



· 专家述评 ·



杨业发，海军军医大学第三附属医院东方肝胆微创介入中心主任，主任医师，教授，博士研究生导师。1998年博士毕业于第二军医大学，师从著名肝胆外科学家、国家最高科技奖获得者吴孟超院士。现任中国研究型医院协会介入学分会主任委员，中国医师协会肿瘤介入与靶向治疗专业委员会主任委员，上海市抗癌协会理事，上海市抗癌协会肿瘤介入专业委员会主任委员，国际肝胆胰协会中国分会委员，中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会委员，国家自然科学基金评审委员库成员，《抗癌动态》高级编委等职。先后承担国家“863”计划、国家重大传染病专项、国家自然科学基金及军队、省部级科研课题11项，基金总额达500余万元。发表论文40余篇，其中SCI收录6篇。申请专利3项。参加编写《肝脏外科学》、《实用肝脏外科学》、《肝癌》、《肝癌治疗学》、《放射介入临床应用进展》、《普通外科手术学》等专著6部。获2010国际抗癌联盟（UICC）二等奖1项，李瑞麟医学教育奖1项，省部级科技进步二等奖1项，军队医疗成果和科技进步三等奖各1项。擅长肝脏特殊部位肿瘤、恶性梗阻性黄疸、门脉高压消化道出血、Budd-Chiari综合征及肝胆胰脾术后并发症等的微创介入治疗。

## 恶性肿瘤植入放射性<sup>125</sup>I粒子出现迁移的研究现状与展望

朱俊军，葛乃建，杨业发

海军军医大学第三附属医院东方肝胆微创介入中心，上海 201805

**【摘要】** 癌症是严重危害人类健康的疾病之一，其发病数和死亡数仍呈持续增加态势，给全球公共卫生系统带来了沉重的负担。在与肿瘤的长期斗争过程中，人们提出了各种各样的方法。100多年前，刚发现伦琴射线不久，人们就开始探索将放射线用于肿瘤的治疗，由此开创了肿瘤放射治疗学。组织间植入放射性粒子治疗肿瘤作为最早开展的近距离放射治疗技术之一，其益处早已得到公众认可，成为肿瘤治疗谱中重要的一员。在放射性粒子植入治疗的实践中，会出现一些粒子离开初始种植位置而到达其他位置的粒子迁移事件。现就恶性肿瘤组织间植入<sup>125</sup>I粒子、<sup>125</sup>I粒子迁移及其成因、产生的影响、防护等进行综述。

**【关键词】** 恶性肿瘤；近距离放疗；放射性<sup>125</sup>I；粒子迁移

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2021.04.003

中图分类号: R730.55 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2021)04-0257-06

**Current status and prospects of migration of radioactive <sup>125</sup>I seed implanted in malignant tumor** ZHU Junjun, GE Naijian, YANG Yefa (Eastern Hepatobiliary Intervention Center, the Third Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 201805, China)

Correspondence to: YANG Yefa E-mail: yangyefa66@163.com

**【Abstract】** Cancer is one of the diseases that seriously harm human health. The cancer-related incidence and deaths are still increasing worldwide, which has brought heavy burden to the global public health system. During the long anticancer history, a variety of methods to treat tumors have been developed. More than 100 years ago, shortly after the discovery of Roentgen rays, people began to treat tumors with radiation, and thus pioneered radiation oncology. As a brachytherapy method, implantation of radioactive seeds acts well, has received public recognition, and becomes an important member of the oncology therapeutic spectrum.

基金项目: 国家自然科学基金(31971249)。  
通信作者: 杨业发 E-mail: yangyefa66@163.com

*In vivo*, some seeds can migrate from initial site of implantation to other locations. Permanent interstitial brachytherapy and the incidence, mechanism, influence and prevention of  $^{125}\text{I}$  seed migration were reviewed here.

