

CBCT技术在钇90放射介入术治疗肝癌中的应用价值

刘旭玮¹, 陈少宏², 张学威², 李云菲^{3*}, 郝明志^{4*}, 李庄³

¹大理大学基础医学院, 云南 大理

²大理大学临床医学院, 云南 大理

³大理大学第一附属医院甲乳外科, 云南 大理

⁴福建省肿瘤医院介入科, 福建 福州

收稿日期: 2026年5月4日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月8日

摘要

目的: 探讨基于锥形束CT (CBCT)的三维重建技术在钇90微球选择性内放射治疗(SIRT)术前评估中, 对于识别肿瘤供血动脉的应用价值。方法: 回顾性分析2022年7月至2024年2月期间行钇90 SIRT术前评估的24例肝脏恶性肿瘤患者资料。对比常规数字减影血管造影(DSA)与CBCT三维成像在识别肿瘤供血血管及微小病灶方面的检出率与准确性。结果: 24例患者中共检出25个大肿瘤病灶及14个微小病灶。常规DSA检出肿瘤供血血管的阳性率为41.7% (10/24), 而CBCT检出率为100% (24/24), 差异具有统计学意义($P = 0.0016$)。14例在常规DSA下难以明确供血动脉的病灶, 均通过CBCT获得确诊。结论: 在钇90微球介入治疗前, 将CBCT三维重建技术与常规DSA结合, 能显著提高肿瘤供血动脉及微小病灶的检出率, 有助于优化靶向治疗策略, 降低异位栓塞等并发症风险。

关键词

CBCT, DSA, 钇-90, 肝癌

The Application Value of CBCT Technology in Yttrium-90 Radiointerventional Therapy for Liver Cancer

Xuwei Liu¹, Shaohong Chen², Xuwei Zhang², Yunfei Li^{3*}, Mingzhi Hao^{4*}, Zhuang Li³

¹School of Basic Medical Sciences, Dali University, Dali Yunnan

²School of Clinical Medicine, Dali University, Dali Yunnan

³Department of Thyroid and Breast Surgery, The First Affiliated Hospital of Dali University, Dali Yunnan

*通讯作者。

文章引用: 刘旭玮, 陈少宏, 张学威, 李云菲, 郝明志, 李庄. CBCT技术在钇90放射介入术治疗肝癌中的应用价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 355-366. DOI: 10.12677/acm.2026.1662228

Abstract

Objective: To explore the application value of three-dimensional reconstruction technology based on cone-beam CT (CBCT) in identifying tumor-feeding arteries during the pre-operative evaluation of yttrium-90 microsphere selective internal radiation therapy (SIRT). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the data of 24 patients with liver malignancies who underwent pre-evaluation for yttrium-90 SIRT between July 2022 and February 2024. The detection rates and accuracies of conventional digital subtraction angiography (DSA) and CBCT three-dimensional imaging in identifying tumor-feeding vessels and tiny lesions were compared. **Results:** A total of 25 large tumor lesions and 14 tiny lesions were detected in 24 patients. The positive detection rate of tumor-feeding vessels by conventional DSA was 41.7% (10/24), while that by CBCT was 100% (24/24), and the difference was statistically significant ($P = 0.0016$). All 14 lesions for which it was difficult to identify the feeding arteries under conventional DSA were diagnosed by CBCT. **Conclusion:** Combining CBCT three-dimensional reconstruction technology with conventional DSA before yttrium-90 microsphere interventional therapy can significantly improve the detection rates of tumor-feeding arteries and tiny lesions, which is helpful for optimizing targeted treatment strategies and reducing the risks of complications such as ectopic embolization.

Keywords

Cone-Beam Computed Tomography (CBCT), Digital Subtraction Angiography (DSA), Yttrium-90, Liver Cancer

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钇 90 (90Y)微球选择性内放射治疗(SIRT)已成为中晚期肝脏恶性肿瘤的重要局部治疗手段。然而,由于常规数字减影血管造影(DSA)仅能提供二维图像,难以精准识别重叠和隐匿的肿瘤供血动脉。若微球误入非靶血管(如胃十二指肠动脉、胆囊动脉等),将导致放射性肠炎或胆囊炎等严重并发症;同时,合并肝硬化患者的异常血流分流也增加了操作难度,要求治疗必须最大限度地保护正常肝实质。近年来,锥形束 CT (CBCT)技术的应用实现了术中血管图像的三维重建[1],能够更清晰地显示肿瘤供血动脉及其微小分支。本研究回顾性分析了本院接受钇 90 SIRT 治疗的肝脏恶性肿瘤患者资料,旨在比较常规 DSA 与 CBCT 三维重建技术在术前评估中识别肿瘤靶向血管的差异,探讨 CBCT 在提高治疗精准度及降低并发症风险中的临床应用价值[2]。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

本次研究回顾性分析 2022 年 7 月至 2024 年 2 月于福建省肿瘤医院接受钇 90 (90Y)微球选择性内放

射治疗(SIRT)[3]的24例肝脏恶性肿瘤患者资料,其中,男21例,女3例,诊断为肝细胞性肝癌的有12例,诊断为结直肠癌肝转移的有11例,诊断为肝肉瘤的有1例。年龄36~71岁,平均(55.79±10.86)岁;肿瘤血管直径3.5~20.7 mm,平均(10.26±5.58) mm。存在CBCT与常规DSA不一致,需要钇99进一步明确有14例,常规DSA与CBCT两者对于肝癌供血血管的识别吻合的有10例。

