·核医学与分子影像专栏·

钇 -90 微球选择性内放射治疗中核医学技术操作的流程优化

梁子威[a,b] 张田田[a,b] 刘德庆[a,b] 董鸿鹏[a,b] 廖勇[b,c] 黄鑫[b,c] 梁斌[b,d] 张琳[b,c] 冯晓彬[b,c]
杭仲斌[a] 张岩[a] 何作祥[a,b*]

（清华大学附属北京清华长庚医院a. 核医学科；b. 钇–90精准介入放疗中心；c. 肝胆胰腺外科；
d. 放射科，北京 102218）

【摘要】 钇-90微球选择性内放射治疗(⁹⁰Y-SIRT)作为国内新兴的内照射治疗手段,凭借其能量强、半衰期短、穿透距离短等优点,已广泛应用于原发性肝癌及结直肠癌肝转移等肝部肿瘤的治疗,且可与药物或其他治疗方式联合使用以提升疗效。本综述回顾和总结了⁹⁰Y-SIRT治疗过程中核医学技术相关环节的操作经验与方案优化,涵盖药物运输、拆分和废物回收处理,辐射防护,以及术前和术后影像学评估的扫描参数设置,旨在为同行提供一套安全、高效、可复制的标准化操作方案,以确保治疗与评估的精准性。

【关键词】 钇–90;微球;肝癌;选择性内放射治疗;经验分享
【中图分类号】 R144.1 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202601002

Exploration of the full nuclear medicine workflow for ⁹⁰Y microsphere selective internal radiation therapy

Liang Ziwei[a,b], Zhang Tiantian[a,b], Liu Deqing[a,b], Dong Hongpeng[a,b], Liao Yong[b,c], Huang Xin[b,c], Liang Bin[b,d], Zhang Lin[b,c], Feng Xiaobin[b,c], Hang Zhongbin[a], Zhang Yan[a], He Zuoxiang[a,b]*

(a. Department of Nuclear Medicine; b. Yttrium-90 Precision Interventional Radiotherapy Center; c. Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery; d. Department of Radiology, Beijing Tsinghua Changgung Hospital, School of Clinical Medicine, Tsinghua University, Beijing 102218, China)

【Abstract】 Yttrium–90 microsphere selective internal radiation therapy (⁹⁰Y–SIRT) is an emerging internal irradiation modality for liver cancer in China. Endowed with the advantages of high energy, short half–life and limited penetration range, it has been widely applied in the management of hepatic malignancies including primary liver cancer and colorectal liver metastases, and can be combined with other pharmaceutical agents or therapeutic approaches to augment treatment efficacy. This review is dedicated to summarizing the practical experience and optimization strategies for nuclear medicine technical support throughout the entire course of ⁹⁰Y radionuclide therapy, encompassing drug transportation, dispensing, radioactive waste collection and disposal, radiation protection, as well as the scanning parameters for pre–and post–procedural imaging assessment. It is designed to provide fellow clinicians with a set of safe, efficient and reproducible standardized operating protocols, thereby ensuring the precision of both therapeutic implementation and clinical evaluation.

【Key words】 Yttrium-90; Microsphere; Liver neoplasms; Selective internal radiation therapy; Experience sharing

肝脏恶性肿瘤严重威胁人类健康，在我国，原发性肝癌是常见的恶性肿瘤之一，其发病率和病死

基金项目：北京市自然科学基金（L242062）
第一作者：梁子威，男，硕士研究生，研究方向：核医学诊断、钇–90治疗
通信作者：何作祥，男，博士研究生，教授，研究方向：心脏核医学等各类疾病诊断及核素治疗

率在所有恶性肿瘤中分别排名第5位和第2位[1]。继发性肝癌也以结直肠癌、胰腺癌、胃癌、乳腺癌等恶性肿瘤的转移为主。面对这一严峻形势，传统的治疗手段已经不能满足现阶段的需求，因此探索有效的治疗方法至关重要。选择性内放射治疗（selective internal radiation therapy, SIRT）作为一种新型的肝脏恶性肿瘤治疗手段，近年来备受关注。研究表明，不可切除的肝细胞癌（hepatocellular carcinoma, HCC）患者在接受SIRT治疗后，可进行后续移植、切除、消融或全身治疗[2]。SIRT具有治疗精准性高、效果显著、对患者身体负担小、耐受性好且适用范围广等优势，它通过将放射性核素输送至肝脏肿瘤部位实现局部高剂量照射和个性化治疗，在原发性肝癌和继发性肝癌治疗中肿瘤控制率高且可与其他治疗方式联合增效，适用于多种肿瘤类型和不同疾病阶段的患者。钇-90微球选择性内放射治疗（以下简称^{90}Y-SIRT）利用放射性核素钇-90微球释放β射线，以直接或间接的方式对生物活性的大分子结构和功能产生损害，从而达到治疗肿瘤的目的。虽然20世纪60年代就开展了^{90}Y-SIRT的临床研究，并于20世纪70年代开始临床推广，但直至21世纪才真正在国外被广泛使用，现已成为治疗肝脏恶性肿瘤的重要手段之一。我国虽然20世纪90年代初就开展了^{90}Y-SIRT治疗肝恶性肿瘤的试验和临床研究，但真正的临床应用仍处于起步阶段[3-4]。

