

热释光剂量片测量肺部肿瘤放疗剂量的方法

江芬芬¹, 王培², 康盛伟², 曾四元¹, 胡本辉¹, 肖瑶¹

1. 江西省妇幼保健院肿瘤放疗室, 江西 南昌 330006; 2. 四川省肿瘤医院放疗中心, 四川 成都 610041

【摘要】目的:研究LiF(Mg、Cu、P)热释光剂量片(TLD)在临床肿瘤放疗测量要求的筛选方法。**方法:**应用⁶⁰Co γ射线和6 MV X射线,开展TLD分散性、重复性和剂量响应实验,筛选出符合临床肿瘤放疗要求的TLD。根据临床放疗需要,将筛选出符合临床要求的TLD分别用称量纸封装并依次编号粘贴在仿真模体处,将粘贴有TLD模体置于6 MV X射线加速器照射,验证仿真模体肺部靶区外的剂量。**结果:**LiF(Mg、Cu、P)TLD重复性和分散性误差控制在±3%以内;用6 MV X射线照射粘贴有TLD的模体,测量的TLD剂量值和治疗计划系统值的偏差与TLD所处位置剂量大小有关,当剂量大于62 mGy时,两者符合较好,其差别小于5%;当剂量远小于62 mGy时,其差别明显偏大。**结论:**在合适剂量范围内用TLD验证肺部肿瘤放疗剂量的方法准确可靠、经济适用,得到国际原子能机构的认可,可广泛应用于肿瘤放疗的剂量测量。

【关键词】肺部肿瘤;热释光剂量片;治疗计划系统;相对偏差

【中图分类号】R73-33

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)06-0564-05

Thermo luminescent dosimeter method for measuring radiotherapy dosimetry of lung tumor

JIANG Fen-fen¹, WANG Pei², KANG Sheng-wei², ZENG Si-yuan¹, HU Ben-hui¹, XIAO Yao¹

1. Department of Radiation Oncology, Jiangxi Maternal and Child Health Hospital, Nanchang 330006, China; 2. Center of Radiation Oncology, Sichuan Tumor Hospital, Chengdu 610041, China

Abstract: Objective To explore the screening method of LiF (Mg, Cu, P) thermo luminescent dosimeter (TLD) for achieving the measurement standard of tumor radiotherapy. **Methods** The experiments on the dispersion, repeatability and dose response of TLD were carried out by using ⁶⁰Co γ ray and 6 MV X-ray beams to screen out the TLD which met the requirements of clinical tumor radiotherapy. According to clinical radiotherapy needs, the chosen TLD was packed by weighing paper, numbered consecutively and pasted onto the different positions of anthropomorphic phantom in sequence. The phantoms pasted with TLD were radiated by 6 MV X-ray accelerator to verify the dose accuracy outside the target volume of phantom. **Results** The errors of the repeatability and dispersion of TLD were within ±3%. When the phantoms pasted with TLD were radiated by 6 MV X-ray beams, the relative deviation between the TLD absorption dose value and treatment plan system theoretical value depended on the dose value of TLD position. When the dose value was larger than 62 mGy, the relative deviation between the two methods was less than 5%. When the dose was less than 62 mGy, the discrepancy was significantly larger. **Conclusion** Within the scope of the appropriate dose, the TLD method is reliable, facile and economical for measuring and verifying the dose of lung tumor. And the TLD method can be widely applied to determine the dose of tumor radiotherapy for the TLD method has been recognized by the international atomic energy agency.