[Key words] Malignant tumor; Brachytherapy; Radioactive  $^{125}\text{I}$ ; Seed migration

癌症是严重危害全球人类健康的主要疾病之一, 其发病数和死亡数仍呈持续增加态势, 预计到2030年, 全球每年将出现2 200万新发癌症病例和1 300万癌症相关死亡病例<sup>[1]</sup>。中国也不例外, 每年恶性肿瘤的发病数和死亡数分别占全球的23.7%和30.0%, 给中国的公共卫生系统带来了沉重的负担<sup>[2]</sup>。从古代的原始医学到当今的现代医学, 人类一直在试图制服肿瘤。在与肿瘤长期的相处过程中, 人类不放弃每一次科技进步带来的希望, 形成了外科手术、微创、放疗、化疗、靶向治疗、免疫治疗等各种各样的治疗肿瘤的方法<sup>[3]</sup>。1895年, 德国的伦琴发现X射线, 之后不久, 人们就开始探索将放射线用于肿瘤的治疗。1901年, 法国的皮埃尔·居里提出用装有放射性元素镭的小管插进肿瘤内部来治疗肿瘤的设计, 从此开启了近距离放射治疗肿瘤的历史。之后, 人们将放射性元素封装成细珠状、粒子状、片状等各种不同的形状及尺寸, 并在临床应用中逐一尝试<sup>[4]</sup>。经过100多年的发展<sup>[5]</sup>, 近距离放射治疗日臻完善, 尤其是1980年代以来, 得益于影像引导技术、计算机三维治疗计划及模板定位技术的快速发展, 作为近距离放射治疗方法之一的放射性粒子治疗焕发青春, 广泛应用于全身各部位实体肿瘤的治疗, 成为肿瘤治疗谱家族中的重要一员<sup>[6]</sup>。在放射性粒子植入治疗的临床实践中, 人们观察到了包括粒子迁移在内的各种各样的并发症<sup>[7]</sup>。现结合国内外文献对粒子迁移这种并发症形成的原因、产生的影响及如何预防等进行综述。

### 1 $^{125}\text{I}$ 粒子近距离放疗

Pierre Curie和Marie Curie于1902年发现了放射性元素镭, 其后, 镭首先被应用于皮肤癌的治疗<sup>[8]</sup>。这种将放射源直接放置于肿瘤表面或肿瘤组织内并利用放射线杀伤肿瘤细胞的方法即近距离放射治疗<sup>[9]</sup>, 是最早开展的放射治疗技术, 发展至今, 已形成腔内近距离放疗、管内近距离放疗、组织间放疗、术中放射

治疗及模治疗等在内的完整体系。根据放射源在体内驻留时间的长短, 近距离治疗又可分为暂时性近距离治疗和永久性近距离治疗。对于永久性近距离放疗, 常用的插植入组织内的放射性核素有 $^{125}\text{I}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{198}\text{Au}$ , 其中,  $^{125}\text{I}$ 以其适宜的半衰期(59.7 d)、射线类型(低能 $\gamma$ 射线)、射线能量(27.4~31.5 keV)等物理学特性及临床易防护(最大辐射半径为17 mm)等特点而成为最常用的粒子源<sup>[10]</sup>, 在头颈部、胸腹部、盆腔、皮肤等部位的恶性肿瘤及软组织肉瘤等治疗方面得以广泛应用, 并取得了确切的效果<sup>[11]</sup>。目前常用的 $^{125}\text{I}$ 粒子大小为4.5 mm×0.8 mm, 呈圆柱状, 钛合金外壳, 粒子细小、表面光滑, 在组织间易于滑动(图1)<sup>[12]</sup>。

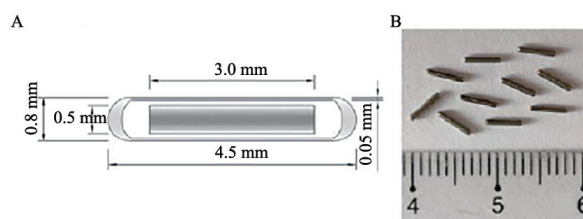


图1  $^{125}\text{I}$ 粒子示意图(A)及实物照片(B)