核医学科在^{90}Y-SIRT治疗过程中起着重要作用，包括：钇-90药物存储、运输、拆分，放射性废物回收及处理，辐射防护以及术前影像学评估和钇-90核素治疗术后扫描。^{90}Y-SIRT治疗流程复杂，特点是需要针对每位患者的肿瘤大小、位置，进行个性化方案治疗。钇-90手术中通常需要拆分多支肝动脉分别进行微球注射，且每支剂量不等，这对核医学科在整个手术中的药物拆分速度及精准度的要求较高。截至2025年12月，我院已经开展500余台^{90}Y-SIRT治疗，本研究回顾性分析^{90}Y-SIRT治疗过程中的核医学操作，旨在总结和分享相关经验，为促进^{90}Y-SIRT在国内推广和普及，保证治疗与评估环节的精准性提供参考。

1 钇-90树脂微球的运输、拆分和废物回收

1.1 药物的运输与接收

钇-90树脂微球通常会从新加坡发货，周一或周五晚上抵达北京首都国际机场。药品抵达机场后，需经过安检流程，随后由已备案的物流车辆运送到医院核医学科。核医学科内部会安排2名医务人员专门负责药物接收工作。接收时，首先要对药物外包装纸箱进行表面污染测定，具体测定方法如下：使用一张纸，沿着纸箱的4个面依次擦拭，随后操作人员需与纸箱保持数米间隔，背向纸箱，运用表面污染测量仪（IMI Inspector Alert IA-V2）开展测量工作。若测量结果显示存在污染情况，则即刻暂停接收药物，并及时联系厂家协商处理；若测量结果表明无表面污染，则将纸箱拆开，按照同样的操作方式，对放置于纸箱内盛放有钇-90药物的塑料桶进行表面污染测定，见图1、图2。当药物的表面污染测定结果符合相关规定即<4 Bq/cm^{2}时，依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）[5]，认真填写药物接收表格以及物流交接单，见图3，最终将药物妥善放置于核医学源库的保险柜之中。钇-90药物接收流程见图4。

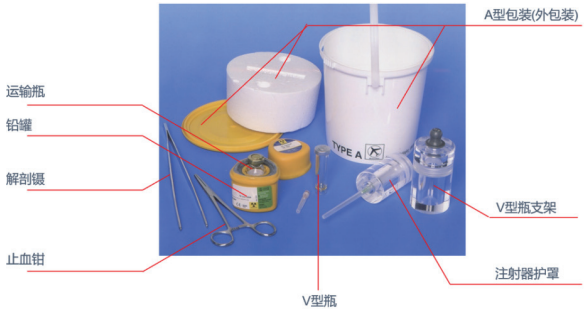


图1 钇-90树脂微球的外包装形式



图2 钇-90药物西林瓶、外包装铅罐及锥形瓶

	接收									拆分				交接			
名称	日期 (mm/dd)	时间 (hh/mm	批号	外观检查	表污 (Bq/cm	总活度	送货人	接收人	日期 (mm/dd	时间 (hh/mm	活度 (GBq)	拆分人	时间 (hh/mm)	送货人	时间 (hh/mm)	接货人

图 3 钇 –90 药物接收及使用记录表格

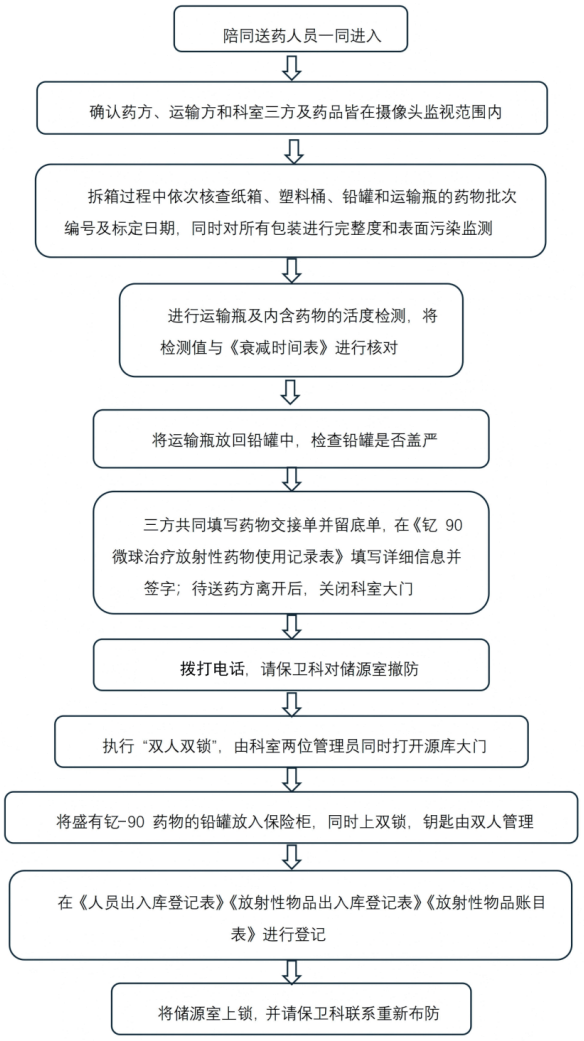


图 4 钇 –90 药物接收流程

1.2 药物的拆分操作

在进行药物拆分前，介入科医生会致电核医学科，告知对方准备开展药物拆分工作，并对患者相关信息以及即将拆分药物的剂量进行二次核对确认。待确认无误后，将剂量单粘贴于塑料白桶之上。在完成药物拆分操作后，把 V 型瓶支架放置于塑料桶内，接着将塑料桶放入亚克力桶中，见图 5；随后将亚克力桶放入用于运输的铅车内，见图 6。具体操作步骤如下。

