

## ·实验研究 Experimental research·

# $^{125}\text{I}$ 粒子条剂量分布研究

杨敏捷, 罗剑钧, 刘清欣, 刘凌晓, 张 雯, 方主亭, 杨清慧, 颜志平

**【摘要】 目的** 探讨连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子条剂量分布。**方法** 通过玻璃剂量计及 IP 板测量粒子条剂量立体分布并与计算软件结果比较。**结果** 玻璃剂量计测量数据与软件计算相关性良好 ( $r > 0.99$ ,  $P = 0.000$ )。除  $R = 0.5\text{ cm}$  处外, 两者差异性无统计学意义 ( $P < 0.05$ )。IP 板测定  $2\text{ cm}$  以内粒子间存在自吸收现象, 自吸收的量约 22.8%。**结论** 连续线状排列的  $^{125}\text{I}$  粒子条辐射等剂量分布类似于柱形体, 为其应用于腔内放射治疗提供理论依据。

**【关键词】** 剂量学;  $^{125}\text{I}$  粒子; 近距离放射治疗

中图分类号: R735 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2015)-01-0059-05

**Dosimetry of consecutive linear arranged  $^{125}\text{I}$  seeds** YANG Min-jie, LUO Jian-jun, LIU Qing-xin, LIU Ling-xiao, ZHANG Wen, FANG Zhu-ting, YANG Qing-hui, YAN Zhi-ping. Department of Interventional Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: yan.zhiping@zs-hospital.sh.cn

**【Abstract】 Objective** To investigate the radiation distribution of consecutive linear arranged  $^{125}\text{I}$  seeds in vitro. **Methods** The in vitro 3-D radiation distribution was measured by radiophoto-luminescent glass detectors and imaging plate (IP) using a SM-2 model. The results were then compared with the data obtained from the software calculation. **Results** Strong correlation existed between the software calculation and data obtained from radiophoto-luminescent glass detector measurements ( $r > 0.99$ ,  $P = 0.000$ ). No statistically significant difference was found between the two methods except at  $R = 0.5\text{ cm}$  area ( $P < 0.05$ ). A proportion about 22.8% self-absorption within  $2\text{ cm}$  was observed when IP measurement was used. **Conclusion** The isodose lines of consecutive linear arranged  $^{125}\text{I}$  seeds conform to tubular structure, which provides theoretical basis for its application in intraluminal brachytherapy. (J Intervent Radiol, 2015, 24: 59-63)

**【Key words】** dosimetry;  $^{125}\text{I}$  seed; brachytherapy

$^{125}\text{I}$  粒子作为近距离放射治疗源, 已广泛应用于前列腺、脑、肺、胰腺、肝脏等各类恶性实体肿瘤的治疗<sup>[1]</sup>。目前, 已有连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子条应用于恶性梗阻性黄疸及肝癌伴门脉癌栓的治疗的报道<sup>[2-4]</sup>。当前,  $^{125}\text{I}$  粒子剂量测算主要通过治疗计划系统(treatment planning system, TPS)<sup>[5-6]</sup>完成。本研究旨在测量连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子源剂量分布, 并与编制和验证剂量计算软件模拟比较, 为  $^{125}\text{I}$  粒子源线状排列的临床应用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1  $^{125}\text{I}$  粒子源及相关参数(model 6711 型, 宁波君安药业有限公司)  $\bar{A}_0 = 0.7\text{ mCi}$ , 半衰期 = 59.4 d,  $\Phi 0.8\text{ mm} \times 4.5\text{ mm}$ ,  $\delta = 0.05\text{ mm}$ , 钛合金包壳, 顶头焊封, 内核材料银丝尺寸  $\Phi 0.5\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ , 银丝表层镀  $^{125}\text{I}$  核素。光子能量: 27.4 Kev 和 31.4 Kev 的 X 射线和 35.5 Kev  $\gamma$  射线, 属低能辐射; 铅半价层: 0.025 mm, 细胞组织半价层: 17 mm; 在 1 米处空气比释功能率 0.88  $\mu\text{Gy/h}$ 。

