

· ^{90}Y -选择性内放射治疗 · ^{90}Y -选择性内放射治疗术后与术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 肺分流率及肝内核素分布的对比分析尤鸿吉¹ 熊敏¹ 李傲¹ 武兆忠¹ 冯静敏¹ 梁礼聪² 林立腾² 朱康顺² 姜圣男¹¹广州医科大学附属第二医院核医学科, 广州 510260; ²广州医科大学附属第二医院微创介入科, 广州 510260

通信作者: 姜圣男, Email: 17763931987@163.com

【摘要】 目的 对比肝恶性肿瘤患者 ^{90}Y -选择性内放射治疗(SIRT)术后显像与术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -大颗粒聚合白蛋白(MAA)显像的肺分流率(LSF)及两者的 SPECT/CT 图像核素分布体积与放射性分布视觉评分。**方法** 回顾性收集 2022 年 11 月至 2024 年 6 月间在广州医科大学附属第二医院因肝恶性肿瘤行 ^{90}Y -SIRT 的患者 91 例[男 78 例、女 13 例, 年龄(56.7±13.7)岁; 共行 99 例次], 所有患者行术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 模拟、术后 ^{90}Y 分布验证的全身平面与肝部 SPECT/CT 显像。在平面显像上勾画肝与双肺前后位 ROI, 测算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 与 ^{90}Y 的 LSF; 在 SPECT/CT 图像上勾画感兴趣体积(VOI), 测算肝内两者的核素分布体积, 采用 Wilcoxon 符号秩检验比较组间差异。另外, 将肝脏划分为 5 个叶(左外侧叶、左内侧叶、尾状叶、右肝前叶和右肝后叶), 针对其放射性分布进行视觉评分(^{90}Y 和 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 的摄取情况按 0~3 分进行分级, 其中 0 分表示无核素浓聚, 3 分表示重度浓聚), 并行 Kappa 一致性检验对 2 组间各叶的评分进行分析。**结果** $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 测算的 LSF 为 11.60%(4.27%, 15.03%), ^{90}Y 的 LSF 为 11.80%(9.70%, 13.30%), 差异无统计学意义($Z=-1.50, P=0.134$); $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 和 ^{90}Y 的肝内分布体积分别为 542.63(204.00, 818.00)和 688.69(287.00, 954.00) ml, 差异有统计学意义($Z=-7.37, P<0.001$)。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 与 ^{90}Y 显像肝各叶视觉评分的 Kappa 值为 0.469~0.740(均 $P<0.001$)。 **结论** ^{90}Y -SIRT 术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 模拟评估 LSF 的可靠性较强。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 的分布体积通常较术后 ^{90}Y 小, 但两者放射性分布视觉评分的一致性较高。总体上 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA 能够良好地模拟 ^{90}Y -SIRT 的分布。

【关键词】 肝肿瘤; 放射疗法; 钷放射性同位素; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 体层摄影术, X 线计算机; $^{99\text{m}}$ 锝聚集白蛋白

基金项目: 国家自然科学基金(81960556)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240808-00285

Comparison of lung shunt fraction and intrahepatic distribution obtained from postoperative ^{90}Y -selective internal radiation therapy and preoperative $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA imagesYou Hongji¹, Xiong Min¹, Li Ao¹, Wu Zhaozhong¹, Feng Jingmin¹, Liang Licong², Lin Liteng², Zhu Kangshun², Jiang Shengnan¹¹Department of Nuclear Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510260, China; ²Department of Minimally Invasive Intervention, the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510260, China

