



¹²⁵I粒子植入治疗的前列腺癌患者出院后对周围人员辐射水平的研究*

杨剑^① 耿建华^{②*} 洪浩^② 吴一田^② 肖泽均^③ 郑容^② 陈盛祖^②

[文章编号] 1672-8270(2018)04-0023-05 [中图分类号] R144.1 [文献标识码] A

[摘要] 目的: 对植入碘¹²⁵(¹²⁵I)粒子的前列腺癌患者出院后对周围辐射水平进行研究, 评估辐射危害并提出防护建议。方法: 对放射性¹²⁵I粒子前列腺植入术治疗患者在出院后9个月内, 对周围不同距离处的辐射剂量率进行测量, 计算对周围的辐射水平, 评估辐射危害。结果: 植入¹²⁵I粒子患者周围的剂量率以患者身体后方最大, 身体前方次之, 身体侧方最低。随时间的变化, 剂量率在3个月前基本为指数下降, 3个月后检测值明显高于理论计算值。结论: 植入¹²⁵I粒子的患者出院后, 随着时间及距离增加, 患者周围剂量率快速下降。建议在术后2个月内患者避免与他人、尤其是孕妇和儿童近距离接触, 应穿戴铅防护用品, 以减少对周围人的辐射。

[关键词] 碘¹²⁵粒子; 植入治疗; 前列腺癌患者; 辐射水平; 出院后

DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2018.04.006

Research on the radiation exposure around implanted ¹²⁵I seed patients with prostate cancer for others post discharge/YANG Jian, GENG Jian-hua, HONG Hao, et al//China Medical Equipment, 2018, 15(4):23-27.

[Abstract] Objective: To investigate the radiation exposure around implanted seeds patients with prostate cancer for others post discharge so as to evaluate radiological hazard and propose suggestions for radiation protection. Methods: The radiation dose rates of different distance around implanted seeds patients with prostate cancer within 9 months post discharge were measured. And the surrounding radiation level were calculated and radiological hazard was evaluated according to the dose rate results. The largest radiation dose rate around implanted seeds patient was behind the body of patient, and the middle dose was in front of the body of patient, and the lowest dose was in side of the body of patient. With changing of time, the dose rate basically occurred exponential decay at the first 3 month, and then the detection value was significantly higher than theoretical calculating value beyond 3 months after implantation. Conclusion: When implanted ¹²⁵I seeds patients post discharge, the radiation dose rate around them will fast decrease with the increasing of time and distance. It was suggested that the patient should avoid closely contact with other people, especially pregnant woman and child, or they should dress lead protective supplies, within 2 months after implantation so as to reduce radiation exposure to other people around patient.

[Key words] ¹²⁵I seed; Implantation therapy; Patient with prostate cancer; Radiation level; Post discharge

[First-author's address] Department of Medical Affairs, National Cancer Center/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China.

放射性碘¹²⁵(¹²⁵I)粒子植入已应用于临床肿瘤治疗多年, 特别是在前列腺癌治疗方面, 且该疗法已获得业界公认^[1-3]。随着放射性¹²⁵I粒子植入技术的发展, 应用的例数日益增加, 植入过程中, ¹²⁵I粒子对周围的辐射及其防护也愈来愈受到关注^[4-6]。粒子中的¹²⁵I放射性核素衰变, 发射出X及γ等射线, 植入术前后均会给医护人员和周围人群造成一定的辐射^[7]。为此, 本课题组曾对粒子装载过程中对周围的辐射及在医院对医护人员的辐射进行研究, 而本研究旨在对植入¹²⁵I粒子的前列腺癌患者出院后对周围辐射进行研究, 评估辐射危害并提出防护建议^[8-9]。

1 材料与方法

1.1 测量对象

选取在北京协和医学院肿瘤医院行放射性¹²⁵I粒子

前列腺植入术治疗的1例前列腺癌患者, 植入粒子数为81枚, 患者出院后9个月内对其周围不同距离处的辐射剂量率进行测量。

1.2 仪器与材料

(1) 14C型便携式辐射探测仪(美国LUDLUM公司)。

(2) ¹²⁵I粒子。由中国同辐公司提供, 粒子为6711型, 其外部尺寸为长4.5 mm, 直径0.8mm的圆柱; 结构为长3.3 mm, 直径0.5mm的银丝, 其表层吸附了¹²⁵I, 被厚度为0.05 mm的钛管包裹。每颗粒子的活度为14.8 MBq(400μCi)。

