doi:10.11659/jjssx.04E021037

·临床研究·

增强 CT-超声融合成像引导^{125}I 粒子植入治疗局部复发性头颈部恶性肿瘤的临床疗效

朱绫琳[1],张 宇[2],吉永烁[1],朱君秋[1],朱衍菲[1],刘玉美[1],赵 洪[1] (1.复旦大学附属华东医院肿瘤科,上海 200040;2.上海具益门诊部,上海 201106)

[摘 要] **目的** 评估增强 CT-超声融合成像引导^{125}I 粒子植入治疗局部复发性头颈部恶性肿瘤的临床疗效。**方法** 将 54 例头颈部恶性肿瘤局部复发患者随机分为融合成像组(27 例)和单一成像组(27 例),分别采用增强 CT-超声融合成像引导^{125}I 粒子植入治疗和单纯超声成像引导^{125}I 粒子植入治疗。比较 2 组患者 90% 靶体积所接受的剂量(D90)、靶区接受 90% 处方剂量的体积百分比(V90)、粒子补种率、粒子植入时间和粒子植入相关不良反应。**结果** 融合成像组和单一成像组的 D90、V90 比较,差异有统计学意义($P<0.05$);融合成像组的粒子补种率低于单一成像组($P<0.05$);融合成像组的粒子植入时间长于单一成像组($P<0.05$);术后 2 组患者局部皮下血肿、急性放射损伤等不良反应发生率比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 增强CT-超声融合成像引导^{125}I 粒子植入治疗局部复发性头颈部恶性肿瘤的剂量分布更加合理,补种率低,可有效提高粒子植入精准性。

[关键词] 头颈部肿瘤;复发肿瘤;^{125}I 粒子;增强 CT-超声融合成像

[中图分类号] R739.91 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-04-09

Clinical effect of ^{125}I seed implantation guided by enhanced CT-ultrasound fusion imaging in the treatment of locally recurrent malignant tumor of the head and neck

ZHU Ling-lin[1], ZHANG Yu[2], JI Yong-shuo[1], ZHU Jun-qiu[1], ZHU Yan-fei[1], LIU Yu-mei[1], ZHAO Hong[1] (1. Department of Oncology, Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China; 2. Shanghai Juyi Outpatient Department, Shanghai 201106, China)

Abstract: Objective To evaluate the clinical efficacy of ^{125}I seed implantation guided by enhanced CT-ultrasound fusion imaging in the treatment of locally recurrent malignant tumor of the head and neck. **Methods** Fifty-four patients with locally recurrent malignant tumor of the head and neck were randomly divided into the fusion imaging group ($n=27$) and the single imaging group ($n=27$), and enhanced CT-ultrasound fusion imaging guided ^{125}I seed implantation and simple ultrasound imaging guided ^{125}I seed implantation were performed respectively. The dose received by 90% target volume (D90), percentage of the volume covered by 90% prescription dose in target volume

[通信作者] 赵 洪,E-mail:13122489447@163.com

[10] 董 鑫,吕国士,刘 伟,等.能谱 CT 的 MONO 成像联合 MARs 技术在颅内弹簧圈植入物伪影的应用研究[J].临床放射学杂志,2016,35(5):794-798.

[11] 李 杰,袁 源,陈永明,等.MAR 技术去除脊柱金属物伪影的临床应用研究[J].临床放射学杂志,2020,39(6):1180-1184.

[12] 高思喆,丁长伟,郭文力,等.O-MAR 技术在颅内动脉瘤栓塞术后 CTA 中的应用[J].中国临床医学影像杂志,2017,28(6):391-393.doi:10.3969/j.issn.1008-1062.2017.06.003.

[13] Kidoh M, Nakaura T, Nakamura S, et al. Reduction of dental metallic artefacts in CT: value of a newly developed algorithm for metal artefact reduction (O-MAR)[J]. Clin Radiol, 2014, 69(1): e11-e16. doi: 10.1016/j.crad.2013.08.008.