Fig. 1 Schematic diagram (A) and photograph (B) of the encapsulated  $^{125}\text{I}$  seed

各医务工作者在粒子植入术后进行质量验证、疗效评估的过程中, 经常会发现这种细小的放射性粒子在某些因素的作用下, 可以离开瘤体内初始种植的位置, 移行到瘤体内或瘤体外的其他部位, 形成所谓的粒子迁移<sup>[7]</sup>。研究<sup>[13-14]</sup>显示, 瘤体内的迁移引起的影响极小, 故绝大部分文献讨论的粒子迁移是指离开瘤体到达其他部位的粒子迁移。有中国学者<sup>[15]</sup>将这种情况归类于粒子种植的围手术期并发症(粒子植入后1~30 d)。实际上, 粒子迁移既可以发生于粒子种植的当时, 也可以发生于粒子种植后的数年之后。粒子既可迁移至距初始种植位置仅数毫米的邻近区域, 也可迁移至距初始种植位置很远的组织或器官。

## 2 $^{125}\text{I}$ 粒子迁移的发生

粒子植入已被成功用于头颈部<sup>[16]</sup>、胸部<sup>[17-18]</sup>、腹部<sup>[7, 19]</sup>、盆腔<sup>[20]</sup>等各部位实体肿瘤的治疗。近年来, 相关研究报道屡见不鲜。

但各研究者随访时间长短不一, 结果也不尽相同, 最长随访时间为7年, 最短随访时间为3个月, 发现粒子迁移率最高可达100%, 最低为0% (表1)。

表 1 不同部位肿瘤植入放射性粒子后的迁移率

Tab. 1 Incidence of seed migration after implantation in different tumors

Site of tumor	Number of patients <i>n</i>	Follow-up time <i>t</i> /month	Cases of seed migration <i>n</i>	Rate of seed migration/%
Brain <sup>[24]</sup>	7	84	3	42.86
Parotid gland and periparotid region <sup>[25]</sup>	15	71	0	0.00
Lung <sup>[22]</sup>	63	12	23	36.51
Liver <sup>[23]</sup>	399	3	81	20.30
Pancreas <sup>[26]</sup>	7	12	7	100.00
Retroperitoneum <sup>[27]</sup>	23	36	3	13.04
Cervix <sup>[28]</sup>	33	18	2	6.06
Prostate <sup>[21]</sup>	2 160	3	466	21.57
Pelvic bones <sup>[29]</sup>	22	27	0	0.00

Nakano等<sup>[21]</sup>对2 160例前列腺癌患者的前列腺原发病灶植入 $^{125}\text{I}$ 粒子, 术后为期3个月的跟踪调查显示, 21.57% (466/2 160) 的患者出现粒子迁移, 其中迁移粒子最主要的到达器官是肺, 占63.95% (298/466)。洪居陆等<sup>[22]</sup>对63例肺癌患者共计植入3 179个 $^{125}\text{I}$ 粒子后的调查显示, 36.51% (23/63) 的患者出现粒子迁移, 迁移粒子占总粒子数的2.74% (87/3 179), 这些迁移粒子最主要迁移至胸膜腔和异于初始种植部位的肺其他部位, 占比86.21% (75/87)。Lin等<sup>[23]</sup>在399例肝癌患者的肝脏病灶内共计植入了13 977个 $^{125}\text{I}$ 粒子, 术后跟踪调查3个月, 结果显示, 20.30% (81/399) 的患者出现粒子迁移, 迁移粒子占总植入粒子数1.07% (150/13 977), 这些粒子最主要迁移至肺, 占74.67% (112/150)。

## 3 $^{125}\text{I}$ 粒子迁移的机制

肿瘤组织内植入放射性粒子后发生粒子迁移是常见的并发症, 且随着植入粒子数、穿刺针及靶体积的增加, 此并发症有增加的趋势<sup>[30-31]</sup>。粒子外壳钛合金具有优良的生物组织相容性<sup>[32]</sup>, 且粒子本身细小, 表面光滑, 使其不易被机体组织包裹局限化。另外, 尚有许多学者从解剖学等其他不同的角度对粒子迁移提出了见

