

RSNA2022 中枢神经影像学

朱虹全, 鲁君, 周依然, 吴迪, 田甜, 张妍, 廖荟琰, 赵亚莉, 梁伟强, 陈宇, 李葭, 李元昊, 张顺, 覃媛媛, 李丽, 朱文珍

【摘要】 2022 年 RSNA 年会中枢神经影像学方面的报告主要集中于:①脑卒中及脑血管疾病的诊断、危险因素的识别、风险分层和预后预测;②脑肿瘤的诊断与鉴别诊断、真假性进展的鉴别、分子分型与异质性、治疗评估以及预后预测;③认知、记忆与运动障碍性疾病的诊断与进展、脑结构与功能改变的评估;④其它中枢神经系统疾病(脑创伤、脊柱疾病等)的诊断与功能评估;⑤人工智能优化图像采集质量、辅助图像分析及提高图像可解释性。本文将对上述相关研究进展进行综述。

【关键词】 中枢神经影像学;脑血管疾病;脑肿瘤;脑认知;脑创伤;人工智能;体层摄影术,X 线计算机;磁共振成像

【中图分类号】 R741.04;R445.2;R814.42 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)01-0002-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



脑卒中及脑血管疾病

在梗死核心分割中,最常用的脑血流量(cerebral blood flow, CBF) < 30% 的全局阈值如未考虑灰白质血流量差异和患者个体差异,则可能导致假阳性。Rau 等回顾性收集 2531 例疑似缺血性卒中患者的 CTP 扫描,其中 345 例显示明显的微血管病变征象。随后,将对侧大脑半球进行常规的整体标准化和局部标准化,将 CBF 映射至其平滑后镜像位置,使每个体素值为对侧体素的相对值,然后进行视觉评估并计算核心体积。结果表明在深部白质和具有明显微血管病变的病例中,局部标准化可以显著减少梗死核心分割的假阳性率。

Rau 等对 2590 例 CT 灌注扫描图像进行回顾性分析,分别用 1.5 秒标准采样时间和 3.0 秒模拟低剂量方案进行图像处理,以比较两种方案的灌注图、梗死核心和半暗带的分割体积。结果显示两种方案分割的梗死核心区、低灌注区和半暗带体积一致性较高,表明时间分辨率的降低导致辐射剂量减半,但诊断价值不会因采样频率从 1.5 秒到 3 秒而受到影响。

Baradaran 等研究了 117 例单侧不明原因性梗死的患者,使用 McNemar 检验比较颈动脉颅外段的点状钙化(一个或多个连续的管腔钙化区域,≤ 3 mm)、低密度斑块相关的点状钙化及动脉粥样硬化斑块最大厚度等斑块特征在同侧和对侧梗死的出现率。结果表

明在非狭窄性颈动脉粥样硬化患者中,斑块最大厚度及低密度斑块相关的点状钙化与同侧缺血性卒中相关。

Li 等对 103 例急性缺血性事件患者的高敏 c 反应蛋白水平(high-sensitivity C-reactive protein, hs-CRP)及颅内动脉粥样硬化斑块 MRI 特征进行评估。有序 logistic 回归显示高 hs-CRP 水平($P < 0.001$, $\beta = 2.374$)和标准化管壁指数($P < 0.026$, $\beta = 2.215$)与斑块明显强化相关,hs-CRP 水平预测急性脑梗死发生的最佳阈值是 1 mg/L,hs-CRP 水平升高判定急性脑梗死的 AUC 为 0.941,斑块强化等级为 0.754,高脂血症为 0.512。提示监测血清 hs-CRP 水平有助于易损斑块的识别和缺血性卒中风险分层。

Cao 等建立了一种基于 4D CTA 的皮质静脉侧支循环评分方法(venous collateral score based on 4D, 4D-VCS),用于评估急性缺血性脑卒中(acute ischemic stroke, AIS)患者皮质静脉侧支循环状态。该研究回顾了 79 例血管内治疗(endovascular treatments, EVT)后单侧前循环大血管阻塞的患者的静脉侧支评分(包括 4D-VCS、PRECISE、COVES)、改良 Rankin 量表评分(mRS)、FIV 以及动脉侧支循环评分。结果显示 4D-VCS 预测不良预后的 AUC 为 0.890 (95% CI: 0.825 ~ 0.931, $P < 0.0001$),可以准确地识别出 EVT 后临床预后不良风险较高的 AIS 患者。

Xu 等纳入了经 CTA 证实的大脑中动脉 M1 段单侧/双侧动脉硬化或动脉狭窄患者 360 例,均接受 MRI 检查对 M1 段 CTA 狭窄程度和矢状面上 FLAIR 血管高信号征(hyperintense vessel signs, FHV)表现进行分级。结果显示 FHV 和 CTA 的总阳性率分别

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:朱虹全(1998-),男,湖南醴陵人,硕士研究生,主要从事中枢神经系统影像诊断和研究工作。

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

为 84.6% 和 73.9%。FHV 的敏感性高于 CTA。Kappa 系数 = 0.759 > 0.75, 表明两种方法在诊断上有很好的-致性。说明矢状面 T₁-FLAIR 可以作为-种非侵入性方法用于评估大脑中动脉 M1 段的硬化, 其灵敏度高于 CTA。FHV 可以大致反映血管狭窄的程度。

Diehn 等研究了 28 例患者光子计数探测器(photon-counting detector, PCD)CT 与常规能量集成探测器(energy-integrating detector, EID)CT 的头部 CTA 图像, 包括标准分辨率(standard resolution, SR)和高分辨率(high resolution, SR), 由两位研究神经放射学的阅片者独立评估图像质量。结果显示 PCD-SR 和 PCD-HR 的整体图像质量、对于动脉段的可视化效果以及在动脉病变上的诊断置信度都高于 EID-SR 图像(P 值均 < 0.001)。表明 SR 模式下的 PCD-CT 技术, 以及 HR(0.2 mm 层厚)模式与 CNN 去噪算法相结合下的 PCD-CT 技术, 均可以显著提高头部 CTA 检查的图像质量。

Balaji 等评估了 545 例急性缺血性卒中患者左心房容积指数(left atrial volume index, LAVI)、扩散加权图像(diffusion-weighted images, DWI)上人工分割的脑梗死病灶体积, 使用多元线性回归模型调整年龄、性别、种族和心血管合并症(包括心房颤动和心力衰竭)发现 LAVI 与对数转换的脑梗死总体积之间存在相关性($\beta = 0.024, P = 0.001$)。提示心房病变仍可能是心源性栓塞的一个来源。

Qu 等回顾性纳入 38 例有增强前后 3D T₁w SPACE 图像的有症状脑静脉窦血栓(cerebral venous sinus thrombosis, CVST)患者进行研究。CVST 患者根据症状发作时间分为急性期、亚急性期和慢性期。CVST 节段静脉根据增强前 T₁WI 信号被分为: A 型: 低信号; B 型: 不均匀高信号; C 型: 等信号。增强后不同影像分型的特征如下: A: 血栓内轻度强化, 沿血管壁边缘强化; B: 不均匀强化; C: 显著强化。不同影像分型 CVST 的强化率等级差异有统计学意义($P < 0.001$)。表明 3D T₁w SPACE 序列能有效识别具有不同影像特征的 CVST。

脑肿瘤

Darbandi 等收集 4425 例经病理证实的胶质母细胞瘤(glioblastoma, GBM)患者的数据信息, 记录总生存期(overall survival, OS)、受累脑叶、肿瘤大小及相对优势手的偏侧型。结果显示额叶和枕叶受累肿瘤患者的 OS 之间存在显著差异($P < 0.001$)。单脑叶受累时颞叶肿瘤体积最大($P < 0.001$)。额叶受累比非额叶受累患者的 OS 更好($P < 0.05$), 而枕叶受累比非枕

叶受累患者的 OS 显著降低($P < 0.01$)。偏侧性和肿瘤大小对 OS 没有影响($P = 0.698, P = 0.563$)。

T₂-FLAIR 错配征(T₂-FLAIR mismatch sign, T₂FM)是低级别胶质瘤中异柠檬酸脱氢酶(isocitrate dehydrogenase, IDH)突变的高度特异性成像生物标志物, 但在 GBM/4 级胶质瘤中的研究并不一致。Lee 等分析了 ReSPOND 联盟中经病理证实的具有已知 IDH 突变状态的 GBM/4 级胶质瘤患者的术前 MRI, 研究部分 T₂FM(T₂ 高信号、FLAIR 低信号、无强化、无水肿)与 IDH 突变的相关性。结果显示部分 T₂FM 对 IDH 突变的敏感度为 19.7%, 特异度为 99.6%, 阳性预测值为 70%, 阴性预测值为 96.1%。提示部分 T₂FM 亦是 GBM/4 级胶质瘤 IDH 突变的高度特异性成像生物标志物。

Jiang 等收集 28 例高级别胶质瘤患者的 40 次扫描数据(23 次为肿瘤复发, 17 次为治疗反应), 获得表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、定量磁化率图(quantitative susceptibility mapping, QSM)、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)和酰胺质子转移加权(amide proton transfer-weighted, APTw)参数图。采用直方图分析方法从增强边界区域提取参数, 并进行多变量逻辑回归分析。结果显示在肿瘤复发区域具有高细胞增殖和细胞密度, 蛋白质过度表达, APTw 通常表现为高信号。组合回归模型具有最佳效能(AUC = 0.90), 表明 APTw 和 CBF 对分类模型具有更大贡献并且 APTw 参数提高了预测价值。

Moassefi 等使用深度学习来区分 GBM 中假性进展(pseudoprogression, PsP)和真性进展(true progression, TP)的 MRI 特征。该研究共纳入了 124 名符合标准的患者(63 名为 PsP, 61 名为 TP), 将剥脑、配准后的增强 T₁ 的 T₂ 图像作为 3D DenseNet121 模型的输入, 并采用增强技术及 5 折交叉验证来实现更稳健的预测。最终获得了 76.4% 的平均准确度、0.7560 的平均 AUC、88.72% 的平均灵敏度和 62.05% 的平均特异度。

Moon 等纳入 103 例 IDH 野生型胶质母细胞瘤患者(67 例为肿瘤进展, 36 例为假性进展), 通过动态磁敏感对比(dynamic susceptibility contrast, DSC)灌注 MRI 获得毛细血管通过时间异质性(capillary transit time heterogeneity, CTH)、氧摄取分数(oxygen extraction fraction, OEF)和脑氧代谢率(cerebral metabolic rate of oxygen, CMRO₂)来鉴别肿瘤进展与假性进展。结果显示与肿瘤进展相比, 假性进展表现出更高的 CTH($P = 0.005$)和更高的 OEF($P = 0.012$)。较高的 CTH(校正 OR: 1.52, 95% CI: 1.10 ~ 2.08, $P = 0.009$)和较高的 OEF(校正 OR: 1.17, 95%

CI:1.03~1.32, $P=0.017$)均为假性进展的预测因子。CTH 和 OEF 联合诊断效能($AUC=0.73$)高于 CBV 单独诊断效能($AUC=0.59$)。

