中国核药产业格局与治疗性核药发展现状

Industrial Landscape of Nuclear Medicine in China and the Current Development of Therapeutic Nuclear Radiopharmaceuticals

秦明杰

（国药控股股份有限公司，上海 200051）

Qin Mingjie

(*Sinopharm Group, Shanghai 200051*)

摘要：核药（放射性药物）通过“生物靶向配体－放射性核素”的偶联设计，实现了对肿瘤等疾病的精准诊断与高效治疗。目前，凭借持续优化的政策环境、快速跟进并局部创新的研发管线，以及日益完善的产业链基础，国内的治疗性核药产业在行业中已具备举足轻重的地位。文章梳理了中国治疗性核药在关键适应证（例如前列腺癌、神经内分泌瘤、肝癌）的研发现状与管线布局，揭示了核药相较于传统疗法的独特优势，并提出了构建自主可控产业链、探索前沿技术、创新商业模式等发展路径与切实建议，以期为中国核药产业的战略转型提供一定参考。

关键词：放射性药物；研发管线；诊疗一体化；产业链

中图分类号：R95　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1001-8255(2026)08-1016-06

引用：秦明杰．中国核药产业格局与治疗性核药发展现状[J]．中国医药工业杂志, 2026, **57**(8): 1016-1021．DOI：10.16522/j.cnki.cjph.2026.08.018

核药，也称为放射性药物，是用于人体疾病诊断和治疗的含有放射性核素的制剂。1941 年，碘 -131 首次被用于治疗甲状腺疾病，开启了靶向核素治疗的先河[1]。与传统药物相比，核药具有靶向精准性高、可突破“不可成药”靶点限制、研发周期短、诊疗一体化等优势[2-4]。目前，核药已从传统的单一诊断或治疗模式，转向以放射性核素偶联药物（radionuclide drug conjugates，RDC）为代表的诊疗一体化发展方向。该技术依托同一靶向分子分别偶联诊断性和治疗性核素，可实现诊断和治疗的闭环。

全球核药市场正迎来快速增长期。根据 MEDraysintell 数据库公布的数据，2022 年全球核药市场规模已超过 70 亿美元，预计 2032 年将达到 390 亿美元。截至 2024 年 7 月，全球已有 88 款放射性新药获批上市，另有 359 款放射性新药处于临床试验及申请上市阶段[5]。核药市场的竞争逻辑正在发生改变，从最初的以 β 核素为主，逐渐转向更具精准性和杀伤力的 α 核素[6]。赛诺菲、礼来、百时美施贵宝和阿斯利康等跨国药企纷纷通过收购或合作的方式布局 α 核素产线。

1　中国核药发展现状

1.1　政策环境持续优化

2021 年，国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局等八部委联合发布《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》。这是中国首个针对医用同位素和核药领域的纲领性文件，其中明确提出加速自主转化、提升产能保障、完善布局、推动临床使用等远景目标，重点部署了堆照同位素、加速器同位素、诊疗一体化的研发和生产。2022 年，国家发展和改革委员会发布了《“十四五”生物经济发展规划》，将“前沿生物技术”作为重点发展方向，其中就包括核素药物（核药）。2025 年，第十四届全国人大常委会第十七次会议表决通过《中华人民共和国原子能法》，该法将助力破解高端核医学设备［如正电子发射计算机断层显像 / X 线计算机体层成像（positron emission tomography/

收稿日期：2026-01-16

作者简介：秦明杰，执业药师，中级经济师，从事药品流通领域的产品战略与市场分析、医药行业政策分析等方面研究。

computedtomography，PET/CT）、医用加速器］、放射性同位素稳定自主生产等“卡脖子”问题。

1.2 监管科学进步

国家药品监督管理局对放射性药物实行分类管理，通过优化审评审批流程，加速了创新核药的上市速度[7]。《药品注册管理办法》明确，放射性药品应参照化学药品实施注册管理，并细化了注册分类，为放射性创新药和仿制药提供了清晰的申报路径。具有明显临床价值的创新核药，以及防治严重危及生命的疾病且尚无有效治疗手段的放射性药品，将被纳入优先审评审批通道，大幅缩短其审批时限。同时，境外合规临床数据可用于国内药品注册，为国际多中心临床试验和进口核药在中国申报上市提供了便利。

