

立体定向体部放射治疗前列腺寡转移癌的研究进展

赵惠^{1*#}, 荆小许^{2*}, 邱书浩³, 解浩然², 姜睿哲², 马云航², 蒋承烨²

¹山东第二医科大学附属医院泌尿外科, 山东 潍坊

²山东第二医科大学临床医学院, 山东 潍坊

³湖南中医药大学中医学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年3月23日; 发布日期: 2026年3月31日

摘要

前列腺寡转移癌(oligometastatic prostate cancer, OMPC)是介于局限期与广泛转移期之间的特殊疾病阶段, 具有转移负荷有限、生物学行为相对可控的特点。随着前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描/计算机断层扫描等高灵敏度成像技术的出现, 转移病灶得以在早期阶段被检测和精确定位, 从而实现更精确的疾病分层和治疗决策。现有研究表明, 立体定向体部放射治疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT)在前列腺寡转移癌中具有较高的局部控制率和较低的毒性反应, 能够有效清除可见病灶并在一定程度上延缓雄激素剥夺治疗(androgen deprivation therapy, ADT)治疗, 改善患者生活质量。同时, 在系统治疗基础上联合SBRT, 也可进一步提高生存率并延长影像学无进展生存期, 显示出一定的协同作用, 本综述旨在系统梳理SBRT在前列腺寡转移癌中提高局部控制率, 延缓系统治疗及改善生存结局等方面的研究进展, 明确其在综合治疗中的临床价值, 为优化治疗策略及筛选获益人群提供理论依据, 为前列腺寡转移癌治疗的优化策略提供理论依据和新的研究方向。

关键词

前列腺寡转移癌, 立体定向体部放射治疗, 转移灶定向治疗, 系统治疗

Advances in Stereotactic Body Radiotherapy for Oligometastatic Prostate Cancer

Hui Zhao^{1*#}, Xiaoxu Jing^{2*}, Shuhao Qiu³, Haoran Xie², Ruizhe Jiang², Yunhang Ma², Chengye Jiang²

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 赵惠, 荆小许, 邱书浩, 解浩然, 姜睿哲, 马云航, 蒋承烨. 立体定向体部放射治疗前列腺寡转移癌的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 436-445. DOI: 10.12677/acm.2026.1641266

¹Department of Urology, Affiliated Hospital of Shandong Second Medical University, Weifang Shandong

²School of Clinical Medicine, Shandong Second Medical University, Weifang Shandong

³School of Traditional Chinese Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha Hunan

Received: February 28, 2026; accepted: March 23, 2026; published: March 31, 2026

Abstract

Oligometastatic prostate cancer (OMPC) represents a distinct clinical state between localized disease and widespread metastatic progression, characterized by a limited metastatic burden and relatively controllable biological behavior. With the advent of highly sensitive imaging modalities such as prostate-specific membrane antigen positron emission tomography/computed tomography (PSMA-PET/CT), metastatic lesions can be detected and precisely localized at an early stage, enabling more accurate disease stratification and therapeutic decision-making. Accumulating evidence indicates that stereotactic body radiotherapy (SBRT) achieves high rates of local control with a favorable toxicity profile in patients with OMPC. By effectively ablating visible metastatic lesions, SBRT can delay the initiation or escalation of androgen deprivation therapy (ADT), thereby postponing treatment-related adverse effects and improving patients' quality of life. Moreover, when integrated with systemic therapy, SBRT may further enhance survival outcomes and prolong imaging-based progression-free survival, suggesting a potential synergistic effect within a multimodal treatment framework. This review aims to systematically summarize the current evidence regarding the role of SBRT in OMPC, with particular emphasis on its impact on local control, postponement of systemic therapy, and improvement of survival outcomes. By clarifying the clinical value of SBRT within comprehensive treatment strategies, this review seeks to provide a theoretical basis for optimizing therapeutic approaches and identifying patient subgroups most likely to benefit, as well as to outline future directions for research in the management of oligometastatic prostate cancer.

Keywords

Oligometastatic Prostate Cancer, Stereotactic Body Radiotherapy, Metastasis-Directed Therapy, Systemic Therapy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

前列腺癌是全球男性中发病率最高的恶性肿瘤之一,其临床结局与疾病分期及转移状态密切相关[1]。传统观点认为,一旦发生远处转移,疾病即进入系统性阶段,应以雄激素剥夺治疗(androgen deprivation therapy, ADT)为核心的全身治疗为主,局部治疗的作用有限[2]。然而,随着肿瘤生物学认识的深化以及高灵敏度影像学技术(尤其是前列腺特异性膜抗原正电子发射断层显像/计算机体层扫描 PSMA-PET/CT)的广泛应用,研究发现部分肿瘤在演变过程中可能经历转移负荷有限、生物学行为相对可控的阶段[3]-[6],这一状态下的病变被定义为前列腺寡转移癌(oligometastatic prostate cancer, OMPC)。基于寡转移理论,多数研究提出在此阶段实施立体定向体部放射治疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT)治疗,不仅能够延缓疾病进展,还可能改变部分患者的自然病程[7]。

目前 SBRT 已成为转移灶定向治疗(metastasis-directed therapy, MDT)的核心手段之一[8]。现有研究表明 SBRT 毒性较小, 对病灶的局部控制效果较好, 其局部控制率可维持在 90% 以上[9] [10]。此外, SBRT 还可以延缓 ADT, 减轻内分泌治疗带来的相关不良反应[11] [12]。部分研究还进一步表明, SBRT 可能改善患者的生存率[13] [14]。与此同时, SBRT 可与新型内分泌治疗药物(next-generation androgen receptor pathway inhibitors, ARPIs)联合应用, 研究表明系统治疗联合 SBRT, 可进一步延长患者的无进展生存期(progression-free survival, PFS), 提示 SBRT 与全身系统治疗之间可能存在协同增效作用[15]。