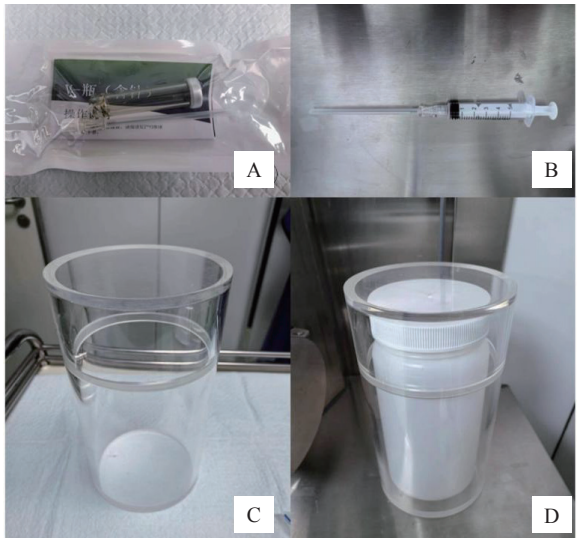


图 5 钇 –90 药物运输外包装 A 为未拆封的 V 型瓶；B 为注射器与取样针完成连接的针管；C 为亚克力桶；D 为放置于亚克力桶内的塑料桶



图6 用于运输钇-90药物的铅屏蔽运输车

1.2.1 准备工作

钇-90树脂微球的拆分流程是指核医学科技师或护士依照介入手术医生医嘱单上所注明的拆分剂量，针对盛放在西林瓶中的钇-90药物实施单次或多次精准抽取操作，进而将抽取的药物分别置入单个或多个V型瓶的过程。详细操作步骤如下：操作人员首先需穿戴好铅防护用品，之后将隔离衣套穿于铅衣外层，再佩戴双层手套；随后，从源库的保险柜中取出A型包装（图1），并将其放置于高活室的通风橱内，把粘贴在桶上的药物信息单揭下，仔细查看药物编号，同时将该编号登记于钇-90药物拆分表格上，见图7。

1.2.2 计算体积

打开塑料桶盖，从中取出铅罐，操作人员用手握住铅罐，以左右手交替的方式摇晃2 min。摇晃操作结束后，打开铅罐，取出里面盛放着药物的西林瓶，将其放置在通风橱里配备的活度计中，对药物总活度进行测量。完成测量后，摘下一层手套，把所测得的总活度数值填入药物拆分表格内，并计算出与需要抽取的目标剂量相对应的体积，计算公式为：

$$抽取剂量=\frac{目标剂量活度（GBq）\times 西林瓶液体体积（mL）}{西林瓶内活度（GBq）} \quad （1）$$

用3 mL分别减去计算出的每支药的体积，得到需要注入V型瓶中葡萄糖的体积（这里需要保证V型瓶内的总液体的体积至少3 mL，但是一定不能超过5 mL）。

1.2.3 标记V型瓶

将V型瓶开启，使用记号笔在其瓶口180°水平位置标记两个点，随后利用酒精棉片对瓶口进行消毒处理。接着，在其中一个标记点处插入排气针即注射器针头，排气针内部要塞入适量棉花（注意棉花填充不宜过实），以防止液体药物顺着排气针溢出。分别采用2.5 mL注射器抽取对应体积的葡萄糖（不可使用盐水，因其会导致树脂微球发生解离），并将抽取的葡萄糖注入V型瓶中，之后把V型瓶放置于V型瓶支架内（图1）。

编号	日期（年/月）	药物批号	患者姓名	处方活度（GBq）	总活度（GBq）	时间（时/分）	抽取体积（mL）	葡萄糖体积（mL）	剩余活度范围（MinGbq-MaxGbq）	剩余活度（Gbq）	拆分人
Y9024-005	月/日										
Y9024-006	月/日										
Y9024-007	月/日										
Y9024-008	月/日										
Y9024-009	月/日										
Y9024-010	月/日										
Y9024-011	月/日										
Y9024-012	月/日										
Y9024-013	月/日										
备注：抽取体积=处方剂量*5mL/总活度 剩余活度范围：（总活度-1.1*处方活度）-（总活度-0.9*处方活度）											

图7 药物拆分表格

1.2.4 组装抽药注射器

此处所涉及的注射器均为鲁尔锁注射器。首先，依据所需抽取的目标体积，选择 1 mL注射器、2 mL注射器或者 5 mL注射器；然后，将配备的用于抽药的加长针头安装至鲁尔锁注射器上；最后，把组装好的注射器放入注射器护罩（图 1）之中。

1.2.5 药物抽取

从活度计中取出药瓶，打开西林瓶上的铝片，在瓶口 180° 的水平线上标记两个记号点，随后使用酒精棉片对瓶口进行擦拭消毒。接下来，在其中一个标记点处插入排气针，同样以棉花塞住排气针；再于另一个标记点处插入已组装好的抽药注射器。在进行抽取操作前，需使用抽药注射器针对瓶内的药物反复吹打 4 ~ 6次，以此确保微球在瓶内分布均匀，而后按照预先计算好的体积实施抽取操作。

在抽取过程中需要留意，由于针头内部大约存有 0.1 mL体积的药物，所以实际抽取时应抽取比目标体积少 0.1 mL的量。例如，若需抽取 0.6 mL的药物，则应在抽药注射器的刻度显示为 0.5 mL时停止抽取，随后将针头向上拔离液面，再抽取空气，目的是把针头内的药物全部抽取到注射器内，如此可提升抽取的准确度，并减少抽取时长。

