 边界,其余位置为零。图像使用 FreeSurfer 和 FSL 联合配准并进行分割。研究中对 5 名正常受试者测试了该算法,初始平均分割系数由 0.43 ± 0.04 增加至 0.52 ± 0.04 ,说明本研究提出的个体化皮层分割方法的分割效果得到显著改善,可潜在的改善脑网络模型的构建。

有证据表明,游戏成瘾(IGD)的患病率在男性和女性之间存在差异,Sun 等探索 IGD 引起的静息态脑活动改变的性别差异。实验包含 30 名 IGD 男性受试者和 23 名 IGD 女性受试者,以及年龄匹配的 30 名男性和 22 名女性健康对照,并对所有受试者进行 rsfMRI 扫描,计算得到低频波动幅度图(ALFF)和功能连接图(FC)。使用 SPM8 构建双因素 ANOVA 模型,因素包括性别(男性、女性)和诊断(IGD、HC),并比较因素间的交互作用。研究中采用 Barratt Impulsiveness Scale-11(BIS-11)评估 IGD 患者的行为抑制能力。结果显示,左侧额上回眶部(SFG)的 ALFF 值在男性 IGD 中出现显著降低,与 BIS-11 评分呈负相关。男性 IGD 患者的左侧 SFG 与后扣带回皮层、右侧角回和右侧背外侧前额叶皮层间的连通性低于正常人。说明 IGD 患者在大脑局部和网络水平均存在性别差异,且 SFG 脑区出现的 ALFF 值改变可以作为 IGD 患者行为抑制功能的临床生物标志物。

Gandhi 等提出了先天性失明儿童视力恢复后神经可塑性的证据。双侧先天性失明的 15 名参与者治疗前和治疗后接受了高分辨率 T_1 加权快速变质梯度回波解剖扫描,为了测量血氧水平依赖性(BOLD)对比度,使用标准 T_2 加权梯度回波平面成像获得平行于 AC/PC 的 35 个切片。进行扩散加权扫描(40 方向 $+5$ b0; TE 74.4 ms, TR 13.7 s, $2 \times 0.86 \times 0.86$ mm³, FOV $256 \times 256 \times 72$; b 值 1000 nm/s²)用于扩散张量成像。使用功能连接分析,研究发现视觉皮层的功能组织发生了显著变化。随着视力发育,皮质去相关显著增强。梭形面部区域(FFA)和枕部面部区域(OFA)发展迅速。与对照组相比,结构成像显示灰质体积和厚度均增加,尤其是梭形区。对同一参与者的视神经分析显示,在治疗后期,平均扩散系数(MD)和分数各向异性(FA)没有变化,而光辐射的 FA 在 2 年内急剧下降。该研究结果有助于解释在视力恢复手术后,先天性失明个体表现为时间函数的视觉能力的行为观察增益。

大脑是一个状态不断变化动态系统。越来越多的证据表明,大脑动力学可能在早期发展中演变,并有助于认知发展。本研究使用静息状态 fMRI 和动态图分析来描述这种动态在生命的前两年如何发展。Wen 等纳入了 72 名 0 岁、1 岁和 2 岁的正常婴儿,观察到几乎所有年龄段经常发生的三种主要脑状态,并发现这三个状态可以在不同年龄组之间进行一对一匹配。第一种状态在感觉运动皮层显示高活性,第二种状态在视觉皮层显示高活性,第三种状态在高阶认知相关领域的显示高活性。第一种状态在所有年龄组中都是高度一致的,第二种状态在 0 岁和 1 岁之间具有更高的相似性,对于第三种状态,后两个年龄组更相似。这种状态水平的差异可能是由于大脑在生命最初 2 年的进化支持了认知功能的发展。

图像分析方法

异常的脑结构网络是严重精神疾病的一个关键病因。飞速发展的影像技术研究脑网络促进了对精神疾病网络失调的认识。Zhang 等招募了 330 名原发精神疾病患者、320 名他们的非疾病家属以及 204 个健康对照构建灰质网络,每个节点代表一小块灰质皮层区域,边代表各个节点间灰质形态的相似性,小世界属性及节点的中心性等用于组间比较。GWAS 分析进一步用于检测异常网络指标的遗传学信息。结果发现原发精神疾病患者右额上回、双侧颞上回节点度、节点效率较健康对照降低,且节点的连接受损。右额皮层节点度与细胞增殖调节基因 CIP2A 相关,颞叶节点指标的改变与精神疾病的症状有关。本研究通过构建、分析精神疾病患者灰质网络发现灰质网络的失调与额颞环路有关,且受损的额颞环路与基因、临床症状有关。