综上所述, 前列腺寡转移癌的治疗向系统治疗联合 SBRT 演变。在此背景下, 了解 SBRT 在局部控制、联合治疗及生存改善等方面的作用, 对于筛选获益人群具有重要意义。本综述通过梳理国内外研究, 深入探讨 SBRT 在治疗前列腺寡转移癌方面作用, 阐明其最新进展和潜在临床价值, 为前列腺寡转移癌的治疗提供理论依据和新的研究方向。

2. 前列腺寡转移癌的概念与生物学基础

前列腺寡转移癌被认为是一种处于局限性病变与广泛转移病变之间的过渡阶段[16]。Hellman 和 Weichselbaum [16]提出的“寡转移”理论认为, 部分肿瘤在生物学上可能存在转移能力受限的阶段, 因此局部消融治疗可能改变疾病进程。随着 PSMA-PET/CT 的广泛应用, 微小转移灶的检出率明显提高, 传统以病灶数量(通常 $\leq 3\sim 5$ 个)为核心的定义逐渐向影像学与生物学相结合的综合判断转变[17]-[20]。

从肿瘤进化角度来看, 前列腺癌具有显著的克隆异质性[21]。原发灶在进展过程中可通过分支进化产生具有不同转移潜能的亚克隆[22] [23]。寡转移阶段可能意味着肿瘤已经具备远处播散能力, 但尚未形成广泛的系统性转移体系。因此, 寡转移不应简单理解为“低侵袭性”, 而更可能是疾病演进过程中的一个阶段性状态。

关于寡转移的进展机制, 目前主要存在两种解释模型。第一种是“原发灶持续播散假说”, 认为原发肿瘤仍然是后续转移的重要来源[24]。在这一框架下, 通过减瘤性前列腺切除术降低肿瘤负荷, 可能有助于减少新的远处播散, 但是该策略主要针对原发灶, 对已存在的多发转移灶无控制能力[1]。第二种是“转移灶主导进展假说”, 即已形成的转移灶可以相对独立地生长并推动疾病进展[3] [25]。在这一情况下, 针对所有可见转移灶应实施 SBRT 治疗。

3. SBRT 在前列腺寡转移癌中的应用

3.1. SBRT 的放射生物学基础

众所周知, 前列腺癌为早反应组织, 具有低 α/β 比值(约 1.5~3.5 Gy)的放射生物学特征, 这意味着肿瘤细胞对单次剂量较高的照射更为敏感[19]。而邻近的直肠、膀胱等晚反应正常组织 α/β 比值略高于前列腺癌组织, 对大分割放疗具有较好的耐受性[23]。这种的差异, 赋予了 SBRT 独特的治疗优势。通过单次大剂量照射, SBRT 可显著提升生物等效剂量(biologically effective dose, BED), 增强对前列腺寡转移癌的杀伤效果, 从而降低对周围组织器官的放射治疗毒性[24]。

3.2. SBRT 可以提高局部控制率

SBRT 具有良好的局部控制效果。Ahmed Gawish 等[25]对接受 SBRT 治疗的前列腺寡转移癌患者进行回顾性分析, 中位随访时间为 16.6 个月, 局部控制率约为 96%。一项来自 Michael Yan 等的荟萃分析汇总了 653 例患者, 其经过治疗后总体局部控制率达到了 97% [26]。此外, 临床研究发现局部控制率与 BED 水平呈正相关, Viani 等[9]发表的荟萃分析显示, 当 BED (以 $\alpha/\beta = 3$ Gy 换算)低于 100 Gy 时, 局部控制率约为 88%; 当 BED 超过 100 Gy 时, 局部控制率可提升至 96%, 差异具有统计学意义($P = 0.017$),

该结果提示, 较高的 BED 水平有助于提高局部控制率。综上, 对于前列腺癌寡转移患者, 立体定向消融放疗(SBRT)是一种局部控制能力显著的治疗策略。

3.3. SBRT 可以延缓雄激素治疗

SBRT 可以延缓雄激素剥夺治疗, 减少内分泌治疗导致的不良反应, 从而改善患者生活质量。Charlotte L. Deijen 等[27]开展了一项回顾性队列研究, 纳入了 2012 年 1 月至 2017 年 12 月期间所有复发性前列腺癌转移患者, 患者均接受 SBRT 治疗且治疗期间未同步使用 ADT。转移灶分别采用 PSMA-11-PET 或胆碱-PET 技术进行定位。结果显示, PSMA-11-PET 组的中位无 ADT 生存期显著优于胆碱-PET 组(32.7 个月 vs 14.9 个月, $p = 0.01$), 且前列腺特异抗原维持在较低水平的时间也更长($p = 0.004$), 表明 PSMA-PET 引导下的 SBRT 可进一步延缓 ADT 的使用。Daniel H. Kwon 等[28]通过 PSMA/氟西洛宾 PET 筛查出 25 例寡转移患者, 并在首次给予 SBRT 治疗后发现, 其中 7 例在中位随访 48 个月内无需 ADT 治疗。对于接受第二次 SBRT 的患者, 其无 ADT 生存期仍可维持至 23.2 个月。这一结果提示, 连续实施 SBRT 治疗可有效推迟 ADT 的启用时间。此外, 在其他研究中 TRANSFORM 试验进一步验证了该策略的价值。Andrew W. See 等[29]对 199 例前列腺癌转移患者实施 SBRT 治疗, 结果显示, 患者 5 年内未进一步接受系统治疗的比例达 21.7%, 其中未接受过激素治疗的亚组为 25.4% (95% 置信区间: 18.1%~33.9%)。中位随访 67.9 个月后, 仍有 18.9% 的患者未进行系统治疗。该前瞻性数据表明, SBRT 治疗的确能延迟 ADT 的应用, 但是目前并没有高水平证据表明 SBRT 延缓 ADT 能够改善整体生存。Zhao 等人进行的前瞻性试验旨在评估 SBRT 是否可以延迟 ADT 并改善结果, 但其并未发表成熟结果[30]。因此, 无 ADT 生存期主要反映系统治疗的延迟情况, 与总生存期之间并无明确的必然联系。