Corresponding author: Jiang Shengnan, Email: 17763931987@163.com

【Abstract】 Objective To compare the lung shunt fraction (LSF) of ^{90}Y imaging after ^{90}Y -selective internal radiation therapy (SIRT) and preoperative $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -macroaggregated albumin (MAA) imaging in patients with liver malignant tumors, and compare the volume and visual score of intrahepatic distribution of both nucleins on SPECT/CT images. **Methods** A total of 91 patients with liver malignant tumors (78 males, 13 females; age (56.7±13.7) years; 99 cases) who underwent ^{90}Y -SIRT in the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University from November 2022 to June 2024 were retrospectively collected. All patients underwent preoperative $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA simulation and postoperative ^{90}Y distribution verification by whole-body planar scintigraphy and hepatic SPECT/CT imaging. ROIs of the liver and lungs under the anterior-posterior position were delineated on the planar scintigraphy and LSF of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA and ^{90}Y were calculated. The volume of interest (VOI) was drawn on the SPECT/CT images to calculate the nuclide distribution volume of both $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA and ^{90}Y within the liver. Wilcoxon signed rank test was used to compare the difference between two groups. In addition, the liver was divided into five lobes, namely left lateral lobe, left medial lobe, caudate lobe, right anterior lobe and right posterior lobe. Visual assessment of ^{90}Y and $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA radioactive distribution was performed (^{90}Y and $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA uptakes were graded on a scale of 0-3,

where 0 indicated no nuclide accumulation and 3 indicated heavy accumulation). *Kappa* consistency test was used to analyze the scores of the corresponding lobes between two groups. **Results** LSF for $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA was 11.60% (4.27%, 15.03%), and LSF for ^{90}Y was 11.80% (9.70%, 13.30%), without significant difference ($Z = -1.50, P = 0.134$). The distribution volume of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA within the liver was 542.63 (204.00, 818.00) ml, which was significantly different from that of ^{90}Y (688.69 (287.00, 954.00) ml; $Z = -7.37, P < 0.001$). *Kappa* values of the score of each lobe between $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA imaging and ^{90}Y imaging were 0.469–0.740 (all $P < 0.001$). **Conclusions** $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA simulation is reliable for assessing LSF for ^{90}Y -SIRT. The distribution volume of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA is generally smaller than that of ^{90}Y , but the consistency of the visual score of radioactive distribution is high. Overall, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA may well simulate the distribution pattern of ^{90}Y -SIRT.

【Key words】 Liver neoplasms; Radiotherapy; Yttrium radioisotopes; Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed; Technetium Tc 99m aggregated albumin

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81960556)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240808-00285

原发性肝癌发病率与病死率均较高^[1],同时肝脏还是恶性肿瘤好发的转移器官之一,以结直肠癌转移瘤最常见^[2]。 ^{90}Y -选择性内放射治疗(selective internal radiation therapy, SIRT)是肝脏恶性肿瘤(特别是中晚期不可切除者)的重要内放射治疗手段,其将载有 ^{90}Y 的微球通过选择性插管方式注射到靶治疗区域,经 ^{90}Y β^- 衰变产生电离辐射杀伤肿瘤组织,具有能量高、定位准、安全性强等特点。在 ^{90}Y -SIRT前,需行选择性血管造影,以确认治疗靶区的血液供应以及有无肝外分流,随后注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -大颗粒聚白蛋白(macroaggregated albumin, MAA)模拟 ^{90}Y 微球分布并,计算处方剂量。评估治疗中肺辐射吸收剂量对保证治疗安全性至关重要,肺分流率(lung shunt fraction, LSF)为评估参数之一。本研究对比 ^{90}Y -SIRT术后与术前相应 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA显像的LSF以及SPECT/CT核素分布体积与放射性分布视觉评分,初步探究其差异性与一致性。

资料与方法

1.研究对象。本研究通过广州医科大学附属第二医院伦理委员会审批(批件号:2024-hg-ks-45-02)。回顾性收集2022年11月至2024年6月间在广州医科大学附属第二医院因肝恶性肿瘤行 ^{90}Y -SIRT(载体为树脂微球)的患者。