2.2. 病例选择

2.2.1. 诊断标准

以《原发性肝癌诊疗指南(2026年版)》[3]临床诊断标准为依据,经穿刺活检或术后病理证实的原发性肝癌诊断。现将临床诊断标准总结如下:①对肝硬化病史有B型肝炎或任何病因者,常规筛查至少有2项影像学诊断符合临床诊断的原发性肝癌,如肝内结节直径≤2 cm,增强核磁共振、超声造影或普美显核磁共振4项影像学诊断;若肝内结节直径2 cm,以上4个影像学诊断中,符合临床诊断原发性肝癌的至少1个。②有乙肝、丙肝病史或任何原因导致肝硬化者,常规筛检肝内无结节,但AFP升高,增强核磁共振、超声造影或普美显核磁共振四项影像学诊断中至少有一项符合肝癌原发诊断,临床可诊断为肝癌原发。其他肝脏恶性肿瘤除原发性肝癌外,病理诊断需明确。

2.2.2. 纳入与排除标准

纳入标准:(1)肿瘤目标吸收剂量≥60 Gy(TNR≥2);(2)总肿瘤负荷≤70%(后续按<25%、25%~50%、>50%进行亚组分析);(3)既往TACE治疗次数≤2;(4)接受90Y前4~6周停用贝伐珠单抗;(5)预期生存期≥3个月。

排除标准:(1)ECOG>2分或恶液质或多脏器功能衰竭。(2)肝功能Child-Pugh C级,严重肝功能障碍(肝性脑病、难治性腹水、肝肾综合征等)。(3)无法纠正的凝血功能障碍。(4)肾功能不全(Cr>176.8 μmol/L或Cr清除率<30 mL/min)或肺功能不全[动脉氧分压<60 mmHg(1 mmHg=0.133 Kpa)或氧饱和度<90%]。(5)合并严重感染且不能有效控制。(6)肿瘤广泛转移,且预期生存时间<3个月。(7)门静脉主干闭塞,侧支血管形成少且不能纠正。(8)不可纠正的肝动-静脉分流或肝动脉-胃肠道动脉分流。(9)肺部单次吸收剂量>30 Gy或累积吸收剂量>50 Gy。(10)其他:如孕妇、哺乳期妇女、严重碘对比剂过敏。

2.3. 影像学检查与三维重建方法

采用飞利浦公司UNIQ-FD20血管造影系统进行手术与影像学评估。常规消毒局麻后,经股动脉穿刺置管。将导管或微导管超选择插管至靶向动脉(肝总动脉、肝固有动脉或其分支)进行造影分析。在使用常规DSA造影后,对靶血管进行锥形束CT(CBCT)扫描。造影剂按1:4至1:2比例用0.9%氯化钠溶液稀释,注射流速根据血管管径设定为1.5~4.0 mL/s,对比剂总量约为15~22 mL。

扫描获取的数据传输至专用工作站,运用最大密度投影(MIP)、多平面重建(MPR)及容积再现(VR)等图像后处理技术进行三维重建,以精确显示肝脏解剖结构、明确肿瘤供血动脉分支,并排查潜在的非靶向高危吻合血管[4][5]。

2.4. 统计学方法

采用SPSS 26.0统计学软件对数据进行分析。计数资料以频数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法。以P<0.05为差异有统计学意义。

3. 结果分析

3.1. 一般资料

本研究共纳入24例接受钇90 SIRT治疗的肝脏恶性肿瘤患者,其中男21例,女3例;年龄(55.8±

10.9)岁。原发性肝细胞癌 12 例, 结直肠癌肝转移 11 例, 肝肉瘤 1 例。根据术中影像学检查结果, 将 DSA 与 CBCT 显像结果吻合的病例归为 DSA 组(10 例), 常规 DSA 无法明确靶血管而需 CBCT 辅助确诊的归为 CBCT 组(14 例)。两组患者在性别、年龄、BMI、甲胎蛋白(AFP)水平、肿瘤长径及既往肝脏手术史等基线资料方面, 差异均无统计学意义($P > 0.05$), 具有可比性(见表 1)。

Table 1. Comparison of baseline characteristics between the two groups of patients

表 1. 两组在患者基线资料比较

项目	-	DSA 组(n = 10)	CBCT 组(n = 14)	P 值
性别(n, %)	男		21	
	女		3	
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)		55.79 \pm 10.86		
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)		23.56 \pm 2.62	21.39 \pm 1.92	1.000
AFP ($\bar{x} \pm s$, μ g/L)		1374.99 \pm 115.79	1379.54 \pm 103.85	1.000
中性粒细胞($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)		7.96 \pm 1.43	6.91 \pm 1.74	0.059
肿瘤长径(cm)		10.26 \pm 5.58		
肿瘤短径(cm)		7.35 \pm 3.10		
既往肝脏外科手术	有		17	
	无		7	
肝外转移	有		3	
	无		11	

