

直线加速器泄露辐射及杂散测试

刘云瑞, 李彦飞, 王建军, 关远帆, 王刚, 周小强, 段伟, 王华欣, 史云川

(陕西华明普泰医疗设备有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要: **目的** 通过检测型号为 LA-6B 1802 加速器的 M 区内外泄漏辐射水平和杂散并分析检测结果, 评价该加速器的辐射防护安全性。**方法** 按照检测标准 WS 674—2020, 使用中检普泰 1 000 cc 球形电离室, PTW Unidose E 型剂量仪和固体水, 测量 M 区内外的泄漏辐射水平以及杂散。**结果** 该型号加速器 M 区内泄漏辐射率的范围为 0.009%~0.016%, 平均值漏辐射率为 0.012%, M 区外 X 射线泄漏辐射率的范围为 0.013%~0.053%, 平均值漏辐射率为 0.022%, 杂散水平也均小于 58%。**结论** 该型号为 LA-6B 1802 加速器的辐射泄漏和杂散数据均满足标准 WS 674—2020 的标准要求。

关键词: LA-6B 1802 加速器; 泄漏辐射; M 区; 球形电离室; 杂散

中图分类号: R197.39

Test of linear accelerator leakage radiation and stray

LIU Yunrui, LI Yanfei, WANG Jianjun, GUAN Yuanfan, WANG Gang, ZHOU Xiaoqiang,

DUAN Wei, WANG Huaxin, SHI Yunchuan

(Shanxi Huaming Putai Medical Equipment Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: **[Objective]** The radiation protection safety of the LA-6B 1802 accelerator is evaluated by detecting and analyzing the leakage radiation level and stray radiation level. **[Methods]** Leak radiation levels from inside and outside the M zone were measured using a Zhongjian Putai 1000 cc spherical ionization chamber, and PTW Unidose E dosimeter with solid water according to the test standard WS 674-2020. **[Results]** The leakage radiation rate in the M area of this type of accelerator is 0.009% to 0.016%, the average leakage rate is 0.012%, the X-ray leakage rate in area M is 0.013% to 0.053%, the average leakage rate is 0.022%, and the stray level is also less than 58%. **[Conclusion]** The radiation leakage and stray data of the LA-6B 1802 accelerator meet the requirements of the standard WS 674-2020.

Keywords: LA-6B 1802 accelerator; leakage radiation; M zone; spherical ionization chamber; stray

LA-6B 1802 型加速器是陕西华明普泰医疗设备有限公司新推出的一台单光子 6 MV 能量档医用直线加速器, 主要用于治疗和影像采集, 该加速器利用 120 片多叶光栅来进行剂量调制, 从而达到肿瘤要求的处方剂量。该加速器具有治疗速度快, 机械精度高, 剂量准确等优势。由于传统加速器在出束过程中存在剂量辐射泄露, 尤其是在加速器运行时, 其存在于机房次墙、机房迷路入口处的泄漏辐射不容忽视^[1-2]。这些泄露出来的剂量会造成治疗时的剂量不精确, 增加患者额外的

放疗隐患。考虑到对于患者的治疗安全, 本文主要依据 WS 674—2020《医用电子直线加速器质量控制检测规范》^[3], 以及 GBZ 126—2011《电子加速器放射治疗放射防护要求》^[4]的要求, 对该加速器进行 M 区内外的辐射泄露和杂散进行数据测量, 并依据测量结果对该加速器的防护性能进行评估, 评判其能否达到满足患者的正常放射治疗需求。

1 仪器与方法

1.1 检测工具与对象

①选择陕西华明普泰医疗设备有限公司生产的加速器作为本文的检测对象，型号为 LA-6B 1802，测量时采用的是 6 MV 的 X 射线能量档。②采用中检普泰 1 000 cc 球形电离室，高精度三脚支卷尺（精度均已校准为 1 mm）。③使用 PTW Unidos E 型剂量仪，30013 型 0.6 cc 电离室及校准剂量所需的二维小水箱，另外配有不同建成厚度的 25 cm × 25 cm 的 PTW 固体水测量板。

