

影像组学在泡性包虫病方面的应用与进展

丹增耶昂

青海大学附属医院 青海 西宁 810000

【摘要】：由多房棘球绦虫幼虫引起的致命性人畜共患寄生虫病肝泡性包虫病（Hepatic Alveolar Echinococcosis, HAE），由于浸润性生长方式和转移潜能，常被形象地称为“虫癌”。传统影像学技术在评估 HAE 生物学行为方面时有较大局限性，而影像组学通过提取医学图像中的高通量定量特征，为 HAE 的精确诊断和治疗开辟了新的方向。本文系统整合了影像组学在 HAE 生物学活性评估、远处转移预测（肺、脑）、HAE 的鉴别诊断、术后并发症及淋巴结状态预测判断等方面的研究进展。很多研究显示，影像组模型基于 CT、MRI 和超声，结合多模态影像和病理特征，可有效预测 HAE 病灶边缘微血管侵犯、生物学活性和远处转移风险，并且预测效能会进一步提高。所以本文总结了影像组学在 HAE 生物学活性评估、转移预测及治疗决策中的研究进展，也客观讨论了其应用现状与挑战，旨在为 HAE 个体化精准诊疗提供参考。

【关键词】：肝泡性包虫病；影像组学；应用与进展

DOI:10.12417/2811-051X.26.06.003

1 前言

肝泡性包虫病一种主要流行于我国青藏高原、中亚等牧区的多房棘球幼虫所致的严重寄生虫病^[1,2]。中国是全球 HAE 疾病负担最重的国家^[3]。HAE 通过外生芽孢的方式浸润性增殖，可向远处器官转移，如肺、脑、脾、肾等，其生物学行为与恶性肿瘤极为相似，故临床上又称“寄生虫癌”^[4]。死亡率高的 HAE 患者通常均是没有做任何临床治疗或临床治疗方法不当所致^[5]。

临床指南把根治性肝切除与长期抗药物治疗都明确为 HAE 的标准化处置路径^[6]。但我们知道，初诊时分期偏晚的现象在 HAE 中十分多见，数据显示仅约 35% 的病例在确诊时尚有外科根治指征^[7]。所以离体肝切除联合自体肝移植术是这类患者最后的治疗选择之一，同时也需要精准评估病灶血管侵犯程度及生物学活性^[8,9]。

虽然新兴检测手段不断涌现，但必要的影像学检查在 HAE 的初筛及分期判定中仍是不可替代的^[10]。WHO 提出的 PNM 分期系统为 HAE 的标准化评估已经是成熟可靠的框架^[11,12]。不过，常规影像学技术如 PET-CT 虽能评价病灶代谢活性，但它价格昂贵、有辐射暴露风险，所以在牧区难以普及^[13]。

影像组学能用自动化算法从标准影像中客观批量提取许多量化指标，可以成为解析疾病潜在的病理生理机制的工具^[14]。近年来，影像组学结合机器学习算法在 HAE 的辅助诊断、生物学活性评估、转移预测及预后判断等方面都有了很大进步^[15]。所以本文也对影像组学在 HAE 应用中的现状、瓶颈及趋势予以做了系统梳理。

2 影像组学在 HAE 生物学活性评估中的应用

HAE 病灶的生物学活性对治疗方案和判断预后都有决定意义，它微血管密度与 HAE 的生物学活性也十分相关^[16,17]。

2.1 MRI 影像组学在生物学活性评估中的应用

Ren 等以 PET-CT 确诊结果作为参照标准，采用逻辑回归、多层感知器和支持向量机三种机器学习算法构建预测模型。其中多层感知器模型表现最佳，其结果与 PET-CT 相近。并且小波变换的一阶统计特征（wavelet-HLH_firstorder_Maximum）可合理地用作判断 HAE 活性的影像生物标志物^[18]。另外有研究同时构建了三者融合的集成模型，明确了该方法能很好地预测 HAE 病灶微血管浸润^[19]。Miao 等对基于 T2WI 影像组学联合机器学习算法评估 HAE 生物学活性方面做了很好的补充，也得出多层感知器模型表现最优的明确结论^[20]。