注: P 值为 1.000 表示在当前数据条件下, 无法拒绝原假设, 但并不意味着变量之间完全没有差异。

3.2. 肿瘤靶向血管及微小病灶检出情况比较

24 例患者术前初步诊断共 25 个主要肿瘤病灶。在肿瘤供血血管的识别上, 常规 DSA 的阳性检出率为 41.7% (10/24); 而采用基于 CBCT 的三维图像处理技术, 所有 24 例患者的肿瘤靶向血管均被成功明确, 检出率达 100% (24/24), 两者比较差异具有统计学意义($P = 0.0016$, 见表 2)。此外, 通过术中 CBCT 扫描, 还额外发现了 14 个在常规 DSA 影像上未能清晰显示的肝脏微小病灶, 显著提高了早期微小病灶的检出敏感性。在原发性肝癌与肠癌肝转移亚组中, CBCT 的检出符合率均优于常规 DSA (见表 3)。

Table 2. Comparison of DSA and CBCT in the detection of blood-feeding vessels in liver cancer

表 2. DSA 与 CBCT 对肝癌供血血管检出对比

		DSA 诊断组		P 值
		阳性	阴性	
CBCT 组诊断组	阳性	10	14	0.0016
	阴性	0	0	

行肝癌介入治疗的 24 例患者, 采用 DSA 检查的肿瘤供给血管检出率为 41.7% (10/24), 采用基于

CBCT 的三维图像处理技术寻找肿瘤供血血管的检出率为 100% (24/24)，两者比较差异均有统计学意义，如表 3 所示。

Table 3. Detection of primary liver cancer and colorectal cancer liver metastases using DSA and CBCT techniques

表 3. 原发性肝癌与肠癌肝转移癌在 DSA 与 CBCT 技术检出情况

	DSA 检测组	CBCT 检测与 DSA 检测符合	P 值	总例数
原发性肝癌组	11	10	0.103	11
肠癌肝转移癌组	13	14		13

3.3. DSA 与 CBCT 对肿瘤血供分型评估的价值(图 1)

DSA 血供分型方法：DSA 分型按 Takayasu 等[6]肝癌 DSA 分型方法判断，将肿瘤血供分为三级：富血供。

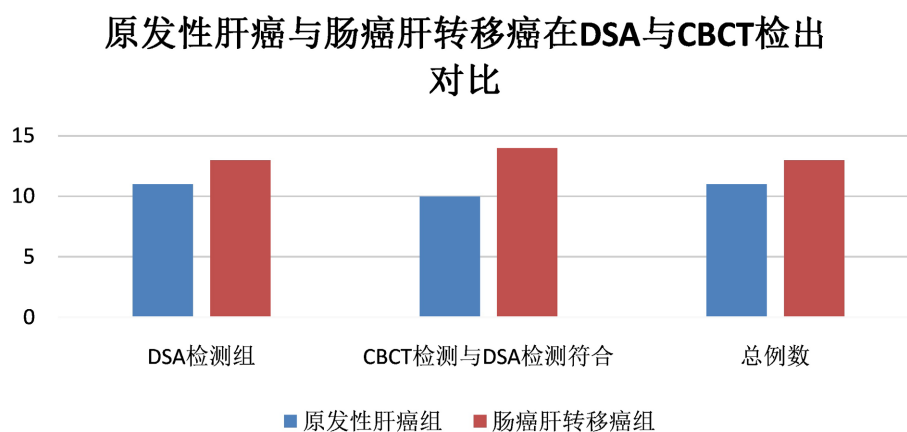


Figure 1. Comparison of DSA and CBCT in the detection of primary liver cancer versus colorectal cancer liver metastases

图 1. 原发性肝癌与肠癌肝转移癌在 DSA 与 CBCT 检出对比

型(3级)：表现为既有肿瘤血管又有实质期肿瘤染色；乏血供型(2级)：表现为无肿瘤血管，但有实质期肿瘤染色；无血供型(1级)：表现为既无肿瘤血管，又无实质期肿瘤染色。

本组数据显示，在全部评估病灶中，存在多支肿瘤滋养动脉且血管走形复杂紊乱的情况较多。常规 DSA 在判别滋养动脉时易受邻近正常肝动脉分支干扰，导致漏诊或需要多次超选择造影(如图 2、图 3)。而应用 CBCT 扫描及三维重建后处理技术，得到的横断面影像能清晰剥离重叠血管，精准识别靶血管(如图 3)。数据显示(见表 4)，针对富血管型肿瘤，CBCT 辅助检测能提供更丰富的三维血管空间信息，显著弥补了常规 DSA 二维平面的局限性，增加了供血血管诊断的精确性和敏感性。

Table 4. Comparison of DSA and CBCT detection performance based on DSA blood supply classification

