

## $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗的EBT3胶片剂量验证方法

### EBT3 film dose verification method for $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ applicator

Yang Tao, Hu Qiang, Zhou Yunlong, Jin Xiaofeng, Ming Hui, Yu Hui

引用本文:

杨涛, 胡强, 周云泷, 等.  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗的EBT3胶片剂量验证方法[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2021, 45(10): 642-647.

DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105

Yang Tao, Hu Qiang, Zhou Yunlong, et al. EBT3 film dose verification method for  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator[J]. International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2021, 45(10): 642-647. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### $^{90}\text{Sr}$ 敷贴治疗皮脂腺异位症一例

A case of sebaceous dysplasia treated with  $^{90}\text{Sr}$  applicator

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 409-410 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202006024-00055>

#### $^{90}\text{Sr}$ 敷贴和 $\text{CO}_2$ 激光治疗尖锐湿疣临床疗效的Meta分析

Therapeutic efficacy of condyloma acuminata by using  $^{90}\text{Sr}$  applicator and  $\text{CO}_2$  laser: a meta-analysis

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(4): 237-241 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201912026-00028>

#### $^{125}\text{I}$ 标记CD90单克隆抗体靶向结合间充质干细胞的实验研究

Experimental study on  $^{125}\text{I}$  labeled CD90 monoclonal antibody for targetedly binding mesenchymal stem cells

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(2): 88-93 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201909036-00005>

#### $^{131}\text{I}$ 联合 $^{125}\text{I}$ 粒子植入治疗甲状腺髓样癌-乳头状癌骨转移一例及其SPECT/CT剂量学的验证

A case report of  $^{131}\text{I}$  combined with  $^{125}\text{I}$  seed implantation in the treatment of medullary and papillary thyroid cancer bone metastasis and SPECT/CT dosimetry validation

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(7): 470-473 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202007010-00086>

#### 蒙特卡罗模拟方法结合不同体模在剂量估算中的应用

Monte Carlo simulation method combined with different phantoms in dose estimation

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(7): 459-464 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202003014-00055>

#### Radimetrics系统在CT辐射剂量评估上的初步应用

Preliminary application of the Radimetrics system in CT radiation dose evaluation

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(6): 401-406 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.06.005>

## · 基础研究 ·

# $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗的 EBT3 胶片剂量验证方法

杨涛<sup>1</sup> 胡强<sup>1</sup> 周云泷<sup>2</sup> 金晓峰<sup>1</sup> 明慧<sup>3</sup> 余辉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>鄂东医疗集团黄石市中心医院放疗中心, 湖北省黄石市 435000; <sup>2</sup>江油市第二人民医院肿瘤科, 四川省绵阳市 621700; <sup>3</sup>鄂东医疗集团黄石市中心医院核医学科, 湖北省黄石市 435000

通信作者: 余辉, Email: [yuhuiok@126.com](mailto:yuhuiok@126.com)

**【摘要】** 目的 对 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗进行 EBT3 胶片剂量的测量, 为临床应用提供一种快捷的剂量验证方法。方法 选用能量响应较好的辐射直接显影 EBT3 胶片, 并与固体水模进行比较, 通过直线加速器建立 0~500 cGy 的胶片灰度-剂量标准曲线并检测其组织等效性。将 20 片 6 cm×6 cm 的 EBT3 胶片(每张胶片厚 0.28 mm)重叠放置, 将 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器放置在胶片最顶层, 辐照 4 min。通过灰度-剂量标准曲线计算出每张胶片中心轴附近的平均吸收剂量, 根据胶片厚度计算距离敷贴器不同深度处的辐射剂量及等剂量线分布。采用非参数独立样本 *U* 检验比较不同能量的电子线照射前后所测得的吸收剂量的差异。结果 胶片替换等厚度固体水模后测量结果略高于纯固体水模, 但差异无统计学意义( $Z=-0.31$ ,  $P=0.84$ )。不同深度处胶片对应的中心区域随着灰度值的降低吸收剂量迅速下降, 在 0.5 cm 深度处, 剂量仅为 7.0 cGy。4 min 照射后, 距离敷贴器不同深度处的吸收剂量满足拟合曲线  $y=739.07e^{-0.56x}-44.8$ , 等剂量线范围随深度的增加呈先增大后减小。结论 EBT3 胶片验证能够很好地满足 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗的剂量验证, 具有简单、易行、准确的特点, 适合基层医疗机构应用。

