

论 著

宝石能谱CT多参数成像对肝癌病理分化程度及淋巴结转移的诊断价值*

徐园园 冯坤鹏* 李依明

郑吟诗 李玉舟

商丘市第一人民医院CT室 (河南 商丘 476100)

【摘要】目的 探讨宝石能谱CT多参数成像对肝癌病理分化程度及淋巴结转移的诊断价值。**方法** 选取2023年1月至2024年4月在本院确诊的76例肝癌患者,所有受试者均接受宝石能谱CT检查,记录相关参数[能谱曲线斜率、碘含量及水含量]。根据肿瘤的病理结果将76例患者分为高分化(n=28)、中分化(n=30)、低分化(n=18)三组,比较三组能谱CT参数,分析其相关性。根据患者淋巴结转移情况将其分为转移组(n=21)和非转移组(n=55),比较两组能谱CT参数。ROC分析能谱CT参数对淋巴结转移的诊断价值。**结果** 不同病理分化程度下患者水含量比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。低分化组患者的能谱曲线斜率和碘含量水平均较中分化组和高分化组高,且中分化组水平较高分化组水平高,比较差异有统计学意义($P<0.05$)。相关性分析结果显示,能谱曲线斜率和碘含量水平和病理分化程度的相关系数分别为 $r=0.352$ 和 0.388 ($P<0.05$),表明能谱曲线斜率和碘含量水平和病理分化程度呈正相关。转移组和非转移组患者的动脉期标准化碘浓度(NIC)和门静脉期NIC比较,差异无统计学意义($P>0.05$),转移组患者动脉期LNR和门静脉期碘浓度比(LNR)较非转移组低,差异有统计学意义($P<0.05$)。ROC分析结果显示:动脉期LNR和门静脉期LNR诊断肝癌患者淋巴结转移得到ROC下曲面积为 0.827 和 0.685 ,具有较好诊断价值。**结论** 宝石能谱CT多参数成像在评估肝癌病理分化程度和淋巴结转移方面具有较好临床价值。

【关键词】 宝石能谱CT; 肝癌; 病理分化程度; 淋巴结转移; 诊断

【中图分类号】 R575

【文献标识码】 A

【基金项目】 2022年商丘市第一人民医院院级课题(20220214)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.030

Diagnostic Value of Gemstone Spectral CT Multi-parameter Imaging in Pathological Differentiation Degree and Lymph Node Metastasis In Liver Cancer*

XU Yuan-yuan, FENG Kun-peng*, LI Yi-ming, ZHENG Yin-shi, LI Yu-zhou.

CT Room, Shangqiu First People's Hospital, Shangqiu 476100, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the diagnostic value of gemstone spectral CT multi-parameter imaging in pathological differentiation degree and lymph node metastasis in liver cancer. **Methods** A total of 76 patients with liver cancer confirmed in the hospital were enrolled between January 2023 and April 2024. All underwent gemstone spectral CT examination to record relevant parameters (spectral curve slope, iodine content, water content). According to pathological results of tumors, patients were divided into high differentiation group (n=28), moderate differentiation group (n=30) and low differentiation group (n=18). The spectral CT parameters in the three groups were compared, and their correlation was analyzed. According to presence or absence of lymph node metastasis, patients were divided into metastasis group (n=21) and non-metastasis group (n=55), and spectral CT parameters in the two groups were compared. The diagnostic value of spectral CT parameters in lymph node metastasis was analyzed by ROC curves. **Results** There was no significant difference in water content among patients with different pathological differentiation degree ($P>0.05$). The spectral curve slope and iodine content were gradually increased in high differentiation group, moderate differentiation group and low differentiation group ($P<0.05$). The results of correlation analysis showed that spectral curve slope and iodine content were positively correlated with pathological differentiation degree ($r=0.352, 0.388, P<0.05$). There was no significant difference in normalized iodine concentration (NIC) during arterial and portal vein phases between metastasis group and non-metastasis group ($P>0.05$). The lesion-normal ratio (LNR) values during arterial and portal vein phases in metastasis group were lower than those in non-metastasis group ($P<0.05$). The results of ROC curves analysis showed that area under ROC curve (AUC) values of LNR during arterial and portal vein phases in the diagnosis of lymph node metastasis were 0.827 and 0.685 , showing good diagnostic value. **Conclusion** Gemstone spectral CT multi-parameter imaging has good clinical value in evaluating pathological differentiation degree and lymph node metastasis in liver cancer.