1.3 测量方法

在患者术后7d、56d、108d、145d、187d及277d时, 对站立位患者在与前列腺水平位置的不同距离处分别测量其周围剂量当量率, 在不采用任何防护及穿

基金项目: 中国癌症基金会北京希望马拉松专项基金(LC2009B43) ¹²⁵I粒子植入的质量控制及放射防护的研究

①国家癌症中心 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院医务处 北京 100021

②国家癌症中心 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院核医学科及PET/CT中心 北京 100021

③国家癌症中心 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院泌尿外科 北京 100021

*通信作者: gengjean@163.com

作者简介: 杨剑, 男, (1969-), 硕士, 助理研究员, 研究方向: 辐射防护。



着0.25 mmPb的铅短裤条件下分别进行测量,扣除本底,以此估算患者周围人员的受照剂量。

1.4 数据分析

按照不同时刻测得的剂量率估算与患者近距离相处,不同时间及距患者不同距离处所受到的辐射剂量。

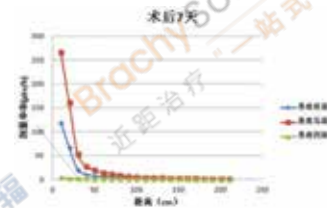
2 结果

2.1 患者周围的剂量率

(1)患者术后7d、56d、108d、145d、187d及277d时站立位,患者的身体前方、身体后方及身体侧方的剂量率均有很大的差别,身体后方高于身体前方,身体前方高于身体侧方;植入81粒¹²⁵I粒子的患者在无任何防护条件下,在与前列腺水平位置的不同方位及不同距离处的剂量率见表1。

(2)患者术后7d时,患者不同方位的周围剂量率随距患者距离的变化如图1所示。

当距离患者50cm处,患者不同身体部位的剂量率随时间的变化而不同;图中实线为测量数据,虚线为按照术后7d的数据,根据衰变规律计算出的剂量率



注: 图为术后7d患者不同方位处的剂量率随距离的变化。
图1 周围剂量率随患者距离变化曲线图

值。由此可见,测量值在植入粒子1个月后开始高于理论值,>3个月后,测量值明显高于理论计算值(如图2所示)。

根据衰变规律计算出的剂量率值结果均为患者无任何防护的条件下获得。当患者穿着0.25 mmPb的铅短裤,其周围的剂量率见表2。

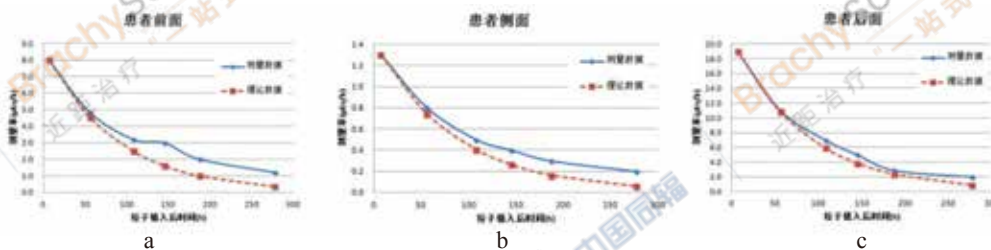
表2 植入81粒¹²⁵I粒子的患者穿着0.25mmPb的铅短裤周围的剂量率(μ Sv/h)

距离(cm)	植入7d		植入56d	
	患者身体前方	患者身体后方	患者身体前方	患者身体后方
10	0.10	0.20	0.15	
20	0.07	0.15	0.09	

表1 植入81粒¹²⁵I粒子患者不同时间及不同距离处的剂量率(μ Sv/h)

