

CNIC-01407
SMC-0155

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

加速器治疗乳腺癌时靶外组织剂量及防护措施的研究

**RESEARCH ON THE DOSE OF THE TISSUES
LOCATED OUTSIDE THE TREATMENT FIELD
WHEN BREAST CANCER WAS IRRADIATED
BY LINEAR ACCELERATOR**

(In Chinese)



**中国核情报中心
原子能出版社**

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



涂 彧：1988年毕业于苏州医学院，1998年获放射医学硕士学位，现在苏州医学院放射医学系工作。

TU Yu: Graduated from Suzhou Medical College in 1988, received Master's degree of radiomedicine in 1998, working at Department of Radiomedicine, Suzhou Medical College.

加速器治疗乳腺癌时靶外组织剂量 及防护措施的研究

涂 彧 周菊英 姜德智 秦颂兵

(苏州医学院, 苏州)

摘 要

研究医用电子直线加速器产生的9 MeV电子束和6 MV-X射线对乳腺癌放射治疗时靶外组织的受照剂量, 探讨减少靶外组织受照剂量的方法, 为临床优化治疗计划提供剂量学依据。借助非均匀组织等效拟人体模型, 模拟乳腺癌放射治疗, 处方剂量是胸壁照射总剂量50 Gy、淋巴引流区域照射总剂量60 Gy, 每次照射2.0 Gy; 采用GR-200A LiF (Mg, Cu, P) TLD, 将TLD预置于照射野外所关心的组织或器官中作间接剂量测量。在胸壁照射区域, 以9 MeV电子束单独照射时, 靶外组织剂量从29.0 cGy到295.5 cGy; 以6 MV-X射线单独照射时, 靶外组织剂量从32.0 cGy到206.7 cGy; 在淋巴引流区域, 6MV-X射线照射时靶外组织剂量从22.5 cGy到1650.9 cGy。阴影屏蔽可使电子束造成的靶外组织剂量下降9.4%~53.6%, 使X射线造成的靶外组织剂量下降19.7%~56.6%; 接触屏蔽可使X射线对靶外组织的剂量贡献下降44.2%~65.6%。胸壁照射采用电子束与X射线的混合比为2:3的照射比单纯用电子束或X射线照射可使靶外高剂量组的组织或器官的受照剂量明显下降。

**Research on the Dose of the Tissues Located
outside the Treatment Field When Breast Cancer
Was Irradiated by Linear Accelerator**
(*In Chinese*)

TU Yu ZHOU Juying JIANG Dezhi QIN Songbing
(Suzhou Medical College, Suzhou)

ABSTRACT

The purpose of study was to determine the dose of the tissues which located outside the treatment field, when breast cancer was irradiated by 9 MeV electron-beam and 6 MV-X ray after operation. A search for decreasing the dose of the tissues outside the treatment field was made. Clinically relevant treatment fields were simulated on a tissue-equivalent material phantom and subsequently irradiated with 9 MeV electron-beam and 6 MV-X ray. TLD were used to measure absorbed doses. The prescribed dose of breast cancer region was 50.0 Gy, region-lymph-nodes were 60.0 Gy, each exposure dose was 2.0 Gy. In breast cancer region, if only with 9 MeV electron-beam, the dose of the tissues located outside the treatment field were from 29.0 cGy to 295.5 cGy, when shielded with Pb lump, the doses of the tissues outside the treatment field may descended 9.4%~53.6%; if only with 6 MV-X ray, the doses of aforementioned tissues were from 32.0 cGy to 206.7 cGy, when shielded with Pb lump, the doses of the tissues outside the treatment field descended 19.7%~56.6%. In region-lymph-nodes, with 6 MV-X ray, the doses of aforementioned tissues were from 22.5 cGy to 1650.9 cGy, when shielded with Pb lump, the doses of the tissues outside the treatment field descended 19.7%~65.6%. If mix-irradiation (9 MeV electron-beam vs. 6 MV-X ray 2:3) was used, the doses outside field would be lower than only used 9 MeV electron-beam or 6 MV-X ray were used.

前 言

乳腺癌是女性常见恶性肿瘤，放射治疗是对乳腺癌进行治疗的有效方法之一。据 UNSCEAR 1993年公布的资料，在 I 类医疗保健水平国家当中，每十万人每年因患乳腺癌而进行远距离放射治疗的达12~16人次，作为 II 类医疗保健水平的我国相应的数字是3.6人次^[1]。50~60 Gy的剂量值是对乳腺癌放射治疗的经典照射剂量^[2]。近年来，随着医用电子直线加速器的广泛应用，越来越多的乳腺癌病人接受了包括放射治疗在内的综合治疗。加速器产生的电子束进入体表后其能量主要损失在身体浅层，它非常适用于杀死位于浅表的肿瘤细胞；加速器产生的高能 X 射线可以有效地穿透到机体深层组织，破坏那里的肿瘤细胞。就乳腺癌而言，使用电子束照射可迅速地杀死肿瘤区域术后残存的肿瘤细胞，而使用高能 X 射线照射则可有效地杀死向机体深层转移的癌细胞。因此，临床上使用电子束与 X 射线的混合照射对乳腺癌进行放射治疗可以提高医疗效果，改善病人的生存质量。但是，电离辐射也可以诱发有害的确定性效应和随机效应^[1,3~6]。电离辐射的这些有害效应的产生是因为在放射治疗的过程中，机体受到超额的电离辐射，其中包括靶外组织的受照。临床上，医务人员注意得更多的是靶区内的照射剂量，对于靶外组织剂量就关注得不够。在辐射防护领域，六、七十年代就有人观察到放射治疗引发超额的靶外组织肿瘤发生率，近年来，靶外组织的受照剂量受到更加普遍的关注^[7~11]。靶外组织的受照剂量被称为次级剂量，次级剂量对肿瘤放疗后的远期效应有很大的影响，随着病人放疗后生存期的延长，远期效应越来越明显，并直接影响患者的生存质量。要对由放射治疗带来的非原发肿瘤组织的超额的肿瘤发生率有所把握，就应当对靶外组织受照剂量作出一个正确的评价，并且采取有效措施把靶区以外组织的受照剂量尽可能地降到最低水平，从而降低远期效应的发生率，提高病人的生存质量。