**【关键词】** 胶片辐射剂量测定法;  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器; EBT3 胶片; 剂量验证

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105)

## EBT3 film dose verification method for $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ applicator

Yang Tao<sup>1</sup>, Hu Qiang<sup>1</sup>, Zhou Yunlong<sup>2</sup>, Jin Xiaofeng<sup>1</sup>, Ming Hui<sup>3</sup>, Yu Hui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Radiotherapy Center, Huangshi Central Hospital, Edong Healthcare Group, Huangshi 435000, China;

<sup>2</sup>Department of Oncology, the Second People's Hospital of Jiangyou, Mianyang 621700, China;

<sup>3</sup>Department of Nuclear Medicine, Huangshi Central Hospital, Edong Healthcare Group, Huangshi 435000, China

Corresponding author: Yu Hui, Email: [yuhuiok@126.com](mailto:yuhuiok@126.com)

**【Abstract】 Objective** To measure the EBT3 film dose of brachytherapy with  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator to provide a rapid dose verification method for clinical application. **Methods** EBT3 films with good energy response were selected and compared with a solid water phantom. The gray scale dose curve of 0~500 cGy film was established using a linear accelerator, and its tissue equivalence was detected. Twenty 6 cm × 6 cm EBT3 films (0.28 mm thickness) were overlapped, and a  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator was placed on the top and irradiated for 4 min. The absorbed dose near the central axis of each film was calculated using the gray scale dose curve. The radiation dose and isodose distributions at different distances from the applicator were calculated according to film thickness. Non-parametric independent sample *U*-test was used to compare the differences in absorbed doses measured before and after exposure to electron rays with different energies. **Results** The measurement results of film replacement with equal thickness solid water molds were slightly higher than those of pure solid water molds, but the difference was not statistically significant ( $Z=-0.31$ ,  $P=0.84$ ). The absorbed dose in the central region corresponding to different film depths decreased rapidly with decreasing gray values, and the dose at a depth of 0.5 cm was only 7.0 cGy. After irradiation for 4 min, the absorbed dose at

different depths from the applicator met the fitting curve,  $y=739.07e^{-0.56x}-44.8$ , and the range of isodose line initially increased and then decreased with the increasing depth. **Conclusion** EBT3 film verification can well meet the dose verification of  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator, which is simple, easy, and accurate and is suitable of primary medical institutions.

【Key words】 Film dosimetry;  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator; EBT3 film; Dose verification

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009013-00105)

核素敷贴治疗作为核医学的常用治疗手段,对皮肤血管瘤、瘢痕增生、寻常疣等浅表性病变具有治疗彻底、不留印记、方法简单、经济、无痛无痒等特点,因而受到广大患者的欢迎<sup>[1-3]</sup>。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器是目前使用较为广泛的核素治疗源, $^{90}\text{Sr}$ 核素衰变释放出 0.55 MeV 的  $\beta$  粒子后转变为  $^{90}\text{Y}$ , $^{90}\text{Y}$  衰变成  $^{90}\text{Zr}$  时又释放出 2.28 MeV 的  $\beta$  粒子,整个敷贴器平均能量为 0.98 MeV, $\beta$  粒子最大射程 12.90 mm,射线综合作用深度 2~3 mm<sup>[4-6]</sup>。在实际临床治疗中,由于缺乏专业设备及人员,基层医院普遍采用简易公式对  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴治疗的时间进行估算,导致部分患者受照剂量不足或者超量,严重影响了疗效,因而急需一种快捷且方便的剂量验证手段。EBT3 胶片作为全新一代的辐射自显影胶片,具有免冲洗、可裁剪、剂量范围宽和组织等效性好等优点,目前被广泛应用于临床放射治疗剂量的验证<sup>[7]</sup>。后续有研究者发现,EBT3 胶片的光谱响应与兆伏级能量束流的剂量率及性质无相关性<sup>[8-10]</sup>,在射线能量 0.003 MeV 至 18 MeV 范围内,其能量依赖性小于 3%<sup>[11]</sup>,这些特性使得 EBT3 胶片在光子线和电子线混合野的剂量采集中也广泛应用<sup>[12]</sup>。