1.3 鼓励产业集群发展

中国核药产业在政策与市场的双轮驱动下，正形成多个具有特色的区域性产业集群。

长三角城市群是技术和资本的高地。联影医疗等企业在高端医学影像设备领域的技术突破，为核药应用提供了关键基础设施支持。江苏的众多生物医药园区为核药企业提供了良好的孵化环境。秦山核电站拥有目前全国唯一的商用重水堆，成功实现了碳 -14、镥 -177、钇 -90 等关键医用同位素的自主化生产，彻底打破了我国医用同位素长期依赖进口的局面，为下游核药研发和制造企业提供了稳定、可靠的原料保障。海盐县规划建设的海盐核技术应用（同位素）产业园，已吸引了国内外核药行业龙头入驻，项目总投资超 90 亿元。

环渤海地区是我国战略资源集聚、多重国家级政策叠加的核心承载区域。北京汇集了国内众多顶尖科研院所，是基础研究的重要策源地。山东以东诚药业为代表，通过一系列并购整合，基本完成了从核素供应到药物研发、生产、配送和营销的核医疗全产业链布局。天津积极融入产业集群建设，恒瑞医药在当地参与组建了放射性药物创新联合体，打通产学研用创新链条。

西部地区产业集群具备突出的后发优势和增长潜力，依托区域独特的核资源禀赋和专项政策加持，通过整合产业、科创与临床资源，逐步构建起具备差异化竞争力的产业生态。其整体采用龙头引领、多基地联动的分布式集群发展模式，形成多点协同、错位互补的特色产业布局。坐落于成都双流区的高通量工程试验堆，是国内生产医用放射性核素（如钼 -99、碘 -131、磷 -32 等）的核心生产载体。成都新川创新科技园聚集了众多高科技生物医药企业，专注于前沿核药的研发、转化和高端诊疗服务。中国工程物理研究院等国家级核科技研发机构，为核药产业提供了上游技术、人才和核素来源支撑，是四川核药产业发展的技术和人才基石。

1.4 产业链供应能力提升

《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》中明确提出到 2025 年实现常用医用同位素自主稳定供应的目标。近年来，中核集团等企业通过秦山商用重水堆辐照装置、千条级锗镓发生器生产线等项目建设，逐步实现镥 -177、镓 -68、碳 -14、钇 -90 等关键核素的规模化生产。2024 年底，秦山核电在线辐照装置投产，首批镥 -177 成功出堆；中国核动力研究设计院建成 8 条同位素生产线，覆盖镥 -177、钇 -90、碘 -125 等核心品种，标志着我国自主供应能力取得实质性突破。此外，全球功率最高的溶液型医用同位素堆已于 2025 年完成封顶，预计 2027 年投产后能进一步提升钼 -99、碘 -131 等核素的产能。

放射性诊疗设备包括诊断和治疗两大领域。诊断设备主要有正电子发射断层显像 /X 线计算机体层成像仪（positron emission tomography/computed tomography，PET/CT）、单光子发射计算机断层成像（single-photon emission computed tomography/computedtomography，SPECT/CT）、伽马相机等。治疗用核医学设备主要有钴 -60 治疗机、质子 / 重离子治疗装置、伽马刀系列等。过去，高端设备市场由西门子、飞利浦等跨国企业主导，设备价格昂贵，在基层医院覆盖率低。为扭转这一局面，国家政策持续发力。2018 年，PET/CT 被调整为乙类大型医用设备，审批权限下放至省级卫生健康行政部门。国产设备企业在技术攻关与市场开拓方面也取得了重要进展。联影医疗推出的 2 米长轴全身 PET/CT

系统，实现了全身动态成像；中核集团自主研发的硼中子俘获治疗设备“鲲鹏刀”，国产化率超90%；螺旋断层放射治疗系统已获批上市，并实现销售。上述技术突破有效降低了设备成本，推动了核医学设备向基层医疗机构的普及。

我国核药产业逐步形成了以大型国企和科研机构为主导的上游供应体系，以及其他各类药企在中游研发和商业化方面多元突破的格局。以中国核电、中国同辐为主的上游同位素供应商，掌握医用同位素（如钇-90、镥-177等）的生产能力，可保障国内供应链自主可控；以远大医药、东诚药业为主的研发及商业化领军者，拥有成熟的核药产品管线和覆盖全国的核药房网络，能实现诊断与治疗一体化布局；科伦博泰、百利天恒等具备国际化视野的创新力量，凭借抗体偶联药物（antibody-drug conjugate，ADC）等技术平台展开国际合作。

