

三种指型电离室对医用直线加速器剂量率的响应特性分析

李军^{1,2}, 张西志², 陈雪梅², 花威², 张先稳², 汤晓斌¹, 陈达¹ (1. 南京航空航天大学核科学与工程系, 江苏 南京 210016; 2. 江苏省苏北人民医院放疗科, 江苏 扬州 225001)

摘要:目的:分析三种不同的指型电离室对医用直线加速器常用剂量率的响应特性。方法:选择三种不同的指型电离室,分别是PTW的0.6 cm³电离室和0.125 cm³电离室,IBA的0.01 cm³电离室,加速器分别在100 cGy/min~600 cGy/min的剂量率范围内,在相同的测量条件和MU下,分别测量和分析三种不同的电离室在不同的工作电压和不同能量下的剂量率响应特性。结果:剂量仪工作电压和X射线能量一定时,三种电离室的采集效率都随剂量率的增加而有一定程度的降低,X射线能量为6 MV时,三种电离室对应的剂量仪读数最大分别降低了1.90%、2.51%、1.90%,X射线能量为15 MV时,三种电离室最大分别降低了3.60%、3.57%、1.62%;当剂量率一定时,采集效率随工作电压的增加而有一定程度的升高,在工作电压较高时采集效率相对较稳定。结论:不同的指型电离室、剂量仪的工作电压以及剂量率的变化都会对采集效率有一定的影响,在临床应用中,在对直线加速器进行剂量测量时,需要对测量设备进行剂量率相应测试和分析以保证日常刻度和剂量验证的精度。

关键词:指型电离室;剂量仪;剂量率;工作电压;响应特性

DOI 编码: doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2013.05.001

中图分类号: R814.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-202X(2013)05-4345-04

Analysis of Dose Rate Response Characteristic of Three Kinds of Finger Shape Ionization Chamber for Medical Linear Accelerator

LI Jun^{1,2}, ZHANG Xi-zhi², CHEN Xue-mei², HUA Wei², ZHANG Xian-wen², TANG Xiao-bin², CHEN Da² (1. Department of Nuclear Science & Engineering Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China; 2. Radiotherapy department of the people's hospital of Subei, Yangzhou Jiangsu 225001, China)

Abstract: Objective: To analyze three different kinds of finger shape ionization chamber of medical linear accelerator is used the response of the dose rate. **Methods:** Choose three different kinds of finger shape ionization chamber, they are respectively 0.6 cm³ PTW ionization chamber and 0.125 cm³ ionization chamber, IBA 0.01 cm³ of ionization chamber, accelerator in 100 cGy/min~600 cGy/min, within the limits of dose rate under the same measurement conditions and MU, respectively measuring and analysis of three different kinds of ionization chamber under the different working voltage and energy of the dose rate response characteristics. **Results:** Dosimeter working voltage and X ray energy are constantly, three kinds of ionization chamber of collection efficiency with the increase of the dose rate have a certain degree of lower, for the 6 mv X-ray energy, three kinds of ionization chamber corresponding to the maximum dose meter readings was reduced by 1.90%, 2.51% and 1.90%, respectively, for 15 mv X-ray energy, the three largest ionization chamber was reduced by 3.60%, 3.57% and 3.60% respectively; When dose rate must be collection efficiency with the increase of the working voltage and a certain degree of rise, when the working voltage higher collection efficiency is relatively stable. **Conclusions:** Different finger type of ionization chamber, the working voltage of dosimeter and dose rate change will have a certain influence on collection efficiency, In the clinical applica

收稿日期: 2013-06-10

基金项目: 江苏省博士后科研资助计划(No.1002012C)

作者简介: 李军(1975-), 男, 陕西周至人, 南京航空航天大学核科学与工程系在读博士研究生, 江苏省苏北人民医院放疗科高级工程师, 主要从事临床放射物理学研究工作。

通讯作者: 陈达, 男, 中国科学院院士, 南京航空航天大学教授, E-mail: dachen@nuaa.edu.cn。

tion of dose measurement on the linear accelerator, Need to test and analysis dose rate corresponding and the measuring equipment to ensure the accuracy of routine calibration and dose verification.