Key words: lung tumor; thermo luminescent dosimeter; treatment plan system; relative deviation

前言

【收稿日期】2016-01-15

【基金项目】四川省科技支撑计划项目(2014SZ0148)

【作者简介】江芬芬(1989-),硕士研究生,物理师,研究方向:肿瘤放射物理学,E-mail: cxt890430@163.com

【通信作者】康盛伟(1980-),硕士,助理研究员,研究方向:肿瘤放射物理学,Tel:02885420751,E-mail: cn-ksw@qq.com

在临床上肺癌是人类癌症死亡率最高的一种疾病,全球每年死亡约140万例。在过去30年,尽管放疗技术得到显著提高,但是肺癌的治愈率并没有明显上升。Horeweg等^[1]报道肺癌导致死亡的主要原因有肿瘤位置诊断不明确、靶区剂量计算不准确和摆位偏差。Ottosson等^[2]使用不均匀模体验证肺癌剂量分布,结果发现肺部肿瘤测得的实际剂量与放射

治疗计划系统(TPS)理论计算的剂量偏差大于5%。通常商业化TPS对密度梯度大区域的剂量计算是不精确的。由于肺是人体组织密度最不均匀的组织,因而在放射治疗过程中容易导致靶区漏射或正常组织过量照射的情况^[3]。此外,TPS对靶区外剂量计算误差较大,因此如何避免靶区漏射或靶区外的正常组织过量照射是肺部放射治疗的关键。热释光探测技术被广泛应用于医学领域,主要应用于早期放射诊断的辐射防护剂量测量以及当前常用的肿瘤放射治疗的剂量测量^[4-7]。热释光剂量片(TLD)由于体积小、灵敏度高、稳定性好、能量响应好、方便放置于患者体表和体内进行测量等优点,被广泛应用于肿瘤放射治疗过程的剂量测量。但是商业化的TLD普遍存在均匀性不够好、信号衰退以及依赖于读出器的精度等缺点,且高精度TLD制备和选取时间长、操作复杂,这些缺点降低了TLD在临床放疗计划剂量的准确性^[8-10]。因此,筛选出符合放疗要求的高精度、高稳定性TLD并应用这些TLD验证肺部肿瘤剂量的准确性是非常有必要的。

本文主要研究人体肺部肿瘤放射治疗剂量测量的特点和TPS计算肺部靶区外剂量误差较大的问题,重点研究TLD重复性、分散性、剂量线性响应等与精确放疗测量相关的特性,并给出校正因子计算方法,使其满足精确放疗剂量测量要求。同时用筛选出的TLD剂量片测量仿真模体肺部肿瘤靶区外的剂量以验证TPS剂量的准确性范围,以期今后成功应用于临床患者的剂量测量提供可供参考的实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料

TLD(LiF:Mg、Cu、P,方片,3.2 mm×3.2 mm×0.8 mm,北京光润意通辐射监测设备有限公司),热释光剂量读出系统(美国Thermo Harshaw TLD 5500),钴-60治疗机(GWGP80),PTW型电离室剂量仪(30010型0.6 cc),温度计,气压计,CARBOLITE型箱式退火炉,真空吸笔,水等效材料,6 MV X射线(Elekta),99.999%高纯氮气。

TLD质量:将精度为0.000 1 g电子天平分别称量订制的100片TLD(精度±0.010 0 g)质量,然后通过取平均值得到这批TLD平均质量为(22.90±0.20) mg。

1.2 方法

1.2.1 读出器参数设置 利用PTW型(0.6 cc)电离室对⁶⁰Co加速器进行剂量校准。测量LiF(Mg、Cu、P)发光曲线,设置TLD读出器程序(WinREMS)。根据厂家建议采取预热温度50℃,升温速率25℃/s,最大读取温度300℃,最大温度的恒温时间13.3 s,退火温

度300℃,退火时间0 s(由于一般都采用专门的退火炉退火,所以退火时间设置为0 s)。

1.2.2 分散性实验 临床用TLD测量放疗吸收剂量需保证测量结果的准确性,减小分散性。TLD经240℃高温加热30 min后再室温冷却20 min,置于一个浅塑料盘,塑料盘上方覆盖5 mm水等效材料(建成厚度5 mm)。用⁶⁰Co γ射线、源皮距80 cm、照射野12 cm×12 cm、等中心处的吸收剂量为100 cGy的均匀辐射场照射,由热释光读出器读出照射后的吸收剂量,筛选出分散性控制在±3%以内的剂量片。

