

钇-90 微球放射栓塞治疗肝脏恶性肿瘤患者的术前评估与术后随访——钇-90 微球放射栓塞系列回顾(二)

贾中芝, 赵 添, 王斯妮, 郑丽丽, 胡红杰, 王维平

【摘要】 钇-90(⁹⁰Y)放射栓塞治疗可以直接将大剂量的放射性物质带到靶肿瘤组织内,是治疗肝脏恶性肿瘤的一种有效方法。与 TACE 治疗不同,⁹⁰Y 微球放射栓塞术后不良反应的发生率更低,如腹痛、发热、恶性、呕吐。然而,⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗的有效性和安全性取决于术前仔细的评估和术后密切的随访。本文将详细讨论肝脏恶性肿瘤患者接受 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗前的准备工作和术后随访。

【关键词】 钇-90; 玻璃微球; 树脂微球; 评估; 随访

中图分类号:R735.7 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2017)-11-1057-06

Series review of radioembolization with yttrium-90 microspheres (Part II): pre-treatment evaluation and post-treatment follow-up for patients with hepatic malignancy receiving yttrium-90 microspheres embolization JIA Zhongzhi, ZHAO Tian, WANG Sini, ZHENG Lili, HU Hongjie, WANG Weiping. Department of Interventional Radiology, Affiliated Changzhou Municipal No.2 People's Hospital, Nanjing Medical University, Changzhou, Jiangsu Province 213003, China

Corresponding author: WANG Weiping, E-mail: wang.weiping@mayo.edu

【Abstract】 Yttrium-90 (⁹⁰Y) radioembolization therapy can directly deliver a high dose of radiation to the tumor being targeted, which has been demonstrated to be effective in treating patients with hepatic malignancy. Compared with transarterial chemoembolization, ⁹⁰Y radioembolization is less frequently associated with toxicities such as abdominal pain, fever, nausea, and vomiting. However, the efficacy and safety of ⁹⁰Y radioembolization therapy are largely reliant on careful preprocedural evaluation and diligent follow-up. This review discusses the details of essential preprocedural work-up and postprocedural follow-up for patients treated with ⁹⁰Y radioembolization.(J Intervent Radiol, 2017, 26: 1057-1062)

【Key words】 yttrium-90; TheraSpheres; SIR-Spheres; evaluation; follow-up

熟练掌握适应证并进行密切的术后随访是取得钇-90(⁹⁰Y)微球放射栓塞治疗肝脏恶性肿瘤最佳疗效的关键,也是安全开展这项技术的重要保障。如果患者选择不当,不但无法获得理想的治疗效果,而且还会显著增加并发症的发生率;而术后随

访是对疗效进行客观的评价,并可以早期发现和处理并发症。本文将详细介绍 ⁹⁰Y 微球放射栓塞术前患者的评估及术后随访相关的基本知识和要求。

1 ⁹⁰Y 微球治疗的适应证和禁忌证

1.1 适应证

⁹⁰Y 微球放射栓塞目前主要用于治疗中晚期肝脏恶性肿瘤,目标是延长患者生存期、改善生存质量。对于少数患者,⁹⁰Y 微球治疗可以使肿瘤降级,为手术切除或肝脏移植创造条件。目前,国际市场上有两种 ⁹⁰Y 微球产品供临床使用,即 TheraSpheres(玻璃微球,British Technology Group,英国)和 SIR-Spheres(树脂微球,Sirtex Medical,澳大利亚)。美国

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2017.11.022

基金项目:江苏省青年医学人才项目(QNRC2016270);常州市高层次卫生人才培养工程项目(2016CZBJ009)

作者单位:213003 江苏常州 南京医科大学附属常州市第二人民医院介入血管科(贾中芝);温州医科大学附属第一医院介入科(赵 添、王斯妮、郑丽丽);浙江大学医学院邵逸夫医院放射科(胡红杰);美国梅奥诊所放射科(王维平)