Key words: finger shape ionization chamber; dosimeter; dose rate; working voltage; response characteristics

前言

随着放疗技术的发展,调强放射治疗(IMRT)在临床治疗中得到了越来越多的应用,特别是不同单位在选用不同加速器剂量率做病人治疗时,会与加速器的治疗计划(TPS)的标定剂量率不同,这些也会对治疗结果产生一定的影响,目前特别是旋转容积调强(VMAT)作为一种新型放疗技术也得到了快速的发展和运用。旋转容积调强治疗计划相对于普通调强放疗计划来说更为复杂,在治疗过程中其剂量率也是不断发生变化的,基于以上原因这就使得质量保证工作变得越来越重要。在此工作中,不同类型的剂量监测系统得到广泛的应用,临床上关注较多的是它们的剂量重复性、稳定性、线性、体积效应以及探头的角度依赖性等^[1-5]。由于剂量率响应特性能够直接影响剂量测量精度,因此对临床使用的剂量监测设备的剂量率响应特性也提出了更高的要求。本研究主要讨论在临床剂量测量中使用的三种不同类型指型电离室的剂量率响应特性,为临床应用提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 指型电离室的选择

指型电离室分别是德国 PTW 公司生产的 0.6 cm^3 的指型电离室(型号 TW30013)和 0.125 cm^3 的指型电离室(型号 TW31010),以及德国 IBA 公司生产的 0.01 cm^3 的指型电离室(型号 CC01),剂量仪为德国 PTW 公司的 UNIDOS E 剂量仪,在医用直线加速器上对不同电离室的剂量率响应特性进行测试与分析。

1.2 测量条件设置

选择美国 VARIAN 公司的 IX 医用直线加速器作为辐射源提供 6 MV 和 15 MV 射线,此加速器具有旋转容积调强(VMAT)的功能。测量时加速器机架角度为 0° ,准直器角度为 0° ,射野大小为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,测量时采取等中心照射(SAD=100 cm),电离室均置于固体水下 5 cm 处,电离室之下放置 10 cm 厚度的固体水减少背散射的影响。

1.3 剂量率响应特性测量

测量时直线加速器出束 100 MU,所有数据均用 PTW 的 UNIDOS E 剂量仪进行读数。选择不同能量的 X 射线:6 MV 和 15 MV,改变剂量仪的工作电压(50 V~400 V,间隔 50 V),分别测量同一能量的 X 射线在不同的工作电压下,指型电离室随剂量率变化的响应特性(剂量率变化范围:100 cGy/min~600 cGy

/min)。所有读数均测量三次,取其平均值做数据统计。

1.4 数值归一

所有测量数据均以剂量仪额定工作电压 400 V 下,加速器及 TPS 的标定剂量率为 300 cGy/min 时的读数值为标准进行归一。

2 结果

2.1 三种指型电离室的剂量率响应

如图 1 所示,图 1-1、图 1-2、图 1-3 分别表示 0.6 cm^3 、 0.125 cm^3 、 0.01 cm^3 三种指型电离室在不同的工作电压下,剂量仪读数随剂量率变化的趋势,a、b 分别代表 X 射线能量为 6 MV 和 15 MV。由图 1 可以看出,在 100 cGy/min~600 cGy/min 的剂量率变化范围内,在同一 X 射线能量照射下,不同电离室测量时的剂量仪读数都随着剂量仪工作电压的增加而变大:能量为 6 MV,工作电压从 50 V~400 V 时, 0.6 cm^3 、 0.125 cm^3 、 0.01 cm^3 电离室的采集效率最大分别增加了 0.73%、0.75%、1.55%;能量为 15 MV,工作电压从 50 V~400 V 时, 0.6 cm^3 、 0.125 cm^3 、 0.01 cm^3 电离室的采集效率最大分别增加了 0.45%、0.49%、1.70%。

在相同的工作电压下,三种指型电离室测量的剂量仪读数都随着剂量率的增加而变小:剂量率从 100 cGy/min~600 cGy/min,X 射线能量为 6 MV 时,三种指型电离室测得的剂量仪读数最大分别降低了 1.90%、2.51%、1.90%;X 射线能量为 15 MV 时,三种电离室测得的剂量仪读数最大分别降低了 3.60%、3.57%、1.62%。

2.2 剂量仪读数随剂量率的变化

图 2 所示为额定工作电压(400 V)下,不同能量的 X 射线照射时(a:6 MV;b:15 MV),三种指型电离室的剂量仪读数随剂量率变化的趋势图。由图 2 可以看出 6 MV 和 15 MV 能量下,三种电离室的剂量仪的采集效率均随剂量率的增加而减小,其中 0.01 cm^3 电离室的减小幅度最大,6 MV 时的降低幅度为 1.31%,15 MV 时的降低幅度为 1.10%; 0.6 cm^3 电离室在 6 MVX 射线照射下的减小幅度为 0.68%,15 MVX 射线照射下的降低幅度为 0.28%; 0.125 cm^3 电离室在 6 MVX 射线照射下的降低幅度为 0.42%,在 15 MVX 射线照射下的降低幅度为 0.32%。

