

· 指南/共识 ·

机器人立体定向放射外科系统治疗肾细胞癌专家共识

中华医学会放射肿瘤治疗学分会 中国核学会近距离治疗与智慧放疗分会 北京市放射治疗质量控制和改进中心

通信作者: 王俊杰, 北京大学第三医院肿瘤放疗科, 北京 100191, Email: junjiewang@pku.edu.cn

【摘要】 肾细胞癌的立体定向放疗是近年研究的热点, 已有多项前瞻性和回顾性临床研究提示肾细胞癌放疗可实现满意的局部控制率和 5 年生存率, 但尚缺乏高级别临床研究证据, 实施以放疗机器人作为主要手段的放疗缺乏指导性意见。因此, 结合肾细胞癌立体定向放疗最新研究数据, 中华医学会放射肿瘤治疗学分会、中国核学会近距离与智慧放疗分会、北京市放射治疗质量控制和改进中心组织专家组成员深入研讨, 共同制定了本共识。本共识详尽阐述了机器人立体定向放射外科系统的适应证、金标植入、定位技术、靶区、处方剂量以及预后和随访的建议, 同时针对立体定向放疗后肾功能的保留、二次活检等热点问题进行讨论, 以期指导临床实践。

【关键词】 肾细胞癌; 机器人立体定向放射外科系统; 立体定向放射疗法; 共识

基金项目: 国家临床重点专科建设项目(2021)

Expert consensus on the treatment of renal cell carcinoma with a robotic stereotactic radiosurgery system

Chinese Society of Radiation Oncology in Chinese Medical Association, Brachytherapy and Smart Radiotherapy Division of Chinese Nuclear Society, Beijing Radiotherapy Quality Control and Improvement Center

Corresponding author: Wang Junjie, Department of Radiation Oncology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China; Email: junjiewang@pku.edu.cn

【Abstract】 Stereotactic body radiotherapy (SBRT) for renal cell carcinoma (RCC) has emerged as a prominent research focus in recent years. Many prospective and retrospective clinical studies have demonstrated satisfactory local control and five-year survival rates of radiotherapy for RCC. However, high-level clinical evidence is still lacking, and there is an absence of authoritative guidelines for the implementation of radiotherapy—specifically when using radiotherapy robots as the primary treatment modality. Based on the latest research findings in SBRT for RCC, experts from Chinese Society of Radiation Oncology in Chinese Medical Association, Brachytherapy and Smart Radiotherapy Division of Chinese Nuclear Society, Beijing Radiotherapy Quality Control and Improvement Center, engaged in extensive discussions and collaborative research, and prepared this consensus. The document presents in detail the recommendations on the indications of a robotic stereotactic radiosurgery system, and the fiducial marker implantation, localization techniques, target delineation, prescribed doses, prognosis and follow-up strategies. Moreover, it discusses critical issues such as the preservation of renal function post-stereotactic radiotherapy and the role of secondary biopsy, hoping to provide guidance for clinical practice.

DOI: 10.3760/cma.j.cn101548-20250114-00012

收稿日期 2025-01-14 本文编辑 江深清

引用本文: 中华医学会放射肿瘤治疗学分会, 中国核学会近距离治疗与智慧放疗分会, 北京市放射治疗质量控制和改进中心. 机器人立体定向放射外科系统治疗肾细胞癌专家共识[J]. 中华转移性肿瘤杂志, 2025, 8(4): 365-371. DOI: 10.3760/cma.j.cn101548-20250114-00012.



中华医学会杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



【Key words】 Renal cell carcinoma; Robotic stereotactic radiosurgery system; Stereotactic body radiotherapy; Consensus

Fund program: National Clinical Key Specialty Construction Project (2021)

肾细胞癌(renal cell carcinoma, RCC)是我国发病率第3位的泌尿系统肿瘤,北方发病率高于南方。国家癌症中心发布的数据显示,2022年估计新发RCC病例数达7.7万例^[1-2]。手术是原发性RCC的推荐治疗方案^[3-4],传统方案以根治性肾切除术为主,但临界肾功能和孤立肾患者术后面临终生透析。因此对于RCC保存肾单位的根治性方案的探索一直在进行,欧洲癌症研究与治疗组织泌尿生殖组发起了Ⅲ期随机对照研究(30904研究)^[5]。该研究入组单发、直径<5 cm的早期RCC,结果显示肾部分切除和根治性肾切除的总生存率相近,肾部分切除在保留肾单位更有优势,而长期的局部复发略增加。其他可选择的方法还包括热消融治疗等^[6],但其局部控制率略低于手术,且靠近肾门和近端输尿管的病变以及直径>3.0~3.5 cm肿物出现并发症的风险增加。

立体定向放疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT),也称为立体定向消融治疗(stereotactic ablative body radiotherapy, SABR),最初应用于不可手术、手术风险过高或者拒绝手术的RCC患者。随着循证医学证据的积累,SBRT/SABR治疗RCC逐渐被认可,且不像手术或消融治疗等受到肿瘤在肾内位置和大小限制^[7-9],为保存肾单位提供了新的、可靠的选择。国际肾脏肿瘤放射外科联盟发表的190例患者的治疗结果显示,中位肿瘤直径4 cm的肿瘤患者5年累积局部失败率只有5.5%^[10]。