解<sup>[13, 22]</sup>, 主要有三个方面。

### 3.1 粒子种植部位周围的血管(丛)、潜在的腔隙

前列腺周围静脉丛、肝脏的门静脉及肝静脉、肺血管等因血管丰富均易使粒子顺其迁移至其他部位。脑室系统、支气管、胆管、胰管、输尿管等均可成为粒子迁移的天然通道。Brahimaj等<sup>[24]</sup>在研究颅内肿瘤粒子植入治疗时, 经过长达7年的跟踪研究发现, 肿瘤坏死后形成了潜在的腔隙, 从而使部分粒子在脑白质内缓慢地移动, 平均每年移动8.9 mm, 最远的移动了35.5 mm。

### 3.2 粒子种植部位的相对活动度

洪居陆等<sup>[22]</sup>分析肺部肿瘤病灶植入粒子的迁移情况时认为, 胸部持续的呼吸活动、剧烈的咳嗽、心脏舒缩活动等均使肺部相对运动幅度大, 粒子易于迁移。而腹腔内的肝、胰等器官相对运动幅度稍小, 盆腔内的前列腺等器官运动幅度最小。所以, 相对来说, 种植于肺部病灶的粒子迁移率最高, 腹部其次, 盆腔最低。

### 3.3 术者的操作经验

在进行有创医学操作时, 术者的操作经验对医疗质量及医疗安全起着重要的作用。加拿大、美国等均对外科医师培训期间的手术数量提出了具体要求, 以保证相应的资质及能

力<sup>[33]</sup>。Taussky等<sup>[34]</sup>将495例前列腺癌患者按粒子植入的时间顺序平均分为5组, 结果显示, 第1组的100例患者发生粒子迁移的比率高达40%, 平均每个粒子发生迁移的概率为0.012 5; 之后每组的粒子迁移率及每个粒子迁移的概率均呈下降趋势; 最后一组的100例患者发生粒子迁移的比率仅为9%, 平均每个粒子发生迁移的概率为0.002 1。该研究者分析后认为, 随着粒子植入实践的积累, 操作者可显著提高临床技能, 使粒子迁移率明显下降。El-Bared等<sup>[35]</sup>在分析由2名医师进行粒子植入治疗的1 087例患者之后也认为, 操作者经验的差别会导致粒子迁移率不同。

#### 4 <sup>125</sup>I粒子迁移的影响

粒子迁移可能会对靶区射线剂量产生负面影响, 在体内还可引起相应的物理、化学损伤, 甚至对所在器官的功能产生影响, 但绝大多数情况下不会对机体产生明显影响。

##### 4.1 对粒子迁出部位的影响

Beaulieu等<sup>[14]</sup>在计算机上用蒙特卡罗方法模拟出粒子种植的11种模型, 然后又根据粒子活度、种植粒子数、迁移粒子数、粒子间距等参数模拟出不同的具体状态, 并对各具体模型下粒子剂量分布特点、成本效益比等进行了分析比较。结果显示, 对于<sup>125</sup>I这种低活度的粒子, 少量粒子迁移(迁移率<5%)更可能影响初始种植部位靶组织的剂量分布, 而对该部位肿瘤控制及其他部位正常组织几乎没有影响, 认为这很有可能是植入粒子总数与植入粒子间距等因素相互作用的结果。Maletzki等<sup>[13]</sup>回顾性研究了63例前列腺癌植入粒子后的患者, 结果显示, 在术后3年及更长的时间内, 少量粒子的迁移尚不足以对初始种植部位肿瘤的有效治疗剂量造成影响, 认为这可能与<sup>125</sup>I粒子的半衰期相对较短、放射活度相对较低有关。Brahimaj等<sup>[24]</sup>研究颅内粒子迁移时发现, 99.999 7%的射线剂量于植入粒子后3年内释放完毕, 仅有极其微量的射线被迁移粒子带走。