入组标准:(1)按照相关指南的诊断标准^[3-4],经活组织检查病理或影像学结合血清学检查确诊为原发性肝癌或肝转移瘤;(2)患者均行术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA(北京欣科思达医药科技有限公司)模拟和术后 ^{90}Y 分布验证的全身平面与肝部SPECT/CT显像,且资料完整。排除标准:(1)术前LSF>20%和(或)预估肺吸收剂量 ≥ 30 Gy;(2)肿瘤与正常肝核素分布比率较低;(3)胃肠道有 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA分布。

最终纳入患者91例,男78例、女13例,年龄(56.7 \pm 13.7)岁。

2.图像采集。(1) $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA的图像采集。显像采用德国Siemens Intevo 6 SPECT/CT仪,使用低能通用型准直器。患者注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA后1 h内,先行平面显像,取仰卧位行前后位采集,矩阵为256 \times 1 024,包含全身范围,检查床移动速度为20 cm/min,采集时间约10 min;再行SPECT/CT采集,范围至少包括全肝,能窗为140($\pm 10\%$) keV,矩阵为256 \times 256,双探头采集,每6 $^\circ$ 采集1帧,旋转角度180 $^\circ$,每帧采集20 s;CT扫描:电压120 kV,电流100 mA。SPECT/CT图像采用有序子集最大期望值迭代法重建,并行衰减与散射校正。

(2) ^{90}Y 的图像采集。仪器同术前显像,使用高能通用型准直器。患者注射 ^{90}Y (Sirtex Medical Pty Ltd,新加坡)后24 h内,进行韧致辐射平面显像,前后位采集,矩阵为256 \times 1 024,包含全身范围,检查床移动速度为20 cm/min,采集时间约10 min;再行SPECT/CT采集,范围至少包括全肝,能窗为90~125 keV,矩阵为256 \times 256,双探头采集,每6 $^\circ$ 采集1帧,旋转角度180 $^\circ$,每帧采集30 s;CT扫描:电压120 kV,电流100 mA。对SPECT/CT图像进行重建及衰减与散射校正(方法同术前显像)。

3.图像处理。(1)LSF与肝内核素分布体积的测算。依据相关共识^[5],在德国Siemens SyngoMI (VB10D)工作站上,参考对应的普通CT冠状位胸部与肝脏图像,在平面显像上调整合适的色阶,显示相应的左右双肺与肝脏轮廓,分别勾画肝与双肺前后位6个ROI(^{90}Y 图像有一定的散射,勾画ROI时参考 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA图像,以保持一致性),读取相应的放射性计数。其中,肺的计数等于双肺前后位ROI计数的几何均数,肝脏的计数等于前后位ROI计数的几何均数,测算得到 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA与 ^{90}Y 的LSF[LSF=肺的计数/(肺的计数+肝脏的计数)],如图1所示。在SPECT/CT图像上,利用“体积分析(Volumetric Analysis)”软件,采用“三维核素轮廓(3D Isocon-

tour)”选取合适的阈值,半自动勾画肝内主要核素分布的感兴趣体积(volume of interest, VOI),测算肝内⁹⁹Tc^m-MAA 与⁹⁰Y 的核素分布体积,如图 2 所示。

(2)肝内放射性分布的视觉评分。按照 Couinaud 分段法标准,将肝分为 5 个叶(左外侧叶、左内侧叶、尾状叶、右肝前叶和右肝后叶),进行放射性分布的视觉评分。依据默认图注色阶(最高 100%),对⁹⁰Y 和⁹⁹Tc^m-MAA 浓聚程度均按 0~3 分进行分级:0 分表示无核素浓聚,1 分对应色阶为 1%~33% 所示颜色(轻度浓聚),2 分对应色阶为 34%~66% 所示颜色(中度浓聚),3 分对应色阶为 67%~100% 所示颜色(重度浓聚)。将 5 个叶的分数相加得到总分,计算⁹⁰Y 和⁹⁹Tc^m-MAA 总分的绝对差值(理论上为 0~15)。