机器人立体定向放射外科系统目前应用广泛的是射波刀,其一般结构主要由小型加速器、影像系统、机械臂系统、同步呼吸追踪系统、治疗床和目标定位系统组成^[11]。RCC位于肾脏内部,会随呼吸大幅运动,这向传统放疗的精确性提出了挑战。射波刀利用其独特的金标追踪和同步呼吸追踪系统,最大限度地避免因呼吸运动造成的肿瘤脱靶,同时显著缩小了因考虑呼吸动度而增加照射体积,从而实现肿瘤靶区剂量适形度最佳、周边正常组织剂量跌落迅速,真正意义上实现了肿瘤的精确定位、精确计划和精确治疗^[12]。由于目前尚缺乏高级别临床研究证据,实施以机器人立体定向放射外科系统为主要手段的RCC放疗缺乏指导性意见。因此,结合RCC SBRT/SABR最新研究数据,中华医学会

放射肿瘤治疗学分会、中国核学会近距离与智慧放疗分会、北京市放射治疗质量控制和改进中心组织专家组成员深入研究讨论,共同制定了本共识。共识围绕RCC机器人立体定向放射外科系统的适应证、金标植入、定位技术、靶区、处方剂量以及预后和随访展开讨论,并给予建议,以期在缺少高级别临床研究证据阶段,对基于机器人立体定向放射外科系统的临床实践提供指导性意见。本共识的推荐级别,主要依据牛津大学循证医学中心证据水平及推荐级别,详见表1。

表1 牛津大学循证医学中心证据水平及推荐级别

推荐级别	证据等级	描述
A	1a	基于随机对照试验的系统综述(有同质性)
	1b	单个随机对照试验(窄置信区间)
	1c	“全或无”证据(有治疗以前,所有患者都死亡;有治疗之后,有患者能存活或者再有治疗之前,一些患者死亡;有治疗之后,无患者死亡)
B	2a	基于队列研究的系统综述(有同质性)
	2b	单个队列研究(包括低质量随机对照研究,如<80%随访)
	3a	基于病例对照研究的系统综述(有同质性)
	3b	单个病例对照研究
C	4	病例报道(低质量队列研究)
D	5	专家意见或评论

一、机器人立体定向放射外科系统治疗适应证与禁忌证

(一)适应证

1. 无法耐受手术或拒绝手术的RCC(推荐级别B,证据等级2A)^[8, 13]。

2. 有保留肾功能需求的RCC(推荐级别B,证据等级2A)^[8, 13]。

3. 发生于孤立肾的RCC(推荐级别B,证据等级2A)^[8, 13-15]。

4. RCC寡转移灶的放疗(推荐级别B,证据等级2A)^[16-21]。

(二)相对禁忌证

1. 肿瘤直径>10 cm或侵犯周围肠管。

2. 肾内或肾周存在高密度金属植入物(如肿瘤层面存在椎体外固定钢钉或钢板)干扰金标追踪。

3. 因解剖限制或出血倾向无法进行穿刺植入



金标。

(三)绝对禁忌证

1. 无法通过影像学明确病灶范围。
2. 拟治疗部位放疗史。
3. 患者无法长时间平卧。
4. 合并严重或未控制的基础疾病,预期无法耐受。
5. 精神病患者或依从性差或其他原因无法配合治疗。

二、治疗前准备

(一)病情评估

完整的病史采集和体格检查对全面评估患者病情非常重要,评估 RCC 分期的同时也应明确其他合并症如心脑血管疾病等及其严重程度,采集用药信息,尤其是抗凝等对穿刺操作有影响的药物。完善患者血尿粪常规、肝肾功能、电解质、凝血,以及重要脏器功能检查。完善全身分期检查,主要包括 CT 尿路造影、泌尿系统超声、胸部 CT,以及必要时行骨扫描、PET-CT、脑 MRI 等检查。

(二)多学科讨论

建议多学科诊疗团队进行患者病情评估、确定治疗方案。团队成员包括泌尿外科、放疗科、肿瘤内科、放射科、病理科等医生。经放疗科医生评估可行 SBRT/SABR。

(三)签署知情同意书

患者治疗前签署知情同意书,向患者充分交代治疗获益、风险及预后。

(四)金标植入

机器人立体定向放射外科系统治疗前需常规金标植入,以便呼吸追踪消除治疗时呼吸运动产生的误差。金标植入方式包括 CT 引导下金标植入和超声引导下金标植入。一般需植入 3~6 颗金标,以达到立体方位矫正的精确性,金标一般植入肿瘤内或边缘,距离目标病灶靶区 ≤ 6 cm。因机器人立体定向放射外科系统采用 45° 交互 X 线进行影像引导,为避免金标在 X 线方向重叠,每 2 颗金标不可与身体两侧斜 45° 方向共线,以免出现金标遮挡。金标位置应置于瘤内或肿瘤边缘,不可与肿瘤相距过远,以免金标运动无法代表肿瘤运动。金标植入后可能出现金标移位,建议金标植入后 5~7 d 行 CT 模拟定位。