##### 4.2 对粒子迁入部位的影响

粒子迁移之后, 可通过机械性梗阻、放射性损伤等作用影响迁入部位的组织或器官。Zhu等<sup>[36]</sup>报道1例前列腺癌患者植入粒子后22个月,

1个粒子迁移并堵在冠状动脉右支严重狭窄处从而诱发急性心梗。Calvert等<sup>[37]</sup>报道了1个案例, 该前列腺癌患者于前列腺内的瘤体植入粒子后6年, 粒子迁移至右肺上叶肺动脉分支从而导致呼吸困难。Miura等<sup>[38]</sup>在给1例前列腺癌患者的前列腺瘤体内植入粒子后的当天即发现粒子迁移至左肺下叶, 随后为期12个月的胸部X线随访清楚地显示了粒子周围肺组织炎症从产生至消失的过程, 全程未使用抗生素等特殊治疗, 考虑为放射性肺炎。Chen等<sup>[39]</sup>报道, 1例前列腺癌患者于前列腺瘤体内植入粒子10年后, 发现右肺下叶约4 mm肿块, 经病理学检查证实为小细胞肺癌, 肿瘤切开后发现1个粒子藏匿其中。

#### 5 <sup>125</sup>I粒子迁移的预防

粒子迁移的原因是多方面的, 因此, 为有效减少粒子迁移而应针对性地改进措施, 比如提高操作技能、使用粒子链条、包膜粒子等。

Merrell等<sup>[30]</sup>将1 000例前列腺癌患者分为3组: 单纯使用松散粒子组(391例)、单纯使用粒子链条组(566例)、混合使用松散粒子及粒子链条组(43例)。结果显示, 第1组粒子迁移率为45.52%(178/391), 第2组粒子迁移率为0.88%(5/566), 第3组粒子迁移率为11.63%(5/43), 粒子链条技术显著降低了粒子迁移率。但在实际使用中, 粒子链条存在操作耗时、柔性不足、剂量调整难等缺点, 甚至不同的链接材料、链条长度也会对粒子的迁移产生负面的影响<sup>[40]</sup>。为此, Warrell等<sup>[41]</sup>在粒子表面包被0.082 5 mm厚的可吸收聚合物膜, 并进行了一项试验, 将47例前列腺癌患者分为植入包膜粒子组(26例, 共计植入2 227个粒子)和非包膜粒子组(21例, 共计植入1 858个粒子)。结果显示, 包膜粒子组粒子迁移率为3.14%(70/2 227), 非包膜粒子组粒子迁移率为6.89%(128/1 858), 使用包膜技术后即可达到降低粒子迁移率的目的, 又可有效规避粒子链条的不足之处。

综上所述, 作为一项成熟的技术, <sup>125</sup>I粒子植入肿瘤组织间近距离放射治疗已成为宫颈癌、子宫内膜癌、前列腺癌治疗方法中不可或缺的一员, 在其他恶性实体肿瘤的治疗中也扮演着重要

的角色。粒子迁移是该治疗方法常见的并发症，虽然大部分情况下并不会产生明显的影响，但仍需通过提高临床技能、改进粒子工艺等途径减少此并发症，并做好长期随访工作，加强临床监控，避免潜在的医疗风险。