完成药物抽取后，将针头拔出，套上保护套，放置于一旁备用，再将西林瓶放入活度计中进行测量，观察抽取的剂量是否符合要求（允许误差范围为 ± 10%）。若抽取剂量符合要求，则将药物注入 V 型瓶中，然后将 V 型瓶连同支架一同放入之前准备好的桶内。若抽取剂量不符合要求，则需将注射器内的药物重新注入西林瓶内，从对药物进行吹打这一步骤开始，重复相关操作流程，直至抽取的剂量与目标剂量一致为止。使用该流程拆分每支药物可明显缩短拆分药物时间，可由 15 ~ 20 min缩短至 8 ~ 15 min。

待药物拆分完毕后，将其放入 V 型瓶支架内，再放入已准备好的铅箱的塑料桶中，通过专用通道及专用电梯运输至 ^{90}Y 介入手术室，运输过程中注意避开人群。将药物送至介入手术室后，需要与接收药物人员开展二次核对工作，并在药物接收及使用记录表格（图 3）上登记签字。钇–90树脂微球分装流程见图 8。

1.2.6 污染测量

选取 10次拆分操作，分别针对药物拆分人员的手部、脚部，亚克力桶表面，运输车把手及操作台等部位，运用专业仪器进行了放射性数值的测量工作。测量后发现，所获取的各个部位的放射性数值虽略高于环境本底，但都在安全本底范围内，见表 1。这一结果充分表明，在钇–90树脂微球拆分操作过程中，严格遵循上述方法，可确保工作环境辐射水平维持在安全本底范围内。

表 1 10次拆分操作完成后各个部位表面放射性数值测量结果

检测位置	操作后测量剂量（μSv）	环境本底剂量（μSv）
手部	0.145~0.166	0.12
脚部	0.131~0.171	0.13
亚克力桶表面	0.144~0.176	0.14
运输车把手	0.124~0.154	0.12
操作台	0.137~0.166	0.12

注：操作后测量剂量取 10次测量的最小值和最大值。

1.3 药物溢出泄漏处理

鉴于钇–90树脂微球具有很强的黏附性，且其半衰期长达 64.1 h，所以在相关操作过程中，务必严格把控，避免造成污染。倘若出现污染甚至泄漏情况，则需即刻依照以下流程进行处理。钇–90药物溢出应急流程见图 9。

1.3.1 设置警戒措施

首先，要精准确认泄漏源的具体位置，同时确保泄漏源下方铺垫有足量的吸水纸。在相应区域竖立警戒牌，明确禁止无关人员进入该区域，以保障现场秩序及人员安全，避免更多人员接触到可能存在的放射性污染。

1.3.2 判断溢出量

依据溢出液体的总体积来判定溢出情况类别：若总体积小于 10%，则判定为少量放射性液体溢出量，此时需对在场人员的衣服、皮肤、眼睛等部位进行表面污染检测；若总体积大于 10%，则判定为大量放射性液体溢出量，针对此种情况，需立即向本院辐射安全管理委员会进行上