Doeberitz 等纳入 61 例弥漫性胶质瘤患者,均在放疗结束后 4~6 周接受 3.0T CEST MRI 检查。获得基于不对称性 (APT_w)、基于洛伦兹拟合 (PeakAreaAPT 和 MTConst)和弛豫补偿 (MTR_{Rex}-APT 和 MTR_{Rex}MT)的 APT 和 ssMT 的 CEST 对比。结果显示 MTConst($AUC=0.83$, $P=0.01$)与神经肿瘤治疗反应评价 (response assessment in neuro oncology, RANO) 标准反应评估的相关性优于 PeakAreaAPT($AUC=0.74$, $P=0.01$)和 MTR_{Rex}-MT($AUC=0.71$, $P=0.02$)。此外, MTConst($HR=3.04$, $P=0.01$)、PeakAreaAPT($HR=0.39$, $P=0.03$)和 APT_w($HR=2.63$, $P=0.02$)与无进展生存期 (progression free survival, PFS) 相关。MTR_{Rex}APT 与 RANO 评估或临床结局无关。

Khalvati 等通过 189 例儿童低级别胶质瘤 (pediatric low-grade glioma, PLGG) 患者的 FLAIR 序列训练了一个两阶段 U-Net 的深度学习网络进行肿瘤分割,并建立了一个端到端基于影像组学的 pLGG 分类流程。结果显示分割模型在测试集中的平均 DICE 分数为 0.795,自动分割的结果输入影像组学模型获得的平均 AUC 值为 0.843,与人工分割的影像组学模型的 AUC 值 0.874 相当。手动分割与自动分割的肿瘤体积之间的一致性为 0.833。

Park 等采用人工智能算法对 264 例经黑血成像确诊为新发脑转移瘤的患者进行检测。结果显示 AI 的检测灵敏度和阳性预测值分别为 92% (95% CI: 90%~96%) 和 89% (95% CI: 86%~92%)。有 AI 辅助的读片者与参考标准之间转移病灶数的一致性相关系数 (0.91, 95% CI: 0.90~0.93) 高于无 AI 辅助的读片者 (0.89, 95% CI: 0.87~0.91)。并且在 AI 辅助下,读片时间从平均 71.5 秒减少到 57.5 秒 ($P<0.001$) 而不受成像中心影响。

脑认知、记忆与运动障碍性疾病

Choi 等从 ADNI、AIBL、J-ADNI 和 GAAIN 数据集纳入总共 1767 例正常对照 (normal control, NC)、轻度认知障碍 (mild cognitive impairment, MCI) 或阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD) 受试者,使用示踪剂 florbetapir、florbetaben、flutemetamol 和 Pittsburgh compound B (PiB) 进行淀粉样蛋白 PET 成像。该研究开发了基于淀粉样蛋白 PET 的卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 来区分 AD 与 NC,并开发 Cox 模型预测从 MCI 到 AD 的转

化。结果显示基于深度学习的方法可提高 AD 的诊断效能以及对 MCI 的预后预测。

Suh 等对 19 项符合条件的抗 A β 免疫疗法临床试验研究 (包括 24 个队列, 9429 例患者) 进行系统综述和荟萃分析,以评估淀粉样蛋白相关的影像学异常 (amyloid-related imaging abnormalities, ARIA) 的发生率。水肿性 ARIA (ARIA-E) 和出血性 ARIA (ARIA-H) 的总发生率分别为 6.5% 和 7.8%,无症状 ARIA 的总比例为 80.4%。与其他药物相比,接受抗 A β 抗体药物阿杜那单抗治疗的队列显示 ARIA-E 和 ARIA-H 的发生率显著升高 (30.7% 和 30.0%)。提示在给药的早期阶段通过 MRI 进行积极的治疗监测可能是有帮助的。

Zdanovskis 等纳入了 45 例接受蒙特利尔认知评估 (MoCA) 的受试者,分为正常认知组,轻度认知障碍组和痴呆组。使用 FreeSurfer 软件分析皮质厚度并评估 MoCA 与大脑中枢皮质厚度之间的相关性。结果显示各组间在右侧楔前叶、右侧枕上回和右枕外侧回的皮质厚度具有统计学差异;且在右侧楔前叶、左侧颞上回和左侧颞中回, MoCA 评分与皮质厚度之间存在显著的统计学相关性。

Fan 等对 65 例帕金森病 (Parkinson's disease, PD) 患者和 80 名健康对照者 (healthy controls, HC) 进行静息态功能磁共振成像 (rs-fMRI), 并获得 UPDRS-III、MMSE、MOCA、HAMA 和 HAMD 评分,提取基于 AAL 图谱的 90 个皮层或皮层下区域的平均时间序列,构建静态功能连接 (SFC) 和动态功能连接 (DFC)。结果显示与 HC 相比,未行药物治疗的早期 PD 患者 SFC 和 DFC 的改变主要集中在 SMN、DGN 和 LBN,提示这些改变可能与早期 PD 的运动和非运动症状有关。

Rau 等分析了 108 例 PD 患者和 35 名健康对照的扩散微结构成像 (diffusion microstructure imaging, DMI) 参数以研究黑质和壳核的微观结构,并评估 PD 运动障碍和左旋多巴反应的病理生理学意义。结果显示扩散微结构成像可以测量 PD 患者黑质和壳核的结构改变,它们与 on 状态下较差的运动表现以及对左旋多巴反应降低有关,且壳核比黑质对左旋多巴反应的预测能力更强。提示通过 DMI 评估的壳核微结构完整性可能是疾病分期的一个有前景的生物标志物。

神经黑色素敏感 MRI (neuromelanin-sensitive MRI, NM-MRI) 可通过显示黑质或蓝斑核的信号强度降低来帮助诊断帕金森病 (PD),但需要较长的扫描时间。Oshima 等纳入了 22 例健康对照 (HCs) 和 22 例 PD 患者,所有受试者进行了激励次数为 1 的 NM-

MRI 扫描,并对 10 例健康受试者进行了激励次数为 5 的 NM-MRI 扫描。将基于深度学习的重建(deep learning-based reconstruction, dDLR)工具与 NM-MRI 专用 dDLR(D-dDLR)的去噪方法分别应用于 NM-MRI。通过 SNR 和 CNR 评估图像质量并比较了 NEX1、NEX1+dDLR 和 NEX1+D-dDLR 图像鉴别 PD 和 HC 的 AUC。结果显示 dDLR 有可能在不降低图像质量和诊断性能的情况下减少 NM-MRI 的扫描时间。联合 D-dDLR 的图像质量甚至优于 dDLR。

丘脑腹侧中间核(the thalamic ventral intermediate nucleus,VIM)是磁共振引导聚焦超声治疗特发性震颤的首要靶点,但目前的临床扫描仪(1.5T 和 3.0T)无法直接显示 VIM。Jones 等招募 3 例健康志愿者分别接受 3.0T 和 7.0T MRI 扫描。对每例健康志愿者进行 VIM 的 3.0T 解剖定位和纤维束成像定位并与 7.0T SWI 勾画的 VIM 进行比较。结果显示 VIM 在 3 种方法上的位置均具有良好的相关性,证明了当前临床 3.0T 扫描仪可进行 VIM 定位。

Gou 等分析了 122 例 PD 患者(87 例震颤为主型,TD-PD;35 例非震颤为主型,n TD-PD)及 59 例健康对照(HCs)的纵向结构磁共振影像(structural magnetic resonance imaging,sMRI)和腰穿脑脊液 α -突触核蛋白。用 CAT12 获得总颅内体积(TIV)及 6 个皮质下脑区的体积。线性混合效应模型显示 TD-PD 和 nTD-PD 组右侧苍白球和右侧丘脑体积有明显不同的时间轨迹,基线脑脊液 α -突触核蛋白水平可以预测 nTD-PD 患者右侧苍白球的纵向萎缩。

Ruffle 等对 165 例健康对照和 227 例有单侧额叶或非额叶病灶的患者进行了 Raven's 高级推理测验(Raven's advanced progressive matrices,APM)评估,通过基于网络的统计和非参数贝叶斯随机块模型揭示病变缺陷网络的群落结构。结果显示与非额叶、健康对照组对比,额叶病变患者组表现出受损的 APM 性能($F=18.491, P<0.001$),右侧比左侧病灶组更显著($F=12.237, P<0.001$);且常规的基于网络的统计学分析(FWER $P<0.0001$)和非参数贝叶斯随机区块模型均暗示右额叶病损与流体智力的密切相关。

儿童神经及癫痫

Kaltenhauser 等纳入来自美国 21 个中心的 5169 例 9~10 岁儿童(51.9%为女性),研究青春前期的体重和体重指数与微结构、形态和脑功能磁共振成像指标之间的关系。指标包括 35 个白质纤维束的各向异性分数(fractional anisotropy,FA)、平均弥散(mean diffusivity,MD)、轴向弥散(axial diffusivity,AD)和

径向弥散率(radial diffusivity,RD)、轴突密度(neurite density,ND),68 个区域的皮质厚度和表面,以及 91 个预定义网络相关性的功能连接。结果显示儿童时期体重越高,脑白质微结构完整性越差,皮质灰质厚度越小,功能连接性越差。

Andrijauskis 等对 750 例 18 岁以下新发癫痫患者的数据进行了分析以评估在用 MRI 评价急性癫痫发作表现时 Gd 对比剂的作用。患者的临床和影像数据,包括年龄和性别、静脉注射 Gd 的使用、癫痫的潜在原因(即患者的诊断)。结果显示在大多数情况下,在急性癫痫发作患者的成像中 Gd 对比剂的附加益处是有限的。

Chu 等对 174 例受试者进行了多壳连接组弥散加权磁共振成像(multi-shell connectome diffusion weighted MRI,ms-dMRI)测量,其中颞叶癫痫(temporal lobe epilepsy,TLE)患者 120 例,健康对照组 54 例。使用 MRTrix3 构建结构连接矩阵(structural connectivity matrices,SCM),使用基于网络的无阈值统计方法(Threshold free network-based statistics,TFNBS)对统一的 SCM 进行统计分析。结果显示 TLE 患者 16 个白质束的平均横截面积更大,图论连通性测量和基于网络的统计数据具有明显差异。进一步证实 TLE 是一种进行性网络障碍,涉及持续的脑可塑性变化。

Yang 等利用 49 例良性癫痫伴中央-颞叶棘波(Benign epilepsy with centrottemporal spikes,BECTS)患者和 49 例健康对照的静息功能磁共振成像(rs-fMRI)数据,研究 BECT 患者是否存在左额下回亚区的异常连接模式。结果显示 BECTS 患者在额下沟和右侧前扣带回,以及腹侧 44 区和左侧海马/副海马区之间显示出更高的连通性。此外,还发现额下沟和左侧颞下回之间的连接性降低。在 BECTS 的左额下回的其他 4 个功能亚区中,没有发现其他功能连接的显著差异。

脑创伤

Solomon 等对 693 例轻症外伤性脑损伤(mild traumatic brain injury,mTBI)患者进行 DTI 扫描。获得额枕下束、下纵束、上纵束、皮质脊髓束、钩束、扣带和穹窿左右侧 FA、MD、RD 和 AD 值用于评估。初步数据表明,同源白质束的 FA 值相差 5%或更小可能是正常的,根据白质束的不同,不对称程度可从额枕下束 6.6%至钩束 9.1%达两倍标准差,而大于 9%的 FA 值差异提示可能存在异常。