1.1.2 SM-2 型人体等效模块(复旦大学放射医学研究所研制) 由石蜡、聚乙烯、人骨等材料制成, CT 值: -20 Hu。实验用模块由自制模具灌制。模块体积:  $10\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2015.01.014

基金项目: 上海市卫生和计划生育委员会 2013 年度适宜技术推广(2013SY060)

作者单位: 200032 复旦大学附属中山医院介入治疗科

通信作者: 颜志平 E-mail: yan.zhiping@zs-hospital.sh.cn

## 1.2 方法

1.2.1 计算线状排列粒子源的剂量分布 根据  $^{125}\text{I}$  粒子源剂量计算公式编制线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子源剂量计算软件<sup>[7-9]</sup>,分别计算 5、10、15、20 粒连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子源 (model 6711 型,  $\bar{A}_0 = 0.7 \text{ mCi}$ ) 10、25、50、75、100 Gy 等剂量曲线(图 1);计算 10 粒连续线状排列  $^{125}\text{I}$  端面(距离粒子条中心点 5 cm)放射剂量分布及横轴(即距离粒子条距离,  $R = 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 \text{ cm}$ ),长轴(以粒子条长轴中心点为参照,  $Z = 4.5, 3.5, 2.5, 1.5, 0.5, -0.5, -1.5, -2.5, -3.5, -4.5 \text{ cm}$ )不同位置剂量分布。

1.2.2 实测  $^{125}\text{I}$  粒子条辐射剂量 IP 板 MS-2040 (FujiFilm, JP) 测量的连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子条体模二维横轴辐射剂量分布。将连续线状排列 10 粒  $^{125}\text{I}$  粒子源封装于 4 F 导管(BOSTON, USA),插入体模中央,将 IP 板放于  $^{125}\text{I}$  粒子条横轴向平面,粒子条中心点距 IP 板距离为 5 cm。IP 板暴露 57 s 后取出,经射线影像分析仪 bas-2500(FujiFilm, JP) 分析读数,IP 板读数条件 L4 S10000 200  $\mu\text{m}$ 。将读取数值与软件计算数值比较。

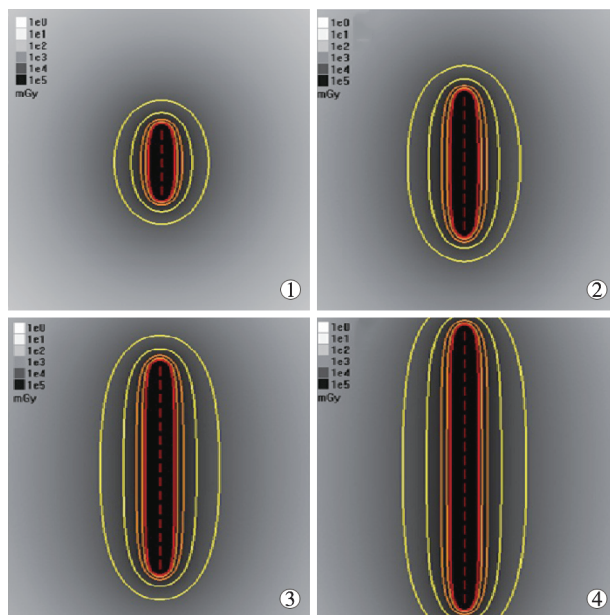
1.2.3 玻璃剂量计测量 (Chiyoda Technol CO, JP) 连续排列的  $^{125}\text{I}$  粒子源体模内剂量分布并与软件计算结果对比 以距粒子条中心 1.0 cm、2.0 cm、4.0 cm 为一组,1.5 cm、3.0 cm 为一组,0.5 cm 为单独一组,每个距离有垂直相对 4 孔,中心孔(装  $^{125}\text{I}$  粒子条)直径 1.5 mm,其余孔(装玻璃剂量计)直径 2.5 mm,长度为 10 mm。玻璃剂量计经乙醇清洁、退火(400℃, 30 min)、读取并记录本底。将玻璃剂量计装入带编号外壳中,按编号连续排列插入体模块孔眼中,每孔 10 粒玻璃剂量计。中心孔内正中放入 10 粒连续排列的  $^{125}\text{I}$  粒子源,准确计时,暴露 1 h 后,先取出粒子源后再取出玻璃剂量计。玻璃剂量计经 70℃ 预热 30 min 后,送入 FDG-1000 剂量测读仪(Asahi Techno Glass Corporation, JP) 上测读数据并记录。每个距离 4 孔读数取均值,将所得数值除以玻璃剂量计的修正系数后与软件计算值相比较,同时比较横轴( $Z = 0.5$ ),纵轴( $R = 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ )不同距离观察剂量分布趋势。将玻璃剂量计测量数据与软件计算数据作相关性分析,使用统计软件 SPSS16,  $P < 0.05$  为有统计学差异。