4.统计学处理。应用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。采用 Wilcoxon 符号秩检验比较⁹⁹Tc^m-MAA 与⁹⁰Y 组间 LSF 及分布体积差异,对 2 组间对应各叶的放射性分布视觉评分进行 Kappa 一致性检验。Kappa ≤ 0.4 表示一致性差,0.4 < Kappa ≤ 0.6 表示一致性中等,0.6 < Kappa ≤ 0.8 表示一致性较高,Kappa > 0.8 表示一致性极高。P < 0.05 为差异或一致性有统计学意义(双侧检验)。

结 果

1.患者一般资料。91 例患者共行⁹⁰Y-SIRT 99 例次,

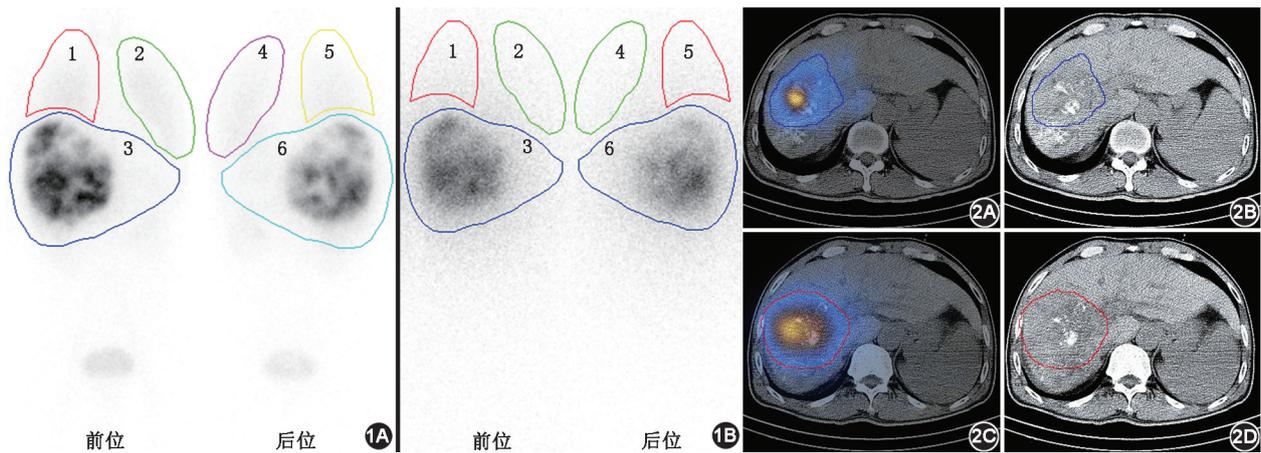


图 1 肝细胞癌患者(男,40 岁)⁹⁰Y-选择性内放射治疗(SIRT)术前、术后影像学检查图。1A.术前⁹⁹Tc^m-大颗粒聚合白蛋白(MAA)平面显像中双肺(1,2,4,5)及肝脏(3,6)ROI 勾画示意图,测得肺分流率(LSF)为 10.6%;1B.术后⁹⁰Y 平面显像中双肺(1,2,4,5)及肝脏(3,6) ROI 勾画示意图,测得 LSF 为 8.5% 图 2 肝细胞癌患者(男,48 岁)⁹⁰Y-SIRT 术前、术后影像学检查图。2A,2B.术前⁹⁹Tc^m-MAA SPECT/CT 显像图(2A)及其对应 CT 图(2B),蓝色线条勾画为肝内主要核素分布的感兴趣体积(VOI)平面示意图,测得的体积为 376 ml,放射性分布的视觉评分为:右肝前叶 2 分,右肝后叶 2 分,尾状叶 1 分;2C,2D.术后⁹⁰Y SPECT/CT 显像图(2C)及其对应 CT 图(2D),红色线条勾画为肝内主要核素分布的 VOI 平面示意图,测得的核素主要分布体积为 446 ml,放射性分布的视觉评分为:右肝前叶 3 分,右肝后叶 2 分,尾状叶 1 分