2　国内核药主要研发管线

根据临床用途，核药可以分为3类，包括诊断类核药、治疗类核药和诊疗一体化类核药。其中，治疗类核药是将可发射β或α粒子的治疗性核素（如钇-90、镥-177、锕-225）靶向递送至病变组织，利用其释放的射线能量局部破坏病变细胞（如肿瘤细胞），具有作用直接、全身不良反应相对较小的特点，是肿瘤治疗领域的新锐力量。

当前，国内研发力量聚焦治疗性核药赛道，集中优势科研与产业资源，重点布局前列腺癌、神经内分泌肿瘤、肝癌等临床需求迫切、治疗缺口较大的肿瘤领域，攻坚核心技术与创新产品，旨在开发出疗效更优、可及性更高的国产核药，惠及患者。

2.1　前列腺癌领域

前列腺癌是男性常见的恶性肿瘤，其治疗策略高度依赖于疾病分期、转移状况及患者个体因素。对于晚期尤其是转移性前列腺癌，药物治疗是核心手段。近年来，放射性核素治疗在转移性去势抵抗性前列腺癌（metastatic castration-resistant prostate cancer，mCRPC）的治疗中取得了突破性进展。利用特异性分子载体将放射性核素递送至肿瘤细胞，实施近距离照射杀伤，具备“靶向性强、全身毒性相对较低”的优势。

目前，前列腺癌已成为治疗性核药应用最成熟、竞争最激烈的领域，作用靶点与机制如下。

2.1.1　前列腺特异性膜抗原（prostate specific membrane antigen，PSMA）靶向放射性核素疗法

PSMA在绝大多数前列腺癌细胞表面高表达，是理想的靶点。^{177}Lu-PSMA-617（Pluvicto®）通过PSMA-617配体特异性结合肿瘤细胞，再利用镥-177释放的β射线产生细胞毒性效应，是全球首款靶向PSMA的放射配体疗法。

目前国内企业在PSMA靶向放射性核素药物方向布局密集。例如，中国同辐、东诚药业等相关产品已进入临床Ⅲ期或注册申报阶段，可快速填补临床空白、降低治疗成本。多家制药企业如远大医药、天津恒瑞、云核医药等致力于开发具有自主知识产权的新结构PSMA配体。这些创新药物的特点在于优化传统药物的药代动力学特征，提高肿瘤细胞的摄取效率，同时降低唾液腺等非靶器官滞留。

2.1.2　胃泌素释放肽受体（gastrin releasing peptide receptor，GRPR）靶向疗法

GRPR在前列腺癌中也有高表达，尤其在部分PSMA低表达或异质性表达的肿瘤中，可作为替代靶点。镥-177标记的GRPR拮抗药（如^{177}Lu-RM2）为PSMA-PET显像阴性或治疗抵抗的患者提供了替代性治疗选择[8]。国内企业对此靶点的研究和布局相对有限，但该靶点潜力显著，具备良好的开发前景与研究价值。

2.1.3　骨靶向α核素疗法

镭-223（$^{223}RaCl_2$）是首个获批用于前列腺癌的α粒子靶向治疗药物[9]。其临床特点是能显著延长伴有症状性骨转移的mCRPC患者的生存期，并降低骨骼相关事件的发生率。2025年2月，北京先通医药提交了放射性治疗药物氯化镭（^{223}Ra）注射液的申报生产申请，旨在实现该药物的国产化替代。

2.2　神经内分泌瘤（neuroendocrine neoplasm，NEN）领域

NEN是一类起源于肽能神经元和神经内分泌细胞的异质性肿瘤，可发生于全身各处，以肺和胃

肠胰系统常见[10]。NENs具有高度的异质性，其临床表现、生物学行为、分化程度、增殖活性及预后差异巨大[11]；主要治疗药物包括生长抑素类似物（somatostatin analogues，SSAs）、分子靶向药物、细胞毒性化疗药物，以及尚在探索中的免疫治疗药物。