1.2 检测前的剂量校准

检测前需要确保加速器输出剂量的准确性。使用 PTW 剂量仪在加速器 SSD=100 cm 位置处，调整射野为 10 cm × 10 cm，出束 100 MU，测量水下 5 cm 的吸收剂量，多次测量统计结果并加以校准，校准方法依据 IAEA 《Technical reports series No.277》报告^[5]。

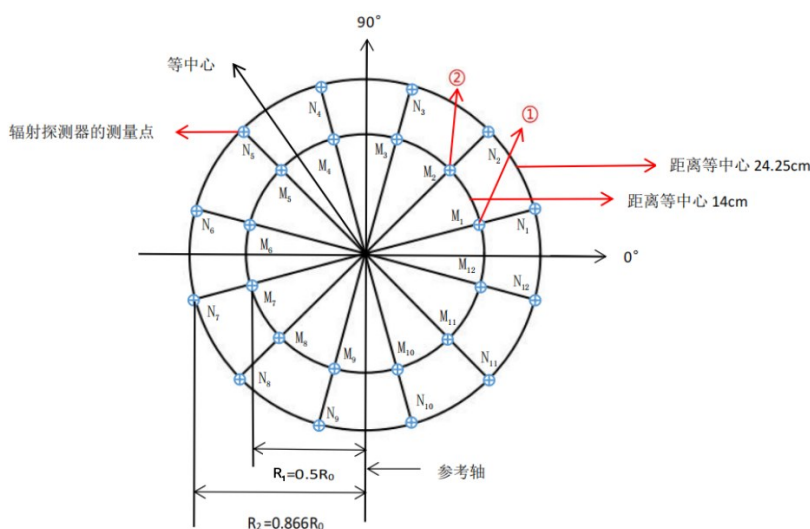
2 杂散及泄漏辐射检测

2.1 杂散辐射的检测

加速器的 X 射线杂散辐射为 X 射线的相对表面剂量，是水下 0.5 mm 处的剂量 $D_{0.5mm}$ 与最大吸收剂量 D_{max} 的比值。在 LA-6B 型加速器上调整治疗床 SSD=100 cm；覆盖 0~20 mm 不同厚度固体水作为测量的建成厚度；使用剂量仪出束 100 MU，分别测量 0~20 mm 深度处的吸收剂量。

2.2 X 射线限束装置（M 区域内）的泄漏辐射检测

按照国标 WS 674—2020 附录 C^[3] 的布点方案，对 M 区内的 24 个位置进行了自制测量图。并对 M 区内的 24 个点进行了编号，详见图 1。其中横轴方向是加速器 G-T 方向，①为距离等中心 14 cm 处，对应角度为 15°的测量点 M_1 ；②是距离等中心 14 cm 处，角度为 45°的测量点 M_2 ，每个相邻测量点相差 30°。对准等中心，调节源皮距为 100 cm，将加速器照射野关闭至最小 2 cm × 2 cm，出束 200 cGy 根据各个测量点对应的位置依次记录其对应数值。



M 区域的面积 $= \pi R_0^2$ ， R_0 为等中心到 M 区的几何半径， R_1 为距离等中心 24.5 cm 处， R_2 为距离等中心 14 cm 处。⊕ 代表各探测点位置，如探测点 N_1 。

图 1 M 区内的平均泄漏辐射 24 个检测点示意图

2.3 M 区域外的泄漏辐射测量（中子除外）

按照国标 WS 674—2020 附录 D^[3] 的布点方案，同样对 M 区外进行了自制测量图。为便于测量，同样对 M 区外的 24 个点进行了编号，详见图 2。测量条件和方法同上（M 区域内的泄漏辐射检测）。其中①为距离等中心 71 cm 处，对应角度为 0°的