1 材料与方 法

1.1 非均匀组织等效拟人体模型 (phantom)

由于不可能在真人身上进行体内组织脏器的辐射剂量测量，因此借助于自行研制的 SZMC—IV 型 phantom 模拟病人进行放射治疗，实施间接测量。

1.1.1 Phantom 的组成材料

以 Mix—Dp (主要成分是聚乙烯、石蜡、氧化镁、二氧化钛和松香等) 制作肌肉组织；以 M3 (主要成分是聚乙烯、石蜡和碳酸钙等) 制作肝脏、肾脏组织；以 E 型材料 (主要成分是天然乳胶) 制作肺组织；以真人的尸骨架作体模的骨架。上述材料与人体相应组织的质量密度、电子密度和有效原子序数都十分接近，并且，phantom 的各个组织器官的电子密度也非常接近正常人相应的组织器官的电子密度 (见表1)。

1.1.2 Phantom 的外观特征

身高160.00 cm，体重 50.0 kg，不含四肢，分为头颈、胸腹、腹臀三段，上段截于第四颈椎，中段截于脐下2.0 cm处，内含16个组织脏器，体表和体腔内壁喷涂有聚胺酯清漆保护膜。

表1 人体器官和选用材料的密度、电子含量、有效原子系数比较

器官、组织 或选用材料	密度	电子含量	有效原子系数
	g/cm ³	×10 ²³ 电子数/g	Z
脑组织	1.03	3.42	7.33
肌肉	0.99~1.03	3.36	7.42
肝脏	1.06	3.35	7.19
肾脏	1.05	3.48	7.33
脂肪	0.91	3.48	5.92
肺组织	0.23~0.30	3.27	7.07
水	1.00	3.34	7.42
Mix-Dp	1.02	3.36	7.42
M3	1.05	3.34	7.19

1.1.3 实验过程中以此phantom模拟典型的成年女子左侧乳腺癌术后放疗。

1.2 热释光剂量计(以下简称TLD)及TLD测读仪

1.2.1 TLD

所用TLD系由解放军防化研究院研制的GR—200A LiF (Mg, Cu, P), 直径4.5 mm、厚0.8 mm。使用前经过三次筛选, 取剂量测量读数分散性小于10%的TLD组, 送上海市剂量研究所进行剂量刻度, 刻度剂量为0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 Gy, 刻度标准剂量方程为

$$Y_{\text{读数}} = -2.0953 + 1672.24 X_{\text{剂量}}$$

$$Y_{\text{剂量}} = 0.001253 + 0.000598 X_{\text{读数}}$$

$$r = 0.9953$$

经检验, 方程成立。方程曲线图见图1。

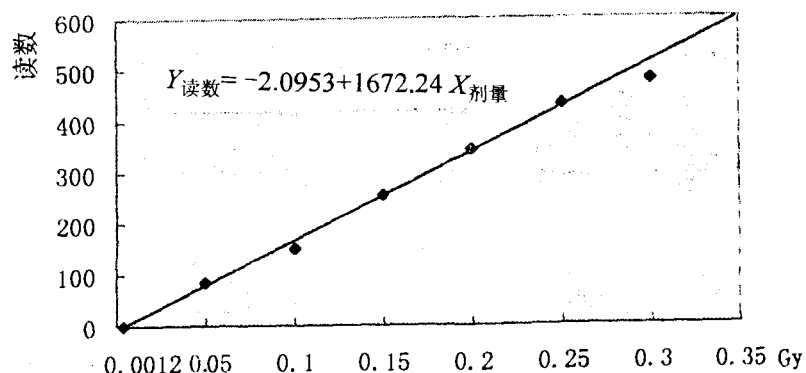


图1 剂量刻度标准方程

1.2.2 TLD测读仪

TLD测读仪为国产FJ—377型, 测读条件: 预热至135.0 °C 15 s, 温度升高到240.0 °C 于20 s 后读数。使用国产FJ—411退火炉集体退火, 退火温度240.0 °C, 退火时间15 min。