1.2.3 重复性实验 临床测量放疗要求的TLD重复性控制在±3%以内。退火后的TLD在⁶⁰Co γ射线、照射野12 cm×12 cm、源皮距80 cm、等中心处吸收剂量为100 cGy的均匀辐射场照射,然后用热释光读出器读出照射后的吸收剂量。重复5次实验,选取出重复性在±3%以内的剂量片。辐射场的均匀性测量,用指型电离室在空气中进行,中心轴测量值与X轴或Y轴测量值相比较,相对偏差应小于±1%。

1.2.4 能量响应实验 ⁶⁰Co γ的能量响应视为1,因此本文需要对6 MV X射线能量响应进行校正。选择分散性小、重复性高的剂量片,比较TLD在等中心处吸收剂量为100 cGy的⁶⁰Co γ射线和6 MV X射线的均匀辐射场照射,用热释光读出器读出不同能量照射后TLD的吸收剂量值,两者最大相对偏差为±1.74%。

1.3 能量响应校正实验

实验采用⁶⁰Co γ射线照射热释光读出器和剂量片,因此需要对6 MV X射线能量响应进行校正。选取10片分散性和重复性在3%以内的剂量片,直接用⁶⁰Co γ射线、源皮距80 cm、照射野12 cm×12 cm、等中心处吸收剂量为100 cGy照射,故能量响应因子视为1;再用6 MV X射线、照射野12 cm×12 cm、源皮距100 cm、等中心处吸收剂量为100 cGy照射。用热释光读出器读出照射后TLD的吸收剂量,计算出6 MV X射线照射能量的校准因子:

$$K_{\text{energy}} = \left(\frac{M}{D} \right)^{60\text{Co}} / \left(\frac{M}{D} \right)_{6\text{MVX}} \quad (1)$$

其中, $M^{60\text{Co}}$ 为TLD在⁶⁰Co γ射线照射下热释光读出器的读数,单位mGy; $M_{6\text{MVX}}$ 为TLD在6 MV X射线(Elekta)照射下热释光读出器的读数,单位mGy; D 为电离室测出的读数,单位mGy。

1.4 仿真模体肺部剂量验证

将仿真模体置于CT机扫描,扫描后图像传至TPS计划系统(图1)。医生勾画出靶区和正常组织,根据临床要求设计出放疗计划,该计划给出靶区外不同位置的吸收剂量。将200片商业化的TLD按上述方法筛选

出符合临床要求共22片,分别用称量纸封装,依次编号并粘贴在仿真模体对应位置处(图2)。将粘贴有TLD的模体置于6 MV X射线加速器在源皮距100 cm、照射野12 cm×12 cm进行照射,照射后依次取下TLD片,通过热释光读出器读出并记录每个TLD吸收剂量。经过20 min退火后,重复3次上述粘贴、照射和读出过程,记录实验相关数据。

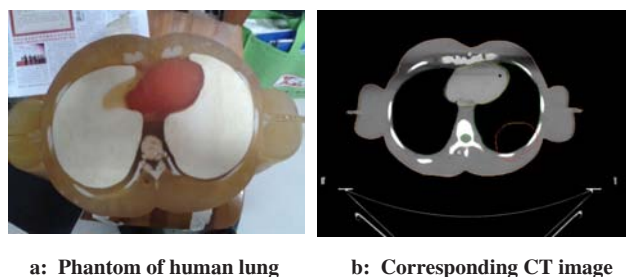


图1 人体肺部模体和相应的CT图像

Fig.1 Phantom of human lung and corresponding CT image

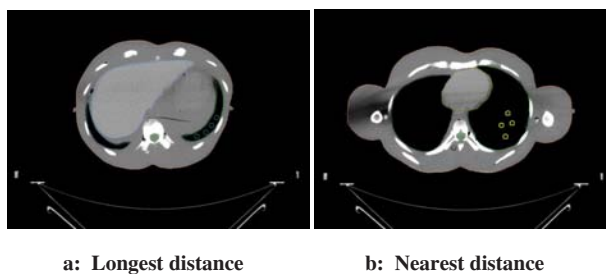


图2 靶区外不同位置处的热释光剂量片

Fig.2 Thermo luminescent dosimeter (TLD) at different positions outside target volume