Keywords: Gemstone Spectral CT; Liver Cancer; Pathological Differentiation Degree; Lymph Node Metastasis; Diagnosis

肝细胞癌是全球范围内最常见的恶性肿瘤之一,发病率和死亡率持续上升,特别是在肝炎流行区域^[1]。肝癌的病理分化程度和是否伴随淋巴结转移对于患者的预后具有重要影响^[2]。病理分化程度低的肝癌更具侵袭性,且较易发生淋巴结转移,使得疾病的治疗难度增加,预后较差^[3]。如何准确评估肝癌的病理分化程度及淋巴结转移,已成为临床诊断和治疗中亟待解决的问题。近年来,随着影像技术的不断发展,CT多参数成像在肝癌诊断中的应用备受关注^[4]。宝石能谱CT多参数成像能够通过不同的成像参数,提供丰富的组织特征信息,为肝癌的病理分化程度评估及淋巴结转移检测提供了新的思路^[5-6]。然而,目前关于宝石能谱CT在肝癌病理分化和淋巴结转移诊断价值的研究仍然有限。本文拟探讨宝石能谱CT多参数成像在肝癌诊断中的应用价值,以期为提高肝癌早期诊断及精准治疗提供参考依据,研究内容如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2023年1月至2024年4月在本院确诊的76例肝癌患者。

纳入标准:符合肝癌诊断标准^[7],且患者病理确诊分化程度明确;所有患者均接受宝石能谱CT检查,并具备完整的影像资料。排除标准:患者合并其他恶性肿瘤;患者合并严重的肝功能不全或肝硬化失代偿期;患者对碘造影剂过敏,无法进行增强CT扫描;患者影像数据、病理数据或临床资料缺失,无法进行完整分析。本研究符合《赫尔辛基宣言》相关伦理准则和要求。76例肝癌患者中男34例,女42例,年龄为 (46.37 ± 4.61) 岁,病理分化程度:高28例、中30例,低18例,淋巴结转移21例,淋巴结未转移55例,肿瘤TNM分期:I期23例,II期31例,III期22例,体质量指数为 (22.63 ± 2.13) kg/m²。

1.2 检测方法 检查前所有患者需禁食6~8h,扫描前30min,口服约800mL温水充盈胃腔。仰卧位,扫描范围为从膈顶部到双肾下极。扫描设备:宝石能谱CT(Discovery CT 750HD),包含平扫、动脉期、门静脉期和延迟期四个阶段,其中平扫和延迟期使用常规模式,动脉期和门静脉期采用能谱增强模式。对比剂碘含量为300 mgI/mL,剂量为1.2 mL/kg,流速为3mL/s。扫描参数:层厚5 mm,准直器宽度40 mm,螺距0.985,视野36 cm。动脉期增强扫描采用腹主动脉监测触发,达到100 HU后8s启动;门静脉期

【第一作者】 徐园园,女,主治医师,主要研究方向:CT影像诊断。E-mail:doctor_Xu5722@163.com

【通讯作者】 冯坤鹏,男,副主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail:yan1873801@163.com