测读值均扣除天然本底及机器本底。

1.3 TLD片的装填

在关心的靶外组织脏器，即：眼晶体、甲状腺、心脏、右肺、右后胸壁内侧（以下简称右后壁）、右前胸壁内侧（以下简称右前壁）、右乳腺、纵隔、左肺、左后胸壁内侧（以下简称左后壁）、上腹部、下腹部及骨盆等处布置TLD，每处置3~4片，两两相互垂直。除各胸壁处TLD直接置其表面外，其他部位TLD均置于脏器内，并用组织等效材料填充空隙以消除空腔效应。

1.4 模拟设野及模拟照射

使用西门子KD—2型医用电子直线加速器照射，射线选用9 MeV电子束及6 MV-X射线，照射野选用在肿瘤切除区域的垂直照射野及内、外侧切线野和锁骨上下、乳房内侧淋巴引流区域的锁骨上下野。电子束在肿瘤切除区域采用垂直照射野，照射野面积为15.0 cm×15.0 cm，源皮距（SSD）为100 cm；X射线在肿瘤切除区域采用内、外侧切线野，照射野面积为16.3 cm×6.0 cm，SSD为100.0 cm；X射线在淋巴引流区域采用锁骨上下野（包括乳房内侧淋巴引流区域），照射野面积为25.0 cm×18.0 cm，野内挡铅以保护肱骨头、左肺等重要组织器官，SSD为100.0 cm（见图2）。以厚3.5 cm，长5.0 cm，高7.5 cm的铅块进行屏蔽，对于电子束，铅块置于限光筒下缘的四周，铅块下缘距体表5.0 cm；对于X射线，阴影屏蔽时铅块固定于机头上，铅块下缘距体表43.0 cm，接触屏蔽时铅块则直接置于phantom相应的脏器部位的体表，接触屏蔽脏器主要有眼晶体、甲状腺、心脏、右乳房、纵隔等。单次照射剂量2.0 Gy，肿瘤切除区域治疗计划剂量50 Gy；淋巴引流区域治疗计划剂量60 Gy。以上各野照射在不挡铅、挡铅（含阴影屏蔽、接触屏蔽）的情况下分别进行照射^[2]。

1.5 数据处理

所有数据均输入微机用第五版EPI软件及EXCEL软件进行数据处理。

2 结 果

2.1 乳腺癌术后放疗时靶外组织受照剂量（见表2）

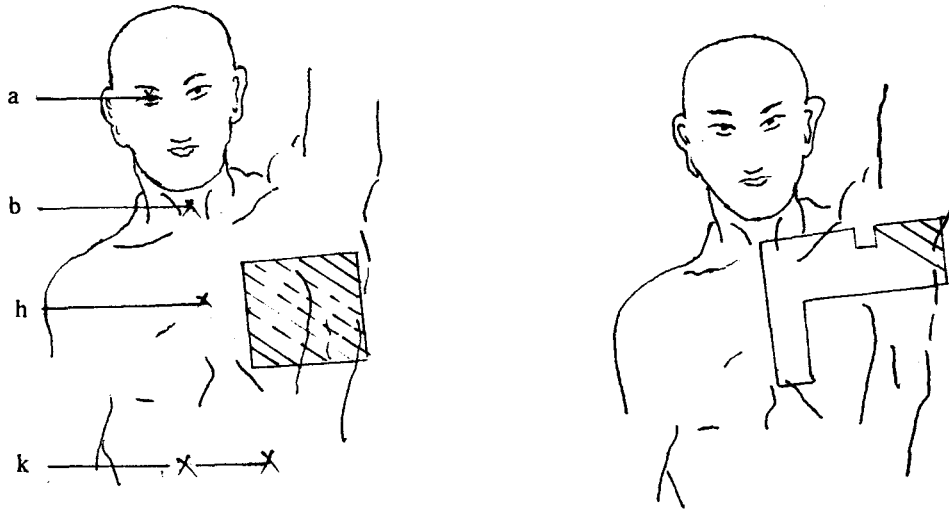
2.1.1 9 MeV电子束垂直野照射

电子束照射的一个明显特征是在同一躯体截面上，体表组织受照的剂量明显地高于深层组织的受照剂量，并且随着深度的加深，剂量迅速衰减，衰减梯度较大。因此，在靶区每次受到2.0 Gy照射后，位于照射野内的左后壁的剂量水平4.01 cGy比位于照射野外的右乳腺的受照剂量水平11.82 cGy低得多，造成照射野外组织受照剂量波动较大，最小剂量的骨盆1.16 cGy与最大剂量的右乳11.82 cGy相差达10.2倍。