距离 (cm)	植入7d			植入56d			植入108d			植入145d			植入187d			植入277d		
	身体 前方	身体 后方	身体 侧方	身体 前方	身体 后方	身体 侧方	身体 前方	身体 后方	身体 侧方	身体 前方	身体 后方	身体 侧方	身体 前方	身体 后方	身体 侧方	身体 前方	身体 后方	身体 侧方
10	119.9	265.9	5.2	74.9	159.9	3.1	49.9	99.9	1.9	24.9	54.9	1.4	15.9	33.9	0.7	5.6	12.0	0.2
20	66.9	159.9	2.6	31.9	95.9	1.5	10.9	59.9	0.9	9.9	39.9	0.9	5.9	12.9	0.5	3.0	7.1	0.1
30	20.9	52.9	2.0	10.9	31.9	1.1	4.9	19.9	0.7	4.9	14.9	0.4	3.9	7.9	0.3	1.4	4.9	0.1
40	10.9	26.9	1.5	6.4	15.9	0.8	3.9	9.9	0.5	3.9	7.9	0.3	2.4	3.9	0.2	1.2	2.9	0.1
50	7.9	18.9	1.2	4.7	10.9	0.6	2.9	6.9	0.4	2.9	4.9	0.3	1.9	2.4	0.2	1.1	1.9	0.1
60	6.6	12.9	1.2	3.9	7.8	0.6	2.4	4.9	0.4	1.7	1.9	0.3	0.9	1.7	0.1	0.9	1.4	0.0
70	5.2	10.9	1.0	3.1	6.4	0.5	1.9	3.9	0.3	1.4	1.3	0.2	0.6	1.1	0.0	0.6	1.1	0.0
80	4.4	7.9	1.0	2.6	4.7	0.5	1.6	2.9	0.3	0.9	0.9	0.2	0.5	0.9	0.0	0.5	0.9	0.0
90	3.9	5.2	1.0	2.3	3.1	0.5	1.4	1.9	0.3	0.7	0.8	0.2	0.5	0.9	0.0	0.5	0.9	0.0
100	3.4	3.9	1.0	2.0	2.3	0.5	1.2	1.4	0.3	0.6	0.7	0.1	0.4	0.7	0.0	0.4	0.7	0.0
110	2.8	3.6	1.0	1.6	2.1	0.5	1.0	1.4	0.3	0.5	0.7	0.1	0.4	0.5	0.0	0.3	0.5	0.0
120	2.6	3.1	0.7	1.5	1.8	0.4	0.9	1.1	0.3	0.4	0.7	0.0	0.3	0.5	0.0	0.3	0.5	0.0
130	2.3	2.6	0.7	1.3	1.5	0.4	0.8	0.9	0.3	0.3	0.5	0.0	0.3	0.4	0.0	0.3	0.4	0.0
140	1.8	2.0	0.7	1.0	1.1	0.3	0.6	0.7	0.2	0.3	0.4	0.0	0.3	0.4	0.0	0.2	0.3	0.0
150	1.5	1.8	0.4	0.8	1.0	0.2	0.5	0.6	0.2	0.3	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.3	0.0
160	1.2	1.5	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.1	0.3	0.0
170	1.0	1.2	0.3	0.5	0.6	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1	0.4	0.0	0.1	0.4	0.0	0.1	0.2	0.0
180	1.0	1.1	0.3	0.5	0.6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.2	0.0
190	0.7	0.9	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.7	0.8	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
210	0.4	0.7	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0

注: 上述剂量率数据为扣除本底数据。



注：图中a为距患者50cm处身体前方的剂量率随时间的变化；b为距患者50cm处身体侧方的剂量率随时间的变化；c为距患者50cm处身体后方的剂量率随时间的变化。

图2 周围剂量率随时间变化曲线图

2.2 患者周围人员的剂量估算

按照表1及图2中的数据可以估算患者周围的人员受到的辐射水平，而图2显示，3个月内¹²⁵I粒子会释放大剂量，其3个月内剂量率随时间的变化基本为指数衰减，因此若估算周围人受到的照射剂量，其计算为公式1：

$$D = \int_0^T R_0 e^{-693/T_{1/2} \cdot t} dt \quad (1)$$

式中 R_0 为出院时的剂量率， T 为相处时间， $T_{1/2}$ 为¹²⁵I的

半衰期。

植入¹²⁵I粒子3个月后(如图2所示)，患者周围剂量率随时间的变化偏离前3个月的指数衰减规律，对测量的2个时间点间采用线性插值法计算图2中曲线下面积，用来估算周围人员所受的辐射剂量。

通常患者术后第4d出院，从术后第4d开始，距患者不同距离处，每日24h均和患者在一起，9个月内每个月所受到的照射剂量见表3。

表3 不同距离处月受照剂量(mSv)