[14] Dong Y, Shi AJ, Wu JL, et al. Metal artifact reduction using virtual monochromatic images for patients with pedicle screws implants on CT [J]. Eur Spine J, 2016, 25(6): 1754-1763. doi: 10.1007/s00586-015-4053-4.

[15] Kalisz K, Buethe J, Saboo SS, et al. Artifacts at Cardiac CT: Physics and Solutions[J]. Radiographics, 2016, 36(7): 2064-2083. doi: 10.1148/rg.2016160079.

[16] Pilania K, Jankharia B. Longitudinal followup of incidentally detected pseudotumors in patients with metal on metal implants: a retrospective study[J]. Indian J Orthop, 2017, 51(4): 440-446. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_260_16.

[17] Bongers MN, Schabel C, Thomas C, et al. Comparison and combination of dual-energy-and iterative-based metal artefact reduction on hip prosthesis and dental implants [J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0143584. doi: 10.1371/journal.pone.0143584.

[18] Han SC, Chung YE, Lee YH, et al. Metal artifact reduction software used with abdominopelvic dual-energy CT of patients with metal hip prostheses: assessment of image quality and clinical feasibility[J]. AJR Am J Roentgenol, 2014, 203(4): 788-795. doi: 10.2214/AJR.13.10980.

[19] 黄钟杰,曹楚瑜,刘 源.宝石能谱 CT 去除金属伪影软件减除脊柱和髋关节植入金属物伪影的价值[J].汕头大学医学院学报,2014,27(2):115-118.

[20] 李 杰,袁 源,王春杰,等.能谱 CT 去金属伪影(MAR)技术用于减低单髋关节置换物伪影[J].中国医学影像技术,2021,37(1):131-135.doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.01.032.

[21] 黄仁军.能谱 CT 的临床应用与研究进展[J].放射学实践,2015,30(1):81-83.doi:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.01.022.

(编辑:刘 艺)

(V90), seed reseeding rate, time of seed implantation and adverse reactions related to seed implantation were compared between the two groups. **Results** Comparison of D90 and V90 between the fusion imaging group and the single imaging group showed statistically significant difference ($P<0.05$). The seed reseeding rate of the fusion imaging group was lower than that of the single imaging group ($P<0.05$). The time of seed implantation in the fusion imaging group was longer than that in the single imaging group ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in the incidence of local subcutaneous hematoma, acute radiation injury or other adverse reactions between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** Enhanced CT-ultrasound fusion imaging guided ^{125}I seed implantation in the treatment of locally recurrent malignant tumor of the head and neck has more reasonable dose distribution and lower reseeding rate, and it can effectively improve the accuracy of seed implantation.

Keywords: tumor of the head and neck; recurrent tumor; ^{125}I seed; enhanced CT-ultrasound fusion imaging

头颈部肿瘤种类较多,且侵袭性较强,以恶性为主,治疗后常有复发和转移,甚至30%以上的患者有短期的局部复发[1]。随着肿瘤诊疗理念的不断更新,实践的不断深入,头颈部肿瘤复发后的治疗呈现出多学科、多模态的形式。相关的治疗手段包括手术、放疗、化疗、靶向、免疫治疗等[1-5]。^{125}I粒子植入治疗因具有肿瘤局部放射剂量高且持续、正常组织放射剂量低的特点,目前已广泛应用于多种恶性实体肿瘤的治疗,也逐步应用于头颈部肿瘤的治疗[6-10]。但头颈部肿瘤周边解剖结构精细复杂,需要非常精准的局部治疗以达到既安全、有效,又尽量不影响美观的效果。目前,临床上采取的粒子植入方式多在CT或超声引导下进行。增强CT能够明确头颈部组织内病灶的位置、数量、大小及其与周围组织的解剖关系,但对于血管和软组织的显影仍有不足[11-12]。超声对血管和软组织具有良好的分辨率,可以清晰呈现复发性头颈部肿瘤与周围组织血管的界限[13-14]。因此,本课题组使用增强CT-超声融合成像系统来引导^{125}I粒子植入治疗局部复发性头颈部恶性肿瘤,观察其临床疗效和安全性,以期为该病的治疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