其中 8 例患者行 2 次治疗,余 83 例均行 1 次治疗。本研究按 99 例次治疗进行分析。其中,肝细胞癌 76 例次,胆管细胞癌 9 例次,肝转移瘤 14 例次;单发病灶 43 例次,多发病灶 56 例次。输注的⁹⁹Tc^m-MAA 总剂量为(155.40±57.72) MBq,实际输注⁹⁰Y 剂量为(1.56±1.04) GBq。⁹⁹Tc^m-MAA 模拟与⁹⁰Y-SIRT 的时间间隔为(7.23±2.01) d。

2. LSF 与核素分布体积的对比。⁹⁹Tc^m-MAA 的 LSF 为 11.60%(4.27%,15.03%),⁹⁰Y 的 LSF 为 11.80%(9.70%,13.30%),两者差异无统计学意义($Z = -1.50, P = 0.134$)。肝内⁹⁹Tc^m-MAA 的分布体积为 542.63(204.00,818.00) ml,肝内⁹⁰Y 的分布体积为 688.69(287.00,954.00) ml,两者差异有统计学意义($Z = -7.37, P < 0.001$)。

3.肝内放射性分布视觉评分的对比。⁹⁹Tc^m-MAA 与⁹⁰Y 显像肝各叶视觉评分的 Kappa 值为 0.469~0.740(均 $P < 0.001$;表 1)。2 组总分的绝对差值为 1(0,2)分;其中,0 分占 38.4%(38/99),1 分占 30.3%(30/99),2 分占 21.2%(21/99),3 分占 8.1%(8/99),4 分占 2.0%(2/99)。

讨 论

⁹⁹Tc^m-MAA 与⁹⁰Y 微球类似,是目前最常被推荐用于⁹⁰Y-SIRT 术前模拟的放射性药物之一,可以预判肿瘤的治疗效果和肿瘤外组织的安全性^[6]。两者直径与密度不同:⁹⁹Tc^m-MAA 的颗粒直径为 10~

表 1 肝各叶⁹⁹Tc^m-MAA 与⁹⁰Y 对应放射性分布视觉评分的 Kappa 一致性分析

肝叶	⁹⁹ Tc ^m -MAA(例)				⁹⁰ Y(例)				Kappa 值	P 值
	0 分	1 分	2 分	3 分	0 分	1 分	2 分	3 分		
左外侧叶	75	4	5	15	73	5	8	13	0.708	<0.001
左内侧叶	69	2	6	22	69	4	7	19	0.740	<0.001
尾状叶	55	28	9	7	70	16	4	9	0.469	<0.001
右肝前叶	22	8	9	60	24	4	22	49	0.627	<0.001
右肝后叶	35	6	9	49	41	10	13	35	0.648	<0.001

注:MAA 为大颗粒聚合白蛋白

90 μm ^[7], 密度为 1.1 g/ml; ⁹⁰Y-树脂微球的直径为 20~60 μm , 密度为 1.6 g/ml。一次性注射 ⁹⁹Tc^m-MAA 的颗粒数可能为几十万, 而 ⁹⁰Y-SIRT 使用的颗粒数为几百万至几千万不等^[8], 这可能使两者产生不同的血流动力学表现。此外, 两者的能量也不相同, 由于 ⁹⁰Y 韧致辐射的特殊性, 使用的准直器对 ⁹⁰Y 的图像质量有影响, 故本中心采用分辨率更佳的高能准直器。另外, ⁹⁹Tc^m-MAA 可在体内发生脱标或降解, 产生的高锝酸根离子易游离至甲状腺、胃黏膜、肺血管床等, 因此需在配药完成后 1~2 h 内尽快注射和扫描^[9]。除此之外, 模拟效果还会受前后 2 次介入手术导管头在血管中的位置以及肿瘤血管床是否完全相同的影响^[10]。因此, ⁹⁹Tc^m-MAA 模拟 ⁹⁰Y 分布不完全一致的原因可能如下: (1) 两者粒径与数量、能量的差别; (2) ⁹⁹Tc^m-MAA 的不稳定性和介入操作; (3) 肿瘤的进展导致血流动力学变化等。