3.4. SBRT 对生存预后的影响

SBRT 可以改善前列腺癌转移性癌患者生存率。Andrew Kneebone 等[31]在 2014 年 11 月至 2016 年 7 月期间开展了一项针对 SBRT 治疗的前瞻性研究。骨转移患者接受 20 Gy 单次或 24 Gy 分两次照射, 淋巴结转移患者则给予 50 Gy 五次或 30 Gy 三次的方案。中位随访时间为 16 个月, 结果显示全组患者的中位无生化复发生存期为 11 个月, 15 个月时的无生化复发生存率为 31.9%。Yan 等[26]在一项系统综述与荟萃分析中指出, 653 例前列腺癌转移患者接受 SBRT 治疗后, 2 年无生化复发生存期(BCFS)和无进展生存期(PFS)分别约为 33% 和 39%, 提示 SBRT 能显著改善生存率。Xu 等[32]对 75 例接受 SBRT 治疗的前列腺癌转移患者进行回顾性研究, 结果显示, 1 年和 2 年无进展生存(PFS)率分别为 50.8% 和 47.2%, 1 年和 2 年总生存(OS)率分别为 88.8% 和 87.0%。这些数据表明, SBRT 可有效延长短期至中期的生存获益。最新的随机临床试验也进一步证实了 SBRT 在改善生存指标方面的潜在价值。最新随机临床试验结果也进一步凸显了 SBRT 在改善生存指标方面的优势, Niazi 等[33]组织的 GROUQ-PCS 9 试验旨在比较标准系统治疗(包括 ADT 与恩杂鲁胺)联合 SBRT 与单纯系统治疗的疗效。结果显示, 放疗组的影像学无进展生存期(rPFS)中位值达到 4.6 年, 而对照组为 2.3 年。上述结果提示, 即使在高风险的去势抵抗性寡转移人群中, SBRT 仍可有效延长患者生存率。综合多项研究, SBRT 在前列腺癌转移患者中可显著改善短期至中期生存率, 并在去势抵抗性高危人群中通过延长影像学无进展生存期, 展现出一定的生存获益潜力。

3.5. SBRT 具有较低的毒性反应

SBRT 在前列腺癌转移患者中的毒性事件较少, 且随着磁共振等技术的进步, 其对周围正常组织的损伤风险进一步降低, 患者的耐受性也随之提高。Michael Yan 等[26]进行的一项系统回顾与荟萃分析纳入了 653 例寡转移前列腺癌患者, 涉及病灶总数超过 1100 个。研究中仅出现 1 例与骨痛相关的 ≥ 3 级严重毒性事件, 其余不良反应多为轻中度(G1~G2), 表明 SBRT 的毒性风险较低。在 Ahmed 等[34]的单一中心

回顾性研究中, 17 例前列腺寡转移患者接受 SBRT 治疗后, 没有出现 ≥ 3 级的急性或晚期毒性反应, 仅有少数患者出现 2 级呼吸困难或背痛等症状, 提示即使是高剂量单次或少数分次的治疗方案, 也具有较好的耐受性。类似地, Xu 等[32]在 75 例寡转移患者的研究中观察到, 治疗后不良反应主要为轻度疲劳、恶心及食欲减退等可控表现, 未发现 ≥ 3 级毒性事件, 且所有早期副作用均可通过治疗得到缓解。这些结果说明, SBRT 在实际临床应用中的安全性较高。D Baron 等[35]纳入 119 例激素敏感性前列腺癌患者, 进行回顾性研究, 结果显示仅有 1 例患者出现 ≥ 3 级的治疗相关毒性事件, 凸显了其良好的耐受性。Giulia Marvaso 等[36]的系统评价纳入了 445 名前列腺寡转移患者, 研究指出大多数 SBRT 相关不良事件集中在轻至中度范畴, 且在随访过程中严重毒性极少见。此外, 技术进步也在持续降低 SBRT 的毒性风险。有荟萃分析比较了普通 CT 引导与磁共振引导的 SBRT, 结果显示, 磁共振引导的 SBRT 可显著降低急性泌尿系统及消化系统 ≥ 2 级不良事件的发生率[37]。这是因为磁共振成像能更清楚地显示肿瘤和周围正常组织的位置, 而且可以根据患者的解剖情况对放疗计划做细微调整, 从而更好地保护邻近器官。相比之下, 传统 CT 引导受图像分辨率和软组织对比度的限制, 很难做到同样精准的实时调整, 因此相关毒性风险更高。综上, SBRT 在前列腺寡转移癌患者中毒性较低, 且随着磁共振等技术的推广, 其对正常组织的损伤会进一步降低。

综上所述, 多项研究结果一致显示, 对于前列腺寡转移癌患者, SBRT 既能较好地控制局部病灶, 又能减少毒性反应, 延缓系统治疗进程, 并在一定程度上改善生存情况。这些发现共同说明, SBRT 在前列腺寡转移癌的治疗中具有重要作用。