测量点 O_1 ；②是距离等中心 71 cm 处，对应角度为 45°的测量点 O_2 ；③为距离等中心 114 cm 处，对应角度为 22.5°的测量点 P_1 ；④为距离等中心 114 cm 处，对应角度为 67.5°的测量点 P_1 。以此类推测量其他位置。

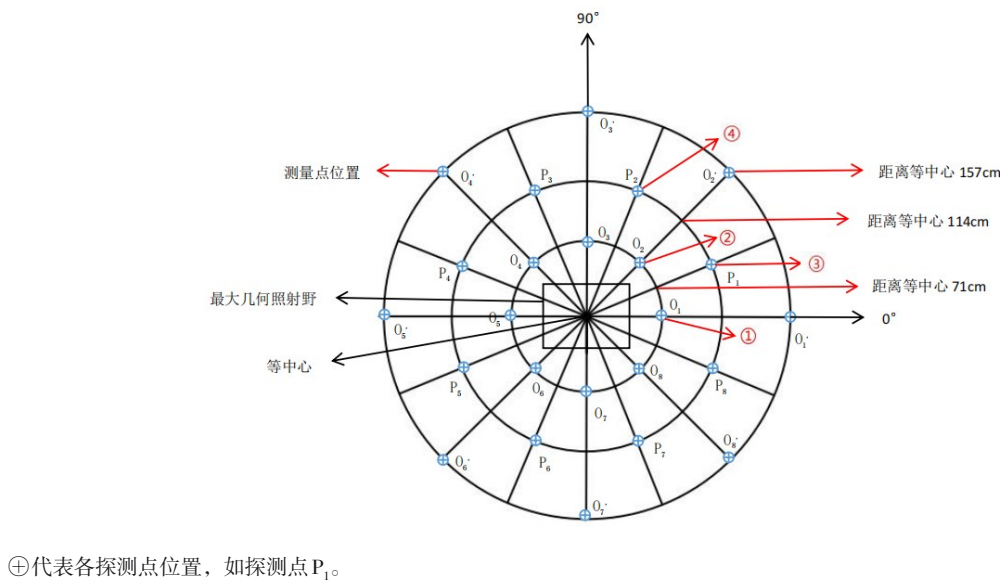


图 2 M 区外的平均泄漏辐射检测的 24 个测量点

3 结果

3.1 辐射杂散

由于用 PTW 剂量仪测量时，不能得到实际需要的水下为 0.5 mm 处的剂量数据，需要进行简单

的数据拟合处理。图 3 是进行原始测量数据的对数运算结果。表 1 是数据处理得出的不同深度的剂量数值。用水下 0.5 mm 处的剂量 $D_{0.5mm}$ 与最大吸收剂量 D_{max} 相比，就可以得出杂散 R_{stray} 。