通信作者:王维平 E-mail: wang.weiping@mayo.edu

食品药品监督管理局(FDA)在批准以上两种产品时明确规定, TheraSpheres 适用于不可手术切除的肝细胞肝癌(hepatocellular carcinoma, HCC), 而 SIR-Spheres 只用于治疗不可手术切除的结直肠癌肝转移(colorectal cancer liver metastases, CRCLM)。自 FDA 批准以来, 临床上对上述两种产品扩大适应证使用的情况非常普遍, 如 TheraSpheres 用于治疗转移性肝癌, SIR-Spheres 用于治疗 HCC 或其他类型的转移性肝癌^[1]。不仅如此, 还有多个关于两种 ⁹⁰Y 微球扩大适应证的前瞻性研究正在进行中, 预计 ⁹⁰Y 微球治疗的适应证将会随着研究的深入而逐渐扩大^[2]。

1.2 禁忌证

⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗的禁忌证并不多, 主要考虑对肿瘤的治疗效果, 以及这一治疗可能带来的并发症和不良反应。绝对禁忌证包括: ①东部肿瘤协作组织(Eastern Cooperative Oncology Group, ECOG) 体能状态评分 > 2 分; ②严重肝功能损伤; ③肝内活动性感染; ④广泛的肝外转移; ⑤不可纠正的肝动脉-胃肠道动脉分流; ⑥肝分流百分数(lung shunt fraction, LSF)超过安全阈值(玻璃微球 > 10%, 树脂微球 > 20%), 或单次肺部辐射剂量超过 30 Gy(16.5 mCi) 或累积剂量超过 50 Gy; ⑦孕妇或哺乳期妇女^[2]。相对禁忌证为不可纠正的凝血功能异常、严重的对比剂过敏、肾功能不全、胆红素水平极度升高及严重的腹水。SIR-Spheres 制造商还将下列条件列为使用他们产品(树脂微球)的禁忌证: ①肝脏曾接受过外放射治疗; ②门静脉血栓; ③腹水或肝功能衰竭; ④ 2 个月内使用过, 或在 ⁹⁰Y 微球治疗后的任何时间计划使用卡培他滨(capecitabine)治疗。

2 患者的筛选、评估

术前安全评估是 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗肝脏恶性肿瘤不可缺少的一部分。与 TACE 治疗一样, 对于病史、体格检查、实验室检查、肝脏储备功能及影像学检查等都必须进行充分的评估, 同时, 对于 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗可能造成的特殊并发症需要高度重视。无论选择哪一种 ⁹⁰Y 微球产品, 都要对患者进行术前系统评估, 从而判断严重并发症的风险, 以及患者能否从这一治疗中获益。

2.1 病史、体格检查、体能状态、肝脏储备功能及肺功能

必须强调病史和体格检查在 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗中的重要性。一个不能忽视的病史是患者是否

正在接受化疗, 这类患者通常需要在接受 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗前停药 2 周, 术后 2 周才可以恢复化疗。

体能评估是进行 ⁹⁰Y 微球治疗的患者一个较为特殊的项目。大量证据显示, 患者的体能状态不同, 预后也不同, 即体能状态越差, 患者并发症的风险和死亡率也越高^[3]。⁹⁰Y 微球治疗指南指出 ECOG 评分为 0~2 分或 Karnofsky 评分为 60%~100% 时, 患者可以耐受 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗, 而 ECOG 评分 > 2 分或 Karnofsky 评分 < 60% 时, 不能进行 ⁹⁰Y 微球治疗(表 1)^[2]。