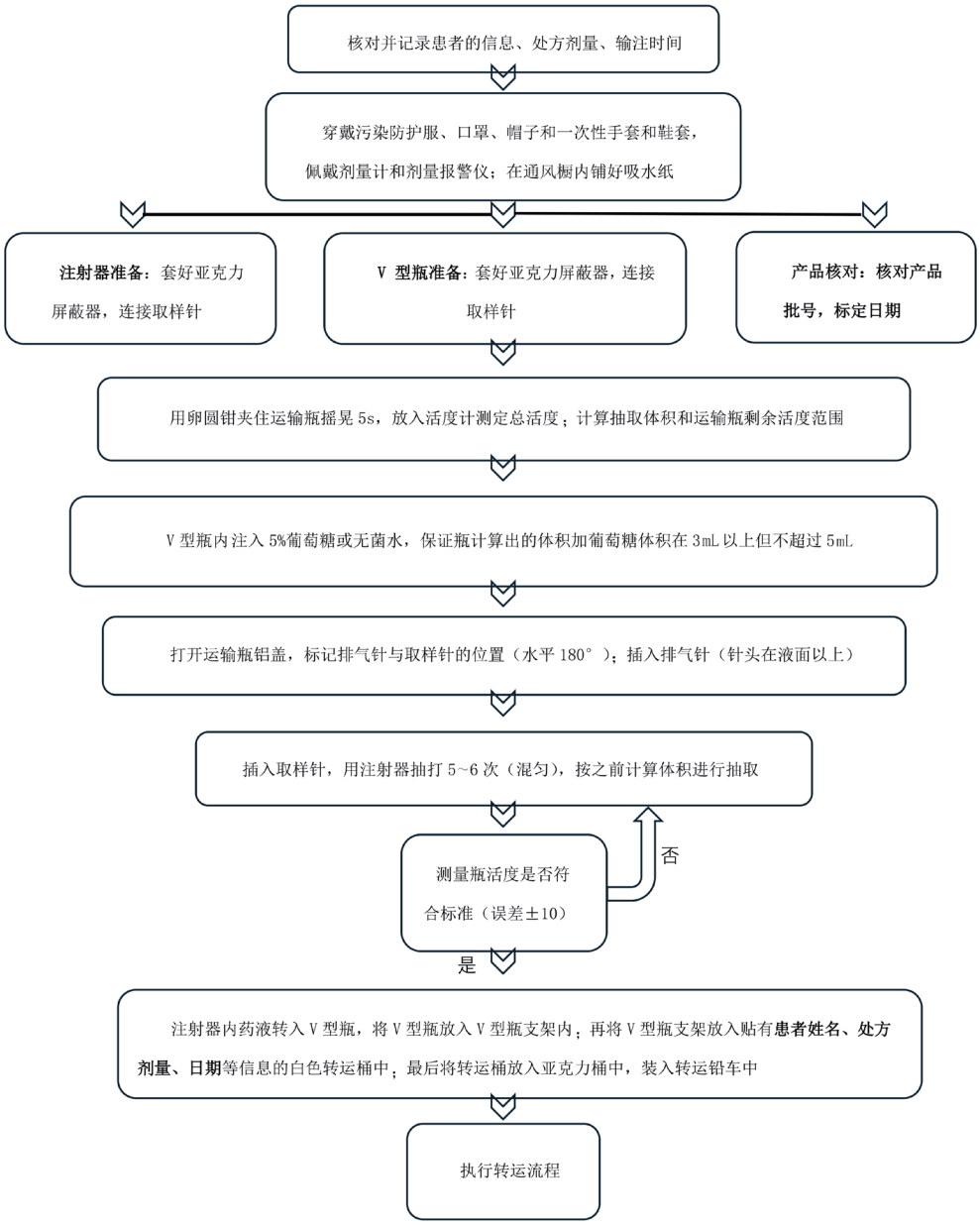


图 8 钇 -90 树脂微球分装流程

注：以上是抽取一支药的步骤，若抽取多支则需在抽取前多次抽打混匀药液。完成分装后应及时测量表面污染，如有污染或撒漏应执行应急流程，最后将所有数据记录在表内。

报，由该委员会直接负责监督后续的清理工作，并且同样要对在场人员的衣服、皮肤、眼睛等部位进行表面污染检测。

1.3.3 判断自身是否受污染

相关人员需迅速判断自身是否受到污染。若已受到污染，则应立即前往应急淋浴间进行冲洗，并更换衣物；若未受到污染，则需立即更换防水工作服并按要求将防护用具穿戴完整，再打开应急去污箱，从中取出相应的去污用品，做好后续清理准备工作。

1.3.4 清理过程

首先，运用吸水纸迅速吸收溢出物，以此有效阻止其进一步蔓延扩散，避免污染范围扩大化。随后，反复使用吸水纸按照从污染区边缘向中心的方向进行擦拭，直至污染区域不存在水渍为止，之后再使用湿巾对表面进行擦拭处理，进一步清洁受污染的表面区域。