2.1.2 6 MV-X射线内外侧切线野照射

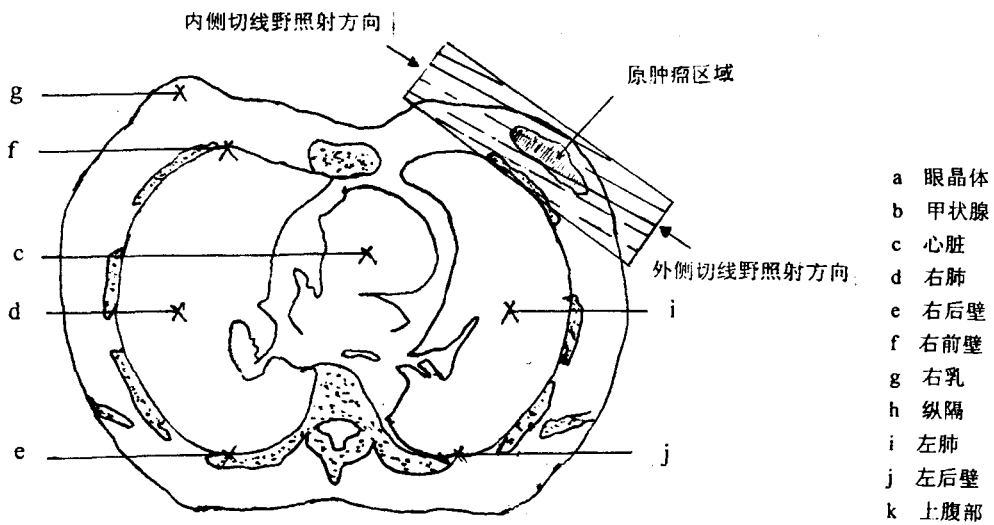
与电子束照射相比，X射线照射野外组织受照剂量的波动较小，在靶区每次受到2.0 Gy照射后，最小剂量的眼晶体1.89 cGy与最大剂量的纵隔8.27 cGy相比相差仅6.5倍，同一躯体截面不同组织如右乳、右前壁、右肺、右后壁的剂量极差6.63 cGy，没有电子束造成的极差10.59 cGy大。靶外受照的最高剂量的组织不是位于体表的右乳腺7.91 cGy，而是具有一定深度的纵隔8.27 cGy。

以上两个照射野的共同目的就是杀死胸部肿瘤手术区域的残存乳腺肿瘤细胞，通称胸壁照射。



A. 电子束垂直照射野

B. X 射线锁骨上下及内乳淋巴引流区照射野



C. X 射线内外侧切线野

- a 眼晶体
- b 甲状腺
- c 心脏
- d 右肺
- e 右后壁
- f 右前壁
- g 右乳
- h 纵隔
- i 左肺
- j 左后壁
- k 上腹部

图2 模拟照射与TLD布点位置

表2 乳腺癌术后放疗有否阴影屏蔽时全身靶外组织受照射剂量

cGy

组织	9 MeV电子束 X±SD				6 MV-X射线 (内外切线野) X±SD				6 MV-X射线 (锁骨上下野) X±SD			
	单次照射剂量		归一化组织剂量		单次照射剂量		归一化组织剂量		单次照射剂量		归一化组织剂量	
	无铅	挡铅	无铅	挡铅	无铅	挡铅	无铅	挡铅	无铅	挡铅	无铅	挡铅
眼晶体	1.23±0.23	0.57±0.09	0.67±0.11	0.29±0.05	1.89±0.49	0.82±0.19	0.95±0.25	0.41±0.10	5.26±0.86	2.76±0.41	2.63±0.43	1.38±0.20
甲状腺	2.27±0.33	1.17±0.17	1.13±0.16	0.58±0.09	5.57±0.68	2.67±0.31	2.89±0.34	1.33±0.16	29.26±3.34	17.61±2.01	14.63±1.67	8.81±1.00
心脏	2.13±0.33	1.93±0.29	1.06±0.17	0.97±0.14	6.29±1.01	4.44±0.71	3.14±0.50	2.22±0.36	03.47±1.86	9.47±1.30	6.73±0.93	4.73±0.65
右肺	1.56±0.51	0.98±0.31	0.78±0.26	0.49±0.16	4.43±0.81	3.35±0.61	2.21±0.40	1.67±0.30	5.70±1.65	4.31±1.24	2.85±0.83	2.16±0.62
右后壁	1.23±0.26	0.67±0.13	0.61±0.13	0.33±0.11	1.28±0.21	1.05±0.15	0.64±0.11	0.50±0.08	4.72±0.58	3.34±0.40	2.86±0.92	1.67±0.20
右前壁	4.61±0.48	3.94±0.41	2.30±0.24	1.97±0.20	6.45±0.73	4.86±0.55	3.22±0.37	2.49±0.27	11.68±3.69	8.79±2.77	5.84±1.84	4.39±1.38
右乳	11.82±2.03	10.66±1.88	5.91±1.01	5.32±0.91	7.91±1.19	5.57±0.84	3.95±0.59	2.76±0.42	13.75±2.18	9.66±1.53	6.87±1.09	4.83±0.76
纵膈	2.36±0.50	2.03±0.42	1.18±0.25	1.01±0.21	8.27±1.45	6.64±1.16	4.13±0.72	3.32±0.58	56.03±27.49	44.06±21.98	27.51±13.7	22.02±10.40
左肺	8.08±1.82	射束内	4.04±0.91	射束内	7.51±1.19	4.55±0.72	3.75±0.59	2.27±0.36	射束内	射束内	射束内	射束内
左后壁	4.01±0.50	射束内	2.00±0.25	射束内	4.29±1.27	3.04±0.88	2.15±0.63	1.52±0.44	部分射束内	部分射束内	部分射束内	部分射束内
上腹部	2.68±0.37	1.42±0.17	1.37±0.19	0.71±0.09	6.19±0.89	3.16±0.45	3.09±0.45	1.58±0.24	3.38±0.57	1.76±0.29	1.69±0.29	0.88±0.14
下腹部	1.69±0.29	0.71±0.11	0.84±0.15	0.36±0.05	3.89±0.55	1.63±0.22	1.94±0.27	0.82±0.11	1.98±0.58	0.86±0.23	0.98±0.29	0.43±0.12
骨盆	1.16±0.25	0.54±0.10	0.58±0.13	0.27±0.05	2.19±0.39	0.95±0.16	1.09±0.20	0.48±0.08	0.75±0.18	0.36±0.07	0.37±0.09	0.19±0.04