三、CT 定位

(一)体位固定

机器人立体定向放射外科系统定位及治疗时

应采用舒适、重复性高的固定技术。常采用仰卧位,双手放于体侧,常用的固定装置为负压真空垫和液体混合发泡成型技术。模拟定位前建议禁食禁水 4 h 以上,以减少胃内容物对胃形状和位置的影响,降低定位与治疗期间靶区位移的可能性。

(二)扫描条件

采用平扫+增强+延迟 CT 扫描,扫描层厚通常为 1.0~1.5 mm。扫描范围至少包括患侧肾脏(包括肿瘤)上、下缘以外 15 cm。机器人立体定向放射外科系统采用金标追踪肿瘤,一般无需行四维 CT 扫描或呼吸门控技术。如患者存在金标植入禁忌,但仍需行机器人立体定向放射外科系统治疗(仅限于小肿瘤,且瘤周无射线敏感器官如肠道等),可行四维 CT 扫描协助确定呼吸动度。

四、靶区勾画及处方剂量

建议结合多模态影像学来确定靶区范围,包括增强 CT 及 PET-CT 等。

(一)靶区勾画

1. 大体肿瘤体积(gross tumor volume, GTV): 结合平扫和增强定位 CT 图像勾画 GTV,可参考 PET-CT 协助确定肿瘤的位置和边界。一般情况下,增强 CT 显示肾脏肿瘤的精度不劣于 MRI,故无需融合 MRI。但如需治疗 RCC 癌栓,可参考增强 MRI 协助确定癌栓累及范围。

2. 计划靶体积(planning target volume, PTV): 因机器人立体定向放射外科系统可利用金标进行实时呼吸追踪,一般认为原发灶根治性 SBRT/SABR 的 GTV 即 PTV,无需进一步外扩。但是,Synchrony™ 针对肺部肿瘤的研究显示,呼吸追踪存在一定的误差,左右方向为 1.2 mm,前后方向为 1.7 mm,头尾方向为 3.5 mm^[22],故 RCC 原发灶 GTV 到 PTV 外扩可参考此不确定性,一般经验上可外扩 3~5 mm。如患者未行金标植入,推荐在四维 CT 各时相上分别勾画 GTV 然后叠加生成内靶区(internal target volume, ITV)。放疗机器人摆位误差 <0.3 mm, ITV 到 PTV 可不外放或仅外放 1.0~1.5 mm。在不损失 GTV 剂量的前提下,允许医生酌情在十二指肠降部相邻关键结构处进行调整,不推荐靶区与胃、结肠、小肠(尤其是十二指肠)重叠。

3. 危及器官勾画:建议勾画患肾正常部分、健侧肾脏、胃、肝脏、结肠、十二指肠、小肠、脊髓等。

(二)处方剂量

临床上针对 RCC 原发灶常用的剂量分割方案包括:25~26 Gy 1 次、36~54 Gy 分 3 次、40~50 Gy 分



5 次,每天或隔天治疗^[10, 23-27]。根据最近几年更新的循证医学证据,25~26 Gy1 次方案显示了近乎完美的局部控制率以及非常低的不良反应^[25],推荐有条件的中心对<5 cm 的肿瘤选择此方案(前提是正常组织的限量可以保证)。≥5 cm 的肿瘤一般选择多次治疗^[26],优选方案为42~48 Gy 分3次。如果受正常组织剂量限制需要5次分割的治疗,推荐40 Gy 分5次方案。

(三)危及器官剂量限值

需要勾画和限量的危及器官主要包括脊髓、胃、小肠、大肠、肝、对侧肾和患侧正常肾组织。放疗机器人治疗危及器官的限量尚无标准推荐,结合国际肾脏放射肿瘤外科联盟(International Radiosurgery Oncology Consortium for Kidney, IROCK)的共识和美国医学物理师协会TG101 报告^[28-29],危及器官的剂量限值参考见表2。

五、治疗计划设计及治疗实施

物理师用机器人立体定向放射外科系统计划系统逆向设计、计算治疗计划,目标是确保99%的PTV被100%的剂量覆盖($D_{99\text{ PTV}}=100\%$)。当无法同时满足危及器官剂量约束时,可以接受95%的PTV被100%的剂量覆盖($D_{95\text{ PTV}}=100\%$)。推荐的最大剂量为处方剂量的125%,使得归一化等效覆盖等剂量线达到80%^[30]。主管医师审核计划质量,主要评估PTV是否达到处方剂量(通常评价达到一定靶区体积百分比的剂量和达到一定比例处方剂量的靶区体积百分比),危及器官限量是否达标。

计划实施前应确保摆位、固定方式和相关门控设备与放疗定位时保持一致。采用机器人立体定向放射外科系统自带的45°正交X线获取正交二维影像,同时依据计划设计的匹配方式进行位置验证。当位置精度满足临床需求时方可实施治疗。