表 4. DSA 血供分型对于 DSA 与 CBCT 检出情况的比较

DSA 分级	DSA 组	CBCT 组	合计(个)
富血管型	11	15	26
乏血管型	13	9	22
合计(个)	24	24	48

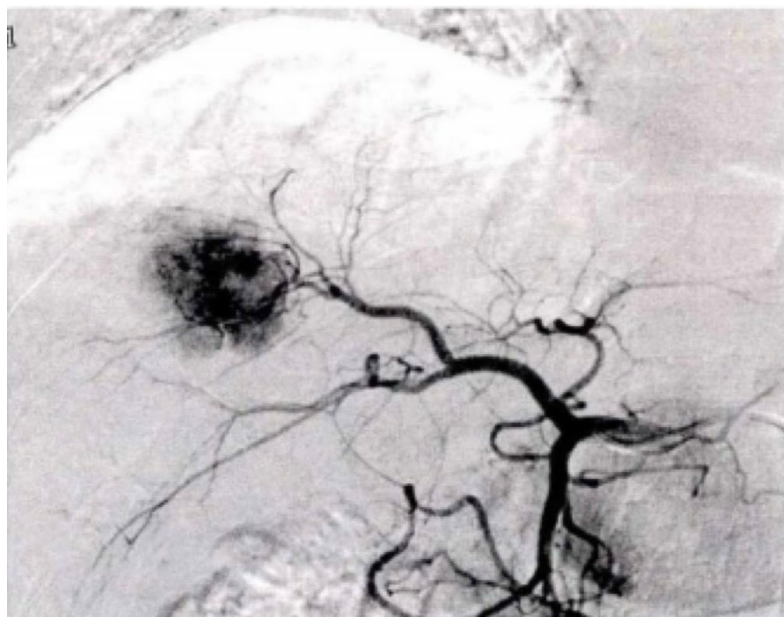


Figure 2. The DSA blood supply was graded as hypervascular (Grade 3)
图 2. DSA 血供分级为富血供型(3 级)

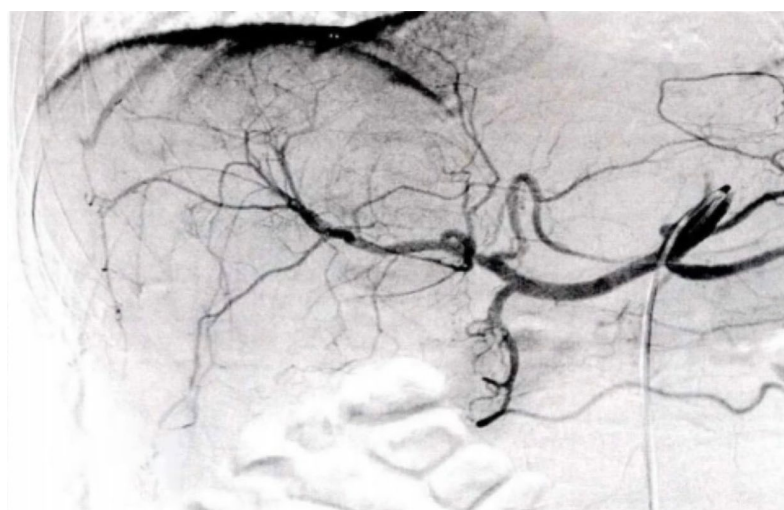


Figure 3. The DSA blood supply was graded as hypovascular (Grade 2)
图 3. DSA 血供分级为乏血供型(2 级)

本组 DSA 评估富血管型肝恶性肿瘤供血准确率为 42.31%，CBCT 检测准确率为 57.69%，高于 DSA 检测，因此合理运用 CBCT 三维重建技术在富血管型中能提供更好的辅助诊断。

在这 24 例接受 90 肝癌介入治疗的患者中，存在多支肿瘤滋养动脉和血管走形复杂紊乱的情况，在进行肿瘤滋养动脉的判别时，容易受到邻近正常肝动脉分支的干扰，介入医师往往需要进行多次超选择和血管造影，以明确肿瘤的滋养动脉，这可能是 DSA 在检查肝癌血管造成漏诊和误诊的原因，见图 4，但在使用 CBCT 扫描检查后，得到的三维后处理横断面影像可以清晰地显示出重叠靶血管，见图 5。因此，与常规 DSA 检查相比，CBCT 技术可以借助 CBCT 扫描和三维重建后处理技术，大大增加肝癌滋养血管诊断的精确性和敏感性。

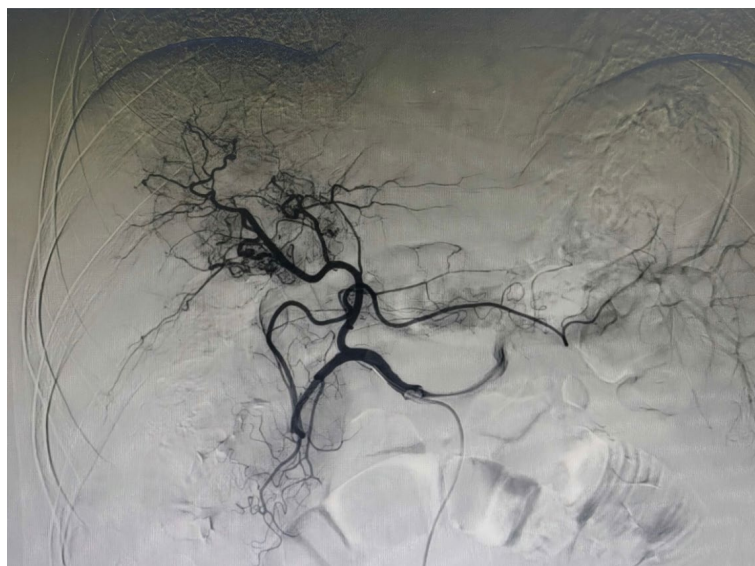


Figure 4. Conventional DSA angiography revealed tumor staining, with multiple hepatic arterial branches supplying the tumor lesion