本研究通过直线加速器产生的光子线对 EBT3 胶片进行标准剂量照射,应用胶片扫描仪对辐照后的胶片进行透射扫描,生成灰度-剂量标准曲线。再使用敷贴器对 EBT3 胶片组进行定时照射,扫描测得灰度值,根据标准曲线转换即可获取实际辐照剂量和空间剂量分布。本研究以期在原始数据缺失和基层专业设备及人员缺乏的情况下直接测量出不同治疗距离的敷贴器照射源对应的剂量大小及等剂量线范围。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料选取

$^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器(北京原子高科股份有限公司,直径 6 mm):标准圆形横截面,治疗面平整光滑,

实测活度  $1.41 \times 10^8$  Bq(3.8 mCi),杂散  $\gamma$ 、X 射线比例  $\ll 1\%$ 。EBT3 胶片(美国 Ashland 公司 Gafchromic EBT3 型):中央层 0.03 mm、两侧 0.125 mm、单片厚度 0.28 mm、能量范围 keV 至 MeV、均匀性  $\leq \pm 3\%$ 、分辨率 0.005 mm,允许剂量范围 1~4000 cGy,按照顺序裁剪成 6 cm×6 cm 的正方形 20 片、10 cm×10 cm 的正方形 18 片并标记。

### 1.2 胶片灰度-剂量标准曲线的绘制及组织等效性的测量

应用直线加速器(美国 Varian 公司 Trilogy 型),选择 6 MV 光子线能量,加速器机架角度  $0^\circ$ 、准直器角度  $0^\circ$ 、辐射光野 5 cm×5 cm,射野平坦度和对称性均  $< 3\%$ 。在等中心(源与测量点垂直距离为 100 cm)条件下对 EBT3 胶片进行曝光处理,每间隔 50~100 MU(Monitor Unit 跳数,在最大剂量点 1 MU=1 cGy)曝光一片。应用德国 IBA 公司 Dose1 型剂量仪进行监测,辐射剂量 0~500 cGy;应用胶片扫描仪(美国 Vidar 公司 DosimetryPro Advantage 型),选用红光通道对每片胶片进行透射扫描;应用仪器自带 Film Analyzer 分析软件绘制辐射剂量和扫描灰度对应的标准曲线。

应用直线加速器按 6、8、10、12、15 MeV 能量分别出束,限光筒和标准挡块选择 6 cm×6 cm,在标准源皮距(照射源与表面垂直距离 100 cm)下使用固体水模(德国 IBA 公司 Solid Phantom SP34 型)分别在标准深度 1.5 cm(6、8 MeV)和 2.0 cm(10、12、15 MeV)处出束 100 MU,应用 Dose1 剂量仪进行测量。将 EBT3 胶片叠加为厚度 0.5 cm 的胶片组(10 cm×10 cm,18 片),分别替换原标准深度 1.5 cm 和 2.0 cm 处固体水模上的 0.5 cm 厚固体水模,在同等情况下,应用直线加速器各出束 100 MU,记录测量数值(图 1)。

### 1.3 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器照射源的空间剂量分布的测量

将 20 片 6 cm×6 cm 的 EBT3 胶片重叠放置,使用游标卡尺测量,总厚度为 5.6 mm,并用塑料

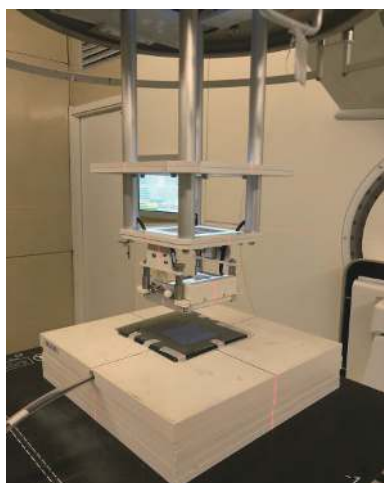


图1 EBT3胶片的组织等效性测量

Figure 1 Measurement of EBT3 film tissue equivalence

夹具将其4个角固定。将 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器放置于胶片组顶层中央,照射4 min。胶片组经扫描后应用仪器自带 Film Analyzer 软件经过灰度-剂量标准曲线换算出每张胶片中心轴附近的平均吸收剂量,根据胶片厚度推算出距离敷贴器照射源不同距离的中心轴辐射剂量,拟合剂量-深度跌落曲线。获取每一片胶片过中心轴所生成的一维剂量线,分别测量出50、100、150、200、250、300 cGy所覆盖区域的直径,应用仪器自带 Matlab 软件画出胶片的二维等剂量线示意图。