将2016年2月至2020年1月复旦大学附属华东医院肿瘤科收治的头颈部恶性肿瘤治疗后局部复发的54例患者纳入研究,按照随机数字表法分为2组,27例患者采用增强CT-超声融合成像引导作为融合成像组,27例患者采用单纯超声成像引导作为单一成像组。本组男40例,女14例;年龄27~72岁,中位年龄54岁;病理结果示:鳞癌25例,腺癌21例,淋巴瘤5例,未分化癌1例,神经内分泌癌1例,黑色素瘤1例;所有患者均曾行手术治疗,术后曾行外放疗的患者36例,曾行化疗1~12个疗程的患者24例,其中2种治疗均进行的患者6例。所有患者均经增强CT、增强MRI或PET/CT诊断为术后局部复发。其中41例患者存在不同程度的面部、颈部疼痛,部分疼痛放射至头部或患侧手臂。2组患者年龄、性别、肿瘤大小、临床TNM分期、疼痛评分等临床资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。纳入标准:①经临床手术治疗后确诊为局部复发的头颈部肿瘤;②经病理学诊断为复发肿瘤;③无再次手术指征或拒绝接受手术治疗;④肿瘤直径<5 cm且行^{125}I粒子植入治疗。排除标准:①合并全身多发肿瘤转移;②合并有心、脑、肾严重疾病;③伴有其他影响手术治疗效果的并发症。本研究通过复旦大学附属华东医院伦理委员会审批(No2021011),所有入组患者均签署知情同意书。

表1 患者临床资料比较($n=27$)

临床资料		融合成像组	单一成像组	P
年龄/岁		54(28~68)	56(31~72)	0.06
性别/例	男	21	19	0.54
	女	6	8	
肿瘤大小/cm^3		43.87±3.912	44.10±2.76	0.09
病理分型/例	鳞癌	12	13	0.62
	腺癌	12	9	
	其他类型	3	5	
临床TNM分期/例	Ⅱ期	5	4	0.86
	Ⅲ期	7	6	
	Ⅳ期	15	17	
疼痛评分/例	0分	7	6	0.84
	1~3分	3	5	
	4~6分	12	10	
	7~10分	5	6	
既往其他治疗/例	外放疗	17	19	0.40
	化疗(1~12个疗程)	14	10	

1.2 仪器与设备

64排螺旋CT扫描仪购自德国西门子公司;放射性粒子治疗计划系统(treatment planning system,TPS)购自北京飞天兆业科技发展有限公司;^{125}I粒子购自上海欣科医药有限公司,外形为圆柱形钛合金封装体,长度为4.5 mm,直径为0.8 mm,平均光子能量为27~35 keV,组织穿透距离为1.7 cm,初始剂量率为7 cGy/h,半衰期为59.6 d,临床使用单个粒子活度为18.5~29.6 MBq;粒子植入器为Mick枪,购自美国Radio-

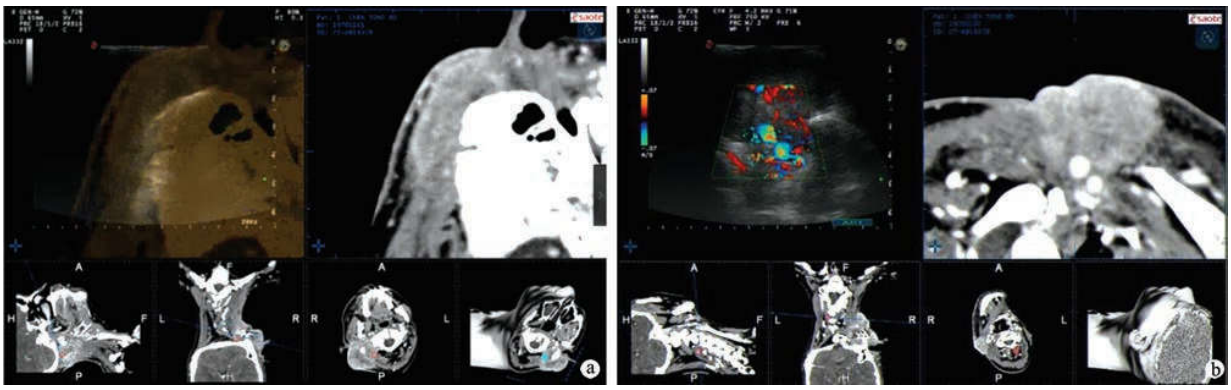
Nuclear公司;MyLab Twice 彩色超声诊断仪自带 Virtual Navigator 软件、磁场发生器、磁感应器、二维线阵探头(LA523,频率 4 ~ 13 Hz)和二维凸阵探头(CA541,频率 1 ~8 Hz)均购自意大利百胜公司。