4. 立体定向放射治疗与系统治疗的联合应用

4.1. SBRT 与系统治疗联合应用的肿瘤学基础

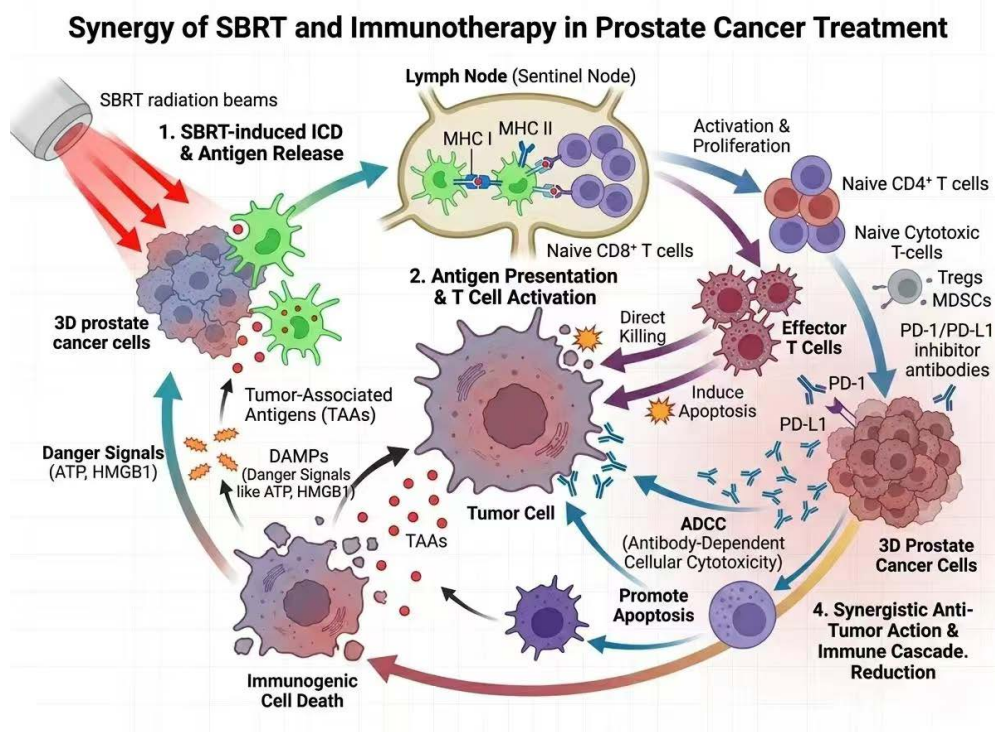


Figure 1. Schematic diagram of the synergistic anti-tumor mechanism of SBRT combined with immunotherapy
图 1. SBRT 联合免疫治疗协同抗肿瘤机制示意图

SBRT 通过诱导肿瘤细胞免疫原性死亡, 释放抗原并激活 T 细胞应答, 为系统治疗(如免疫检查点抑制剂、新型内分泌药物)营造更敏感的免疫微环境, 从而提高对病灶的控制率。见图 1 所示, 首先, SBRT 通过照射肿瘤细胞诱导免疫原性细胞死亡(ICD), 同时释放肿瘤相关抗原(TAA)及 DAMPs (如 ATP、HMGB1), 激活树突状细胞并启动特异性 T 细胞免疫反应(包括 CD4⁺辅助 T 细胞和 CD8⁺杀伤性 T 细胞)[38]-[41]。此外, SBRT 还促进了炎症因子的释放, 这些因子不仅促进了局部免疫反应还促进了全身性免疫反应, 这些因子可以联合免疫检查点抑制剂(如 PD-1/PD-L1 抑制剂)时, 增强 T 细胞的抗肿瘤活性, 并促进抗体依赖性细胞介导的细胞毒性(ADCC)效应, 从而进一步清除肿瘤细胞[42]。此外, SBRT 还能够通过改变肿瘤微环境, 减少抑制性免疫细胞如调节性 T 细胞(Tregs)和髓系抑制性细胞(MDSCs)的数量, 进而解除对效应性 T 细胞和自然杀伤细胞的抑制, 恢复其抗肿瘤活性[43]。当 SBRT 与靶向治疗联合应用时, 其通过诱导免疫原性细胞死亡和免疫激活, 与化疗或靶向药物产生协同增效, 抑制肿瘤免疫逃逸, 从而改善局部及远处转移灶[44]。因此, SBRT 与系统治疗的联合, 不仅可以直接杀死肿瘤, 还可激活免疫反应, 改善患者的整体生存期和无进展生存期(PFS)。

SBRT 通过诱导免疫原性细胞死亡(ICD), 促进肿瘤相关抗原(TAAs)及 DAMPs (ATP、HMGB1)释放; 树突状细胞摄取抗原后迁移至淋巴结, 通过 MHC I/II 分子将抗原呈递给初始 T 细胞, 激活 CD4⁺和 CD8⁺ T 细胞并促进其增殖; 活化的效应 T 细胞浸润肿瘤, 识别并杀伤肿瘤细胞。PD-1/PD-L1 抑制剂可阻断免疫检查点信号, 恢复 T 细胞杀伤功能, 同时 ADCC 效应进一步增强抗肿瘤免疫。SBRT 还可减少 Tregs 和 MDSCs 等抑制性免疫细胞, 重塑肿瘤微环境, 最终实现局部及远处病灶的控制。