#### 1.4 统计学方法

应用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,在方差不齐的情况下,2种模体不同能量的电子线照射前后测得的吸收剂量的比较采用非参数独立样本  $U$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 胶片的组织等效性

加速器出束能量为6 MeV时,纯固体水模测量结果高于换入0.5 cm厚胶片后的测量结果,偏差为-2.17%;出束能量为8、10、12、15 MeV

时,换入胶片后的测量结果均高于固体水模,偏差分别为1.24%、0.50%、0.68%和0.28%(表1)。由于6 MeV射线最大剂量深度为1.3 cm,测量深度为1.5 cm,导致剂量-深度轮廓线(profile)前移,故而实测剂量低于纯固体水模所测得剂量。其余能量实测深度均在最大深度点之前,0.5 cm厚胶片替换等厚度固体水模后测量结果略高于纯固体水模,但差异无统计学意义( $Z = -0.31$ ,  $P = 0.84$ )。因此,利用胶片可以较为有效地模拟人体组织密度。

### 2.2 胶片扫描图

经过 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器照射4 min后的胶片组扫描图见图2,从1号胶片至20号胶片,随着距离的增加,辐射显影灰度随之降低,到20号时几乎与本底一致。

### 2.3 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器中心轴的剂量

由胶片扫描图2可见,胶片灰度在同一层面中心区域较为均匀,通过 Film Analyzer 分析软件进行灰度-剂量转换,测出不同深度处胶片对应的中心区域的平均剂量结果见表2。随着灰度的降低,剂量迅速下降,在0.5 cm深度处,剂量仅为7.0 cGy。

根据表2,拟合函数 $y = 739.07e^{-0.56x} - 44.8$ ,其中 $y$ 表示距离敷贴器某一深度处中心轴的吸收剂量,单位cGy; $x$ 表示胶片距离敷贴器底面的垂直距离,单位mm。由图3可见,随着距离敷贴器深度的增加,辐射剂量呈指数下降的趋势,曲线拟合相关参数 $R^2 = 0.99576$ 。

### 2.4 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器二维平面剂量分布

不同剂量所覆盖胶片区域的直径结果见表3。胶片的二维等剂量线示意图见图4(俯视图)。可以看出1号胶片等剂量线间隔明显,随着等剂量线的降低,相互间的间距逐渐增加,而由过中心轴的等剂量线示意图4(剖面图)可以看出同一剂量所覆盖区域的直径大小随着距离敷贴器深度的增加均呈现先增大后减小的趋势。

表1 不同能量照射后2种模体接受到的剂量比较

Table 1 Comparison of the doses received by the two phantoms irradiated after different energy

模体	6 MeV	8 MeV	10 MeV	12 MeV	15 MeV	$\bar{x} \pm s$	Z值	P值
固体水模(cGy)	95.93	99.42	100.90	103.60	106.80	101.33±4.13	-0.31	0.84
固体水模+EBT3胶片(cGy)	93.85	100.65	101.40	104.30	107.10	101.46±4.96		
偏差(%)	-2.17	1.24	0.50	0.68	0.28	-	-	-