Au 等使用了一种基于弥散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI)的沿血管周间隙分析(analysis

along the perivascular space, ALPS) 方法非侵入性评估弥漫性轴索损伤(diffuse axonal injury, DAI) 患者的类淋巴系统功能。对 162 例 TBI 病者在伤后 6 个月内进行 DTI 检查, 采用 DTI-ALPS 法, 计算 ALPS 指数以评价淋巴系统活性。结果显示 DAI 患者的 ALPS 指数(1.29 ± 0.17) 显著低于非 DAI 患者(1.42 ± 0.19 , $P < 0.001$)。不同分级的 DAI 患者的 ALPS 指数差异有统计学意义(ANOVA, $P < 0.001$), 且 ALPS 指数与 DAI 分级呈负相关($r = -0.44$, $P < 0.001$)。ALPS 指数与格拉斯哥昏迷评分呈较弱的正相关($r = -0.158$, $P = 0.045$)。

Hsu 等纳入了 24 例损伤后 1 个月内的 mTBI 受试者(35 ± 13 岁) 和 19 例正常对照者(35 ± 10 岁), 评估了 DTI(FA、MD、RD、AD) 和 DKI(MK、RK、AK) 的扩散指标以及区室特异性白质轨道完整性指标, 包括轴突水分(f)、轴突内扩散率(Daxon) 以及沿和垂直于轴突的轴突外扩散率(De, par 和 De, perp) 与半球间加工速度试验(Interhemispheric Speed of Processing Test, IHSPT) 表现的关系。发现脑白质微结构与 IHSPT 性能之间的正常关系在 mTBI 已经丧失。

Syed 等回顾了有弥漫性轴索损伤(diffuse axonal injury, DAI) 记录且 30 天内接受住院 MRI 检查的 261 名成人患者, 分割并测量灰白质连接处(gray-white junction, GWJ)、胼胝体(corpus callosum, CC)、基底节(basal ganglia, BG)、丘脑(thalami, TH)、海马旁回(parahippocampal gyrus, PH)、小脑(cerebellum, CR) 和脑干(brainstem, BS) 的 DAI 病变, 使用逻辑回归建立了出院时昏迷或持续性植物状态(persistent vegetative state, PVS) 以及灾难性脑损伤伴脑死亡综合结果的定量模型。结果显示采用灰白质连接处、胼胝体和基底节出血的定量模型预测出院时昏迷/PVS 和脑死亡的 AUC 高于 Adams 分级(0.86 vs 0.70 , $P < 0.00001$)。脑干出血是昏迷/PVS 和脑死亡的最强预测因素。

Velasco 等纳入 706 例接受抗血小板和抗凝药物治疗的创伤患者的 CT 头部扫描, 以评估出现急性颅内表现的患者与未出现急性颅内表现的患者之间的临床差异。结果显示约 671 例(95.04%) 患者在 CT 上无急性颅内表现, 两组患者就诊时的头痛、意识丧失、呕吐、锁骨以上区域可见外伤等临床症状差异有统计学意义($P < 0.05$), 其他如意识模糊、健忘症和癫痫发作在各组之间没有统计学差异。提示当大多数患者无急性颅内表现时, 常规头部 CT 的检查价值存疑。头痛、意识丧失、呕吐和锁骨以上区域可见外伤可能表明颅内检查结果呈阳性的概率增加。

Babajani-Feremi 等分析了 540 例 mTBI 患者(42

± 15 岁, 229 名男性) 的 T_1 结构 MRI 数据, 提取了 67 个感兴趣脑区(brain region of interest, ROI) 的体积标准百分位数, 来研究 ROI 体积与 7 种 mTBI 症状(即头痛、失衡、认知缺陷、疲劳、焦虑、抑郁和情绪不稳定) 的出现和改善之间的相关性, 并进行区间删失生存统计分析估计症状生存期的显著性。研究结果揭示了 mTBI 后局部脑体积与临床结果之间的显著相关性, 脑区体积定量有助于准确地预测 mTBI 受试者的长期并发症。

脊柱

Qian 等对 6 只雄性 SD 大鼠行胸 9 节段脊髓半切, 4 周后进行磁共振血管大小成像以评估沿颅皮质脊髓束(cranial corticospinal tract, CST) 区域走行的血管在脊髓损伤(spinal cord injury, SCI) 后的形态变化和血管生成情况。结果显示血管新生和形态学改变主要发生在对侧皮质脊髓束。与同侧水平相比, 损伤后 4 周的对侧皮质脊髓束的微血管密度、体素中平均血管直径和血管大小指数(vessel size index, VSI) 明显增大。提示磁共振血管大小成像结果是评估脊髓损伤后脑内血管形态变化和血管生成的潜在内源性生物学标志。

Suh 等纳入 136 例(平均年龄 48 岁, 70 名女性) 疑似自发性低颅压综合征(spontaneous intracranial hypotension, SIH) 患者, 接受无鞘内钆对比剂的磁共振脊髓造影检查, 评估对脑脊液漏的检出率。结果显示在 120 例确诊为脑脊液漏的患者中, MR 脊髓造影对脑脊液漏的检出率为 88% ($105/120$)。两位阅片者在 MR 脊髓造影上检测脑脊液漏($\kappa = 0.76$) 或硬膜外积液($\kappa = 0.76$) 的一致性很高。提示无鞘内钆对比剂注射的磁共振脊髓造影可能对检测脑脊液漏和指导 SIH 患者的治疗特别有用。

Flanders 等分析了 20 例 6~16 岁的健康儿童颈髓的磁化转移(magnetization transfer, MT) 图像, 通过 PAM50 白质图谱分割左右背侧薄束、背侧楔束及皮质脊髓束, 计算颈髓特定白质束以及颈髓($C_2 - C_7$) 各水平的整个白质的磁化转移率(MT ratio, MTR)。结果显示 C_2 到 C_7 的各个水平上 MTR 之间无显著差异($P > 0.05$), 变异系数表明各白质束之间测量值的变异性较低, 年龄与所有白质束以及整个白质的 MTR 呈正相关。

Liu 等纳入 33 例受试者(20 例男性, 平均年龄 23.33 ± 2.86 岁), 接受 T_1 WI、DWI 和 DTI 的校正像及非校正像扫描, 探讨平面回波成像校正(echo-planar imaging correction, EPIC) 和低方差表观扩散系数(low variance apparent diffusion coefficient, LOVA

ADC)在 DWI 和 DTI 序列脊髓图像质量改善中的价值。结果显示 EPIC 能显著降低几何失真,LOVA ADC 能提高颈部 ADC 值的准确性,校正后的脊髓几何形状与解剖结构基本一致,不同的偏移距离下具有稳定一致的 ADC 值,具有较高的诊断价值。

Yang 等对 45 例行双能谱 CT 检查的疑似腰椎周围神经病患者进行回顾性分析,评估多平面重建(multiplanar reformation, MPR)图像的噪声、伪影、显示周围神经及其边缘的能力和清晰度。结果表明在 (63.64 ± 1.36) keV 最佳能量水平下,双能谱 CT 腰骶神经的 CNR 明显优于常规 CT 扫描 $(0.81 \pm 0.3$ vs. $0.44 \pm 0.26, P=0.02)$,MPR 能更清楚地显示周围神经束的正常形态或解剖变异、受压情况及其与周围软组织或骨骼的关系,并能提高周围神经的显示和对腰椎病变的识别能力 $(P=0.03)$ 。

脑感染性、炎症性及代谢性疾病

Shi 等纳入了 39 例受试者的 MRI 扫描,包括 15 例复发-缓解多发性硬化(relapsing-remitting multiple sclerosis, RMMS)患者,18 例非 MS 脱髓鞘疾病患者和 6 例健康对照者,计算髓鞘体积分数(macromolecular tissue volume, MVF)、轴突体积分数(axonal volume fraction, AVF)和髓鞘 g 比率比较各组差异。结果显示与非 MS 脱髓鞘疾病患者相比,MS 患者平均 g 比率 $(0.82$ vs $0.76, P<0.01)$ 和 AVF $(0.29$ vs $0.24, P<0.01)$ 显著增高, MVF $(0.15$ vs $0.20, P<0.05)$ 降低;与正常对照相比,MS 患者平均 g 比率 $(0.82$ vs $0.79, P<0.05)$ 、AVF $(0.29$ vs $0.37, P<0.01)$ 和 MVF $(0.15$ vs $0.22, P<0.01)$ 均下降。

Mahajan 等研究了来自 46 例新冠患者(15 例女性,年龄 35.09 ± 11.37 岁)和 30 例正常对照(8 例女性,年龄 34.67 ± 9.5 岁)的磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)以评估 COVID-19 对大脑的影响。结果显示,新冠康复者额叶和脑干区域的磁敏感值明显较高。其中额叶的两个团块(clusters)分别位于左右眶额下回以及各自相邻的白质,主要反映了白质区域的差异;脑干的显著团块位于右侧腹侧间脑区域。

Tazwar 等纳入 148 例参加记忆与衰老项目和宗教秩序研究的个体 DTI 扫描和病理数据,采用基于纤维骨架空间统计(tract-based spatial statistic, TBSS)来研究 FA 与边缘叶受累为主的年龄相关性 TDP-43 脑病神经病理改变(limbic predominant age-related TDP-43 encephalopathy neuropathological change, LATE-NC)的相关性。体素分析显示在内侧颞叶白质,患者 LATE-NC 负荷较大,FA 较低。FA 与

LATE-NC 无体素正相关。LATE-NC 0 期和 3 期内侧颞叶白质 FA 具有显著差异。表明内侧颞叶白质的 FA 可能有助于预测 LATE-NC。

Lotan 等回顾性纳入了 24 例髓鞘少突胶质糖蛋白抗体病(myelin oligodendrocyte glycoprotein antibody disease, MOGAD)患者、47 例视神经脊髓炎谱系疾病(neuromyelitis optica spectrum disorder, NMOSD)患者和 40 例缓解期 MS 患者以及 37 例健康对照。计算横向与纵向体积参数,以比较各组差异。结果显示与 MS 和 NMOSD 相比,MOGAD 患者随着时间的推移,丘脑和海马体积显著减少。横向分析显示,与对照组相比,MOGAD 患者的全脑体积、全脑皮层灰质体积和枕叶灰质体积显著减少。

Inampudi 等对 790 例三叉神经痛患者进行前瞻性分析,进行了 T_1 WI、 T_2 WI、FLAIR、DWI、3D-CISS 和 3D-TOF 序列扫描,采用多平面重建算法得到冠状位和矢状位重建图像,以评价重 T_2 加权 3D-CISS 和 TOF-MRA 原始图像在评估三叉神经痛患者中的优势。结果显示 3D-CISS 与 3D-TOF MR 原始图像相结合,能对三叉神经痛患者进行准确的术前评估。

技术与方法(人工智能、弥散灌注及其它技术、非人工智能)