4.2. SBRT 联合系统治疗在前列腺寡转移癌中的应用

在前列腺寡转移癌的治疗中, 立体定向体部放射治疗(SBRT)与新型激素治疗(如醋酸阿比特龙联合泼尼松)相结合, 相比单独使用其中一种方式, 能够改善生存率。ARTO 研究是一项多中心随机 II 期临床试验, 旨在比较醋酸阿比特龙联合泼尼松(abiraterone acetate plus prednisone, AAP)单药与 AAP 联合 SBRT 的疗效[45]。结果显示, 与单纯 AAP 治疗相比, 联合 SBRT 可明显提高生化反应率(92% vs. 68.3%)和完全生化反应率(56% vs. 23.2%), 并延长无进展生存期。这表明, 在系统性雄激素合成抑制治疗的基础上, 对寡转移灶加用局部消融性放疗, 有助于进一步强化肿瘤控制效果。此外, Carole Mercier 等[46]的研究表明, 在转移性激素敏感性前列腺癌(mHSPC)患者中, 仅接受 SBRT 治疗的 31 例患者仅有 14 例(45%)出现前列腺特异性抗原(PSA)下降, 而联合激素治疗的 29 例患者中则有 27 例(93%) PSA 水平下降, 提示对于该患者群体, 联合治疗可显著提升疗效。不过, 长期使用激素治疗可能会带来代谢紊乱、骨质疏松等问题, 对患者的身体和心理都会造成负担, 进而影响生活质量。因此, 在制定治疗方案时, 应结合患者的具体病情、个人意愿进行全面权衡。

立体定向放射治疗(SBRT)与新型抗雄激素药物(如阿比特龙、恩扎卢胺等)的联合应用, 在改善疾病控制与延长生存期方面也显示出显著优势。Francolini 等[45]开展了一项多中心 II 期随机试验(ARTO), 其探讨了 SBRT 联合阿比特龙治疗寡转移性去势抵抗性前列腺癌(CRPC)的疗效。该研究共纳入 157 例患者, 结果显示, 联合治疗组(SBRT + 阿比特龙)的生化缓解率(BR, 定义为治疗后 6 个月 PSA 较基线下降 \geq 50%)为 92%, 而单一阿比特龙组为 68.3%; 联合治疗组的完全生化缓解率(CBR, 治疗后 6 个月 PSA $<$ 0.2 ng/ml)为 56%, 显著高于单一治疗组的 23.2%。该研究表明, SBRT 联合阿比特龙可有效控制疾病进展并显著延长无进展生存期。此外, Niazi 等[33]的一项多中心、开放标签、随机 II 期试验也证实, 在标准全身治疗基础上联合 SBRT 与恩扎卢胺, 可使寡转移性去势抵抗性前列腺癌患者的中位影像学无进展生存期延长一倍。这些研究结果提示, 联合新型抗雄激素药物能为寡转移前列腺癌患者提供更具潜力的治疗选择。此外, 目前尚无已发表研究直接比较 SBRT 联合阿比特龙与 SBRT 单独治疗在前列腺癌寡转移患

者中的疗效差异。现有研究主要关注在系统治疗基础上联合 SBRT 的增益作用, 或比较 SBRT 联合新型内分泌治疗与内分泌治疗单用, 而较少探讨在已行局部消融治疗的基础上是否仍需联合阿比特龙。

综上, SBRT 联合系统治疗可以改善生存率和延长无进展生存期。值得注意的是, 不同临床试验的设计具有差异。STAMPEDE 试验样本量大(2061 例), 证实了放疗能给低危转移患者带来生存获益, 但它采用的是放疗联合化疗和激素的模式, 无法明确 SBRT 在其中发挥的具体作用, 且该试验没有区分寡转移与广泛转移。ORIOLE 试验是首个直接验证 SBRT 单药效果的随机对照研究, 结果显示 SBRT 能延长无进展生存期(8.2 个月 vs 观察组 3.4 个月), 但随访时间较短(中位 21 个月), 也未纳入去势抵抗性患者, 长期疗效和适用范围仍有待验证。ARTO 试验聚焦于去势抵抗性前列腺癌(CRPC), 发现 SBRT 联合阿比特龙可将无进展生存期延长至 12.3 个月, 但因其入组标准严格(仅限 CRPC 人群), 结果能否推广至激素敏感患者尚不明确。GROUQ-PCS9 试验则针对高危去势抵抗性寡转移人群, 探索了 SBRT 联合标准系统治疗(ADT + 恩扎卢胺)的协同效应, 但样本量较小($n = 95$), 且缺乏长期随访数据, 其影像学无进展生存期的显著改善(4.6 年 vs 2.3 年)需谨慎解读。因此, 只有结合试验来解读研究结果, 才能客观评估 SBRT 在不同治疗场景中的真实价值。

5. SBRT 与新型影像技术及结合

临床上, SBRT 常与 PSMA-PET 联合应用。由于 PSMA-PET 灵敏度高, 能实现对寡转移病灶的准确定位, 常与 SBRT 联合应用, 实现对寡转移病灶的高效治疗。Edoardo Pastorello 等[47]的一项纳入 95 例前列腺寡转移癌患者的研究, 使用 ^{68}Ga -PSMA PET/CT 技术对非骨髓骨转移灶进行精确定位, 并实施了 30~35 Gy/5 次的高剂量照射, 结果显示该方案未出现 3 级及以上治疗相关不良反应。研究表明, 该技术的精确定位有助于减少放疗对正常组织的损伤, 从而有效降低治疗毒性。在另一项纳入 103 名前前列腺寡转移癌患者的回顾性研究中, Riche Mohan 等[48]采用 PSMA-PET 技术精准定位转移灶, 并施以 24~30 Gy 的少分割放疗。结果显示, 在 5 年随访中患者未出现复发, 且仅有 2 例发生 3 级不良反应。综上, PSMA-PET 能够辅助 SBRT 实现精确定位, 减少对正常组织的损伤, 降低相关毒性风险。

6. 总结与展望

前列腺寡转移癌作为一种特殊的过渡阶段, 具有独特的生物学特征与重要的临床干预价值。PSMA-PET/CT 具备灵敏度较高的特点, 使得寡转移灶得以被精准识别, 通常与 SBRT 联合应用。现有研究证实, SBRT 治疗前列腺寡转移癌不仅具有较高的局部控制率和良好的耐受性, 还能延缓 ADT 治疗、提高患者生存率。更值得关注的是, SBRT 与系统治疗联合可有效提高生存率并延长影像学无进展生存期, 展现出良好的协同效应。但是未来仍需进一步开展大样本、长期随访的随机研究, 以明确其对总体生存的最终影响, 从而优化联合治疗的策略。