注:EBT3胶片为10 cm×10 cm叠加18片的胶片组,厚度为0.5 cm。-表示无此项数据

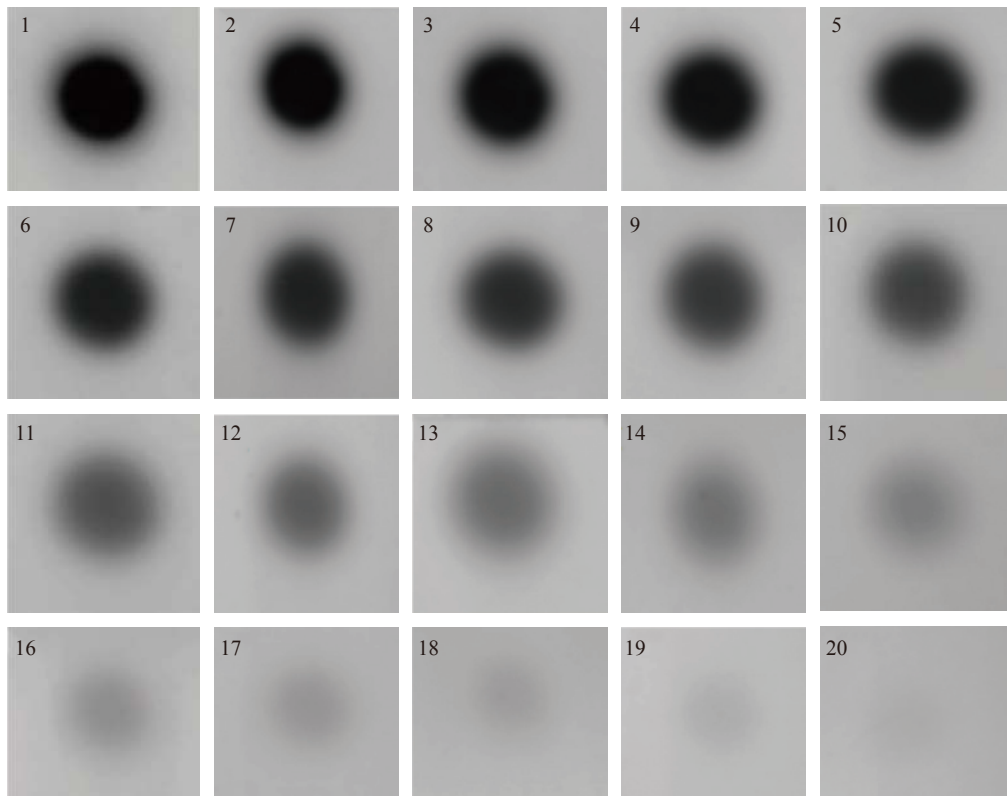


图2 <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器照射4 min后重叠放置的20片EBT3胶片(6 cm×6 cm)每片的扫描图

Figure 2 Scanning images of 20 EBT3 films (6 cm×6 cm) placed overlappingly after <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y applicator irradiated for 4 min

表2 <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器照射后不同距离深度的剂量结果

Table 2 Dose results at different exposure distances after <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y applicator irradiation

深度(mm)	剂量(cGy)	深度(mm)	剂量(cGy)
0	670.0	2.80	94.0
0.28	587.0	3.08	70.0
0.56	524.0	3.36	52.0
0.84	439.0	3.64	45.0
1.12	338.0	3.92	35.0
1.40	291.0	4.20	24.0
1.68	258.0	4.48	20.0
1.96	194.0	4.76	15.0
2.24	155.0	5.04	7.0
2.52	136.0	5.32	6.6

### 3 讨论

<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器作为β射线面源(<sup>90</sup>Y核素退激产生的γ射线、内转换电子及韧致辐射产生的X射线占比<<1%,可以忽略不计<sup>[13]</sup>),平均能量为0.98 MeV,最大能量为2.28 MeV,属于连续能谱,能量分布范围较广,因而在实际临床应用时难

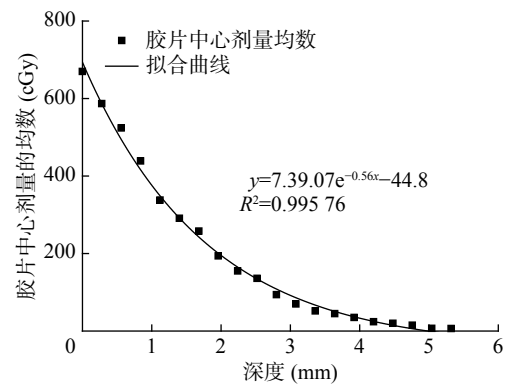


图3 <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器在EBT3胶片组内的照射深度与剂量拟合曲线

Figure 3 Fitting curve of irradiation depth and dose for <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y applicator in the EBT3 film group