2.1.3 6 MV-X射线锁骨上下野照射

设置该野的目的是为了消灭乳房淋巴引流区域可能存在的转移肿瘤细胞，由于是垂直照射，所以左侧胸部，包括左前壁、左肺、左后壁等部分或大部分处于照射野内，此时在靶区每次受到2.0 Gy照射后，邻近靶区的组织器官，如纵隔55.03 cGy、甲状腺29.26 cGy、心脏13.47 cGy、右乳腺13.75 cGy等的受照剂量明显偏高。

2.2 铅屏蔽对组织吸收剂量的影响（见表3）

表3 铅屏蔽对靶外组织吸收剂量的影响

cGy

组织	不挡铅			阴影屏蔽			接触屏蔽	
	电子束野	切线野	锁骨上下野	电子束野	切线野	锁骨上下野	切线野	锁骨上下野
眼晶体	30.75	42.75	157.80	14.25	20.50	82.80	16.75	54.30
甲状腺	56.75	143.75	877.80	29.25	66.75	528.30	52.25	309.60
心脏	53.25	157.25	404.10	48.25	111.00	284.10	72.50	164.10
右乳房	295.50	197.75	412.50	266.25	139.25	289.80	85.00	146.70
纵隔	59.00	206.75	1650.95	50.75	166.00	1321.50	115.25	744.90

2.2.1 阴影屏蔽

与无屏蔽相比，阴影屏蔽能很明显地减少靶外组织受照剂量 ($P<0.01$)，它能使电子束对靶外组织产生的剂量降低 9.4%~53.6%；以X射线进行内外侧切线野和锁骨上下野照射时，阴影屏蔽能使靶外组织剂量分别降低19.7%~56.6%及19.9%~47.5%，靶外组织距离靶区越远，屏蔽效果越好。

2.2.2 接触屏蔽

眼晶体、甲状腺、心脏、右乳腺、纵隔等靶外器官或是由于剂量水平相对较高，或是因为接触屏蔽操作较易，故而选此五个组织作为被屏蔽器官进行无屏蔽与阴影屏蔽和接触屏蔽效果的比较。接触屏蔽的屏蔽效果明显比阴影屏蔽效果好 ($P<0.05$)，与无挡铅情况相比，它可以使X射线对靶外组织的剂量贡献下降44.2%~64.5%（内外切线野）及54.9%~65.6%（锁骨上下野），同样，靶外组织如果距离靶区越远，屏蔽效果也就越好。

2.3 电子束与X射线以不同的混合比例以及是否挡铅进行胸壁照射时靶外组织剂量的变化情况（见表4）

2.3.1 不同的混合比例

单纯电子束2.0 Gy照射时，靶外受照剂量最高的器官是位于体表的右乳腺，为11.82 cGy；单纯X射线2.0 Gy照射时，靶外受照剂量最高的器官是位于体内的纵隔8.27 cGy。除右乳腺外，单纯X射线照射产生的靶外组织剂量均高于单纯电子束照射产生的靶外组织剂量。并且存在一种在总照射剂量不变的情况下，随着电子束混合比例下降，X射线混合比例上升，右乳腺、左肺剂量随之下降，其它组织剂量随之上升的趋势，反之亦然。