2.3 剂量仪读数随工作电压的变化

图 3 所示为在直线加速器常规治疗剂量率(300 cGy/min)条件下,三种电离室的剂量仪读数随工作电压变化的趋势图,图 3(a)、图 3(b)分别表示 X 射线的

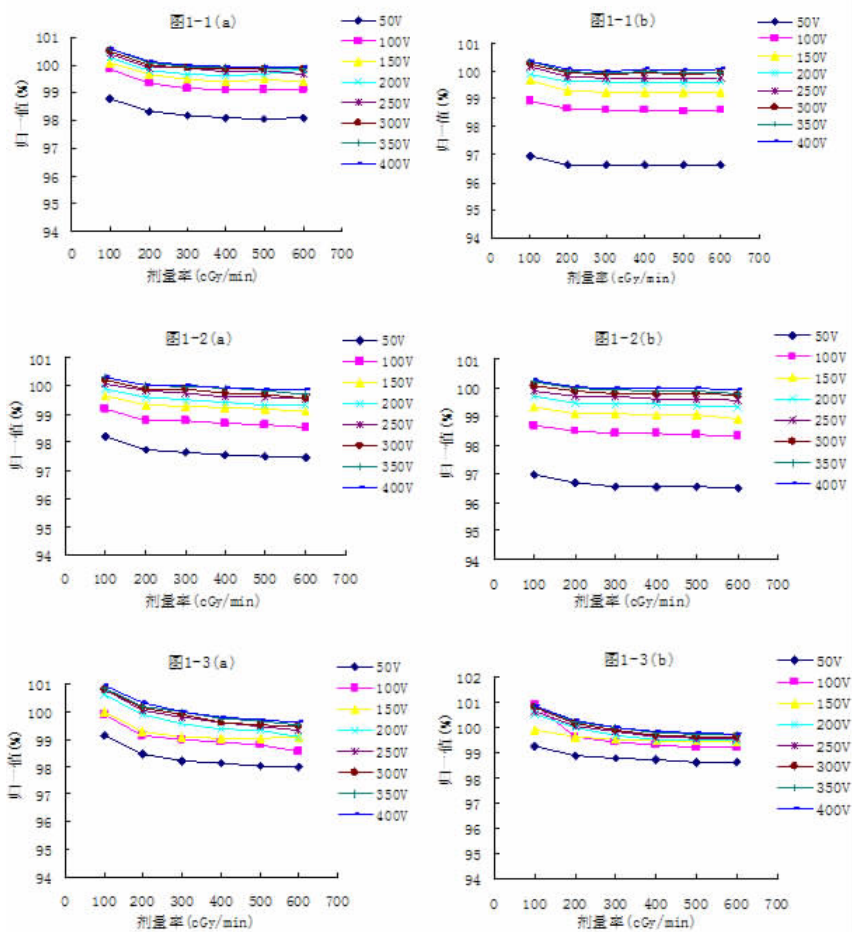


图 1 三种指型电离室分别在不同工作电压下的剂量率响应曲线

Fig.1 three kinds of finger shape ionization chamber respectively under the different working voltage of the rate of dose response curve

备注:(a: 6 MV,b:15 MV;图 1-1:PTW 0.6 cm³,图 1-2:PTW 0.125 cm³,图 1-3:IBA 0.01 cm³;))

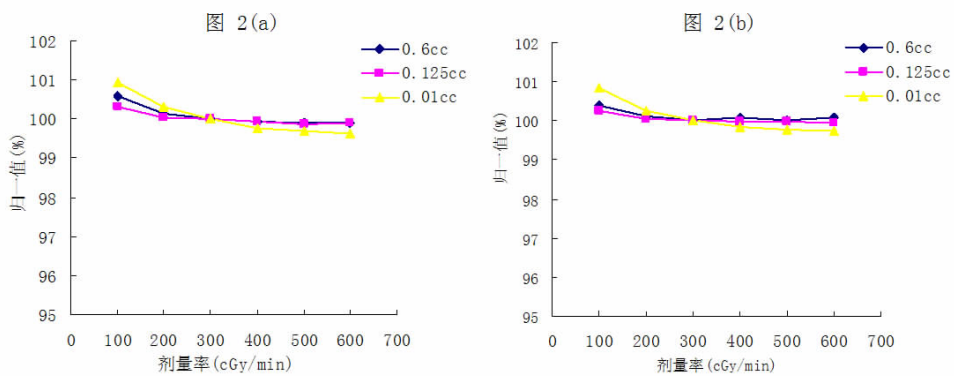


图 2 额定工作电压下,3 种指型电离室的剂量率响应曲线(a:6 MV;b:15 MV)