MRI 合成是基于 R1、R2 弛豫率及质子密度的量化技术,但缺乏 3D 序列。Warntjes 等评估了一种新的 3D 量化序列 QALAS,6 分钟扫描可获得高分辨率图像。与 2D 量化方法对比,QALAS 可获得同等高质量的 R1、R2、PD、T₁WI、T₂WI、FLAIR 以及脑自动分割图像,可在较短时间获得更多图像信息。

虽然很多研究报道双相情感障碍发生结构、功能连接异常,但少有研究关注小脑及其分区的功能连接。Chen 等招募了 92 名未经药物治疗的两极抑郁症患者及 100 名健康对照。3 对隶属默认网络的小脑分区为种子点,计算每个种子与全脑的功能连接。研究发现患者右小脑脚 I 区与双侧楔前叶功能连接增强,左小脑脚 II 区与双内侧前额叶功能连接减弱,右小脑脚 II 区与左内侧额叶功能连接减弱。这些结果证实双相情感障碍患者小脑-默认网络功能连接异常。

目前脑肿瘤患者在任务 fMRI 中 BOLD 信号变化不显著的现状,Ades-Aron 等应用 Marchenko-Pastur

主成分分析,对 22 名脑肿瘤患者的语言任务 fMRI 数据去噪,增强了激活区的体积及强度,提高了术前对患者语言任务中皮层活动区域的识别度,有利于对脑肿瘤患者临床评估及术前指导。

颞骨的完整与对称性在颌面部重建手术中至关重要。Michaela 等介绍了一种评估颞骨对称性的新技术,该技术用 CT 数据库中随机抽选的 100 名患者,获取颌面骨 CT 数据,构建 3D 模型,选取双侧颞骨,通过镜面处理中点对点距离的分析,证实了该技术对颞骨对称性评估的实用性。

脑转移灶及重要脑区的轮廓勾画是放射外科自动立体定向治疗计划的重要环节。目前 3D 卷积神经网络技术实现了体素水平的自动分割。Xiao 等研究了包括接受自动立体定向放射治疗的 95 名脑转移瘤患者的增强 CT 及 MRI T₁ 加权数据。研究发现利用 3D 神经网络可在多模态数据上同时实现肿瘤及多脑区的分割处理。这项技术有利于放射外科精确地定位、实现靶区治疗。

识别颅内转移灶是放射工作人员耗时又乏味的一项工作。Li 等利用 48 名脑转移患者,其中 42 名患者用于机器学习,6 名患者用于测试,基于像素水平分割技术,机器学习对转移灶的识别度达 89%。虽然 48 个样本很小,但深度机器学习对脑转移灶的识别度高而准确,有望用于临床工作中。

定量 T₁ 成像可提供组织的含水量及完整性信息。但传统的定量 T₁ 成像耗时长不适用于临床中。Huang 等采用两个标准的临床序列:T₁ 加权单回波与双回波,除了可获得 T₂ 成像,单/双回波序列的结合可准确、快速的获得 T₁ 值数据库,建立定量 T₁ 成像。本研究促进了定量 MRI 的临床应用。

PET 在中枢神经系统中的应用

¹⁸F 在发现与诊断高级别胶质瘤(HGG)方面拥有应用前景,这是由于正常脑组织吸收少而肿瘤组织吸收多。Khandani 等评估了放化疗后可疑 HGG 复发患者的¹⁸F 摄取与生存的相关性。9 个患者行动态¹⁸F 头部 PET,平均剂量为(10.5±0.41)mCi。通过半定量分析的方法获取时间浓度曲线。高代谢肿瘤区域的阈值设置为正常脑组织代谢的 1.6 倍。5 名患者最终通过病理和 MRI 检查确认复发。6 名患者的¹⁸F 摄取肉眼可见高于背景组织,平均 SUVmax 和 SUVmean 60min 时在可识别的病变上分别为 5.7±1.2 和 1.4±0.5。正常脑组织的值则分别为 1.8±0.6 和 0.5±0.2。胶质瘤 SUVmax 和正常 SUVmean 的比值范围是 6.6~32.5,平均比值为 15.1±10.4。在一个病例中,¹⁸F PET 发现了一个新发转移灶,并随后得到 MRI