表 1 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗对患者体能状态及肝脏储备功能的基本要求

参数	范围
体能状态	
ECOG 评分	0~2 分
或 Karnofsky 评分	60%~100%
肝脏储备功能*	
Child-Pugh 分级	A 或 B 级

*为公认的较为安全标准

⁹⁰Y 微球治疗肝脏恶性肿瘤还需要对肝脏的储备功能进行评估, 因为选择性动脉灌注 ⁹⁰Y 微球不可避免的会有 ⁹⁰Y 微球进入肿瘤组织以外的正常肝组织, 从而对肝脏造成放射性损伤。Child-Pugh 分级是最常用于评估肝脏储备功能的方法。通常认为, Child-Pugh A/B 级患者接受 ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗的安全性较高(表 1)。尽管有个别报道 Child-Pugh C 级的患者可以耐受 ⁹⁰Y 微球治疗^[4], 但必须要采取极其谨慎的态度, 并全面衡量 ⁹⁰Y 微球治疗的利弊。另一个不可忽视的是肺功能, 因肝脏恶性肿瘤有导致肝内动静脉瘘的倾向, 从而出现肝-肺分流。进入肺循环的 ⁹⁰Y 微球可以使肺功能受到不同程度的损伤, 尤其是在已经有慢性肺部疾病的患者, 所以肺功能的评估异常重要。

2.2 实验室指标

大量的临床证据表明, ⁹⁰Y 微球放射栓塞治疗的并发症与以下 4 个实验室指标密切相关, 即白细胞、血小板、肌酐、总胆红素。虽然两种 ⁹⁰Y 微球产品的供应商并未对上述指标给出具体的要求, 并且最新的指南中也未进行明确的阐述^[2]。但多数学者认为, 当以上实验室数据严重异常时, 患者的并发症风险会明显增加^[5-6]。我们总结了目前公认的较为安全的实验室指标的标准(表 2)。

2.3 影像学检查

影像学检查是对肿瘤病灶大小, 数量以及范围进行直观和定量分析的手段, 因而对诊疗方案的制

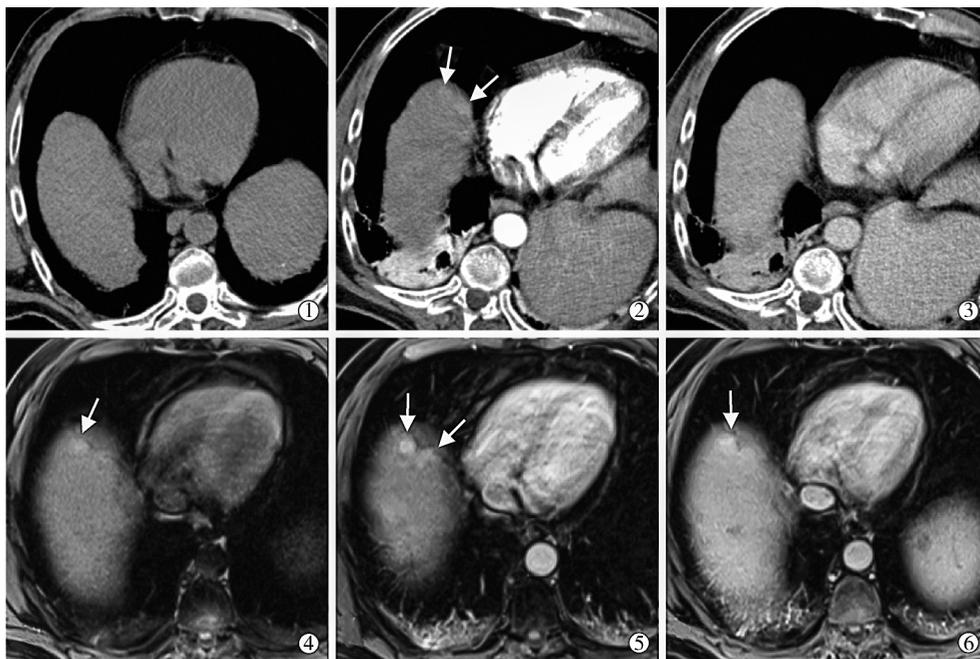
表 2 安全实施 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗的四个实验室指标及公认的较为安全标准