### 【参 考 文 献】

- [ 1 ] FIDLER M M, BRAY F, SOERJOMATARAM I. The global cancer burden and human development: a review [ J ] . Scand J Public Health, 2018, 46(1): 27-36.
- [ 2 ] 曹毛毛, 陈万青. 中国恶性肿瘤流行情况及防控现状 [ J ] . 中国肿瘤临床, 2019, 46(3): 145-149.  
CAO M M, CHEN W Q. Epidemiology of cancer in China and the current status of prevention and control [ J ] . Chin J Clin Oncol, 2019, 46(3): 145-149.
- [ 3 ] 但汉雷. 肿瘤治疗理念和技术革新的哲学思考 [ J ] . 医学与哲学, 2020, 41(23): 54-59.  
DAN H L. Philosophical thoughts of therapeutic conceptual and technical evolutions in clinical oncology [ J ] . Med Philos, 2020, 41(23): 54-59.
- [ 4 ] BRUCER M. Brachytherapy [ J ] . Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med, 1958, 79(6): 1080-1090.
- [ 5 ] TANDERUP K, MÉNARD C, POLGAR C, et al. Advancements in brachytherapy [ J ] . Adv Drug Deliv Rev, 2017, 109: 15-25.
- [ 6 ] 吉 喆, 姜玉良, 郭福新, 等. 导航系统辅助三维打印模板引导下放射性粒子植入治疗恶性肿瘤的剂量评估 [ J ] . 中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(11): 641-646.  
JI Z, JIANG Y L, GUO F X, et al. Dosimetry evaluation of three-dimensional-printing template guided radioactive seeds implantation assisted by navigation system in malignant tumors [ J ] . Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(11): 641-646.
- [ 7 ] JIA S N, WEN F X, GONG T T, et al. A review on the efficacy and safety of iodine-125 seed implantation in unresectable pancreatic cancers [ J ] . Int J Radiat Biol, 2020, 96(3): 383-389.
- [ 8 ] ALAM M, NANDA S, MITTAL B B, et al. The use of brachytherapy in the treatment of nonmelanoma skin cancer: a review [ J ] . J Am Acad Dermatol, 2011, 65(2): 377-388.
- [ 9 ] OTTER S J, STEWART A J, DEVLIN P M. Modern brachytherapy [ J ] . Hematol Oncol Clin North Am, 2019, 33(6): 1011-1025.
- [ 10 ] 黄金铭, 于宁文. <sup>125</sup>I放射性粒子治疗癌症研究进展 [ J ] . 同位素, 2020, 33(3): 186-198.  
HUANG J M, YU N W. Progress of permanent seed implantation using <sup>125</sup>I-seeds for cancer therapy [ J ] . J Isot, 2020, 33(3): 186-198.
- [ 11 ] 姚 远, 陈建建, 魏 苗, 等. 碘<sup>125</sup>粒子对恶性肿瘤的治疗研究进展 [ J ] . 河南医学研究, 2019, 28(14): 2686-2687.  
YAO Y, CHEN J J, WEI M, et al. Research progress of iodine 125 seed in the treatment of malignant tumor [ J ] . Henan Med Res, 2019, 28(14): 2686-2687.
- [ 12 ] LI Z Y, GAO H B, ZHANG W H, et al. Preparation of <sup>125</sup>I brachytherapy seeds by iodinating carbon bars with a silver coating [ J ] . Appl Radiat Isot, 2021, 167: 109426.
- [ 13 ] MALETZKI P, SCHWAB C, MARKART P, et al. Late seed migration after prostate brachytherapy with Iod-125 permanent implants [ J ] . Prostate Int, 2018, 6(2): 66-70.