2.3.2 阴影屏蔽

当电子束、X射线均阴影屏蔽时，各种不同混合比例的照射对靶外组织剂量的影响均有不同程度的减少。除右乳腺、左肺、左后壁组织外，其它组织剂量随着电子束比例的

表4 胸壁照射：电子束与X射线不同混合比例及是否屏蔽时靶外组织受照剂量

cGy

组织	电子束：X射线 ¹⁾						电子束：X射线 ²⁾												
	2:1	3:2	1:1	2:3	1:2	X射线	2:1	3:2	1:1	2:3	1:2	X射线							
眼晶体	30.75	36.25	37.35	39.00	40.65	41.75	47.25	14.25	16.33	16.75	17.38	18.00	18.42	20.50	27.93	26.75	25.63	24.60	23.92
甲状腺	56.75	85.75	91.55	100.25	108.95	114.75	143.75	29.25	41.75	44.25	48.00	51.75	54.25	66.75	60.08	60.75	61.75	62.75	63.42
心脏	53.25	87.92	94.85	105.25	115.65	122.58	157.25	48.25	69.17	73.35	79.63	85.90	90.08	111.00	72.50	76.35	82.13	87.90	91.75
右肺	39.00	62.72	67.70	74.88	82.05	86.83	110.75	24.50	44.25	48.20	54.13	60.05	64.00	83.75	53.92	56.90	61.38	65.85	68.83
右后壁	30.75	31.17	31.25	31.38	31.50	31.58	32.00	16.75	19.92	20.55	21.50	22.45	23.08	26.25	29.25	28.95	28.50	28.05	27.75
右前壁	115.25	130.58	133.65	138.25	142.85	145.92	161.25	98.50	106.17	107.20	110.00	112.30	113.83	121.50	117.33	117.75	118.38	119.00	119.42
右乳	295.50	262.92	256.40	246.63	236.85	230.33	197.75	266.25	223.92	215.45	202.75	190.05	181.58	139.25	243.42	233.00	217.38	201.75	191.33
纵膈	59.00	108.25	118.10	132.88	147.65	157.50	206.75	50.75	89.17	96.85	108.38	119.90	127.58	166.00	94.67	101.80	112.50	123.20	130.33
左肺	202.00	197.25	196.30	194.88	193.45	192.50	187.75	射束内	172.58	166.70	157.88	149.05	143.17	113.75	172.58	166.70	157.88	149.05	143.17
左后壁	100.25	102.58	103.05	103.75	104.45	104.92	107.25	射束内	92.17	90.55	88.13	85.70	84.08	76.00	92.17	90.55	88.13	85.70	84.08
上腹部	67.00	96.25	102.10	110.88	119.65	125.50	154.75	34.25	49.17	52.90	56.63	61.60	64.08	79.00	71.00	71.80	73.00	85.70	75.00
下腹部	42.25	60.25	64.58	69.75	75.25	78.92	97.25	17.75	26.42	26.95	29.25	31.55	33.08	40.75	41.75	41.65	41.50	41.35	41.25
骨盆	29.00	37.58	39.30	41.88	44.45	46.17	54.75	13.50	18.63	17.60	18.63	19.65	20.33	23.75	27.25	26.90	26.38	25.85	25.50

¹⁾ 电子束与X射线均挡铅；

²⁾ 仅X射线挡铅。

下降X射线比例的上升而上升,反之亦然。只对X射线挡铅照射时,靶外组织的受照剂量随电子束与X射线的比例的不同而变化较大。

3 讨论

3.1 靶外组织受照剂量与潜在危险

目前,临床医生关心的主要是治疗区域的组织吸收剂量,即如何选择有效剂量杀死癌细胞,而对靶外组织的受照剂量情况关心不够,对电离辐射可能诱发的随机性效应了解得也不够充分。UNSCEAR在1993年的报告中指出,有10%的放疗病人在晚期会出现随机性效应,即出现第二原发癌,即使一次放射诊断的照射剂量,诱发的随机性效应的概率也有0.01%^[1]; Reimer等人曾于1978年发现,在卵巢癌放射治疗的患者中出现超额的子宫癌、结肠癌和膀胱癌患者;1985年,Boice等人也在子宫颈癌的放射治疗人群中观察到超额白血病、膀胱癌、乳腺癌、肾癌、胃癌及直肠癌的出现;还有人观察到乳腺癌放射治疗后,在照射野内外都可诱发超额的癌症发生,如子宫癌,肺癌,白血病,二次乳腺癌等;Curtis等人发现对38例乳腺癌患者给予平均有效剂量7.5 Sv治疗后,其白血病的发生率比正常人高出0.19倍^[8, 10, 12, 13];第二原发癌的病例在我国也有文献报道,由此不难看出靶外组织受到辐射照射后的潜在危险,这应当引起人们的高度重视。靶外组织受照剂量在国外早已受到从事辐射防护工作者的重视。1982年,Kraner等人报道了不同部位的照射野经不同的能量与类型的射线照射后靶外组织的受照剂量,其中支气管靶区经8 MV-X射线照射时位于靶外的眼晶体、甲状腺、乳腺、肺等组织的归一化剂量分别为2.8, 76.2, 15.1, 121.0 mGy,本实验结果相应部位的剂量值是9.5, 28.9, 39.5, 37.1 mGy,两组数值比较接近。Beentjes等人于1987年描述了⁶⁰Co治疗时的散射辐射对靶外组织产生的剂量贡献,10年后,Bieri等人则利用phantom通过⁶⁰Co, 6 MV-X射线和¹⁹²Ir等不同的辐射源进行照射,试图找出减少乳腺癌放疗时靶外组织器官受照剂量的方法,他们发现仅仅通过照射体位的改变就可以使靶外的组织受照剂量降低40%~75%,50.0 Gy的处方剂量最终使得上腹部受照0.50 Gy、骨盆部受照0.05 Gy^[11, 14],本实验阴影屏蔽相应结果是上腹部0.79 Gy、骨盆0.23 Gy,与他们测得的剂量也比较接近。目前,我国也有人在关心从事靶外组织受照剂量的研究,我们也可以陆续看到有关的文献报道,但借助phantom的研究工作极少。实际上,在保证治疗区域达到50 Gy的处方剂量的情况下,不同的放疗操作对靶外组织的受照剂量影响很大。

3.2 电子束照射对靶外组织的剂量贡献

3.2.1 常规照射

电子束能量在人体内的衰减有一个区别于 γ , X射线的特征,即其能量的绝大部分损耗在躯体的浅层。9 MeV的电子束,其100%深度剂量在体表下1.5~2.0 cm处,达到3.0~3.5 cm的深度后,剂量迅速下降^[15]。9 MeV电子束可以有效地杀死照射野内体表浅层的肿瘤细胞,而对照射野内深层的正常组织造成的危害较小。本实验结果也证实了这一点,位于照射野内的左后壁受照剂量明显地低于位于照射野外的右侧乳腺剂量。因为电子束有这一特性,它便成为乳腺癌术后放疗的首选射线之一。加速器产生的电子束直径只有3 mm左右,所以必须经过以铜或铅做成的散射片将其扩散到满足一定均匀性的治疗野范围内才有临床价值,因而在临床应用时,为了使扩散的电子束更好地集中在照射野内,在机头部