1.3 图像融合及^{125}I 粒子组织间植入方法

术前行头颈部增强 CT 扫描,首先将图像传送至 TPS 以确定^{125}I 粒子的活度、数目以及在肿瘤内的空间分布。最小周边剂量为 120 ~ 140 Gy,计划靶体积为大体肿瘤体积(gross tumor volume,GTV)边缘外扩 0.5 ~1.0 cm。计划靶体积边缘由 90% 等剂量曲线覆盖。利用 90% 靶体积所接受的剂量(D90)和靶区接受 90% 处方剂量的体积百分比(V90)对^{125}I 粒子植入进行术前评估。然后,将增强 CT 图像再次传输至图像融合系统(MyLab Twice 彩色超声诊断仪)。患者取仰卧或侧卧位,使肿块朝向术者。

融合成像组患者由一位融合成像经验超过3 年的超声医生即时采用二维探头进行扫查,在矢状面和横断面选取血管及骨组织作为超声图像与增强 CT 图像的对位标志(图1)。图像融合后,实时超声引导下进行穿刺。在皮肤预进针点的位置进行消毒、铺巾和局部麻醉,采用 18 G Dr. J 穿刺针经皮穿刺入病灶最深处。原则上尽量采用针间距为 1 cm 的平行排列方式进针。若进针路径被骨性器官等致密组织的后方声影所遮挡,或因其他原因导致超声显示不清,可能穿刺至重要的器官、血管和神经,则根据对照融合后相同平面的 CT 图像选择适当进针角度,避开上述重要器官,使粒子的分布达到肿瘤深部的“冷区”。确定所有穿刺针已准确到位后,植入粒子,即以 0.5 ~1.0 cm的间隔将粒子逐个释放。即刻再次行 CT 扫描,将图像传送至 TPS 进行验证,存在剂量不足的区域则用上述图像融合的方法立即补种粒子。

单一成像组患者由一位超声工作经验超过 5 年的医生采用二维灰阶超声和彩色多普勒血流成像进行实时引导。若进针路径被骨性器官等致密组织的后方声影所遮挡,或因其他原因导致超声显示不清,可能穿刺至重要的器官、血管和神经,则以尽量减少并发症为原则,避免这些进针路径,在肿瘤内超声显示清晰处每隔 0.5 ~1.0 cm 植入粒子。



a:二维灰阶超声与 CT 的重叠显示,透明度约 50%(左上),同一切面的增强 CT 显像(右上);b:超声 CDFI 显像(左上),同一切面的增强 CT 显像(右上) 下方图像为该超声切面中鼠标所在点的增强 CT 矢状面、冠状面、横断面的重建显像及该切面的三维显像

图 1 超声图像与增强 CT 图像的对位标志

1.4 观察指标

比较2 组患者剂量学参数 D90 和 V90 情况。比较 2 组患者的粒子补种率和粒子植入时间。评估 2 组患者治疗后 12 h 的局部皮下血肿发生率;根据肿瘤放射治疗组(radiation therapy oncology group,RTOG)急性放射损伤分级标准评价不良反应[14],由无变化至重度损伤分为 0 ~4 级。比较 2 组患者治疗后 1 个月眼、耳、腮腺、咽喉部、皮肤黏膜、消化系统、中枢神经系统和血液系统等方面不良反应发生率。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计数资料以率(%)表示,组间比较采用χ^2检验。符合正态分布的计量资料使用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;不符合正态分布的计量资料采用中位数和四分位间距表示,组间比较采用 *Wilcoxon* 秩和检验。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者粒子植入情况比较