基金项目

潍坊青年医学人才托举工程; 山东第二医科大学附属医院医学研究培育基金(“种子基金”)编号: 2023wyfyzjj07; 山东第二医科大学教学改革课题(2023ZX014)。

参考文献

- [1] Parker, C.C., James, N.D., Brawley, C.D., Clarke, N.W., Hoyle, A.P., Ali, A., *et al.* (2018) Radiotherapy to the Primary Tumour for Newly Diagnosed, Metastatic Prostate Cancer (STAMPEDE): A Randomised Controlled Phase 3 Trial. *The Lancet*, **392**, 2353-2366. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)32486-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32486-3)

- [2] Kothari, G., Ost, P., Cheung, P., Blanchard, P., Tree, A.C., van As, N.J., *et al.* (2019) Trends in Management of Oligometastatic Hormone-Sensitive Prostate Cancer. *Current Oncology Reports*, **21**, Article No. 43. <https://doi.org/10.1007/s11912-019-0791-5>
- [3] Weichselbaum, R.R. and Hellman, S. (2011) Oligometastases revisited. *Nature Reviews Clinical Oncology*, **8**, 378-382. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2011.44>
- [4] Sonpavde, G. (2017) The Biology of Prostate Cancer Metastases. *Current Opinion in Urology*, **27**, 542-546. <https://doi.org/10.1097/mou.0000000000000434>
- [5] Alberto, M., Yim, A., Papa, N., Siva, S., Ischia, J., Touijer, K., *et al.* (2022) Role of PSMA Pet-Guided Metastases-Directed Therapy in Oligometastatic Recurrent Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article ID: 929444. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.929444>
- [6] Müller, P.J., Dietlein, M., Kobe, C., Heidenreich, A. and Drzezga, A. (2022) Oligometastatic Disease in Biochemical Recurrence of Prostate Cancer: Prevalence on PSMA PET/CT and Consecutive Metastasis-Directed Therapy—Experience at a Tertiary Referral Center. *Nuklearmedizin-NuclearMedicine*, **61**, 314-324. <https://doi.org/10.1055/a-1697-8111>
- [7] Phillips, R., Shi, W.Y., Deek, M., Radwan, N., Lim, S.J., Antonarakis, E.S., *et al.* (2020) Outcomes of Observation vs Stereotactic Ablative Radiation for Oligometastatic Prostate Cancer: The ORIOLE Phase 2 Randomized Clinical Trial. *JAMA Oncology*, **6**, 650-659. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2020.0147>
- [8] Habl, G., Straube, C., Schiller, K., Duma, M.N., Oechsner, M., Kessel, K.A., *et al.* (2017) Oligometastases from Prostate Cancer: Local Treatment with Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT). *BMC Cancer*, **17**, Article No. 361. <https://doi.org/10.1186/s12885-017-3341-2>
- [9] Viani, G.A., Arruda, C.V., Hamamura, A.C., Faustino, A.C., Freitas Bendo Danelichen, A. and Guimarães, F.S. (2020) Stereotactic Body Radiotherapy for Oligometastatic Prostate Cancer Recurrence. *American Journal of Clinical Oncology*, **43**, 73-81. <https://doi.org/10.1097/coc.0000000000000635>
- [10] Zhang, B. and Leech, M. (2020) A Review of Stereotactic Body Radiation Therapy in the Management of Oligometastatic Prostate Cancer. *Anticancer Research*, **40**, 2419-2428. <https://doi.org/10.21873/anticancer.14211>
- [11] Bouman-Wammes, E.W., van Dodewaard-De Jong, J.M., Dahele, M., Cysouw, M.C.F., Hoekstra, O.S., van Moorselaar, R.J.A., *et al.* (2017) Benefits of Using Stereotactic Body Radiotherapy in Patients with Metachronous Oligometastases of Hormone-Sensitive Prostate Cancer Detected by [18F]Fluoromethylcholine Pet/ct. *Clinical Genitourinary Cancer*, **15**, e773-e782. <https://doi.org/10.1016/j.clgc.2017.03.009>
- [12] Werensteijn-Honingh, A.M., Wevers, A.F.J., Peters, M., Kroon, P.S., Intven, M., Eppinga, W.S.C., *et al.* (2021) Progression-Free Survival in Patients with ⁶⁸Ga-PSMA-PET-Directed SBRT for Lymph Node Oligometastases. *Acta Oncologica*, **60**, 1342-1351. <https://doi.org/10.1080/0284186x.2021.1955970>
- [13] Le Guevelou, J., Cuccia, F., Flippot, R., Ferrera, G., Terlizzi, M., Zilli, T., *et al.* (2024) The Current Landscape of Stereotactic Body Radiation Therapy for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, **28**, 546-556. <https://doi.org/10.1038/s41391-024-00862-8>
- [14] Chen, H., Badellino, S., Biswas, T., Dagan, R., Erler, D., Foote, M., *et al.* (2022) Conditional Survival of Patients with Extracranial Oligometastatic Treated with Stereotactic Body Radiation Therapy: An International Consortium Study. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, **114**, 902-909. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.06.073>
- [15] Massaro, M., Facondo, G., Vullo, G., Aschelter, A.M., Rossi, A., De Sanctis, V., *et al.* (2021) Androgen Receptor Targeted Therapy + Radiotherapy in Metastatic Castration Resistant Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **11**, Article ID: 695136. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.695136>
- [16] Hellman, S. and Weichselbaum, R.R. (1995) Oligometastases. *Journal of Clinical Oncology*, **13**, 8-10. <https://doi.org/10.1200/jco.1995.13.1.8>
- [17] Hofman, M.S., Lawrentschuk, N., Francis, R.J., Tang, C., Vela, I., Thomas, P., *et al.* (2020) Prostate-Specific Membrane Antigen PET-CT in Patients with High-Risk Prostate Cancer before Curative-Intent Surgery or Radiotherapy (PropSma): A Prospective, Randomised, Multicentre Study. *The Lancet*, **395**, 1208-1216. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30314-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30314-7)
- [18] Ottaiano, A., Santorsola, M., Circelli, L., Trotta, A.M., Izzo, F., Perri, F., *et al.* (2023) Oligo-Metastatic Cancers: Putative Biomarkers, Emerging Challenges and New Perspectives. *Cancers*, **15**, Article 1827. <https://doi.org/10.3390/cancers15061827>
- [19] Gundem, G., Van Loo, P., Kremeyer, B., Alexandrov, L.B., Tubio, J.M.C., Papaemmanuil, E., *et al.* (2015) The Evolutionary History of Lethal Metastatic Prostate Cancer. *Nature*, **520**, 353-357. <https://doi.org/10.1038/nature14347>
- [20] Gerlinger, M., Rowan, A.J., Horswell, S., Larkin, J., Endesfelder, D., Gronroos, E., *et al.* (2012) Intratumor Heterogeneity and Branched Evolution Revealed by Multiregion Sequencing. *New England Journal of Medicine*, **366**, 883-892. <https://doi.org/10.1056/nejmoal113205>

