



• RSNA2019 聚焦 •

RSNA2019 中枢影像学

张归玲, 李诗卉, 李葭, 阎肃, 谢彦, 吴宏宇, 高璐月, 覃媛媛, 张佳璇, 李丽, 胡颖, 刘城霞, 张顺, 江晶晶, 王剑, 方纪成, 朱文珍

【摘要】 RSNA2019 中枢神经系统方面报告的热点主要集中在拓展 MRI 新技术的应用和数据分析方法, 包括磁共振弹性成像(MRE)、静息态磁共振成像(f-MRI)、酰胺质子转移成像(APT)、扩散成像(DWI、DTI、DKI 等)和深度学习方法、高分辨及多模态图谱的创建等。在中枢神经系统疾病的应用研究主要包括: ①深度学习方法, 高分辨及多模态图谱在神经系统中的应用; ②功能序列及血管检查技术对血管内取栓的评价, 缺血半暗带的诊断及 ASPECTS 评分在评价卒中预后的作用; ③脑肿瘤良恶性、类别、分级和真假性进展的鉴别, 对治疗的评价及预后的预测, 胶质瘤的分子分型及异质性; ④胎儿及新生儿疾病的诊断及图像质量提高的方法; ⑤运动障碍性疾病治疗方法及其评价。

【关键词】 脑肿瘤; 脑血管病; 神经系统变性疾病; 深度学习; 多模态图谱

【中图分类号】 R563; R814.42; R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2020)03-0303-022

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.03.013

脑卒中

1. 深度学习在脑卒中的应用

提高急性缺血性脑卒中的诊断符合率对于减少卒中样发作患者的 tPA 溶栓治疗的错误使用具有重大意义。非对比增强 CT 常用于急诊中排除脑出血, 但其诊断急性缺血性脑卒中的敏感度及特异度均较低。Yeshwant 等以 MR-DWI 图像作为参考, 对相应的非对比增强 CT 图像进行基于深度学习算法 Mask R-CNN 模型的分析方法, 旨在自动检测并自动勾画 CT 上的急性缺血性脑卒中病灶。研究发现此模型检测急性缺血性脑卒中病变的特异度为 68.49%, 敏感度为 47.62%, F1 score 为 0.1394, 符合率为 67.36%; 同时, 此模型在自动分割病变有 34.78% 的阳性预测值。

Yan 等采用深度学习算法来评估其是否可以利用急性缺血性脑卒中患者的基线 DWI/PWI MRI 数据来预测 3~7 天的梗死区域, 并与临床最新的阈值法进行比较。深度学习采用卷积 U-net 模型, 其预测梗死体积的中位 AUC 为 0.91 (IQR 0.87, 0.95), 且优于常

规使用的阈值方法。

Montoya 等采用深度学习技术从锥形束 CT 灌注数据中获取时间分辨锥形束 CT 血管造影 (TRCBCTA) 图像。通过采用基于深度学习的血管成像 (deep learning angiography, DLA) 神经网络技术, 来获取 TRCBCTA 图像。结果发现所有的大动脉以及引流静脉显示出好至优秀的图像质量, 没有明显的残留的骨质信号。

Gerald 等定量分析了多期及单期 CT 血管成像来监测远端缺血性脑卒中, 除了常规定量分析动脉期 CTA 图像外, 还额外分析了峰值期及静脉期的 CTA 图像, 进而来判断血管狭窄/闭塞, 进行预测缺血性脑卒中的存在。研究发现额外分析静脉期图像敏感度显著增加 (86.5% vs. 94.0%, $P=0.004$), 特异度无显著增加 (98.2% vs. 99.0%, $P=0.387$), 阳性预测值无明显增加, 但阴性预测值显著增加 (87% vs. 91%, $P=0.001$)。观察者间的一致性 (Kappa 值) 由 0.76 增加到 0.84。因此, 通过同时分析多期 CTA 图像可以提高诊断符合率。

Chen 等旨在开发一种在头部 CT 上自动分割急性缺血性脑卒中病变的模型。通过对 240 例急性缺血性脑卒中患者及没有脑卒中病变的 106 例患者的评估, 发现基于 ASPECTS 区域分析的敏感度、特异度及准确率分别为 39.80%, 98.02%, 96.37%。研究证明

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, 博士研究生, 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: zhuwenzhen8612@163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (81730049; 81801666; 81873890)

其在预测头部 CT 上急性缺血性脑卒中病变具有很好的性能,即使在小脑和脑干区域。

Neelu 等使用一个 CT 灌注的模型,致力于探讨不同厂家及不同信号的 CT 仪器下不同的流速对定量测量的参数有无影响。研究发现,随着速度的增加,测量的 CBF 值升高,MTT 降低,CBV 保持不变;不同 CT 扫描仪之间的绝对 CBV、CBF 不同。研究得出结论,不同 CT 扫描仪测量出来的绝对灌注参数存在差异,当使用绝对 CT 灌注参数值来解释临床问题时需警惕这种差异的存在。

准确及时地预测脑出血患者的预后对于优化康复治疗策略至关重要。He 等评估一种深度神经网络模型是否可以依据 FLAIR 数据预测脑出血患者 3 个月后的康复情况。研究发现,此模型可以准确识别可能出现不良预后的患者,准确率为 81.8% (95% CI: 80.7%~82.9%),AUC 为 0.82 (0.80, 0.83),敏感度为 90.6% (89.6%, 91.6%),特异度为 72.6% (70.1%, 75.1%)。因此,基于 FLAIR 图像的深度学习模型可以识别脑出血患者是否会出现不良预后,从而指导临床治疗决策及康复治疗策略优化。

2. 功能成像在脑卒中的应用

酰胺质子转移成像 (amide proton transfer, APT) 是一种化学交换饱和转移成像技术,反应酰胺 ($-NH$) 和水分子之前的质子交换。因为质子交换率取决于组织的 PH 值,APT 同时可以检测脑梗死区域的 pH 值降低。Momosaka 等通过回顾性分析 29 例急性缺血性脑卒中患者,发现梗死区域的 APT10th 比对侧白质区域 (CNWM) 减低 (-1.69 ± 1.80 vs. -1.12 ± 1.73 %),心源性栓塞的 APT10th 比其他类型的栓塞显著降低 (-2.77 ± 2.42 vs. -1.02 ± 0.82 %)。APT10th 与 ADC10th 呈正相关 ($r=0.49$),与病变的大小呈负相关 ($r=-0.43$)。研究得出结论,心源性栓塞、梗死面积大以及表观扩散系数 (ADC) 减低的梗死区域的 APTws 减低。

Bailleux 等通过比较 3T 下 b 值为 1000, $b=2000s/mm^2$ 时对急性缺血性脑卒中病变的检出能力,对两个观察者分析发现, $b2000$ 较 $b1000$ 对缺血性脑卒中病变检出的敏感度高 (98.7% vs 93.7%),但特异度基本相似 (99.3% vs 97.3%)。说明 3T 高 b 值 DWI 可以提高检测急性缺血性脑卒中的敏感度。

Niloufar 等发现使用磁敏感加权成像 (SWI) 来观察大脑中动脉闭塞动物模型的脑梗死核心及缺血半暗带区域的 SWI 信号差异。共 8 只狗行大脑中动脉 M1 段永久性闭塞后性 MRI 成像,采用 DWI 和灌注成像来界定脑梗死核心和缺血半暗带。研究发现,与对侧正常区域相比,脑梗死核心及缺血半暗带区 SWI 信号

强度的中位数明显减低。深部灰质区域也较对侧正常区域减低。因此,SWI 可以作为一种快速、无创的成像方法来预测脑血流动力学改变。

扩散张量成像 (DTI) 可以观察微结构的改变是其临床应用中的一个优势。Adluru 等探索了 DTI 测量的脑卒中微结构的改变与性别、临床评分之间的相关性。结果显示 DTI 测量的微结构特征与急性时间分期比例呈正相关,与言语的流畅度呈负相关。男性临床评分与 DTI 微结构改变之间的相关性比女性更加明显。

Song 等对既往 MRI 颅内血管壁成像的文献进行了系统性分析,发现不同研究所使用的 MRI 技术存在较大的差异性,基于 STROBE 指南报告的血管壁成像也是各种各样的。因此,减少 MRI 血管壁成像的技术差异性以及严格遵守 STROBE 指南的评分系统对于准确评估颅内血管性病变更具有重要意义。

Zhang 等利用高分辨率 MRI 图像进行影像组学分析来鉴别有症状及无症状性颅内动脉斑块。通过对 2013—2016 年的大脑中动脉及基底动脉的高分辨率 MRI 图像进行分析后发现,联合是否吸烟、斑块内出血、强化的比例来识别症状性动脉斑块的曲线下面积 (AUC) 为 0.714;联合影像组学方法的 AUC 高达 0.953,联合影像组学所有特征的 AUC 为 0.976,符合率为 87.4%。因此影像组学方法可以有助于区分症状性和无症状性颅内动脉斑块。

Napoli 等联合颈动脉斑块成像、ASL 灌注成像来探索区分症状性及无症状性颈动脉狭窄的参数,从而得出导致临床症状的机制。经研究分析发现,有动脉流动伪影 (arterial transit artefacts, ATAs) 的患者较无 ATAs 的患者更可能有症状性斑块。因此,出现 ATAs 可预测颈动脉狭窄患者是否会出现缺血症状。

3. 血管内取栓术在大动脉阻塞的应用

Wolfgang 等对出现症状或发病超过 6 小时的 458 例缺血性卒中患者进行血管内取栓术 (EVT) 的成本效益分析,发现相较于药物干预,EVT 提高生存质量并节约成本。相较于传统时间窗,EVT 适应症进一步扩大。基于所研究的健康与成本优势,医疗保健投资有理由覆盖到这个新的需求。

卒中早期 CT 评分 (ASPECTS) 和 CT 灌注成像 (CTP) 被广泛应用于预测急性缺血性卒中的缺血核心。Voleti 等发现 CT 血管造影图像 (CTA-SI) 也可以为明确缺血范围提供信息。他们研究了 58 名平扫 CT (NCCT) 和 CTA 的 ASPECTS 与 CTP 核心体积和最终梗死体积 (FIV) 的相关性。结果发现 NCCT ASPECTS 与 CTP 核心之间存在中度的相关性 ($R=-0.57$)。CTA-SI ASPECTS 与 CTP 核心之间存在

中度相关($R = -0.48$)。FIV 和 NCCT ASPECTS 评分之间的相关系数为 -0.54 。FIV 和 CTA-SI ASPECTS 评分之间的相关系数为 -0.48 。因此,CTA-SI ASPECTS 评分与缺血核心也体现了较好的相关性,可进一步研究。

大血管阻塞(LVO)和小梗死(<50 mL)造成的急性卒中在发作后 24 h 内行 EVT 对疾病有重要意义,Noro 等通过梗死体积大小和发病后时间进行分组,研究血管再通程度和梗死进展[(最终确认的梗死体积/原始体积) $\times 100$]之间的关系。他们前瞻性纳入 92 名患者中。结果发现平均梗死进展程度在 3 个再通程度不同的小组中显示出明显差异(良好组 13.4 mL, 76%;中等组 45.5 mL, 203%;差组 102.1 mL, 482%)。这种显著差异存在于发病后时间处于早期时间窗内的分组,也存在于晚期。梗死体积 <50 mL 的分组内,这种差异仍然显著,但在 >50 mL 分组内并不显著。因此,成功的血管内取栓术能明显地减少早期或晚期时间窗的梗死进展,但不适用于大面积梗死的病患。

Peter 等研究了大剂量碘对比剂对取栓术的急性缺血性卒中患者肾功能的影响。研究共涵盖 252 名患者。结果发现第一周内 43 名患者出现 $>25\%$ 或大于 0.5 mg/dL 的血清肌酐水平上升。他们的研究确认了大剂量碘对比剂暴露对急性缺血性卒中患者的肾功能的影响。几乎 16% 的患者存在血肌酐水平大于 25% 的增量,血肌酐水平小幅度(5%或 10%)的增量更敏感,并且可能在急性操作后的 72~96 h 内显现。急性缺血性卒中患者连续大剂量的碘对比剂暴露与其急性肾损伤相关联。应当谨慎使用对比剂,尤其是对于有基础肾功能不全的老年患者。

尽管梗塞病灶定位在预测急性缺血性卒中(AIS)患者的预后方面起着重要作用,ASPECTS 评分却不能根据十个亚区对于患者预后的影响程度来相应地调整其权重。Seyed 等研究了 353 名发病后 24 h 内就诊并进行了取栓术的患者。结果发现,214 名患者 3 个月预后差($mRS < 2$)。其中 81% 的患者存在 M4 段梗死,79% 的患者尾状核梗死,77% 的患者存在 M5 段梗死。岛叶、尾状核、M2 段、M4 段、M5 段梗塞患者预后差的比例明显高于预后好的比例。logistic 分析表明:M4 段、尾状核以及岛叶梗死是 3 个月预后较差的重要预测因素。因此,尾状核、M4 段以及岛叶的梗死与 AIS 患者 3 个月预后较差有较强的相关性。为预测 AIS 患者的疾病预后,与现有的 ASPECTS 相比,根据十个 ASPECTS 大脑分区的权重所修正的 ASPECTS 标准将更准确。

大血管阻塞(LVO)引起的卒中,EVT 是一个有效的治疗方案。EVT 操作后的血运重建预示着良好

的长期神经预后。现有的对血运重建的评价方法,例如脑梗死改良溶栓术评分(mTICI),并不能查明残余微血栓(RME)的定位和数量。Wolman 等纳入了 29 例患者研究双能 CT(DECT)是否能探查并定位 EVT 术后的 RME,以及 RME 的存在是否预示着更差的疾病转归。27 例患者出现成功的血运重建(93%, TI-CI2b-3)。EVT 操作后的 DSA 检查中 20 例患者存在 RME(69%),其中 19 例(95%)被 DECT 探测到。存在 RME 的患者中 12/19(63%)神经功能预后良好。而不存在 RME 的患者中则有 9/10(90%)的预后良好。EVT 操作后的 DECT 探测出的 RME 与前循环的 90 天 mRS 评分呈负相关。因此,介入后的 DECT 可以探测出 RME,对预后评估具有价值。

4. 其他

由于小脑梗塞症状的非特异性和常规 CT 图像准确性的局限,对于缺血性小脑卒中的诊断正面临着挑战。CT 灌注成像可以为后循环卒中的探查提供额外的价值,但对于预后的价值仍不明确。Matthias 等纳入 60 个病例,证实了小脑 CT 灌注 CBF 缺失区域的 ASPECT 评分与最终梗死体积相关($\beta: 0.830, 95\% CI: 0.605 \sim 1.055, P < 0.001$),其他的临床或影像参数与小脑梗死体积无相关性($P > 0.05$)。与 NCCT 和 CTA 比较,CTP 小脑灌注降低的区域提示了急性小脑梗死患者的形态学结果的预后信息。

左侧大脑半球较右侧更容易发生脑卒中,且预后常更差。Jason 等旨在评估心源性栓塞的偏向性是否是由主动脉弓的解剖特点引起的。Jason 等假设牛型主动脉弓和标准主动脉弓存在发生脑卒中的偏向性不同,并回顾性的分析了 1598 例伴有房颤的心源性急性缺血性脑卒中患者。经统计分析发现,标准主动脉弓组发生脑卒中的分布为左侧 43.6% (185),右侧 45.1% (191),双侧 11.3% (48);牛型主动脉弓组发生脑卒中的分布为左侧 51.3% (98),右侧 35.6% (68),双侧 13.1% (25)。牛型主动脉弓较标准主动脉弓更容易发生左侧大脑半球脑卒中($P = 0.035$)。这些发现对于我们认识主动脉弓的解剖变异对于脑卒中发生偏向性具有重要意义。

脑肿瘤

1. 肿瘤与基因

胶质瘤中的放射基因组分析表明基因组改变和影像表型之间有多种关联,但临床上对治疗选择的影响有限。Kim 等旨在通过探索 MRI 表型与下一代测序(NGS)之间的联系,预测 IDH 野生型胶质母细胞瘤的核心信号通路,用于靶向治疗。对 120 例经病理证实的胶质瘤患者进行多参数 MRI,并用 NGS 检测其基