图 4. 常规 DSA 造影下可见肿瘤染色，多支肝动脉分支参与肿瘤病灶供血

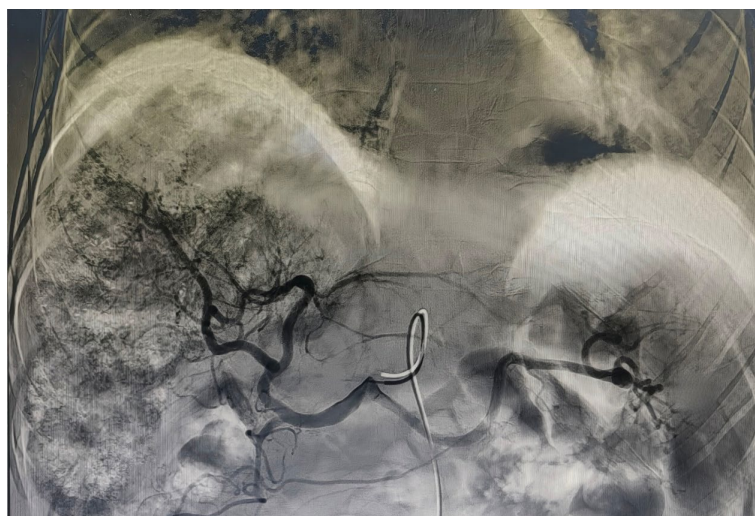


Figure 5. Tumor staining was identified on conventional CBCT after three-dimensional reconstruction processing

图 5. 常规 CBCT 三维重建处理识别后肿瘤染色

4. 讨论

4.1. 肝脏恶性肿瘤复杂血供的识别困境

肝癌的血液供应较复杂，主要包括肝动脉供血、门静脉供血、侧支血管供血及肝动脉门静脉双重供血。门静脉供血主要在早期，肝内病灶分化程度高；肝动脉供血主要在进展期，肿瘤分化程度降低[7]。

正常肝脏组织由肝动脉供血的占 25%~30%，门静脉供血的占 70%~75%，肝癌患者的供血则略有不同。肝癌供血血管的研究自 Saitoh 等人提出以来[8]，其肿瘤供血在动脉血流增加之前就消失了。当高分化肝细胞癌有门脉血流且无血管增生时，其生长缓慢，当它失去门脉血流并变得丰富时，就会迅速生长。经其肿瘤侵犯血管供血，包括规则性、变异性和寄生性供血。肝癌的规则性供血，是指供养肿瘤的动脉

血管从腹腔干至肝总动脉。变异性供血则包括腹腔干、肠系膜上动脉等对肝癌肿瘤病灶的营养和支持,其中最常见肝癌变异供血血管是肠系膜上动脉[9] [10];此外,随着肿瘤的进展或治疗干预,还会出现寄生性供血,即除肝脏固有动脉以外的其他血管(如膈下、网膜血管等)参与对肝癌肿瘤的营养作用[5]。在肝脏多步癌变的过程中,肿瘤的血流动力学亦发生显著演变:在肝脏结节的良性或癌前病变期,其血液供应以门静脉为主、肝动脉为辅;而一旦进入肝脏肿瘤的恶性进展期,门静脉血流逐渐枯竭,肿瘤转变为以肝动脉血液供应为主、门静脉为补充甚至完全依赖肝动脉供血的状态[11] [12]。

此外,在中国,结直肠癌发病率在所有癌症发病率排行榜中位于第三名,患病死亡率位于第五名[13],其中五十到六十岁人群的发病率每年以1%的速度上升[14]。CRC最常见的远处实质器官为肝脏[15]。

精准识别肿瘤靶向血管是钇 90 微球 SIRT 治疗成功的先决条件。肝脏恶性肿瘤(包括原发性肝癌和结直肠癌肝转移)的血供系统往往十分复杂,随着肿瘤生长,血管常出现受压、变异或形成迂曲的寄生血管网。特别是结直肠癌肝转移灶多表现为乏血供特征,使得单纯依赖常规二维 DSA 极易因血管重叠和显影不佳而出现漏诊或误判。若不能精准定位责任血管,不仅会导致靶区微球分布不足影响疗效,更致命的是,一旦微球误入胃十二指肠或胆囊等高危游离动脉,将引发严重的放射性组织损伤。

4.2. CBCT 三维重建在复杂肝脏血供识别中的临床价值

本研究结果显示,常规 DSA 对肿瘤靶向供血血管的检出率为 41.7%,而联合 CBCT 三维重建后检出率提高至 100%,差异具有统计学意义;同时, CBCT 还额外发现了 14 个常规 DSA 未能清晰显示的微小病灶。上述结果提示,在钇 90 微球选择性内放射治疗(SIRT)术前评估中, CBCT 能够明显弥补常规 DSA 二维成像的不足,提高复杂血供条件下责任血管识别的准确性。

肝脏恶性肿瘤,尤其是原发性肝癌及结直肠癌肝转移灶,常伴有多支供血动脉、血管走行迂曲、侧支循环形成及肝外异常供血等复杂情况。常规 DSA 虽然具有较高的空间分辨率和实时动态观察优势,但其本质上仍为二维投影成像,易受血管重叠、肿瘤乏血供及造影角度限制影响,导致靶血管判断不清,甚至出现漏诊或误判。相比之下, CBCT 通过术中扫描结合 MIP、MPR 及 VR 等后处理技术,可提供肿瘤、供血动脉及周围解剖结构之间更直观的三维空间关系,帮助术者在复杂血管解剖背景下准确定位责任血管[16]。

对于钇 90-SIRT 而言,精准识别肿瘤供血动脉不仅关系到治疗剂量能否有效覆盖靶区,也直接影响非靶向栓塞风险控制。CBCT 在术中提供的立体解剖信息,有助于优化微导管超选择路径,减少不必要的重复造影和盲目探查,提高介入操作的针对性与安全性。因此, CBCT 不仅是常规 DSA 的重要补充,也是在高精度肝脏放射介入治疗中实现精准导航的关键技术手段。