2.2 CT 影像组学与边缘带量化研究

有文献应用自动扩展技术提取病灶周围体积，第一次定义了 HAE“边缘带”范围，自然地引出联合内部与边缘区域影像特征可改善活性预测效能的结论^[21]。Hou 等把临床指标与影像组学数据混合分析，直接构建出一套列线图预测工具^[22]。这些说明基于常规 CT 或 MRI 的影像组学模型能够无创、准确可靠地评估 HAE 的生物学活性，为临床治疗方案提供客观依据^[23]。

3 影像组学在 HAE 远处转移预测中的应用

HAE 的远处转移往往代表着患者预后差，所以早期预测 HAE 的远处转移风险对个体化治疗方案制定、改善患者预后具有直接的重大意义^[24]。

3.1 肺转移预测

张雪倩等对表观扩散系数在预测 HAE 肺转移中的价值做了更深入地分析^[25]，发现病灶边缘带的 ADC 值能够有效预测 HAE 肺转移，该处水分子扩散受限比其他部位更加突出。Long 等也基于 CT 和 MRI 影像特征也极好地补充了 HAE 肺转移的预测模型^[26]。

3.2 脑转移预测

脑泡性包虫病虽仅占 HAE 肝外转移的 1% 左右，但致死率

和复发率高, 治疗困难^[27]。Tian 等不是单单用影像图像数据, 而是将平扫、增强 CT 特征连同临床数据一并纳入, 据此建立了脑转移预测列线图^[28]。

3.3 淋巴结转移预测

淋巴结转移可以说是 HAE 局部复发的主要诱因; 棘手的是, 术前影像学对此的敏感度并不理想, 漏检情况时有发生^[29]。Zhou 等利用 CT 影像组学构建了模型, 专门用来预判淋巴结转移^[30], 并且进一步开发了基于 Transformer 架构的多模态融合模型预测 HAE 淋巴结转移^[31]。研究还通过 t-SNE 可视化发现, 3D 深度学习特征在区分淋巴结状态方面表现最佳, 提示三维空间信息对淋巴结微小病变的捕捉更为敏感^[31]。

Tian 等结合了 512 例 HAE 患者的手术经验, 凝练总结了肝门部淋巴结转移的诊断与治疗原则^[32], 阐明了淋巴结尺寸、钙化表现及强化模式都与肝门部转移风险独立相关。并且提示 CT 漏掉了近六成转移灶, 反倒把 19% 的正常淋巴结误判为转移, 说明光凭借形态学评估价值有限。

4 影像组学在 HAE 鉴别诊断中的应用

实际工作中, HAE 影像常需与原发肝癌、肝转移瘤还有囊型包虫病加以区分。

4.1 脑泡性包虫病与脑转移瘤鉴别

Yimit 等采用影像组学联合机器学习方法鉴别脑泡状包虫病与脑转移瘤^[33]。研究回顾性纳入 130 例 (CAE 30, BM 100) 患者的 T1WI 增强图像, 提取 1584 个影像特征; 经筛选后, 分别用 SVM、逻辑回归、LDA、KNN 及朴素贝叶斯五种算法搭建鉴别模型。结果显示, 五个模型效果都较好, 交叉验证也证实了模型效能比较稳健、更易泛化。Tian 等基于扩散峰度成像和三维动脉自旋标记功能 MRI 技术构建了鉴别 CAE 与 BM 的多参数列线图模型, 发现病灶实质区的标准化 Dmean 和 CBF 值, 以及水肿区的标准化 Kmean 和 Dmean 值是鉴别 CAE 与 BM 的独立因素^[34]。

4.2 超声影像组学在肝泡性包虫病鉴别中的应用

侯娟等借助超声影像组学对 HAE 与原发肝癌做了清楚地鉴别^[35]: 先从二维声像图中提取 1688 个影像特征, 选出 7 个最优变量, 再用 7 种机器学习算法建立分别建立鉴别模型。