则在动脉期后30s进行，延迟期在门静脉期后50s开始。

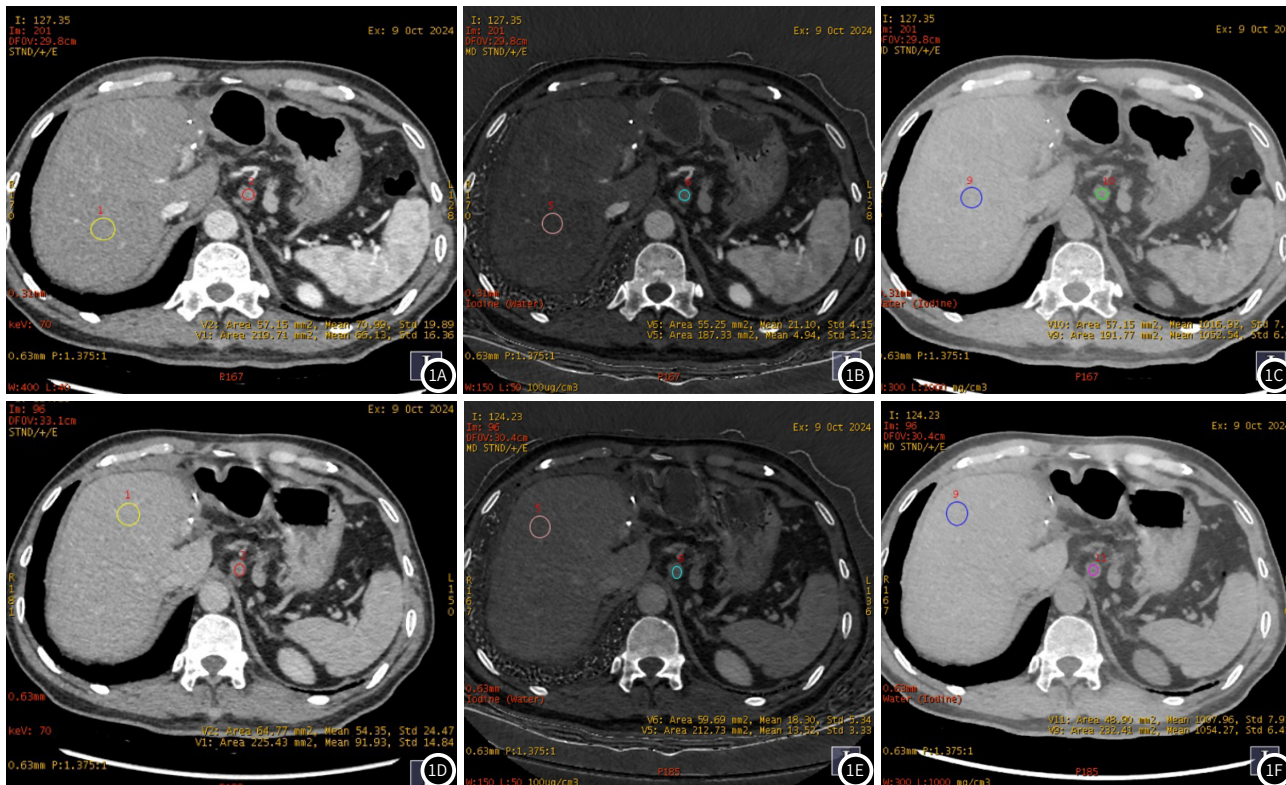
图像后处理时，使用Mono单能量重建算法将动脉期数据重建为0.625 mm层厚图像，并传输至GE AW4.7工作站，在GSI Viewer软件中显示能谱曲线、单能量图像、碘基图像和水基图像。选择合适的keV值，在单能量图像的肿瘤最大层面上选取感兴趣区(ROI)，避免坏死、钙化和血管区域，然后将ROI位置复制到碘基图像和水基图像上，保存数据文件。文件包含40~140keV的CT值和基物质浓度值，计算碘和水的含量及能谱曲线斜率 $[K=(CT值50keV - CT值110keV)/(50keV\sim 110keV)]$ ，每个病灶测量三次取平均值并标准化处理。将动脉期和门静脉期的薄层能谱图像载入能谱分析浏览器进行后处理，选取ROI，并记录标准化碘浓度(NIC)以及病灶与正常组织的碘浓度比值(LNR)。

1.3 观察指标 比较不同病理分化程度下肝癌患者的能谱曲线斜率、碘含量及水含量水平，并分析上述参数和病理分化程度的相关性，比较转移组(n=21)和非转移组(n=55)患者CT参数。

1.4 统计学处理 采用SPSS 22.0分析数据，计量资料采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，采用t检验比较差异，计数资料用率表示，采用 χ^2 检验，采用Pearson分析患者能谱CT参数和病理分化程度的相关性，ROC分析CT参数对淋巴结转移的诊断价值。 $P < 0.05$ 提示有统计学意义。