## 2 结果

### 2.1 剂量计算软件

5、10、15、20 粒连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子源在  $Z =$

0,  $R = 1 \text{ cm}$  处初始剂量率分别为 23 469.55, 30 052.46, 32 000.36, 32 713.18  $\mu\text{Gy/h}$ ;可见当排列粒子超过 10 粒,中心区域( $Z = 0, R = 1 \text{ cm}$ )范围内剂量分布均匀;距离超过粒子条半径 1.0 cm 外,剂量明显衰减。见图 1。



①~④分别为 5、10、15、20 粒连续线状排列  $^{125}\text{I}$  粒子 10、25、50、75、100 Gy 等剂量曲线图

图 1 不同放射剂量的曲线图

### 2.2 IP 板测量结果与软件计算结果对比

IP 板测定数值与软件计算数值比较距离轴心 2 cm 以外区域,IP 测定数值与软件计算值匹配良好;2 cm 以内粒子 IP 版测量值低于软件计算值,两者曲线下面积之差为 22.8%。见图 2。

### 2.3 玻璃剂量计测量连续线状排列的 $^{125}\text{I}$ 粒子源体模内剂量分布并与软件计算结果对比

玻璃探测器测得距离  $^{125}\text{I}$  粒子源  $R = 0.5 \text{ cm}$ , 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm 的分别在  $Z$  轴: -4.5 cm 至 4.5 cm 间隔 0.5 cm。吸收剂量(经能量响应校正<sup>[10-14]</sup>)与软件计算的剂量比较显示:在  $R$  为 0.5 ~ 1.5 cm 范围内,玻璃剂量计测量结果与软件计算相符,在  $R = 0.5 \text{ cm}$  时,中心段区域( $Z$  为 -1.5 ~ 1.5 cm),玻璃剂量计测量值低于软件计算值(图 3);两者曲线下面积之差为 11.6%(根据  $R = 0.5 \text{ cm}$  数据得)。玻璃剂量计测量数据与软件计算相关性良好( $r > 0.99, P = 0.000$ )。除  $R = 0.5$  处外,玻璃剂量计测量数据与软件计算剂量两者差异无统计学意义(SPSS16.0, 配对  $t$  检验, 双侧  $P < 0.05$ )。自吸收主要发生在距离粒子条  $R$  轴  $< 1.0 \text{ cm}$  范围内。见图 3。

