

· 专题二:双清论坛“全维度数据与智能诊疗的前沿与挑战” ·

影像组学的临床应用

董 迪^{1†} 巩立鑫^{2†} 王 坤¹ 张 崇¹ 田 捷^{1,3*}

1. 中国科学院 分子影像重点实验室/中国科学院 自动化研究所,北京 100190
2. 东北大学 医学与生物信息工程学院,沈阳 110016
3. 北京航空航天大学 大数据精准医疗高精尖创新中心,北京 100191

[摘 要] 随着医学影像大数据的不断积累和人工智能技术的快速发展,出现了影像组学这一新的研究方向。影像组学将医学影像转化为可挖掘的数据,利用人工智能技术从影像数据中挖掘高通量的量化信息,可以提高影像辅助疾病诊疗的效果,已经成为医学影像研究领域的国际学术前沿热点。针对影像组学的临床应用,本文分别从辅助诊断、疗效评估和预后预测三个方面,详细描述影像组学在肿瘤等重大疾病中的应用案例。影像组学源于临床问题,利用临床数据,其结果又能回归指导临床应用,相信在精准医疗时代影像组学会有更广阔的应用前景。

[关键词] 影像组学;医学影像;智能医疗;临床应用

1 影像组学研究背景

在肿瘤等重大疾病的临床诊断过程中,医生通常借助 CT、核磁共振、超声等医学影像,基于肉眼对肿瘤等病灶进行定性诊断。然而,定性判断对医生个人经验的依赖性较强,可能会导致疾病的漏诊和误诊。目前,肿瘤诊断的金标准是病灶的活检或术后病理,但活检作为一种有创的检查方式,不仅使患者遭受极大的痛苦,且难以采集肿瘤的全方位信息;而术后病理比较滞后,无法指导术前诊疗,因此亟需一种精准的术前无创肿瘤诊断方法。

大数据的发展促成医学影像分析从传统的定性评估逐渐向定量分析发展。影像组学是人工智能(AI)与医学影像大数据结合的新技术,通过从包括影像、数字病理图像、基因等在内的海量数据中挖掘和量化肿瘤信息,将影像与基因和临床信息(分型、疗效和预后等)进行关联,是目前影像学领域的最受关注的研究前沿之一。



田捷 工学博士,北京航空航天大学教授,中国科学院自动化所研究员,国家杰出青年科学基金获得者,教育部长江学者。长期在光学多模分子影像、影像组学等领域开展研究工作。在包括 *Nature*、*Science* 子刊在内的 SCI 期刊上发表论文 300 余篇。以第一完成人获国家技术发明二等奖 2 项、国家科技进步二等奖 2 项、何梁何利基金科学与技术进步奖、全国创新争先奖状等。



董迪 工学博士,中国科学院自动化所副研究员,获国家自然科学基金优秀青年科学基金。中国科学院青年创新促进会会员,中国抗癌协会肿瘤人工智能专业委员会委员。长期从事肿瘤影像组学和医学影像大数据智能分析等方面的研究工作。近年来在医学领域主流 SCI 期刊 *Annals of Oncology*、*Clinical Cancer Research* 等发表论文 60 余篇。

2 影像组学的典型临床应用

最新国内外研究进展表明影像组学在医疗领域多个方面都具有潜在的应用价值,特别是在疾病的辅助诊断、疗效评估、预后预测等方面有一系列典型研究案例,如表 1 所示。下面本文将分别针对这些

收稿日期:2019-06-15;修回日期:2020-12-09

* 通信作者,Email: jie.tian@ia.ac.cn

† 共同第一作者

典型案例进行详细介绍。

2.1 将影像组学应用于辅助诊断

临床辅助诊断是影像组学应用最多的领域之一,尤其是在肿瘤良恶性的辅助判读和肿瘤的分期等方面。

结直肠癌是全球第三大常见癌症,并在癌症相关致死原因中排名第四。为减少术后复发和转移的可能,手术时为合并淋巴结转移的结直肠癌患者彻

底清扫所有受侵犯的淋巴结十分必要。但淋巴结的转移情况很难通过术前传统 CT 影像学诊断,也很难通过穿刺活检获得其转移信息;而手术时在不清楚淋巴结转移与否的情况下,清扫所有癌旁淋巴结则会引起不必要的副作用。因此,在术前如何准确判断淋巴结转移情况是临床中结直肠癌治疗的挑战性课题。针对术前难以判断结直肠癌淋巴结是否转移的问题,广东省人民医院回顾性收集和分析