2 结果

2.1 宝石能谱CT检测图像 本研究中76肝癌患者经宝石能谱CT扫描，典型影像学表现详见图1(1A-1F)。



患者男，58岁，图1(1A-1F)：图1A选取动脉期正常肝实质标记为1；转移性淋巴结标记为2；图1B为动脉期碘基图(碘基值 $100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$) (肝实质标记为5，碘基值4.94；转移性淋巴结标记为6，碘基值21.10)；图1C为动脉期水基图(水基值 mg/cm^3) (肝实质标记为9，水基值1052.54；转移性淋巴结标记为10，水基值1016.92)；图1D为静脉期正常肝实质标记为1；图1E为静脉期碘基图(碘基值 $100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$) (肝实质标记为5，碘基值13.52，碘含量增加；转移性淋巴结标记为6，碘基值18.30，碘含量降低)；图1F为静脉期水基图(水基值 mg/cm^3) (肝实质标记为9，水基值1054.27；转移性淋巴结标记为10，水基值1007.96，水基值变化不明显)。

2.2 不同病理分化程度下肝癌患者的能谱CT参数比较 不同病理分化程度下患者水含量比较，差异无统计学意义($P > 0.05$)。低分化组患者的能谱曲线斜率和碘含量水平均较中分化组和高分化组高，且中分化组水平较高分化组水平高，比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表1。

2.3 Pearson分析患者能谱CT参数和病理分化程度的相关性 相关性分析结果显示，能谱曲线斜率和碘含量水平和病理分化程度的相关系数分别为 $r=0.352$ 和 0.388 ($P < 0.05$)，表明能谱曲线斜率和碘含量水平和病理分化程度呈正相关。见表2。

表1 不同病理分化程度下肝癌患者的能谱CT参数比较(n, %)

组别	例数	能谱曲线斜率	碘含量($100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$)	水含量(mg/cm^3)
高分化组	28	0.49 ± 0.06	6.72 ± 1.02	1022.68 ± 10.75
中分化组	30	$1.21 \pm 0.18^*$	$15.36 \pm 2.31^*$	1019.56 ± 12.06
低分化组	18	$1.73 \pm 0.17^{*#}$	$23.17 \pm 3.15^{*#}$	1020.48 ± 12.63
F		451.473	325.930	0.541
P		< 0.001	< 0.001	0.584

注：和高分化组比较，* $P < 0.05$ ，和中分化组比较，# $P < 0.05$ 。

表2 Pearson分析患者能谱CT参数和病理分化程度的相关性(r)

能谱CT参数	病理分化程度
能谱曲线斜率	0.352*
碘含量($100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$)	0.388*
水含量(mg/cm^3)	0.128

注：*表明差异有统计学意义。

2.4 转移组和非转移组患者的CT参数比较 转移组和非转移组患者的动脉期NIC和门静脉期NIC比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$), 转移组患者动脉期LNR和门静脉期LNR较非转移组低, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表3。

表3 转移组和非转移组患者的CT参数比较

组别	例数	动脉期NIC	动脉期LNR	门静脉期NIC	门静脉期LNR
转移组	21	0.14±0.03	1.52±0.24	0.67±0.10	0.92±0.15
非转移组	55	0.13±0.02	2.76±0.19	0.62±0.12	1.24±0.13
t		1.685	23.613	1.661	9.193
P		0.096	<0.001	0.101	<0.001

表4 ROC分析CT参数对淋巴结转移的诊断价值

变量	截点值	敏感度(%)	特异性(%)	AUC	P
动脉期LNR	1.670	61.90	78.18	0.827	<0.001
门静脉期LNR	1.000	66.67	74.55	0.685	0.011