Fig.2 under the rated working voltage, three kinds of finger shaper ionization chamber of dose rate response curves (a: 6 mv; b: 15 mv)

能量为 6 MVX 和 15 MV 的工作电压变化的趋势图。

由图 3 可以看出,当剂量率固定不变时,在不同能量的 X 射线照射下,剂量仪读数值均随着工作电压的升高而变大,6 MV 时 0.6 cm³、0.125 cm³、0.01 cm³ 三种电离室最大变化程度分别为:1.84%、2.40%、

1.81%;15 MV 时 0.6 cm³、0.125 cm³、0.01 cm³ 电离室的变化程度分别为:3.51%、3.57%、1.24%。图 3 还显示,工作电压较低时,剂量仪读数值变化程度相对较大;工作电压较高时,剂量仪读数值变化相对较小,此时剂量仪的采集效率相对比较稳定。

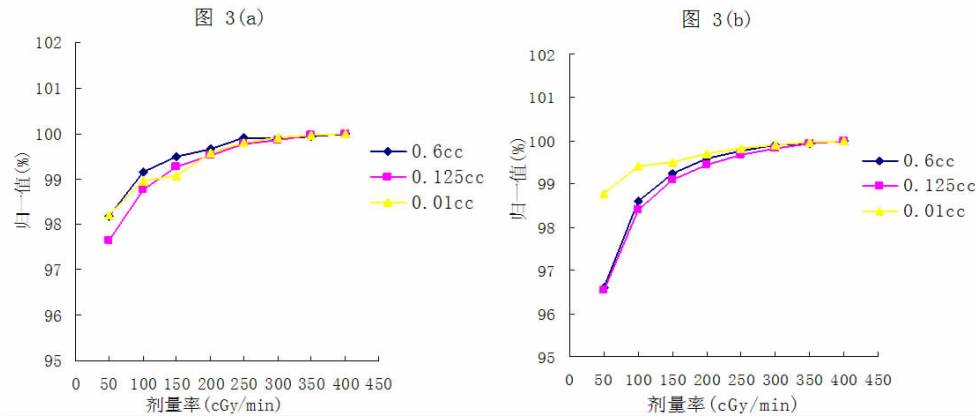


图3 常规治疗剂量率条件下,剂量仪读数随工作电压的变化(a:6 MV;b:15 MV)

Fig.3 regular treatment dose rate under the condition of dose meter readings along with the e of working voltage (a: 6 mv; b: 15 mv)

3 讨论

旋转容积调强是随着科技发展而产生的一种新型放疗技术,在加速器机架旋转的同时,多叶光栅MLC的形状和输出剂量率都在随时发生着变化。在日常放疗工作中,对直线加速器进行剂量校准和对调强放疗计划进行剂量验证时,通常只选择某一常用剂量率来进行刻度,由于旋转容积调强在治疗过程中其剂量率是不断发生变化的,所以在对旋转容积调强计划进行剂量验证时,就必须要了解所使用的测量设备的剂量率响应特性。

本文中使用了临床上应用较为广泛的 0.6 cm^3 的指型电离室,以及 0.125 cm^3 和 0.01 cm^3 的指型电离室,研究针对这三种指型电离室进行了剂量率响应特性的测试和分析,以及在不同的辐射能量和不同工作电压下,其剂量率采集效率的变化情况。

通过本文的研究结果可知,在相同辐射能量下,随着剂量仪工作电压的不同以及剂量率的变化,剂量仪的采集效率也在发生着变化。辐射能量和剂量仪工作电压一定时,三种指型电离室的采集效率都随着剂量率的增加而出现减小的趋势,总的变化不超过2%;当辐射能量和剂量率一定时,剂量仪的工作电压也会影响其采集效率,由研究结果可知,工作电压越低,剂量率采集效率就越低,工作电压越高,其剂量率采集效率就越高,从300V左右开始,剂量率的采集效率相对较稳定。由此说明三种电离室类型的剂量仪都对工作电压和剂量率呈现出一定的依赖性。当辐射能量增加时,剂量率的变化对采集效率的影响减小,此时剂量仪的采集效率受工作电压的影响较大,此研究结果与Saminathan等^[6]的研究结果和韩军等^[8]的研究结果相似。而Létourneau等^[7]在研究Farmer电离室的剂量率响应特性时,认为在6 MV X射线能量下,采集效率与剂量率成正比,变化不超过1%,这与本文研究结果相反,可能是由于电离室设计的厂家不同或电离