融合成像组 D90、V90 高于单一成像组,差异均具有统计学意义($P<0.05$);融合成像组只有 1 例患者存在剂量不足的“冷区”,需要补种粒子,粒子补种率低于单一成像组,差异具有统计学意义($P<0.05$);融合成像组的粒子植入时间长于单一成像组,差异具有统计学意义($P<0.05$),见表2。

表2 患者粒子植入情况比较($n=27$)

组别	D90/Gy	V90/%	粒子补种率/例(%)	粒子植入时间/min
单一成像组	85.10±17.12	92.31(87.96,94.90)	6(22.22)	42.15±13.62
融合成像组	95.74±20.82	94.51(93.62,98.13)	1(3.70)	60.73±14.58
P	0.045	0.038	0.043	0.000

2.2 患者不良反应发生情况比较

2组患者治疗后12 h局部皮下血肿发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。根据RTOG急性放射损伤分级标准,1级损伤35例,根据严重程度适当给予对症治疗后,症状均于1个月内消失;2级损伤3例,均给予对症治疗,1个月后症状减轻,3~6个月内症状完全消失;无患者发生3级损伤或4级损伤。融合成像组急性放射损伤不良反应发生率为66.67%(18/27),单一成像组为74.07%(20/27),2组比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。

表3 患者粒子植入后不良反应发生情况($n=27$)

不良反应			融合成像组	单一成像组	P
局部皮下血肿/例(%)			5(18.52)	4(14.81)	0.72
RTOG急性放射损伤/例	0级	无变化	9(33.33)	7(25.93)	0.47
	1级	局部皮肤干性红斑/出汗减少	7(25.93)	6(22.22)	
		一侧眼轻度结膜炎伴泪液增多	1(3.70)	1(3.70)	
		轻度口干/轻微的味觉改变	4(14.81)	3(11.11)	
		间歇性声音嘶哑	3(11.11)	5(18.52)	
		体质量减少≤5%/无需止吐药的恶心	1(3.70)	1(3.70)	
		轻微干咳	0(0)	1(3.70)	
		白细胞下降(3.0×10^9~4.0×10^9/L)/血小板下降(75×10^9~100×10^9/L)	1(3.70)	1(3.70)	
	2级	局部皮肤湿性水肿	0(0)	1(3.70)	
		持续性喉咙嘶哑但能发声/耳痛	1(3.70)	1(3.70)	
	3级	皮肤褶皱以外部位的融合性、湿性脱皮,凹陷性水肿	0(0)	0(0)	
	4级	溃疡、出血、坏死	0(0)	0(0)	

3 讨论

目前,头颈部肿瘤的治疗以多学科综合治疗为主。同步放化疗是头颈部肿瘤术后复发的主要控制手段之一,但会给患者带来严重的不良反应,同时局部复发的头颈部恶性肿瘤往往解剖关系复杂、肿瘤位置隐蔽、邻近重要神经和血管,而放化疗由于定位不够精准、单次治疗时间短且剂量高,对肿瘤的控制往往并不理想,导致周围邻近脏器的并发症也较多,影响患者生存质量[6]。^{125}I粒子植入治疗因具有肿瘤局部放射剂量高且持续、正常组织放射剂量低的特点,目前已被广泛应用于包括头颈部肿瘤在内的全身多种恶性实体肿瘤的治疗,但其需要在超声或CT引导下进行[5]。在影像学引导下按照TPS制定的计划将^{125}I粒子植入肿瘤进行治疗[7-9],具有操作简单、定位较准确、可近距离直接杀伤肿瘤细胞以及局部剂量高等优点,可有效控制肿瘤的生长,在强化疗效的同时避免周围脏器受损[1,6,8,10]。