位另外加设了专门的限光筒。但是，靶外的组织依然受到不可忽视的次级剂量。电子束照射所生成的次级剂量主要来源于以下几个部分：一是原始电子束经散射片扩散时产生的少量的次级X射线；二是从机头或限光筒处逸出的极少部分电子束；三是由这部分电子束与机头及附设结构碰撞而产生的次级X射线；四是机器周围的散射线；另外还有一点不可忽视，对于大于8 MeV的电子束来说很容易在机头的射束阻止器、准直器、过滤器、限光筒、靶及周围设备等处产生感生放射性核素，并且随着加速器运行时间的延长而有所积累，这种感生放射性核素在其有限的寿命内也会对靶外组织器官贡献一定的剂量^[2, 15]。这就很容易解释本实验中电子束对右乳腺的剂量贡献高于其他组织的原因。

由电子束的衰减理论得知，9 MeV电子束在进入人体内4.0~4.5 cm后，剂量即为零。因此，位于更深层次的组织不可能直接从入射电子束中获得剂量。但当电子束遇到阻滞后，速度和方向发生改变时便会产生韧致辐射。韧致辐射产生的份额与入射电子的能量，阻滞物质的原子序数大小有关。通常韧致辐射的平均能量是原电子束能量的三分之一。对于9 MeV电子束来说，次级X射线的平均能量为3 MV。韧致辐射的产额可由公式 $F \approx b \cdot Z \cdot E$ 计算出，式中 b 是常数、 Z 是阻止物质的有效原子序数、 E 是入射电子束的能量，经计算9 MeV的入射电子束约有4%~5%的能量在进入机体后转化为韧致辐射。本实验的结果（见表2）中，一次2.0 Gy的电子束照射给左肺的剂量贡献是8.08 cGy，占入射电子束能量的4.04%，由于左肺绝大部分位于电子束射程之外，因而可以认为左肺的剂量来源于韧致辐射，这与由公式推算出的结果相吻合。3 MV的次级X射线在左胸壁生成后足以达到胸部的各个脏器^[16]，这就是躯体断面最下层的右后壁、左后壁处仍存在靶外剂量的原因。另外，电子束在机体内的散射也可以对靶周围的组织产生一定的剂量，离靶区越近的组织受到的体内散射线照射的剂量就越高，反之亦然，因此位于胸部的组织或器官如右乳腺、心脏、纵隔等的受照剂量明显高于距离照射野较远组织的受照剂量，对邻近照射野的组织屏蔽效果不理想的原因就在于无法进行体内散射线的挡铅屏蔽。从表1 可看出本实验的结果是遵从上述原理的，并且不同组织的受照剂量存在着非常显著的差异（ $P < 0.01$ ）。

3.2.2 阴影屏蔽

挡铅屏蔽之后，电子束对所有的靶外组织脏器的剂量贡献均有较大幅度的下降（ $P < 0.05$ ）。距离照射野越远、断面位置越深屏蔽效果越好，因为挡铅可以有效的屏蔽掉上述次级剂量的大部分，挡铅后靶外组织的受照剂量主要来自体内散射。

3.3 X射线对靶外组织的剂量贡献

3.3.1 常规照射

加速器产生的高速电子束撞击钨靶后能生成的高能X射线经过一级准直器、均整器、电离室和二级准直器射出机头。X射线对靶外组织的剂量贡献主要来自以下几个方面：一是机头漏射线；二是散射线，目前还不能完全清除漏射线和散射线，只能尽可能降低它们对机体的危害；三是体内散射线，体内散射线主要对照射野的邻近组织产生影响；另外，还可能存在感生放射性核素的辐射剂量贡献。6 MV-X射线在体表、距体表5.0 cm深度以及距体表10.0 cm深度的百分深度剂量的量分别是20%、85%、66%^[15]。本实验中，X射线所致的胸部组织归一化组织剂量平均值是3.0 cGy，标准差是1.2，相应的电子束所致的胸部组织归一化组织剂量值2.4 cGy，标准差是1.9，由此可见X射线造成的靶外组织剂量相对集中。当电子束和X射线的剂量相当时，X射线对胸部组织的剂量贡献大，两者差异

非常显著($P<0.01$)。

3.3.2 屏蔽

对靶外组织造成剂量贡献的三个来源中, 体内散射尚无有效的使其消失或降低的方法, 这部分散射线主要对靶区周围组织产生剂量, 离靶越远, 作用越弱, 因此, 对X射线加铅屏蔽的主要目的就是降低散射线及漏射线对靶外组织的剂量贡献。用阴影屏蔽时, 铅块阻挡的主要是漏射线及部分散射线, 而用接触屏蔽时, 不仅可阻挡漏射线, 还可以屏蔽掉大部分体外散射线, 因此, 接触屏蔽的效果比阴影屏蔽的效果好, 远离照射野组织的屏蔽效果比邻近照射野组织的屏蔽效果好。