室的个体差异造成的。

在临床放疗工作中,剂量校准和剂量验证是临床质量保证体系中的重要工作,由于加速器结构复杂,对输出剂量的影响因素很多,包括大气压和机房内温度等,平时必须保证测量结果不超过 $\pm 2.0\%$,若超出此范围,应先判断与测量有关的剂量仪与电离室是否正常工作,包括温度,大气压是否准确。其次再检查测量条件是否符合测量标准条件,包括直线加速器的各项参数,比如SSD,照射野(或限光筒),机架角度,准直器角度,机器出束跳数MU等,确定以上都无误后,再对加速器剂量参数进行校准,并作出详细记录^[9]。在测量时不仅要选择合适的设备,还要了解设备的各项性能,以保证测量的精准性。本研究中三种指型电离室在50V~400V的工作电压范围内,采集效率随剂量率的变化(100 cGy/min~600 cGy/min)而变化,因此在临床工作中建议进行必要的测量以了解其剂量率响应特性,以保证日常剂量刻度和剂量验证的准确性^[10,11]。

参考文献:

- [1] McCaffrey JP, Downton B, Shen H, et al. Pre-irradiation effects on ionization chambers used in radiation therapy [J]. Phys Med Biol, 2005, 50(13): N121-133. McCaffrey JP, Downton B, Shen H, 等. 放射治疗中预照射对电离室的影响 [J]. 医学与生物学物理, 2005, 50(13): N121-133.
- [2] Laub WU, Wong T. The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT [J]. Med Phys, 2003, 30(3): 341-347. Laub WU, Wong T. 剂量探测器在测量调强放射治疗小野中的体积效应 [J]. 医学物理学杂志, 2003, 30(3): 341-347.
- [3] Feigelman V, Forster K, Opp D, et al. Evaluation of a biplanar diode array dosimeter for quality assurance of step-and-shoot IMRT [J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(4): 3080-3094. Feigelman V, Forster K, Opp D, 等. 双通道矩阵剂量仪在静态调强质量保证中的评估 [J]. 临床医学物理学应用杂志, 2009, 10(4): 3080-3094.
- [4] Fraser D, Parker W, Seuntjens J. Characterization of cylindrical ionization chamber for patient specific IMRT QA [J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(4): 2923-2933. Fraser D, Parker W, Seuntjens J. 圆柱型电离

(下接第4368页)

- tients[J].J Natl cancer Inst.1991,83(6):417-423. Le Chevalier T,Arriagada R,Quoix E,等.不能手术切除的非小细胞肺癌的放疗结合化疗和化疗:353例患者的一项随机研究[J] 全国癌症研究所.1991,83(6):417-423.
- [14] Kong FM,Ten Haken RK,SchiPPer MJ,et al.High-dose radiation improved local tumor control and overall survival in patients with inoperable/unresectable non-small-cell lung cancer:long-term results of a radiation dose escalation study [J].Int J Radiat Oncol Biol Phys.2005,63(2):324-233. Kong FM,Ten Haken RK,SchiPPer MJ,等.高剂量放疗改善无法手术或不能手术的非小细胞肺癌的肿瘤局控率和总生存率:一项长期的剂量增加研究[J] 中华放射生物学报.2005,63(2):324-233.
- [15] Grills IS,Yan D,Martinez AA,et al.Potential for reduced toxicity and dose escalation in the treatment of inoperable non-small-cell lung cancer:a comparison of intensity-modulated radiation therapy (IM-RT),3D conformal radiation,and elective nodal irradiation [J].Int J Radiat Oncol Biol Phys.2003,57:875-890. Grills IS,Yan D,Martinez AA,等.不能手术的非小细胞肺癌在减少毒性和增加剂量的优势:调强放疗、三维适形放射治疗和选择性淋巴结照射间的比较[J]中华放射肿瘤学杂志,2003,57:875-890.
- [16] Teoh M,Clark CH,Wood K,et al.Volumetric modulated arc therapy:a review of current literature and clinical use in practice[J].Br J Radiol,2011,84(1007):967-996. Teoh M,Clark CH,Wood K,等.容积弧形调强放射治疗:目前文献和临床实际应用的综述[J]中华放射医学,2011,84(1007):967-996.
- [17] Rao M YW,Chen F,Sheng K,et al.Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT:plan quality,delivery efficiency and accuracy [J].Med Phys,2010,37 (3):1350-1359. Rao M YW,Chen F,Sheng K,等.比较医科达 VMAT 和螺旋断层放疗及 IM-RT:计划的质量、治疗的效率和准确性[J]医学物理学杂志,2010,37 (3):1350-1359.
- [18] Gopal R,Tueker SL,Komaki R,et al.The relationship between local dose and loss of function for irradiated lung [J].Int J Radiat Oncol Biol Phys,2003,56:106-113. Gopal R,Tueker SL,Komaki R,等.肺放疗局部剂量及功能丧失的关系[J]中华放射生物学报,2003,56:106-113.
- [19] Wang S,Liao Z,Wei X,et al.Analysis of clinical and dosimetric factors associated with treatment-related pneumonitis(TRP) in Patients with non-small -cell lung cancer (NSCLC)treated with concurrent chemotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT)[J].Int J Radiat Oncol Biol Phys,2006,66 (5):1399-1407. Wang S,Liao Z,Wei X,等.分析非小细胞肺癌患者同步化疗及三维适形放射治疗引起放射性肺炎(TRP)的临床及剂量学因素[J] 中华放射肿瘤学杂志,2006,66(5):1399-1407.