参数	范围
白细胞	$>1.5 \times 10^9/\text{L}$
血小板	$>50 \times 10^9/\text{L}$
肌酐/ $(\mu\text{mol}/\text{L})$	<176
总胆红素/ $(\mu\text{mol}/\text{L})$	<34.2

定, 以及评价肿瘤对治疗的反应起着关键性的作用。 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗的术后并发症也往往在影像学上有所反映。影像学检查主要包括: X 线平片、超声、CT、MRI、单光子发射计算机断层成像术 (single-photon emission computed tomography, SPECT)、正电子发射计算机断层显像 (positron emission tomography/computed tomography, PET-CT)、选择性

动脉造影及动脉造影过程中进行的 C 臂 CT 检查。

肝脏 CT 或 MRI (平扫+增强) 是必须的检查项目, 它们不但可以对肝脏病灶进行全面详细的评估, 包括肿瘤血供特征、肿瘤分布、肿瘤数目、门静脉癌栓、肝动静脉瘘、肝硬化及肝硬化的程度以及腹腔积液和腹部淋巴结转移等, 还可以观察肿瘤病灶对治疗的反应以及是否发生并发症。由于 MRI 可采用多种序列对肿瘤组织进行显像, 对判断肿瘤病灶的活性明显优于 CT, 所以大多学者推荐优先使用 MRI 检查 (图 1)^[7]。有研究报道, 增强 MRI 检查在评估 ^{90}Y 微球放射栓塞疗效方面优于 PET-CT^[8-9], 且无放射性, 尤其适合对转移性肝脏恶性肿瘤的疗效评估。



①~③为 CT 检查, 分别为: ①平扫; ②动脉期; ③静脉期, 动脉期隐约可见膈顶部 2 个异常增强影 (箭头); ④~⑥为 MRI, 分别为: ④T1 序列; ⑤动脉期; ⑥静脉期。图像均清晰显示膈顶部肝癌病灶, 外侧病灶相对较为明显 (箭头)

图 1 53 岁男性 HCC 患者

选择性动脉造影是 ^{90}Y 微球治疗前的常规显像技术, 主要目的是对肝动脉解剖、肿瘤供血动脉、危险动脉、危险吻合进行全面评估以及必要的预防性处理, 以降低非靶器官放射性损伤的发生率。使用 C 臂 CT 检查, 可以帮助了解复杂和细微的解剖结构和血供关系。上述两种检查涉及的内容较多, 将分别作为本系列综述的内容之一进行单独介绍。

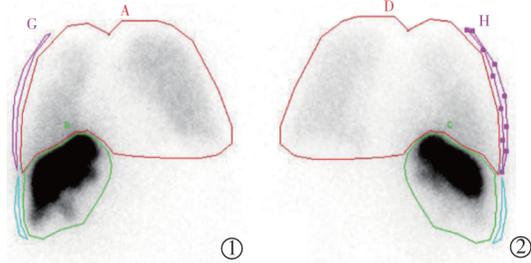
核医学影像学检查在 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗中是一个不可缺少的组成部分, 包括 PET-CT 对 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗前后的肿瘤评估, 以及下面分别要讨论的术前计算 LSF 和术后对有无发生非靶器