表 1 影像组学临床应用的典型研究

临床应用	参考文献	临床问题	影像数据	模型性能
	[1]	结直肠癌淋巴结转移的术前预测	超过 500 例结直肠癌患者的 CT 影像	准确率比传统 CT 影像学评估提高了 14.8%
	[2]	乙肝患者肝纤维化的无创、精准分期	2 000 张乙肝患者的超声弹性图像	精度达到 97%~100%
	[3]	胃癌淋巴结转移预测	730 例胃癌患者的术前 CT 影像	C-index 达到 0.797(国内外验证)、0.822(国际外部验证)
辅助诊断	[4]	胃癌隐匿性腹膜转移的术前诊断	554 例术前 CT 诊断为腹膜转移阴性的患者的影像	4 个验证集上 AUC 均 0.92 以上
	[5]	产前 21—三体综合征的筛查	624 例回顾性超声影像	AUC=0.983(训练集)、0.979(验证集)
	[6]	致盲性视网膜疾病的诊断	超 20 万例光学相干断层扫描(OCT)图像	匹敌医生专家的水平(ACC=96.6%, SE=97.8%, SP=97.4%)
	[7]	转移性黑色素瘤患者假性进展的早期预测	112 例患者的正电子发射断层扫描(PET)/CT 影像数据	血液/影像组学联合模型表现最好(AUC=0.82)
	[8]	非小细胞肺癌患者 TKI 靶向治疗疗效预测	314 例非小细胞肺癌患者的治疗前 CT 影像	模型区分出的快进展组相比慢进展组,其无进展生存期获益减少 50%
疗效评估	[9]	术前结直肠癌新辅助治疗疗效评估	222 例进展期直肠癌患者的多模态 MRI 影像	对病理学完全缓解的预测 AUC 达到 0.976
	[10]	预测乳腺癌对新辅助化疗(NAC)的病理完全反应	302 例乳腺癌患者 NAC 前和 NAC 后的 MRI 影像	联合模型显著优于 NAC 前的模型(AUC:0.970 vs 0.553)
	[11]	单肝癌术后复发预测	167 例肝癌患者的 MRI 影像	影像与临床病理联合模型 C-index = 0.716
预后预测	[12]	晚期鼻咽癌患者治疗后无瘤生存的预测	707 例中晚期鼻咽癌患者的 PET/CT 影像	预测出的低危组的 5 年无瘤生存率明显高于高危组(87.6% vs 50.1%)
	[13]	患者治疗后的无进展生存期的预测	118 例晚期鼻咽癌患者的 MRI 影像	模型预测无进展生存期的准确度(>70%)提高 10%以上
	[14]	预测女性未来五年内罹患乳腺癌的可能性	39 571 例女性连续筛查的乳腺钼靶影像	使用传统危险因素和乳腺钼靶影像构建的联合模型 AUC=0.70

注:AUC 为受试者工作特性曲线下面积;SE 为敏感性;SP 为特异性;C-index 为一致性指数。

了 2007—2011 年间 500 余例进行结直肠癌手术的患者的 CT 图像和临床资料, 基于影像组学分析方法, 挖掘影像特征, 并联合临床病理信息, 构建了结直肠癌淋巴结转移术前预测的影像组学模型, 并验证了其性能^[1]。相比于传统的 CT 影像学评估方法, 该模型将术前预测淋巴结的准确率增加了 14.8%, 表明其能为术前判断淋巴结转移提供辅助作用, 具有重要的临床应用价值。

我国慢性乙肝患者占全球的一半以上, 慢性乙肝患者向肝硬化、肝癌逐步发展的病理学表现为肝纤维化。肝纤维化的精准分期为临床监察管理、治疗决策制定和预后评估等提供了重要依据。而目前, 临床上主要依赖于肝脏活组织穿刺检测的有创方法对肝纤维化进行分期, 不仅给患者带来明显的副作用, 且难以被重复利用, 无法实现对患者病情发展的长期动态监视。中国科学院分子影像重点实验室与中国人民解放军总医院、中山大学附属第三医院等多家医院合作, 回顾性收集和整理了慢性乙肝患者的约 2000 张超声弹性图像, 构建影像组学人工智能诊断模型, 诊断精度达 97% 以上, 平均高出常规超声弹性成像 15% 以上和血清学 30% 以上的诊断精度, 达到了有创肝脏活组织穿刺检测的诊断水平^[2]。