4.3. CBCT 应用中的技术特点、操作注意事项

尽管 CBCT 在肿瘤供血动脉识别中具有明显优势,但其临床应用仍受到一定条件限制。首先, CBCT 图像质量易受患者呼吸运动、心脏搏动及体位配合影响,出现运动伪影,从而影响小血管及病灶边界的显示。其次,受平板探测器视野范围限制,对于肝脏体积较大或病灶范围较广的患者,单次扫描可能无法完整覆盖靶区,必要时需增加扫描次数或调整扫描范围。再次, CBCT 虽在血管显示方面具有优势,但在软组织分辨率方面仍不及常规增强 CT 或 MRI,因此其主要价值仍在于术中血管导航和责任血管识别,而非替代常规断层影像学检查。

此外, CBCT 的引入会在一定程度上增加术中准备、扫描及后处理时间,对术者经验、团队配合及工作站后处理能力均提出了更高要求。因此,在实际应用中,应结合患者呼吸配合情况、肿瘤位置及疑似供血复杂程度,合理选择 CBCT 扫描时机及参数设置,以在图像质量、操作效率和辐射暴露之间取得平

衡。

本研究尚存在一定局限性。首先，本研究为单中心回顾性研究，样本量较小，可能存在选择偏倚。其次，本研究主要观察了 CBCT 对靶血管及微小病灶检出的增益价值，尚未进一步分析其对客观缓解率、无进展生存期及总体生存期等长期预后的影响。再次，本研究纳入病例中既包括原发性肝癌，也包括结直肠癌肝转移及其他肝脏恶性肿瘤，不同病理类型之间的血供特征存在差异，未来仍需在更大样本的基础上开展分层研究，以进一步明确 CBCT 在不同肿瘤类型中的适用价值。

4.4. CBCT 在高危非靶血管识别中的意义

钇 90 微球治疗的安全实施依赖于对高危非靶血管的充分识别与预防。若术前或术中未能准确识别胆囊动脉、胃十二指肠动脉、镰状韧带动脉及其他潜在肝外分支，放射性微球可能误入非靶器官，引发放射性胆囊炎、胃肠道溃疡、放射性肠炎等严重并发症。因此，术中对高危吻合支及异常分流血管的识别，是钇 90-SIRT 术前评估的重要环节。

常规 DSA 在识别细小肝外分支、重叠血管及隐匿性交支方面存在一定局限，尤其是在肿瘤供血复杂、侧支循环形成或既往接受过肝动脉介入治疗的患者中更为明显。CBCT 则可通过断层图像和三维重建显示非靶区异常强化征象，帮助术者识别常规 DSA 难以明确的潜在危险血管，为是否实施预防性栓塞提供更可靠的依据。由此可见，CBCT 不仅有助于提高靶血管识别的准确性，也在降低非靶向放射性损伤风险、提升治疗安全性方面具有重要价值。

4.5. CBCT 与多模态影像融合技术的发展前景

随着肝脏放射介入治疗向精准化和个体化方向发展，单纯依赖二维 DSA 或单一 CBCT 成像已逐渐难以满足复杂病例的治疗需求。近年来，术前增强 CT、MRI 与术中 CBCT/DSA 相结合的多模态影像融合技术逐渐受到关注，其核心优势在于能够将术前高分辨率软组织信息与术中实时血管导航信息整合起来，从而更准确地显示肿瘤真实边界、供血血管来源及靶区与非靶区之间的空间关系。

对于部分乏血供病灶、边界不清病灶或合并严重肝硬化背景的患者，单纯依赖造影剂分布有时难以准确反映肿瘤全貌，而多模态影像融合可在一定程度上弥补 CBCT 软组织分辨率不足的问题，提高术中定位的准确性。进一步结合术前 $^{99m}\text{Tc-MAA}$ 模拟、术后核素显像及剂量学分析，未来有望推动钇 90-SIRT 从“血管解剖学导航”向“影像-剂量学一体化精准导航”发展[17]。

因此，从技术演进角度看，CBCT 不仅是当前钇 90 术前评估的重要工具，也可作为未来多模态影像融合导航体系中的关键组成部分。随着图像配准、智能分割、术中导航软件及个体化剂量学模型的不断完善，CBCT 在肝脏恶性肿瘤放射介入治疗中的应用前景值得进一步期待。

5. 结论与展望

本研究表明，在钇 90 微球选择性内放射治疗术前评估中，CBCT 三维重建技术联合常规 DSA 能够显著提高肿瘤供血动脉的识别率，并有助于发现常规 DSA 未能清晰显示的微小病灶。与单纯二维 DSA 相比，CBCT 可更直观地显示肿瘤、责任血管及周围正常组织之间的三维空间关系，为术者实施超选择性插管、明确靶向治疗范围及识别潜在高危非靶血管提供更可靠的影像学依据。

从临床价值看，CBCT 的应用有助于优化钇 90-SIRT 术前评估流程，提高治疗的精准性和安全性，在保证靶区剂量覆盖的同时，降低异位栓塞及非靶向放射性损伤风险。尤其对于血供复杂、肿瘤乏血供、存在侧支循环或既往接受过肝动脉介入治疗的患者，CBCT 的辅助作用更加突出。