因改变。第一步,使用带有错误发现率和 lasso 惩罚的 t-test 发现每个基因组突变显著的放射学特征。第二步预测受体酪氨酸激酶(RTK)、P53 和 Rb 通路,每个通路包含至少 1 个相关的遗传突变,通过使用随机森林和逻辑回归分类器使用放射基因组特征、年龄、性别和位置。放射基因组学建模的性能在前瞻性注册(NCT02619890)的 IDHwild 型胶质母细胞瘤($n=35$)的独立验证集中使用 ROC 曲线下面积进行测试。结果,第一步发现 RTK 途径中 EGFR、PI3KCA 和 PTEN 突变的 23、19 和 29 个特征,P53 途径中 MDM2 和 TP53 突变的 6 和 11 个特征,Rb 途径中 CDK4、CDKN2A 和 Rb1 突变的 3、6 和 26 个特征。IDH 野生型胶质母细胞瘤核心信号通路的表现 RTK 通路的 AUC 为 0.875 (95% CI: 0.743 ~ 1), P53 通路的 AUC 为 0.757 (95% CI: 0.592 ~ 0.921), Rb 通路的 AUC 为 0.807 (95% CI: 0.641 ~ 0.972)。年龄成为 RTK 途径的重要预测因素。因此,多参数 MRI 表型有助于表征核心信号通路,并为 IDHwild 型胶质母细胞瘤的无创靶向治疗提供潜在指导。

Mancini 等评价了 DTI、扩散峰度成像(DKI)和神经突方向离散度和密度成像(NODDI)三种微结构 MRI 在胶质瘤活体分级中的诊断性能。41 例经组织病理学证实的原发性未经治疗的胶质瘤患者(23 例 2 级肿瘤和 18 例 3~4 级肿瘤;IDH 野生型 10 个,17 个 IDH 突变型 1p/19q 完整,14 个 IDH 突变 1p/19q 共缺失;33 例非少突胶质细胞肿瘤和 8 例少突胶质肿瘤)前瞻性地接受了 multi-shell 扩散加权方案,以评估 DTI、DKI 和 NODDI 衍生的肿瘤特征。结果发现 IDHmut 和 IDHwt 胶质瘤的肿瘤平均峰度(MK)和 ADC($P \leq 0.02$)有显著差异;平均 MK、细胞内体积分数(ficvf)和 ADC 在 IDHmut 1p/19q 完整和 IDHwt 胶质瘤之间的存在显著差异。所有指标的 AUC 均为中等(0.72~0.75)。NODDI 衍生参数,包括脑脊液体积分数(fiso)和 ficvf,对区分 IDHmut 和 IDHwt 胶质瘤的意义不大,但在 1p/19q 完整和共缺失胶质瘤之间的意义显著。因此,微结构成像为区分 IDHwt 和 1p/19q 保留的 IDHmut 胶质瘤提供了较好的诊断价值,但只有 NODDI 参数才能可靠地探测 1p/19q 共缺失对 IDHmut 肿瘤微结构的影响。微结构扩散加权成像技术为胶质瘤的非侵入性 WHO 组织分级提供了补充信息,它们的联合应用在这项初步研究中显示了令人鼓舞的结果。

异柠檬酸脱氢酶(IDH)变异和染色体 1p/19q 共缺失胶质瘤可能存在显著不同的代谢特征,使得它们对治疗敏感且生长缓慢。Yao 等的研究使用一种新的 PH-敏感分子 MRI 技术来无创定量胶质瘤亚型的异

常代谢行为。他们在 3T MRI 上行胺化学交换饱和和转移回波平面成像(CEST-EPI)来获取 pH 加权 MRI 图像。他们测量 136 名胶质瘤患者在 3 ppm 的 MTRa-sym 值以及酸性肿瘤体积。酸性肿瘤体积定义为 MTRa-sym 值大于 20 名正常志愿者在 99%置信区间测量值的组织。结果显示, T_2 高信号区域内 MTRa-sym 值(3ppm 处)和酸性肿瘤体积分数随胶质瘤 WHO 级别升高而增加。在未治疗的 89 例患者(术前,术后或未接受治疗超过 1 年)中,IDH 野生型患者的 MTRa-sym 值和酸性肿瘤体积分数明显高于 IDH 变异型患者。在未治疗的 58 例胶质瘤中,1p/19q 共缺失患者的 MTRa-sym 值(3 ppm 处)显著低于无 1p/19q 共缺失患者,而酸性肿瘤体积分数则稍低于非 1p/19q 共缺失患者。在有完整的分子数据的未治疗患者中,当考虑 IDH 状态时,1p/19q 共缺失患者的酸度低于无 1p/19q 共缺失患者,提示 1p/19q 共缺失与 IDH 状态相互影响。当考虑 IDH 状态时,1p/19q 共缺失患者的酸性体积分数低于无 1p/19q 共缺失患者。研究表明,3T 上行 pH 加权胺 CEST-EPI 图像的测量值能反映 IDH 变异和 1p/19q 共缺失胶质瘤的代谢特征。

为了研究多模态 MRI 多区域特征放射组学诺模图反映 O6-甲基鸟嘌呤甲基转移酶(MGMT)启动子甲基化状态,并完成预测胶质母细胞瘤患者的 MGMT 甲基化的可视化诺模图,Tian 等回顾性搜集了 139 例胶质母细胞瘤患者的 MRI 数据($T1C$, $T1$, $T2$, FLAIR)。在数据处理前,他们先手动勾画了异质性的区域:FLAIR 图像上异常信号的整个区域(rEA), $T1$ 增强图像上的肿瘤强化区(rCET)和坏死区(rNec),另外还有水肿和无强化区。随后,他们提取每位患者所有亚区域的 4000 个影像组学特征。使用弹性网回归法确定每例患者的最佳特征,并计算其组学特征值。再根据多变量逻辑回归构建组学诺模图,可以综合组学特征和临床因素。使用 C 指数和校正曲线验证了诺模图的推广性。最后用决定曲线分析(DCA)来评估组学诺模图的临床应用。结果显示,139 例患者中,训练组和验证组分别是 92 例和 47 例。影像组学诺模图在训练组(C 指数=0.854)和验证组(C 指数=0.892)中均有显著差异。良好的校准和 DCA 提示影像组学诺模图在临床应用的可行性。对最佳特征的回归系数分析表明 rEA 和 rNec 区域特征的绝对系数和分别为 1.597 和 0.766,均大于其他区域。研究表明,基于多模态 MRI 中多区域特征的影像组学诺模图能个体化和可视化预测 GBM 患者的 MGMT 状况。此外,GBM 患者的 rEA 和 rNec 区域在预测 MGMT 甲基化中有重要作用。

异柠檬酸脱氢酶 1(IDH1)突变与 WHO II、III 级胶质瘤的发生密切相关,也是 WHO II 级和 III 级胶质瘤预后评估的独立预测因子。但是,确认 IDH1 突变状态需要手术切除或活检。Zhao 等的研究评估了影像组学预测 WHO II、III 级胶质瘤 IDH1 突变状态的价值。本研究回顾性分析了 135 例经病理证实的 WHO II、III 级胶质瘤患者,所有患者 2015 年 1 月—2017 年 7 月治疗前行 T1CE 磁共振检查,包括 IDH1 野生型组(WHO II 级 $n=21$, WHO III 级 $n=30$), IDH1 突变组(WHO II 级 $n=48$, WHO III 级 $n=36$)。利用 ITK-SNAP 在 T1CE 上手动勾画肿瘤增强部分的 VOI,并通过使用 GE A.K. 软件分析动力学。使用随机森林算法与 5 倍交叉验证来预测 WHO II 级和 III 级胶质瘤的 IDH1 突变状态。结果显示, IDH1 突变型和野生型肿瘤的解剖位置不同,存在显著差异($P<0.001$)。此外,WHO II、III 级胶质瘤 IDH1 突变与结节/环状强化密切相关($P=0.001$)。IDH1 突变组和 IDH1 野生型患者组的其它影像学特征和临床特征无显著差异。影像组学方案产生了稳定的诊断效能, AUC、符合率、敏感度、特异度分别为 0.794、70.9%、61.4%和 76.7%。影像组学方案评估 WHO II、III 级胶质瘤的 IDH1 突变状态,显示两组存在显著差异($P<0.05$)。因此,影像组学方案能评估 WHO II、III 级胶质瘤的 IDH1 突变状态, RF 分类模型是一种有望预测 IDH1 基因突变的机器学习方法。建立准确可靠的模型可以帮助胶质瘤患者得到早期诊断并制定治疗方案。

2. 肿瘤的鉴别

胶质母细胞瘤治疗的一个挑战是区分真性进展和假性进展(PsP),后者可能会提高生存率。MGMT 甲基化已被证明与 PsP 相关。本研究旨在评估 PsP 的比例和其结果及与 MGMT 状态的关系。患者被分为部分反应(PR)、进展性疾病(PD)或稳定性疾病(SD)。那些最初表现为 PD 但随后在没有干预的情况下有所改善的患者被归类为 PsP。我们计算从诊断开始的总生存时间(OS)和进展时间(TTP), TTP 根据随后的 MRI 图像和临床反应计算,并分析其与 MGMT 的相关性。结果发现,与 PD 或 SD 患者相比, PsP 患者的预后有所改善,平均 TTP 和 OS 介于 PR/CR 和 PD/SD 患者之间。随着 MGMT 启动子甲基化,这些结果得到进一步改善。这些数据证实了先前研究的结论,即 MGMT 状态可能显著影响反应,并且与 PD/SD 相比, PsP 患者的存活率有所提高。假性进展可以预测更好的整体反应,以更早的方式识别它可以防止不必要的抢救治疗的开始,这些治疗可以保留到治疗过程的后期。

Bharath 等研究 28 例肿瘤样脱髓鞘(TDL)、107 例胶质瘤和 22 例原发性中枢神经系统淋巴瘤(PCNSL)病例来确定了区分肿瘤样脱髓鞘、脑胶质瘤和淋巴瘤的 ADC 截断值,确定 CT 和磁共振标志物与肿瘤样脱髓鞘病变、脑胶质瘤和淋巴瘤的相关程度,确定这些标志物在区分肿瘤样脱髓鞘病变、脑胶质瘤和淋巴瘤中的诊断效能。结果发现 ADC 截断值为 $775 \times 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}$, 低于该值应考虑诊断为 PCNSL 或 HGG。区分 TDLs 和其他病变而获得的诊断效能参数为敏感度 85%、特异度 100%、阳性预测值 100%、阴性预测值 96%和符合率 97%。利用 ADC 截断值、CT 和磁共振标志物,可以提供具有高诊断准确性的 TDL 特异性诊断,并且可以有把握地与胶质瘤和 PCNSL 进行区分。

Shin 等使用常规 MR 图像评估了基于深度学习的模型在区分胶质母细胞瘤和单发转移瘤方面的性能,纳入了 598 例 MR 检测到的单发脑肿瘤,经病理证实为胶质母细胞瘤($n=318$)或转移瘤($n=217$)。结果发现,基于 ResNet50 的模型在平均分类准确率方面的诊断性能为 89%。分类器的精确率、召回率和 f1score 分别为 94.0%、85.5%和 0.893。两位放射科医生的诊断准确率、精确率、召回率和 f1score 分别为 88%、86.5%、90%、0.882 和 77%、76.0%、74.5%和 0.752。因此基于深度学习的模型可以使用常规 MR 图像准确地区分胶质母细胞瘤和单发脑转移瘤,可以作为术前决策工具。

DTI 特别是各向异性分数(FA)图在预测胶质母细胞瘤复发区域方面显示出前景。然而,肿瘤周围水肿的分析(大多数复发的地方)受到 DTI 信号的自由水的阻碍。游离水抑制的 FA 图预测术前 MR 扫描胶质母细胞瘤复发。Metz 等评估了一种新的、基于深度学习的方法,该方法用于对 DTI 扫描数据进行游离水校正,以预测第一次 MR 扫描后的肿瘤复发,共分析了 35 例胶质母细胞瘤病例。发现在无复发水肿区域和肿瘤复发后区域之间的自由水校正 FA 图存在显著差异($p_{10}=0.001111$ 、 $p_{50}=0.0031$ 和 $p_{90}<0.00001$)。相比之下,原始 FA 图仅显示了第 90 百分位数有差异,而第 10 和第 50 百分位数没有差异($p_{90}=0.0003$ 、 $p_{10}=0.07515$ 和 $p_{50}=0.079$)。因此自由水校正 FA 图成为更好地评估肿瘤浸润的瘤周水肿的有前途的工具。游离水校正后,后续肿瘤复发区域的 FA 值明显低于单纯水肿区域。这可能反映了常规成像中不可见的肿瘤浸润,因此可能为个性化治疗决策揭示重要信息。

Takamura 等研究了脑膜瘤磁共振弹性成像测量剪切刚度与 CT 灌注参数的关系。12 例脑膜瘤患者

在术前接受了三维脑 MRI 和多通道 CT 灌注检查。其平均硬度值、nCBF、nCBV、nMTT 分别为 (2.6 ± 3.0) kPa、 (6.1 ± 3.5) 、 (8.1 ± 5.5) 和 (1.2 ± 0.2) ，所有灌注参数与硬度值呈显著负相关。肿瘤硬度与 nCBV 的相关性最显著($r = -0.7380$)。关于硬度测量，5 个脑膜瘤是坚实的(>2.7 kPa)，7 个是不坚实的。ROC 分析显示 nCBV 是一个很好的预测坚实肿瘤的指标，其 ROC 曲线下面积为 0.94。使用大于 6.4 的临界值，nCBV 预测坚实肿瘤显示出 100% 的敏感度(5/5)和 85.7% 的特异度(6/7)。这是一个非常有意义的用于预测坚实脑膜瘤的方法。

Juvvadi 等对 7 名患者行大脑磁共振弹性成像(MRE)以检测肿瘤黏附、硬度和组织病理学结果的比较。结果显示，肿瘤区域的平均硬度为 1.2 千帕，非肿瘤区域的平均硬度为 2.3 千帕；OSS 图谱也证实了肿瘤质软和非黏附性，以及组织病理学证实了 4 级肿瘤胶质瘤质软且易于切除。脑膜瘤、胶质瘤或转移瘤的其他肿瘤的硬度测量值为 0.8~1.9 千帕。同样，其他不同肿瘤患者的组织病理学结果也与 MRE 一致。本研究表明，磁共振成像定量可用于检测不同脑肿瘤的硬度和黏附模式。这项研究首次将脑肿瘤的物理特性与组织病理学观察进行了无创性比较，但仍需要更多相关研究。作为一种非侵入性技术大脑磁共振成像具有区分良性肿瘤和恶性肿瘤的潜力，它还可提供关于肿瘤黏附情况从而能够更好地对手术切除提供指导。

脑膜瘤是最常见的原发性颅内肿瘤。对比增强磁共振成像是诊断和治疗计划的金标准，但是在手术后和放疗后环境中，磁共振成像在区分复发和治疗效果方面的准确性有限。 ^{68}Ga -DOTATATE 是一种高亲和力的靶向生长抑素受体 2 (SSTR2) 的 PET 示踪剂。脑膜瘤表达高水平的 SSTR2。Ivanidze 等旨在通过前瞻性临床队列研究评估 ^{68}Ga -DOTATATE PET/MRI 在脑膜瘤患者的应用价值。共纳入 20 名经临床或病理证实的脑膜瘤患者，17 名患者 PET 证实复发，而在 3 名患者中倾向于治疗后改变的诊断。 ^{68}Ga -DOTATATE 提供了改善的疾病可视化程度，并证实了实质和骨侵犯。动态 PET 数据展示了脑膜瘤、垂体的独特动态摄取模式和整个队列治疗后的变化。结合动态 PET 数据采集和分析可以提供额外的有价值的信息，用于区分复发和治疗后的变化，并为未来的前瞻性临床试验提供信息。

Ayoub 等用磁共振纹理分析(TA)鉴别孤立性恶性脑肿瘤(胶质母细胞瘤、颅内原发性淋巴瘤和孤立性脑转移瘤)。450 例患者被回顾性纳入本研究，包括经病理证实的未经治疗的胶质母细胞瘤(150 例)、转移瘤(肺/乳腺，150 例)和颅内原发性淋巴瘤(100 例)。

使用 3Dslicer4.10.1 分割模块对 T_2 FLAIR、增强 T_1 WI 和 ADC 图像进行了配准。从分割的整个肿瘤和水肿成分中获得感兴趣体积(VOIs)，每个患者产生 2480 个纹理特征。使用最大相关最小冗余进行特征选择。Leave-one-out 交叉验证(LOOCV)和 ROC 分析用于评估可以区分 GBM、淋巴瘤与孤立性转移的放射特征。最终以 95%、85% 和 90% 的高敏感度、特异度和符合率分别区分各种强化的孤立性恶性脑肿瘤。