- [21] Gandaglia, G., Fossati, N., Montorsi, F. and Briganti, A. (2017) Reply to Pascal Mouracade's Letter to the Editor Re: Giorgio Gandaglia, Nicola Fossati, Armando Stabile, *Et Al.* Radical Prostatectomy in Men with Oligometastatic Prostate Cancer: Results of a Single-Institution Series with Long-Term Follow-Up. *Eur Urol* 2017;72:289-92. Do the Data Violate Kaplan-Meier Assumptions? *European Urology*, **72**, e31. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2017.01.048>
- [22] Salomon, L., Levrel, O., de La Taille, A., *et al.* (2002) Seminal Vesicle Invasion after Radical Prostatectomy: Study of Risk Factors for Progression. *Progres en Urologie: Journal De l'Association Francaise D'urologie et de la Societe Francaise D'urologie*, **12**, 621-627.
- [23] Oliai, C., Lanciano, R., Sprandio, B., Yang, J., Lamond, J., Arrigo, S., *et al.* (2012) Stereotactic Body Radiation Therapy for the Primary Treatment of Localized Prostate Cancer. *Journal of Radiation Oncology*, **2**, 63-70. <https://doi.org/10.1007/s13566-012-0067-2>
- [24] Jackson, W.C., Silva, J., Hartman, H.E., Dess, R.T., Kishan, A.U., Beeler, W.H., *et al.* (2019) Stereotactic Body Radiation Therapy for Localized Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of over 6,000 Patients Treated on Prospective Studies. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, **104**, 778-789. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2019.03.051>
- [25] Gawish, A., Abdullayev, N., El-Arayedh, S., Röllich, B., Ochel, H. and Brunner, T.B. (2022) Metabolic Response after ⁶⁸Ga-PSMA-PET/CT-Directed IGRT/SBRT for Oligometastases Prostate Cancer. *Clinical and Translational Oncology*, **25**, 987-994. <https://doi.org/10.1007/s12094-022-03002-7>
- [26] Yan, M., Moideen, N., Bratti, V.F. and Moraes, F.Y.d. (2020) Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) in Metachronous Oligometastatic Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis on the Current Prospective Evidence. *The British Journal of Radiology*, **93**, Article 20200496. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200496>
- [27] Deijen, C.L., Vrijenhoek, G.L., Schaake, E.E., Vogel, W.V., Moonen, L.M.F., Pos, F.J., *et al.* (2021) PSMA-11-PET/CT versus Choline-PET/CT to Guide Stereotactic Ablative Radiotherapy for Androgen Deprivation Therapy Deferral in Patients with Oligometastatic Prostate Cancer. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, **30**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2021.06.004>
- [28] Kwon, D.H., Shakhnazaryan, N., Shui, D., Hong, J.C., Mohamad, O., de Kouchkovsky, I., *et al.* (2023) Serial Stereotactic Body Radiation Therapy for Oligometastatic Prostate Cancer Detected by Novel Pet-Based Radiotracers. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, **41**, 145.e7-145.e15. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2022.10.025>
- [29] See, A.W., Conway, P., Frydenberg, M., Haxhimolla, H., Costello, A.J., Moon, D., *et al.* (2024) Five-Year Outcomes of Fractionated Stereotactic Body Radiotherapy for Oligometastatic Prostate Cancer from the transform Phase II Trial. *International Journal of Cancer*, **155**, 1248-1256. <https://doi.org/10.1002/ijc.35052>
- [30] Zhao, X., Wang, T., Ye, Y., Li, J., Gao, X. and Zhang, H. (2022) Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) versus Androgen Deprivation Therapy (ADT) for Oligometastatic Prostate Cancer: Protocol for a Prospective Randomised Control Clinical Trial. *BMJ Open*, **12**, e051371. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-051371>
- [31] Kneebone, A., Hruby, G., Ainsworth, H., Byrne, K., Brown, C., Guo, L., *et al.* (2018) Stereotactic Body Radiotherapy for Oligometastatic Prostate Cancer Detected via Prostate-Specific Membrane Antigen Positron Emission Tomography. *European Urology Oncology*, **1**, 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2018.04.017>
- [32] Xu, C., Zhao, X., Ju, X., Shen, Y., Qu, M., Ye, Y., *et al.* (2022) Short-Term Outcomes and Clinical Efficacy of Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) for Oligometastases of Prostate Cancer in China. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article ID: 879310. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.879310>
- [33] Niazi, T., Saad, F., Tisseverasinghe, S., Koul, R., Thibault, I., Chung, P.W.M., *et al.* (2025) Metastases-Directed Therapy in Addition to Standard Systemic Therapy in Oligometastatic Castration-Resistant Prostate Cancer in Canada (GROUQ-PCS 9): A Multicentre, Open-Label, Randomised, Phase 2 Trial. *The Lancet Oncology*, **26**, 1158-1167. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(25\)00351-1](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(25)00351-1)
- [34] Ahmed, K.A., Barney, B.M., Davis, B.J., Park, S.S., Kwon, E.D. and Olivier, K.R. (2013) Stereotactic Body Radiation Therapy in the Treatment of Oligometastatic Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **2**, Article ID: 215. <https://doi.org/10.3389/fonc.2012.00215>
- [35] Baron, D., Pasquier, D., Pace-Loscos, T., Vandendorpe, B., Schiappa, R., Ortholan, C., *et al.* (2023) Systemic Therapy Escalation after Stereotactic Body Radiation Therapy for Oligometastatic Hormone-Sensitive Prostate Cancer. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, **43**, Article 100673. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2023.100673>
- [36] Marvaso, G., Volpe, S., Pepa, M., Augugliaro, M., Corrao, G., Biffi, A., *et al.* (2021) Oligorecurrent Prostate Cancer and Stereotactic Body Radiotherapy: Where Are We Now? A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Studies. *European Urology Open Science*, **27**, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.euros.2021.02.008>
- [37] Leeman, J.E., Shin, K., Chen, Y., Mak, R.H., Nguyen, P.L., D'Amico, A.V., *et al.* (2023) Acute Toxicity Comparison of Magnetic Resonance-Guided Adaptive versus Fiducial or Computed Tomography-Guided Non-Adaptive Prostate Stereotactic Body Radiotherapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancer*, **129**, 3044-3052. <https://doi.org/10.1002/cncr.34836>