的证实。平均 SUV_{max} 为 2.1 ± 0.6 且 SUV_{max}/正常 SUV_{mean} 平均值为 6.1 ± 1.7 的复发胶质瘤无法被 ^{18}F PET 观察到。被 ^{18}F PET 判定为复发 HGG 的患者平均生存期为 14.9 个月,而无法被 ^{18}F PET 观察到的患者的平均生存期为 24.1 个月。这说明了 ^{18}F PET 具有诊断 HGG 复发和评估预后的前景。

追踪高级别胶质瘤患者治疗后改变十分重要, MRI 是重要的方法之一。然而 MRI 结构象可能并不总是十分可靠。PET-MRI 也许可以增加诊断的准确性,其实用价值根据研究不同尚无一致结论。Pyatigorskaya 等搜集了 2015-2017 年行 FDOPA PET-MRI 的恶性脑肿瘤患者的数据, PET-MR 为 3T, 序列包括增强前后的 SE 3D T₁ WI、3D FLAIR、DWI、pCASL 以及 DSC, 每个病灶 VOI 的 SUV_{max}, SUV_{mean}, 和 SUV_{peak} 被测量记录。共 44 个患者被最终纳入, SUV_{max}, SUV_{peak} 和 ASL 的 rCBF 在 ROC 分析中表现出较好的鉴别能力 (AUC 分别为 0.82、0.90 和 0.86), rADC 和 rCBV 的表现尚可 (0.63、0.75)。Logistic 回归分析发现 SUV_{peak}、pCASL 的 rCBF 相结合可以提高敏感度 (0.94)、特异度 (0.83)、AUC (0.97) 和符合率 (0.94)。肉眼观察的符合率: 单独 PET 0.77, PET 配合 MRI 结构象 0.89, PET-MRI 综合分析 0.98。结论认为综合分析 PET-MRI 的影像标志物可以提高鉴别肿瘤进展以及放射性坏死的能力。

后大脑皮质萎缩 (PCA) 是 AD 非典型形式, 路易体失智症 (DLB) 是一种后脑失智, 以认知水平波动、行为改变、幻视等症状为特征。Verma 等回顾了 30 例临床可疑的后脑失智病例, 所有病例都经过 ^{18}F -FDG PET CT 扫描, 并进行定性及半定量分析。所有病例都曾行多巴胺转运体成像 (TRODAT 扫描)。他们被分为可疑 PCA 并 TRODAT 扫描正常组 ($n=10$) 和可疑 DLB 并 TRODAT 扫描异常 ($n=20$)。FDG 摄取模式被记录, 皮质代谢降低超过平均值的两个标准差被认为是异常。最终所有患者的 ^{18}F -FDG 摄取水平皆是异常, 双侧顶枕叶的代谢均降低。所有近中线枕叶皮层相对摄取降低的 PCA 患者的新皮质楔前叶、后扣带回以及角回的代谢均降低。DLB 患者则表现出不同程度的后扣带回以及楔前叶的摄取降低, 说明 FDG-PET 可以无创诊断这两种疾病。

Takami 等检测了数种人类核苷转运体, 包括 hENT1、hENT2、hCNT1、hCNT3、TK1 以及 4DST 以试图阐释胶质瘤患者 4DST 的摄取机制。19 名新确诊胶质瘤病例接受了 4DST PET 检查。局部高摄取被认定为肿瘤组织。半定量分析以及与对侧脑组织比值, hENT1、hENT2、hCNT1、hCNT3、TK1 的表达通过免疫组化测量。最终发现, 一共 17 例胶质瘤出现了

4DST 的高摄取, 仅 1 例 4DST PET 未检出的患者 hENT1 染色阴性。hENT2 和 hCNT3 染色阳性的分别有 11 例和 13 例。无 1 例 hCNT1 染色阳性。2 例 4DST 阴性的患者 TK1 染色阳性。与对侧摄取的比值和 hENT1 之间具有显著相关性 ($r=0.75$, $P<0.001$), 和 hENT2 以及 hCNT3 之间则无显著相关性, 和 TK1 也显著相关 ($r=0.92$, $P<0.001$), 最终认为在 4DST 的高摄取方面 TK1 起到的作用可能比 hENT1 要大。

Campi 等提出了一种客观的、量化的方法来基于动态 ^{18}F -FET PET/MRI 时间摄取变化评估来对脑分区的方法, 他们用聚类法回顾性分析了行 PET/MRI 的脑肿瘤患者的数据以发现不同脑区的摄取动态变化, 每一个体素的时间活动曲线 (TAC) 以非监督聚类算法处理, 这种算法自动将 TAC 分类, 从而算出代表不同组织各个时间上的不同活动情况。这种方法无主观因素干扰, 也可以使用其他的示踪剂以扩大它的适用范围。