官灌注进行评估。

2.4 LSF

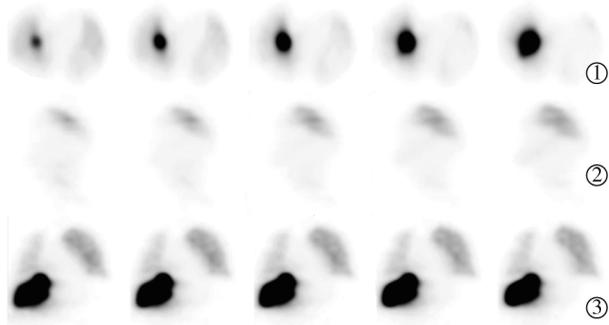
肺分流是指从肝动脉注入的 ^{90}Y 微球经肝内存在的动静脉短路进入肺循环 (经肝静脉-下腔静脉-右心房-右心室-肺动脉)。为了避免因 ^{90}Y 微球异位栓塞至肺脏导致的放射性肺炎, 术前应对肝内存在的短路常规进行评估。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的大颗粒白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA) 是核医学用于肺灌注显像的示踪剂, 其直径与 ^{90}Y 微球相似, 被用来模拟计算 ^{90}Y 微球的 LSF, 其基本原理为经肝动脉注入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA, 如肝内存在分流, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 不被肝脏滤过而到达肺脏。

通过闪烁扫描(图 2),或 SPECT(图 3)可以计算出 ^{99m}Tc -MAA 在肺和肝脏各自相对放射性强度(LSF = 肺总量/总量(肺+肝)),即可计算 LSF。LSF 用于描述从肝内分流进入肺的严重程度,是限制 ^{90}Y 微球剂量的一个重要因素(LSF 的具体评估方法及 LSF 对 ^{90}Y 微球剂量的影响将在后面的专题中进行介绍)。当 LSF > 10% 时,禁止使用 TheraSpheres,而使用 SIR-Spheres 可放宽至 20%。



①为前位,②为后位。图像显示肝脏右叶呈高密度分布区,两肺轮廓清晰,为部分 ^{99m}Tc -MAA 通过动静脉短路进入肺循环。两体位放射性分布经过平均后,通过公式计算 LSF。该例患者的 LSF 为 19.2%,为 TheraSphere 所禁忌,可以考虑采用 SIR-Spheres 进行治疗,但还需要综合考虑其他因素决定是否可以进行治疗

图 2 59 岁男性 HCC 患者,选择性动脉造影结束后,经肝右动脉注入 4.2 mCi ^{99m}Tc -MAA,之后行 γ 闪烁扫描



①排:SPECT 横断位;②排:SPECT 矢状位;③排:SPECT 冠状位。横断位与冠状位均显示肝脏右叶呈高放射性强度分布区,为栓塞在肝脏的 ^{99m}Tc -MAA。同时,通过分流进入肺脏的 ^{99m}Tc -MAA 也清晰可见,并呈均匀分布

图 3 与图 2 为同一个患者,注入 ^{99m}Tc -MAA 后的 SPECT 显像

3 分次或重复 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗的术前评估

^{90}Y 微球放射栓塞通常为一次性治疗,很少有多次治疗的情况,这是 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗与传统 TACE 治疗的重要区别。需要进行第 2 次 ^{90}Y 微球治疗的情况有 2 种,第 1 种是对肝内多发的肿瘤在不同的时间进行分次治疗,通常是第 1 次治疗 1 个肝叶,第 2 次为另 1 个肝叶;第 2 种是重复治疗同一

区域的肿瘤病灶,多数是因为肿瘤复发。第 2 次 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗多数情况下指的是第 1 种,即分次治疗。分次治疗的时间间隔通常为 1~3 个月,而对于第 2 种情况,即重复治疗,间隔则应大于 3 个月,因为肿瘤组织对 ^{90}Y 微球的放射性反应多在术后 3 个月左右达到高峰。另外,对复发患者进行再次治疗时要评估前一次治疗过的肿瘤对 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗的反应,如果肿瘤没有明显的缩小或坏死,则此类患者不适宜进行 ^{90}Y 微球重复治疗。