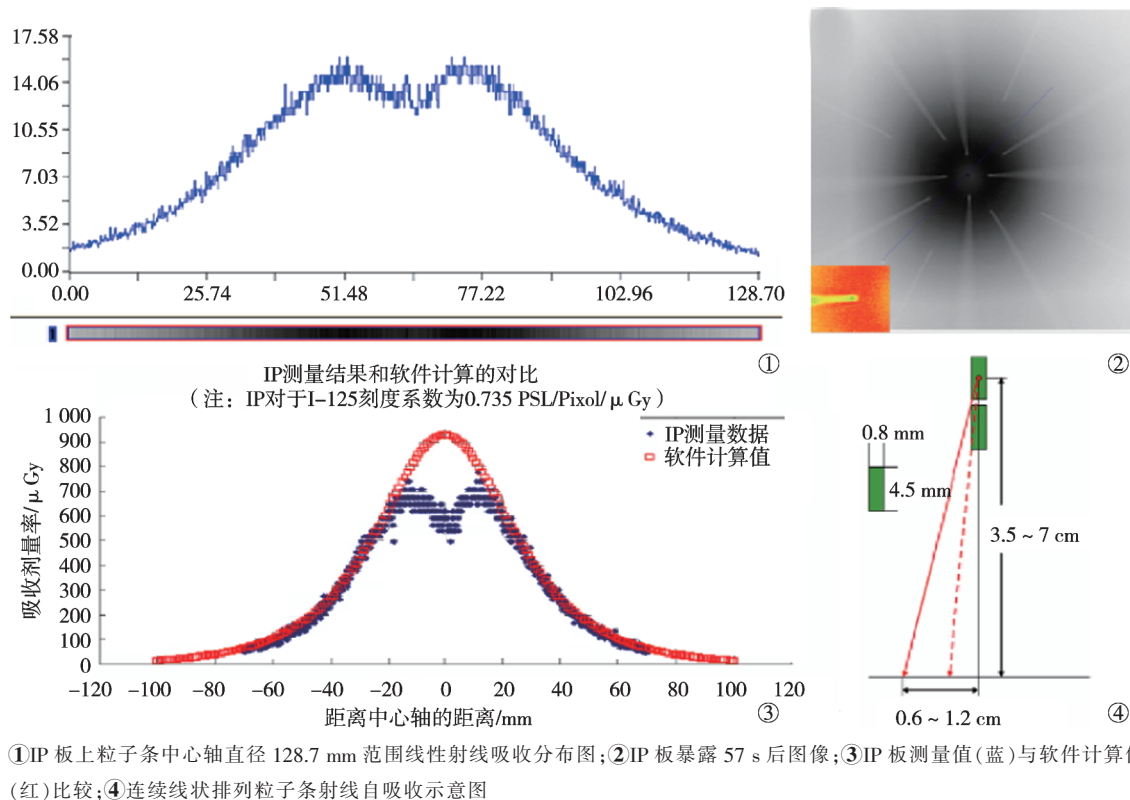


图 2 IP 板测量结果与软件结果比较

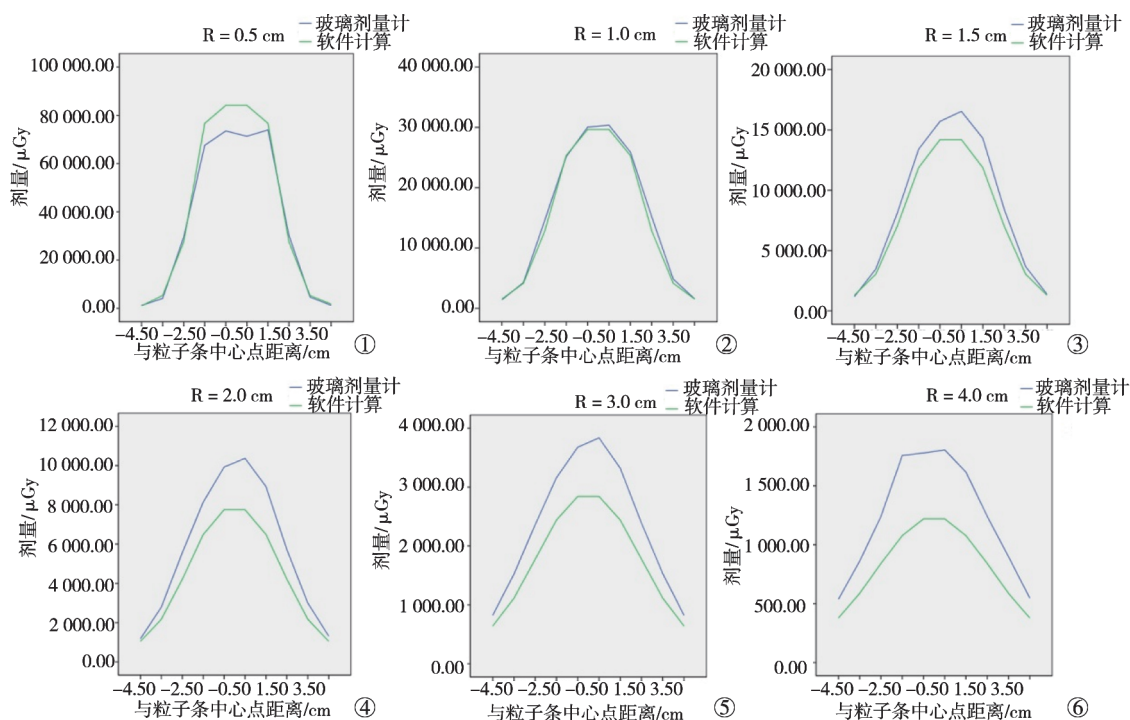


图 3 玻璃剂量计测量结果与软件结果比较

### 3 讨论

自 1972 年 Whitmore 等<sup>[15]</sup>首次报道  $^{125}\text{I}$  粒子源治疗局部和转移性前列腺癌以来,  $^{125}\text{I}$  粒子源近距离

插植已广泛用于包括前列腺癌、头颈部恶性肿瘤、胰腺癌、肺癌和肝癌等恶性肿瘤的治疗<sup>[16-24]</sup>。 $^{125}\text{I}$  为低剂量率放射性核素, 初始剂量率只有 0.001 3 Gy/min, 组织间植入近距离放疗属于极低剂量率放

疗<sup>[25]</sup>。 $\gamma$ 射线的能量低、衰减非常快,因此其剂量分布变化较为复杂。目前已有将放射性粒子源封装在导管内治疗乳腺癌、胆道肿瘤等相关报道<sup>[26-29]</sup>,但其剂量分布尚未进一步明确。

玻璃剂量计测量灵敏、稳定且体积较小,方便应用于<sup>125</sup>I粒子条不同位点的剂量测量。IP板在获取端面剂量数值同时可生成剂量二维分布图较为直观。玻璃剂量计测量结果与软件计算比较在 $R = 0.5\text{ cm}$ 时,中心段区域( $Z$ 为 $-1.5 \sim 1.5\text{ cm}$ ),玻璃剂量计测量值低于软件计算值,而 $2\text{ cm}$ 以内粒子IP板测量值低于软件计算值。这可能是由于<sup>125</sup>I粒子外层为钛合金包壳使得射线衰减,尤其包壳两端焊封,线状排列的粒子条纵向钛合金剥壳及银丝叠加,故端面自吸收率较大。在临床应用时应注意<sup>125</sup>I粒子条应紧贴于癌栓,尤其值得注意的是粒子条的长度应稍大于恶性梗阻段长度。由于临床实际应用中粒子条末端位于管腔中,软件设计中未就<sup>125</sup>I粒子条端面自吸收的情况做相应修改,在距离轴线 $2\text{ cm}$ 以内计算结果与IP板测量差距较大,这也证实了端面自吸收现象。关于粒子条远端的剂量的软件测量,需要进一步研究。