3 讨论

肝癌是临床上常见的消化系统恶性肿瘤之一, 其发病隐匿, 早期症状不明显, 常在进展期才被发现, 严重影响患者的生存率和生活质量^[8]。临床研究表明, 肝癌的病理分化程度和淋巴结转移是影响其预后的关键因素, 因此, 准确诊断肝癌的分化程度和转移情况对治疗决策有着重要意义^[9-10]。传统CT影像学在肝癌诊断中具有重要地位, 但单一参数成像难以全面反映肝癌的组织特性。宝石能谱CT作为一种多参数成像技术, 通过能谱曲线、物质分离图等多维度数据, 能更精确地展示肿瘤组织结构和生理特征, 为肝癌的病理分化程度及淋巴结转移情况提供了更深入的评估方法^[11]。尽管宝石能谱CT在一些肿瘤诊断中已展现出潜力, 但其在肝癌病理分化及淋巴结转移诊断中的具体应用效果仍有待深入探讨, 研究结果报道如下。

本研究结果显示, 低分化组的能谱曲线斜率和碘含量水平较高, 中分化组次之, 高分化组最低, 能谱曲线斜率反映了肿瘤组织对不同能量X射线的吸收差异^[12]。低分化肿瘤细胞结构异常, 血管生成增加, 且细胞密度较高, 因此在能谱成像中表现出更高的斜率。相比之下, 高分化肿瘤接近正常肝组织结构, 细胞排列较为规整, 血供相对减少, 因而斜率较低。碘含量在CT成像中反映组织的血流灌注水平^[13]。低分化肝癌通常具有更强的侵袭性和血供丰富的特征, 导致血管通透性增加和更多碘对比剂的摄取。中分化肿瘤表现为中等程度的血供, 而高分化肿瘤血供较少, 因此碘含量逐渐降低。这与肝癌分化程度越低, 血管生成能力越强、血流灌注越高的生物学特性相一致。

本研究结果显示, 能谱曲线斜率和碘含量与病理分化程度呈正相关。肝癌的分化程度越低, 其血管增生程度越高, 内部结构越复杂, 密度增加, 表现为更多的碘吸收和更明显的X线吸收变化^[14]。因此, 能谱曲线斜率和碘含量随着分化程度的降低而升高, 呈现出正相关关系。这种相关性可能源于肝癌病理分化与组织微环境的相互影响——分化程度越低的肿瘤, 其恶性程度和增殖活跃性越高, 从而导致更高的碘含量和更陡的能谱曲线斜率。转移组的动脉期和门静脉期LNR低于非转移组, LNR值反映肿瘤区域与正常组织之间的碘浓度差异。转移性肿瘤往往具有较强的血管生成能力, 其血管结构更复杂、毛细血管网更密集, 导致血流供应加快, 对碘对比剂的清除率可能较快^[15]。这种清除效应在动脉期和门静脉期内对肿瘤组织中的碘浓度分布产生影响, 从而使LNR值在转移组中更低^[16]。此外, 转移性肿瘤往往伴随组织坏死及更高的细胞不均匀性, 影响了碘对比剂在组织中的积聚, 这些因素可能共同导致了转移组LNR的下降。

ROC分析中, 动脉期和门静脉期LNR的AUC分别为0.827和0.685, 表明LNR对淋巴结转移具有良好的诊断价值。动脉期和门

2.5 ROC分析CT参数对淋巴结转移的诊断价值 ROC分析结果显示: 动脉期LNR和门静脉期LNR诊断肝癌患者淋巴结转移得到ROC下曲线面积为0.827和0.685, 动脉期LNR诊断敏感度为61.90%, 特异度为78.18%, 门静脉期LNR诊断敏感度为66.67%, 特异度为74.55%。见图2及表4。

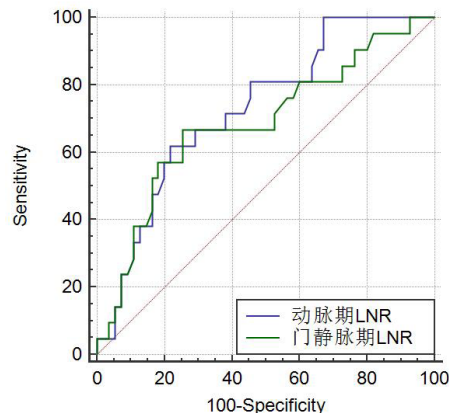


图2 CT参数对淋巴结转移诊断ROC曲线。

静脉期的LNR差异能够较好地反映肿瘤血供、细胞分布和血流动力学的变化, 而这些变化在转移性肿瘤中往往更为显著。动脉期LNR的AUC值较高, 说明其对于识别淋巴结转移具有较好的敏感性和特异性。在转移性肿瘤中, 动脉期血供特征更突出, 因此动脉期LNR对淋巴结转移的诊断价值较高, 较门静脉期LNR更具优势。这可能是由于动脉期更能捕捉到快速血流供应和肿瘤血管网络的变化。