CT和超声对复发性头颈部肿瘤的诊断和治疗效果评估具有重要价值。增强CT可显示复发性头颈部肿瘤的形态及其内部解剖结构,能够明确头颈部组织内病灶的位置、数量、大小及其与周围组织的解剖关系,但对于血管和软组织的显影仍有不足[11-12]。超声对血管和软组织具有良好的分辨率,可以清晰呈现复发性头颈部肿瘤与周围组织血管的界限[13-14]。本研究将增强CT和超声图像融合,有效提高了复发性头颈部肿瘤靶区选择的精准性。

图像融合技术利用CT空间分辨力高、视野全面、无盲区的特点,结合超声实时、安全无放射性、操作灵活的优势[15],已在肝、前列腺、神经系统、骨骼等多种肿瘤的穿刺活检及介入治疗的定位引导中取得了良好的临床效果[16-19]。本研究结果表明,与传统超声成像引导相比,融合CT的断层图像通过特定对位方式将超声图像和组织的实际空间对应,可以辅助术者在术中精准确定肿瘤靶区,直接影响^{125}I粒子剂量分布,提高粒子植入治疗复发性头颈部恶性肿瘤的效果。Potters等[20]和Willins等[21]提出的D90/90和V100/90标准是目前临床比较认可的剂量分布评价标准,当V90<90%时,表示肿瘤靶区内未达到90%处方剂量,靶体积过大,剂量分布不合理,导致肿瘤生长控制不佳或复发。根据上述标准,本研究融合成像组D90和

V90 均高于单一成像组,融合成像组的^{125}I 粒子剂量在肿瘤靶区内分布更加合理,融合成像的粒子植入分布相对于单一成像更加接近头颈部肿瘤周边,剂量分布效果更好;同时,融合成像组的粒子补种率低于单一成像组,粒子植入时间长于单一成像组,表明融合成像组患者的^{125}I 粒子植入治疗效果优于单一成像组。

融合成像技术引导治疗复发性头颈部肿瘤的优势在于,根据增强 CT 图像中相应切面上显示的精准病灶位置,超声引导可精确避开头颈部重要的器官、血管和神经,克服进针路径被骨组织后方声影遮挡、肿块形态不规则、边界显示不清等局限性,使粒子的分布能够到达肿瘤的边界,还能避免单一成像时遇到高风险穿刺区域就放弃该处布针的情况;此外,在融合成像引导下,粒子精准地到达了病灶处,可减少对周边正常组织造成的急性放射损伤。但本研究 2 组患者治疗后 12 h 急性放射损伤不良反应发生率、局部皮下血肿发生率比较差异无统计学意义,可能是因为融合成像技术只是辅助术者更加精准的确定粒子植入位置,无法避免粒子植入治疗本身具有的不良反应。

综上所述,增强 CT-超声融合成像引导^{125}I 粒子植入治疗局部复发性头颈部恶性肿瘤的粒子剂量分布合理,补种率低,可有效提高粒子植入精准性。但本研究样本量较小,随访时间较短,今后将继续扩大样本量并延长随访期以对总生存率等更多数据进行分析。

[参考文献]

[1] 申玉鑫.3D 打印个体化模板辅助^{125}I 粒子植入治疗头颈部恶性肿瘤临床研究[D].郑州:郑州大学,2018:1-57.

[2] 董利琴,骆文龙.PD-1/PD-L1 信号通路及其相关免疫疗法在头颈部肿瘤治疗中的研究进展[J].重庆医学,2021,50(3):524-528. doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2021.03.037.

[3] 茅芯慧.PD-1 抗体联合放射治疗头颈部肿瘤进展[J].临床医药文献电子杂志,2020,7(8):2. doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2021.03.037.

[4] 刘 洪,罗 翔,李 旭,等.晚期转移性头颈部腺样囊性癌治疗进展[J].现代肿瘤医学,2021,29(8):1442-1445. doi:10.3969/j.issn.1672-4992.2021.08.036.

[5] 屠规益,徐震纲,刘绍严.《头颈部肿瘤综合治疗专家共识》之我见[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2011,46(2):161-163. doi:10.3760/cma.j.issn.1673-0860.2011.02.020.

[6] 白 星,陈 利.^{125}I 粒子植入治疗鼻咽癌患者的 CT 及 MRI 影像改变随访研究[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2016,14(6):19-21. doi:10.3969/j.issn.1672-5131.2016.06.007.