1. AI 应用于图像采集

MRI 的去噪可用于提高信噪比或缩短扫描时间,并可能在诊断中发挥关键作用。Park 等提出了一种新的自监督去噪方法—C2C(coil to coil),仅使用多线圈 MRI 数据,不需要“干净”图像或“配对”图像。在真实数据集中,C2C 成功地提高了图像质量,只留下了少量或没有留下结构相关信号。在合成噪声实验中,C2C 的峰值信噪比(peak signal-to-noise ratio, PSNR) (38.97 ± 2.91) 优于其他自监督方法(N2V: $35.09 \pm 3.48, P<0.0001$; N2SA: $36.34 \pm 2.29, P<0.0001$; N2SE: $35.38 \pm 3.36, P<0.0001$),并且与监督方法相当(N2CL: 39.56 ± 2.71 ; N2N: 39.18 ± 2.96)。

Jung 等采集了 42 次 3D MPRAGE 扫描的 k 空间数据,应用欠采样模拟来利用 k 空间数据生成常规图像(Conv)、加速图像(Accel)和基于深度学习重建的加速图像(Accel-DL)。通过测量定量误差指标、结构相似性指数(structural similarity index, SSIM)和峰值信噪比(PSNR)来评估 Accel-DL 的性能。结果显示基于深度学习的重建将各种加速时间提高了高达 75%, Accel-DL 显示出比 Accel 更高的 SSIM 和 PSNR,且 Accel-DL 图像的脑容量测量值与传统图像的脑容量测量值高度一致,展示了脑容量软件在不同加速时间下对基于深度学习的 MR 图像的兼容性。

血管壁成像(vessel wall imaging, VWI)对高空间

分辨率和 SNR 的要求限制了 VWI 的广泛使用。Choi 等用约 100 个 3D T₁WI 训练了基于深度学习的去噪算法。该 DL 模型基于 U-net 架构,接收具有常规重建的 VWI(conv-VWI)并产生 DL-enhanced VWI(DL-VWI)。结果显示与 conv-VWI 相比,DL-VWI 具有更好的图像质量、更高的 SNR 和 CNR,并且具有更为均一化的管腔信号。

Kyuri 等利用 BraTs 2016-17 数据集中 484 例患者的 T₂ MR 图像建立了一种新的框架,通过使用生成对抗网络(GAN)从正常大脑 MR 图像中修复局部区域来创建合成肿瘤数据集。首先使用条件变分自动编码器(conditional variational autoencoder, cVAE)获取给定 2D 正常 MR 图像上的无肿瘤掩码,然后使用门控卷积层和判别器的级联注意生成器在自由形式的掩码化的 MR 图像上合成肿瘤。通过与真实病变比较的 SSIM、PSNR、NRMSE 和 FID 来衡量性能。结果显示框架在肿瘤 MRI 测试集上分别实现了 42.747、0.991 和 0.048 的 SSIM、PSNR 和 NRMSE,通过正常 MRI 获得的合成数据集的 FID 分数在整个大脑中为 24.21。在肿瘤分割的下游任务中,对于 0%、25%、50%的合成数据增强,dice 分数分别为 0.672、0.700、0.703。

2. AI 应用于图像分析

当代深度学习模型在解决肿瘤分割和分类等任务时无法处理缺失的 MRI 序列。Knower 等利用来自 BraTS 2018 数据集的 285 例患者的核磁共振成像来执行分割任务,使用 BraTS 2021 数据集中 585 例患者的核磁共振成像对放射基因组学任务进行了微调,建立一个模式无关的深度学习网络 MagNET。结果表明除了显著优于以前的分割方法外, MagNET 还超过了最新的对抗协同训练网络 ACN($\approx 2.4\% \sim 4.1\%$)。对于放射基因组学分类,当只有单个序列可用于训练和测试时, MagNET 也优于 ResNet50 基线($\approx 11.7\% \sim 29.1\%$)。

Moon 等从第三中心和 TCGA(the Cancer Imaging Archive)连续收集的 565 例患者(IDH 突变型: IDH 野生型=219:346)的 T₁ 和 FLAIR 图像。通过解耦生成模型来选择性地创建对比增强和肿瘤大小的成像表型进行训练,并测试添加合成图像是否可以改善胶质瘤中 IDH 的分类。结果显示添加 250%的合成图像在内部验证集(AUC 0.93,灵敏度 79.4%,特异度 90.8%)和外部验证集表现最佳(AUC 0.88,敏感度 70.6%,特异度 84.2%)。在内部和外部验证集中,选择性添加无增强图像改善了 IDH-野生胶质瘤的预测(特异度为 97%和 94%,McNemar 检验 $P=0.022$ 和 0.015)。

Kaur 等利用 259 例转移瘤患者的共计 916 个病变开发了一种基于深度学习的自动分割方法。人工分割结果作为金标准,利用 nnUNET 的深度学习算法进行增量训练,通过 Dice 相似系数(dice-similarity-coefficient, DSC)对模型性能进行检验。结果显示基线 U-Net 的 DSC 为 0.55,在整个增量训练过程中逐渐增加到 0.85。相对体积差为 9.5%。nnUNet 检测病灶的敏感度为 83%($n=46/55$),假阳性率为 8%($n=4/50$)。

常用的机器学习方法是将监督学习或异常检测技术应用于每个 CT 层面,需要在每一个 CT 层面上进行标注。Hibi 等基于弱监督异常检测(weakly supervised anomaly detection, WSAD)方法构建了一个完全自动化的只需要扫描水平标注的创伤性脑损伤(traumatic brain injury, TBI)识别算法,以减少放射科医生的标注工作负荷。结果显示提出的 WSAD 算法获得了与现有方法相当的性能(AUC、灵敏度、特异度和准确度分别为 0.88、0.85、0.73 和 0.77),成功训练的标注需求减少了 97%。通过使用预训练的视觉转换器模型作为 CT 层面的特征提取器,进一步提高了性能。

Kim 等纳入了 186 个来自发展人类连接组计划(developing Human Connectome Project, dHCP)的配对的 T₁WI、T₂WI 图像和 20 个来自当地机构(CEP)的配对图像,开发基于深度学习的方法对新生儿脑部 MRI 进行有效且具有鲁棒性的分割。使用 Dice 相似系数(DSC)和平均对称表面距离(average symmetric surface distance, ASSD)来计算准确性,使用相对 DSC(rDSC)和相对 ASSD(rASSD)来计算稳定性。方法显示的性能为 DSC(T₁WI: 0.887 ± 0.036 , T₂WI: 0.907 ± 0.029)、ASSD(T₁WI: 0.336 ± 0.060 , T₂WI: 0.279 ± 0.062)、rDSC(dHCP: 0.922 ± 0.028 , CEP: 0.723 ± 0.056)和 rASSD(dHCP: 0.232 ± 0.038 , CEP: 1.422 ± 0.279)。这种使用深度神经网络的新的无模态快速新生儿脑分割工具,显示了较好的准确性,同时为多模态分割提供了更高的可推广性。

Hussein 等开发了一个具有卷积编码器-解码器结构的多维注意力网络,利用 120 例受试者的 T₁w、T₂w-FLAIR、单延迟和多延迟伪连续动脉自旋标记(pseudo-continuous arterial spin labeling, pCASL)图像预测金标准—¹⁵O-H₂O PET CBF 图。定量结果显示了高质量和可靠的 PET 预测性能,SSIM 为 0.92, PSNR 为 38dB,合成和获得的 PET CBF 之间的相关性很高(Pearson $r=0.97$, $P<0.05$)。而且,无需注射放射性示踪剂就可有效合成来自多对比度 MRI 的高质量 PET 图像。

3. AI 应用于图像解释

Saifullah 等通过结合大量社区老年人尸检离体脑的 MRI 和神经病理学,训练了具有 L2 正则化的支持向量机分类器,以区分神经原纤维缠结 Braak 分期 V~VI 期与 0~IV 期的受试者。结果表明基于所有 MRI 和人口统计学特征的分类器的平均 AUC 为 0.87,平均灵敏度为 84%,平均特异度为 77%,成功完成了离体到体内的神经原纤维缠结的无创分类。

Savage 等在一项前瞻性单中心研究中连续纳入了 9954 例接受了非增强头部 CT 检查的成年患者。在第 1 阶段 CT 检查分别由放射科医生和 FDA 批准的 AI 检测和分诊系统(CADt)独立评估;在第 2 阶段,放射科医生使用 CADt 对连续的头部 CT 检查中的每一个检查进行解读。结果显示当放射科医生使用 FDA 认可的 AI 检测和分诊系统时,放射科医生在非增强头部 CT 上检测颅内出血(intracranial hemorrhage, ICH)的漏诊率、准确性和图像判读时间没有显著变化。表明 AI 的辅助诊断价值可能被有所夸大。

Koska 等从 BRATS 2021 数据集中筛选出同时具有分割图和 MGMT 状态标识的 GBM 患者(276 个 MGMT 甲基化,301 个 MGMT 非甲基化),利用基于 3D-CNN 的深度学习模型对不同序列以信号为指引筛选出的感兴趣区域进行分析,进行 MGMT 状态分类。结果表明结合不同序列特征的进一步分析中,T1CE 和 FLAIR 序列衍生的特征集产生了 0.88 的准确率和 0.9 的 ROC-AUC,高于单一序列模型的分类准确率(0.65~0.82)。

脑肿瘤的分割需要应用完整序列的数据集训练统一多模态模型,但在真实的临床实践中患者序列采集可能并不完整。Ruffle 等使用最先进的深度学习肿瘤分割集成模型(nnU-Net)对 1251 例 2021 BraTS-RS-NA 胶质瘤患者进行五倍交叉验证,以评估肿瘤分割模型在成像数据不完整情况下的表现。结果显示分割模型可以识别具有数据缺失的肿瘤,包括在无增强图像的情况下检测增强组织并稳健地量化其体积,可用于数据不完整的临床场景并且减少对对比剂使用的依赖。

Seah 等利用 2848 例成人 CT 脑部病例,测试了世界上第一个全面的脑部 CT 深度学习模型的性能。计算放射科医生组基线与深度学习模型之间的 AUC 结果。结果显示在大多数征象中,深度学习模型的表现优于放射科医生的平均表现,深度学习模型在所有 144 项征象中的宏观平均 AUC 为 0.896,而放射科医生 AUC 为 0.680。显示出脑部 CT 深度学习模型在临床实践中协助放射科医生的潜力。

Yun 等在一个大型外部验证数据集中,通过基于

深度学习的急性颅内出血(acute intracranial hemorrhage, AIH)自动检测算法(deep learning-based automatic detection algorithm, DLAD)验证脑部 CT 判读的诊断性能。外部验证集中 AI 对于基于患者分析和基于层面分析的 AUC 分别为 0.992 和 0.977。基于患者分析的准确度、敏感度、阳性预测值、F1 评分、特异度和阴性预测值分别为 0.977、0.944、0.894、0.913、0.982 和 0.992,基于层面分析的准确度、敏感度、阳性预测值、F1 评分、特异度和阴性预测值分别为 0.985、0.790、0.832、0.810、0.993 和 0.991。说明 AI 算法可作为一种可靠的辅助手段,用于迅速和准确地评估急性颅内出血的 CT 诊断。