Machiko 等评估了基于 CT 扫描的机器学习方法是否具有足够的诊断能力来区分胶质母细胞瘤和三级胶质瘤。共纳入 91 名经病理证实的高级别胶质瘤患者，他们接受了术前非增强脑 CT 检查。结果发现极端梯度提升算法的 AUC 最高(0.85)，其次是随机森林(0.79)、多层感知器(0.76)、支持向量机(0.75)、k 最近邻(0.74)和逻辑回归(0.71)。年龄和峰度是区分的最重要因素，其次是最小值(基尼指数 0.115、0.115 和 0.105)。从极端梯度提升获得的 AUC 和神经放射科医师评估的 AUC 显著高于普通放射科医师评估的 AUC(分别为 0.85、0.85、0.67, $P = 0.01$, $P < 0.01$)。机器学习在鉴别 GBM 和三级胶质瘤中的表现优于有经验的普通放射科医师，这种性能高度依赖于机器学习类型的选择。

Rui 等探讨了基于 T_1 BRAVO 增强图像的纹理分析对于通过立体定位活检(WHO II 和 III 级)对神经胶质瘤目标进行分级的价值，共纳入 36 例弥漫性胶质瘤病例和 64 个穿刺靶点。结果发现三级胶质瘤的纹理特征中最大密度、95 分位数、范围、方差、标准差、和总方差和聚类显著性高于二级胶质瘤。而二级胶质瘤的均匀度和短游程低灰度级优势值高于三级胶质瘤。一阶特征最大密度 AUC、敏感度、阴性预测值分别为 0.751, 96.6%, 94.2%，95 分位数分别为 0.737, 86.2%, 80.0%，和范围分别为 0.801, 89.7%, 87.0%；方差和标准差中 AUC 值最高(0.826)；均匀度 AUC、特异度、阳性预测值分别为 0.746、82.8%、76.2%。二阶灰度共生矩阵特征聚类显著性 AUC、特异度、阳性预测值分别为 0.784、89.7%、85.8%，和总方差分别为 0.675、96.6%、91.0%。高阶灰度游程矩阵特征的诊断效率略低于一阶和二阶特征。结合多纹理特征的 ROC 分析，AUC 为 0.887 (95% CI: 0.805~0.969)。因此， T_1 BRAVO+C 图像的纹理分析可能有助于通过立体定向活检(WHO II 和 III 级)对胶质瘤进行分级。

肿瘤治疗领域(TTFields)是一种新的治疗方式，最近批准用于胶质母细胞瘤(GBM)的管理。目前没有 GBM 患者正常大脑实质的肿瘤治疗区域的安全性文件的定量证据。Chawla 等使用 DTI 来评估 GBM

患者中 TTFields 区域是否会诱发对正常脑组织的破坏。他们选取 12 例接受了手术和化疗治疗后行 TTFields 的 GBM 患者。患者在基线和开始 TTFields 治疗后 2 个月分别在 3T MRI 行常规序列和 DTI 序列扫描。使用单次激发自旋回波 EPI 序列获取 DTI 数据(30 个方向)。对原始 DTI 数据进行运动和 eddy 涡流校正后,计算平均扩散率(MD)、分数各向异性(FA)、线性系数(CL)、平面系数(CP)和球面各向异性系数(CS)的参数图。校正两个时间点的 DTI 参数图。通过绘制圆形兴趣区(ROI),计算 MD、FA、CL、CP 和 CS 的平均值,从不同的正常灰质和两侧白质区域计算(ROI, 20 像素)。在画 ROI 时,应注意避免不同的组织间有浸润性肿瘤。配对 t 检验的假设是,基线检查与 TTFields 后 DTI 参数的显著差异反映了不良影响。结果显示,不同的脑区内 TTFields 后相与基线的 DTI 参数(MD、FA、CL、CP 和 CS)没有显著差异($P > 0.05$)。用柱状图显示白质区域(额叶白质,枕叶白质,半卵圆中心,胼胝体膝部、压部和体部)和灰质区域(基底节,丘脑,尾状核和海马)的 MD 和 FA 的平均值。研究的初步结果为 TTFields 的安全性评价提供了客观、定量的方法。DTI 分析支持,TTFields 治疗不会对 GBM 患者的正常脑区造成任何组织损伤。

Park 等探索了超极化碳-13(^{13}C)代谢 MRI 用于鉴别放射性坏死和脑肿瘤的可行性。他们用 80Gy 剂量单次照射小鼠半脑($n=7$)造成其放射性坏死。分别往颅内注射 GL261 细胞株($n=6$)和 Lewis 肺癌(LLC)转移细胞($n=7$)制造两种脑肿瘤模型。接受照射和有荷瘤的小鼠分别在治疗后 2.5 个月和 14 天出现对比剂强化(CE)。通过注射 ^{13}C 1-丙酮酸,使用高灵敏度预极化获得 ^{13}C 3D-MRSI 数据。由血管最大总碳信号(NLAC 和 NPYR)和乳酸与丙酮酸的比值(LAC/PYR)标准化乳酸和丙酮酸值(分别是 nLac 和 nPyr),并计算乳酸与丙酮酸的比值(Lac/Pyr)。结果显示,常规 MRI 表现出典型的放射性坏死和脑肿瘤的影像学特征;受照射小鼠在 Gd- T_1 MRI 上表现为明显强化, T_2 表现为信号不均匀。同样,GL261 胶质瘤和 LLC 转移模型也表现为明显强化和 T_2 高信号。HP ^{13}C 数据显示放射性坏死组织和脑肿瘤具有明显的代谢特征:放射性损伤的 Lac/Pyr 和 nLac 均显著低于胶质瘤和 LLC 转移组织。放射损伤与 GL261 胶质瘤或 LLC 转移模型的 nPyr 无显著差异,提示这三种组织所摄取的丙酮酸的量是相似的。组织学分析显示放射性坏死与脑肿瘤有明显不同的特征:与放射性坏死组织相比,肿瘤模型表现为细胞密度高,这是癌症的特征之一。肿瘤中细胞密度的升高与 HP- ^{13}C 数据中观察

到的高乳酸水平一致。该研究的结果表明,HP ^{13}C 代谢成像可能为鉴别复发性脑肿瘤和放射性坏死提供一种新型无创的影像标记物。

Zhang 等的研究评估了 ADC 值在鉴别颅内良恶性脑膜瘤和不同级别脑膜瘤的价值,以及脑膜瘤中 ADC 与 Ki-67 增殖指数的相关性。本研究回顾性分析了 125 例病理确诊为脑膜瘤及术前 Ki-67 阳性的患者,根据病理结果分为良性组(94 例)和恶性组(31 例),其中 WHO I 级 52 例,WHO II 级 59 例,III 级 14 例。比较不同级别脑膜瘤与良恶性脑膜瘤之间瘤周水肿区的相对 ADC 值(rADC)。术后免疫组化结果获取 Ki-67 增殖指数,分析 ADC 值、rADC 值与 Ki-67 指数的相关性。结果显示,良性组 ADC 和 rADC 值低于恶性组($P < 0.001$)。高级别组脑膜瘤的 ADC 和 rADC 值低于低级别组($P < 0.001$)。结果表明,ADC 值可提高脑膜瘤术前良恶性鉴别诊断和病理诊断的准确性,且 ADC 值与 Ki-67 指数呈负相关。

3. 肿瘤治疗的评价

免疫检查点抑制剂(ICI)疗法在各种恶性肿瘤的治疗中变得越来越普遍。随着 ICI 疗法使用的增加,出现了许多治疗相关并发症,称为“免疫相关不良事件(irAEs)”。垂体炎是一种罕见的潜在致命毒性,需要及时识别和早期治疗。Robert 等研究了接受 ICI 治疗的患者垂体炎的原发和继发影像学特征。对 228 名接受 ICI 治疗的成人肿瘤患者进行了回顾性分析。评估垂体炎的原发和继发影像学特征(肾上腺、甲状腺、子宫/卵巢萎缩)。随访时,所有患者均出现肾上腺萎缩,2 例(13%)出现甲状腺萎缩。因此,ICI 疗法的作用日益扩大,导致垂体炎等 irAEs 的发病率增加。垂体炎的主要影像学表现通常很微妙,但包括弥漫性垂体增大以及肾上腺和甲状腺萎缩。

Richards 等研究了 20 例小细胞肺癌(SCLC)患者脑转移瘤(BMs)诊断后初始治疗前后 MRI 特征的变化。将评估这些变化对中枢神经系统无进展生存期(PFS)和总生存期(OS)的影响,以确定 MRI 生物标志物来评估对治疗的反应。分析的 MRI 特征包括病变大小、 T_1 和 T_2 加权信号、周围水肿、出血和扩散性。成像特征的初始和间隔变化与 OS 及 CNS PFS 相关。为了进行统计分析,将仅接受全身化疗的患者与接受化疗和全脑放疗(WBRT)的患者分组,将这些患者($n=11$)与诊断为 BMs 后仅接受 WBRT 的患者($n=9$)进行比较。生存分析显示,治疗组间在 OS 方面存在差异($P=0.0122$),而在 CNS PFS 方面不存在差异($P=0.1371$)。治疗组之间在病变大小的百分比变化($P=0.9405$)和 ADC 百分比变化($P=0.5635$)方面没有差异。对于其他 MRI 特征,治疗前后 T_1 信号、 T_2

信号和水肿没有差异。全身化疗和/或 WBRT 前后扩散性的变化可能是评估 SCLC 和 BMs 患者治疗反应的有用生物标志物。

Shahriar 等通过多 b 值采集定量扩散 MRI 评估 GBM 患者的治疗反应,13 例患者被前瞻性地纳入了多中心研究。所有患者均经活检证实 GBM,并完成放疗。治疗结束后,5 例出现进展(PD),4 例病情稳定(SD),4 例完全治愈(CR)。PD 患者在所有扩散模型中都显示直方图向左移动,这与扩散受限增加一致,并意味着细胞增多。SD 或 CR 的患者在直方图中显示很少或没有变化。95 百分位数的分布扩散系数(DDC)和 75 百分位数的灌注分数(f)对 RANO 评估进展最具预测性,并且优于常规 ADC。第 75 百分位数(f)和第 95 百分位数(DDC)降低是预测早期进展性疾病最敏感的直方图指标。初步结果表明,特定扩散成分的早期变化与随后的治疗反应之间存在关联。这是首次使用高级扩散直方图分析作为早期治疗反应的标志,并有可能识别需要早期接受二线治疗的患者。

免疫检查点阻断疗法是治疗恶性脑肿瘤的一种新方法,但是评价其疗效存在问题。Liu 等回顾性分析了 45 例接受免疫治疗的恶性脑肿瘤患者的 MR 图像。25 名无免疫疗法的放射性坏死或假进展患者被纳入本研究进行比较。获得病理结果或连续随访 MR 检查以确认最终诊断。带有对比剂泄漏校正的 rCBV 图是使用美国食品和药物管理局批准的 NordicICE 程序生成的。结果发现,对真实肿瘤进展性病变进行对比剂渗漏校正的 rCBV 的平均最大 rCBV 比值高于未进行对比剂渗漏校正的 rCBV。对于无免疫治疗的放射性坏死或假进展患者,免疫治疗后无对比剂渗漏校正的平均最大 rCBV 比值也高于无对比剂渗漏校正的 rCBV。恶性脑肿瘤患者免疫治疗后 MRI 的改变是复杂的。免疫治疗后的假进展病变可能与坏死/假性进展和活动性炎症改变混合。在接受免疫疗法治疗的患者中,DSC-PWI 有对比剂渗漏校正和无对比剂渗漏校正的 rCBV 联合使用,有助于区分真正的肿瘤进展性病变和坏死/假进展。

体部肿瘤的侵入性电刺激已被证明可减少肿瘤灌注,甚至可能诱发坏死。经颅电刺激(tES)目前应用于精神病学和神经学方面以恢复神经元活动并调节脑局部灌注。Sprugnoli 等测试在脑肿瘤患者中应用 tES 减少肿瘤内灌注的安全性、可行性和有效性。共纳入 6 名胶质母细胞瘤患者和 2 名转移患者。结果发现在肿瘤实体中发现 CBF 显著降低(36%, $P=0.001$),从胶质母细胞瘤的 26%到转移患者的 45%不等,而坏死肿瘤核心和水肿区域的 CBF 变化不显著,分别为 8.9%($P=0.294$)和 5%($P=0.328$)。此外,在

对照区域,即同侧区域增加 5.7%($P=0.194$),对侧增加 5.4%($P=0.502$)。该研究数据证明了使用 tES 无创靶向和调节肿瘤内灌注的安全性和可行性。

使用 MRI 纵向评估脑肿瘤患者是一个挑战,因为肿瘤进展和治疗相关改变包括放射性脑坏死的影像表现有很多重叠的部分。此外,个体解释存在差异,尤其是那些在多学科肿瘤委员会上呈现的病例。结构化报告系统,比如最近描述的肿瘤报告和数据系统(BT-RADS),总试图将放射学家解读的一致性最大化。Cooper 等研究了 2017 年 10 月—2019 年 3 月影像诊断为脑肿瘤的成人患者。最近的随访 MRI 根据 BT-RADS 中描述的 8 分等级评分,0~4 分随着分数升高提示疾病恶化程度更高。第二次 MRI 检查由脑肿瘤会议中的 3 位神经放射学家中的一位来执行。计算第一次和第二次检查的评判者间一致性。研究的 275 名患者中有 270 名有影像和报告,适合做重复的结构评分。最常见的诊断是胶质母细胞瘤,其次是 2 级少突胶质细胞瘤以及 2 级星形细胞瘤。两次检查的总一致性是 83%(kappa 值 0.89 ± 0.05)。对于有影像表现恶化较低的一致性(63.6%~82.4%)有所提高。该研究表明,对脑肿瘤患者 MRI 使用结构化报告系统来分类能准确了解第一次和第二次检查报告之间差异的特征。总一致性较好,但随着影像表现恶化,变异率会升高。

儿童髓母细胞瘤的长期存活者正在增加。因此,监测放化疗(RCT)应用的后遗症,如血管损伤显得越来越重要。Tanyildizi 等研究使用动脉自旋标记(ASL)灌注 MRI 分析 RCT 患者脑血流量(CBF)的变化,对 28 例患者和 24 例健康志愿者行 ASL 灌注 MRI 扫描。计算每个人的 CBF 图,并使用 SPM 导入 MNI 空间。根据 MNI 坐标确定各组灰质的平均 CBF 值,计算海马和听觉皮层的平均 CBF 值,并用非参数 Wilcoxon 秩和检验进行个体比较。结果显示,患者组和健康对照组的灰质平均 CBF 无显著差异。经过比较发现,RCT 治疗后的患者海马和听觉皮层的 CBF 相比健康对照组有显著降低。研究表明,ASL 灌注 MRI 可作为无创性评估儿童髓母细胞瘤患者 RCT 治疗后 CBF 的工具。这些患者中观察到的海马和听觉皮层 CBF 的显著降低与听力损伤和记忆力减退有关。因此,ASL 灌注可作为常规的 MRI 随访序列。

Speckter 等用常规 MRI 和 DTI 提取的基本影像组学特征来预测良性脑膜瘤和前庭神经鞘瘤(VS)伽玛刀放射外科(GKRS)治疗后的体积变化。该研究招募了 24 例 VS 患者和 32 例脑膜瘤患者,在 GKRS 前进行常规 MRI 和 DTI 检查。从术前 MRI 纹理分析一共获取 78 个参数,包括平均值、标准差(SD)、百分

位数、峰度和基于体素的直方图的峰度和偏度,以及与脑膜瘤 36 个月(19.5~63.3 个月)和 VS 患者 41.8 个月(21.9~80.3 个月)平均随访期后的病灶体积变化相关的 10 个不同的 DTI 参数。结果显示,在脑膜瘤病例中,几项 DTI 衍生的参数与体积变化显著相关。扩散张量最小特征值(L3)的 2.5 百分位值是预测 GKRS 结果的最佳参数($CC=0.739, P\leq 0.001$),而在非 DTI 参数中,只有 T_2 加权图像的 SD 与肿瘤体积变化显著相关(使用错误检测率 FDR 校正总体错误率后, $CC=0.505, P\leq 0.05$)。与对照组相比,VS 患者 T_2 加权图像的两个直方图参数存在显著差异($P<0.05$, FDR 校正)。 T_2 信号的峰度值预测进展的敏感度和特异度分别为 86% 和 78%。因此,放射外科术后容积变化的预测可影响治疗策略,比如调整放射剂量,或加强放射外科手术优于常规切除术。本研究的纹理分析结果表明 DTI 衍生参数与 SRS 后脑膜瘤体积缩小有很高的相关性,而常规影像可预测接受 SRS 治疗后脑膜瘤和 VS 患者的预后,尽管准确性稍差。