较多人脑纹状体多巴胺传递的正电子发射断层扫描 (PET) 成像研究已显示多巴胺与成瘾的奖励和强化行为有关。研究表明, 成瘾与多巴胺 D2/3 受体的减少和突触前多巴胺释放减少有关, 且这种减少发生在不同类型的成瘾, 包括可卡因、酒精和海洛因依赖。然而, 这些研究还表明, 在可卡因滥用中, 钝化的多巴胺传递可预测可卡因的寻求行为。相对于选择替代强化剂, 优先选择可卡因自我给药与低 D2/3 受体结合和低多巴胺释放有关, 这可以被视为竞争奖励间转换失败。令人惊讶的是对不同滥用物质的成瘾有相同的神经生物学改变, 而与其对多巴胺能系统的原发性影响无关。此外, 除成瘾之外的精神疾病中也可见多巴胺能传递和 D2 样受体系统的类似改变。虽然这些精神疾病具有不同表现, 它们在奖励相关行为, 特别是在冲动和动机方面存在共同的缺陷。本报告将描述动物与人类研究中冲动及动机行为的多巴胺传递和 D2 受体的相关变化。本研究假设多巴胺传递的改变代表促进冲动和破坏动机的神经生物学基础, 而不仅仅是成瘾本身的后果。

血管介入及血管影像

Zhu 等使用一种治疗囊状动脉瘤扩张部分覆盖支架的安全性和有效性的新型支架与裸支架在犬类动物模型中进行了比较, 并在 1、3、6 个月时进行血管造影, 发现这种新型支架置入是安全可行及有效的, 可进一步应用于脑动脉瘤的临床治疗。

Ocal 等回顾性研究了超分流器置入动脉瘤支架内患者的特点及临床表现, 并对影像学结果进行随访比较, 发现分流器壁位置增加了动脉瘤的闭塞率, 并建

议放置较高的辐射力和低流速的分流器的激光装置。

Cay 等学者回顾性评价了 59 例颈动脉支架置入术(CAS)治疗颈动脉粥样硬化性颈外动脉狭窄的患者,围手术期并发症包括高灌注(HP)和轻度中风,与颈动脉近端闭塞(NOCA)但无颈动脉塌陷的患者相比,有塌陷的患者高灌注明显升高。

Ocal 等通过对 66 例颅内动脉瘤分流器治疗后 30 个月以上的患者进行 CT 平扫,以确定动脉瘤内是否存在空气,结果发现 16.9% 患者可见气泡,使用多个支架时更容易产生,所有气泡随着术后随访消失,在动脉瘤手术中很常见,为偶然性、自限性,无临床后果。

Mejia 等对 30 例未破裂动脉瘤进行 Neuroform Atlas 支架植入术,该技术简单,血栓形成少、出血等并发症均较少。该植入术有助于保持宽基底型动脉瘤治疗的稳定性,并减少相关手术并发症。

Janic 等回顾性评估了 2006 年 1 月 1 日—2018 年 3 月 19 日所有脑血管病患者的反应(CVR)在严格控制的 CO₂ 刺激过程中的可行性、安全性和耐受性,并通过血氧依赖性磁共振扫描的方法(BOLD)获得影像学图像图片,进行了图表分析。认为前瞻性的靶向 CO₂ 刺激对 BOLD 影像下 CVR 的绘制是可行的,并且可以耐受的,更重要的是,在这个广泛的临床试验中患者是安全的。

Tian 等对 29 名 35 个未破裂颅内动脉瘤患者进行磁共振平扫及增强扫描,对动脉瘤壁增强前后的影像,随访及基线进行了比较,3D T₁WI 可以被用于在后续研究中评估血管壁的改变,增强影像更为清楚,有助于诊断。

Wu 等对 19 名 Moyamoya 病(MMD)患者和 21 名动脉粥样硬化性 Moyamoya 综合征(A-MMS)进行了全脑磁共振血管壁影像(WB-VWI)的研究,发现了豆纹动脉的分支形式在两者之间有差异性,局限性动脉壁增厚在前者更常见,WB-VWI 使血管壁和豆纹动脉影像的研究可以用于区分 MMD 和 A-MMS。