- [ 14 ] BEAULIEU L, ARCHAMBAULT L, AUBIN S, et al. The robustness of dose distributions to displacement and migration of <sup>125</sup>I permanent seed implants over a wide range of seed number, activity, and designs [ J ] . Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2004, 58(4): 1298-1308.
- [ 15 ] 中华医学会放射肿瘤学分会, 中国医师学会放射治疗专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤微创治疗分会粒子治疗学组, 等. CT引导放射性<sup>125</sup>I粒子组织间永久植入治疗肿瘤专家共识 [ J ] . 中华医学杂志, 2017, 97(15): 1132-1139.  
Chinese Society of Radiation Oncology, Radiotherapy Specialty Committee of Chinese Medical Doctor Association, Seed Therapy Group, Minimally Invasive Therapy Branch, Chinese Anti-Cancer Association, et al. Expert consensus statement on computed tomography-guided <sup>125</sup>I radioactive seeds permanent interstitial brachytherapy [ J ] . Natl Med J Chin, 2017, 97(15): 1132-1139.
- [ 16 ] JIANG P, WANG J J, RAN W Q, et al. Five-year outcome of ultrasound-guided interstitial permanent <sup>125</sup>I seeds implantation for local head and neck recurrent tumors: a single center retrospective study [ J ] . J Contemp Brachytherapy, 2019, 11(1): 28-34.
- [ 17 ] 王一青, 朱林海, 林 旭, 等. CT引导下<sup>125</sup>I粒子植入术对晚期肺癌及肺转移癌的治疗作用 [ J ] . 中国肺癌杂志, 2020, 23(6): 424-428.  
WANG Y Q, ZHU L H, LIN X, et al. Therapeutic effect of CT-guided <sup>125</sup>I seed implantation on advanced lung cancer and pulmonary metastatic carcinoma [ J ] . Chin J Lung Cancer, 2020, 23(6): 424-428.
- [ 18 ] JIANG P, LIU C, WANG J J, et al. Computed tomography (CT)-guided interstitial permanent implantation of <sup>125</sup>I seeds for refractory chest wall metastasis or recurrence [ J ] . Technol Cancer Res Treat, 2015, 14(1): 11-18.
- [ 19 ] ZENG Y J, MAO Y M, SHI Z L, et al. Observation of therapeutic effect of <sup>125</sup>I seed implantation combined with chemotherapy and antiviral therapy on HBV-related liver cancer [ J ] . J BUON, 2019, 24(4): 1414-1419.
- [ 20 ] 王 进. CT导向下<sup>125</sup>I粒子植入联合化疗对难治性复发性盆腔恶性肿瘤短期疗效、血清肿瘤标志物及预后的影响 [ J ] . 实用癌症杂志, 2020, 35(8): 1382-1385.  
WANG J. Effect of CT-guided <sup>125</sup>I seed implantation combined with chemotherapy on short-term efficacy, serum tumor markers and prognosis of refractory and recurrent pelvic malignant tumors [ J ] . Pract J Cancer, 2020, 35(8): 1382-1385.
- [ 21 ] NAKANO M, YOROZU A, SAITO S, et al. Seed migration after transperineal interstitial prostate brachytherapy by using loose seeds: Japanese prostate cancer outcome study of permanent