目前,鞍区病变中低分割放射外科(HFSRS)作为替代单一放射外科的方法仍存在争议。Speckter 等的研究中,当技术上不能将到前视觉通路(AVP)的最大点剂量限制到 12Gy 时,对患者行 HFSRS 治疗。研究纳入 2011—2018 年 72 名接受 HFSRS 治疗的眼周病变患者(病变至 AVP 的平均距离 0.3mm, 69% 直接接触)和 173 例接受单组分治疗(平均边缘剂量为 15.5Gy, 平均病变到 AVP 的距离 2.0mm, 30% 直接接触)的眼周病变患者。该研究中的方案是在 HFSRS 组中,7 例用平均边缘剂量 5×6.93 Gy 治疗 5 天,56 例使用 4×5.32 Gy, 9 例使用 3×6.31 Gy。使用高分辨率 3D- T_1 图像精确描绘视觉通路(2016 以后使用 FGATIR 序列)。在平均 23 个月(2~72 个月)的影像随访期(FUP)后,所有接受 HFSRS 治疗的病灶均实现了局部控制,除了 1 例(垂体卒中所致)。观察到总的平均体积减少了 3.05%/月。平均 FUP 眼科评估为 28 个月(2~79 个月)。10 例有视力改善,1 例接受 4×5.60 Gy 最大视点剂量的患者确诊为放射相关的视神经病变(RION)。所有治疗均耐受良好并得到了满意的结果。CT 图像测量 HFSRS 过程中的空间框架位移 ≤ 0.3 mm。在单次 SRS 的群体中,在平均 27 个月(4~78 个月)的 FUP 后,除 7 个病灶外的其余病灶均达到局部控制,总的平均体积减少 1.52%/月。眼科评估的平均 FUP 为 36 个月(7~81 个月)。1 例 10.2Gy 作为最大光点剂量后确诊为 RION。分析了所有患者的两条神经、两条视束和视交叉的剂量容积直方图。初步结果表明, HFSRS 认为是一项有效且相对安全的可选择的接触 AVP 病灶,得益于视觉通路

1.03Gy 的低 α/β 比值(来自 2018 RSNA 摘要)。

4. 肿瘤的预后

Norlisah 等评估了 MRI 同相和反相(IOP)衍生的脂质分数作为神经胶质瘤生存预后新的生物标志物的能力。脂质部分由 IOP 序列信号丢失率得出。采用基于 ROC 的表面下体积(VUS)的三组分析方法,将预后因素分为低、中、高三组,对胶质瘤实体非增强区的脂质部分进行分析。采用 Kaplan-Meier 生存分析和 Cox 回归模型进行分析。结果发现三组(低、中和高脂质分数)间存在显著差异,按总生存率的最佳截止点(OCP)和进展时间($P\leq 0.01$)进行分层。用脂质分数分层的 OS 图与用 WHO 级别分层的 OS 图也有很强的相关性($R=0.61, P<0.01$)。因此,实体非增强区的脂质分数显示出预测胶质瘤预后的潜力。这种方法将是一种用于治疗分层的成像方案以及作为胶质瘤患者的预后工具有用的辅助手段。将脂质组学分析添加到标准肿瘤评估中有可能增强预处理方案,尤其是针对高危人群的干预。使用 IOP 序列通过可靠的生物标记物可能进行未来的脂质组学分析。

弥漫性胶质瘤由于分子和遗传的异质性,其预后有很大的差异。术前 MRI 提供了重要的诊断信息,但其预后价值尚不清楚。Feng 等的研究使用一种基于深度学习的方法自动提取定量影像学特征,研究其对总生存率的预测价值。他们从当地的临床数据库中搜集了 140 例弥漫胶质瘤患者的术前 MRI 数据(包括术前和术后的 T_1 、 T_2 、FLAIR)。记录每例患者诊断时的年龄、性别、肿瘤分级、IDH 状态以及总生存时间。使用深度卷积神经网络自动分割肿瘤区域。分割后,获取整个肿瘤体积、表面积以及球度(肿瘤形状与球形的接近度)。总生存率分为 5 年以下和 5 年以上。首先,使用年龄、性别、肿瘤分级和 IDH 状态作为非影像特征来预测总生存率。然后用术前的体积、面积和球度结合年龄和性别,用于评估分级的准确性。最后,运用所有特征。进行 5 倍交叉验证,计算平均符合率和曲线下面积(AUC)。在 4/5 的数据上训练逻辑回归模型,并在剩余的 1/5 上进行测试。结果显示,三个影像特征(体积、表面积、球度)的任意一项和患者总生存率间均有相关性,其中,球度的相关性最显著($P=1\times 10^{-6}$),提示较大且形态不规则的肿瘤生存较短。使用术前信息进行生存率预测的准确性是 0.836($AUC=0.905$)。结合非影像特征后准确性为 0.921($AUC=0.947$),增加影像特征稍微降低了准确性(0.907),但 AUC 增至 0.958。研究表明,对弥漫性胶质瘤患者,在术前使用基于深度学习的分割从多参数 MRI 中提取定量信息,能为其提供预测价值。

原发性和复发性多形性胶质母细胞瘤(GBM)的

放射治疗(RT)通常是在解剖磁共振(MRI)上制定计划,靶区定义为 T1 加权钆剂增强序列(Gd-T₁-MRI)强化的区域。最近的研究表明,O-(2-¹⁸F 氟乙基)-L-酪氨酸(FET)正电子发射断层扫描(PET)比 MRI 更具特异性,对肿瘤的显示也同样敏感。然而,在复发性 GBM 中,还没有明确的证据表明 FET-PET 提供的信息在 RT 靶区容积描绘和结果预测方面是互补或优于 MRI 的。Carles 等的研究比较 FET-PET(VFET)和 MRI 上定义的肿瘤体积并分析 FET-PET 图像特征在预测 GBM 复发患者肿瘤进展时间(TTP)的应用。他们前瞻性招募了 21 名复发性 GBM 患者,对其行放疗治疗。患者放疗前行 Gd-T₁-MRI 和 FET-PET 扫描。PET 靶区定义为背景参照(BG,大脑和小脑中手动定义的 2 个区域)标准摄取值(SUV)的 1.8 倍,而 MRI 容积是由经验丰富的放射肿瘤学家绘制的区域。将 MRI 和 PET 图像校准,从 VFET 和 VMRI 中提取 135 个 FET-PET 图像特征(IF)。Wilcoxon 秩和检验结果显示,VFET 和 VMRI 勾画的体积相仿。然而,低骰子相似系数的平均值为 0.3 ± 0.2 ,阳性预测值为 0.4 ± 0.3 ,敏感度为 0.4 ± 0.3 ,提示定位方面的一致性差。117 项图像特征(87%)显示 VFET 与 VMRI 之间有显著差异。74%的图像特征在 VFET 和参照物之间有显著差异,包括所有 SUV 相关特征(最小值、最大值、峰值和平均值)。小区域低灰度重点(SZLGE)对 TTP 有显著的预测价值($P = 0.00027$, $SZLGE < SZLGE$ 中位值和 $SZLGE > SZLGE$ 中位值患者的 TTP 曲线之间的对数秩和检验)。研究表明,在复发性 GBM 再次放疗的预后评估方面,FET-PET 为 MRI 提供了补充信息。

儿童

关于儿童颅内动脉漏斗扩张(ID)的特征和自然史的资料很少。Adam 等在 60 名儿童中研究了 ID 的位置、关联和时间演变,共发现了 63 个颅内 ID。动脉瘤的家族史有 2/60(3.3%),而综合征相关性有 14/60(23.3%),最常见的是镰状细胞病(4/14,28.6%)。ID 的平均大小为 (2.2 ± 0.5) mm,与亲代动脉的平均比为 0.5 ± 0.2 。最常见的位置是在 P1-PCA 上(34/63, 53.9%),而仅 4/63(6.3%)的情况下出现后方交流 ID。在 12/60(20%)患者中发现了其他脑血管变异。小儿颅内动脉 IDs 在位置、病因和时间演变方面与成人相同。随着时间的增长或动脉瘤的形成是非常不寻常的,不需要在儿童时期进行频繁的短期影像学监测。这是唯一可证明漏斗状扩张到动脉瘤的时间演变及其对儿童的后续影响的大型研究。

Bertolazzi 等使用 DTI 研究儿童肥胖对大脑连通

性变化的影响。纳入 120 位受试者(59 岁的肥胖青少年和 61 岁的健康青少年),年龄 12~16 岁,并且在性别、年龄、性发育和就学方面进行了匹配。对 339350 个体素的统计和探索性分析表明,肥胖患者胼胝体体部、胼胝体压部、眶中回的 FA 值较非肥胖者降低。TNF- β 与 FA 值在胼胝体压部呈负相关,IL6 也与 FA 值在眶中回和胼胝体体部呈负相关。炎症标志物和 FA 值无相关性。数据揭示了肥胖区域重要的损害模式,该区域负责控制肥胖青少年的食欲、情绪和认知功能,并与某些炎症标记相关。

为确定负责运动功能障碍的脑网络并评估 DTI 网络在检测脑室白质损伤(PWMI)伴有痉挛性脑瘫(SCP)的诊断性能。Jiang 等纳入 72 名 6~18 个月的婴儿,分为 PWMI 伴 SCP 组($n = 20$)、PWMI 不伴 SCP 组($n = 19$)和对照组($n = 33$)。与对照组相比,PWMI 伴 SCP 组和 PWMI 不伴 CP 组患者的结节效率明显降低,额叶的多个大脑区域(前额叶皮层和纹状体)的结点效率也得到了提高。此外,与 PWMI 不伴 CP 组相比,PWMI 伴 SCP 组感觉运动网络的节点效率降低,包括双侧中央前和中央后回以及辅助运动区。感觉运动网络的节点效率对区分有 SCP 和无 SCP ($AUC = 0.97$)的 PWMI 具有高敏感度(95%)和特异度(94.74%)。

新生儿急性胆红素脑病(ABE)在 T1WI 中通常伴有苍白球高信号,但新生儿的正常髓鞘形成可能会引起类似的信号改变,从而导致 ABE 的诊断含糊。Wang 等纳入了 29 名具有正常髓鞘的新生儿和 32 名经临床证实的 ABE 的新生儿,对 T₁WI 进行纹理分析,在所有 1319 个放射学特征中,相对平均强度和 12 个纹理特征被选为最有区别的特征。决策树分类器在区分 ABE 和正常髓鞘化方面具有最佳性能,其 AUC 为 0.946。在 13 个特征中,反映 Fisher 苍白球整体亮度的相对平均强度是基于 Fisher 评分的最具判别力的特征。放射学特征的添加不仅能够揭示由 ABE 引起的微妙的形态异质性,而且能够量化对比度变化,对于改善这两个条件的表征和区分是可行的。

由于胎儿 DWI 质量的影响,Biased-ADC 测量往往不准确。Lucia 等在正常脑成熟胎儿中探究 DWI 降噪以改善 ADC 值的可靠性的潜力。结果发现信噪比随着降噪校正而大大增加。孕 II 期和孕 III 期计算的小脑、脑桥、额叶白质和丘脑的 ADC 平均值存在显著差异。小脑、脑桥和丘脑的 ADC 值逐渐降低。孕中期额叶白质 ADC 增加,而孕晚期 ADC 呈下降趋势。由于胎儿成像中的大量成像伪影,对 DWI 进行降噪是获得可靠的 ADC 值并表征正常胎儿大脑发育的理想方法。没有偏差的 ADC 参数显示出不同胎儿大

脑 ROI 的平均值具有显著变化,这表明正常胎儿大脑发育过程中在增殖、迁移和髓鞘形成过程中发生了生理异质性微观结构变化。

人类的语言偏侧性是大脑不对称的最早发现之一。但胎儿期年龄对语言偏侧性的影响尚不清楚。Hong 等采用 DTI 研究早产和足月新生儿与语言相关的上纵束白质微结构变化。结果发现上纵束形态在孕 31~42 周发生了显著变化。左侧和右侧上纵束的 FA 值均随着年龄的增长而显著增加,表明上纵束中的白质微结构已经成熟。与右侧上纵束相比,左侧具有较低的初始 FA 值和更快的 FA 增加的特征。左右上纵束的 FA 在孕 36 周附近相交。上纵束中 FA 的不对称指数随着年龄的增长而显著增加,反映了结构向左不对称的转变。所有新生儿均根据其扫描年龄分为 3 个年龄组,以进一步探讨语言偏侧化的发展。孕 34~38 周和 38~42 周组上纵束中 FA 的不对称指数显著大于孕周最小组(30~34 周)。

Tang 等探索了磁共振三维动脉自旋标记(3D-ASL)灌注成像采用不同标记延迟时间(PLD)在评估新生儿缺氧缺血性脑病(HIE)中的应用。将 200 例确诊为 HIE 的新生儿和 200 名健康新生儿分别分为 5 组(每组 40 个):0~24 小时,1~3 天组,3~7 天组,7~15 天组和 15~28 天组。结果发现在 1~3 天组,HIE 新生儿的 CBF 值在除额叶外的所有脑区均高于对照组。在 0~24 小时和 3~7 天组中,HIE 新生儿的 CBF 值在所有脑区域均低于相应的对照组。在 7~15 天组和 15~28 天组中,HIE 和对照组所有脑区的 CBF 值均无显著差异。因此 3D-pcASL 灌注 MRI 扫描结合 PLD 可以帮助新生儿 HIE 的早期诊断,因为它更全面地反映了 HIE 的病理过程。

Amanda 等利用 DWI 去噪矫正,获得改进的 ADC 值,并用此研究受脑静脉膨胀(VM)影响的胎儿大脑,用于表征胎儿脑微结构损伤。在 VM 胎儿中,ADC 值与正常大脑有显著差异,特别是在半卵圆中心、丘脑(TH)和脑脊液中。且 ADC 值与孕周呈负相关,表明扩散率逐渐下降。通过降噪校正获得可靠的 ADC 值是一个实用的工具,能够更好地区分产前胎儿脑组织中发生的微结构损伤。该研究结果表明,VM 和正常胎儿脑中获得的 ADC 测量值存在差异,特别是半卵圆中心 ADC 值的增加可能反映了脑部微结构受损。

脑白质病

Wamtjes 等使用三维合成(Synthetic)MRI 实现了脑白质的高清成像。他们在 Philips 的 3T Ingenia MR 扫描仪上采用三维 QALAS 序列同时获得多个平

行的序列图像,较对照序列(二维 MDME 序列)具有相同的成像效果和更短的扫描时间。目前临床上主要使用磁共振增强扫描区分多发性硬化的活跃病灶和非活跃病灶。鉴于已有研究显示钆对比剂在颅内的非特异性沉积,越来越多的研究致力于减少或避免钆对比剂的使用。Vinayagamani 等使用磁敏感成像及铁含量定量成功区分多发性硬化的活跃病灶和非活跃病灶。Bilello 等制定了一套磁共振扫描流程以减少对比剂使用:所有病例行三维 FLAIR 成像,仅对其中经 CAD 分析显示存在新病灶的病例加扫磁共振增强序列。Puig 等使用卷积神经网络对比分析三种视觉评分量表评估磁共振成像脑白质病变的效果,结果发现 Fazeka's 量表和 ARWMC 量表(Age-related white matter change scale)评估结果接近磁共振定量分析结果,适合推广使用。Kim 等使用无监督学习法在 3D FLAIR 图像上成功对多发性硬化病灶进行分割。他们使用最小距离估计(minimum distance estimation, MDE)和 Cramer-vor Mises 法统计建立模型在三维 FLAIR 图像上对多发性硬化病灶进行分割,结果与视觉评估效果具有较高一致性。