我国是胃癌高发国家, 新发和死亡病例约占全球的 50%。对于胃癌患者而言, 发生淋巴结转移是疾病恶化的标志之一, 术前诊断胃癌的淋巴结转移, 可以辅助医生进行手术方案的制定和患者预后情况的评估。影像科医生通常通过 CT 上观察到的淋巴结肿大来无创诊断淋巴结的转移, 但淋巴结的大小与淋巴结转移的情况并非绝对因果关系, 这给胃癌的术前诊疗带来了极大的挑战。针对这一具有挑战性的临床难题, 中国科学院分子影像重点实验室与广东省人民医院、北京大学肿瘤医院等多家医院合作, 入组了 730 例胃癌患者的术前 CT 影像和临床数据, 使用深度学习方法构建了预测胃癌淋巴结转移个数的智能模型^[3]。该模型在训练集上的 C-index 达到 0.821, 在国内和国外的外部验证集上的 C-index 分别达到了 0.797 和 0.822。另外, 模型显著优于通过 CT 影像的医生诊断和临床模型诊断, 使患者能从中获益。

发生远处转移是胃癌主要的致死原因之一, 而在发生远处转移的胃癌患者中, 超过一半为胃癌癌

近的腹膜转移。对于存在腹膜转移的胃癌患者而言, 目前在临床上已经无法根治, 美国国家综合癌症网络(NCCN)指南、中国临床肿瘤学会指南、欧洲临床肿瘤学会指南都不推荐对其实施手术。因此, 术前准确判断胃癌腹膜转移情况可有效地辅助制定治疗决策和避免不必要的手术。目前腹膜转移的术前无创诊断主要基于 CT 上可观察到的腹水、腹膜等征象, 但临床上存在很多无明显征象的隐匿性腹膜转移患者, 易被漏诊和接受不当的治疗方案。针对胃癌隐匿性腹膜转移的术前预测, 中国科学院分子影像重点实验室与北京大学肿瘤医院、郑州大学第一附属医院等多家医院合作, 入组了 554 例经术前 CT 诊断为阴性腹膜转移的患者的影像和临床数据, 使用智能方法建立胃癌隐匿性腹膜转移的术前预测模型^[4], 如图 1 所示。模型在 4 家医院的验证集上都取得了较好的预测结果, 均达到了 0.92 以上的 AUC, 表明模型能较高精度地识别出胃癌隐匿性腹膜转移患者, 减少漏诊病例。

21—三体综合征是最常见的染色体异常疾病, 但至今尚无普及性较高且有效的治疗方法。因此, 提高产前筛查及诊断水平对预防胎儿出生缺陷有重要意义。但目前常用的孕妇血清标志物检查、母血中游离细胞 DNA 分析等非侵入性方法对 21—三体胎儿的检出率较低。为提高产前 21—三体综合征的筛查准确率, 中国科学院分子影像重点实验室与首都医科大学北京妇产医院合作, 回顾性收集了 624 例产前检查的超声影像, 建立机器学习模型^[5]。结果表明, 模型在训练集和验证集中 AUC 分别为 0.983 和 0.979。将该模型与基于目前认可的 NT 指标和年龄的模型进行对比, 该模型在训练集和验证集中的 AUC 均有显著优势(训练集 0.983 vs 0.883; 验证集 0.979 vs 0.797), 体现了其稳定性。

在眼科疾病诊断中, 视网膜光学相干断层扫描(OCT)成像技术是最常用的视网膜疾病诊断技术之一。临床上, 医生肉眼观察 OCT, 主观性强, 易诊断错误, 耽误治疗后易造成病患不可逆的失明。因此, 精准、及时的诊断和治疗具有重要意义。针对以上临床问题, 来自广州医科大学附属广州市妇女儿童医疗中心的张康教授团队利用超 20 万例回顾性 OCT 视网膜图像数据, 建立并验证了基于深度神经网络的视网膜疾病及其转诊决策的预测诊断模型^[6]。结果显示, 该模型诊断视网膜疾病的总体准确率达到