金标追踪模式治疗过程中,患者须佩戴红外发射点固定马甲,利用治疗床尾端红外探测器,通过金标+呼吸追踪模式实施治疗(流程图见图1)。

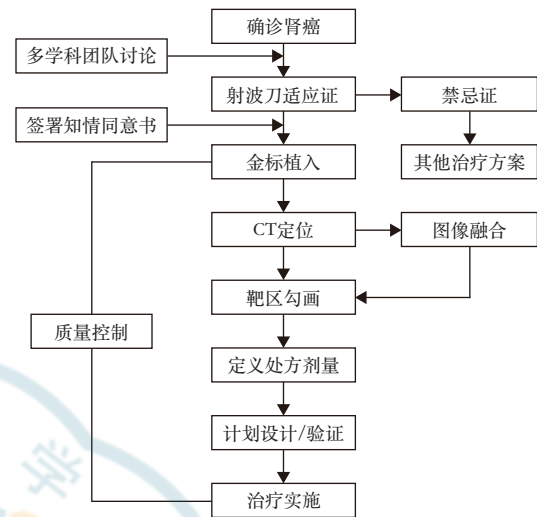


图1 机器人立体定向放射外科系统治疗肾癌八步流程图

六、临床结局及治疗安全性

基于对既往研究的系统性评价和多中心前瞻性 & 回顾性研究数据,SBRT/SABR 在 RCC 治疗中的长期疗效和安全性已得到广泛关注与初步肯定。本节结合临床研究结果就其主要临床结局及治疗安全性进行总结与阐述。

(一)疗效

现有文献普遍显示 SBRT/SABR 能够在保证较高局局部控制率的同时取得良好的无进展生存和总生存结局。2024 年 1 月,国际立体定向外科协会(International Stereotactic Radiosurgery Society, ISRS)对 1995 年 1 月至 2023 年 4 月发表的 36 项 RCC SBRT 研究进行了系统性评价^[8]。该评价纳入 822 例患者(13 项前瞻性研究、23 项回顾性研究),

表2 危及器官剂量限值

危及器官	分割次数		
	1次	3次	5次
脊髓	$D_{\max} < 14 \text{ Gy}$, $D_{0.03 \text{ cm}^3} < 12 \text{ Gy}$, $D_{1 \text{ cm}^3} < 8 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 22.2 \text{ Gy}$, $D_{0.03 \text{ cm}^3} < 18 \text{ Gy}$, $D_{1.2 \text{ cm}^3} < 12.3 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 30 \text{ Gy}$, $D_{0.03 \text{ cm}^3} < 27.5 \text{ Gy}$, $D_{0.5 \text{ cm}^3} < 23 \text{ Gy}$
胃/十二指肠	$D_{\max} < 12.4 \text{ Gy}$, $D_{10 \text{ cm}^3} < 11 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 22.2 \text{ Gy}$, $D_{10 \text{ cm}^3} < 16.5 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 30 \text{ Gy}$, $D_{10 \text{ cm}^3} < 18 \text{ Gy}$
小肠	$D_{\max} < 15 \text{ Gy}$, $D_{5 \text{ cm}^3} < 11.9 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 25 \text{ Gy}$, $D_{5 \text{ cm}^3} < 17.7 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 30 \text{ Gy}$, $D_{5 \text{ cm}^3} < 20 \text{ Gy}$
大肠	$D_{\max} < 18.4 \text{ Gy}$, $D_{20 \text{ cm}^3} < 14.3 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 28.2 \text{ Gy}$, $D_{20 \text{ cm}^3} < 24 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 35 \text{ Gy}$, $D_{20 \text{ cm}^3} < 25 \text{ Gy}$
肝	$D_{700 \text{ cm}^3} < 9.1 \text{ Gy}$	$D_{700 \text{ cm}^3} < 15 \text{ Gy}$, $V_{17} < 66\%$	$D_{700 \text{ cm}^3} < 21 \text{ Gy}$
心脏	$D_{\max} < 22 \text{ Gy}$, $D_{15 \text{ cm}^3} < 16 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 27.9 \text{ Gy}$, $D_{15 \text{ cm}^3} < 24 \text{ Gy}$	$D_{\max} < 38 \text{ Gy}$, $D_{15 \text{ cm}^3} < 32 \text{ Gy}$
孤立肾			$V_{10 \text{ Gy}} < 10\%$
健侧肾 ^a		$V_{10 \text{ Gy}} < 33\%$	$D_{\text{mean}} < 10 \text{ Gy}$, $V_{10 \text{ Gy}} < 45\%$
双侧肾	$V_{8.4 \text{ Gy}} < 200 \text{ cm}^3$	$V_{16 \text{ Gy}} < 200 \text{ cm}^3$	$D_{\text{mean}} < 10 \text{ Gy}$, $V_{17.5 \text{ Gy}} < 200 \text{ cm}^3$