认知与记忆

Thomas 等使用内嗅皮层萎缩(entorhinal cortical atrophy,ERICA)评分和后扣带回及楔前叶的 ASL-CBF 值区分阿尔茨海默症相关的轻度认知损害和痴呆。Cheung 等使用静息态半球间镜像功能连接(interhemispheric functional connectivity,IFC)分析默认网络、突显网络和执行控制网络,发现阿尔茨海默症患者三种网络的 IFC 均显著减低,而血管性痴呆和混合型痴呆的三种网络同时存在 IFC 的减低或增高。这些结果提示存在代偿性其它脑区的激活。Puig 等使用卷积神经网络分析脑白质病变(WMH)对认知功能的影响。该研究结果发现,与 Fazekas's 评分相比,卷积神经网络分析得到的 WMH 负荷与信息处理速度、执行功能、语言功能具有更显著的影响。本板块还有两项研究分别对手机成瘾和烟草成瘾患者进行静息态研究,尝试揭开成瘾的神经机制。

图像分析方法(非人工智能)

由于部分容积效应,低空间分辨率的人脑结构磁共振模板缺乏重要的解剖细节。Mohammad 等介绍了一种新的基于超分辨原理的高分辨率结构磁共振模板的构建方法,并基于超分辨技术开发了一种老年人高分辨率脑结构磁共振模板。纳入 222 名老年人的 T₁ 加权脑 MRI 数据。原始图像(1 mm 各向同性)通过刚性和非刚性对齐到 0.5 mm 分辨率空间。所得到

的非线性变形场用于将刚变换后的 0.5 mm 分辨率图像映射到 0.5 mm 模板空间中的精确位置,从而消除了传统模板构建方法中的差值。模板空间中每个体素的最终强度使用高斯核计算为包含在该体素中的强度的加权平均值。新的模板称为 IIT-Aging_0.5 mm,并将其与其他老年和年轻成人高分辨率模板在图像质量和空间标准化精度方面进行了定量比较。结果发现 IIT-Aging_0.5 mm 模板具有较高的图像清晰度,表现为归一化功率谱中较高的空间频率。与 MCALT_0.5mm 和 IIT-Aging 相比,IIT-Aging_0.5 mm 模板细小结构显示更清晰。MCALT_0.5 mm 模板在大脑皮层存在伪影,而其他模板中没有。使用 IIT-Aging_0.5 mm 模板时,被试者之间空间归一化的准确度较高。IIT-Aging 和 IIT-Aging_0.5 mm 模板的变形要求较低较小。因此,IIT-Aging_0.5 mm 模板是一种高质量、高分辨率的老年人大脑结构模板,它比其他模板提供了更高的空间归一化精度,即使对于低分辨率老年人数据的归一化也是如此,有助于对老年人数据进行更高精度的标准化工作。

随着老龄化研究中海量数据的产生,对老年人脑多模式 MRI 图谱的需求也在增加。Wu 等提出一种迭代多模态模板构建策略,在同一空间开发出高质量的老年人脑 T_1 加权(T_1W)和 DTI 模板。纳入 202 名非痴呆老年人的 T_1W 和 DTI 数据。结果表明,用于模板构建的 T_1W 和 DTI 数据的空间规范化程度提高, T_1W 和 DTI 模板之间的空间匹配程度也提高,表明模板的质量随着迭代次数的增加而提高。与其他可用模板相比,最终生成的 T_1WI 和 DTI 模板进一步提高了老年人数据空间归一化精度。提出了一种新的多模式模板构建方法,并在同一空间生成了老年人大脑的 T_1W 和 DTI 模板,与其他可用模板相比,该方法可以更好地实现老年人 T_1W 和 DTI 数据的空间归一化。

为了通过改进的纤维束追踪策略和采用更加精确定义的灰质标记来增强 IIT 人脑图谱中的白质连接组以及评估这种新的连接组在人脑连接组计划(HCP)年轻成年人中的代表性。Qi 等报道了一项关于增强 IIT 人脑图谱的白质连接组的研究。纳入了 20 名性别和年龄匹配的青年 HCP 参与者的结构和扩散 MRI 预处理数据。连接组构建:在 IIT-HARDI 模板和 20 个 HCP 数据集上应用全脑解剖纤维束追踪、球面反褶积信息滤波(SIFT)和 84 个 Desikan-Killiany 区域,生成 21 个连接组,每个连接组包含 6972 个 edge。通过 DTI 配准,将每个连接组滤波后存在的 edge 的流线变换到另外 20 个连接组空间,生成纤维束密度图像(TDI)对连接组进行评价。计算一个连接组和另外 20

个连接组之间的每个 edge 空间体积的 F1 分数。同时计算 20 对 TDI 图的 Pearson 相关系数。在每个连接组空间重复这些过程,并对 F1 分数和 Pearson 相关系数进行平均。结果显示新的 IIT 连接组的 TDI 和 edge 的密度图与其他研究显示了良好的一致性。在不同存活 edge 数下,IIT 连接组的 F1 平均分数与 HCP 组相比无显著差异,而 Pearson 平均相关系数显著高于 HCP 组,说明 IIT 连接组可代表 HCP 连接组的个体。因此,新的 IIT 白质连接组将有助于全脑连接组的图谱分析。

静息状态功能磁共振成像(rs-fMRI)的研究主要集中在描述离散脑区之间的连接性,它的一个主要的缺点是不能在细胞和环路水平上提供对大脑认知功能或功能障碍的机制理解。为了克服这一局限性,Li 等开发了一个多尺度神经模型反演(MNMI)框架,该框架将微尺度环路的相互作用与宏观网络动力学联系起来,并基于血氧水平依赖(BOLD)rs-fMRI 估计局部耦合和区域间连接。纳入 66 名抑郁症(MDD)成人和 66 名匹配的正常对照(NC)。结果发现 MDD 组背侧前额叶皮层(dIPFC)内的反复兴奋和抑制减少,这与公认的 MDD 假设模型一致。此外,还发现丘脑的反复兴奋异常升高,这可能是 MDD 中常见的丘脑皮层异常振荡的原因。因此,MNMI 框架能够表征 MDD 潜在的区域内病理生理机制,因而优于传统的区域间 FC 分析,通过多尺度神经网络模型了解受损环路动力学有助于识别 MDD 的生物标志物和病理机制,这对开发更有效的诊断和治疗手段是必要的。

MRI 可显示颈动脉斑块特征,包括斑块内出血(IPH)、富脂坏死核心(LRNC)和薄的纤维帽破裂(TRFC),这些特征能够增加未来脑血管事件的风险。Asim 等进行了一项系统的回顾性研究和 Meta 分析,以评估 MRI 识别的高风险斑块特征(包括 IPH、LRNC 和 TRFC)与中风或短暂性脑缺血发作(TIA)后续缺血性事件风险之间的关系,随访时间 ≥ 3 个月。总共 15 项研究包括 2350 名患者。MRI 阳性 IPH、LRNC 和 TRFC 的未来缺血性事件年发生率分别为 11.9%、5.4%和 5.7%。IPH、LRNC 和 TRFC 与未来缺血性事件风险性的 OR 值分别为 6.37(95%CI: 3.96~10.24)、4.34(95%CI: 1.65~11.42)和 10.60(95%CI: 3.56~31.58)。这些发现进一步证实了磁共振阳性的“高危”或“易损”斑块特征(包括 IPH、LRNC 和/或 TRFC)可以预测未来中风或 TIA 缺血性事件的风险。

为了探究流动伪影补偿和信号强度不均匀校正对接受过多次钆布醇注射的受试者 T_1 加权脑磁共振图像信号强度比的影响。Tobias 等纳入 76 名受试者,

结果发现使用流伪影补偿后,一少部分受试者的齿状核/脑桥的信号强度比由于存在流动伪影必须排除。在不进行强度不均匀性校正的情况下,研究组与对照组在齿状核/脑桥的信号强度比上存在显著差异,但在采用强度不均匀性校正后没有显著差异。对于苍白球/丘脑的信号强度比,研究组与对照组之间没有差异。因此,强度不均匀性校正算法的应用对评估钆剂脑滞留所引起的脑部核团的信号强度比有重要影响。

脑血管病(非卒中)

遗传性出血性毛细血管扩张症(HHT)是一种常染色体显性遗传病,由参与血管生成调控的基因突变引起,约10%~20%的患者可能有脑血管畸形。颅内动脉瘤(ICA)是获得性血管病变,在一般人群中患病率为3%~5%。HHT与ICA没有明确的联系。Martias等探索了HHT人群中ICA的发生率。纳入了151名血管造影患者,在22例(14.5%)患者中发现24个ICA。动脉瘤部位:大脑中动脉7/24(29.2%),眼动脉5/24(26.1%),海绵窦内颈动脉3/24(12.5%),后交通动脉3/24(12.5%),前交通动脉2/24(8.3%),基底动脉1/24(4.2%),大脑前动脉1/24(4.2%)。ICA的平均直径为 (3.4 ± 1.18) mm。65例患者进行了基因检测,其中9例发现了ICA。ICA的存在与基因突变之间没有相关性。研究发现43例(28.5%)患者有脑动静脉畸形(AVM),其中12例也有ICA(两种血管畸形之间的相关性 $P = 0.004$)。同时患有ICA和脑AVMs的比值比为4.2(95% CI:1.6~11.4)。因此,在HHT患者中发现ICA的概率为14.5%。这一发现可能与已知基因突变引起的动脉壁疾病有关。根据这一发现,HHT患者比普通人群发生ICA的风险增加约3~5倍,且其存在与脑AVM相关。这一发现具有重要意义,因为需要尤其关注患者是否合并动脉瘤及如何治疗。

过去几十年,未破裂脑动脉瘤(UA)治疗后的死亡率有所下降,这可能是由于现代显微外科和血管内技术的应用以及UA治疗总量的增加。然而,对UA处理存在风险,目前再入院和复治率尚未有明确报道。Pedram等在61894例接受治疗且活着出院的UA患者中,5.98%和8.99%的患者在30天和90天内再次入院,0.14%和0.33%的患者复治。30天和90天内患者再入院的最常见的主要诊断分别是缺血性或出血性卒中(16.13%,21.82%)。栓塞患者和夹闭患者再入院率分别为30天4.87%和8.68%,90天7.82%和11.87%。栓塞患者和夹闭患者复治率分别为30天0.18%和0.04%,90天0.37%和0.22%。接受夹闭术的患者30天和90天再入院的调整风险较高,但30天

复治的调整风险较接受栓塞术的患者低。因此,治疗后30天和90天非选择性再入院最常见的主要诊断是中风。UA夹闭术的再入院率较高,而栓塞术的复治率较高,这些数据有助于患者和临床医生选择UA的治疗方式。

Wu等为了评估动脉瘤栓塞常规治疗的有效性、成本和增量成本,基于医学文献构建了基于决策分析模型的成本效益分析方法。评估了5种不同的颅内微小动脉瘤(UIAs)治疗策略:一年一次的磁共振血管造影(MRA)筛查、两年一次的MRA筛查、每5年一次的MRA筛查、栓塞和随访、无治疗或预防性随访。从社会学角度建立了每10000例偶发性微小UIA破裂的Markov决策模型。根据成本和质量调整生命年(QALYs)评估结果。对每种策略的增量成本效益比(ICER)和净货币效益(NMB)进行了评估。基本病例计算表明,没有治疗或预防性随访是最具成本效益的策略。在影像学随访中,MRA每5年一次为最佳策略,疗效次之。当动脉瘤的年增长率和破裂风险不同时,不进行常规随访是最佳的策略。未生长的UIAs年破裂风险 $<2.1\%$ 时,不随访为最佳策略。年破裂风险大于2.1%时,应直接进行栓塞术。根据目前的文献,对于 ≤ 3 mm的动脉瘤患者,不进行预防性治疗或影像学随访是一种经济有效的策略,可以使患者获得更好的预后以及更低的医疗费用。对于高破裂风险的动脉瘤患者,应对动脉瘤的生长进行更积极的影像学监测或预防性治疗。

已有报道采用二维卷积神经网络(CNN)用于MRA图像检测动脉瘤。尽管CNN的输出含有大量假阳性,但它具有很高的敏感度。到目前为止,为减少假阳性率已经做出了各种努力,但是应用三维信息的技术还没有报道。Terasaki等利用多模态CNN结合二维和三维信息,并探讨如何改善动脉瘤的检出效能。研究包括125名患者的142个动脉瘤。结果发现8例阳性患者2D-CNN和多模态CNN检测动脉瘤的平均敏感度分别为92.4%和95.2%。尽管2D-CNN每幅图像的假阳性为6.7时最佳敏感度为92.4%,但多模态CNN在每幅图像假阳性5.7时就可达到与之相同的敏感度。特别是使用该模型后,大脑中动脉的真阳性数增加。因此,除了传统的二维形状信息外,使用三维外观信息的多模态CNN与仅使用二维输入的传统CNN相比,提高了检测脑动脉瘤的敏感度和特异度。

为了比较3D与2D对比增强血管壁MRI(CE-VM)对巨细胞动脉炎(GCA)的诊断价值。Poillon等纳入79名患者(51名GCA和28名非GCA患者)参加了研究。结果发现3D CE-VW显示颅外动脉炎性改变时比2D CE-VW具有更高的敏感度(分别为

80%、70%)和特异度(分别为 100%、85%)。3D CE-VW 在检测颅内动脉炎性改变的敏感度较 2D CE-VW 高,分别为 20%和 8%,2D 和 3D CE-VW MRI 的观察者一致性较好,k 值分别为 0.84 和 0.82。CE-VW MR 诊断符合率与皮质类固醇-MRI 延迟时间呈负相关,2D 和 3D CE-VW 的最佳阈值分别为 3 天和 5 天。因此,3D CE-VW MRI 比 2D CE-VW 对 GCA 诊断符合率更高。对于 GCA 患者而言,应尽快行 MRI,且最好是在皮质类固醇治疗前或治疗开始的 5 天内进行。

Minako 等探讨了哪种常规非对比增强磁共振成像(MRI)序列或 MRI 序列的组合对硬脑膜静脉窦血栓形成(DVST)的诊断最为有用,纳入了 81 名受试者。结果发现 DVST 总诊断符合率: T_1 WI 为 0.592, T_2 WI 为 0.914,FLAIR 为 0.874,DWI 为 0.871, T_2^* WI 为 0.792,SWI 为 0.673。 T_2 WI 序列和 DWI 序列最能预测 DVST,OR 值分别为 41.0(95%CI:7.8~216.3)、75.1(95%CI:15.6~361.6)。 T_2 WI 和 DWI 序列联合应用的诊断效能明显优于单用各序列,AUC 为 0.802(95%CI:0.749~0.856)。 T_1 WI($k=0.681$)、 T_2 WI($k=0.795$)、FLAIR($k=0.719$)和 T_2^* WI($k=0.745$)序列的观察者一致性较好,DWI 序列中等($k=0.600$),SWI 序列一般($k=0.351$)。因此,在常规的非对比增强 MRI 序列中, T_2 WI 和 DWI 序列联合应用对 DVST 的诊断预测性最强。

运动障碍

目前帕金森病(PD)诊断缺乏客观的生物标志物,结合放射学和机器学习方法,基于磁共振的铁定量和结构测定可能有助于构造一种 PD 的生物标志物。Guan 等选取 245 例帕金森病患者和 170 例正常对照者纳入研究。结果提示,所获得的 20 个特征具有很好的泛化能力,其中双侧黑质(SN)的平均 QSM 信号为前 2 个(左侧黑质 100%,右侧黑质 84%)。帕金森病患者与正常对照组的分类符合率为 81.3%,早期帕金森病为 77.4%,晚期帕金森病为 81.2%。识别不同运动亚型的性能为 79.9%。此外,根据 UPDRS 评分的升序将帕金森病患者分为 4 类,早期至晚期诊断符合率分别为 79.3%、80.2%、80.1%和 85.0%。由此可见,根据铁和结构图像计算出的放射组学特征可以达到良好的 PD 诊断性能。通过特征选择提示大脑黑质铁含量(平均信号)作为帕金森病最重要的特征,可在未来临床 PD 诊断中运用。

为比较核磁共振帕金森综合征指数(magnetic resonance parkinsonism index,MRPI)和中脑脑桥区域比值(midbrain-to-pontine ratio,M/P)在鉴别诊断进行性核上性麻痹(PSP)与帕金森病和健康人群的准