弥散、灌注及其它技术

Ristow 等前瞻性纳入 44 例 1 型神经纤维瘤病(neurofibromatosis type 1, NF1)患者(平均年龄 30.1 ± 11.8 岁,23 例男性),利用 ADC 值鉴别良性(benign, BPNST)、癌前不典型(pre-malignant atypical, ANF)与恶性(malignant, MPNST)外周神经鞘瘤($n=94$ 例, NBPNT = 60, NANSF = 13, NMPNST = 21)。结果显示 BPNST 的平均 ADC 值的估算边际均值为 $2.1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, ANF 为 $1.63 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, MPNST 为 $1.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。三种肿瘤间 ADCmean 两两比较,差异有统计学意义(BPNST vs. ANF: $P < 0.0001$; BPNST vs. MPNST: $P < 0.0001$; ANF vs. MPNST: $P < 0.01$)。提示 DWI 可以有效检测 NF1 患者外周神经鞘瘤的恶性转化。

Giocondo 等纳入 65 例患者(脑转移 26 例,原发性脑肿瘤 39 例)进行 10 分钟的动态对比增强磁共振成像(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI),分别在第 5、6、7、8、9 和 10 分钟处理 Ktrans(体积转移常数)、Ve(细胞外体积分数)和 Kep(交换率常数)等参数图,以评估采集时间是否影响脑肿瘤 DCE 灌注参数的准确性。初步数据显示 Ve 和 Kep 图随时间变化,7~8 分钟后 Ve 值更稳定,5 分钟与 10 分钟之间差异有统计学意义($P < 0.001$)。提示较长的采集时间可提高 Ve 值的稳定性和其对脑肿瘤的鉴别能力。

Mishra 等招募 6 例健康的右利手成年受试者进行功能性磁共振弹性成像(functional magnetic resonance elastography, fMRE),以评估和比较人类在运动刺激下的快、慢生物力学反应,并与血氧水平依赖功能磁共振成像(blood oxygen level dependent MRI, BOLD)进行比较。结果显示快速任务中,局部生物力学变化导致计算波长下降(刚度下降),在慢速任务中则观察到相反的变化。说明与 BOLD 相比, fMRE 成

像提供了一种独立于血管效应的新型功能成像机制,并能更直接地测量初级神经元活动。

Wolansky 等通过一项国际、随机、双盲、对照、交叉研究纳入 256 例中枢神经系统病变患者,随机先后进行 0.05 mmol/kg 的钆吡咯和 0.1 mmol/kg 的钆丁醇的增强扫描(间隔 214 天),测定增强率、病灶/背景比、对比度噪声比以评估 Gadopiclenol 在中枢神经系统增强 MRI 中的有效性和安全性。结果显示钆吡咯(0.05 mmol/kg) MRI 对中枢神经系统病变的显示效果不低于钆丁醇(0.1 mmol/kg),且显示出良好的安全性。

QSM 是研究铁、钙稳态破坏或脱髓鞘等与年龄相关的脑病理学的重要工具,但目前尚无成人脑的 QSM 模板。Abid 等将 400 例非痴呆老年人(50%为男性;年龄 64.9~98.9 岁;54%为白人,43%为黑人)的 T_2^* 加权多回波梯度回波 3.0T MRI 数据利用 ME-

DI 工具箱重建 QSM 图,并配准到 MIITRA 空间,构建了一个高质量的老年人大脑 QSM 模板。该模板具有较高的图像清晰度,允许精细结构的可视化并包括具有代表性的老年人大脑特征。

脑组织铁浓度的改变与多种病理状态有关,但很难在体内测量。Lin 等利用 R_2^* 和 QSM 两种非侵入性方法来量化活体正常人大脑铁浓度。10 例正常受试者接受了两次扫描,两次之间具有很好的一致性。在白质中,组织铁浓度为 52~60 mg/kg,而尸体研究文献中为 30~48 mg/kg。在深部核团中,组织铁浓度为 81~105 mg/kg,而尸体研究文献中为 60~242 mg/kg。因此,使用 R_2^* 图可作为组织铁浓度的替代指标,无创铁量化可以跟踪疾病状态并更好地为治疗提供信息。

(收稿日期:2023-01-13)

• RSNA2022 聚焦 •

RSNA2022 头颈部影像学

丁玉洁,谢彦,伊景如,张顺,章媛媛,李丽,朱文珍

【摘要】 2022 年 RSNA 年会头颈部影像学的研究进展主要集中于头颈部肿瘤的诊断与鉴别诊断,介入放射学方法在头颈部肿瘤治疗中的应用,多模态影像学及人工智能在甲状腺/甲状旁腺疾病的诊断与鉴别诊断、分子分型及预后预测方面的研究,高端 CT 系统对颞骨和鼻窦的诊断价值,头颈部其他疾病的诊断与鉴别诊断、治疗方案的选择和治疗评估。本文将对以上研究进展进行系统综述。

【关键词】 头颈部肿瘤;甲状腺疾病;甲状旁腺疾病;颞骨鼻窦;介入放射学;体层摄影术,X 线计算机;磁共振成像

【中图分类号】 R76;R445.2;R814.42 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)01-0010-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



头颈部肿瘤

准确评估口腔鳞状细胞癌(oral squamous cell carcinoma, OSCC)的侵袭深度(depth of invasion, DOI)对肿瘤分期及治疗至关重要。Ohno 等连续纳入 40 例经病理证实的 OSCC 患者,分为两组,一组使用口腔隔膜(为防止舌体与牙科金属接触的厚折叠外科纱布)辅助行对比增强超高分辨率 CT(CE-SHR-CT)

扫描,另一组未使用口腔隔膜的患者行对比增强多层螺旋 CT(CE-MDCT)扫描,两组患者均进行 T_1 对比增强(CE- T_1 WI)扫描。通过感兴趣区域(regions of Interest, ROI)测量确定 CE-SHR-CT 和 CE-MDCT 图像上 OSCC 的信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR),并用 t 检验比较两种方法的图像质量。采用 Pearson 相关分析和 Bland-Altman 分析评价 CE-SHR-CT 和 CE- T_1 WI 测量所得 DOI 与病理结果的相关性和一致性。结果显示 CE-SHR-CT 的 SNR 和 CNR 显著高于 CE-MDCT($P < 0.0001$);CE-SHR-CT($r = 0.75, P < 0.0001$)和 CE- T_1 WI($r = 0.83, P < 0.0001$)测量所得 DOI 与病理结果有显著正相关性,SHR-CT 和 CE-

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:丁玉洁(1998-),女,安徽合肥人,硕士研究生,主要从事中枢神经系统影像诊断和研究工作。

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

T₁WI 的 95% 一致性限度分别为 (0.5 ± 1.2) mm、(-0.3 ± 5.1) mm。因此,在 OSCC 患者中,使用口腔隔膜的 CE-SHR-CT 可以改善图像质量,并且可比 CE-T₁WI 更准确地测量 DOI。

Yogi 等对 31 例头颈癌患者(年龄 43~90 岁,中位年龄 65 岁)进行回顾性分析,在患者进行动脉内放化疗(intra-arterial chemoradiotherapy, IACRT)前,行时间飞跃磁共振血管成像(TOF-MRA)、动脉自旋标记磁共振血管成像(ASL-MRA)和 CT 血管成像(CTA)。通过构建五级量表评估 MRA 和 CTA 的最大强度投影图像上颈外动脉(ECA)分支的可视化情况,两位观察员根据 IACRT 中的血管造影盲法随机评估 ECA 的每个分支。结果显示 ASL-MRA 和 CTA 对甲状腺上动脉、舌动脉、面动脉、颌下动脉、面横动脉和下颌内动脉的显示均优于 TOF-MRA ($P < 0.03$),ASL-MRA 对脑膜中动脉和下颌内动脉的显示优于 CTA ($P = 0.0001$ 和 0.0007),对颌下动脉的显示劣于 CTA ($P = 0.0005$),对咽升动脉的显示劣于 TOF-MRA ($P = 0.002$)。因此,对于大多数 ECA 分支,ASL-MRA 在可视化方面与 CTA 相似并优于 TOF-MRA。在临床上,由于肾功能障碍或种植牙造成的金属伪影而不适合进行 CTA 检查的头颈癌患者,可以采用 ASL-MRA 检查提供额外的血管解剖信息。

为了探讨弥散加权成像(DWI)结合反向编码畸变校正(reverse encoding distortion correction, RDC)技术在改善图像质量以及提高 ADC 对头颈部肿瘤良恶性鉴别能力方面的作用,Ohno 等纳入 47 例头颈部肿瘤患者,在 3.0T 磁共振上进行有/无 RDC 的 DWI 扫描。采用配对 t 检验比较肿瘤的形变率(deformation ratio, DR)及 ROI 的 ADC 值。应用 5 点视觉评分系统对总体图像质量、病变形变程度和病变显著性进行评价。基于 ROC 曲线的阳性预测值确定进行鉴别良、恶性肿瘤的可行阈值。结果显示使用了 RDC 技术的 DWI 的 DR 明显小于未使用 RDC 的 DWI ($P < 0.05$),但两组的 DWI 所测 ADC 值无显著差异。结合 RDC 的 DWI 各定性图像质量评分均显著高于无 RDC 的 DWI ($P < 0.05$)。使用可行阈值鉴别肿瘤良恶性时,有 RDC 的 DWI 的特异度(specificity, SP)和准确度(accuracy, AC) (SP: 61.5%, AC: 75%)显著高于无 RDC (SP: 46.2%, $P < 0.05$; AC: 65%, $P < 0.05$)。因此, RDC 技术在改善 DWI 图像失真、增强图像质量、提高 ADC 对头颈部肿瘤良恶性鉴别能力方面具有潜在的应用价值。

为了评估经动脉化学灌注术(transarterial chemoperfusion, TACP)治疗头颈部肿瘤的疗效, Vogl 等对 77 例接受了 300 次头颈部重复 TACP 治疗的患者

进行了回顾性分析。化疗药物选用丝裂霉素 C、吉西他滨、顺铂和伊立替康,采用 RECIST 标准评价肿瘤化疗反应。结果显示所有患者肿瘤体积平均缩小 34.86%,在第一次 TACP 治疗后最为有效,肿瘤体积平均缩小 19.39%,在研究中并未记录到该疗法明显的副作用。根据 RECIST 标准,44.2% 的患者出现“部分缓解”,40.3% 为病情稳定,6.5% 为病情进展。所有患者的中位生存期为 12.6 个月(95% CI: 9.6~15.6 个月);且肿瘤处于 T1-T3 期、低 N 期和高 N 期的肿瘤体积缩小均与生存时间存在相关性($P = 0.036$ 、 0.004 、 0.013)。因此, TACP 可以缩小肿瘤体积并提高患者存活率,是一种有效的姑息性治疗头颈癌的方法。

近几十年来,口咽癌的发病率一直呈上升趋势,手术治疗仍旧是部分接受放化疗的患者在肿瘤残留或复发时可行的治疗选择。然而,舌后和扁桃体床广泛的血供增加了围手术期出血的风险。Nimmalapudi 等对 320 例舌中线根部肿瘤复发或残留的患者进行了前瞻性研究,以探讨术前选择性栓塞术对降低围手术期出血风险的作用。该研究所纳入的患者在进行经口机器人手术治疗前,接受了使用 100~300 微米的聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)颗粒作为栓塞材料的选择性舌动脉栓塞术, PVA 可在毛细血管水平阻塞动脉,并不可被吸收,以提供更持久有效的血管闭塞。结果显示,所有患者均未发生重大围手术期出血及术后并发症,且均保留舌血供,舌功能恢复良好。因此可以采用介入放射学的方法在手术前对滋养血管和肿瘤床进行选择性的栓塞术,有助于降低围手术期出血的风险。