2 结果

(1)临床要求TLD分散性和重复性控制在3.00%以内,通过选取10片TLD,并重复实验5次。TLD分散性最大偏差为1.20%,重复性最大偏差为0.37%,故本次实验选取的10片TLD均符合临床测量精度要求(表1)。

(2)本实验把 ^{60}Co γ 射线的能量响应因子视为1,因此本文需要对6 MV X射线能量进行校正。根据临床要求,所有TLD能量校正因子的相对偏差需小于1.00%。能量的最小相对偏差为0.10%,但最大相对偏差为3.00%,平均相对偏差为1.74%,故需要对TLD的能量响应因子进行校正,结果如表2所示。

(3)临床要求放疗精度需控制在 $\pm 5\%$ 以内,任意一点剂量计算不确定度不应超过 $\pm 3\%$ 。因此在临床照射前,实验首先通过TPS系统计算人体模体的理论剂量,再与实际测量剂量进行比较,其结果如表3和表4所示。表3是TLD重复3次照射对应的吸收剂量值,从表3可观察到筛选的22片TLD重复性都较小,重复性相对偏差最大值为2.54%,最小值为0.01%,符合临床放疗要求。表4是肺部肿瘤靶区外同一位置处TPS与TLD吸收剂量值,从表4可观察到照射剂量大于62 mGy时,TPS理论计算值与TLD测量值的偏差在 $\pm 5\%$ 之内,符合临床要求;当照射剂量小于62 mGy时,TPS与TLD之间偏差变大,尤其是当TPS剂量为9.80 mGy时,实际测量TLD的吸收剂量为14.20 mGy,两者偏差达到44.90%。

表1 分散性和重复性的读数值

Tab.1 Reading values of dispersion and repeatability

Sample	Value (uC)					Relative deviation of repeatability/%
	First	Second	Third	Fourth	Fifth	
1	139.2	139.0	141.0	141.0	140.5	0.26
2	143.8	142.8	143.0	143.0	144.0	0.30
3	142.4	142.2	141.5	141.5	141.9	0.18
4	138.6	138.5	139.0	139.0	139.3	0.19
5	140.0	138.0	139.5	139.5	139.2	0.37
6	140.0	139.2	139.0	139.0	139.6	0.21
7	142.9	142.8	142.0	142.0	141.9	0.25
8	140.9	141.5	141.3	141.3	141.5	0.13
9	141.3	141.7	141.0	141.0	141.3	0.15
10	139.7	139.5	140.0	140.0	140.2	0.15
Relative deviation of dispersion/%	0.98	1.20	0.77	0.77	0.84	/

表2 能量响应校正因子

Tab.2 Correction factor of energy response

Sample	Dose value for ^{60}Co γ ray/mGy	Dose value for 6 MV X ray/mGy	Correction factor	Relative deviation/%
1	1 003.0	1 025.0	0.979	2.10
2	996.0	997.3	0.999	0.10
3	1 007.0	1 019.0	0.988	1.20
4	993.0	1 007.0	0.986	1.40
5	1 007.0	1 021.0	0.986	1.40
6	985.0	1 002.0	0.983	1.70
7	990.0	1 012.0	0.978	2.20
8	992.0	1 013.0	0.979	2.10
9	983.0	1 013.0	0.970	3.00
10	987.0	1 009.0	0.978	2.20
Average value	994.3	1 011.8	0.983	1.74