时间	患者身体方位	30cm	50cm	100cm	150cm	200cm
第1个月	患者身体前方	13.29	5.00	2.13	0.92	0.41
	患者身体后方	33.68	12.01	2.45	1.12	0.48
	患者身体侧方	1.24	0.73	0.61	0.22	0.10
第2个月	患者身体前方	9.40	3.54	1.51	0.65	0.29
	患者身体后方	23.82	8.49	1.74	0.79	0.34
	患者身体侧方	0.88	0.52	0.43	0.16	0.07
第3个月	患者身体前方	6.64	2.50	1.07	0.46	0.21
	患者身体后方	16.84	6.01	1.23	0.56	0.24
	患者身体侧方	0.62	0.37	0.30	0.11	0.05
第4个月	患者身体前方	4.07	2.23	0.81	0.33	0.10
	患者身体后方	14.68	5.01	0.95	0.41	0.15
	患者身体侧方	0.47	0.27	0.17	0.09	0.03
第5个月	患者身体前方	3.41	1.97	0.50	0.21	0.03
	患者身体后方	11.17	3.71	0.61	0.29	0.16
	患者身体侧方	0.31	0.19	0.07	0.03	0.01
第6个月	患者身体前方	3.05	1.61	0.31	0.14	0.00
	患者身体后方	7.63	2.40	0.47	0.25	0.18
	患者身体侧方	0.21	0.14	0.01	0.00	0.00
第7个月	患者身体前方	2.50	1.25	0.25	0.11	0.00
	患者身体后方	5.33	1.64	0.47	0.24	0.15
	患者身体侧方	0.16	0.10	0.00	0.00	0.00
第8个月	患者身体前方	1.93	1.06	0.25	0.11	0.00
	患者身体后方	4.64	1.52	0.47	0.22	0.10
	患者身体侧方	0.11	0.07	0.00	0.00	0.00
第9个月	患者身体前方	1.30	0.86	0.25	0.11	0.00
	患者身体后方	3.89	1.40	0.47	0.19	0.03
	患者身体侧方	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00

注：术后第4 d起每日与患者相处24h，在不同距离处每个月的受照剂量。



表4 不同距离处9个月内累计受照剂量(mSv)

时间	患者身体方位	30cm	50cm	100cm	150cm	200cm
第1个月	患者身体前方	0.55	0.21	0.09	0.04	0.02
	患者身体后方	1.40	0.50	0.10	0.05	0.02
	患者身体侧方	0.05	0.03	0.03	0.01	0.00
第2个月	患者身体前方	0.95	0.36	0.15	0.07	0.03
	患者身体后方	2.40	0.85	0.17	0.08	0.03
	患者身体侧方	0.09	0.05	0.04	0.02	0.01
第3个月	患者身体前方	1.22	0.46	0.20	0.08	0.04
	患者身体后方	3.10	1.10	0.23	0.10	0.04
	患者身体侧方	0.11	0.07	0.06	0.02	0.01
第4个月	患者身体前方	1.39	0.55	0.23	0.10	0.04
	患者身体后方	3.71	1.31	0.27	0.12	0.05
	患者身体侧方	0.13	0.08	0.06	0.02	0.01
第5个月	患者身体前方	1.53	0.64	0.25	0.11	0.04
	患者身体后方	4.17	1.47	0.29	0.13	0.06
	患者身体侧方	0.15	0.09	0.07	0.03	0.01
第6个月	患者身体前方	1.66	0.70	0.26	0.11	0.04
	患者身体后方	4.49	1.57	0.31	0.14	0.06
	患者身体侧方	0.16	0.09	0.07	0.03	0.01
第7个月	患者身体前方	1.77	0.75	0.27	0.12	0.04
	患者身体后方	4.71	1.64	0.33	0.15	0.07
	患者身体侧方	0.16	0.10	0.07	0.03	0.01
第8个月	患者身体前方	1.85	0.80	0.29	0.12	0.04
	患者身体后方	4.91	1.70	0.35	0.16	0.07
	患者身体侧方	0.17	0.10	0.07	0.03	0.01
第9个月	患者身体前方	1.90	0.83	0.30	0.13	0.04
	患者身体后方	5.07	1.76	0.37	0.17	0.08
	患者身体侧方	0.17	0.10	0.07	0.03	0.01

注：术后第4d起每日与患者相处1h，在不同距离处9个月内累计受照剂量。

如果患者出院后，每日与患者相处1h，距患者不同距离处，1~9个月内所受到的照射剂量见表4。

3 讨论

在放射性¹²⁵I粒子植入治疗的整个过程中，涉及到需要防护的有诸多环节，而粒子装载植入过程中的防护已有研究报道。由于¹²⁵I的半衰期较长，为60d，因此，在患者出院后仍对周围有长时间的辐射，而患者出院后其在不同时间及距离对周围的辐射水平，以及评估辐射危害并提出防护建议方面的研究鲜有报道。本研究对前列腺癌患者¹²⁵I粒子植入治疗，平均植入粒子数量(86±19)枚，因此选择植入81枚的患者进行研究，可代表¹²⁵I粒子植入治疗前列腺癌患者的平均水平^[9]。