连续线状排列的<sup>125</sup>I粒子条辐射分布等计量曲线为一柱形体,为其应用于腔内放射治疗提供理论依据。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王忠敏,黄 钢,陈克敏,等.放射性粒子组织间植入治疗技术指南的建议[J].介入放射学杂志,2009,18: 641 - 644.
- [2] Chen Y, Wang XL, Yan ZP, et al. The use of <sup>125</sup>I seed strands for intraluminal brachytherapy of malignant obstructive jaundice [J]. Cancer Biother Radiopharm, 2012, 27: 317 - 323.
- [3] Luo J, Yan Z, Liu Q, et al. Endovascular placement of iodine-125 seed Strand and stent combined with chemoembolization for treatment of hepatocellular carcinoma with tumor thrombus in main portal vein [J]. J Vasc Interv Radiol, 2011, 22: 479 - 489.
- [4] 刘清欣,颜志平,李 说,等.<sup>125</sup>I粒子条联合门静脉支架及化疗栓塞治疗原发性肝癌合并门静脉癌栓 [J].介入放射学杂志,2009,18:593 - 595.
- [5] Chen Y, Stanton RE, Holst RJ, et al. Treatment planning for prostate implant with loose seeds [J]. Med Phys, 1997, 24: 1141 - 1145.
- [6] Kini VR, Edmundson GK, Vicini FA, et al. Use of three-dimensional radiation therapy planning tools and intraoperative ultrasound to evaluate high dose rate prostate brachytherapy implants [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1999, 43: 571 - 578.
- [7] Williamson JF, Coursey BM, DeWerd LA, et al. Guidance to users of Nycomed Amersham and North American Scientific, Inc., I - 125 interstitial sources: dosimetry and calibration changes: recommendations of the American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Ad Hoc Subcommittee on Low-Energy Seed Dosimetry [J]. Med Phys, 1999, 26: 570 - 573.
- [8] Nath R, Anderson LL, Luxton G, et al. Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. American Association of Physicists in Medicine[J]. Med Phys, 1995, 22: 209 - 234.
- [9] Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, et al. Update of AAPM Task Group No.43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations[J]. Med Phys, 2004, 31: 633 - 674.
- [10] Araki F, Ikegami T, Ishidoya T, et al. Measurements of Gamma-Knife helmet output factors using a radiophotoluminescent glass rod dosimeter and a diode detector [J]. Med Phys, 2003, 30: 1976 - 1981.
- [11] 卓维海,刘伟琪,黄 刚,等. GD-300 系列辐射光致发光玻璃剂量计的辐射剂量学特性[J].原子能科学技术,2008,42: 1120 - 1124.
- [12] Zhuo WH, Liu WQ, HUANG Gang, et al. Comparisons of dosimetric properties between GD-300 series of radiophotoluminescent glass detectors and GR-200 series of thermoluminescent detectors [J]. Nuclear Science and Techniques, 2007, 18: 362 - 365.
- [13] Duggan DM. Improved radial dose function estimation using current version MCNP Monte-Carlo simulation: Model 6711 and ISC3500 <sup>125</sup>I brachytherapy sources[J]. Appl Radiat Isot, 2004, 61: 1443 - 1450.
- [14] Rodríguez EA, Alcón EP, Rodríguez ML, et al. Dosimetric parameters estimation using Penelope Monte - Carlo simulation code: Model 6711 a <sup>125</sup>I brachytherapy seed [J]. Appl Radiat Isot, 2005, 63: 41 - 48.
- [15] Whitmore WF, Hilaris B, Grabstald H. Retropubic implantation to Iodine 125 in the treatment of prostatic cancer [J]. J Urol, 1972, 108: 918 - 920.
- [16] Saito S, Nagata H, Kosugi M, et al. Brachytherapy with permanent seed implantation [J]. Int J Clin Oncol, 2007, 12: 395 - 407.
- [17] 赵 晖,韩 悦. CT 引导下<sup>125</sup>I粒子组织间植入治疗恶性肿瘤中的应用和进展[J].医学综述,2006,12: 248 - 250.
- [18] 罗开元.实用组织间植入内放射治疗恶性肿瘤学 [M].北京:人民卫生出版社,2008: 248 - 250.
- [19] 刘荫华,王东民,于世平.放射性粒子组织间插植在消化系统恶性肿瘤治疗中的应用 [J].中华外科杂志,2006,44: 875 - 877.
- [20] 曹秀峰,吕 进.<sup>125</sup>I粒子组织间植入治疗恶性肿瘤的现状和未来[J].中华肿瘤杂志,2012,34: 81 - 83.
- [21] 王俊杰,冉维强,袁惠书,等.放射性<sup>125</sup>I粒子植入治疗头颈