确性,Snehil 等共招募了 40 名符合美国国立神经系统疾病与脑卒中研究所和进行性核上性麻痹学会(NINDS SPSP)诊断标准的 PSP 患者,40 名帕金森病患者和 40 名健康对照受试者。所有患者均采用包括 MPrage 序列的标准磁共振成像方案进行评估。结果显示,PSP 患者的平均 MRPI(19.1 ± 4.87)显著高于 PD 患者(9.11 ± 1.6)和对照组(9.21 ± 2.11)。在这项研究中,MRPI 以 100%敏感、特异、准确地将 PSP 与帕金森病区鉴别,100%敏感、特异、准确地将 PSP 与对照组鉴别。在本研究中,发现 MRPI 与疾病持续时间呈正相关。MRPI 在个体差异上优于 M/P。在 PSP 和 PD 患者中没有观察到重叠值。PSP 病例的 NINDS SPSP 标准的结果与 MRPI 中度相关。此外,还可以看到 NINDS SPSP 标准对 PSP 病例的结果和 M/P 值中度相关。疑似和拟诊的 PSP 病例的 MRPI 值也有显著差异。可见,MRPI 在早期个体水平鉴别诊断 PSP 与 PD 是优于 M/P 的,可考虑将 MRPI 作为非典型 PD 患者的常规诊疗工具之一。

基底神经节病理学与帕金森病的运动恶化症状有关。采用 DTI 对体内深部灰色核(DGN)显微结构进行探究,但帕金森病横轴面研究的结果并不一致。Li 等研究了 DGN(尾状核、壳核和丘脑)12 年间的 DTI 特征及其临床症状的变化。帕金森病患者和肝癌患者共 157 名在同一台 1.5T 扫描仪上 6 年内进行了 3 次扫描,包括 DTI 和结构相 MPRAGE 序列。纵向分析显示,与其他 DGN 相比,尾部区域的扩散率增加更严重。DGN 的 DTI 指数在第 3 个时间点有显著差异。尾状核扩散率的增加与帕金森病评定量表(UPDRS)和 Hoehn Yahr 阶段量表(H&Y)评分的恶化相关。壳核扩散率仅与 H&Y 评分恶化相关。由此可见,神经元变性伴随着 FA 降低和扩散率升高。然而,仅在帕金森病的后期表现出显著的核区 DTI 参数差异。这可能仅次于铁对 DTI 指数的已知影响,这种反转削弱了预期的 DTI 指数变化。扩散率增加和运动分数恶化之间的相关性表明神经元变性 with 帕金森病的关联。这种退化可能与疾病发展过程中尾状核和壳核中多巴胺能神经元的缺失有关。扩散率的时间变化的表明早期帕金森病患者中铁沉积的动脉效应。

对丘脑底核(STN)或苍白球内侧部(GPi)的深部脑刺激(DBS)适用于伴有明显运动震颤的难治性帕金森病患者。虽然患者临床特征可帮助确认治疗效果,但目前缺少客观指标来预测患者对 DBS 的反应。Bhattacharya 等通过 rs-fMRI 研究其作为观测指标的可行性,以尽早疗程中确认对 DBS 的早期反应。研究纳入 10 例晚期 PD 患者,DBS 治疗术前和术后在麻醉下进行了静息态 MRI 数据和运动评分(UPDRS-

II)。结果显示,对 DBS 反应更好的患者壳核和辅助运动区间功能失调,豆状核和额上回(SFG)间功能失调,与 L-DOPA 给药后出现的特征性变化相似($P=0.0001$)。可见,功能 MRI 有助于筛选适用患者,并为患者提供更好的术前咨询,以帮助其早期了解 DBS 的预后。

苍白球内侧部(GPi)深部脑刺激(DBS)是治疗难治性原发性广泛性颈部肌张力障碍的有效方法。然而有高达 25% 的患者对 DBS 没有效应,主要归因于以下因素:刺激参数变化、目标选择和缺乏客观的生物标志物。此外,由于刺激后肌张力障碍症状的改善较迟,使肌张力障碍的 DBS 治疗更加复杂。对支持有效治疗反应的大脑连接模式的理解可能会是一种有价值的生物标志物,改善 DBS 的定位和疗程来改善结果和减少副作用。Okromelidze 等对 39 例原发性肌张力障碍 GPi DBS 优化的患者进行分组分析。结果显示,与运动网络紧密相关的刺激区与 UDRS 分数的提高有关。初级运动皮层、辅助运动皮层和腹侧丘脑与 UDRS 改善尤为相关。预期的小脑运动区域(包括第四、第五、第六和第八小叶)也与 UDRS 改善密切相关。因而,功能 MRI 有望成为难治性原发性广泛性颈部肌张力障碍治疗和预后指标。

据估计,美国有 1000 万人患有特发性震颤(ET)。磁共振引导聚焦超声(MRgFUS)是一种无创性治疗 ET 的方法,它可在实时图像引导下对脑组织进行靶向热消融。先前的研究表明,成功靶向定位丘脑腹中间核(Vim)是治疗 ET 的有效方法。Jameel 等前瞻性纳入了 13 名接受了单侧 MRgFUS 治疗的难治性 ET 患者,使用 MRgFUS 同时靶向刺激 Vim 和丘脑下部不确定区(ZI)。结果显示,所有患者 Vim 和 ZI 处的靶组织均成功热消融,24 个月内所有参数均有改善:治疗组和非治疗组的 CRST 震颤评分分别为 73.5% 和 38.4%,QUEST 为 38%,BFS 为 46.9%。术中 BFS 评分显示,在损伤 Vim 27.9%后,靶向 ZI 结果将额外提升 21.8%,如果 Vim 和 ZI 同时损伤的话靶向 ZI 则提升 49.7%。一名患者(7.69%)出现治疗后持续两年单侧偏头痛的重大不良事件。该研究进一步证明 MRgFUS 是一种有效的治疗 ET 的方法,并证明了靶向选择丘脑 Vim 和丘脑底 ZI 的优秀疗效。此外,未治疗侧手臂的震颤评分改善显示了靶向治疗 ZI 的良性双边效应。该研究提供了一种替代目前 DBS 的非侵入性治疗 ET 的新方法。

现有研究表明,Friedreich 共济失调(FRDA)患者存在显著小脑皮质萎缩,此前被认为这与该疾病的神经退行性现象无明显关联。FRDA 患者的认知缺陷与其他因素导致的小脑体积减少有关。Costabile 等

为探讨 FRDA 小脑体积与认知的相关性,将 19 例遗传性 FRDA 病患者以及一组年龄和性别相当的 20 名健康对照纳入本研究。所有受试者都接受了磁共振成像扫描,包括 3D T1 加权序列和主要针对与小脑功能(即视知觉和视空间功能、视空间记忆和工作记忆)相关的认知领域的神经心理学检查。结果显示,FRDA 患者显示小脑总体积显著减少,第九小叶显著减少。在 VBM 分析中,发现了第九小叶整体灰质密度显著降低。第九小叶体积和视空间功能受损之间相关($r=0.580$),VBM 结果之间存在相似改变的相关性($r=0.520$)。因此,通过两种不同且互补的图像分析技术,该研究证实 FRDA 患者小脑体积缩小,以后叶为主。尤其是第九小叶萎缩与视觉空间功能恶化相关,进一步扩展了我们对 FRDA 认知损害生理病理学的认识。

为探究 MRgFUS 治疗对震颤相关环路功能连通性和白质完整性的影响,并测试震颤改善是否与特定的治疗前和治疗后功能反应相关。Zur 等搜集 60 名原发性震颤/帕金森病患者在聚焦超声消融术前和术后 1 个月和 6 个月的震颤和生活质量评估资料。21 位患者在治疗前及治疗后 1 天、710 天、13 个月和 412 个月进行了 MRI 扫描,包括 T₁、T₂ FLAIR 和 rs-fMRI。39 例患者在与 rs-fMRI 组相似的时间点进行了包括 T₁、T₂ FLAIR 和 DTI。计算该组扩散率参数并提取纤维束示踪测量值,并评估与震颤相关的不同大脑区域的功能连接性和扩散性参数的变化。结果提示,消融后发现齿状核和运动丘脑之间的功能连接减少。在消融区域连接丘脑和红核路径出现了长期损伤。消融后 1 天,运动丘脑的 FA 与两组患者震颤改善呈反比关系,治疗前评分低的原发性震颤患者震颤缓解结果更好。由此可见,聚焦超声丘脑切开术后,存在脑区功能连接性和白质完整性长期变化,这些区域可能参与了疾病的发病机制,也是患者震颤缓解的可能原因。

为评价 MRgFUS 丘脑切开术后丘脑腹中间核 FA 和 ADC 的变化及其与临床结果的相关性。Torlone 等招募了 39 例致残性难治性震颤(ET)(18 例特发性震颤,21 例帕金森病震颤)患者,他们接受了 3T MR 仪和聚焦超声系统进行的 MRgFUS 治疗。结果显示,39 例患者中有 38 例(97.4%)治疗有效(震颤立即明显减轻)。治疗后 FA 和 ADC 值的变化具有统计学意义。丘脑切开术后 1 天 VIM 的 FA 值与治疗第 6 个月的 FTM 值呈显著正相关。AND 和临床结果之间无统计学关联。该研究表明,丘脑 MRgFUS 治疗 ET 和帕金森病震颤会导致目标 VIM 区 FA 和 ADC 值变化,其中术后 1 天的 FA 值与临床结果有显著关联。本报告的局限性在于患者数量少,随访时间

短。需要进一步进行大规模随机研究,以评估 FA 值是否可被视为早期预测丘脑 MRgFUS 治疗 ET 和帕金森病后临床结果的影像学标记。

MRI 引导下高强度聚焦超声(HIFU)丘脑腹侧中间核(VIM)消融是治疗药物性震颤的有效方法。但是 VIM 的皮质连接可能因人而异。对于治疗计划,皮层的最佳种子点没有定义。Ezponda 等利用与病灶位置重叠的基于 DTI 的束描记术来评估 VIM 核的皮质连接。观察 22 名服用药物治疗无效的 ET($n=17$)或 PD($n=5$)患者。发现,HIFU 对立即控制震颤有效,需要更长的随访。治疗前 DTI 可见 VIM 损伤主要与初级运动皮质(通常位于手把手区域的内侧)相连。

结构成像

血管周围间隙(EPVS)扩大与衰老、中风风险增加、认知功能下降和血管性痴呆等有关。然而,EPVS 与年龄相关的神经病理学之间的关系还不清楚。Petit 等研究通过结合老年社区队列中的离体脑 MR 图像和病理学评估 EPVS 的神经病理学相关性,并确定 EPVS 与认知能力下降的相关性。研究共纳入来自两项纵向流行病学临床病理队列研究的 662 名参与者大脑半球数据。用单变量和多变量 logistic 回归研究 EPVS 负荷与下列年龄相关性神经病理学指标的关系:整体与微小梗塞、动脉粥样硬化、动脉硬化、大脑淀粉样血管病、淀粉样斑块、神经原纤维缠结、海马硬化、路易小体和 TDP43。最后,使用混合效应模型来评估 EPVS 程度对全局、情景、语义、工作、知觉和视觉空间六个方面的认知能力下降的影响。单变量分析显示 EPVS 程度与总梗死面积($OR=1.59$)和微小梗死面积($OR=1.40$)显著相关。多元 logistic 回归显示 EPVS 与总体梗塞有显著关联($OR=1.60$)。除工作记忆外,EPVS 对其余五类的认知下降都有显著影响;EPVS 与时间的交互作用在全局、情景和视觉空间认知领域均呈显著性。结果表明,血管周围间隙扩大和大脑梗死可能有相似的神经生物学机理,这与目前研究结果一致。血管周围间隙扩大对认知功能损害的影响与人口统计学和神经病理学无相关性。这是迄今为止唯一一项也是最大的将认知下降与 EPVS 扩大结合的临床病理学研究。

临床需要快速、病理特异性和定量的 MRI 技术来评估多发性硬化(ET),尤其是进行性 ET 中的组织损伤。本研究旨在证明 MRI 技术可以区分非进行性多发性硬化和复发性多发性硬化(RRMS),并检查与临床评估的相关性。Xiang 等将 22 名未复发的进行性多发性硬化和 11 名 RRMS 受试者纳入研究,通过正常皮质灰质(NAGM)和皮质下正常白质(NAWM)中

高分子质子分数(MPF)和 $R1(1/T1)$ 等 SMART 数据参数来评估多发性硬化组织损伤与扩展残疾状态量表(EDSS)、25 英尺定时行走、九孔柱试验(9HPT)、同步听觉系列加法测验(PASAT)和符号数字模式试验的相关性。用 Spearman 秩检验计算 P 值。结果显示,NAWM 的 MPF 高于 NAGM,这与髓鞘中的大分子含量一致。MPF 数值显示与运动相关临床评估 EDSS 和 9HPT 相关性较强,而高 $R1$ 度量显示与高认知相关 PASAT 分数显著相关。此外,在评估 MPF 和运动相关临床试验之间的相关性时,左半球显示出比右半球更强的相关性。此外,NAWM 的 MPF 与临床评估的相关性明显强于 NAGM 皮质的 MPF。GM 和 WM 中较高的 MPF 值可显著区分复发组与非复发组($P<0.01$)。因此,结果表明,MRI 在评估髓鞘含量和 ET 相关损伤方面具有很高的潜力。

急诊放射学

在 5min 内,超快速 MRI 包括 5 个标准序列,可对神经系统急症患者进行时间优化诊断。Philipp 等对 449 例急性非创伤性神经症状的急诊患者进行前瞻性单中心研究。分析 MRI 数据集的图像质量和颅内病理,据此计算诊断颅内病变的敏感度和特异度。结果发现超快速 MRI 共检出 93 个颅内附加病灶,图像质量相当于标准长度方案,并且具有更高的敏感度和特异度,可对神经系统急症患者进行时间优化诊断,对临床患者诊疗方案有一定影响。

基于机器学习的软件是临床相关性/应用方面评估急性脑卒中的一个有价值的工具。Mathur 等回顾性分析 91 例临床怀疑急性脑卒中患者的 CT 平扫,随后对 7 天内进行 CT 或 MRI 复查(67 例)进行研究。结果发现初步研究中一致的人类读数与软件包 1($r=0.613$)和软件包 2($r=0.663$)相同研究的自动化结果有显著相关性。随访研究的一致人类读数显示,与软件包 1($r=0.353$)和软件包 2($r=0.428$)的初始研究的自动化结果中度至较低相关。分割错误,存在额外的轴向集合,解剖不对称和慢性梗死是常见的误读软件的原因。因此,尽管两个软件的自动化方面与急性卒中的人类读数显示出良好的相关性,但它们最终梗死体积的中度至较差预测因子。这项研究将有助于不断改进基于机器学习的软件在急性脑卒中成像中的应用。

早期发现急性缺血性卒中对患者的预后至关重要。头部 CT 平扫是评价梗死体积和预后的首选影像学检查方法。与标准头部 CT 平扫相比,双源 CT 的三种物质成份分解算法应用提高了急性缺血性脑梗死水肿的可视化程度,从而提高了诊断的准确性。

DECT 能较标准 CT 头更好地估计急性缺血性脑卒中的梗死体积。Sadia 等回顾性分析 70 例有急性缺血性脑卒中临床症状和体征的急诊患者,在 4.5 小时内进行双源 CT 头部平扫,然后接下来的 24 小时内进行标准 CT 头部平扫,三种成份分解算法(material decomposition)利用灰质和白质能谱的差异试图探索急性缺血性卒中和细胞毒性水肿的关系。对两次 CT 进行 ASPECT 评分,计算敏感度、特异度、阳性预测值(PPV)和阴性预测值(NPV)。结果发现三种物质成份分解算法结合脑水肿重建预测梗死体积优于 24 小时内常规的 CT 平扫。

基于模型的迭代重建(model-based iterative reconstruction, MBIR)提高了脑 CT 对急性缺血性脑卒中低密度区的诊断能力。Hidenori 等回顾性研究 211 例疑似急性缺血性脑卒中患者,83 例在发病后 24 小时内行脑 CT 检查的患者于 24 小时内行 DWI 或随访 CT 确诊为急性缺血性脑卒中患者。获得 CT 扫描图像分别用 h-IR 和 MBIR 两种方式进行重建,两位放射科诊断医生对所有图像上缺血区(IAs)的可视化程度进行分级。I 级,IA 不可见;II 级,IA 几乎不可见,III 级,IA 可见;IV 级,IA 清晰可见。计算 IA 相对于对侧正常部位的对比噪声比(CNR)。结果 83 例 MBIR 图像中,I、II、III、IV 级分别为 39、8、10、26 例和 40、16、13、14 例。61 例(73.5%)两种重建方式可视化程度相同,22 例(26.5%)MBIR 高于 h-IR。无 1 例 h-IR 优于 MBIR。说明 MBIR 对急性缺血性脑卒中患者的 IA 显示和低密度区的识别优于 h-IR。