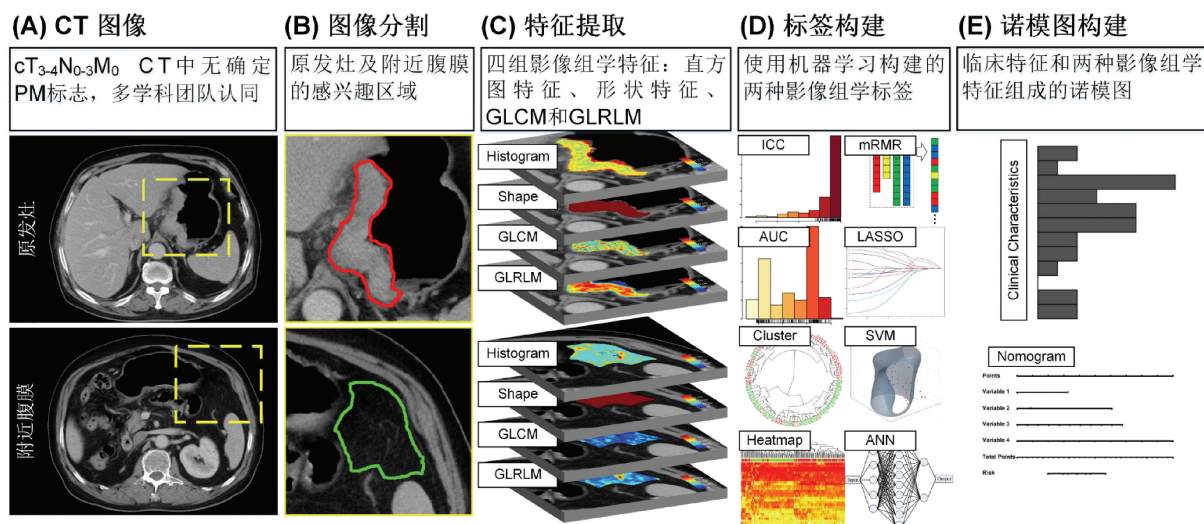


图1 影像组学预测胃癌腹膜转移模型构建流程^[4]

了96.6%，灵敏度为97.8%，特异性达97.4%，可以匹敌人类专家的诊断水平。

黑色素瘤是欧美较为常见的一种癌症，其发生率在近年不断升高。进展期黑色素瘤患者的预后在不同国家表现不一，但其早期诊断可显著降低死亡率。针对免疫检查点抑制治疗的转移性黑素瘤患者假性进展的早期预测问题，瑞士苏黎世大学医院的研究团队收集并纳入了112例患者的PET/CT影像数据，中位随访时间为22个月，并在基线、3个月和6个月共三个时间点上在CT和PET成像上分别分割716个转移灶^[7]。通过对影像模型、血液参数模型和二者结合模型的实验观察，基于PET/CT的非侵入性影像组学在包含/不包含体积相关特征时，AUC分别达到了0.79和0.78，而血液参数与影像组学的联合模型(不含体积相关特征)获得了最为满意的结果(AUC=0.82)，对于早期区分假进展有重要参考价值，可避免不当治疗或过晚治疗。

2.2 将影像组学应用于疗效评估

对具有EGFR突变阳性的四期非小细胞肺癌的治疗，最新的美国NCCN治疗指南建议首选酪氨酸激酶抑制剂(TKI)进行靶向治疗。但约一半患者在EGFR-TKI治疗后10个月左右会出现耐药性，如何提前区分出容易耐药的患者对于治疗方案的选择有重要的临床价值。但是，临床上现今仍然缺乏针对TKI靶向治疗疗效的有效预测方法和手段。针对这一难题，中国科学院分子影

像重点实验室与广东省人民医院、上海肺科医院等多家医院合作，回顾性收集了314例接受TKI治疗的四期EGFR突变型非小细胞肺癌患者的治疗前CT影像，使用影像组学方法对其进行深度挖掘和解析，构造影像组学模型^[8]。结果显示，模型成功地将患者区分为快进展组和慢进展组，根据生存分析统计提示，对应的快进展组比慢进展组的无进展生存期获益减少50%(4.5月 vs. 10.7月)，表明该模型能够在术前较为有效地评估患者的靶向治疗疗效，进而有助于辅助临床治疗方案决策的制定。