- iodine-125 seed implantation (J-POPS) multi-institutional cohort study [ J ] . *Radiat Oncol*, 2015, 10: 228.
- [ 22 ] 洪居陆, 韦玉新, 李 慧, 等. CT引导下肺部恶性肿瘤放射性粒子<sup>125</sup>I植入后粒子迁移临床随访分析 [ J ] . *临床放射学杂志*, 2014, 33(4): 588-592.
- HONG J L, WEI Y X, LI H, et al. Seed migration occurring after CT-guided radioactive <sup>125</sup>I seed implantation for malignant lung tumors: a clinical follow-up analysis [ J ] . *J Clin Radiol*, 2014, 33(4): 588-592.
- [ 23 ] LIN J Q, YANG W Z, JIANG N, et al. Incidence and prediction of seed migration to the chest after iodine-125 brachytherapy for hepatocellular carcinoma [ J ] . *Brachytherapy*, 2017, 16(6): 1252-1256.
- [ 24 ] BRAHIMAJ B, LAMBA M, BRENEMAN J C, et al. Iodine-125 seed migration within brain parenchyma after brachytherapy for brain metastasis: case report [ J ] . *J Neurosurg*, 2016, 125(5): 1167-1170.
- [ 25 ] FAN Y, HUANG M W, ZHENG L, et al. Three-dimensional verification of <sup>125</sup>I seed stability after permanent implantation in the parotid gland and periparotid region [ J ] . *Radiat Oncol*, 2015, 10: 242.
- [ 26 ] 黄洪军, 江 勇, 吴宝强, 等. 术中<sup>125</sup>I放射性粒子植入治疗不能切除晚期胰腺癌的并发症和预后分析 [ J ] . *肝胆胰外科杂志*, 2014, 26(4): 281-284.
- HUANG H J, JIANG Y, WU B Q, et al. Complications and prognosis of intraoperative iodine-125 seed implantation therapy in patients with unresectable advanced pancreatic cancer [ J ] . *J Hepatopancreatobiliary Surg*, 2014, 26(4): 281-284.
- [ 27 ] YANG B, GUO W H, LAN T, et al. CT-guided <sup>125</sup>I seed implantation for inoperable retroperitoneal sarcoma: a technique for delivery of local tumor brachytherapy [ J ] . *Exp Ther Med*, 2016, 12(6): 3843-3850.
- [ 28 ] TONG L N, LIU P, HUO B, et al. CT-guided <sup>125</sup>I interstitial brachytherapy for pelvic recurrent cervical carcinoma after radiotherapy [ J ] . *Onco Targets Ther*, 2017, 10: 4081-4088.
- [ 29 ] WANG C R, CHEN Z Q, SUN W, et al. Palliative treatment of pelvic bone tumors using radioiodine (<sup>125</sup>I) brachytherapy [ J ] . *World J Surg Oncol*, 2016, 14(1): 294.
- [ 30 ] MERRELL K W, DAVIS B J, GOULET C C, et al. Reducing seed migration to near zero with stranded-seed implants: comparison of seed migration rates to the chest in 1 000 permanent prostate brachytherapy patients undergoing implants with loose or stranded seeds [ J ] . *Brachytherapy*, 2019, 18(3): 306-312.
- [ 31 ] VIGNEAULT E, MARTELL K, TAUSSKY D, et al. Does seed migration increase the risk of second malignancies in prostate cancer patients treated with iodine-125 loose seeds brachytherapy? [ J ] . *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2018, 100(5): 1190-1194.
- [ 32 ] KOIZUMI H, TAKEUCHI Y, IMAI H, et al. Application of titanium and titanium alloys to fixed dental prostheses [ J ] . *J Prosthodont Res*, 2019, 63(3): 266-270.
- [ 33 ] ELSEY E J, GRIFFITHS G, HUMES D J, et al. Meta-analysis of operative experiences of general surgery trainees during training [ J ] . *Br J Surg*, 2017, 104(1): 22-33.
- [ 34 ] TAUSSKY D, MOUMDJIAN C, LAROUCHE R, et al. Seed migration in prostate brachytherapy depends on experience and technique [ J ] . *Brachytherapy*, 2012, 11(6): 452-456.
- [ 35 ] EL-BARED N, SEBBAG N, BÉLIVEAU-NADEAU D, et al. Seed loss in prostate brachytherapy: operator dependency and impact on dosimetry [ J ] . *Strahlenther Onkol*, 2016, 192(5): 305-311.
- [ 36 ] ZHU A X, WALLNER K E, FRIVOLD G P, et al. Prostate brachytherapy seed migration to the right coronary artery associated with an acute myocardial infarction [ J ] . *Brachytherapy*, 2006, 5(4): 262-265.
- [ 37 ] CALVERT A D, DYER A W, MONTGOMERY V A. Embolization of prostatic brachytherapy seeds to pulmonary arteries: a case study [ J ] . *Radiol Case Rep*, 2017, 12(1): 34-38.
- [ 38 ] MIURA N, KUSUHARA Y, NUMATA K, et al. Radiation pneumonitis caused by a migrated brachytherapy seed lodged in the lung [ J ] . *Jpn J Clin Oncol*, 2008, 38(9): 623-625.
- [ 39 ] CHEN W C, KATCHER J, NUNEZ C, et al. Radioactive seed migration after transperineal interstitial prostate brachytherapy and associated development of small cell lung cancer [ J ] . *Brachytherapy*, 2012, 11(5): 354-358.
- [ 40 ] ROSE J, LIU D, BOYCHAK O, et al. Unexpected seed migration in prostate brachytherapy implants coincident with change in seed stranding product [ J ] . *Cureus*, 2017, 9(5): e1243.
- [ 41 ] WARRELL G R, XING Y, PODDER T K, et al. Reduction of seed motion using a bio-absorbable polymer coating during permanent prostate brachytherapy using a mick applicator technique [ J ] . *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(3): 44-51.

( 收稿日期: 2020-12-01 修回日期: 2021-01-30 )