以保证治疗剂量的准确性。目前临床普遍采用赵惠扬教授的计算方法( $D_0=0.93 \times 1770 \times A/S$ )进行剂量率估算,取得了很好的临床效果<sup>[14]</sup>,但公式中未完善敷贴器在组织不同深度处的空间等剂量分布。

Massillon-JI等<sup>[15]</sup>采用凝胶剂量测定法测定了<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y粒子点源的三维剂量学特性,但没有测量<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y面源的三维剂量特征。Hansen等<sup>[16]</sup>应用特制的小型外推电离室对眼科用<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴源进行

**表 3**  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器不同剂量不同胶片层数测量的区域直径(mm)

**Table 3** The area diameter measured by the  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  applicator at different doses and different number of film layers (mm)

胶片层数 (深度, mm)	50 cGy	100 cGy	150 cGy	200 cGy	250 cGy	300 cGy
1(0)	10.3	9.2	8.5	8.2	8.0	7.8
2(0.28)	10.4	9.4	8.8	8.3	8.0	7.8
3(0.56)	10.5	9.5	8.9	8.4	8.0	7.6
4(0.84)	10.6	9.5	8.8	8.0	7.5	7.0
5(1.12)	10.6	9.6	8.5	7.8	6.7	6.3
6(1.40)	10.5	9.1	8.0	7.6	5.5	0
7(1.68)	10.5	9.0	7.7	5.7	3.9	0
8(1.96)	10.1	8.3	6.5	1.5	0	0
9(2.24)	9.5	7.2	4.0	0	0	0
10(2.52)	9.3	6.5	0	0	0	0
11(2.80)	7.6	1.2	0	0	0	0
12(3.08)	6.2	0	0	0	0	0
13(3.36)	3.2	0	0	0	0	0
14(3.64)	0	0	0	0	0	0
15(3.92)	0	0	0	0	0	0

了有效的测量,但应用面较为局限,且测量设备需要特制。2009年施常备等<sup>[14]</sup>率先采用早期的辐射直接显色(RC)胶片做了 $^{32}\text{P}$ 面源持续低剂量率辐射敷贴治疗的胶片剂量验证,发现辐射直接显色胶片能够为 $^{32}\text{P}$ 敷贴源的剂量验证提供一定的帮助,但是目前关于 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 源的胶片剂量验证研究较少。

随着技术的进步,辐射直接显色胶片的能量响应、射线性质响应及剂量率响应等都有了极大的提高,因此本研究应用新型的EBT3胶片获取的 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 面源的剂量分布,可为临床实践提供一定的参考。

本研究结果显示,应用EBT3胶片进行叠加剂量验证能够较准确地模拟人体组织。在剂量方面:敷贴器中心轴剂量跌落随距离敷贴器深度满足公式 $y=739.07e^{-0.56x}-44.8$ ,且呈指数衰减趋势,浅表处剂量最高,0.5 cm深度处中心轴剂量仅为表面剂量的1%,剂量曲线整体迅速跌落;敷贴器照射源中心轴剖面等剂量线分布随深度呈现先增大再迅速减小的趋势,常规4 min治疗200 cGy等剂量线所覆盖区域在浅表处为直径8.2 mm的圆面,而在治疗深度为1.96 mm时,其200 cGy等剂量线所覆盖区域直径不到2 mm,有效治疗面积仅为浅表处的1/16,难以覆盖治疗区域,分析原因是在浅表处受到敷贴器侧向散射及剂量建成区的双重影响,等剂量线展宽,而随着深度的增加,电子射程迅速降低,等剂量线随之迅速收窄。敷贴器照射源的这些特性无法通过经验公式得到,只能通过实际测量获取,而 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 照射源,由于25 d就能达到衰变平衡,且整体半衰期为28.6年,1次测量就能够掌握敷贴器照射源较长时间范围内的剂量学特征,可有效地指导临床实践。

综上所述,对于临床应用的 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器,采用多层EBT3胶片测量能够获取其对应的剂量分布参数、拟合剂量-深度跌落曲线,获取对应深度的剂量线范围。根据所需治疗深度和范围,就可以