综上所述, 宝石能谱CT多参数成像在评估肝癌病理分化程度和淋巴结转移方面具有显著的临床价值, 可以成为肝癌精准分期和转移监测的有效工具, 为个体化治疗方案的制定提供可靠依据。

参考文献

- [1] 董良庆, 高强. 肝细胞癌多组学分子分型及其在精准诊疗中的应用[J]. 临床肝胆病杂志, 2022, 38(3): 510-514.
- [2] 岑永义, 农海洋, 李传, 等. 基于CT增强扫描动脉期图像的纹理分析在肝细胞癌病理分化程度预测中的价值研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(8): 1476-1481.
- [3] 葛轩云, 张苗苗, 黄炳银, 等. 混合型肝细胞癌-胆管癌的临床病理学特征及研究进展[J]. 临床与实验病理学杂志, 2023, 39(2): 216-219.
- [4] 蔡宁, 石惠, 李真真, 等. 多参数磁共振成像联合LI-RADS分级标准对肝硬化再生结节与小肝癌的诊断价值及临床意义[J]. 中国医科大学学报, 2024, 53(8): 686-691.
- [5] 周永, 周诚, 甘晓晶, 等. 宝石能谱CT多参数成像在肝脏肿瘤鉴别诊断及术前分期应用价值[J]. CT理论与应用研究, 2019, 28(5): 601-607.
- [6] Xu R, Wang J, Huang X, et al. Clinical value of spectral CT imaging combined with AFP in identifying liver cancer and hepatic focal nodular hyperplasia[J]. J BUON, 2019, 24(4): 1429-1434.
- [7] 原发性肝癌规范化病理诊断指南(2015版)[J]. 临床与实验病理学杂志, 2015(3): 241-246.
- [8] 奚黎婷, 张慧娟, 吴爱荣, 等. 血清甲胎蛋白、Dickkopf相关蛋白1、细胞骨架蛋白4联合检测对肝细胞癌的诊断价值[J]. 临床肝胆病杂志, 2019, 35(6): 1276-1279.
- [9] 赵张平, 李志春, 杨翠, 等. 建立预测肝细胞癌患者TACE抵抗及预后的临床-影像学联合列线图模型及其价值[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(2): 230-235.
- [10] 姜宇朗, 王铮, 孙明瑜. 基于生物信息学分析和实验验证筛选影响肝癌患者预后的铁死亡调控基因[J]. 海南医学院学报, 2024, 30(9): 674-682.
- [11] 李迪, 肖喜刚. 原发性小肝癌微血管侵犯的宝石能谱CT分析[J]. 检验医学与临床, 2018, 15(5): 605-607, 610.
- [12] 皮亚文, 王广丽. 双能量CT在肺肿瘤诊断及治疗中的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2022, 45(6): 700-705.
- [13] 彭明, 周芳, 肖新华, 等. 术前能谱CT动脉期碘含量差值联合血清肿瘤标志物、外周血LNR对胃癌患者淋巴结转移的预测价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(9): 154-157.
- [14] 杨润萌, 于盈盈, 赵美怡, 等. 基于GEO基因数据集的酒精性肝炎差异表达基因生物信息学分析[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2024, 33(10): 1291-1298.
- [15] 陈钊地, 蒋涵羽, 陈婕, 等. 肝癌影像学机遇与挑战——中国十年来发展成果及展望[J]. 磁共振成像, 2022, 13(10): 71-78.
- [16] 吕晨阳, 战仁军. 生物组织光学特性参数的测量方法研究[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(3): 48-66.

(收稿日期: 2025-01-02)

(校对编辑: 翁佳鸿)