直肠癌的常规治疗手段为新辅助放化疗结合手术切除，其中约有15%~20%的接受新辅助放化疗的患者能够获得病理学完全缓解(pCR)，可以免于手术切除。但由于临床上现今尚无精确的pCR评估方法，使得这些患者接受了无意义的手术切除，遭受了额外的痛苦。针对术前结直肠癌新辅助治疗疗效评估的问题，中国科学院分子影像重点实验室与北京大学肿瘤医院合作，利用222例进展期直肠癌患者的多模态MRI数据，构建影像组学模型^[9]，对病理学完全缓解的预测达到0.976的AUC，高于已有分析方法，为直肠癌患者新辅助放化疗效果评估提供了新工具。

局部晚期乳腺癌的一线治疗方案是新辅助化疗(NAC)，目的是减小肿瘤大小，降低疾病发展水平，控制潜在的转移并提高保乳手术几率。pCR是NAC的理想结果，可以预测预后良好。为了评估乳

腺癌新辅助化疗的 pCR, 北京大学研究团队回顾性研究了 302 名乳腺癌患者 NAC 之前和之后的 MRI 影像数据, 并由此分别构建了 NAC 之前、之后及两者联合的深度学习网络^[10]。结果显示 NAC 之前模型 AUC=0.553, NAC 之后模型 AUC=0.968。而联合模型比 NAC 之前的模型有显著性提高(AUC=0.970, $p < 0.001$), 并且联合模型的阳性预测值大于 NAC 后模型的阳性预测值(100% vs 82.8%, $p = 0.033$)。证明了联合模型的效果优于仅使用 NAC 之前的数据, 并且比仅使用 NAC 后的数据还要好。

2.3 将影像组学应用于预后预测

肝细胞癌(HCC)是全球最常见的一种肝脏恶性肿瘤, 在东亚地区尤为流行。在各种治疗方案的选择中, 肝切除被认为是最佳方法之一。近年来, 肝细胞癌患者的术后长期生存率有所提高, 但仍具有复发的可能性。针对早期(≤ 2 年)/晚期(> 2 年)的单肝癌术后复发性预测, 韩国延世大学医学院的研究团队基于 167 例经手术切除并病理切除的患者 MRI 影像进行实验, 使用随机森林构建影像组学模型、临床病理模型以及两者的联合模型^[11]。结果显示, 对于肿瘤的术后复发性预测, 影像组学模型取得了与临床病理模型相当的预测效果(C-index 差异为 -0.021 , $p = 0.758$); 而影像特征与临床病理的联合模型表现出最佳的性能(C-index=0.716), 超过了临床病理学模型(C-index=0.696), 证明了影像组

学特征对术前预测 HCC 早期复发的有用性, 有助于改善其预后表现。

鼻咽癌是亚洲一种较为常见的恶性肿瘤, 全球约有 50% 的新发鼻咽癌患者在中国, 其发病率已经成为我国头颈恶性肿瘤之首。并且, 超过 75% 的患者在初次就诊时就已经是疾病晚期, 预后相对较差, 严重威胁我国人民生命健康。目前晚期鼻咽癌标准的治疗方法为诱导化疗结合同期放疗化疗进行的联合治疗。但既往研究表明, 诱导化疗在同期放化疗的基础上只对约 8% 的患者有效, 还有约 70% 的患者并不能从诱导化疗中获益, 被过度治疗, 遭受其毒副反应和经济压力。而临床上目前缺乏能有效预测预后的分子标志物, 导致预后相对较好的患者被过度治疗、预后相对较差的患者没有接受更强化的治疗方案。针对上述临床问题, 中国科学院分子影像重点实验室与中山大学肿瘤医院合作, 基于 707 例中晚期鼻咽癌患者的 PET/CT 影像、临床及随访信息, 构建并验证了预测患者治疗后无进展生存的影像组学模型^[12], 如图 2 所示。模型在测试集上获得了显著的预后预测性能(C-index=0.722), 优于临床模型(C-index=0.671)。预测出的低危组病人的 5 年无瘤生存率明显高于高危组病人(87.6% vs 50.1%)。此外, 研究报道诱导化疗可以使高危组患者获益, 而对低危组则效果不佳, 表明构建的模型对临床上中晚期鼻咽癌患者的治疗决策的制定有潜在的辅助价值。