Tim 等对 22 例患者颈总动脉及颈内动脉进行超声检查,提出局部径向应力分布的评估方法在颈总动脉超声检查中是准确的。在颈内动脉中,与无症状斑块相比,有较高应力不均一性在有症状的斑块中更为常见。这些应力的不均一性可以作为斑块易损性的新标志。

Azuma 等对 9 例颈动脉内膜切除术患者的颈动脉斑块标本,用形态相关的偶极反转方法产生 QSM 图像,通过兴趣区的方法测量了敏感性(SVs),并对斑块出血特征进行组织及免疫病理分析,糖蛋白 A 免疫阳性区域,红细胞膜唾液蛋白半定量分析。初步研究表明,QSM 可用于颈动脉斑块成分和斑块内出血的检测。

Koshino 回顾性评估 100 个头颅 MRA 数据,20

名医生(10 名放射科专家和 10 名非专业人员)被要求用相关投影图像从 MRA 上检测脑动脉瘤,读者对检测到的病变,先不用计算机辅助检测(CAD),再利用 CAD 检测,用视觉模拟量表对其进行可信度评分。结果认为,采用基于深度学习的 CAD 提高了脑动脉瘤的诊断准确性。

Orita 对 20 名接受颈内动脉颞浅动脉-大脑中动脉搭桥手术患者在手术前及手术后 3 周进行了 4D 血流 MRI 检测,发现超灌注综合征 1 例,同侧颞浅动脉的脑血容量明显升高,而总脑血容量在手术前后无显著差异,提示同侧颞浅动脉和颅内固有动脉在手术后有所补偿。

Vranic 等对该院所有经 CT、MR 或导管血管造影显示潜在颅内血管病变的患者,接受 MR VWI 扫描方案(高分辨率 T₁ 多平面,T₁ 增强前后及 3D SPACE T₂WI 序列)。一个临床神经科专家小组回顾性评估了每位患者的病史、影像学、实验室和病理,以产生共识诊断的基础血管病变。一名放射科医生评估每一项 MR VWI 研究,颅内血管狭窄的分布及严重程度、血管壁增厚及血管壁强化程度,并进行统计学分析,以确定这些相关性影像学特征和特定的潜在血管病变。结果认为 MR VWI 可根据影像学特征帮助鉴别颅内血管病变。传染性血管疾病更有可能显示血管壁异常强化,而 RCVS 更可能显示高分级多灶性狭窄。

急诊放射学

头部 CT 是急诊科最常用的 CT 检查项目,Druskin 等对一家三级医院 40 天内接受头部 CT 检查的 12958 名成年患者进行回顾性分析发现仅 15% 患者的 CT 结果呈急性阳性,CT 检查结果中急性和慢性病变的阳性率随年龄增长而增加。头部 CT 检查数量越来越多,其阳性率却相对较低,需制定相应准则把控临床适应症。

Song 等对 60 例脑外伤患者(包括 20 例轻度脑外伤患者、20 例中度脑外伤患者和 20 例重度脑外伤患者)和 20 例健康志愿者进行 SWI、DTI 和常规 MRI 检查并分析发现 SWI 和 DTI 在诊断不同严重程度脑外伤中有一定的临床应用价值,可有效评估创伤性脑损伤的严重程度。

Bodanapally 等回顾性分析 69 例出血性脑挫伤患者入院时和入院后 6 小时的随访动态增强 CT 资料发现增强 CT 上半暗带体积和半暗带内碘含量预测患者的预后可能比先前确定的预测变量(血肿体积和血肿扩大百分比)更准确。随访 CT 上脑挫伤区碘基图的定量参数可提高现有预测模型的准确性。

血管损伤发生率不高,但可导致缺血性卒中等严重后果。Bensch 等发现扩充 Denver 筛查标准后得到

的钝性创伤患者 BCVI 的发生率几乎是预期的 3 倍 (15.0%), 强调了制定更为完善的筛查方案的必要性。BCVI 后缺血性卒中的相对风险显著升高 (OR 值为 9.77) 突出了该建议的紧迫性。完善 BCVI 筛查标准可能显著改善患者预后。

大约 20%~40% 的缺血性卒中由遗传性心源性栓塞引起, 而栓子的起源无法明确界定。Diamantis 等发现与传统的缺血性卒中 CT 检查方案相比, Big-5 方案可为急性缺血性卒中患者提供更全面的临床信息。肺动脉栓塞、颈动脉狭窄和急性主动脉综合征等疾病可能会增加临床初步评估的难度, 但可通过检查将其排除。颈动脉病变的发生率高于心源性血栓。