- 部肿瘤[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006, 26: 23 - 26.
- [22] 罗开元, 毛文源, 李 波, 等.  $^{125}\text{I}$  粒子组织间永久植入治疗恶性肿瘤的疗效观察[J]. 中华外科杂志, 2003, 41: 122 - 124.
- [23] 张福君, 吴沛宏, 顾仰葵, 等. CT 导向下  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗肺转移瘤[J]. 中华放射学杂志, 2004, 38: 906 - 909.
- [24] 黄振国, 张雪哲, 王 武, 等. CT 导引下  $^{125}\text{I}$  粒子植入在治疗恶性肿瘤中的应用 [J]. 中华放射学杂志, 2004, 38: 921 - 925.
- [25] Al-Qaisieh B, Smith DW, Brearley E, et al. Comprehensive I-125 multi-seed comparison for prostate brachytherapy: dosimetry and visibility analysis [J]. Radiother Oncol, 2007, 84: 140 - 147.
- [26] Patel RR, Das RK. Image - guided breast brachytherapy: an alternative to whole - breast radiotherapy [J]. Lancet Oncol, 2006, 7: 407 - 415.
- [27] Liu Y, Liu JL, Cai ZZ, et al. A novel approach for treatment of unresectable extrahepatic bile duct carcinoma: design of radioactive stents and an experimental trial in healthy pigs [J]. Gastrointest Endosc, 2009, 69: 517 - 524.
- [28] 常 钢, 游 洋, 孟凡喆, 等. 恶性梗阻性黄疸治疗探讨: 胆道支架置入 + 碘-125 粒子腔内照射联合治疗 [J]. 中国医学影像技术, 2007, 23: 439 - 441.
- [29] 戴真煜, 姚立正, 李文会, 等. 经皮胆道支架联合支架旁  $^{125}\text{I}$  粒子条植入治疗恶性胆道梗阻 [J]. 介入放射学杂志, 2011, 20: 706 - 708.

(收稿日期: 2014-04-08)

(本文编辑: 俞瑞纲)

## 读者·作者·编者

## 《介入放射学杂志》常用缩略语

本刊 2015 年可直接在论文中使用的缩略语如下。

AVM	arteriovenous malformation	动静脉血管畸形
BAI	bronchial arterial infusion	支气管动脉灌注术
BCS	budd-chiari syndrome	布-加综合征
CT	computed tomography	计算机断层成像
CTA	computed tomography angiography	CT 血管成像
DSA	digital subtraction angiography	数字减影血管造影
ECT	emission computed tomography	发射型计算机断层成像
ERCP	endoscopic retrograde cholangiopancreatography	内镜逆行胰胆管造影术
GDC	guglielmi detachable coil	电解脱弹簧圈
HCC	hepatic cell carcinoma	肝细胞癌
MRI	magnetic resonance imaging	磁共振成像
MRA	magnetic resonance angiography	磁共振血管成像
NBCA	N-Butyl-2-Cyanoacrylate	正丁基-2-氰基丙烯酸酯
ONYX	ethelene-vinyl alcohol copolymer	乙烯-乙醇共聚物
PDA	patent ductus arteriosus	动脉导管未闭
PEI	percutaneous ethanol injection	经皮无水乙醇注射
PET	positron emission tomography	正电子发射断层摄影
PKP	percutaneous kyphoplasty	经皮椎体后凸成形术
PLD	percutaneous lumbar discectomy	经皮(穿)腰椎间盘突出术
PTA	percutaneous transluminal angioplasty	经皮腔内血管成形术
PTCA	percutaneous transluminal coronary angioplasty	经皮冠状动脉成形术
PTBD	percutaneous transhepatic biliary drainage	经皮穿肝胆管引流术
PVA	polyvinyl alcohol	聚乙烯醇
PVP	percutaneous vertebroplasty	经皮椎体成形术
TACE	transcatheter arterial chemoembolization	经动脉灌注化疗栓塞术
TAE	transcatheter arterial embolization	经动脉栓塞术
TAI	transcatheter arterial infusion	经动脉灌注术
TIPS	transjugular intrahepatic portosystemic shunt	经颈静脉肝内门体分流术
UAE	uterine arterial embolization	子宫动脉栓塞术
VSD	ventricular septal defect	室间隔缺损