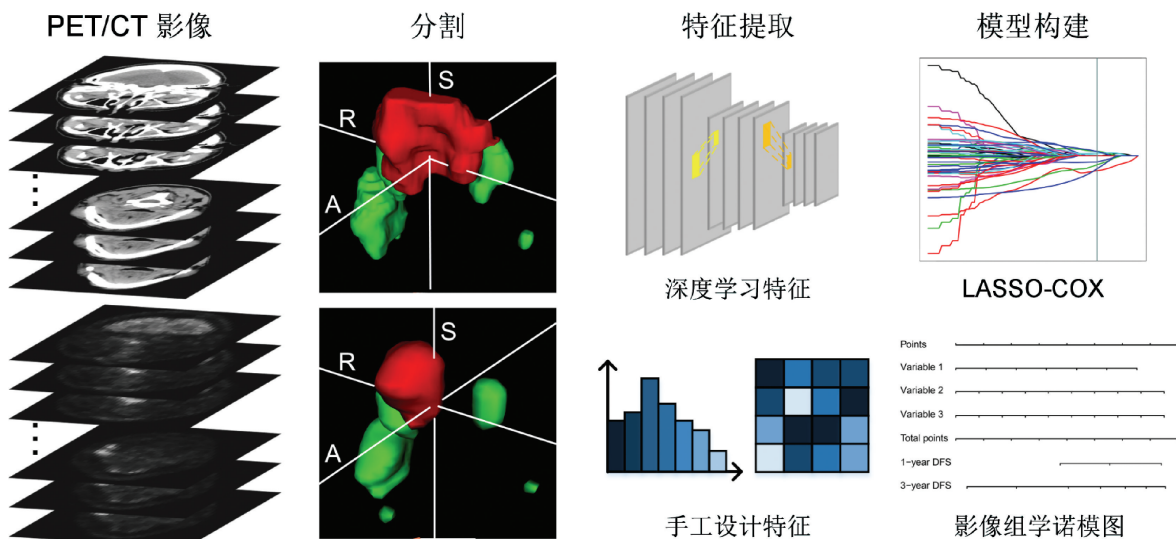


图 2 构建影像组学模型预测鼻咽癌患者治疗后的无进展生存期^[12]

针对鼻咽癌,中国科学院分子影像重点实验室还与广东省人民医院合作,利用118例晚期鼻咽癌患者的MRI影像、临床、随访信息,构建针对晚期鼻咽癌患者治疗后的无进展生存期的影像组学模型预测^[13]。结果显示,所提出的组学模型的预测精度可以达到70%以上,相比常规临床指标的预测精度提高了10%以上,表明该模型对晚期鼻咽癌患者的临床决策的制定和个体化治疗的推进有重要的促进作用。

近年来随着女性乳腺癌的发病率逐渐上升,早期发现和早期治疗已成为乳腺癌的研究热点。对此,麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室回顾性研究了从2009年1月1日至2012年12月31日期间39571名妇女的88994张连续筛查的乳房钼靶影像,设计了一个深度学习模型^[14],可以通过分析乳房钼靶影像,找出人眼不易察觉的特征和规律,从而预测女性是否可能在未来五年内罹患乳腺癌。结果表明,使用传统危险因素和乳房钼靶影像共同构建的联合模型在验证集上AUC达到0.70,高于两者分别单独建立的模型(传统危险因素模型:AUC=0.67;钼靶影像模型:AUC=0.68)。

3 总 结

影像组学是深度医工交叉的典型研究方向,其源于临床,具有十分广阔的临床应用前景。通过前面的应用案例介绍可见,影像组学在疾病的辅助诊断、疗效评估和预后预测三个方面已经有了初步的应用效果。目前国内多个团队在影像组学方面已经开展了深入的研究工作,与国外基本处于并跑的水平,鉴于我国在医疗大数据积累上的优势,未来我国有望在影像组学方面逐步形成自己的优势力量。

影像组学的研究虽然取得了系列突破性进展,但其具体的落地实施仍面临诸多挑战,如何获取高质量及标准化的影像数据是其中的突出问题之一,未来需要推动多中心之间的数据共享和联合,同时需要实施更多的临床前瞻性研究对模型的鲁棒性进行验证。