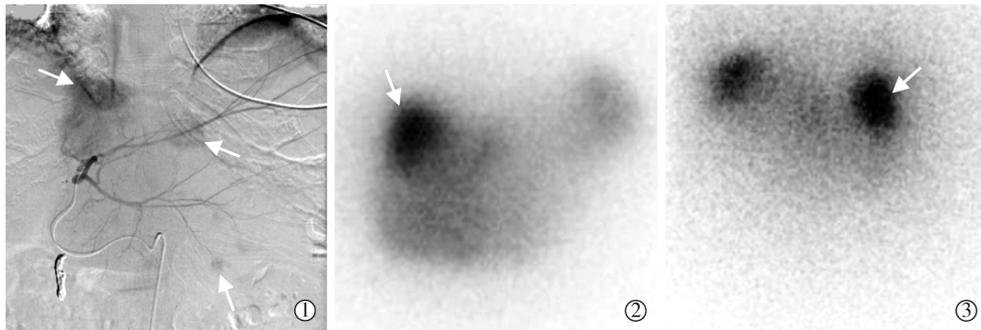
无论是分次还是重复治疗,再次进行 ^{90}Y 微球治疗时要保证肺脏的累积辐射剂量不能超过 50 Gy^[10](计算方法见后文)。但需要注意两种不同情况下患者的术前肺分流评估是有区别的。如果是分次治疗,HCC 与转移性肝癌的评估还有所不同,因为前者的肝动脉-肝静脉瘘的发生率远高于后者。所以,首次治疗 HCC 前肺分流评估的区域仅仅限于该次治疗的区域,在计划再次治疗前则局限于对尚待治疗的肿瘤区域进行评估;而分次治疗转移性肝癌时,则首次治疗前一次性对整个肝脏进行肝-肺分流评估即可,无须进行再评估^[11]。当重复治疗同一个病灶区域时,即第 2 种情况时,再次 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗前需要对肺分流进行重新评估。

4 术后随访和评估

如果在实施 ^{90}Y 微球治疗时怀疑有非靶器官灌注,或患者在接受治疗后立即或 24 h 之内出现剧烈的腹部疼痛,可以在不给患者注射放射性示踪剂的情况下,利用韧致辐射成像原理对患者进行核医学全身闪烁扫描(图 4)。 ^{90}Y 衰变时产生的高能 β 射线与组织相互作用时产生的次级 γ 射线,此为韧致辐射。体外扫描可以探测到次级 γ 射线,因而可以对 ^{90}Y 微球的分布进行客观的评价^[12]。

常规的术后随访和评估的目的是掌握肿瘤对 ^{90}Y 微球治疗的反应,以及相关的不良反应和并发症。评估的内容与术前大致相仿,重点包括询问病史、体格检查、实验室及影像学检查 4 方面的内容。需要特别强调:① ^{90}Y 微球治疗的不良反应和并发症通常发生在术后的 1 个月内;② ^{90}Y 微球治疗的疗效通常在术后 3 个月时最显著。所以术后的随访和评估应围绕这 2 个时间点展开。

^{90}Y 微球放射栓塞治疗引起的不良反应或栓塞综合征较 TACE 明显要轻^[13],但随访时要特别关注呼吸、胃肠道和肝脏功能相关的症状和体征。例如:持续干咳需要警惕有无放射性肺炎的发生;持续严



①肝左动脉造影证实肝左叶多发肿瘤病灶(箭头),于肝左动脉内灌注 SIR-Spheres 治疗;②③术后立即行韧带辐射胸/腹部联合闪烁扫描,②为前位,③为后位,证实 SIR-Spheres 分布于肝左叶,2 个主要肿瘤病灶部位呈明显的高放射性浓聚(箭头),未见 SIR-Spheres 肝外分布,提示成功实施 ^{90}Y 微球靶向栓塞治疗

图 4 53 岁男性转移性肝癌患者

重的腹痛,需要进一步检查排除放射性胃肠道损伤的可能;皮肤和巩膜黄染,以及肝功能异常提示放射性肝病;腹部局部皮肤疼痛并伴有颜色改变可能与非靶器官放射栓塞有关,尤其是镰状动脉异位栓塞。