注: $D_{\max}$ 为最大剂量;^a若患侧肾 $D_{\text{mean}} > 10 \text{ Gy}$,健侧肾推荐限量 $V_{10 \text{ Gy}} < 10\%$; D_{mean} 为平均剂量



中位随访时间为 31.2 个月,结果显示中位局部控制率为 94.1%,5 年无进展生存率、总生存率分别达 80.5%、77.2%。这些数据表明,SBRT 在控制 RCC 肿瘤局部进展方面具有显著优势,并能在一定程度上延长患者生存。

来自其他的多中心研究报道亦支持上述结论^[31]。IROCK 的首份报道纳入来自 9 个机构的 223 例患者,中位随访时间为 30 个月,单次分割与多次分割 SBRT 在局部控制率方面相近,两者的成功率均>95%。2022 年 IROCK 更新报道针对其中 190 例患者进行了 5 年随访,发现 3、5 年的累积局部失败率均为 5.5%,7 年时升至 8.4%^[10]。值得关注的是,单次分割 SBRT 组较多次分割组具有更低的局部失败率和更高的无进展生存率,这一差异在考虑肿瘤大小(<4 cm 与 ≥4 cm)后仍然显著。

另有多项单中心或小样本研究也报道了高局部控制率的结果^[26-27, 32-35]。Stahler 等^[36]对 40 例肾脏肿瘤患者(包括 29 例 RCC 和 11 例尿路上皮癌)采用放疗机器人系统实施 25 Gy 的单次 SBRT 治疗,中位随访 28.1 个月后,局部控制率高达 98%,且在 19 个病灶中观察到完全缓解。

总体而言,目前研究一致提示,局部失败多与生物有效剂量不足相关^[24, 37-38],强调了合理的剂量设计对提高治疗有效性的重要意义。

(二)治疗相关不良反应

SBRT/SABR 在 RCC 中的应用相对安全,严重并发症的发生率低。在 ISRS 的系统性评价^[8]中,5.3% 的患者出现>2 级不良反应,3、4 级不良反应发生率分别为 2.7%、0.7%。Correa 等^[23]的研究同样证实了较低的高等级不良反应发生率,其统计 23 项关于不良反应的研究后发现 3~4 级不良反应发生概率约为 1.5%。在已报道的 287 例接受 SBRT 的患者中,大多数不良事件为 1~2 级的恶心、疲劳或皮炎,分别占 37.5%(1 级)、8.8%(2 级);3~4 级事件包括肾盂肾炎、胃溃疡、十二指肠溃疡及严重皮炎等,尚无与治疗直接相关的死亡报道。这些结果显示,SBRT/SABR 在 RCC 中的耐受性总体良好,但仍需密切监测和管理可能的消化道及皮肤不良反应。

(三)肾脏功能变化

对于保留肾功能的关注是选择 SBRT/SABR 的重要考量因素之一。ISRS 的综合分析表明,接受 SBRT/SABR 的患者基线中位肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)约为 55 mL/min,约 3.9%(45 例)在治疗后需要透析^[8]。另有研究显示

SBRT 后平均 GFR 下降 7.7 mL/min(95%CI 为 2.8~12.5 mL/min),GFR 变化范围为-16.7~6.0 mL/min^[23],只有 2.9% 的患者需要透析(这部分患者在放疗前即存在 2~5 期的慢性肾功能不全)。此外,若干研究提示,SBRT 可能在长期随访中表现出迟发性肾功能不全,部分患者在短期内 GFR 能维持基线水平,但于随访后期出现明显下降^[34, 39-40]。因此,临床实践应加强对长期肾功能的随访监测与个体化评估。

综上所述,现有循证证据显示 SBRT/SABR 在 RCC 治疗中能够实现较高的局部控制率和生存获益,并具备相对可控的不良反应谱,对于既往缺乏手术机会或伴有肾功能不全的患者尤具临床应用价值。然而,仍需警惕迟发性肾功能损害等潜在风险,并在治疗策略中综合考量疾病分期、患者一般情况及射野剂量设计等因素。随着更多大规模前瞻性随机对照试验的开展,SBRT/SABR 在 RCC 治疗策略中的地位与适应证有望得到进一步明确与优化。

七、随访

(一)治疗后活检

现有研究提示,SBRT 治疗后短期活检的阳性结果并不必然等同于肿瘤局部复发。文献报道,在放疗后 6~9 个月进行穿刺活检时,约有 64% 的 RCC 患者呈阳性,但部分病例在再次活检时可转为阴性,并未显示与局部复发的显著关联^[41]。针对原发性 RCC 的前瞻性 II 期临床研究也进一步阐明了这一现象的可能机制:Hannan 等^[27]纳入 44 例经活检证实并已于影像学上观察到肿瘤生长(中位每年增速 0.8 cm)的 T_{1a}~T_{1b} 期患者,分别给予 36 Gy 分 3 次或 40 Gy 分 5 次的 SBRT,结果显示中位随访 36 个月时的局部控制率为 94%,且肿瘤生长率平均变化为-1.3 cm/年。对 SBRT 后 1 年活检标本的病理分析发现,肿瘤细胞数量明显减少,伴随纤维化和玻璃样变显著增多($P=0.003\ 9$),Ki-67 增殖指数明显下降($P=0.007\ 8$),残存的少量肿瘤细胞则表现出 p16 阳性的细胞衰老表型,提示其已处于终末分化状态并失去复制能力。