总之,毋庸置疑的是,善用影像组学技术的医生们未来将能更好地迎接和适应智能医疗时代,而患者也将从影像组学技术中获益,获得精准的个性化诊疗方案。

参 考 文 献

- [1] Huang YQ, Liang CH, He L, et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 2016, 34(18): 2157—2164.
- [2] Wang K, Lu X, Zhou H, et al. Deep learning radiomics of shear wave elastography significantly improved diagnostic performance for assessing liver fibrosis in chronic hepatitis B: a prospective multicentre study. *Gut*, 2019, 68(4): 729—741.
- [3] Dong D, Fang MJ, Tang L, et al. Deep learning radiomic nomogram can predict the number of lymph node metastasis in locally advanced gastric cancer: an international multicenter study. *Annals of Oncology*, 2020, 31(7): 912—920.
- [4] Dong D, Tang L, Li ZY, et al. Development and validation of an individualized nomogram to identify occult peritoneal metastasis in patients with advanced gastric cancer. *Annals of Oncology*, 2019, 30(3): 431—438.
- [5] Sun Y, Zhang L, Dong D, et al. First-trimester screening for trisomy 21 via an individualized nomogram. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 2020.
- [6] Kermany DS, Goldbaum M, Cai W, et al. Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. *Cell*, 2018, 172(5): 1122—1131.
- [7] Basler L, Gabrys HS, Hogan SA, et al. Radiomics, tumor volume and blood biomarkers for early prediction of pseudoprogression in metastatic melanoma patients treated with immune checkpoint inhibition. *Clinical Cancer Research*, 2020, 26(16): 4414—4425.
- [8] Song J, Shi J, Dong D, et al. A new approach to predict progression-free survival in stage IV EGFR-mutant NSCLC patients with EGFR-TKI therapy. *Clinical Cancer Research*, 2018, 24(15): 3583—3592.
- [9] Liu ZY, Zhang XY, Shi YJ, et al. Radiomics analysis for evaluation of pathological complete response to neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer. *Clinical Cancer Research*, 2017, 23(23): 7253—7262.
- [10] Qu YH, Zhu HT, Cao K, et al. Prediction of pathological complete response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer using a deep learning (DL) method. *Thoracic Cancer*, 2020, 11(3): 651—658.

- [11] Kim S, Shin J, Kim DY, et al. Radiomics on gadoteric acid-enhanced magnetic resonance imaging for prediction of postoperative early and late recurrence of single hepatocellular carcinoma. *Clinical Cancer Research*, 2019, 25(13): 3847—3855.
- [12] Peng H, Dong D, Fang M, et al. Prognostic value of deep learning PET/CT-based radiomics: potential role for future individual induction chemotherapy in advanced nasopharyngeal carcinoma. *Clinical Cancer Research*, 2019, 25(14): 4271—4279.
- [13] Zhang B, Tian J, Dong D, et al. Radiomics features of multiparametric MRI as novel prognostic factors in advanced nasopharyngeal carcinoma. *Clinical Cancer Research*, 2017, 23(15): 4259—4269.
- [14] Yala A, Lehman C, Schuster T, et al. A deep learning mammography-based model for improved breast cancer risk prediction. *Radiology*, 2019, 292(1): 60—66.

Clinical Applications of Radiomics

Dong Di^{1†} Gong Lixin^{2†} Wang Kun¹ Zhang Cong¹ Tian Jie^{1,3*}

1. CAS Key Laboratory of Molecular Imaging, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190
2. College of Medicine and Biological Information Engineering School, Northeastern University, Shenyang 110016
3. Beijing Advanced Innovation Center for Big Data-Based Precision Medicine, School of Medicine and Engineering, Beihang University, Beijing 100191

Abstract With the continuous accumulation of medical imaging data and the rapid development of artificial intelligence, radiomics technology has emerged. Radiomics converts medical images into minable data, uses artificial intelligence to extract high-throughput quantitative features from the images, and improves the imaging-based diagnosis and treatment of diseases. Radiomics has become a focus of international research. This article describes the typical applications of radiomics, including auxiliary diagnosis, treatment outcome evaluation, and prognostic prediction. Radiomics focuses on clinical issue and uses clinical data to assist diagnosis and treatment. We believe that radiomics has a broad application prospect in the era of precision medicine.

Keywords radiomics; medical image; intelligent healthcare; clinical application

(责任编辑 姜钧译 仲斌演)

* Corresponding author, Email: jie.tian@ia.ac.cn

† Contributed equally as co-first authors