确定疑似心源性卒中的潜在栓子来源对于减少患者因早期和晚期并发症而导致的发病率和死亡率至关重要。同时采集心脏 CT 和脑卒中影像可以作为一个一站式服务来检查患者的心源性栓子。Sadia 回顾性分析了近一年来临床疑似缺血性脑卒中的患者,所有患者行脑 CT 平扫及主动脉弓顶部范围内的血管成像。并在最初的检查同时行心电门控冠脉 CTA 检查。这些潜在的栓子来源分为高风险和中度风险,并计算了频率及百分比。阳性卒中患者进一步行 CAD-RADS 评分系统评估。结果发现阳性患者中 3.77% 患者发现了潜在的心脏栓塞源。高危原因包括:心肌梗死,左房血栓,感染性和非感染性,人工心脏。中等危险因素包括:卵圆孔未闭,房间隔缺损,二尖瓣脱垂,瓣膜钙化,二尖瓣环钙化,左心房扩大,二尖瓣环和瓣膜钙化。心脏 CT 能可靠地鉴别临床怀疑的心源性栓塞性卒中的潜在危险因素,并能提供冠状动脉危险性评估。

为了探究致死性脑出血是否合并甲基苯丙胺中毒(MA),Yoshida 检索 2011 年 11 月—2018 年 2 月的法

医法定尸检资料($n=3044$),共发现非创伤性死亡脑出血 80 例,并进行毒理学检查。在 80 例患者中,选择出血部位位于基底节和脑干的死者,比较两组患者(脑出血伴 MA 中毒组和脑出血不伴 MA 中毒组)的临床表现。比较两组的出血频率、年龄分布、出血类型及尸检 CT 表现。结果发现 MA 中毒组基底节和脑干出血 9 例,非 MA 中毒组 14 例。两组年龄差异有统计学意义($P=0.0094$)。两组尸检 CT 比较,中线移位距离(mm)(仅基底节段)和主动脉瓣钙化量($P=0.0281$)有显著差异,而血肿量、心胸比,升主动脉周长和主动脉壁钙化无显著差异。尸检 CT 上发现大出血时,法医放射科医生应注意脑出血合并 MA 中毒的可能性。在年轻患者中,主动脉瓣钙化和明显的中线移位可能是关键所在。

癫痫

rs-fMRI 和图论有助于解释局灶性癫痫的发病机制,应更广泛地应用于了解局灶性癫痫的病理生理机制。Krystal 等对 16 例脑室周围结节性灰质异位(PNH)患者和 32 例年龄、性别匹配的健康对照者进行静息状态脑功能检查。通过计算低频波动振幅(ALFF)来评估异位结节信号的相关性。然后分析了结节-皮质连接性与皮质-皮质连接性的关系、结节连接性与结节的距离和静息状态网络之间的关系。最后,基于图论方法,从皮质-皮质功能连接矩阵出发,计算 PNH 患者与对照组的聚类系数(CC)和路径长度(PL)等网络特征,并进行比较。结果异位灰质结节 ALFF 明显高于白质,低于灰质。异位灰质结节与灰质之间的功能连接明显低于皮质-皮质连接。结节-皮质连接性与结节的距离呈显著负相关,异位结节主要与视觉、背侧注意和腹侧注意网络有关。与对照组相比,PNH 患者的功能连接显著降低,小世界网络中,聚类系数(CC)减少并且路径长度(PL)增加。通过这些结果,可以解释 PNH 患者的信息处理速度的降低,也可以解释异位结节手术切除对功能的影响,有助于更好地了解 PNH 的致病性。

了解全身性癫痫的早期变化可能对药物选择、改善临床疗效和预测长期认知障碍有帮助。前扣带回皮质和额叶内上回在全身性癫痫发病机制或导致神经紊乱中的作用仍有待研究。Mohamed 等对 14 例磁共振阴性,但诊断为全身性癫痫患者和 14 例对照者进行研究。结果发现小儿广泛性癫痫患者大脑前扣带回皮质和额叶内上回皮质厚度均降低,提示上述两个区域在全身性癫痫发病机制或导致神经紊乱中的作用仍有待研究。

FDG-PET/MR 能提供准确的致病区信息,提高

定位相关癫痫患者的预后。Kikuchi 等前瞻性纳入 31 名患者比较 FDG-PET/MR 和 FDG-PET/CT 对定位相关癫痫患者致病区(EZ)的诊断准确性,他们先用 FDG-PET/CT 系统进行定位相关癫痫的诊断,所获得的图像由五位经认证的放射科医生独立阅片,且所有阅片医生均未被告知患者的所有临床资料。采用 Likert 量表评分系统评价图像质量,术后病理证实致病区。采用配对 t 检验比较 PET/MR 和 PET/CT 的诊断敏感度和 Likert 量表评分。最后发现 FDG-PET/MR 诊断局限性癫痫的准确性优于 PET/CT。

结合目前临床实践中使用的实验,代谢连接性也许可作为难治性颞叶癫痫(TLE)患者术前评估的一个额外的预后/诊断因素。Tantawi 等学者搜集了 24 名患有单侧内侧颞叶硬化症的颞叶癫痫患者的 PET 资料。术后 1 年随访,13 例患者无癫痫发作(Engel I A 级),11 例患者有反复发作,并被归类为非癫痫发作(非 IA 级)。对扫描图像使用 SPM12 预处理的,然后根据受试者体内区域间葡萄糖代谢值的相关性构建连接性矩阵。最后,使用图论(BRAPH)软件进行脑功能分析。结果发现无癫痫发作组和癫痫发作组持续网络的组成有明显差异,颞极、扣带回的连接性较无癫痫发作组高,而包括扣带回、中央前回、中央后回、顶叶上回在内的多个区域团簇高度聚集在周围的节点,提示功能的分离更为明显。证明了激光间质热疗(LiTT)手术患者术前代谢连接性与术后癫痫发作结局之间的关系,以及作为影像学生物标记物预测手术结局的潜在作用。延伸到颞叶外神经网络,特别是边缘神经网络,在术后癫痫复发中起作用。

rs-fMRI 可能是一种有用的非侵入性工具,用于确定被评估为癫痫切除手术的患者是否更有可能经历术后癫痫发作。Matthew 等学者回顾性分析 40 例难治性颞叶癫痫患者的临床资料。所有患者均行术前 rs-fMRI 及单侧颞前叶切除术。采用恩格尔癫痫手术结果量表对术后无癫痫状态进行分类。采用最小生成树(MST)方法分析每个受试者的静息状态功能连接网络,计算术后完全癫痫发作自由(Engel-IA)受试者与其他所有受试者(Engel-IB-IV)之间的全局和区域网络特性,并进行统计比较。发现颞叶癫痫患者的静息状态网络拓扑结构与手术结果相关,整体网络整合度降低,并且累及与术后持续癫痫发作相关的对侧颞沟区。

对病变原因不明确时自动纤维定量可显示白质变化。Zeng 等对确诊的 48 例抗 NMDA 受体脑炎患者和 40 例健康对照者行常规头颅 MRI、DTI 扫描,mRS 及 MMSE 评分。采用 AFQ 对受试者大脑 20 条白质纤维的 100 个节段进行了 FA 和平均扩散率(MD)定

量分析,比较两个参数是否存在显著差异,并分别与 mRS 和 MMSE 评分进行相关性分析。最终发现抗 NMDA 受体脑炎患者以皮质脊髓束、扣带回、海马扣带回和弓形纤维为主的纤维组织广泛受损,与患者的 mRS 评分和 MMSE 评分密切相关,有助于隐匿性病变的诊断和临床症状的解释。

对比剂

用于 MR 成像的线性钆基对比剂(GBCA)可能导致 Gd^{3+} 在大脑中沉积。而血脑屏障破坏会加剧这种情况的发生。在脂多糖(LPS)败血症大鼠模型中,已经证实了继发性神经炎症和持续的血脑屏障通透性(6 周)。分别在脂多糖和对照组于 GBCA 给药后 24 小时、1 周、3 周和 6 周采血。发现在 24 小时到 1 周之间,血液中的 Gd 迅速下降,此后无法检测到。LPS 组与对照组大鼠血液中 Gd 含量无显著差异。在所有时间点(24 小时 4.3 倍,1 周 2.4 倍,3 周 2.9 倍,6 周 3.2 倍),LPS 组中脑 Gd 含量的水平均显著高于对照组(6 周 24 小时的 40%左右)。在 24 小时内,骨(每公斤)的 Gd 含量水平比大脑水平高 10 倍,LPS 组略高于对照组(约 1.3 倍),但 6 周时明显高于对照组(约为 24 小时水平的 60%)。研究结果的重要性不能用血液或骨骼的 Gd 水平的差异来解释,这表明血脑屏障的破坏可能起了一定作用。因此,对脓毒症患者,应考虑避免使用线性钆对比剂,这可能是由于血脑屏障破坏使患者更容易发生 Gd 沉积。

不同类型对比剂在小脑中的钆残留,可能与钆对比剂的种类以及脑清除动力学有关。Robert 等通过对 80 只健康大鼠在 5 周内接受 5 次 2.4mmol/kg 的钆吡醇、钆布醇或钆双胺(总剂量为 12mmol/kg)或等量的生理盐水。在最后一次注射 1 或 5 个月(M1, M5)后处死大鼠($n=10$ /组)。采用电感耦合等离子体质谱法测定小脑总钆浓度。对于 M5 组,采用大小排阻层析结合 ICP-MS 温和提取后进行钆形态分析。结果发现最后一次注射线性钆双胺后的 1 个月和 5 个月,钆的含量稳定地保留在小脑内,在 5 个月时,水溶性钆与大分子结合。为大环的钆吡醇、钆布醇,5 个月后 Gd 含量比服用钆双胺低了 27 倍,而从 1 个月到 5 个月有 73%和 66%的减少。对于大环钆对比剂,可溶性部分只检测到完整的螯合物。结果表明重复注射钆吡醇或钆布醇,5 个月后又观察到少量完整螯合的钆,符合大环钆对比剂的预期。因此,钆吡醇作为一种新的大环钆对比剂,具有重要的临床前景。

钆对比剂的使用剂量是 MRI 检查安全中的重要方面,在中枢神经系统的 MRI 检查中,新型对比剂钆喷醇的使用剂量需要得以验证。Liu 等采用双盲、随

机、剂量平行和交叉研究选择已知或高度怀疑局灶区血脑屏障破坏的患者。将患者随机分为四组,注射钆喷醇剂量分别为 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 mmol/kg, 进行一个序列的两种磁共振成像研究:先注射钆喷醇后注射钆贝葡胺,或相反。并采用双盲法测量信号强度。发现在 0.2 和 0.1 mmol/kg 的条件下,钆喷醇均优于钆贝葡胺,CNR 增加 30%。在 0.05 mmol/kg 时,钆喷醇的 CNR 与钆贝葡胺相似。病变与脑的比例(LBR)和增强率也有相似的结果。不良反应发生率钆喷醇(11.7%)和钆贝葡胺(12.1%)相当。研究表明钆喷醇作为一种相对强度高的有价值的大环钆对比剂,具有更好的诊断性能,并且较少潜在的游离钆毒性。

钆基对比剂在多发性胶质母细胞瘤(GBM)患者中的应用是众所周知的。但是,大环类药物浓度不同,传统浓度(0.5 mmol/ml)与高浓度(1 mmol/ml)药物的疗效存在争议。Matthew 等选择 32 例 GBM 患者进行研究,使用双盲随机交叉法,每位患者在 2~10 天的时间内注射 0.1 mmol/kg 的钆特醇和钆布醇行 MRI 检查。采用人工智能变化检测软件对图像增强特征进行处理,分析图像的差异。结果发现人工智能/机器学习软件在增强特征上与传统浓度的钆特醇和高浓度的钆布醇无显著差异。因此,对于不同浓度的钆对比剂,0.1 mmol/kg 的钆特醇和钆布醇表现出了等效的对比度增强,在评估 GBM 患者时具有相同的效果,低钆浓度对比剂则具有较低的钆沉积风险。

目前,钆(Gd)在小脑齿状核等深部核团(DCN)中残留的精确定位尚不完全清楚。通过高分辨率激光消融诱导耦合等离子体质谱法(LA-ICP-MS)和金属标记免疫组化技术,在对大鼠反复注射钆对比剂后,能有效对鼠脑 Gd 与血管或星形胶质细胞等细胞环境进行共定位。Hubertus 等对大鼠静脉注射钆双胺或钆布醇 8 次,剂量为 1.8 mmol Gd/kg 体重,注射后 35 天处死。采用激光烧蚀电感耦合等离子体质谱法同时获取内皮细胞标志物 vWF 和星形细胞标志物 GFAP,进而定量分析脑切片的空间 Gd 含量分布。研究发现对大鼠注射钆双胺,在洗涤和染色后,Gd 的分布情况未发生改变,但是,DCN 中的 Gd 浓度上升到 10 nmol/g。DCN 中的 Gd 仅部分与内皮标志物 vWF 重叠,而大多数 Gd 不与 vWF 和 GFAP 共同存在。在注射钆布醇的大鼠中检测到,在染色过程中几乎完全清除了残留的 Gd,而染色后的 Gd 仅存在于血管中。研究表明在染色的大鼠脑切片中,血管系统外可见线性钆双胺而非大环钆布醇的 Gd。

在连续服用钆剂后,血磷过低, T_1 信号强度升高。对于多发性硬化患者,低磷血症与铁沉积是否具有相关性? John 等选取 75 例多发性硬化患者或典型的多

发性硬化临床分离综合征患者,约 1:1 随机分配到倍泰龙或克帕松作为试验组。每月使用超说明书 3 倍剂量磁显葡胺(0.3 mmol/kg)进行 MRI 随访,随访时间长达 24 个月,包括 MRI 前的血样和尿样。使用边界近似人工分割技术从 MRI 数据中创建 ROI,以确定由于钆沉积而导致的信号强度的潜在变化。 C/N 比率确定了研究前 12 个月的平均信号强度变化,定义为: $C/N = [\text{灰质结构} - \text{白质参考结构}] / \text{空气}$ 。用一般估计方程分析磷酸盐水平,以确定磷酸盐和信号强度的变化之间的关系。发现所有分析的灰质结构中, T_1 信号强度均升高,低血磷组和正常血磷组的灰质结构无明显差异。表明低磷血症与钆沉积引起的灰质 T_1 信号强度升高无关。

血管与介入

目前,多普勒超声(DUS)为诊断颈动脉狭窄的首选检查方式,但是门诊患者首次检查方式并不固定,其变化趋势未知。Pakpoor 等通过数据库分析,选取 18~65 岁的患者,分析其有关颈动脉狭窄的初步诊断检查方式,利用逻辑回归分析法评估其趋势。发现大多数(95.8%)患者接受 DUS 作为最初的成像方式,2.4%接受 CTA,1.3%接受 MRA,0.5%接受了与此相关的多个研究。接受 DUS 作为唯一的初始成像方式的患者比例从 2011 年的 97%下降到 2016 年的 94%。接受 CTA 作为初始成像方式的患者比例从 2011 年的 1.6%上升到 2016 年的 4.7%。其表明虽然超声依旧为大多数怀疑颈动脉狭窄的初选影像学方法,但 CTA 的使用随时间显著增加。由于 CTA 具有辐射损伤,且费用较高,因此提高对其检查的有效性,也是其目前趋势的重要研究内容。

对于存在颈动脉狭窄(CS)、有颈动脉狭窄病史以及对狭窄严重程度的评估,是自然语言处理(NLP)模型的重要应用。Wu 等通过回顾性分析 1527 例超声报告,发现在预测 CS 病史方面,CNN 和 RNN-Attention 模型的特异度均显著高于 logistic 回归。此外,RNN-Attention 的 F1 评分和整体符合率也显著提高。对于预测存在性,所有模型的符合率都达到了 93%以上。RNN-Attention 的总体符合率为 95.4%,但与 logistic 回归的无显著差异。RNN-Attention 的特异度高于 logistic 回归,差异有统计学意义。研究表明 NLP 能自动且有效地预测颈动脉病史、存在以及狭窄程度,在患者的长期随访和进一步的临床研究中有着广泛的应用。