瘤内动静脉沟通或形成分流是肿瘤血管系统的特征之一, 较高的 LSF 在肝恶性肿瘤中并不少见。而肺组织对电离辐射敏感, 在 ⁹⁰Y-SIRT 中 LSF 越高, 发生放射性肺炎的概率越大, 一般认为 LSF>20%, 或单次肺吸收剂量>30 Gy, 以及累计吸收剂量>50 Gy, 不适合行 ⁹⁰Y-SIRT^[11]。尽管有研究认为, 平面显像可能会高估 LSF, 但 SPECT/CT 勾画 VOI 耗时较长^[12], 因此仍以平面显像为主。本研究中 ⁹⁹Tc^m-MAA 与 ⁹⁰Y-SIRT 术后 LSF 差异未见统计学意义。Lambert 等^[13]发现, ⁹⁹Tc^m-MAA 平面显像测算 LSF 与肝恶性肿瘤类型无关, 判断者间的测算差异也不明显, 过高的 LSF 可能与 ⁹⁹Tc^m-MAA 脱标或降解导致的图像的质量下降有关。Jha 等^[14]统计了 19 例 ⁹⁹Tc^m-MAA 与 ⁹⁰Y 的 LSF 的相关性, 得到的相关系数为 0.96, 数据测算同样来源于平面显像, 图像采集条件也与本研究基本一致。本研究纳入病例在随访中尚未发现有放射性相关肺炎的发生, 这为采用 ⁹⁹Tc^m-MAA 模拟 ⁹⁰Y 的 LSF 增强了信心。

⁹⁰Y 的分布和处方剂量的计算依赖于肝动脉血

管的选择和 ⁹⁹Tc^m-MAA 的模拟, 特别是对于“分区模型”^[15]。Wondergem 等^[16]按照 Couinaud 标准, 将肝脏分为 8 段, 对 39 例患者进行 Bland-Altman 分析, 发现在>10%的水平上, 有 68%的肝段两者分布的差异有统计学意义, 原因可能是导管头在肝动脉中的位置有少许差异, 特别是当其位于血管分叉或有小支分流时。Ilhan 等^[17]则发现, 术后 ⁹⁰Y 在肿瘤的浓聚程度通常比 ⁹⁹Tc^m-MAA 高。本研究初步测算得到, ⁹⁰Y 实际分布体积比 ⁹⁹Tc^m-MAA 大, 推测与前者注射微球数量较多有关。两者各叶的放射性分布视觉评分一致性较高, 有可能得益于本中心严格把控介入导管位置以及积极对不必要的血管分流进行栓塞。而在剂量学对比方面, 有学者提出, ⁹⁰Y PET 图像质量更优, 在术后剂量验证中更具有优势^[18-19]。

本文的不足之处: (1) 部分患者行 ⁹⁹Tc^m-MAA 与 ⁹⁰Y SPECT/CT 扫描时, 2 个床位并未将肺尖包全, 因此未在 SPECT/CT 测算 LSF 进行对比; (2) ⁹⁰Y 韧致辐射显像散射较明显, 右肺底与肝上缘有时放射性信号有重叠, 加上呼吸伪影和容积效应, 可能会对 ROI 勾画的准确性有一定的影响; (3) 未行剂量学的验证与对比, 这将是本中心今后利用 ⁹⁰Y 术后 PET/CT 数据开展研究的方向。