表3 TLD重复3次照射吸收剂量值

Tab.3 Absorbed dose of TLD repeatedly radiated for three times

Sample	Absorption dose value/mGy			Average dose value/mGy	Relative deviation of repeatability/%
	First	Second	Third		
1	307.2	306.5	309.2	307.63	0.46
2	290.9	291.1	290.0	290.67	0.20
3	219.4	221.4	220.3	220.37	0.45
4	138.6	140.9	138.1	139.20	1.07
5	738.4	742.3	741.2	740.63	0.27
6	847.2	847.4	847.4	847.33	0.01
7	916.2	916.5	916.3	916.33	0.02
8	981.5	981.6	981.9	981.67	0.02
9	45.9	45.6	44.8	45.43	1.25
10	65.1	65.1	64.8	65.00	0.27
11	64.0	64.2	64.2	64.13	0.18
12	74.5	74.4	73.8	74.23	0.51
13	73.2	73.2	73.5	73.30	0.24
14	19.0	19.2	19.1	19.10	0.52
15	23.5	23.1	23.8	23.47	1.50
16	20.9	21.2	21.1	21.07	0.73
17	24.5	24.3	24.4	24.40	0.41
18	20.8	20.6	21.3	20.90	1.73
19	12.4	12.3	12.3	12.33	0.47
20	14.1	14.6	13.9	14.20	2.54
21	15.2	15.4	15.3	15.30	0.65
22	14.9	15.2	15.4	15.17	1.66

表4 靶区外同一位置处TPS与TLD的吸收剂量值
Tab.4 Absorbed dose of treatment planning system (TPS) and TLD
at the same target position

Sample	TPS theoretical value/mGy	TLD absorption dose value/mGy	Relative deviation/%
1	313.00	307.63	1.72
2	290.50	290.67	0.06
3	222.20	220.37	0.82
4	140.20	139.20	0.71
5	741.70	740.63	0.14
6	850.70	847.33	0.40
7	915.10	916.33	0.13
8	986.90	981.67	0.53
9	44.10	45.43	3.02
10	63.20	65.00	2.85
11	62.60	64.13	2.44
12	73.30	74.23	1.27
13	76.60	73.30	4.31
14	18.40	19.10	3.80
15	19.90	23.47	17.94
16	24.20	21.07	12.93
17	20.80	24.40	17.31
18	24.80	20.90	15.73
19	10.40	12.33	18.56
20	9.80	14.20	44.90
21	12.50	15.30	22.40
22	12.10	15.17	25.37

3 讨论

在肿瘤放射治疗中,保证照射靶区剂量的精确性、降低周围正常组织的受照剂量是治疗成功的重要条件之一,而剂量测量是其主要方法,TLD则是剂量测量的常用工具之一^[11-12]。本实验所选用的TLD(LiF:Mg、Cu、P)规格为薄型方片,灵敏、体积小,且TLD磷光体为LiF,其物理和化学性能稳定,可以制成不同的形状和建成区以近距离测量放射源周围的剂量分布,尤其适合用于患者剂量监测和剂量比对待场合以及软组织的吸收剂量测量^[13-15]。

采用人体模型可以模拟患者实际受照情况,测量肺部患者辐射剂量的大小和剂量分布。当TLD吸收剂量低于30 mGy时,样品TLD吸收剂量与TPS理论计算值的相对偏差普遍都大于10%;当TLD吸收剂量在30~62 mGy时,对应的相对偏差在5%~10%;当TLD吸收剂量大于62 mGy时,对应的相对偏差波动较小,且均小于5%。当靶区外不同位置TLD吸收剂量超过63 mGy,与TPS计算剂量的相对偏差小于5%,符合临床的应用要求。因此,用我国自主生产的TLD验证TPS剂量的方法准确可靠、经济适用。建立测量人体肺部肿瘤剂量的方法,为成功应用于临