甲状腺/甲状旁腺疾病常规及新型成像技术的应用

微创手术是原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)的标准治疗方法。采用 4D-CT 和 ¹⁸F-氟胆碱 PET (¹⁸F-Fluorocholine PET, FCH PET)可以有效地将腺瘤准确定位,从而指导微创手术。为了总结 4D-CT 和 FCH PET 的综合灵敏度及阳性预测值(positive predictive value, PPV)并比较这两种技术在异位疾病、既往手术和常规影像学患者中的有效性, Patel 等在 PubMed 和 EMBASE 数据库中筛选出 49 项符合条件的 4D-CT (研究数 = 26) 和 FCH PET (研究数 = 24) 研究并对其进行 QUADAS-2 评估,其中 4D-CT 扫描和 FCH 扫描的患者总数分别为 1651 例和 952 例。结果显示,整个队列中,无论是在每例患者[92 (88~94) vs 85 (73~92)]还是在每一病变分析[90 (86~93) vs 79 (71~84)]中, FCH PET 较 4D CT 都具有更高的敏感度,在常规影像学阴性/持续性 PHPT 患者亚组中, FCH PET 在诊断病变敏感性方面表现更好,两种成像方式对异位病变

的敏感性相当。同时, FCH PET 的检出率高于 4D CT, 但差异无统计学意义($P=0.26$)。这项荟萃分析表明 FCH PET 在扫描持续性 PHPT、常规扫描阴性和未经选择的 PHPT 患者中表现更好, 临床中应将 FCH PET 扫描作为准确定位甲状旁腺异常的一线成像方式, 当行 FCH PET 扫描不方便时, 可选择 4D-CT 成像。

Moon 等在韩国 Ajou 大学医疗中心(Ajou University Medical Center, AUMC) 6163 例患者的 17089 张图像上开发和验证了一个基于深度学习的 AI 模型(AI-THINK), 用于甲状腺良恶性结节的鉴别诊断, 并研究其如何辅助放射科医生改进临床实践。该系统在来自韩国 26 家不同医院的 4766 例患者的 10701 张图像上进行了外部验证(测试集 1), 并在来自 AUMC 中 2204 例患者的 4490 张图像上进行了时间验证(测试集 2)。模型验证完成后, 首先将其诊断性能与学术中心 17 位经验丰富的放射科医生进行比较(测试集 1), 然后再与 AUMC 的 6 位放射科医生(4 位住院实习医生, 2 位正式员工)进行比较(测试集 2)。结果显示, 表现最好的模型接受者工作特征曲线下面积(receiver operating characteristic, AUROC)为 0.920(95% CI: 0.909~0.931); 在测试集 1 中, 应用 AI-THINK 诊断的 AUROC、敏感度和特异度分别为 0.922、86.0% 和 83.3%, 而由放射科医生应用 TIRADS 诊断者分别为 0.829、76.0%~85.0% 和 61.3%~80.8%, 在测试集 2 中 AI-THINK 的这些指标分别为 0.938、89.2% 和 83.6%。通过联合 AI-THINK 辅诊系统, 6 位放射科医生的集合 AUROC 从 0.874 显著提高到 0.943, 敏感度从 82.3% 提高到 90.3%, 特异度从 79.2% 提高到 88.6%, 并且观察者之间的诊断一致性也从中度($\kappa=0.472$)提升到了高度($\kappa=0.723$)。因此, 联合 AI-THINK 辅诊系统可以显著提高放射科医生的诊断水平并减少在甲状腺癌诊断中观察者间的差异。

由于在甲状腺乳头状癌(papillary thyroid cancer, PTC)治疗前并不总是能发现淋巴结转移, 导致其术后局部复发率高。甲状腺 CT 在发现颈部和超声检查无法触及部位的淋巴结转移方面比单纯的超声检查更有价值。Moon 等对 1443 例因 PTC 而接受手术的患者进行了回顾性分析, 其中 584 例患者术前接受了甲状腺 CT 成像(CT 成像组), 859 例患者没有接受 CT 成像(非 CT 成像组)。采用逆概率加权(inverse probability weighting, IPW)和倾向性评分(propensity score, PS)匹配调整 14 个变量并在两组之间进行匹配, 分析患者的无复发和无转移生存期, 记录淋巴结分期以及手术计划的变化。结果显示 CT 成像组 584 例患者中 94 例(16.1%)的 PTC 患者分期发生变化, 19

例(3.3%)患者观察到手术范围的变化。使用 IPTW 调整后, CT 成像组的无复发生存率显著高于非 CT 成像组($P=0.037$)。在 Cox 比例风险模型中, CT 成像组的无复发生存期风险显著降低($HR=0.52$; 95% CI: 0.29~0.96; $P=0.037$), 在 PS 匹配后, 无复发生存期的 HR 为 0.60(95% CI: 0.31~1.17; $P=0.134$)。对于无转移生存期, 经 PS 匹配和 IPTW 调整后的 HR 分别为 0.87(95% CI: 0.20~3.80; $P=0.851$)和 0.75(95% CI: 0.17~3.36; $P=0.71$)。该研究表明联合甲状腺 CT 与 US 检查可以改变 PTC 患者的手术计划, 有助于延长患者的无复发生存期。

头颈部其他疾病常规及新型成像技术的应用

Mesropyan 等对尸体标本分别进行了能谱、双源(DS)和光子计数(PC)CT 扫描, 比较它们在不同辐射剂量设置下对颞骨和鼻窦的诊断质量。研究中使用 Likert 分级量表评估重要解剖标志(颞骨: 面神经管、耳蜗、鼓室盖、锤骨, 整体; 鼻窦: 钩突、鼻泪管、筛板、上颌窦口, 整体)的图像质量(image quality, IQ), 获取并比较每次扫描的剂量-长度乘积(dose-length product, DLP)、CT 剂量指数(CT dose index, CTDI)和扫描长度。结果显示, 在低剂量扫描中, 颞骨的 PCCT 扫描 IQ 最好, 优于能谱 CT, 其次是 DSCT(4.3 ± 0.5 vs 3.7 ± 0.6 vs 2.9 ± 0.6 , $P<0.001$)。在超低剂量环境中, PCCT 与能谱 CT 相比也具有显著更好的 IQ(3.9 ± 0.4 vs 2.8 ± 0.4 , $P<0.001$)。对于鼻窦 CT, 使用高剂量和中剂量扫描的所有 CT 系统之间 IQ 没有显著差异, 而在低剂量和超低剂量环境中, PCCT 和能谱 CT 的 IQ 相似但优于 DSCT(低剂量: $P<0.05$), 并且 PCCT 较能谱 CT 可以减少 DLP。研究表明, PC-CT 系统的 IQ 优于其他研究系统, 即使使用超低剂量扫描也能在保持良好 IQ 的同时大幅降低辐射剂量。临床上, 可以广泛实施 PCCT, 特别是在儿科患者中, 进一步优化扫描方案将能够有效减少辐射暴露。

脑沟深度作为大脑皮层的定量指标之一, 随着年龄和疾病的加重而加深, 在脑形态学研究中得到了广泛的应用。Wei 等纳入 33 例耳鸣患者分别在基线和声音治疗 24 周后进行 MRI 扫描, 另外纳入 26 例年龄和性别匹配的健康对照组(healthy contrast, HC)也在 24 周内接受两次扫描。所有受试者均用 MPRAGE 脉冲序列采集 3.0T MRI 和高分辨率三维结构图像。利用 DPABISurf 工具箱对结构图像数据进行预处理, 使用基于表面形态计量学(surface-based morphometry, SBM)方法测量脑沟深度变化并采用耳鸣障碍量表(THI)评分来评估治疗前后耳鸣的严重程度。结果显示, 耳鸣组患者在基线时的左内侧颞叶皮层(medial

temporal cortex, MTC)、右侧躯体感觉运动皮层(somatosensory and motor cortex, SMC)的脑沟深度与 HC 相比显著降低,但经过 24 周的声音治疗后,耳鸣患者左侧 MTC 和右侧 SMC 的脑沟深度显著增加且与 HC 之间无明显差异。研究表明,声音疗法改变了一些重要脑区和系统的脑沟深度,长期使用该疗法对耳鸣患者恢复正常有帮助。在临床中,使用 SBM 测量的脑沟深度是结构 MRI 中比较敏感的指标,可为研究耳鸣患者声音治疗前后耳鸣相关神经解剖学变化提供潜在的附加价值。

Fan 等回顾性招募了 71 例中耳胆脂瘤患者,对其行高分辨率 CT(HRCT)、快速自旋回波扩散加权成像(TSE-DWI)以及 T_2 WI 压脂序列扫描,使用 3D 重建后处理工作站进行图像融合得到 CT-DWI 和 T_2 WI-DWI 融合图像。以水平半规管横向位置为参考,采用 5 级 Likert 评分量表主观评价两幅融合图像的整体质量、半规管显示、病变清晰度和诊断置信度,并进行受试者工作特征分析,计算两幅融合图像在中耳胆脂瘤定位中的诊断效能。结果显示 T_2 WI-DWI 融合图像的整体质量略高于 CT-DWI 融合图像($P < 0.001$),而半规管的清晰度略低于 CT-DWI($P < 0.001$),两者的诊断置信度无统计学差异。在中耳胆脂瘤的定位中, T_2 WI-DWI 与 CT-DWI 对上鼓室、鼓室、乳突窦和乳突的诊断准确度、敏感度、特异度均较高,差异无统计学意义。研究表明, T_2 WI-DWI 融合图像的整体质量可以与 CT-DWI 融合图像相媲美,并且可以清楚地评估上鼓室、鼓室、乳突窦和乳突上胆脂瘤的解剖位置和累及程度,因此, T_2 WI-DWI 融合图像可替代 CT-DWI 协助临床医生进行术前评估、选择最佳手术方案和规划最佳手术入路。

相关研究报告称特发性突发性感音神经性听力损失(SSNHL)患者是由于其血迷路屏障(blood labyrinth barrier, BLB)被破坏导致受累耳蜗处的对比度增强,但迄今为止,尚未建立标准方案来评估 SSNHL

患者的 BLB 破坏。Kim 等对 71 例特发性单侧 SSNHL 患者[(32 例男性和 39 例女性,平均年龄为 (57.1 ± 14.5) 岁)]进行了回顾性分析。所有患者均在对对比剂注射后约 10min 进行 3T MR 成像,包括 2D 或 3D T_1 自旋回波(T_1 SE)、3D T_1 快速扰相梯度回波(T_1 FSPGR)和重 T_2 加权 3D FLAIR(3D HF)。在不知晓患者临床信息的情况下,采用 3 级可见性评分系统对每个序列中存在的不对称周围淋巴增强进行定性分析。4 周后,再次进行定性分析,以确保可信度。结果显示,3D HF 序列的可见性得分高于 T_1 SE 和 3D T_1 FSPGR 序列;3D HF、 T_1 SE 和 3D T_1 FSPGR 中可见性评分 ≥ 1 的不对称周围淋巴增强的检出率分别为 33.8%($n=24$)、8.5%($n=6$; $P < 0.001$)和 2.8%($n=2$; $P < 0.001$)。因此,对比增强 3D HF 增加了特发性 SSNHL 患者周围淋巴增强的可检测性,可用于临床评价 BLB 的渗漏。