1.3.5 检测湿巾表面污染是否合格

完成湿巾擦拭后，需对湿巾表面污染情况进行

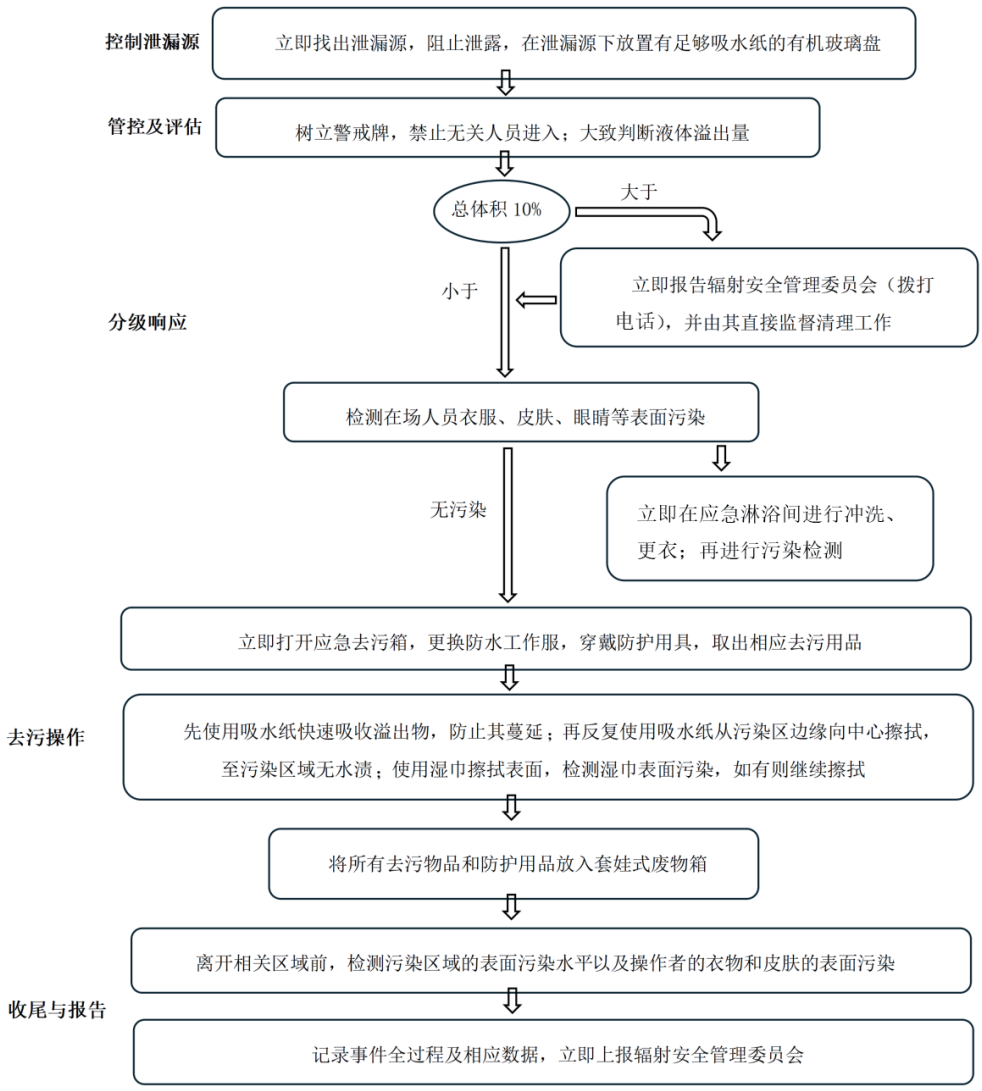


图 9 钇 –90 药物溢出应急流程

检测。若检测结果显示合格，则将所有用于去污的物品以及防护用品统一放入套娃式废物箱；若检测结果显示不合格，则需返回至擦拭步骤，再次进行擦拭操作，直至检测结果达到合格标准后，方可将所有去污物品和防护用品放入套娃式废物箱。

1.3.6 离开相关区域前检测

在离开发生污染或泄漏的相关区域之前，要对污染区域的表面污染水平进行检测，同时也要检测操作者的衣物和皮肤表面污染情况，确保符合相应的安全标准要求，避免因检测不到位而造成放射性污染扩散等不良后果。

1.3.7 记录和报告

需详细记录事件发生的全过程以及涉及的相应数据信息，记录完成后，立即向辐射安全管理委员会进行上报，以便委员会及时掌握情况并作出相应的后续处理安排。

1.4 废物回收及处理

鉴于手术室并不具备储存和处理放射性废物的条件与资质，因此，手术过程中所产生的放射性废物，需由介入科护士或者技师负责装入套娃式（铅箱内嵌亚克力箱）运输箱，并运输至核医学科进行相应处理。

放射性垃圾可分为以下两种类型：①由锝［^{99m}Tc］聚合白蛋白（^{99m}Tc–MAA）输注模拟后所产生的垃圾，此类垃圾归为^{99m}Tc类垃圾，应按照A类（短半衰期废物）垃圾的相关要求进行储存；②由^{90}Y术后产生的医疗垃圾，此类垃圾应作B类（中等半衰期废物）垃圾进行储存[6]。

2 辐射防护

按照我国相关标准《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128—2019）[7]、《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）[8]和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）[9]，对放射性核素治疗的放射防护管理如下。工作人员年有效剂量约束值≤5 mSv。与接受核医学治疗的患者接触的家庭成员，按下列约束值控制。①孕妇及3岁以下儿童：避免接触；② 3 ~ 10岁儿童：≤1 mSv；③10岁以上成员：≤3 mSv；④成年陪护人员：≤5 mSv。公众（含同事）年有效剂量约束值为0.1 ~ 0.3 mSv[9-10]。

^{90}Y的半衰期为64.1 h，衰变方式为纯β衰变，在衰变的过程中释放β射线，伴发少量正负电子对（0.021%），其释放的β粒子最大能量为2.27 MeV，平均为0.93 MeV；β射线在组织内穿透距离最大为11 mm，平均2.5 mm。高能β射线在组织中穿行会发生韧致辐射，发射出能量连续的X射线（连续谱）[10]。钇-90树脂微球的拆分操作需在通风橱内开展。鉴于铅衣自身具备一定重量，会显著加重拆分操作人员的负担，所以有必要通过试验对在通风橱内进行拆分工作时是否需要穿着铅衣这一问题进行探究。检测人员先把装有活度为1.6 GBq的钇-90药物的西林瓶放置于通风橱内部，之后开启通风橱的手套箱。然后，分别在距离手套箱孔5 cm、15 cm、30 cm的不同位置，同时设置了两种不同的测量场景，即存在铅衣（铅当量为0.5 mPb）遮挡的情况以及无铅衣遮挡的情况，进而对相应的剂量率展开测量，结果见表2。由表2可知，在钇-90药物拆分操作过程中，操作人员穿着铅衣时所受照射剂量相较于未穿铅衣时显著降低。

表2 在不同测量距离和有无铅衣的情况下检测的剂量率

测量距离	有无铅衣	剂量率（mSv/h）
5 cm	有铅衣	3.550
	无铅衣	57.32
15 cm	有铅衣	0.365
	无铅衣	17.91
30 cm	有铅衣	0.215
	无铅衣	9.480

3 ^{90}Y-SIRT术前及术后扫描参数

3.1 ^{99m}Tc-MAA单光子发射计算机断层成像及计算机断层扫描（single-photon emission computed tomography/computed tomography, SPECT/CT）术前评估模拟显像

拟单只血管治疗根据^{99m}Tc-MAA SPECT/CT勾画灌注区域，进而计算剂量。若经多支动脉^{99m}Tc-MAA灌注显像，则需结合锥形束计算机断层扫描（cone beam computed tomography, CBCT）图像来确定不同动脉的灌注区域，并进行勾画和剂量计算[3]。SPECT/CT扫描参数：设备为GE/Discovery NM/CT 670，体位为Feet First Supine，探测器为低能探测器，扫描分为PLAN和TOMO两个部分，PLAN部分为平面采集，采集范围需要包括肝脏和肺部，如患者肝脏较大则需要分两段进行采集，第一段包括肺部，第二段包括肝脏，目的是为了PLAN采集完成后勾画肝脏与肺部，再通过计数得出肺分流率（lung shunt fraction, LSF），TOMO部分为单光子发射计算机断层显像和计算机断层显像融合，目的是验证^{99m}Tc-MAA的分布情况。参数如表3。