3.4 胸壁的混合照射

临床上在治疗乳腺癌之类的浅层肿瘤时, 可以采用电子束与X射线的混合照射, 这样既能避免因单纯使用电子束照射带来的皮肤灼伤、又能够降低因单纯使用X射线照射而导致的深层组织及靶外组织的较高剂量^[2, 15]。本实验的目的就是设法有效地减少乳腺癌照射过程中靶外组织的受照剂量, 同时又不影响放射治疗效果。从表4可以看出, 两种射线的不同的混合比例以及是否挡铅对靶外组织脏器的剂量影响的差异非常显著($P<0.01$)。若采用电子束与X射线为2:3的混合比例即20.0 Gy的电子束照射剂量、30.0 Gy的X射线照射剂量(其中内侧切线野、外侧切线野各为15.0 Gy)进行照射就可以将单纯使用电子束照射时靶外受照剂量较高的右乳腺、左肺的剂量分别降低19.8%与4.2%; 使单纯用X射线照射时靶外受照剂量较高的纵隔、心脏、甲状腺、右前壁的剂量分别降低28.9%、26.4%、24.2%、11.4%。如果在两种射线照射时均使用阴影屏蔽, 右乳腺的剂量比单独使用电子束照射时的降低了35.5%(左肺大部分位于射束内, 无法阴影屏蔽); 纵隔、心脏、甲状腺、右前壁的剂量比单独使用X射线时的分别降低42.0%、45.4%、64.0%、30.4%。如果仅对X射线使用阴影屏蔽, 则上述结果的数值分别是31.7%、26.2%; 40.4%、44.1%、56.3%、26.2%。由此可以得出这样的结论: 在对乳腺癌进行胸壁照射时, 电子束与X射线合理的混合照射可以有效地降低单纯使用其中任何一种射线时对靶外组织造成的高剂量; 当电子束与X射线混合比为2:3时, 对X射线进行阴影屏蔽的效果远远高出对电子束的屏蔽效果。

参 考 文 献

- 1 中国核工业总公司安环环保卫生局. 中国辐射防护学会译. 电离辐射源与效应——UNSCEAR 1993年向联合国大会提交的报告和科学附件. 北京: 原子能出版社, 1995
- 2 谷铎之, 殷蔚伯, 刘泰福等主编. 肿瘤放射治疗学. 北京: 北京医科大学, 中国协和医科大学联合出版社, 1993: 32~39, 125~126, 132~139
- 3 Furst C, Lundell M, Ahlback S O, et al. Breast hypoplasia following irradiation of the female breast in infancy and early childhood. Acta Oncol, 1989, 28: 519~523
- 4 ICRP. Non-stochastic effects of ionizing radiation. ICRP Publication 41. Annals of the ICRP 14 (3). Oxford: Pergamon Press, 1984
- 5 Miller A B, Howe G R, Sherman G J, et al. Mortality from breast cancer after irradiation during fluoroscopic examinations in

- patients being treated for tuberculosis. *N. Engl. J. Med.*, 1989, 321: 1285~1289
- 6 Boice J D Jr, Preston D L, Davis F G, et al. Frequent chest X-ray fluoroscopy and breast cancer incidence among tuberculosis patients in Massachusetts. *Radiat. Res.*, 1990, 125: 214~222
 - 7 任灿军, 周白鸣译. 电离辐射源与效应——UNSCERA 1977年向联合国大会提交的报告和科学附件. 北京: 原子能出版社, 1986: 402~404
 - 8 孙世荃编著. 人类辐射危害评价. 北京: 原子能出版社, 1996: 227~229
 - 9 Shore R E. Overview of radiation-induced skin cancer in humans. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1990 57: 809~827
 - 10 Curtis R E, Boice J D, Stovall M, et al. Risk of Leukemia after chemotherapy and radiation treatment for breast cancer. *N. Engl. J. Med.*, 1992, 326: 1745~1751
 - 11 ICRP. Protection of the patient in radiation therapy. ICRP publication 44. *Annals of the ICRP* 15(2). Oxford: Pergamon Press, 1985
 - 12 Reimer R R, Hoover R, Fraumeni J F, et al. Second primary neoplasms following Ovarian cancer. *J. Natl. Cancer Inst.*, 1978, 61: 1195~1197
 - 13 Boice J D, Blettner M, Kleinerman A, et al. Radiation dose and leukemia risk in patients treated for cancer of the cervix. *J. Natl. Cancer Inst.*, 1987, 79: 1295~1311
 - 14 Bieri S, Russo M, Kurtz J M. Influence of modifications in breast irradiation technique on dose outside the treatment volume. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1997, 38 (1): 117~125
 - 15 徐海超, 杨天恩主编. 实用放射肿瘤剂量学. 北京: 原子能出版社, 1988. 95~98
 - 16 章仲侯主编. 放射卫生学. 北京: 原子能出版社, 1985. 188~191

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01407, SMC-0155: 加速器治疗
乳腺癌时靶外组织剂量及防护措施的研究/涂彧等著. —
北京: 原子能出版社, 1999. 10

ISBN 7-5022-2069-0

I. 中... II. 涂... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第47076号

©原子能出版社, 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 郭向阳

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 mm 1/16 印张1 字数 18 千字

1999 年10月北京第一版 1999 年10月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2069-0



9 787502 220693 >