Faizel 等以组织病理学为金标准,比较双能 CT 成像与非平面回波磁共振扩散加权成像(非 EPI DWI MRI)对原发性、残余性和复发性胆脂瘤中的诊断性能。该实验对 20 例(男 17 例,女 3 例)接受颞骨成像的疑似胆脂瘤或胆脂瘤复发的患者进行前瞻性研究,对其同时行 GSI 颞骨 CT(双能 CT)和 MRI 序列(非 EPI-DWI MRI, T_1 和 T_2 加权序列)扫描。研究中使用 ROI 绘制了以水为中心的直方图(有效 Z 值为 7.46),以寻找胆脂瘤与慢性中耳乳突炎的相关性。结果表明,双能 CT 诊断胆脂瘤的敏感度为 93.3%,非 EPI-DWI MRI 诊断原发性胆脂瘤的敏感度约为 80%,而由 HRCT 单独诊断复发性胆脂瘤的敏感度仅为 37%;非 EPI DWI 联合双能 CT 的有效 Z 值诊断原发性和复发性胆脂瘤的敏感度和特异度均为 100%。因此,联合双能 CT 与非 EPI-DWI MRI 提高了总体诊断的敏感度、特异度和准确度,可以在术前诊断几乎所有的胆脂瘤。

(收稿日期:2023-01-11)

RSNA2022 心脏 CT 及 MRI

赵赞,冉玲平,李浩杰,杨朝霞,乔金晗,温金扬,罗毅,向春林,唐媛媛,严祥虎,朱桐,黄璐,夏黎明

【摘要】 2022 年 RSNA 大会中关于心脏影像学方面的研究热点主要包括以下几个方面:①人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用;②影像组学;③光子计数探测器 CT 成像技术;④非对比增强心脏磁共振成像;⑤冠状动脉周围脂肪组织定量评价;⑥心脏磁共振新技术。本文针对以上内容进行综述。

【关键词】 心脏;人工智能;影像组学;光子计数探测器;磁共振成像;体层摄影术,X 线计算机

【中图分类号】 R541;R445.2;R814.42 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)01-0014-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



2022 年 RSNA 心脏影像学内容丰富,本文从人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用、影像组学、光子计数探测器 CT 成像技术、非对比增强心脏磁共振成像、冠状动脉周围脂肪组织定量评价及心脏磁共振新技术等方面对影像学研究热点和进展进行阐述。

人工智能在冠状动脉 CTA 及 MRA 中的应用

近年来,人工智能逐渐应用于心血管成像领域。冠状动脉计算机断层血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)是一种简单、无创的冠脉成像方式,是辅助冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)诊断和预测的重要检查手段。超分辨率深度学习重建(super-resolution deep-learning reconstruction, SR-DLR)最近被应用于常规临床实践中,它可以最大限度地提高区域探测器 CT 的空间分辨率,但又不会降低对比度检测能力或增加辐射剂量。Nagayama 等评估 CAD 患者 CCTA 中 SR-DLR 的图像质量,发现 SR-DLR 显著提高了阻塞性 CAD 患者 CCTA 的主、客观图像质量和诊断信心。SR-DLR 在提高空间分辨率的同时降低了噪声和晕状伪影,从而可以准确评估阻塞性 CAD 患者的 CCTA 图像。同时,新型 SR-DLR 算法能减少支架引起的线束硬化伪影,改善冠状动脉支架评估。Ohno 等研究发现,与混合型和基于模型的迭代重建及体内外深度学习相比,SR-DLR 在提高冠状动脉狭窄评估准确性、图像质量和狭窄置信度方面具有一定潜力。

修复后的法洛四联症(repaired tetralogy of Fal-

lot, rTOF)患者经常因肺动脉瓣返流而出现右心室(right ventricle, RV)功能障碍。然而,一些患者也可能出现左心室(left ventricle, LV)功能障碍。Crabb 等试图应用左心室局部应变是否可以敏感地检测出该患者的左心室功能障碍,结果发现在 rTOF 患者中, LV 区域力学的全自动深度学习(deep learning, DL)分析可以检测早期 LV 功能障碍,并可能补充 RV 指标,以帮助指导瓣膜置换术的时间。

Ahmed 等应用基于专用卷积神经网络(convolution neural network, CNN)的单源和双源 CCTA 进行运动校正,发现所提出的 CNN 可以减少运动伪影并显著改善图像质量,且两位评分者一致性较高。CNN 可以提高单源 CT 的时间分辨率,使其更接近双源 CT,同时进一步提高双源 CT 的时间分辨率。

Choi 等在癌症患者的非心电门控胸部 CT 上评估基于 DL 全自动冠状动脉钙化(coronary artery calcium, CAC)评分软件的临床可行性,发现目前基于 DL 的自动 CAC 软件对 Agatston 评分和心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)风险分层显示出良好的可靠性,并可以识别 CVD 的高危癌症患者。

Wu 等基于 DL 联合压缩感知(compressed sensing, CS)下使用加速全心改良 DIXON 冠状动脉磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA),显著缩短了采集时间。与 CS 和常规方法相比,图像质量有所提高,并且可以提供额外的脂肪信息,这可能成为增强冠状动脉 MRA 临床工作流程的可行替代方案。

影像组学

影像组学可以从大量影像信息中挖掘、提取并分析纹理特征,构建模型预测疾病状态及临床结局,在心

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:赵赞(1999—),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事心脏磁共振成像诊断和研究工作。

通讯作者:夏黎明, E-mail: lmxia@tjh.tjmu.edu.cn

脏 CT 及 MRI 领域得到初步探索,尤其应用在冠状动脉斑块及周围脂肪组织的影像学特征提取。Zhu 等研究发现基于 CCTA 的斑块影像组学特征在预测冠状动脉斑块进展方面优于传统参数,影像组学特征和传统斑块参数的结合进一步提高了其预测能力。

Ren 等探讨 CCTA 提取的放射学特征无创性鉴别慢性完全闭塞与次全闭塞可行性,发现基于闭塞段放射学特征构建的模型可以对两者进行有效区分,为预测手术难度提供可靠的信息。

Jing 等在探讨基于冠状动脉周围脂肪组织(pericoronary adipose tissue, PCAT)放射组学构建急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)预测模型的临床价值,发现 PCAT 放射组学构建的预测模型可以有效预测患者 ACS 的临床风险。PCAT 放射组学特征可以帮助无创识别有 ACS 风险的患者,从而为早期临床预防提供方向。Shang 等研究 PCAT 影像组学在预测 ACS 患者主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)中的作用,基于多血管疾病和 PCAT Radscore 的 COX 比例风险回归模型对 ACS 患者复发的 MACE 具有良好的预测能力,可以为 PCAT 的病理生理变化提供更多的预测信息,这些变化可能与 ACS 患者的临床结局密切相关。PCAT 影像组学具有早期发现高危 ACS 患者并进行风险分层的潜力,从而指导临床选择合适的治疗策略。

Secchi 等评估基于非增强 CT 量化的心外膜脂肪组织(epicardial adipose tissue, EAT)影像学特征预测 CAD 的能力,研究发现 EAT 的影像学特征可能有助于通过评估钙化积分来预测 CAD 的存在。

Li 等研究双能 CT 衍生碘叠加图的影像组学在心房颤动患者左心耳血栓检测中的应用,发现与常规对比增强 CT 相比,碘叠加图的影像组学表现更好,对于房颤患者准确检测血栓形成具有重要意义。

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)患者心肌易发生进行性纤维化,在终生随访期间需要反复进行增强心脏磁共振以检测纤维化。Pu 等开发了一个基于电影成像的实用模型,融合整个左心室心肌图像特征,以帮助识别纤维化高风险患者并筛查没有纤维化的患者,从而避免不必要的对比剂注射。

光子计数探测器 CT 成像技术

近年来,光子计数探测器 CT(photon-counting detector CT, PCD-CT)技术日渐成熟,相较于传统 CT,PCD-CT 能够在保证图像质量的同时降低噪声和辐射剂量。Griffith 等发现与传统能量积分探测器 CT(energy-integrating-detector CT, EID CT)相比,

PCD-CCTA 可以显著提高图像信噪比,有望转化为临床优势,包括低剂量扫描或改善冠状动脉疾病的检测。Petritsch 等也提出,PCD-CT 和超锐卷积核的组合在相同甚至更低的噪声水平下,提供了更好的支架内管腔可见度和主观图像质量,能够提高对冠状动脉支架以及潜在支架内再狭窄的评估。

PCD-CT 的高分辨率与高能量的虚拟单能图像(virtual monoenergetic images, VMI)的联合使用,可以减少模型和标本钙化斑块的膨胀伪影。McCollough 等基于双源 PCD-CT 研究其对冠状动脉管腔狭窄百分比视觉估计的影响,发现 PCD-CT 分辨率提高和 100KeV VMI 的晕状伪影减少,从而更好地进行狭窄程度评估。Zsarnoczay 等研究也发现,光谱重建可用于提高 CCTA 狭窄定量的准确性,因此有可能减少不必要的侵入性冠状动脉造影。

Mergen 通过 PCD-CT 获得的心脏晚期增强扫描虚拟非碘重建图像,评估主动脉瓣、二尖瓣环和冠状动脉中定量钙化的准确性,通过 PCD-CT 获得的晚期增强光谱心脏扫描的虚拟非碘重建能够准确定量主动脉、二尖瓣和冠状动脉钙化,从而降低辐射剂量。

Emrich 等使用动态循环模型研究临床 PCD-CT 系统上 CCTA 中减少碘对比剂的应用。在双源 PCD-CT 系统上使用 40keV 的 VMI 重建,对比剂浓度可降低 50%,以获得动态血管体模中 CTA 的诊断衰减和客观图像质量,可能提高检查的安全性。

Mergen 等评价超高分辨率(ultra-high-resolution, UHR)CCTA 联合 PCD-CT 在高冠状动脉钙化负荷患者中的可行性和质量,发现使用 Bv64 内核、200mm×200mm 的 FOV 和 512 矩阵可实现最佳的冠状动脉斑块表征。在冠状动脉钙负荷高的患者中使用 UHR 模式和 PCD-CT 可获得出色的 CCTA 图像质量。Heidenreich 等基于专用重建内核评估超高分辨率 PCD-CCTA 评估支架内再狭窄,可提供卓越的图像质量和显著增强的分辨率,从而显著增强支架内狭窄的评估。