NEN的核医学精准诊疗是“诊疗一体化”理念的经典体现[12]。临床上依托镓-68标记的SSAs完成诊断筛选，再通过将治疗性核药精准递送至肿瘤细胞，实现内照射杀伤。根据所用治疗性核素的类型，该疗法可分为β粒子疗法和α粒子疗法。镥-177标记的肽受体放射性核素治疗（peptide receptor radionuclide therapy，PRRT），通过释放β粒子破坏肿瘤细胞DNA，是目前临床上较成熟、应用较广泛的方案，已成为生长抑素受体（somatostatin receptor，SSTR）阳性、分化良好的NEN进展期患者的重要治疗选择。Ⅲ期临床试验结果证实，对于中肠NEN患者，镥-177标记的SSAs ^{177}Lu-dotatate联合奥曲肽（也是一种PRRT方案）治疗相较于大剂量奥曲肽单药治疗，可显著延长患者的无进展生存期（progression-free survival，PFS），且安全性良好[13]。

PRRT实现了靶向治疗，疗效显著，尤其在改善PFS和控制症状方面表现优异，不良反应相对较弱（主要为可控的肾脏和血液学毒性），但实现肿瘤完全缓解的病例仍较为少见。因此，欧洲核医学协会发布的共识建议将PRRT作为胃肠道NEN的二线治疗方案[14]。诺华的PRRT药物Lutathera®已在国内申请临床试验，而国内多家企业的仿制产品也已处于临床后期，将为患者提供国产选择。

针对接受β核素疗法后的疾病进展或耐药患者，靶向α核素疗法展现出巨大潜力，代表药物为锕-225[2]标记的DOTATATE[15]。与β粒子相比，α粒子具有传能线密度值高、组织射程范围短（47～85 μm）的特点，能像“外科手术刀”一样，在少数几次核衰变过程中造成肿瘤细胞DNA不可逆的双链断裂，杀伤力更强，且对周围正常组织的损伤范围更小。

2.3 肝癌领域

对于不可手术的肝癌中晚期患者，全身分子靶向药物治疗与免疫治疗是重要的治疗手段，但2种方法的客观缓解率均较为有限，且易产生耐药。采用钇-90标记的微球进行经导管动脉放射栓塞（transarterial radioembolization，TARE）放射性核素治疗，是一种高选择的代表性局部治疗方式，为该类患者提供了关键的替代选择。与传统的经导管动脉化疗栓塞（transcatheter arterial chemoembolization，TACE）相比，TARE兼具“栓塞”与“高效内照射”的双重精准杀伤作用，尤其适用于伴有门静脉癌栓等复杂情况的患者[16]。

钇-90释放的β射线，最大组织穿透距离约为11 mm，平均约2.5 mm。适中的穿透深度使其能量高度集中于肿瘤组织内，对周围的正常肝实质细胞的辐射损伤显著弱于外照射放疗，实现了“靶区高剂量，周边低剂量”的理想分布[17]。钇-90的半衰期为64.2 h，一方面可预留充足时间完成药物制备、质量控制及转运至临床中心；另一方面，单次给药后能在肿瘤病灶内实现近2周的持续性辐射杀伤。直径20～60 μm的树脂或玻璃微球经肝动脉注入后，优先富集于血供丰富的肿瘤血管床，并造成微小动脉水平的永久性栓塞，从而切断肿瘤营养供给。与此同时，微球上负载的钇-90能释放β射线，近距离杀伤肿瘤细胞。

该疗法目前的治疗费用较高，每针可达数十万元。中国同辐等企业的国产钇-90标记玻璃微球和树脂微球已进入临床前或临床试验申请阶段，若能成功上市，将彻底打破进口垄断，惠及广大中国肝癌患者。除了钇-90标记微球外，放射性碘-125粒子植入剂和放射性氯化锶（^{89}Sr）注射液也被应用于肝脏肿瘤治疗中。

2.4 广谱实体瘤领域

成纤维细胞激活蛋白（fibroblast activation protein，FAPI）在超过90%的上皮源性肿瘤的癌相关成纤维细胞中高表达，因此是一种广谱靶点。我国在FAPI-PET诊断领域的研发与临床应用水平已位居国际前列[14]。目前，治疗性核药的研发进程也在加速推进，镥-177和钬-166标记的FAPI疗法已进入临床前研究阶段，在胰腺癌、乳腺癌、肠癌等难治性实体瘤中展示了巨大的应用潜力。国内企业也针对HER2