基于上述观察,由于治疗后活检呈阳性的比例仍然较高,且目前尚无能准确预测预后的组织学或分子生物学指标,故并不推荐依靠短期活检结果来评价放疗机器人的治疗效果。更为合理的做法是通过长期规律的影像学随访进行动态评估,并在必要时结合 PET-CT 等功能影像学手段,以便更准确



地观察肿瘤体积与活性的变化。

(二)随访周期

SBRT 后的随访通常与外科手术指南保持一致,常规推荐进行包括双肾及肾上腺在内的腹部 CT 轴位扫描,以及胸部 CT 以排除远处转移。具体随访频率上,第 1 年每 3~4 个月 1 次,第 2 年每 3~6 个月 1 次,之后的 3 年每 3~12 个月 1 次。由于 RCC 放疗后的肿瘤退缩速度往往较为缓慢,短期影像上可出现病灶强化程度无明显变化,甚至因软组织水肿导致假性进展。文献显示,经放疗机器人治疗后患者获得最佳局部影像学反应的时间可达 1~2 年^[40]。在 Trans Tasman 辐射肿瘤学组 15.03 (FASTRACK II) 研究协议中,也规定了相应的随访策略:患者在治疗后 6 个月接受初次 CT 复查,并监测肾功能指标(肌酐、电解质及估算 GFR)以动态评估肾脏状态。此种综合随访模式有助于及时发现潜在并发症或肿瘤进展,并为个体化治疗调整提供依据。

编写组专家信息

组长 王俊杰(北京大学第三医院)

执笔人 彭冉(北京大学第三医院)

专家组成员(按姓氏拼音排序) 陈诚(福建医科大学附属协和医院),陈意(北京大学第三医院),邓秀文(北京大学第三医院),段学章(中国人民解放军总医院第五医学中心),韩骐蔓(北京大学第三医院),吉喆(北京大学第三医院),姜玉良(北京大学第三医院),李光(中国医科大学附属第一医院),李袁(北京大学第三医院),李敏(北京大学第三医院),李学敏(北京大学第三医院),练祖平(广西中医药大学附属瑞康医院),刘士新(吉林省肿瘤医院),彭冉(北京大学第三医院),邱斌(北京大学第三医院),孙静(中国人民解放军总医院第五医学中心),唐玲荣(中国医科大学附属第一医院),田素青(北京大学第三医院),王皓(北京大学第三医院),王俊杰(北京大学第三医院),韦婷婷(广西中医药大学附属瑞康医院),伍钢(华中科技大学同济医学院附属协和医院),肖瑶(北京大学第三医院),谢有科(广西中医药大学附属瑞康医院),徐本华(福建医科大学附属协和医院),徐飞(北京大学第三医院),杨永净(吉林省肿瘤医院),张火俊(海军军医大学第一附属医院),张建平(福建医科大学附属协和医院),张瑞光(华中科技大学同济医学院附属协和医院),赵宪芝(海军军医大学第一附属医院),朱晓斐(海军军医大学第一附属医院)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Xia CF, Dong XS, Li H, et al. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants[J]. Chin Med J (Engl), 2022, 135(5): 584-590. DOI: 10.1097/

CM9.0000000000002108.