采用低浓度对比剂、低千伏(kV)参数进行 CTA 成像,实现冠状动脉、颈动脉以及颅内动脉的一体化扫描,需同时保证其图像质量和低辐射剂量。Liu 等前

瞻性纳入 78 例连续患者,随机分为两组。均行第 2 代 128 层双源 CT 检查。A 组方案为:管电压 70 kVp/80 kVp,40 mL 低浓度对比剂(270 mg I/mL)。B 组方案为:管电压 100 kVp,60 mL 对比剂(370 mg I/mL)。使用 bolus 跟踪技术,对每个患者在左心房(A 组)或主动脉根部(B 组)放置 ROI,当跟踪 ROI 达到基线衰减以上 50 HU(A 组)或 100 HU(B 组)阈值时自动触发扫描。两组均以 5.0 mL/s 的流率注射 40 mL 生理盐水。在每个患者的 R-R 间隔的 55%处,前瞻性地触发图像采集。比较两组的图像质量和辐射剂量。冠状动脉图像质量评估结果显示,两组患者的分析结果具有可比性,A 组图像质量足以诊断 99.58% 的颈动脉和脑动脉的动脉段,A 组辐射剂量明显低于 B 组,A 组平均碘摄入量较 B 组下降 51%。表明低 kV 低浓度对比剂 CTA 采用心电门控的高螺距螺旋扫描,可在低辐射剂量下获得良好的冠状动脉、颈动脉和大脑动脉图像质量。

对颈动脉斑块严重程度和易损性评估的准确性评价,是超声三维动脉分析和超声造影的重要内容,对于其随访以及治疗意义重大。Daniele 等对 134 例患者进行斑块分级,采用三维动脉分析提供了评估斑块易损性的彩色地图和三维容积狭窄评估。将其诊断性能与斑块易损性的组织学检查和 CEUS 和 CTA 的狭窄分级进行比较。发现 3D 动脉分析软件和超声造影(CEUS)正确评价,敏感度为 88%,特异度为 100%。表明 3D 动脉分析软件和 CEUS 是评估斑块易损性和狭窄严重程度的有效工具,为手术计划提供了有用的信息,多中心前瞻性评价有助于阐明多参数评价的作用。

卒中危险因素包括伴有溃疡的不稳定颈动脉粥样硬化斑块、表面不规则的软斑块以及心血管生成的存在。CEUS 是一种新的无创方法,可以检测斑块内的血管再生。Radzina 等选取 CTA 和组织学结果作为参考标准,发现 CEUS 方法与组织学结果比较差异有统计学意义。CEUS 诊断软斑块新生血管 13 例(48.1%),敏感度 77.78%,特异度 60%,阳性预测值 77.78%,阴性预测值 60%,符合率 76.3%;在钙化斑块组中,14 例患者(51.9%)检测到新血管形成,敏感度为 53.33%,特异度为 37.5%,阳性预测值为 61.54%,阴性预测值为 30%,无论狭窄程度,符合率为 47.83%。表明 CEUS 可实现不稳定颈动脉斑块(新生血管)的早期检测,并可能改变高卒中风险患者无论狭窄等级的概念。

颈动脉斑块溃疡是斑块易损的特征之一,与栓塞性卒中的发生有关,其检查的血管造影是有创检查,CEUS 无创易捷,其诊断准确性是重要方面。Park 等

回顾性分析 184 例患者的颈动脉血管造影和颈动脉斑块 CEUS,时间间隔在 6 个月内。斑块溃疡定义为 CEUS 和血管造影上斑块表面凹陷超过 2 mm。计算检测斑块溃疡和显著性狭窄(>50%)的敏感度、特异度和诊断符合率。发现血管造影发现斑块溃疡的发生率为 25%。对比增强超声检测斑块溃疡的敏感度为 85.7%,特异度为 96.2%,阳性预测值为 88.2%,阴性预测值为 95.2%,诊断符合率为 93.6%。假阴性的主要原因是 CEUS 上的钙化阴影,假阳性的主要原因是斑块表面不规则。表明 CEUS 对颈动脉斑块表面评估具有良好的诊断准确性。

目前,鲜有研究报道通过 MRI 评价糖化血红蛋白(HbA1c)水平与颅内斑块易损性之间的关系。Li 等选取 108 例颅内缺血患者,均分为糖化血红蛋白高(>6.5%)组和糖化血红蛋白低(<6.5%组),进行颅内血管壁 MRI 和脑 MRI 扫描。评估颅内斑块特征和颅内缺血性病变。发现与低糖化血红蛋白组相比,高糖化血红蛋白组颅内斑块较多,颅内症状性斑块强化发生率较高,急性脑梗死较多,复发性梗死较多。高糖化血红蛋白是颅内症状性斑块增强的独立危险因素。表明升高的糖化血红蛋白可能对颅内斑块增强产生不利影响,从而可能诱发急性脑梗死。

颈动脉 X 线造影是一种采用碘化对比剂的常用的颈动脉造影成像技术,其对比剂剂量和图像信噪比(SNR)等具有相关性。通常,数字血管造影(DVA)比数字减影血管造影(DSA)具有更高的信噪比和更好的图像质量,可能为 CXA 中碘对比剂的减少提供可能。Viktor 等通过比较标准(100%碘对比剂)或低剂量(50%碘对比剂)方案下 DSA 和 DVA 图像的 SNR,比较 DSA 和 DVA 的图像质量,中间一致性用百分比一致性和 Fleiss'kappa 来描述。发现 DVA100%碘对比剂评分明显高于 DSA100%碘对比剂评分,DVA50%碘对比剂评分也明显高于 DSA50%碘对比剂评分。DSA100%碘对比剂与 DVA50%碘对比剂评分差异无统计学意义。表明 DVA 在不影响血管造影质量和诊断价值的情况下,在颈动脉 X 线造影中大量减少碘对比剂剂量。

症状性颈动脉狭窄的治疗预后以及再入院是评估其手术风险的重要研究,颈动脉内膜切除术(CEA)和支架植入术(CAS)是治疗症状性颈动脉狭窄的两种常用方法,但是,关于其再入院研究较少。Nazari 等通过全国再入院数据库(NRD)来描述 CEA 和 CAS 术后 30 天和 90 天无症状再入院的发生率和原因,分析其患者和医院特定因素、共病评分和疾病严重程度等。发现 CEA 或 CAS 术后 30 天和 90 天非选择性再入院的常见原因为脑动脉阻塞伴梗死、败血症和 TIA。

CAS 术后 30 天和 90 天的调整风险和非选择性再入院率高于 CEA。

创伤性脑损伤

美国足球运动员 (AFP) 在职业生涯中经历了反复的脑外伤, 并有可能发展为慢性创伤性脑病。脑微出血 (CM) 是重复性脑损伤和弥漫性轴索损伤的典型表现, AFP 中 CM 的所有神经影像学研究都是在 1.5T 或 3T MRI 上进行的, 而 7T 超高场 MRI 显示弥漫性轴索损伤患者的 CM 明显多于 3T SWI。Cornelius 等评价了 7T SWI 与 3T SWI 对 AFP 中 CM 的诊断价值。12 名专业 AFP 患者参加了这项前瞻性研究, 所有患者均在 3T 和 7T 进行了脑部 SWI 成像的 MRI 扫描。结果在 3T SWI 的 3 个不同 AFP 中共识别出 3 个 CM。在 7T SWI 中, 确认了其中 1 个 CM, 并且识别出了两个更小的相邻 CM。另外两个 AFP 中 3T SWI 识别的两个可疑 CM 在 7T 时被确定为不典型的脑内小静脉。作为一个额外的发现, 在 1 个 AFP 中发现了发育性静脉畸形 (DVA), 在 3T 和 7T 中都很清楚, 而在 7T 时, DVA 的结构更精确。因此, 7T SWI 能更好地显示 CM。此外, 7T SWI 可以更准确地鉴别 3T 时被描述为 CM 但在 7T SWI 时被识别为非典型静脉血管的病变。

胼胝体 (CC) 在轻度创伤性脑损伤 (mild traumatic brain injury, MTBI) 中具有特殊的危险性, 对大脑半球通讯至关重要。Melanie 等验证了一个假设, 即扩散磁共振测量的微结构损伤会影响新的半球间加工速度任务 (IHSPT) 的性能。4 周内受伤的 36 名 MTBI 受试者和 27 名对照者纳入研究。进行 5 个 b 值的扩散磁共振成像。在对照组中发现 IHSPT 与 MTBI 受试者中所有位于压部的扩散测量 (MD、RD、AK 和 DEPREP) 之间存在相关性。另一方面, MTBI 受试者显示 IHSPT 与 CC 膝部的峰度扩散测量值存在显著相关性 (MK、AK 和 RK)。因此, CC 体部微观结构的复杂性和 IHSPT 在对照组中没有关系, 在对照组中观察到的组织微结构和半球间加工之间的关系来看, MTBI 患者的已丢失。

传统的 DTI 假设水分子扩散为高斯分布, 无法推断出纤维交叉和取向色散共同作用下的微观结构。专题分析在外伤性脑损伤 (TBI) 的护理和长期随访中至关重要。Hong 等研究了利用非高斯扩散磁共振 (dMRI) 重建技术绘制慢性 TBI 患者特定白质异常的可行性。结果发现轻度 TBI 组与对照组的白质异常总量无显著差异, 但 TBI 组的异常量较大。映射微观特征的方法能很好的显示纤维交叉和方向分散, 可以更好地了解慢性 TBI 的复杂的轴突病理。

认知功能障碍可能是 MTBI 后最令人不安和持续的症状之一, 需要更好地理解工作记忆缺陷与可检测的微结构损伤之间的关系。Chung 等研究了 19 个 MTBI 和 20 个正常人 (NC) 进行 5 个 b 值的扩散 MRI 检查。发现 MTBI 右上纵束 (SLF) 的轴向峰度 (AK) 和 DSB 之间有显著相关性 ($r=0.69$), 在 NC 不存在。在 MTBI 中, 还发现在 NC 的右后放射冠 (pCR) 中 FA 和 LNS 之间失去了正常关系 ($r=0.67$)。受伤后的时间和将受试者分为高/低表现组 (z 得分 = 1) 影响了区域扩散测量和工作记忆表现之间的一些关系。因此, MTBI 后与工作记忆相关的微观结构变化, 有早期识别工作记忆缺陷患者的潜在价值。

Seoul 等采用定量动态对比增强 (DCE) MRI 参数和自动分割方法, 探讨脑震荡后综合征 (PCS) 轻度创伤性脑损伤 (mTBI) 患者基于区域的血脑屏障 (BBB) 破坏及其临床意义。回顾性研究包括 41 名 mTBI 后的 PC 患者和 29 名对照组, 接受了包括 DCE MRI 在内的 MR 成像。结果发现 mTBI 患者双侧大脑灰质 K_{trans} 中位数显著高于对照组。伤后 3 个月或 3 个月以下的亚组和 3 个月以上的亚组 K_{trans} 均高于正常对照组。在听觉连续性测试中表现不典型的患者双侧大脑灰质的 K_{trans} 明显高于表现平均或良好的患者。ROC 分析显示, 在 $0.009 \times 10^{-1} \text{ min}^{-1}$ 的临界值下, 双侧脑灰质 K_{trans} 的敏感度为 89%, 特异度为 70%。mTBI 组与对照组其他部位 K_{trans} 无显著差异。因此, PCS 显示双侧脑灰质 BBB 破坏, K_{trans} 反映的 BBB 破坏程度在神经认知测验表现不典型的患者中更明显。

TBI 是一种由原发性和继发性损伤机制引起的高度复杂的疾病。胶质血管信号传导的改变并不是一个关键的继发性损伤。此外, 对 BBB 中断的长期影响知之甚少。David 等研究了延迟对比磁共振成像 (delayed-contrast MRI, DCM) 在 TBI 中显示微小 BBB 断裂的可行性及其与星形胶质细胞 (BVCA) 血管覆盖的组织学相关性。24 只小鼠在闭合性脑损伤后 1、8、29、64、98 和 133 天进行 DCM 随访。结果发现在 TBI 后所有小鼠损伤附近的地图上都显示了显著的 BBB 破坏水平。TBI 后 1 周 BBB 图显示的病灶体积比 T_1 -Gd 的增强体积大 2.5 倍。干扰水平在第 1 天到第 133 天随时间呈线性下降。不同时间点磁共振成像计算的破坏水平与 BVCA 有显著相关性。在 TBI 后 15 个月进行扫描时, TBI 小鼠的同侧脑室破裂程度明显高于对照组。5 例 TBI 患者的初步临床结果显示 BBB 轻微破坏, 标准 MRI 无法检测到, 所有患者均可见。初步分析表明有几种可能的破裂模式 (脑组织和中线的局部破裂、局部血 CSF 破裂、蛛网膜下腔破裂、脑室破

裂和广泛扩散)。因此, DCM 能够描述严重的 BBB 破坏, 其敏感性高于 T_1 -Gd, 直至损伤后很长时间。在动物模型中观察到的磁共振破坏水平和 BVCA 之间的相关性可以通过 TBI 引起的胶质血管信号改变来解释。

扩散/灌注

扩散磁共振成像(diffusion MRI, dMRI)是一种能反映脑白质组织微结构的有效成像技术。然而, dMRI 为了覆盖 Q 空间需要更长的扫描时间。Q 空间中的每个点对应一个扩散加权图像(DWI), 为了获得精确表征微观结构需要足够数量的 DWI。为了加快采集速度, Hong 等引入了一种超分辨率(SR)重建, 这种重建只需要每个 DWI 的一个子样本, 而不需要扫描整个 DWI。每个 DWI 都用不同的切片偏移量和成像平面进行子采样, 从而使体积捕获互补信息, 可用于改进其他 DWI 的重建。结果发现, SR 恢复了更多的结构细节。利用平均绝对误差(mean absolute error, MAE)、峰值信噪比(peak signal-to-noise ratio, PSNR)和结构相似性指数(structural similarity index, SSIM)来衡量重建 dMRI 的重建精度。该方法能有效加快 dMRI 数据的采集速度, 在信息损失最小的情况下重建 DW 图像。

病理组织学证据表明多发性硬化(MS)患者脑内的顺行性和逆行性变性是在局灶性轴索横断后发生的。然而, 由于缺乏对轴突和髓鞘损伤敏感的成像技术, 在体内量化和表征这种损伤是一个挑战。Dhairya 等建议使用定量磁化转移成像(qMT)、球面平均技术(SMT)和轴突定向弥散和密度成像(NODDI)来识别

和表征体内病灶横断后的髓鞘和轴突损伤。包括 18 名 MS 患者和 9 名年龄和性别匹配的健康对照者(HCs)。主要研究 T2 病变伴有或不伴有慢性黑洞(cBH)。在 T2 病变和 cBHs 上以及相邻的正常白质(NAWM)上(以下称为边界区)和对侧 NAWM 上绘制兴趣区(ROIs)。初步结果表明, 与对侧解剖匹配的 NAWM-ROIs 相比, cBHs 旁 NAWM 的 PSR 和 V_{ax} 有显著差异, 各组织类型内 PSR 和 V_{ax} 值之间无显著相关性。这证实了磁共振成像指标捕捉局灶性 MS 病变后顺行和逆行变性的能力。然而, 在每个组织亚型中, PSR 和 V_{ax} 没有相关性。在边界区和 NAWM 中, 通常髓鞘丢失是继发于轴突变性的, 因此, 这两种改变之间的联系应该是可以预料的。与 NAWM 相比, cBHs 附近的 NAWM 具有不同的组成。靶向边界区可以作为临床试验中探索实验分子修复作用的结果指标。

DTI 是一种基于 MRI 的无创显示和表征神经束的方法。它可以显示脑白质通路的微观结构, 并分析与不同病理学相关的变化。Arthur 等探讨了 DTI 在前庭蜗神经(VN)和听觉通路中的可行性。研究了 14 名听力正常的健康志愿者。男性左侧 VN 的 FA 值明显低于女性, 男、女右侧 VN 无显著差异。尽管前庭蜗神经(VN)体积小, 位置复杂, 但我们仍能对其进行可视化 and 定性研究。此外, 还显示弓状束和半球间听觉通路。在正常听力受试者的左侧 VN 中发现 FA 存在显著的性别差异, 可能为不同听力损伤的研究提供新的见解。

(收稿日期: 2020-02-23)