(上接第 4348 页)

- 室在病人特殊调强治疗质量保证中的特性[J].临床医学物理学杂志,2009,10(4):2923-2933.
- [5] Wolfsberger LD,Wagar M,Nitsch P,et al.Angular dose dependency of MatriXX TM and its calibration [J].J Appl Clin Med Phys,2010,11 (1):3057-3068.Wolfsberger LD,Wagar M,Nitsch P,等.MatriXX 平板电离室矩阵的角度依赖及其校准的研究[J].临床医学物理学杂志,2010,11(1):3057-3068.
- [6] Saminathan S,Manickam R,Chandraraj V,et al.Dosimetric study of 2D ion chamber array matrix for the modern radiotherapy treatment verification [J].J Appl Clin Med Phy,2010,11 (2):3076-3088.Saminathan S,Manickam R,Chandraraj V,等.二维电离室矩阵在现代放射治疗验证中的剂量学研究[J].临床医学物理学杂志,2010,11(2):3076-3088.
- [7] Létourneau D,Gulam M,Yan D,et al.Evaluation of a 2D diode array for IMRT quality assurance [J].Radiother Oncol,2004,70 (2):199-206.Létourneau D,Gulam M,Yan D,等.二极管矩阵在调强放射治疗保证中的验证[J].肿瘤放射治疗学,2004,70(2):199-206.
- [8] 韩军,李勤,曹婷,等.四种剂量探测器对放疗加速器常用剂量率的响应特性分析[J].中华放射医学与防护杂志,2010,32(5):527-529.HAN Jun,LI Qin,CAO Ting, et al.The dose rate response characterization of four kinds of dosimeters for linear accelerator [J].Chin J Radiol Med Prot,2012,32(5):527-529.
- [9] 李军,张西志,谭飞.高能 X 射线和电子束吸收剂量的测量与计算 [J]. 中国医学物理学杂志,2008,25 (2):564-566.LI Jun,ZHANG Xi-zhi,TAN Fei.Measurement and calculation of absorbed dose for high energy X-ray and electron beam [J].Chinese Journal of Medical Physics,2008,25(2):564-566.
- [10] 王军良,周振山,盛洪国,等. IAEA TRS398 与 TRS277 应用于加速器输出量校准的比较 [J].中国医学物理学杂志,2011,28(3):2594-2596.WANG Jun-lian,ZHOU Zhen-shan,SHENG Hong-guo,et al. Comparison between IAEA TRS398 and TRS277 use for accelerator output calibration [J].Chinese Journal of Medical Physics,2011,28(3):2594-2596.
- [11] 姜瑞瑶,熊罪,黄国锋,等.医用直线加速器输出剂量稳定性分析 [J]. 中国医学物理学杂志,2011,28 (5):2854-2857.JIANG Rui-yao,XIONG Fei,HUANG Guo-feng,et al.Analysis of the medical linear accelerator output stability [J].Chinese Journal of Medical Physics,2011,28(3):2854-2857.