[7] Yao L,Jiang Y,Jiang P,et al. CT-guided permanent 125I seed interstitial brachytherapy for recurrent retroperitoneal lymph node metastases after external beam radiotherapy[J]. Brachytherapy,2015,14(5):662-669. doi:10.1016/j.brachy.2015.05.008.

[8] Chen Y,Jiang Y,Ji Z,et al. Efficacy and safety of CT-guided (125)I seed implantation as a salvage treatment for locally recurrent head and neck soft tissue sarcoma after surgery and external beam radiotherapy:a 12-year study at a single institution[J]. Brachytherapy,2020,19(1):81-89. doi:10.1016/j.brachy.2019.09.006.

[9] Zhang W,Li J,Li R,et al. Efficacy and safety of iodine-125 radioactive seeds brachytherapy for advanced non-small cell lung cancer-A meta-analysis[J]. Brachytherapy,2018,17(2):439-448. doi:10.1016/j.brachy.2017.11.015.

[10] Jiang P,Wang J,Ran W,et al. Five-year outcome of ultrasound-guided interstitial permanent ^{125}I seeds implantation for local head and neck recurrent tumors:a single center retrospective study[J]. J Contemp Brachytherapy,2019,11(1):28-34. doi:10.5114/jcb.2019.83336.

[11] Smith JA,Wild AT,Singhi A,et al. Clinicopathologic comparison of high-dose-rate endorectal brachytherapy versus conventional chemoradiotherapy in the neoadjuvant setting for resectable stages Ⅱ and Ⅲ low rectal cancer[J]. Int J Surg Oncol,2012,2012:406568. doi:10.1155/2012/406568.

[12] Cox JD,Stetz J,Pajak TF. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC)[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,1995,31(5):1341-1346. doi:10.1016/0360-3016(95)00060-C.

[13] 石树远,关志宇.肺癌放射性粒子植入精确穿刺方法研究进展[J].重庆医学,2019,48(8):1399-1401. doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2019.08.033.

[14] Trotti A,Byhardt R,Stetz J,et al. Common toxicity criteria:version 2.0. an improved reference for grading the acute effects of cancer treatment:impact on radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2000,47(1):13-47. doi:10.1016/s0360-3016(99)00559-3.

[15] 金海锋,谢贵林,夏国园,等.超声导航技术在肝脏肿瘤消融的应用进展[J].临床消化病杂志,2020,32(5):339-342. doi:10.3870/lcxh.j.issn.1005-541X.2020.05.18.

[16] 陆舜钦,李 彦,管竹春,等.CT/MRI 融合图像在肝癌介入治疗术后疗效评估中的应用[J].肝脏,2020,25(7):768-769. doi:10.14000/j.cnki.issn.1008-1704.2020.07.034.

[17] Boesen L. Magnetic resonance imaging-transrectal ultrasound image fusion guidance of prostate biopsies:current status,challenges and future perspectives[J]. Scand J Urol,2019,53(2-3):89-96. doi:10.1080/21681805.2019.1600581.

[18] 王天艺,袁 硕,范 宁,等.超声与 CT 图像融合技术及其在脊柱外科中的应用进展[J].中国脊柱脊髓杂志,2021,31(1):86-90. doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2021.01.13.

[19] 李 幸,张 晟,徐 勇,等.智能融合成像技术对中低风险前列腺特异性抗原人群的临床显著性前列腺癌诊断研究[J].中国肿瘤临床,2021,48(3):147-150. doi:10.3969/j.issn.1000-8179.2021.03.329.

[20] Potters L,Cao Y,Calugaru E,et al. A comprehensive review of CT-based dosimetry parameters and biochemical control in patients treated with permanent prostate brachytherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2001,50(3):605-614. doi:10.1016/s0360-3016(01)01473-0.

[21] Willins J,Wallner K. CT-based dosimetry for transperineal I-125 prostate brachytherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,1997,39(2):347-353. doi:10.1016/s0360-3016(97)00322-2.

(编辑:刘 艺)