表3 ^{99m}Tc-MAA SPECT/CT术前评估模拟显像参数

扫描方案	参数
PLAN	计数停止条件（Stop Conditions）：300 kcts
	放大倍数（Zoom）：1.0
	配准条件（Rough Overlap）：8 cm
TOMO	矩阵（Matrix）：128 × 128
	峰值（Peak）：140.5 ± 10%，112 ± 10%
	采集角度（View Angle）：90

注：^{99m}Tc-MAA为锝［^{99m}Tc］聚合白蛋白；SPECT/CT为单光子发射计算机断层成像及计算机断层扫描。

3.2 ^{90}Y-SIRT术后显像

SPECT/CT显像部分采集方法与^{99m}Tc-MAA SPECT/CT术前评估显像一致。为探究^{90}Y-SIRT术后SPECT/CT显像参数，我们选取了共30位患者作为研究对象，分别运用高能探头和低能探头来采集这些患者的相关影像信息。随后，我们将采集到的图像进行随机抽取，邀请两位医生分别针对这些图像展开视觉评估分析工作。经过两位医生的评估，在

这30例图像中，有96.7%（29/30）的图像被医生判定为高能探头采集到的图像质量更优，包括具有更好的靶器官/肝脏本底对比度、降低散射对图像的影响等。由此可以得出结论：在对^{90}Y–SIRT术后患者进行SPECT/CT显像时，使用高能探测器所获取的图像质量要优于采用低能探测器所获取的图像质量。值得注意的是“视觉评估”虽为临床常用的快速评估方法，但具有一定主观性，尚需通过图像参数研究进行进一步验证。

针对^{90}Y–SIRT术后行正电子发射计算机断层成像及计算机断层扫描（positron emission tomography/computed tomography, PET/CT）这一情况，GE机型需要开启List模式。待显像完成之后，针对其参数中的Qclear值，分别选取1 500、2 000、3 000、4 000、5 000这几个数值来进行图像重建工作。接着，针对同一患者在不同Qclear值下所生成的图像，由临床和影像专业医生基于对图像信噪比和病灶边界的综合评判开展视觉评估与分析工作。最终的评估分析结果显示，在视觉评估中Qclear值为3 000时获得了最高的医生偏好率。这些内容的价值在于提供了宝贵的初步数据和优化方向，为后续更严格的物理验证或临床研究奠定了基础。PET/CT显像使用的设备为GE/Discovery MI，扫描参数见表4。

表4 ^{90}Y-SIRT术后PET/CT显像参数

扫描方案	参数
CT部分	扫描方式：螺旋扫描；单圈时间：0.5 s
	管电压：120 kv；管电流：200 mA
	探测器覆盖厚度：40 mm；扫描层厚：3.75/1.25 mm
	螺距：0.984；扫描速度：139 mm/转；有效层厚或相关子参数：37
PET部分	扫描时间：20 min
	重建方法：VUE Point FX
	噪声惩罚加权因子β值：3 000
	矩阵：192×192

注：^{90}Y-SIRT为钇-90微球选择性内放射治疗；PET/CT为正电子发射计算机断层成像及计算机断层扫描；图像采集范围为整个肝脏，如果患者肝脏比较大需要采集两个床位时可以将采集时间调整为15 min/床，总时间为30 min，以免采集时间过长导致患者不适。

诸多研究[11–15]均已证实，相较于SPECT/CT而言，^{90}Y–SIRT术后PET/CT（以下简称^{90}Y–PET/CT）在定性分辨率以及对比度这两方面均展现出更为突出的优势。而且，^{90}Y–PET/CT具备易于量化的特点，基于这些优势，^{90}Y–PET/CT能够作为选择性内放射治疗之后首选的成像技术来使用。不过，在临床实际中，倘若^{90}Y–PET/CT无法正常使用，那么SPECT/CT也可以作为一种能够被认可的替代方案，它能够以较为直观的方式对剂量分布情况进行评估，相关依据可参考文献［3–4］。

为了切实保障^{90}Y–SIRT术后显像的质量，在实施完选择性内放射治疗之后，SPECT/CT或者PET/CT应当在24 h之内及时开展[3–4]，其目的在于对植入后的剂量学情况进行确认，同时也有助于预测放射学方面的反应。

4 结果与讨论

在钇–90树脂微球药物拆分环节，当前所运用的拆分方法具备较高的适配性。其优势体现在多个维度：第一，该方法能够有效降低污染事件发生的概率，从源头上对潜在的污染风险加以管控，使得整个拆分流程更为安全、有序；第二，它有助于缩短药物拆分所耗费的时长，进而提升整体的工作效率，确保各环节衔接更为紧凑、流畅。尤其当面临复杂手术，需要对多支药物进行拆分操作时，此拆分方法的优势愈发凸显。它能够有力保障手术的时效性，避免因药物拆分环节出现拖沓而影响手术的正常推进，使手术得以按计划有序开展。同时，该方法还能大幅度削减药物拆分者所承受的辐射照射剂量，切实保障了相关操作人员的职业健康与安全。