本研究中表1及图2显示，患者身体前方、后方及侧方的剂量率有很大的差别，身体后方高于身体前方，身体前方高于身体侧方。由于前列腺的前方有尺骨遮挡，而侧面有20cm左右的骨骼及软组织遮挡，并且²⁵I粒子发出的射线能力较低，平均能量只有28keV，极易被吸

收，因此身体侧面的剂量率低于正面，而正面的剂量率低于后面^[10]。如果植入81粒14.8MBq(400μCi)的粒子，在术后7d时，在距直立的患者身体正面前列腺部位50cm处，剂量率分别为身体前方7.9μSv/h、身体后方18.9μSv/h、身体侧方1.2 μSv/h。

图2显示，距离患者50cm处，患者身体前方、侧方及后方的剂量率随时间的变化。测量值>3个月后，明显高于理论计算值，因为植入粒子1个月开始肿瘤体积开始缩小，3个月后肿瘤体积缩小到一定规模，使得粒子分布空间缩小，更接近于点源^[1, 11-12]。而对同样活度的源，其集中在一点对周围的辐射，要大于分布在一个大的体积内时对周围的辐射。在估算周围人的累计剂量时，如果按照体内粒子分布不变的物理衰变计算，将会低估剂量。

我国对核医学患者的放射防护标准^[13-14]规定了控制放射性核素治疗患者出院的时间，也规定了其家庭成员的剂量约束值，以保证其成年家庭成员受到



的辐射剂量 $\leq 5\text{ mSv}$, 儿童家庭成员受到的辐射剂量 $\leq 1\text{ mSv}$ 。表3显示, 植入¹²⁵I粒子的前列腺癌患者出院后, 家庭成员与患者密切接触, 如果每日24h均与患者在一起, 第1个月内的累计剂量最高, 随着¹²⁵I核素的衰变, 距植入术的时间越长, 相同时间内周围人受照剂量越低。如果每日24h均与植入¹²⁵I粒子的前列腺癌患者在一起, 距离患者30cm处, 在第1个月内, 患者身体前方、后方及侧方高达13.29 mSv、33.68 mSv及1.24 mSv; 第2个月内, 患者身体前方、后方及侧方高达9.40 mSv、23.82 mSv及0.88 mSv。由此可见, 已超过了国家标准对患者家庭成员的剂量约束值。即使是每日只与植入¹²⁵I粒子的前列腺癌患者接触1h, 距离患者30cm, 在术后2个月内, 患者身体前方、后方及侧方也有0.95 mSv、2.4 mSv及0.09 mSv。因此, 在患者出院后2个月内, 建议植入¹²⁵I粒子的患者不要与家庭成员近距离接触, 特别是孕妇及儿童。如果需要近距离接触家庭成员, 建议穿戴防护用品。本研究结果显示, 当患者穿着0.25 mmPb的铅短裤时, 只有距患者20cm内有低的剂量率, 距离患者10cm, 患者身体后方剂量率只有0.2 $\mu\text{Sv/h}$, 前方只有0.1 $\mu\text{Sv/h}$, 并且到术后56 d时, 患者身体前方剂量率已降到本底, 后方降到0.15 $\mu\text{Sv/h}$ 。因此, 当患者穿着0.25 mmPb的铅短裤, 即使与家庭成员近距离接触, 对家庭成员的照射剂量也低于1 mSv。

对植入¹²⁵I粒子的患者工作时对同事的照射。如果与同事的距离为1.5 m, 每日相处8h, 则在9个月内(考虑最严重的情况, 无周末休息), 患者身体的前方、后方及侧方剂量可达1.01 mSv、1.36 mSv及0.20 mSv(由表4计算所得)。可见, 如果植入了放射性粒子的患者出院即上班, 对距离1.5 m的同事造成的照射剂量会超过公众剂量限值1 mSv。因此建议患者出院后1个月不要上班, 并且尽量不要背对同事。如果必须要在1个月内上班, 建议在出院1个月内, 上班时穿着0.25 mmPb的铅短裤进行防护。如果上班时与同事的距离 $< 1.5\text{ m}$, 并且必须背对同事, 建议在术后3个月内穿着0.25 mmPb的铅短裤进行防护。