非对比增强心脏磁共振成像

1. 心肌应变

心脏整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、环向应变(global circumferential strain, GCS)以及径向应变(global radial strain, GRS)可以定量评价左心室局部以及整体的功能障碍,常被应用于评价早期心肌功能损伤。Ref 等在猪模型上测量局部室壁应变对收缩功能障碍的预测能力,对冠状动脉供血区域进行局部性分析,研究提供了前降支(left anterior descending, LAD)闭塞后 LAD 和左旋支(left circum-

flex, LCX) 区域的预期变化。研究发现 LCX 区域应变的变化比 LAD 区域减少 8.5%。右冠状动脉(right coronary artery, RCA) 区域的应变值在 GLS 上有显著变化,而在 GCS 和 GRS 上无显著变化。这种不良的 RCA GLS 值归因于一种代偿性现象, RCA 区域弥补了 LAD 心肌纤维的不足。局部心肌应变的临床前测量可以在猪模型中作为心衰结果的预测指标。

心室整体收缩功能是 rTOF 不良事件的既定影像学预测指标,但心肌形变测量的价值尚不明确。Thomas 等通过心血管磁共振测量心肌应变,在高危人群中,双心室应变异常与 MACE 相关。与常规磁共振指标相比,应变在预测 rTOF 晚期恶化方面可提供增量价值。

Deng 等通过心脏磁共振特征追踪(cardiac magnetic resonance feature tracking, CMR-FT) 技术评估轻链型心肌淀粉样变(light-chain cardiac amyloidosis, AL-CA) 患者的左心室舒张功能, CMR-FT 应变分析得到的左心室舒张早期整体纵向应变率和左房储备射血分数在预测 AL-CA 全因死亡率中具有重要意义。

Sinha 等应用 CMR 参数和应变分析评估风湿性二尖瓣狭窄患者中左室心肌的不良重构,研究发现几乎所有接受 CMR 检查患者的纵向应变值减低,纵向应变与射血分数呈较强的正相关关系($r=0.83, P<0.001$),提示不良的心脏重塑及功能障碍。

以蒽环类药物为基础的全身化疗方案会对心脏产生短期和长期的毒性作用。Chen 等利用 CMR-FT 研究基于顺铂的系统化疗所致睾丸癌长期存活者心肌应变的变化。发现睾丸癌幸存者的心肌变形显著恶化,以顺铂为基础的化疗对双室收缩功能有晚期不良影响。双室 GCS 可能是保证射血分数保存的潜在代偿机制,可用于监测顺铂化疗前、中、后的心功能。

Erley 等通过测定整体以及区域性心肌应变监测 ST 段抬高性心肌梗死(ST-elevation myocardial infarction, STEMI) 急性期至慢性期变化,并确定其预测晚期钆增强(late gadolinium enhancement, LGE) 的能力。研究发现从急性到慢性 STEMI 心肌应变有所改善,但 LGE 阳性区域节段心肌应变持续受损,可以确定 STEMI 后存在心肌功能的损伤以及修复。其中,环向应变能够用以预测 STEMI 后的 LGE 病灶。

Ming-Yen Ng 等通过心脏磁共振研究射血分数保留型心力衰竭(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF) 诊断,相比于相位对比成像、tagging 和细胞外体积分数,基于 CMR-FT 的舒张早期径向应变率、收缩期径向应变率和环向应变更加具有识别 HFpEF 的潜力。

2. T_1/T_2 -mapping

Wang 等基于右心室前插入部和下插入部初始 T_1 值对肺动脉高压患者进行危险分层,初始 T_1 值和基于 CMR 的心功能参数的组合模型可以补充 PAH 患者危险分层的评估。另外,右心室前插入部 native T_1 -mapping 和主肺动脉/主动脉直径比值的联合模型有望预测 PAH 患者的治疗效果。

Cundari 等在应用心肌初始 T_1 和 T_2 -mapping 在鉴别急性心肌炎(acute myocarditis, AM)、急性心肌梗死和应激性心肌病(Takotsubo syndrome, TTS) 诊断效能发现无对比剂原始 T_1 和 T_2 -mapping 在识别急性心脏疾病,以及 AM 与心肌梗死或 TTS 之间的鉴别中发挥作用。与整体 T_1 、 T_2 值相比, T_1 、 T_2 最大值及平均值表现出更高的诊断效能。

T_2 -mapping 对血氧水平敏感, Halfmann 等提出的 RV/LV T_2 比值与 6 分钟步行试验结果紧密相关,并且能够独立预测心衰患者的运动能力和运动后呼吸困难的存在。这是运动能力的一个标志。

Jia 等利用 CMR 成像参数显示心肌异常和慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD) 严重程度之间的关联,研究发现初始 T_1 、 T_2 值与 CKD 分期相关。此外, CMR 参数表明血液透析可以改善心肌水肿,但不能改善心肌纤维化。非对比增强 CMR 可以无创评估 CKD 患者心脏病理变化,以预防 CVD 早期发生。

3. 4D 血流成像

Ming-Yen 等利用心室内四维血流相位对比磁共振成像(four-dimensional flow magnetic resonance imaging, 4D flow MRI) 对 HFpEF 患者进行评估,发现 4D flow MRI LV 直接流、延迟流和停滞流在区分 HFpEF 和非 HFpEF 患者方面显示出良好的效果,其中停滞流评价效果最佳。

4. MRS

Fabry 病的特征是 α -半乳糖苷酶 A 缺乏引起的鞘脂沉积,心脏受累对发病率和死亡率至关重要。因此,心肌鞘脂沉积的测量对于评估早期心脏受累和酶替代治疗的指征非常重要。Shiotani 等使用单屏气¹H-MR 波谱中的疾病特异性峰评估 Fabry 病患者心肌受累的新型代谢成像生物标志物,研究发现 3.5 ppm 的 MRS 峰与鞘脂 Lyso-GB3 有关,可作为疾病特异性成像生物标志物,可用于直接定量常规 MRI 序列之外的 Fabry 病心肌鞘脂积累,对于评估早期心脏受累、疾病严重程度和酶替代疗法适应症具有重要意义。

冠状动脉周脂肪组织定量评价

近年来 PCAT CT 衰减成为识别冠状动脉炎症和

潜在斑块不稳定性的工具,对周围脂肪密度的三维映射,特别是右冠状动脉近端周围区域,已经显示出预测 CAD 患者不良心血管结局的潜力。主动脉狭窄患者合并 CAD 十分常见,PCAT CT 是否能在接受经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)的主动脉狭窄患者中发挥类似的作用仍有待探索。Martin 等测定 RCA 近端周围感兴趣区内的平均衰减,发现与狭窄程度和冠状动脉钙化评分(coronary artery calcium score, CACS)相比, TAVR 术前 PCAT CT 是 MACE 的更好预测指标。因此, PCAT CT 可提高识别严重 CAD 患者的特异性,并减少额外的检查。

冠状动脉炎症的检测和量化可能有助于 CAD 患者的早期风险分类,甚至可能有助于预测冠状动脉斑块的进展。Jing 等基于 CCTA 测量 CAD 患者中冠状动脉粥样硬化斑块周围脂肪组织在不同斑块类型之间的差异,发现脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)和 HU 值等 PCAT 特征在钙化斑块、非钙化斑块和混合斑块中具有差异,可以无创准确评估冠脉炎症,有助于临床预防 CAD,改善患者预后。此外,他还发现冠状动脉斑块和斑块周围脂肪组织的 CT 衰减与斑块的类型、位置和体积有关,可作为监测斑块发展和易损性的临床影像学标记物。

Jing 等测定急性冠脉综合征和稳定性冠状动脉疾病患者中 PCAT 之间的差异,发现 ACS 组 FAI、PCAT 的 90 百分位数、第 10 百分位数和 HU 值中位数均高于稳定 CAD 组患者,PCAT 的定量参数可能成为一种新的、无创的临床影像学指标,用于血管炎症引起的 ACS 患者的早期识别和预测。

Azhe 等通过磁共振灌注成像分析川崎病患者 PCAT CT 衰减与冠状动脉瘤(coronary artery aneurysms, CAA)和心肌灌注的关系。与无 CAA 的川崎病患者及正常对照组相比,川崎病伴 CAA 患者的 PCAT CT 衰减增加。CAA 的存在是 PCAT CT 衰减的独立预测因子。川崎病患者的 PCAT CT 衰减与心肌灌注功能有关。CAA 川崎病患者 PACT CT 衰减增加提示持续性冠状动脉炎症反应,可能影响心肌灌注。

心脏磁共振新技术

Chen 等将二阶血流补偿弥散和计算机化 DWI 相结合,无需外源性对比剂应用,研究其识别心肌梗死的价值,发现两者结合可获得更高的 b 值心脏 DWI 图像,从而提高心肌梗死的检出率,在没有外源性对比剂的情况下提高其他微观结构重构的检出率。

Kravchenko 等比较 CMR 自由呼吸(free-breath-

ing, FB)多层呼吸触发伪黄金分割角稳态自由进动电影序列与标准屏气(breath-hold, BH)序列在先天性心脏病呼吸暂停困难患者中的应用,FB 序列在心室容积测量和功能方面与目前可用的 BH 序列结果几乎一致。当屏气受到限制时,FB 序列能够提供一种可替代的方案。

左心房肌病(left atrial myopathy, LAM)的血流动力学改变可能导致血栓形成和脑血管栓塞,从而导致无症状性脑梗死(silent cerebral infarcts, SCI)。4D flow MRI 能够量化左心房(left atrium, LA)和左心耳的血流动力学改变,作为 LAM 的标志性指标。Pradella 等利用 4D flow MRI 技术研究发现,年龄和左心耳峰值速度与 SCI 独立相关。以体积为基础的 LA 参数,如最大/最小体积或左房射血分数与 SCI 无关。这些发现表明,基于流量的 LA 测量可能优于基于体积的 LA 测量。

胸主动脉瘤常见于三叶主动脉瓣(tricuspid aortic valves, TAV)患者的主动脉根部和升主动脉,主动脉血流动力学的改变与动脉瘤的形成相关。Juffermans 等利用 4D Flow MRI 主动脉根部瘤和升主动脉瘤的血流动力学特征,与无动脉瘤的患者相比,主动脉根部瘤或升主动脉瘤的患者表现出两种不同的血流动力学特征。主动脉根部瘤患者的左心室每搏输出量显著增加,而升主动脉瘤患者的标准化血流位移、射流角和剪切角显著增加。

尽管体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)磁共振成像已成为微血管功能障碍的体内标志,但其在预测 HCM 患者预后方面的作用尚不清楚。Xiang 等基于 IVIM 评价的微血管功能障碍与 HCM 患者的不良临床预后相关,IVIM 衍生的 D* 值和 f 值是除 LGE 外的独立预测因子,为在常规实践中使用非对比剂增强 IVIM-MRI 辅助评估微血管功能障碍提供了依据。

心肌内出血(intramyocardial hemorrhage, IMH)的检测和定量已被确定为心肌梗死(myocardial infarction, MI)患者管理的基本生物标志物。定量磁敏感 mapping 成像(quantitative susceptibility mapping, QSM)是脑组织铁成像的标准。然而,其应用于心脏存在很多的技术限制,如成像过程中的心跳及呼吸运动、心脏内 B0 场强烈的不均匀性,以及出血性病变中高浓度铁聚集引起的条纹伪影,使它在心脏中的应用一直具有挑战性。Huang 等开发了一种高动态范围重建算法,自由呼吸下进行心脏定量磁敏感成像量化再灌注损伤心肌内铁沉积,为心脏铁定量提供了一种可靠的方法。

(收稿日期:2023-01-02)