床患者的剂量测量提供实验基础,对防止放射治疗医疗事故的发生起技术支撑作用。

【参考文献】

- [1] HOREWEG N, VAN KLAVEREN R J, GROEN H J, et al. Blinded and uniform cause of death verification in a lung cancer CT screening trial[J]. Lung Cancer, 2012, 77(3): 522-525.
- [2] OTTOSSON W, BEHRENS C F, ANDERSEN C E. Dose verification of radiotherapy for lung cancer by using plastic scintillator dosimetry and a heterogeneous phantom [J]. J Phys Conf Ser, 2015, 573: 012022.
- [3] JAMES H, SCHULMAN N, FRANK H, et al. New thermo luminescent dosimeter[J]. Rev Sci Instrum, 1960, 31: 1263-1269.
- [4] 王玉龙, 冯炎, 李龙根, 等. 肿瘤放疗中剂量测量用热释光探测器的基本性能研究[J]. 山西医药杂志, 2013, 42(4): 381-382.
WANG Y L, FENG Y, LI L G, et al. Preliminary study on characteristics of *in vivo* dosimetry using TLD during tumor radiotherapy[J]. Shanxi Medical Journal, 2013, 42(4): 381-382.
- [5] 罗素明, 邱杰, 朱卫国, 等. 热释光剂量片测量放疗患者骨盆及头颈剂量方法研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(4): 380-384.
LUO S M, QIU J, ZHU W G, et al. Dosimetry for the pelvis, head and neck of radiotheraped patients with TLD [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2007, 27(4): 380-384.
- [6] 王玉龙, 冯炎, 李龙根, 等. 应用TLD对放疗中拟人体鼻咽受照剂量实时测定的初步探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2009, 29(2): 119-121.
WANG Y L, FENG Y, LI L G, et al. A preliminary study on the application of TLD to the measurement of the radiation dose of the human body model in radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2009, 29(2): 119-121.
- [7] KRON T, BUSTON M, HUNT F, et al. TLD extrapolation for skin determination *in vivo*[J]. Radiat Oncol, 1996, 41: 119-123.
- [8] MA C M, PAWLICKI T. Monte Carlo verification of IMRT dose distributions from a commercial treatment planning optimization system[J]. Phys Med Biol, 2000, 45(9): 2483-2495.
- [9] HALL E J, SC D, CHENG S W. Radiation-induced second cancers: the impact of 3D-CRT and IMRT [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56(1): 83-88.
- [10] FOGLIATA A, VANETTI E, ALBERS D, et al. On the dosimetric behaviour of photon dose calculation algorithms in the presence of simple geometric heterogeneities: comparison with Monte Carlo calculations[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(5): 1363-1385.
- [11] SHAW E, KLINE R, GILLIN M, et al. Radiation therapy oncology group: radiosurgery quality assurance guidelines [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1993, 27(5): 1231-1239.
- [12] NELSON V K, MCLEANB I D, HOLLOWAYA L. Use of thermoluminescent dosimetry (TLD) for quality assurance of orthovoltage X-ray therapy machines [J]. Radiat Meas, 2008, 43: 908-911.
- [13] DONG S L, CHU T C, LAN G Y, et al. Characterization of high-sensitivity metal oxide semiconductor field effect transistor dosimeters system and LiF: Mg, Cu, P thermoluminescence dosimeters for use in diagnostic radiology [J]. Appl Radiat Isot, 2002, 57(6): 883-891.
- [14] CALCINA C S, OLIVEIRA L N, ALMEIDA C E, et al. Dosimetric parameters for small field sizes using Fricke xylenol gel, thermoluminescent and film dosimeters, and an ionization chamber [J]. Phys Med Boil, 2007, 52(5): 1431-1439.
- [15] CENSOR Y, BORTFELD T, MARTIN B, et al. A unified approach for inversion problems in intensity-modulated radiation therapy[J]. Phys Med Biol, 2006, 51(10): 2353-2366.

(编辑:陈丽霞)