阳性肿瘤（如乳腺癌、胃癌等）开发了铼 -186/ 铼 188 或镥 -177 标记的 HER2 靶向药物，以期为耐药患者提供新的治疗选择。

2.5 骨相关疾病

锝［^{99}Tc］亚甲基二膦酸盐是国内治疗类风湿性关节炎等自身免疫性疾病的经典药物[18]，市场需求稳固。目前，国内企业正积极推进靶向前列腺癌骨转移的 α 核素治疗药物镭［^{223}Ra］二氯化物的仿制药的研发与申报进程。此外，用于缓解骨转移疼痛的传统核素药物锶［^{89}Sr］氯化物和钐［^{153}Sm］乙二胺四亚甲基膦酸，生产工艺成熟，已成为国内核药房稳定供应的基础产品，持续服务于临床疼痛管理。

3　面临的挑战

尽管近年来中国核药产业取得了突飞猛进的发展，但在快速扩张的过程中仍面临着多重挑战与困境。

首先，核心技术领域的“卡脖子”问题依然严峻。特别是用于肿瘤靶向治疗的镥 -177、锕 -225 等关键医用同位素，国内的生产能力有限，90％以上需依赖进口，大规模、稳定化的国产制备工艺尚未取得实质性突破。

其次，人才储备与创新能力存在明显短板。由于核医学是涉及核物理、放射化学、药物学与临床医学的交叉学科，既懂核技术又精通医药研发的复合型人才匮乏，导致原始创新能力和核心技术攻关能力相对薄弱。

再者，政策支持体系有待完善。一方面，药品审评审批流程需进一步优化；另一方面，高昂的治疗费用（如镥 -177 治疗的单次费用高达数十万元）尚未纳入医保报销范围，严重限制了药物可及性。

最后，社会认知层面也存在障碍。公众对“核”恐惧心理根深蒂固，需要通过持续的科普宣传消解大众偏见，从而有效提升肿瘤患者对核素治疗的认知水平、治疗接受度与临床依从性。

4　展望

中国核药产业的发展正处于从战略跟进向创新引领蜕变的关键时刻。展望未来，其发展不单纯是技术、产业、政策要素的简单叠加，而是以解决核心瓶颈为导向、以构建自主生态为目标的协同进化过程。

短期内，建议推动现有高性能核反应堆（如中国先进研究堆）的产能挖潜与工艺优化。重点提升镥 -177 的分离 / 纯化效率和比活度，利用加速器技术建立铜 -64/ 铜 -67 等核素的中试生产线，以解临床研究的“燃眉之急”。中期层面，全力保障专用医用同位素生产堆（如溶液堆）的如期建成与投产。这将是实现钼 -99、碘 -131 等基础核素大规模稳定自主供应的“国之重器”，从根本上扭转受制于人的局面。长期层面，前瞻性布局锕 -225 的国产化制备。锕 -225 是下一代 α 核素疗法的核心，目前全球产能极低。我国应探索从核废料中提取、加速器生产等多条技术路径，设立国家重大专项，争取在这一战略核素上实现“弯道超车”。

建议摆脱对单一靶点（例如 PSMA、SSTR）的简单模仿，向源头创新与范式创新跃迁。鼓励企业围绕全新靶点，同步开发诊断型与治疗型核药。诊断剂可快速验证靶点、筛选患者，为治疗药物的精准临床试验提供导航，降低研发失败的风险，加速整体管线进程。鼓励企业开拓全新作用机制，探索超越单纯细胞杀伤机制的核药。例如，研发可标记免疫调节剂的放射性免疫激动药（如放射性核素偶联的 PD-1 抗体），利用射线局部杀伤肿瘤细胞，同时激活全身性抗肿瘤免疫反应，实现“1+1>2”的效应。

医用同位素半衰期短的特性，决定了核药的商业化高度依赖于辐射安全与物流基础设施。未来的核药生产配送中心，不应仅仅是灌装与发货站，而应升级为集标准化药物生产、个体化剂量规划、短期住院治疗、疗效评估与随访于一体的区域医疗中心。这需要药企、医疗机构、保险支付方深度合作，共同设计临床路径与支付方案。此外，还可利用物联网技术监控药物生产、运输全流程；开发人工智能算法，基于患者的肿瘤体积、代谢情况等因素，实现个体化的给药剂量优化，从“按瓶给药”走向“按克（肿瘤质量）给药”，实现疗效最大化，并减轻不良反应。

展望未来，依托超高灵敏度的诊断核药，有望实现肿瘤极早期乃至癌前病变的精准筛查与识别。

在此基础上，通过低剂量、高靶向性的治疗性核药完成病灶精准清除，可有效将肿瘤治疗关口前移，推动临床诊疗模式由晚期肿瘤姑息治疗向早期干预和预防的跨越式转变。

参考文献：

[1] Becker D V, Sawin C T. Radioiodine and thyroid disease: the beginning [J]. *Semin Nucl Med*, 1996, **26**(3): 155-164.