- [38] Hang, Z., Huang, Y., Song, A. and Sun, Z. (2025) Radiotherapy Elicits Immunogenic Cell Death and Metabolic Shifts in the Tumor Microenvironment: Implications for Immunotherapy. *International Journal of Medical Sciences*, **22**, 3277-3291. <https://doi.org/10.7150/ijms.109515>
- [39] Vaes, R.D.W., Hendriks, L.E.L., Vooijs, M. and De Ruyscher, D. (2021) Biomarkers of Radiotherapy-Induced Immunogenic Cell Death. *Cells*, **10**, Article 930. <https://doi.org/10.3390/cells10040930>
- [40] Nickols, N.G., Ganapathy, E., Nguyen, C., Kane, N., Lin, L., Diaz-Perez, S., *et al.* (2021) The Intraprostatic Immune Environment after Stereotactic Body Radiotherapy Is Dominated by Myeloid Cells. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, **24**, 135-139. <https://doi.org/10.1038/s41391-020-0249-8>
- [41] Zhu, M., Yang, M., Zhang, J., Yin, Y., Fan, X., Zhang, Y., *et al.* (2021) Immunogenic Cell Death Induction by Ionizing Radiation. *Frontiers in Immunology*, **12**, Article ID: 705361. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.705361>
- [42] Zhang, Z., Liu, X., Chen, D. and Yu, J. (2022) Radiotherapy Combined with Immunotherapy: The Dawn of Cancer Treatment. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, **7**, Article No. 258. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01102-y>
- [43] Palermo, B., Bottero, M., Panetta, M., Faiella, A., Sperduti, I., Masi, S., *et al.* (2023) Stereotactic Ablative Radiation Therapy in 3 Fractions Induces a Favorable Systemic Immune Cell Profiling in Prostate Cancer Patients. *Oncol Immunology*, **12**, Article 2174721. <https://doi.org/10.1080/2162402x.2023.2174721>
- [44] Xu, K., Gu, T., Su, K., Liu, X., He, B., He, J., *et al.* (2025) Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) Increases Anti-Pd-1 Antitumor Activity by Enhancing the Tumor Immune Microenvironment in Mice with Metastatic Hepatocellular Carcinoma. *Discover Oncology*, **16**, Article No. 1081. <https://doi.org/10.1007/s12672-025-02914-4>
- [45] Francolini, G., Allegra, A.G., Detti, B., Di Cataldo, V., Caini, S., Bruni, A., *et al.* (2023) Stereotactic Body Radiation Therapy and Abiraterone Acetate for Patients Affected by Oligometastatic Castrate-Resistant Prostate Cancer: A Randomized Phase II Trial (ARTO). *Journal of Clinical Oncology*, **41**, 5561-5568. <https://doi.org/10.1200/jco.23.00985>
- [46] Mercier, C., Claessens, M., De Troyer, B., Debacker, T., Fransis, K., Vandeursen, H., *et al.* (2022) Survival Outcomes and Pattern of Relapse after SABR for Oligometastatic Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article ID: 863609. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.863609>
- [47] Pastorello, E., Nicosia, L., Cuccia, F., Olivari, L., Fiorini, M., Giaj Levra, N., *et al.* (2023) PSMA-PET/CT-Based Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) in the Treatment of Uncomplicated Non-Spinal Bone Oligometastases from Prostate Cancer. *Cancers*, **15**, Article 2800. <https://doi.org/10.3390/cancers15102800>
- [48] Mohan, R., Kneebone, A., Eade, T., Hsiao, E., Emmett, L., Brown, C., *et al.* (2023) Long-Term Outcomes of SBRT for PSMA PET Detected Oligometastatic Prostate Cancer. *Radiation Oncology*, **18**, Article No. 127. <https://doi.org/10.1186/s13014-023-02302-8>