- [2] 胡明,范君言,周雄,等. 2020 年全球肾癌发病与死亡分析[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(4): 575-580. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220624-00558.
- [3] Campbell S, Uzzo RG, Allaf ME, et al. Renal mass and localized renal cancer: AUA guideline[J]. J Urol, 2017, 198(3): 520-529. DOI: 10.1016/j.juro.2017.04.100.
- [4] 宿佳琦,张海梁. 局部进展期肾癌综合治疗研究进展[J]. 肿瘤防治研究, 2023, (6): 556-561. DOI: 10.3971/j.issn.1000-8578.2023.22.1542.
- [5] Van Poppel H, Da Pozzo L, Albrecht W, et al. A prospective, randomised EORTC intergroup phase 3 study comparing the oncologic outcome of elective nephron-sparing surgery and radical nephrectomy for low-stage renal cell carcinoma[J]. Eur Urol, 2011, 59(4): 543-552. DOI: 10.1016/j.eururo.2010.12.013.
- [6] 朱文健,潘凤敏. CT 引导下微波消融治疗孤立肾 T1a 期肾癌的疗效和安全性[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2024, 22(4): 466-468. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0512.2024.04.020.
- [7] Ali M, Mooi J, Lawrentschuk N, et al. The Role of stereotactic ablative body radiotherapy in renal cell carcinoma[J]. Eur Urol, 2022, 82(6): 613-622. DOI: 10.1016/j.eururo.2022.06.017.
- [8] Siva S, Louie AV, Kotecha R, et al. Stereotactic body radiotherapy for primary renal cell carcinoma: a systematic review and practice guideline from the International Society of Stereotactic Radiosurgery (ISRS) [J]. Lancet Oncol, 2024, 25(1): e18-e28. DOI: 10.1016/S1470-2045(23)00513-2.
- [9] Blitzer GC, Wojcieszynski A, Abel EJ, et al. Combining stereotactic body radiotherapy and microwave ablation appears safe and feasible for renal cell carcinoma in an early series[J]. Clin Genitourin Cancer, 2021, 19(5): e313-e318. DOI: 10.1016/j.clgc.2021.04.010.
- [10] Siva S, Ali M, Correa RJM, et al. 5-year outcomes after stereotactic ablative body radiotherapy for primary renal cell carcinoma: an individual patient data Meta-analysis from IROCK (International Radiosurgery Consortium of the Kidney) [J]. Lancet Oncol, 2022, 23(12): 1508-1516. DOI: 10.1016/S1470-2045(22)00656-8.
- [11] Kilby W, Dooley JR, Kuduvali G, et al. The CyberKnife robotic radiosurgery system in 2010[J]. Technol Cancer Res Treat, 2010, 9(5): 433-452. DOI: 10.1177/153303461000900502.
- [12] Arakia F, Moribe N, Shimonobou T, et al. Dosimetric properties of radiophotoluminescent glass rod detector in high-energy photon beams from a linear accelerator and cyber-knife[J]. Med Phys, 2004, 31(7): 1980-1986. DOI: 10.1118/1.1758351.
- [13] Nguyen NP, Chirila ME, Page BR, et al. Immunotherapy and stereotactic body radiotherapy for older patients with non-metastatic renal cancer unfit for surgery or decline nephrectomy: practical proposal by the International Geriatric Radiotherapy Group[J]. Front Oncol, 2024, 14: 1391464. DOI: 10.3389/fonc.2024.1391464.
- [14] Svedman C, Karlsson K, Rutkowska E, et al. Stereotactic body radiotherapy of primary and metastatic renal lesions for patients with only one functioning kidney[J]. Acta Oncol, 2008, 47(8): 1578-1583. DOI: 10.1080/02841860802123196.
- [15] Correa RJM, Louie AV, Staehler M, et al. Stereotactic radiotherapy as a treatment option for renal tumors in