邱加俊等学者尝试用超声影像组学来区分囊型与泡型肝包虫病^[36], 其数据集涵盖 4976 例患者的 23452 张超声图像, 发现随机森林模型表现最为突出。

5 影像组学在 HAE 治疗决策与预后预测中的应用

影像组学对 HAE 的诊断与分期有很大帮助, 还可适用于治疗决策和预后预测^[37]。

5.1 手术决策支持

有团队借助机器学习筛选 HAE 手术决策的关键变量, 并

对此展开可解释性分析。整合递归特征消除、最小冗余最大相关与 LASSO 回归三种方法的筛选结果, 提炼出 10 个关键特征。在 11 种算法的横向比较中, 经贝叶斯优化的 XGBoost 脱颖而出, 其综合表现最佳。上述结果为 HAE 手术决策提供了客观明确的数据支撑; 值得注意的是, SHAP 分析进一步对模型决策路径做了极好的释疑, 提高了该方法的透明度与临床可解释性。

5.2 术后并发症预测

为预判 HAE 术后并发症, 张源团队依托门静脉期 CT 影像组学模型开展了相关探索^[38]。得出以下的结论: 支持向量机模型预测术后并发症的整体表现最优, 决策曲线分析证实其临床净收益最高^[38]。该研究很好地将影像组学的应用从预测肿瘤生物学行为扩展到预测术后并发症, 为术前风险评估和围手术期管理提供了新工具。

夏文文基于增强 CT 影像组学对 HAE 术前肝功能作了严谨、有层次的分析, 进一步讨论了影像组学在预测肝储备功能中的价值^[39], 把影像组学用于评估 HAE 患者肝脏背景功能而非病灶本身特性的创新性尝试, 更加体现了影像组学可以在术前全面评估中的潜力。

5.3 预后预测与随访管理

为预判 HAE 远处转移风险, 丹增耶昂等考察了表观扩散系数的临床应用价值^[40]。严谨地论证了边缘带 ADC 值被证实对转移风险具有提示作用, 并且联合指标显示出最佳的预测性能。这一发现为 HAE 患者的预后判断和随访管理有直接的量化意义。

6 挑战与展望

尽管影像组学在 HAE 领域已有十分扎实、有层次的进展, 但目前仍存在若干重要而明确的问题。第一是建立标准化的图像采集规范、特征提取流程和模型验证方法, 是影像组学临床转化的前提。第二 HAE 作为罕见病, 单中心研究很难以获得大样本数据, 限制了构建的模型的泛化能力。模型稳健性及外推性的充分验证, 非常需要依托多中心、大样本的前瞻性研究才能实现。第三, 以深度学习为代表的黑箱模型虽在预测准确度上表现抢眼, 但它“黑箱”的特性导致的可解释性缺失, 影响了临床层面的可接受度。幸运的是, SHAP 等可视化分析手段的应用已很好地解决了这一问题, 使模型内部机制变得更透明。第四, 边缘带是 HAE 生物学活性的核心区域, 但目前精准量化边缘带的病理生理状态仍是一个挑战。因此, 未来若能整合 CT、MRI、超声等多模态影像数据, 联合临床指标、实验室检查和病理信息, 构建多模态融合模型, 有望进一步提升预测效能。

随着深度学习技术近年来迅猛发展, 因此把先进的 AI 算法与临床实际需求自然、合理地结合起来, 开发易于推广应用

的辅助诊断与治疗工具，正是今后研究的重要方向。

7 结论

既往影像组学研究基于 CT、MRI 及超声的影像组学模型在 HAE 生物学活性评估、远处转移预测、淋巴结状态判断、

鉴别诊断及术后并发症预测等方面展现出良好效能。联合病灶内部及边缘带特征、整合多模态影像数据、融合临床指标可进一步提升模型预测性能。未来需开展多中心、大样本前瞻性研究，推动影像组学模型的标准化和临床转化，最终改善 HAE 患者的长期预后。

参考文献:

- [1] Wen H, Vuitton L, Tuxun T, et al. Echinococcosis: Advances in the 21st Century[J]. Clin Microbiol Rev, 2019, 32(2): e00075-18.
- [2] Kern P, Menezes da Silva A, Akhan O, et al. The Echinococcoses: Diagnosis, Clinical Management and Burden of Disease[J]. Adv Parasitol, 2017, 96: 259-369.
- [3] Deplazes P, Rinaldi L, Alvarez Rojas CA, et al. Global distribution of alveolar and cystic echinococcosis[J]. Adv Parasitol, 2017, 95: 315-493.
- [4] McManus DP, Gray DJ, Zhang W, et al. Diagnosis, treatment, and management of echinococcosis[J]. BMJ, 2012, 344: e3866.
- [5] Torgerson PR, Schweiger A, Deplazes P, et al. Alveolar echinococcosis: from a deadly disease to a well-controlled infection. Relative survival and economic analysis in Switzerland over the last 35 years[J]. J Hepatol, 2008, 49(1): 72-77.
- [6] Brunetti E, Kern P, Vuitton DA. Expert consensus for the diagnosis and treatment of cystic and alveolar echinococcosis in humans[J]. Acta Trop, 2010, 114(1): 1-16.
- [7] Kamiyama T. Recent advances in surgical strategies for alveolar echinococcosis of the liver[J]. Surg Today, 2020, 50(11): 1360-1367.
- [8] Aji T, Dong JH, Shao YM, et al. Ex vivo liver resection and autotransplantation as alternative to allotransplantation for end-stage hepatic alveolar echinococcosis[J]. J Hepatol, 2018, 69(5): 1037-1046.
- [9] Yang X, Qiu Y, Huang B, et al. Novel techniques and preliminary results of ex vivo liver resection and autotransplantation for end-stage hepatic alveolar echinococcosis: A study of 31 cases[J]. Am J Transplant, 2018, 18(7): 1668-1679.
- [10] Liu W, Delabrousse E, Blagosklonov O, et al. Innovation in hepatic alveolar echinococcosis imaging: best use of old tools, and necessary evaluation of new ones[J]. Parasite, 2014, 21: 74.
- [11] Graeter T, Bao HH, Shi R, et al. Evaluation of intrahepatic manifestation and distant extrahepatic disease in alveolar echinococcosis[J]. World J Gastroenterol, 2020, 26(29): 4302-4315.
- [12] Bulakci M, Kartal MG, Yilmaz S, et al. Multimodality imaging in diagnosis and management of alveolar echinococcosis: an update[J]. Diagn Interv Radiol, 2016, 22(3): 247-256.
- [13] Azizi A, Blagosklonov O, Lounis A, et al. Alveolar echinococcosis: correlation between hepatic MRI findings and FDG-PET/CT metabolic activity[J]. Abdom Imaging, 2015, 40(1): 56-63.
- [14] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. Eur J Cancer, 2012, 48(4): 441-446.
- [15] 许春晖, 刘文亚. 影像组学在肝泡型包虫病中的研究进展[J]. 医学研究杂志, 2025, 54(4): 168-171.
- [16] 谢卫东, 王静, 刘文亚, 等. 肝泡状棘球蚴病灶边缘移行带 ADC 值与纤维化面积相关性[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2012, 26(5): 467-469.
- [17] Reuter S, Schirmer H, Kratzer W, et al. Pericystic metabolic activity in alveolar echinococcosis: assessment and follow-up by positron emission tomography[J]. Clin Infect Dis, 1999, 29(5): 1157-1163.
- [18] Ren B, Wang J, Miao Z, et al. Hepatic Alveolar Echinococcosis: Predictive Biological Activity Based on Radiomics of MRI[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021: 6681092.
- [19] 樊霞, 王健, 夏雨薇, 等. 基于 MRI 影像组学预测肝泡型包虫病边缘微血管侵犯[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12): 1849-1853.