⁹⁰Y-SIRT 术前 ⁹⁹Tc^m-MAA 模拟评估 LSF 的可靠性较强。⁹⁹Tc^m-MAA 的分布体积通常较术后 ⁹⁰Y 小, 但两者放射性分布视觉评分的一致性较高。除外两者固有的物理特性不同, 准确把握注射时选择血管和放置导管位置的一致, 能够使 ⁹⁹Tc^m-MAA 更好地模拟 ⁹⁰Y-SIRT 的分布。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 尤鸿吉: 研究实施、论文撰写; 熊敏、冯静敏: 数据解析、统计学分析; 李傲、梁礼聪、林立腾: 论文修改; 武兆忠、朱康顺、姜圣男: 研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74

- (3): 229-263. DOI:10.3322/caac.21834.
- [2] Kow A. Hepatic metastasis from colorectal cancer[J]. *J Gastrointest Oncol*, 2019, 10(6): 1274-1298. DOI:10.21037/jgo.2019.08.06.
- [3] 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].*中国普通外科杂志*, 2024, 33(4): 475-530. DOI:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001.
Department of Medical Administration, National Health Commission of the People's Republic of China. Guidelines for the diagnosis and treatment of primary liver cancer(2024 edition)[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(4): 475-530. DOI:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001.
- [4] 中国医师协会外科医师分会,中华医学会外科学分会胃肠外科学组,中华医学会外科学分会结直肠外科学组,等.中国结直肠癌肝转移诊断和综合治疗指南(2023版)[J].*中华消化外科杂志*, 2023, 22(1): 1-28. DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20221228-00762.
Chinese College of Surgeons, Chinese Society of Gastrointestinal Surgery, Chinese Society of Colorectal Surgery, et al. Chinese guidelines for the diagnosis and comprehensive treatment of colorectal liver metastases(2023 edition)[J]. *Chin J Dig Surg*, 2023, 22(1): 1-28. DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20221228-00762.
- [5] 中国临床肿瘤学会核医学专家委员会,北京市核医学质量控制和改进中心.钇-90(⁹⁰Y)微球选择性内放射治疗原发性和转移性肝癌的中国专家共识[J].*中华肝脏病杂志*, 2021, 29(7): 648-658. DOI:10.3760/cma.j.cn501113-20210302-00103.
Nuclear Medicine Committee, Chinese Society of Clinical Oncology, Beijing Nuclear Medicine Quality Control and Improvement Center. Chinese expert consensus on selective internal radiation therapy with yttrium-90 for primary and metastatic hepatocellular carcinoma[J]. *Chin J Hepatol*, 2021, 29(7): 648-658. DOI:10.3760/cma.j.cn501113-20210302-00103.
- [6] Busse NC, Al-Ghazi M, Abi-Jaoudeh N, et al. AAPM medical physics practice guideline 14.a: yttrium-90 microsphere radioembolization[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2024, 25(2): e14157. DOI:10.1002/acm2.14157.
- [7] Jensen SB, Meyer LS, Nielsen NS, et al. Issues with the European pharmacopoeia quality control method for ^{99m}Tc-labelled macroaggregated albumin[J]. *Molecules*, 2022, 27(13): 3997. DOI:10.3390/molecules27133997.
- [8] Weber M, Lam M, Chiesa C, et al. EANM procedure guideline for the treatment of liver cancer and liver metastases with intra-arterial radioactive compounds[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(5): 1682-1699. DOI:10.1007/s00259-021-05600-z.
- [9] Young S, Flanagan S, D'Souza D, et al. Lung shunt fraction calculations before Y-90 transarterial radioembolization; comparison of accuracy and clinical significance of planar scintigraphy and SPECT/CT[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2023, 104(4): 185-191. DOI:10.1016/j.diii.2022.12.002.
- [10] d'Abadie P, Walrand S, Lhommel R, et al. A theranostic approach in SIRT: value of pre-therapy imaging in treatment planning[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(23): 7245. DOI:10.3390/jcm11237245.