我国针对粒子植入放射防护的标准为国家标准GBZ178-2017“粒籽源永久性植入治疗放射防护要求”^[15]规定了粒子植入患者出院后的放射防护要求:

①植入粒籽源后的前4个月, 尤其是前两周内, 日常生活中应与配偶保持60cm距离; ②植入粒籽源的患者出院2个月内, 陪护者或探视者与患者长时间接触时, 距离至少应保持在1 m远, 儿童和孕妇不得与患者同住一个房间, 患者不能长时间接触或拥抱儿童; ③不允许孕妇近距离接触患者, 探视时距离患者至少1 m以外; ④植入粒籽源患者, 在植入240d后(除到医

院复诊外), 方能到公众场所活动。

综上所述, 植入¹²⁵I粒子的患者出院后, 其身体后方剂量率最高, 前方次之, 侧方最低。随着时间及距离的增加, 患者周围剂量率快速下降。由此建议患者在术后2个月内尽量与家庭成员, 尤其是儿童保持1 m以上的距离, 或穿戴铅防护用品, 以减少对家庭成员及周围的辐射。同时, 术后患者在家休息至少1个月再去上班, 上班时与同事的距离 $> 1.5\text{ m}$, 并尽量避免背对同事, 应穿戴铅防护用品, 以减少对周围同事的辐射。

参考文献

- [1] 陈克敏,王忠敏.放射性粒子植入技术临床应用[M].北京:科学出版社,2011.
- [2] 王俊杰,黄毅,冉维强,等.¹²⁵I粒子近距离治疗前列腺癌临床应用[J].中华放射医学与防护杂志,2004,24(6):509-512.
- [3] 刘帅.¹²⁵I放射性粒子植入治疗前列腺癌的现状与辐射防护研究进展[J].实用癌症杂志,2016,31(4):691-693.
- [4] Morris WJ,Keyes M,Palma D,et al.Evaluation of dosimetric parameters and disease response after 125 iodine transperineal brachytherapy for low-and intermediate-risk prostate cancer[J].Int J Radiat Oncol Biol Phys,2009,73(5):1432-1438.
- [5] Gómez-Isturriaga Pi ña A,Crook J,Borg J,et al. Median 5 year follow-up of 125iodine brachytherapy as monotherapy in men aged ≤ 55 years with favorable prostate cancer[J].Urology,2010,75(6):1412-4216.
- [6] Pereira da Ponte Amadei L,Fernandes Silva JL,Abdallah Hanna S,et al.Biochemical control of prostate cancer with iodine-125 brachytherapy alone:experience from a single institution[J].Clin Transl Oncol,2012,14(5):369-375.
- [7] Beydoun N,Bucci JA,Chin YS,et al.Iodine-125 thin seeds decrease prostate swelling during transperineal interstitial permanent prostate brachytherapy[J].J Med Imaging Radiat Oncol,2014,58(1):109-116.
- [8] 耿建华,曹仲年,赵卫强,等.¹²⁵I粒子装载过程中工作人员受照剂量的研究[J].中国医学装备,2012,9(10):1-3.
- [9] 耿建华,肖泽均,杨剑,等.¹²⁵I粒子植入治疗前列腺癌过程中医护人员受照水平的研究[J].中国医学装备,2014,11(10):23-25.
- [10] 陈宏颜,高进喜,李敬成,等.影像解剖图谱[M].3版.福州:福建科学技术出版社,2006:162.
- [11] 牛书雷,底学敏,杜随,等.¹²⁵I粒子植入术后肿瘤体积缩小对十二指肠剂量的影响[J].中华放射医学与防护杂志,2017,37(3):209-211.
- [12] 刘建国,钟龙,郑飞,等.经直肠超声引导下125碘粒子植入治疗前列腺癌的疗效[J].医学临床研究,2015,32(9):1843-1844.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局.GB18871-2002电离辐射防护与辐射源安全基本标准[M].北京:标准出版社,2003:30-35.
- [14] 卫生部.GB16361-2012临床核医学的患者防护与质量控制规范[S].国家标准化管理委员会,2012.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会.GBZ178-2017粒籽源永久性植入治疗放射防护要求[S].国家卫生和计划生育委员会,2017.

收稿日期:2017-12-21