实验室检查需要重点观察白细胞、血小板、红细胞及胆红素的变化情况,因 ^{90}Y 微球不但会导致肝脏的放射性损伤(胆红素升高),还可能对患者的造血功能产生影响,进而导致白细胞、血小板、红细胞数量降低(相关的诊断、鉴别诊断及意义待后述)。另外,对于术前存在肾功能不全的患者,术后应严密观测肾功能的变化情况。

在影像学上, ^{90}Y 微球治疗后肿瘤组织出现坏死,体积变化等对治疗的反应通常需要在一段时间以后才能有所观察,因而,常规的术后影像学检查通常是在治疗后 3 个月进行,除非需要及时排除并发症和其他异常情况。评判 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗后肝脏恶性肿瘤反应大多采用改良实体瘤反应评

价标准法(mRECIST)。该方法对疗效的判断优于 RECIST、世界卫生组织(WHO)标准及欧洲肝脏研究协会(European Association for the Study of the Liver, EASL)标准^[14]。

通过术后临床随访,结合实验室和影像学的评估,临床医师可以在此基础上进一步制定合理的治疗和随访计划。例如, ^{90}Y 微球放射栓塞后出现肝脏肿瘤明显缩小并成为可切除性肿瘤,应积极推荐手术治疗;治疗失败,还可以考虑改用其他的治疗方法。如果怀疑存在并发症,应建议患者立即住院,并接受相关的检查和采取必要的治疗措施。

5 项目评估清单

患者的筛选、评估,以及术后随访是安全开展 ^{90}Y 微球治疗肝脏恶性肿瘤工作中简单却又不可缺少的环节。为了防止遗漏,我们列出了需要评估的项目,并且对各项目的重要性做了解释,以供大家在实际工作中使用(表 3)。

表 3 患者的术前筛选、评估与术后随访项目清单

项目	参数
1. 病史和体格检查(必须)	仔细、全面
2. 体能状态(必须)	ECOG 评分:0~2 分或 KPS 评分 $\geq 60\%$
3. 肝脏储备功能(必须)	Child-Pugh A/B(推荐标准)
4. 实验室指标(非必须)	白细胞 $>1.5 \times 10^9/\text{L}$, 血小板 $>50 \times 10^9/\text{L}$, 肌酐 $<176.8 \mu\text{mol/L}$, 总胆红素 $<34.2 \text{ mmol/L}$
5. 影像学检查(必须)	MRI 或 CT
6. 选择性动脉造影(必须)*	-
7. C 臂 CT 检查(非必须)*	可以辅助选择性动脉造影进行
8. LSF(必须)*	TheraSpheres $\leq 10\%$, SIR-Spheres $\leq 20\%$
9. 肺脏的辐射剂量计算(必须)*	单次肺脏辐射剂量 $\leq 30 \text{ Gy}$ (16.5 mCi) 或累积辐射剂量 $\leq 50 \text{ Gy}$ (27.5 mCi)
10. ^{90}Y 微球栓塞方案的制定(必须)	整个肝脏/一个肝叶/超选(肿瘤部位)
11. ^{90}Y 微球的剂量计算(必须)*	TheraSpheres 和 SIR-Spheres 计算方式不同
12. 并发症和不良反应评估(必须)*	通过随访、查体及辅助检查进行
13. 疗效评价(必须)	依靠影像学检查和肿瘤指标
14. 其他注意事项	如 ^{90}Y 微球治疗的适应证和禁忌证等

*: 将在后面的章节进行专门介绍

6 结论

肝脏恶性肿瘤患者在接受 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗前必须进行严格的筛选和评估,主要包括病史采集、体格检查、体能状态、肝脏储备功能、实验室指标及影像学检查等;术后需要严密随访,如 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗的并发症与不良反应,以及疗效的评价。这些工作是安全开展 ^{90}Y 微球放射栓塞治疗肝脏恶性肿瘤的基本保障,需要临床医生熟练掌握。