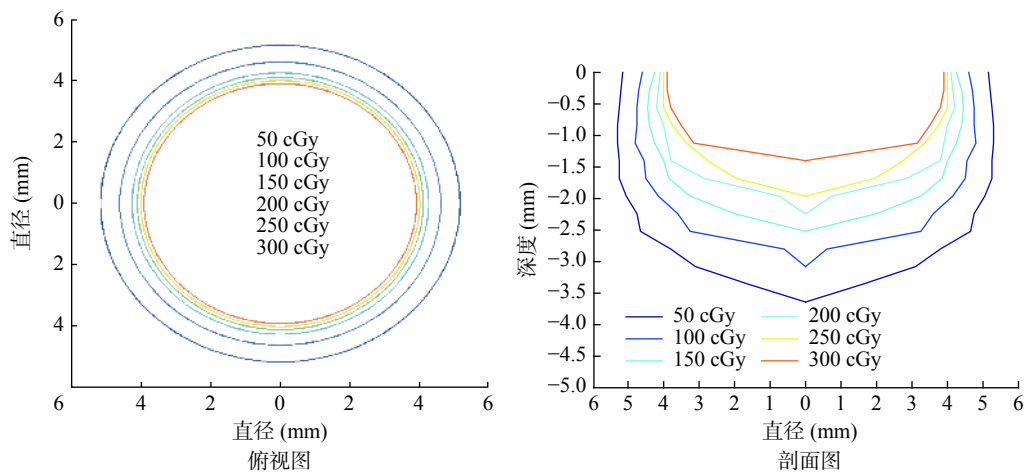


图 4 胶片平面二维等剂量线示意图

Figure 4 Schematic diagram of two-dimensional isodose lines in the film plane

较准确地计算治疗所需时间,这能为广大基层医疗机构核素敷贴剂量验证提供一种简单、快捷、较准确的方法。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 杨涛负责方法的建立、现场的实验、论文的撰写;胡强负责数据的获取与分析;周云浚负责方法的建立、论文的审阅;金晓峰负责现场的实验、数据的获取;明慧负责文献的查阅、论文的审阅;余辉负责命题的提出、论文的审阅。