在术后显像环节，针对SPECT/CT和PET/CT扫描参数展开了探索，优化了部分参数。然而，为切实保证术后显像结果具备足够的可信度，使其能够为临床医生提供更为精准、可靠的参考依据以制定患者后续的治疗方案，还亟待在相关领域开展更为深入且全面的研究与探索工作。

^{90}Y–SIRT在我国的应用已日益广泛[16]，核医学科作为该手术实施过程中的核心协作科室，在整

个诊疗流程中承担着不可替代的作用，从药物进入医院到手术顺利完成，多个关键环节均与核医学技术密切相关。然而，目前国内尚未形成统一的^{90}Y-SIRT核医学操作流程指南及共识，规范相关操作流程、总结实践经验，对保障手术顺利开展、提升治疗精准性具有重要的现实意义。本研究聚焦^{90}Y-SIRT手术中的核医学操作流程，展开系统探索并总结实践经验，为临床规范化开展提供支撑。

本研究在核医学操作流程规范化方面取得了系列创新性成果：①在药物管理环节，明确了^{90}Y药物运输的标准流程及药物拆分的操作规范，为手术用药安全提供基础保障；②建立了完善的放射性废物回收与处理流程，制定了针对性的辐射防护措施，有效降低医护人员及环境的辐射暴露风险；③优化并明确了术前、术后影像学评估的扫描参数设置，提升了影像学评估的准确性和可靠性，为手术疗效判定及剂量计算提供了精准的影像支撑。

综上，本研究系统梳理并规范了^{90}Y-SIRT手术核医学操作的关键流程，所总结的实践经验及优化方案，可直接应用于临床实践，有效解决当前^{90}Y-SIRT核医学操作缺乏统一规范的问题，可提升诊疗流程的标准化水平，保障手术安全性与治疗效果，推动^{90}Y-SIRT技术在我国的规范化推广与应用。同时，本研究也存在一定局限性，如研究样本范围有限，部分操作流程的优化效果仍需更大规模的临床实践验证；下一步研究将扩大样本量，结合多中心临床数据进一步完善操作流程，探索更精准的药物拆分、辐射防护及影像学评估方案，同时推动相关指南与共识的制定，为核医学科在^{90}Y-SIRT及其他核素治疗领域的规范化发展提供更有力的支撑。

[参 考 文 献]

[1] 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（2024年版）[J]. 临床肝胆病杂志, 2024, 40(5): 893-918.

[2] Liu D M, Leung T W, Chow P K, et al. Clinical consensus statement: selective internal radiation therapy with yttrium 90 resin microspheres for hepatocellular carcinoma in Asia [J]. Int J Surg, 2022, 102: 106094.

[3] 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]. 中华医学杂志, 2024, 104(7): 486-498.

[4] 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（^{90}Y）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.

[5] 生态环境部. 核医学辐射防护与安全要求: HJ 1188—2021 [S/OL]. (2021-09-06) [2026-01-28]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/hxxhj/xgbz/202109/W020210922368889711824.pdf.

[6] 国家环保局. 城市放射性废物管理办法（〔87〕环放字第239号）[EB/OL]. (1987-07-16) [2026-01-28]. https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_171861.htm.

[7] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 职业性外照射个人监测规范: GBZ 128—2019 [S/OL]. (2019-09-27) [2026-01-28]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/pcrb/202003/92832567a2514c178bf61d258d538f99/files/1739781012389_94023.pdf.

[8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 核医学放射防护要求: GBZ 120—2020 [S/OL]. (2020-10-26) [2026-01-28]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/pcrb/202101/7390e7fd36b24a1fb8ca6aed8f94dfe8/files/1739781051073_19809.pdf.

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准: GB 18871—2002 [S/OL]. (2002-10-08) [2026-01-28]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/pcrb/201410/5fffe01da4634747918d 15662d 3d 22ae/files/1739780846955_94511.pdf.

[10] 耿建华, 陈英茂, 王晓涛, 等. 钇 [^{90}Y] 树脂微球介入治疗的放射防护评估 [J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(6): 720-726.

[11] Levillain H, Bagni O, Deroose C M, et al. International recommendations for personalised selective internal radiation therapy of primary and metastatic liver diseases with yttrium-90 resin microspheres [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(5): 1570-1584.

[12] Garlipp B, de Baere T, Damm R,et al. Left-liver hypertrophy after therapeutic right-liver radioembolization is substantial but less than after portal vein embolization [J]. Hepatology, 2014, 59(5): 1864-1873.

[13] Garrean S, Muhs A, Bui J T, et al. Complete eradication of hepatic metastasis from colorectal cancer by Yttrium-90 SIRT [J]. World J Gastroenterol, 2007, 13(21): 3016-3019.

[14] Cortesi E, Masi G, Mancini M L, et al. Radioembolization (SIRT) as a consolidation treatment in colorectal liver metastases after first line chemotherapy [J]. J Clin Oncol, 2016, 34(S15): e15007.

[15] Cosimelli M, Golfieri R, Cagol P P, et al. Multi-centre phase II clinical trial of yttrium-90 resin microspheres alone in unresectable, chemotherapy refractory colorectal liver metastases [J]. Br J Cancer, 2010, 103(3): 324-331.

[16] 张迎强, 林岩松. ^{90}Y微球选择性内放射治疗在结直肠癌肝转移中的应用及研究进展 [J]. 中国癌症杂志, 2021, 31(8): 762-768.