[2] Li X, Wang C, Wu Y, *et al*. Self-powered α radionuclide nanomedicine: mitochondria-targeted multimodal energy recycling for amplified radioimmunotherapy [J]. *Adv Materials*, 2025, **2**: 37-55.

[3] Cui X Y, Li Z, Kong Z, *et al*. Covalent targeted radioligands potentiate radionuclide therapy [J]. *Nature*, 2024, **630**(8015): 206-213.

[4] 陈跃. 我国诊疗一体化核素及放射性药物临床应用与展望[J]. 协和医学杂志, 2022, **13**(2): 187-191.

[5] Huang Q, Huang G. Advances in radiopharmaceuticals for precision medicine: a global and Chinese perspective [J]. *LabMed Discovery*, 2024, **9**: 13-21.

[6] Schultz M K, Pouget J P, Wuest F, *et al*. Radiobiology of targeted alpha therapy [J]. *Nucl Med Mol Imaging*, 2022, **4**: 380-403.

[7] 詹乐昌, 包捷, 郝慧杰, 等. 放射性物品分类方法研究[J]. 核技术, 2023, **46**(1): 43-49.

[8] Holzleitner N, Cwojdzinski T, Beck R, *et al*. Preclinical evaluation of gastrin-releasing peptide receptor antagonists labeled with ^{161}Tb and ^{177}Lu: a comparative study [J]. *J Nucl Med*, 2024, **65**(3): 481-484.

[9] Feuerecker B, Kratochwil C, Ahmadzadehfar H R, *et al*. Clinical translation of targeted α-therapy: an evolution or a revolution? [J]. *J Nucl Med*, 2023, **64**(5): 265353.

[10] 毛歆歆, 陈杰. 2022版WHO神经内分泌肿瘤分类解读[J]. 中华病理学杂志, 2024, **53**(7): 655-659.

[11] Mete O. Insights into biologic evolution of grade 3 neuroendocrine tumors reflect classification challenges [J]. *Endocrine Pathology*, 2024, **35**(4): 311-312.

[12] Mallak, Nadine M, O'Brien, *et al*. Theranostics in neuroendocrine tumors [J]. *Cancer J*, 2024, **30**(3): 185-193.

[13] Strosberg J R, Caplin M E, Kunz P L, *et al*. ^{177}Lu-dotatate plus long-acting octreotide versus highdose long-acting octreotide in patients with midgut neuroendocrine tumours (NETTER-1): final overall survival and long-term safety results from an open-label, randomised, controlled, phase 3 trial [J]. *Lancet Oncol*, 2021, **22**(12): 1752-1763.

[14] Ambrosini V, Kunikowska J, Baudin E, *et al*. Consensus on molecular imaging and theranostics in neuroendocrine neoplasms [J]. *Eur J Cancer*, 2021, **146**: 56-73.

[15] Yang H, Zhang Y, Li H, *et al*. Efficacy and safety of ^{225}Ac-dotatate in the treatment of neuroendocrine neoplasms with high SSTR expression [J]. *Clin Nucl Med*, 2024, **49**(6): 505-512.

[16] 梁礼聪, 梁钰婵, 黄文薮, 等. 钇-90微球选择性内放射治疗在肝细胞癌降期转化中的研究进展[J]. 中国临床医学, 2025, **32**(1): 9-14.

[17] Sivananthan G, Tabori N E. Principles of radioembolization [J]. *Semin Interventional Radiol*, 2021, **38**(4): 393-396

[18] 周洋来. 锝[^{99}Tc]亚甲基二膦酸盐注射液联合甲氨蝶呤及硫酸羟氯喹治疗对类风湿性关节炎患者红细胞沉降率及类风湿因子的影响[J]. 中国医学创新, 2024, **21**(8): 20-24.