- [20] Miao Z, Ren B, Xia Y, et al. Magnetic resonance imaging-based radiomics analysis for the assessment of hepatic alveolar echinococcosis biological activity[J]. *Radiol Infect Dis*, 2022, 9(2): 37-46.
- [21] Zhang S, Hou J, Xia W, et al. Value of intralesional and perilesional radiomics for predicting the bioactivity of hepatic alveolar echinococcosis[J]. *Front Oncol*, 2024, 14: 1389177.
- [22] Hou J, Zhang S, Li S, et al. CT-based radiomics models using intralesional and different perilesional signatures in predicting the microvascular density of hepatic alveolar echinococcosis[J]. *BMC Medical Imaging*, 2025, 25: 84.
- [23] Graeter T, Shi R, Bao H, et al. Intrahepatic manifestation and distant extrahepatic disease in alveolar echinococcosis: a multicenter cohort study[J]. *Acta Radiol*, 2021, 62(8): 997-1005.
- [24] Eroglu A, Ogul H, Aydin Y. CT imaging findings of pulmonary alveolar echinococcosis[J]. *Curr Med Imaging*, 2023, 19(2): 97-102.
- [25] 张雪倩, 鲍海华, 丹增耶昂, 等. 表观扩散系数在预测肝泡状棘球蚴病肺转移的临床价值[J]. *临床放射学杂志*, 2025.
- [26] Long C, Danzeng Y, Tian P, et al. The value of nomogram analysis in predicting pulmonary metastasis in hepatic alveolar echinococcosis[J]. *Sci Rep*, 2025, 15: 16685.
- [27] Li S, Chen J, He Y, et al. Clinical features, radiological characteristics, and outcomes of patients with intracranial alveolar echinococcosis: a case series from Tibetan areas of Sichuan Province, China[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 537565.
- [28] Tian P, Long C, Men M, et al. The value of nomogram analysis in prediction of cerebral spread of hepatic alveolar echinococcosis[J]. *Acta Trop*, 2024, 260: 107429.
- [29] Aimaitijiang Y, Jiang TM, Shao YM, et al. Fifty-five cases of hepatic alveolar echinococcosis combined with lymph node metastasis: A retrospective study[J]. *World J Gastroenterol*, 2024, 30(23): 2981-2990.
- [30] Zhou Y, Feng P, Tian F, et al. A CT-based radiomics model for predicting lymph node metastasis in hepatic alveolar echinococcosis patients to support lymph node dissection[J]. *Eur J Med Res*, 2024, 29: 409.
- [31] Zhou Y, Tian F, Zhao M, et al. Transformer-based multimodal fusion model predicts lymph node metastasis in hepatic alveolar echinococcosis patients: A multicenter study[J]. *Int J Infect Dis*, 2026, 164: 108409.
- [32] Tian F, Zhou Y, Wang J, et al. Diagnosis and treatment of hepatic hilar lymph node metastasis in hepatic alveolar echinococcosis patients: a real-world single-center experience[J]. *Front Oncol*, 2026, 15: 1708936.
- [33] Yimit Y, Yasin P, Tursun A, et al. Differentiation between cerebral alveolar echinococcosis and brain metastases with radiomics combined machine learning approach[J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28: 577.
- [34] Tian P, Long C, Li S, et al. The value of nomogram based on MRI functional imaging in differentiating cerebral alveolar echinococcosis from brain metastases[J]. *Eur J Med Res*, 2024, 29: 499.
- [35] 侯娟, 等. 超声影像组学结合机器学习模型鉴别肝泡型包虫病与原发肝癌[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2024, 21(7): 423-426.
- [36] 邱加俊, 等. 超声影像组学在肝包虫病分型中的应用研究[J]. *临床超声医学杂志*, 2024, 26(5): 353-359.
- [37] Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data[J]. *Radiology*, 2016, 278(2): 563-577.
- [38] 张源, 侯娟, 朱玉才, 等. 基于机器学习门静脉期 CT 影像组学模型预测肝泡型棘球蚴病术后并发症[J]. *中国医学影像技术*, 2025, 41(9): 1535-1539.
- [39] 夏文文. 基于增强 CT 影像组学评估泡型肝包虫病术前肝功能的应用研究[D]. 新疆医科大学, 2023.
- [40] 丹增耶昂, 鲍海华, 张雪倩, 等. 表观扩散系数在预测肝泡状棘球蚴病发生远处转移的临床价值[J]. *磁共振成像*, 2024, 15(11): 90-95.