- the solitary kidney: a multicenter analysis from the IROCK [J]. *J Urol*, 2019, 201(6): 1097-1104. DOI: 10.1097/JU.000000000000111.
- [16] Le Guevelou J, Sargos P, Siva S, et al. The emerging role of extracranial stereotactic ablative radiotherapy for metastatic renal cell carcinoma: a systematic review[J]. *Eur Urol Focus*, 2023, 9(1): 114-124. DOI: 10.1016/j.euf.2022.08.016.
- [17] Marandino L, Ciccarese C, Francolini G, et al. The role of stereotactic ablative body radiotherapy in renal cell carcinoma: focus on oligometastatic and oligoprogressive disease[J]. *Minerva Urol Nephrol*, 2023, 75(2): 260-264. DOI: 10.23736/S2724-6051.23.05327-2.
- [18] Voglhuber T, Kessel KA, Oechsner M, et al. Single-institutional outcome-analysis of low-dose stereotactic body radiation therapy (SBRT) of adrenal gland metastases[J]. *BMC Cancer*, 2020, 20(1): 536. DOI: 10.1186/s12885-020-07030-w.
- [19] Heger P, Rummel K, Watkins J. Durable local control with preserved renal function for stereotactic body radiotherapy in cryoablation-refractory clear cell renal carcinoma[J]. *Cureus*, 2024, 16(9): e68864. DOI: 10.7759/cureus.68864.
- [20] Siva S, Bressel M, Wood ST, et al. Stereotactic radiotherapy and short-course pembrolizumab for oligometastatic renal cell carcinoma-the RAPPORT trial[J]. *Eur Urol*, 2022, 81(4): 364-372. DOI: 10.1016/j.eururo.2021.12.006.
- [21] Kamran SC, Gao X. Solving the Stereotactic body radiotherapy and checkpoint inhibitor puzzle in metastatic renal cell carcinoma[J]. *Eur Urol*, 2022, 81(3): 283-284. DOI: 10.1016/j.eururo.2021.10.014.
- [22] Pepin EW, Wu HM, Zhang YN, et al. Correlation and prediction uncertainties in the cyberknife synchrony respiratory tracking system[J]. *Med Phys*, 2011, 38(7): 4036-4044. DOI: 10.1118/1.3596527.
- [23] Correa RJM, Louie AV, Zaorsky NG, et al. The emerging role of stereotactic ablative radiotherapy for primary renal cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Urol Focus*, 2019, 5(6): 958-969. DOI: 10.1016/j.euf.2019.06.002.
- [24] Correa RJM, Rodrigues GB, Chen H, et al. Stereotactic ablative radiotherapy (SABR) for large renal tumors: a retrospective case series evaluating clinical outcomes, toxicity, and technical considerations[J]. *Am J Clin Oncol*, 2018, 41(6): 568-575. DOI: 10.1097/COC.0000000000000329.
- [25] Siva S, Pham D, Kron T, et al. Stereotactic ablative body radiotherapy for inoperable primary kidney cancer: a prospective clinical trial[J]. *BJU Int*, 2017, 120(5): 623-630. DOI: 10.1111/bju.13811.
- [26] Grubb WR, Ponsky L, Lo SS, et al. Final results of a dose escalation protocol of stereotactic body radiotherapy for poor surgical candidates with localized renal cell carcinoma[J]. *Radiother Oncol*, 2021, 155: 138-143. DOI: 10.1016/j.radonc.2020.10.031.
- [27] Hannan R, McLaughlin MF, Pop LM, et al. Phase 2 trial of stereotactic ablative radiotherapy for patients with primary renal cancer[J]. *Eur Urol*, 2023, 84(3): 275-286. DOI: 10.1016/j.eururo.2023.02.016.
- [28] Benedict SH, Yenice KM, Followill D, et al. Stereotactic body radiation therapy: the report of AAPM Task Group 101[J]. *Med Phys*, 2010, 37(8): 4078-4101. DOI: 10.1118/1.3438081.
- [29] Siva S, Ellis RJ, Ponsky L, et al. Consensus statement from the International Radiosurgery Oncology Consortium for Kidney for primary renal cell carcinoma[J]. *Future Oncol*, 2016, 12(5): 637-645. DOI: 10.2217/fon.16.2.
- [30] Brunner TB, Boda-Heggemann J, Bürgy D, et al. Dose prescription for stereotactic body radiotherapy: general and organ-specific consensus statement from the DEGRO/DGMP Working Group Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery[J]. *Strahlenther Onkol*, 2024, 200(9): 737-750. DOI: 10.1007/s00066-024-02254-2.
- [31] Staehler M, Schuler T, Spek A, et al. Propensity score-matched analysis of single fraction robotic radiosurgery versus open partial nephrectomy in renal cell carcinoma: oncological outcomes[J]. *Cureus*, 2022, 14(1): e21623. DOI: 10.7759/cureus.21623.
- [32] Kirste S, Rühle A, Zschiedrich S, et al. Stereotactic body radiotherapy for renal cell carcinoma in patients with von Hippel-Lindau disease-results of a prospective trial[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(20): 5069. DOI: 10.3390/cancers14205069.
- [33] Lapierre A, Badet L, Rouviere O, et al. Safety and efficacy of stereotactic ablative radiation therapy for renal cell cancer: 24-month results of the RSR1 phase 1 dose escalation study[J]. *Pract Radiat Oncol*, 2023, 13(1): e73-e79. DOI: 10.1016/j.prro.2022.06.012.
- [34] Glicksman RM, Cheung P, Korol R, et al. Stereotactic body radiotherapy for renal cell carcinoma: oncological and renal function outcomes[J]. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*, 2023, 35(1): 20-28. DOI: 10.1016/j.clon.2022.06.007.
- [35] Tang C, Msaouel P, Hara K, et al. Definitive radiotherapy in lieu of systemic therapy for oligometastatic renal cell carcinoma: a single-arm, single-centre, feasibility, phase 2 trial[J]. *Lancet Oncol*, 2021, 22(12): 1732-1739. DOI: 10.1016/S1470-2045(21)00528-3.
- [36] Staehler M, Bader M, Schlenker B, et al. Single fraction radiosurgery for the treatment of renal tumors[J]. *J Urol*, 2015, 193(3): 771-775. DOI: 10.1016/j.juro.2014.08.044.
- [37] Wersäll PJ, Blomgren H, Lax I, et al. Extracranial stereotactic radiotherapy for primary and metastatic renal cell carcinoma[J]. *Radiother Oncol*, 2005, 77(1): 88-95. DOI: 10.1016/j.radonc.2005.03.022.
- [38] Svedman C, Sandström P, Pisa P, et al. A prospective phase II trial of using extracranial stereotactic radiotherapy in primary and metastatic renal cell carcinoma[J]. *Acta Oncol*, 2006, 45(7): 870-875. DOI: 10.1080/02841860600954875.
- [39] Kasuya G, Tsuji H, Nomiya T, et al. Updated long-term outcomes after carbon-ion radiotherapy for primary renal cell carcinoma[J]. *Cancer Sci*, 2018, 109(9): 2873-2880. DOI: 10.1111/cas.13727.
- [40] Funayama S, Onishi H, Kuriyama K, et al. Renal cancer is not radioresistant: slowly but continuing shrinkage of the tumor after stereotactic body radiation therapy[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2019, 18: 1533033818822329. DOI: 10.1177/1533033818822329.
- [41] Correa RJM, Appu S, Siva S. Stereotactic radiotherapy for renal cell carcinoma: the fallacy of (false) positive post-treatment biopsy[J]. *Eur Urol*, 2023, 84(3): 287-288. DOI: 10.1016/j.eururo.2023.03.025.