- [11] Stella M, van Rooij R, Lam M, et al. Lung dose measured on post-radioembolization ⁹⁰Y PET/CT and incidence of radiation pneumonitis[J]. *J Nucl Med*, 2022, 63(7): 1075-1080. DOI:10.2967/jnumed.121.263143.
- [12] Elsayed M, Ermentrout RM, Sethi I, et al. Incidence of radioembolization-induced liver disease and liver toxicity following repeat ⁹⁰Y-radioembolization: outcomes at a large tertiary care center[J]. *Clin Nucl Med*, 2020, 45(2): 100-104. DOI:10.1097/RLU.0000000000002828.
- [13] Lambert B, Mertens J, Sturm EJ, et al. ^{99m}Tc-labelled macroaggregated albumin (MAA) scintigraphy for planning treatment with ⁹⁰Y microspheres[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2010, 37(12): 2328-2333. DOI:10.1007/s00259-010-1566-2.
- [14] Jha AK, Zade AA, Rangarajan V, et al. Comparative analysis of hepatopulmonary shunt obtained from pretherapy ^{99m}Tc MAA scintigraphy and post-therapy ⁹⁰Y bremsstrahlung imaging in ⁹⁰Y microsphere therapy[J]. *Nucl Med Commun*, 2012, 33(5): 486-490. DOI:10.1097/MNM.0b013e328351672d.
- [15] 中国医师协会介入医师分会临床诊疗指南专委会,中国研究型医院学会肝胆胰外科专业委员会.钇-90微球选择性内放射治疗肝脏恶性肿瘤规范化操作专家共识(2024版)[J].*中华消化外科杂志*, 2024, 23(2): 165-178. DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20231025-00164.
Chinese Medical Doctor Association, Clinical Guidelines Committee of Chinese College of Interventionalists Chinese Research Hospital Association, Society for Hepato-pancreato-biliary Surgery. Expert consensus on the standardized procedure of selective internal radiation therapy with Yttrium-90 microspheres for liver malignancies (2024 edition)[J]. *Chin J Dig Surg*, 2024, 23(2): 165-178. DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20231025-00164.
- [16] Wondergem M, Smits ML, Elschot M, et al. ^{99m}Tc-macroaggregated albumin poorly predicts the intrahepatic distribution of ⁹⁰Y resin microspheres in hepatic radioembolization[J]. *J Nucl Med*, 2013, 54(8): 1294-1301. DOI:10.2967/jnumed.112.117614.
- [17] Ilhan H, Goritschan A, Paprotka P, et al. Predictive value of ^{99m}Tc-MAA SPECT for ⁹⁰Y-labeled resin microsphere distribution in radioembolization of primary and secondary hepatic tumors[J]. *J Nucl Med*, 2015, 56(11): 1654-1660. DOI:10.2967/jnumed.115.162685.
- [18] 王玉君,于丽娟,潘登,等. ⁹⁰Y PET/CT和⁹⁰Y韧致辐射SPECT/CT显像评估肝恶性肿瘤⁹⁰Y-选择性内放射治疗后辐射剂量的对比[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(3): 159-163. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230216-00038.
Wang YJ, Yu LJ, Pan D, et al. Comparison of ⁹⁰Y PET/CT and ⁹⁰Y bremsstrahlung SPECT/CT imaging in evaluation of radiation dose after ⁹⁰Y-selective internal radiation therapy in liver malignancies[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(3): 159-163. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230216-00038.
- [19] 郭广义,施伟军,倪发强,等. ⁹⁰Y PET/CT显像技术初探:1例报告[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2023, 43(11): 689-690. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220906-00280.
Guo GY, Shi WJ, Ni FQ, et al. Preliminary study of PET/CT imaging with ⁹⁰Y: a case report[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 43(11): 689-690. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220906-00280.

(收稿日期:2024-08-08)