神经影像学中的对比剂

大量独立研究显示重复使用线性钆基对比剂 (LGBCA) 后, 齿状核 (DN) 和苍白球 (GP) 的 T_1 WI 信号强度 (SI) 增加。最近的一项研究表明大量使用大环类钆基对比剂 (MGBCA) 也可能导致 T_1 WI 信号强度的增加。Gehweiler 等利用完全自动化的高性能算法对 3021 例患者的 11922 次头部 MR 图像进行分析, 发现使用 LGBCA 后齿状核和苍白球的 T_1 WI 信号强度增加, 与既往研究相一致, 但使用 MGBCA 后不会, 而是导致脑内其它核团 (丘脑、壳核、杏仁核、尾状核、海马体部和伏隔核) 的信号强度增加。他们推测 Gd 在大脑中的沉积可能比预想的更广泛, 并且可能与使用 LGBCA 和 MGBCA 均有关。

Murata 等发现 Gd 在人体各组织中的沉积有明显关联, 在骨组织中的沉积明显高于其他器官。与 LGBCA 相比, MGBCA 所致的 Gd 沉积从体内清除的更快, 残余的 Gd 浓度保持在较低的水平。

尽管齿状核和苍白球中 Gd 沉积受到了相当大的

关注, 但有关大脑皮层中 Gd 沉积的研究依然很少, Goldstein 等发现系统性给药后 Gd 可沉积在大脑皮层, 这种沉积呈不均质性, 随皮层的分区/分层及皮层的类型不同而不同, 且在 Gd 给药及冲洗后长期持续存在。这些结果使人们更加关注 Gd 在大脑中沉积可能产生的远期功能影响。他们发现 Gd 不仅沉积在深部灰质中, 同时也沉积在大脑皮层的特定区域, 鉴于大脑皮层对大脑的功能和行为有很大的影响, 需进行以大脑皮层为重点的更多的临床及临床前研究。

Boyken 等发现使用螯合剂 (Ca-DTPA) 可增加钆双铵给药后尿液中 Gd 的排出量, 并部分清除沉积在脑组织中的残余 Gd, 但对钆布醇无效。这表明在使用线性 GBCA 钆双铵后大鼠脑内和其他器官中存在一个含有不同形态 Gd 的化学池, Ca-DTPA 可将其动员并排泄出去。大环类 GBCA 钆布醇给药后组织器官内 Gd 浓度较低, 这与其持续的生理性尿排泄有关, 且这种排泄不受 Ca-DTPA 的影响, 表明该 Gd 为完整的钆布醇分子。螯合剂的治疗效果取决于所给 GBCA 的种类。

钆对比剂 (GBCA) 可能会脱螯合, 导致具有潜在神经毒性的 Gd^{3+} 沉积在大脑中。因为 GBCA 不能穿过完整的血脑屏障 BBB, BBB 的破坏可能导致 Gd 在大脑中的沉积增加。Damme 等发现脓毒症组大鼠给予 GBCA 后, 其脑内 Gd 沉积量明显高于对照组; 即使在注射 GBCA 6 周后, 脓毒症组和对照组大鼠脑内均仍残留大量的 Gd。对于血脑屏障通透性增加的患者应考虑避免使用 GBCA。Baeuerle 等通过一项大型召回研究发现肾功能正常组与肾功能受损组患者多次钆布醇给药后两组间脑内 Gd 沉积无显著差异。

RSNA2018 人工智能及分子影像在中枢神经系统的研究进展

李诗卉, 吴迪, 周依然, 刘栋, 苏昌亮, 朱文杰, 姚义好, 黄超, 方纪成, 朱文珍

【摘要】 随着计算效率的增长和算法的改进, 人工智能在放射学领域越来越炙手可热, 人工智能可以应用于图像分割、数据分析、疾病诊断和帮助临床决策等诸多方面。分子影像学是前沿的分子生物学技术与现代医学影像学的结合, 能对人体内部生理或病理过程在分子水平上进行无创的、实时的成像。本文将对 RSNA2018 人工智能及分子影像在中枢神经系统中的研究进展进行系统综述。

【关键词】 人工智能; 脑肿瘤; 阿尔茨海默病; 分子影像学

【中图分类号】 R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)03-0248-04

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.002

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: 李诗卉 (1993-), 女, 湖北咸宁人, 博士研究生, 主要从事中枢神经系统影像诊断工作。

通讯作者: 朱文珍, E-mail: zhuwenzhen8612@163.com