肝细胞癌(HCC)是我国各种癌症新发第 4 位、发病率位列第 5 位，其中 HCC 占 80% [3]。对于在首

诊已处于疾病中晚期的病人，肝动脉化疗栓塞术(TACE)是首选的非手术治疗手段，可以缩小肿瘤，使部分病人获得手术切除的机会[18]，但由于肿瘤供血的多源性及治疗后侧支循环的形成等原因，病人需多次行 TACE 治疗[19]。然而，由于肿瘤供血的天然多源性，以及既往栓塞治疗引起的缺氧微环境诱导侧支循环的建立，单一靶血管的栓塞往往难以达到完全坏死，因此病人通常需要多次行 TACE 治疗以干预新的供血动脉[20]。而钇 90 选择性放射性栓塞术由于安全性、有效率高，不仅可用于肝移植前桥接治疗、外科术前转化治疗，亦可用于肝肿瘤的姑息治疗中，在全球范围内应用的患者人数越来越多。而这项技术对肿瘤血管的识别要求比较高。

DSA 是本研究中选择比较的对比参考标准，能够以较高的空间分辨率展现血管结构，清晰地显现细小血管的走行和状态，并且可以实时动态观察血液流向和分布，对于判断血管供应关系具有较高的价值。在钇 90 术前得 99 试验评估中，DSA 能够及时发现新出现的肿瘤病灶和血供情况，但对于判断可能存在的高风险/吻合血管，以及预防异位栓塞仍具有较大局限。DSA 联合锥形束 CT (cone beam CT, CBCT)可更清楚显示肿瘤病灶部位、大小、数目及供血动脉情况，明确肿瘤供血动脉分支的三维关系，指导肿瘤供血动脉分支的超选择性插管[21]。

DSA 联合 CBCT 对提高钇 90-SIRT 疗效、避免异位放射导致并发症起到了至关重要的保障作用；同时，在常规介入手术中，CBCT 不仅消除了二维重叠、具有比传统 DSA 更广阔和立体的观察范围，还能实时指导 TACE 术的操作并即刻评价栓塞疗效[22] [23]。Iwazawa 等[24]的研究结果显示，TACE 术中进行 CBCT 扫描、肿瘤个数、总胆红素水平及甲胎蛋白水平是影响患者肿瘤无进展生存的独立因素，并由此推测 TACE 术中 CBCT 辅助延长患者肿瘤无进展生存期的原因可能与提供更多的血管信息有关。Tognolini 等[25]对 84 例 HCC 患者进行了 100 次 TACE 术，其中 93 次在术中成功进行了 CBCT 扫描，30 例患者(36%)的 CBCT 扫描提供了 DSA 上不明显或无法辨认的信息，使 24 例患者(28%)的诊断、治疗计划发生改变，另外 13 例患者(15%)发现了隐匿的肿瘤病灶。TACE 术中进行 CBCT 扫描以获得额外的信息，提升了 TACE 术的疗效，对原发性肝癌的微创治疗起到了积极的作用。

CBCT 扫描后在工作站重建的图像上能够确定肿瘤的位置，可以判断目标肿瘤的供血动脉，帮助术者排除非肿瘤供血动脉的影响，避免误栓，最大限度地保护正常肝组织。对于因血管重叠、紊乱，肿瘤乏血供而判断滋养动脉困难时，CBCT 的应用可以帮助术者尽快地确定肿瘤滋养动脉，指导导管的位置，减少术中造影的次数。

未来，随着钇 90 放射介入治疗理念的不断更新及多模态影像融合技术的发展，CBCT 有望与术前增强 CT/MRI、核素模拟显像及个体化剂量学评估进一步深度整合，推动肝脏恶性肿瘤介入治疗向更精准、更规范和更个体化的方向发展。后续仍需开展多中心、大样本前瞻性研究，以进一步验证 CBCT 对患者近期疗效和长期预后的影响，并建立更加标准化的术前评估及术中导航流程。

声明

本研究获得福建省肿瘤伦理委员会批准(审批号：K2024-039-01)，患者均签署知情同意书。

基金项目

本研究由云南省教育厅科学研究基金项目(批准号 2026Y1314)资助。

参考文献

- [1] Schulze, R., Heil, U., Groß, D., Bruellmann, D., Dranischnikow, E., Schwanecke, U., *et al.* (2011) Artefacts in CBCT: A Review. *Dentomaxillofacial Radiology*, **40**, 265-273. <https://doi.org/10.1259/dmfr/30642039>
- [2] 鲁东, 吕维富. 肝癌血供研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2007, 4(3): 227-231.

- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 原发性肝癌诊疗指南(2026年版)[J]. 肿瘤防治研究, 2026, 53(5): 374-412.
- [4] 王梅, 曹捍波, 王和平. 多层螺旋 CT 动脉重建对原发性肝癌综合治疗的指导作用[J]. 浙江医学, 2020, 42(2): 184-185.
- [5] 杨伟洪, 刘鹏程, 梁珊瑚, 等. 多层螺旋 CT 血管造影在判断肝癌寄生供血中的价值[J]. 介入放射学杂志, 2008, 17(9): 654-656.
- [6] Takayasu, K., Shima, Y., Muramatsu, Y., Moriyama, N., Yamada, T., Makuuchi, M., *et al.* (1987) Hepatocellular Carcinoma: Treatment with Intraarterial Iodized Oil with and without Chemotherapeutic Agents. *Radiology*, **163**, 345-351. <https://doi.org/10.1148/radiology.163.2.3031724>
- [7] 徐晓燕, 马苏美, 赵威武. 门静脉超声造影在肝细胞肝癌血供分析中的应用[J]. 甘肃医药, 2016, 35(11): 835-837.
- [8] Saitoh, S., Ikeda, K., Koida, I., Tsubota, A., Arase, Y., Chayama, K., *et al.* (1995) Serial Hemodynamic Measurements in Well-Differentiated Hepatocellular Carcinomas. *Hepatology*, **21**, 1530-1534. <https://doi.org/10.1002/hep.1840210609>
- [9] Song, S., Chung, J.W., Yin, Y.H., Jae, H.J., Kim, H., Jeon, U.B., *et al.* (2010) Celiac Axis and Common Hepatic Artery Variations in 5002 Patients: Systematic Analysis with Spiral CT and Dsa. *Radiology*, **255**, 278-288. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090389>
- [10] 牟玮, 李强, 游箭, 等. 肠系膜上动脉供血型肝癌的血管造影分析及介入治疗[J]. 放射学实践, 2003, 18(5): 319-321.
- [11] Matsui, O., Kadoya, M., Kameyama, T., Yoshikawa, J., Takashima, T., Nakanuma, Y., *et al.* (1991) Benign and Malignant Nodules in Cirrhotic Livers: Distinction Based on Blood Supply. *Radiology*, **178**, 493-497. <https://doi.org/10.1148/radiology.178.2.1846240>
- [12] Ramirez-Velandia, F., Loly, V.T.R., Enriquez-Marulanda, A., Young, M., Tatit, R.T., Cintra, A., *et al.* (2024) Sequential Hemodynamic Analysis of Ruptured Posterior Communicating Artery Aneurysms Treated with Coil Embolization and Delayed Flow Diversion. *Operative Neurosurgery*, **29**, 80-92. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000001421>
- [13] Chen, W., Zheng, R., Baade, P.D., Zhang, S., Zeng, H., Bray, F., *et al.* (2016) Cancer Statistics in China, 2015. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **66**, 115-132. <https://doi.org/10.3322/caac.21338>
- [14] Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., *et al.* (2021) Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **71**, 209-249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- [15] Van Cutsem, E., Cervantes, A., Adam, R., Sobrero, A., Van Krieken, J.H., Aderka, D., *et al.* (2016) ESMO Consensus Guidelines for the Management of Patients with Metastatic Colorectal Cancer. *Annals of Oncology*, **27**, 1386-1422. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdw235>
- [16] Hayashi, M., Matsui, O., Ueda, K., Kawamori, Y., Gabata, T. and Kadoya, M. (2002) Progression to Hypervascular Hepatocellular Carcinoma: Correlation with Intranodular Blood Supply Evaluated with CT during Intraarterial Injection of Contrast Material. *Radiology*, **225**, 143-149. <https://doi.org/10.1148/radiol.2251011298>
- [17] Garin, E., Tselikas, L., Guiu, B., Chalaye, J., Edeline, J., de Baere, T., *et al.* (2021) Personalised versus Standard Dosimetry Approach of Selective Internal Radiation Therapy in Patients with Locally Advanced Hepatocellular Carcinoma (DOSISPHERE-01): A Randomised, Multicentre, Open-Label Phase 2 Trial. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, **6**, 17-29. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(20\)30290-9](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(20)30290-9)
- [18] 中国抗癌协会肝癌专业委员会转化治疗协作组. 肝癌转化治疗中国专家共识(2021版)[J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41(6): 618-632.
- [19] Lau, W., Ho, S.K.W., Yu, S.C.H., Lai, E.C.H., Liew, C. and Leung, T.W.T. (2004) Salvage Surgery Following Downstaging of Unresectable Hepatocellular Carcinoma. *Annals of Surgery*, **240**, 299-305. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000133123.11932.19>
- [20] Kim, H., Chung, J.W., Lee, W., Jae, H.J. and Park, J.H. (2005) Recognizing Extrahepatic Collateral Vessels That Supply Hepatocellular Carcinoma to Avoid Complications of Transcatheter Arterial Chemoembolization. *RadioGraphics*, **25**, S25-S39. <https://doi.org/10.1148/rg.25si055508>
- [21] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南(2024年版)[J]. 协和医学杂志, 2024, 15(3): 532-559.
- [22] Louie, J.D., Kothary, N., Kuo, W.T., Hwang, G.L., Hofmann, L.V., Goris, M.L., *et al.* (2009) Incorporating Cone-Beam CT into the Treatment Planning for Yttrium-90 Radioembolization. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **20**, 606-613. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2009.01.021>
- [23] 中国医师协会介入医师分会临床诊疗指南专委会. 锥形束 CT 应用于肝脏恶性肿瘤介入诊疗的专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(6): 596-602.
- [24] Iwazawa, J., Ohue, S., Hashimoto, N., Muramoto, O. and Mitani, T. (2012) Survival after C-Arm CT-Assisted

Chemoembolization of Unresectable Hepatocellular Carcinoma. *European Journal of Radiology*, **81**, 3985-3992. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.08.012>

- [25] Tognolini, A., Louie, J.D., Hwang, G.L., Hofmann, L.V., Sze, D.Y. and Kothary, N. (2010) Utility of C-Arm CT in Patients with Hepatocellular Carcinoma Undergoing Transhepatic Arterial Chemoembolization. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **21**, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2009.11.007>