### 参 考 文 献

- [1] 赵洪伟, 阚侃, 吕茁, 等. 整形外科手术治疗瘢痕疙瘩的临床研究[J]. *中国卫生标准管理*, 2020, 11(11): 43–45. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9316.2020.11.016.
- Zhao HW, Kan K, Lyu Z, et al. Clinical study of plastic surgery treatment of keloid tissue[J]. *China Health Stand Manage*, 2020, 11(11): 43–45. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9316.2020.11.016.
- [2] 杨卷红, 张耀峰, 刘斌, 等. 核素<sup>32</sup>P 简易敷贴治疗婴幼儿体表血管瘤的临床效果[J]. *临床医学研究与实践*, 2020, 5(13): 109–110, 113. DOI: 10.19347/j.cnki.2096-1413.202013041.
- Yang JH, Zhang YF, Liu B, et al. Clinical effect of nuclide <sup>32</sup>P simple application in the treatment of infantile superficial hemangiomas[J]. *Clin Res Pract*, 2020, 5(13): 109–110, 113. DOI: 10.19347/j.cnki.2096-1413.202013041.
- [3] 潘展砚, 刘怡文. <sup>32</sup>P 敷贴治疗乳房外 Paget 病疗效评价[J]. *中国美容医学*, 2017, 26(10): 77–78. DOI: 10.15909/j.cnki.cn61-1347/r.002002.
- Pan ZY, Liu YW. The clinical evaluation of <sup>32</sup>P-dressing radiotherapy in the treatment of extramammary Paget disease [J]. *Chin J Aesthetic Med*, 2017, 26(10): 77–78. DOI: 10.15909/j.cnki.cn61-1347/r.002002.
- [4] 黎凤明, 田晓东, 刘云瑛, 等. 联合整形外科手术及<sup>90</sup>Si-<sup>90</sup>Y 放射性核素敷贴治疗瘢痕疙瘩的临床应用研究[J]. *中国临床医生杂志*, 2016, 44(9): 32–34. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2016.09.012.
- Li FM, Tian XD, Liu YY, et al. A clinical evaluation of plastic surgery combined with <sup>90</sup>Si-<sup>90</sup>Y isotope stickers in the treatment of keloids[J]. *Chin J Clin*, 2016, 44(9): 32–34. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2016.09.012.
- [5] Rogers B, Lawrence J, Chmura J, et al. Dosimetric characterization of a novel <sup>90</sup>Y source for use in the conformal superficial brachytherapy device[J]. *Phys Med*, 2020, 72: 52–59. DOI: 10.1016/j.ejmp.2020.03.002.
- [6] 郭晨雷, 张高龙, 钱建强. 利用磁谱仪测量<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 放射源的β衰变能谱[J]. *物理与工程*, 2011, 21(5): 10–12, 16. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7104.2011.05.004.
- Guo CL, Zhang GL, Qian JQ. Measurement of energy spectra for β decay of <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y by magnetic spectrometer[J]. *Phys Eng*, 2011, 21(5): 10–12, 16. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7104.2011.05.004.
- [7] Hanušová T, Horáková I, Koniarová I. Pseudo-3D IMRT verification with EBT3 radiochromic film[J]. *Radiat Prot Dosimetry*, 2019, 186(2-3): 362–366. DOI: 10.1093/rpd/ncz232.
- [8] Sipilä P, Ojala J, Kaijaluo S, et al. Gafchromic EBT3 film dosimetry in electron beams—energy dependence and improved film read-out[J/OL]. *J Appl Clin Med Phys*, 2016, 17(1): 360–373[2020-09-06]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1120/jacmp.v17i1.5970>. DOI: 10.1120/jacmp.v17i1.5970.
- [9] León-Marroquín EY, Mulrow DJ, Khan R, et al. Spectral analysis of the EBT3 radiochromic films for clinical photon and electron beams[J]. *Med Phys*, 2019, 46(2): 973–982. DOI: 10.1002/mp.13330.
- [10] Reinhardt S, Hillbrand M, Wilkens JJ, et al. Comparison of Gafchromic EBT2 and EBT3 films for clinical photon and proton beams[J]. *Med Phys*, 2012, 39(8): 5257–5262. DOI: 10.1118/1.4737890.
- [11] Hermida-López M, Lüdemann L, Flühs A, et al. Technical note: influence of the phantom material on the absorbed-dose energy dependence of the EBT3 radiochromic film for photons in the energy range 3 keV–18 MeV[J]. *Med Phys*, 2014, 41(11): 112103. DOI: 10.1118/1.4898598.
- [12] Sorriaux J, Kacperek A, Rossomme S, et al. Evaluation of Gafchromic® EBT3 films characteristics in therapy photon, electron and proton beams[J]. *Phys Med*, 2013, 29(6): 599–606. DOI: 10.1016/j.ejmp.2012.10.001.
- [13] 马俊杰, 韩寿岭, 张谦, 等. 镭-90/钇-90 敷贴器γ、X射线的来源及所致医护人员的剂量[J]. *工业卫生与职业病*, 2000, 26(3): 160–161. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7164.2000.03.011.
- Ma JJ, Han SL, Zhang Q, et al. Gamma-ray and X-ray from <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y applicator and its doses on medical staff[J]. *Ind Health Occup*, 2000, 26(3): 160–161. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7164.2000.03.011.
- [14] 施常备, 梁晓燕, 袁彬, 等. <sup>32</sup>P 持续低剂量率辐射敷贴治疗的胶片剂量验证[J]. *现代肿瘤医学*, 2009, 17(9): 1772–1774. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2009.09.061.
- Shi CB, Liang XY, Yuan B, et al. The quantitative radiation dose by RC film for the continued low-dose-rate radiation of <sup>32</sup>P[J]. *J Mod Oncol*, 2009, 17(9): 1772–1774. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2009.09.061.
- [15] Massillon-JL G, Minniti R, Mitch MG, et al. The use of gel dosimetry to measure the 3D dose distribution of a <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y intravascular brachytherapy seed[J]. *Phys Med Biol*, 2009, 54(6): 1661–1672. DOI: 10.1088/0031-9155/54/6/017.
- [16] Hansen JB, Culbertson WS, DeWerd LA. Windowless extrapolation chamber measurement of surface dose rate from a <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y ophthalmic applicator[J]. *Radiat Meas*, 2018, 108: 34–40. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.11.0.