[参考文献]

- [1] Biederman DM, Titano JJ, Tabori NE, et al. Outcomes of radioembolization in the treatment of hepatocellular carcinoma with portal vein invasion: resin versus glass microspheres[J]. J Vasc Interv Radiol, 2016, 27: 812.e2-821.e2.
- [2] Padia SA, Lewandowski RJ, Johnson GE, et al. radioembolization of hepatic malignancies: background, quality improvement guidelines, and future directions[J]. J Vasc Interv Radiol, 2017, 28: 1-15.
- [3] Jia Z, Paz-Fumagalli R, Frey G, et al. Resin-based Yttrium-90 microspheres for unresectable and failed first-line chemotherapy intrahepatic cholangiocarcinoma: preliminary results[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2017, 143: 481-489.
- [4] Xing M, Prajapati HJ, Dhanasekaran R, et al. Selective internal Yttrium -90 radioembolization therapy (^{90}Y -SIRT) versus best supportive care in patients with unresectable metastatic melanoma to the liver refractory to systemic therapy: safety and efficacy cohort study[J]. Am J Clin Oncol, 2017, 40: 27-34.
- [5] Memon K, Lewandowski RJ, Kulik L, et al. Radioembolization for primary and metastatic liver cancer[J]. Semin Radiat Oncol, 2011, 21: 294-302.
- [6] Atassi B, Bangash AK, Bahrani A, et al. Multimodality imaging following ^{90}Y radioembolization: a comprehensive review and pictorial essay[J]. Radiographics, 2008, 28: 81-99.
- [7] Lertpipometha K, Tuftawee T, Piratvisuth T, et al. Comparison between computer tomography and magnetic resonance imaging in the diagnosis of small hepatocellular carcinoma[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2016, 17: 4805-4811.
- [8] Barabasch A, Kraemer NA, Ciritsis A, et al. Diagnostic accuracy of diffusion-weighted magnetic resonance imaging versus positron emission tomography/computed tomography for early response assessment of liver metastases to ^{90}Y -radioembolization[J]. Invest Radiol, 2015, 50: 409-415.
- [9] Denecke T, Ruhl R, Hildebrandt B, et al. Planning transarterial radioembolization of colorectal liver metastases with Yttrium 90 microspheres: evaluation of a sequential diagnostic approach using radiologic and nuclear medicine imaging techniques[J]. Eur Radiol, 2008, 18: 892-902.
- [10] Ho S, Lau WY, Leung TW, et al. Clinical evaluation of the partition model for estimating radiation doses from yttrium -90 microspheres in the treatment of hepatic cancer[J]. Eur J Nucl Med, 1997, 24: 293-298.
- [11] Salem R, Thurston KG. Radioembolization with 90 yttrium microspheres: a state-of-the-art brachytherapy treatment for primary and secondary liver malignancies. Part 2: special topics [J]. J Vasc Interv Radiol, 2006, 17: 1425-1439.
- [12] Camacho JC, Moncayo V, Kokabi N, et al. ^{90}Y radioembolization: multimodality imaging pattern approach with angiographic correlation for optimized target therapy delivery[J]. Radiographics, 2015, 35: 1602-1618.
- [13] Kennedy A, Bester L, Salem R, et al. Role of hepatic intra-arterial therapies in metastatic neuroendocrine tumours (NET): guidelines from the NET-Liver-Metastases Consensus Conference [J]. HPB(Oxford), 2015, 17: 29-37.
- [14] Vouche M, Kulik L, Atassi R, et al. Radiological-pathological analysis of WHO, RECIST, EASL, mRECIST and DWI: Imaging analysis from a prospective randomized trial of ^{90}Y ± sorafenib[J]. Hepatology, 2013, 58: 1655-1666.

(收稿日期:2017-03-20)

(本文编辑:俞瑞纳)