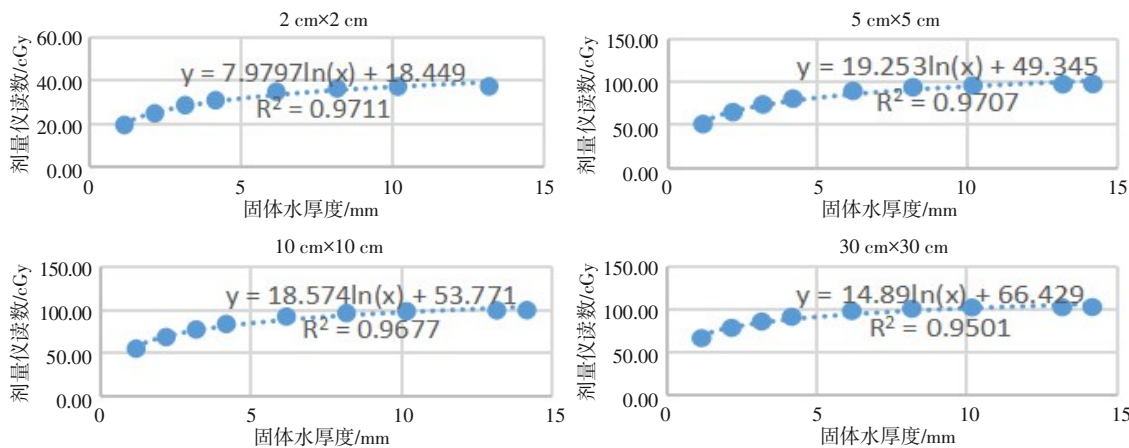


图 3 不同方野表面剂量对数运算

表 1 不同射野的杂散数值

射野	SSD/cm	$D_{0.5mm}/\%$	$D_{max}/\%$	杂散值/%
2 cm×2 cm	100	12.917 4	36.99	34.921 4
5 cm×5 cm	100	35.999 6	96.47	37.316 9
10 cm×10 cm	100	40.896 0	99.01	41.305 0
30 cm×30 cm	100	56.108 4	102.10	54.954 3

3.2 M 区域内的泄漏辐射

表 2 为 M 区内各测量点的原始数据记录，根据测量点与等中心的距离差别分成了两组，第一

组 12 个点，由于 N_1 点在实际测量中不能有效测量。所以第二组有 11 个测量点，共 23 个测量点。

加速器输出 200 MU 时，M 区内最大最小剂量分别为 0.2 mGy、0.12 mGy，束轴中心水下 10 cm 处开野最大吸收剂量为 1 290 mGy，两者的比值可得出 M 区内泄漏辐射范围；加速器输出 200 MU 时，M 区内平均剂量 D_{inMean} 为 0.15 mGy，束轴中心水下 10 cm 处开野最大吸收剂量为 1 290 mGy，由两者的比值得出平均泄漏辐射 R_{inMean} 。

表 2 M 区内各测量点泄漏辐射检测数据

射野	检测位置	检测角度/°	检测点	剂量/mGy
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	15.0	M ₁	0.2
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	45.0	M ₂	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	75.0	M ₃	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	105.0	M ₄	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	135.0	M ₅	0.15
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	165.0	M ₆	0.19
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	195.0	M ₇	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	225.0	M ₈	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	255.0	M ₉	0.15
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	285.0	M ₁₀	0.16
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	315.0	M ₁₁	0.16
2 cm×2 cm	距离等中心点 14 cm	345.0	M ₁₂	0.18
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	45.0	N ₂	0.13
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	75.0	N ₃	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	105.0	N ₄	0.14
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	135.0	N ₅	0.13
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	165.0	N ₆	0.12
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	195.0	N ₇	0.13
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	225.0	N ₈	0.17
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	255.0	N ₉	0.17
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	285.0	N ₁₀	0.13
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	315.0	N ₁₁	0.13
2 cm×2 cm	距离等中心点 24.5 cm	345.0	N ₁₂	0.12

注：测试条件的温度为 17.5℃，气压 1 004.1 hPa，工作气体为空气，剂量率为 400 cGy/min，200 MU。

3.3 M 区域外的泄漏辐射

表 3 是 M 区外各测量点的原始数据记录，根据测量点与等中心的距离不同分成了三组，前两组每组 8 个点，由于 O₃点在实际测量中不能有效测量。第三组实际是 7 个测量点，总共 23 个测量点。

加速器输出 200 MU 时，M 区外最大最小剂量分别为 0.68 mGy、0.17 mGy，束轴中心水下 10 cm 处开野最大吸收剂量为 1 290 mGy，由两者的比值得出 M 区外泄漏辐射范围；加速器输出 200 MU 时，M 区外平均剂量 $D_{outMean}$ 为 0.28 mGy，束轴中心水下 10 cm 处开野最大吸收剂量为 1 290 mGy，由两者的比值得出平均泄漏辐射 $R_{outMean}$ 。

该试验加速器的患者治疗床面积 193.0 cm × 52.5 cm，该平面包含 M 区内外全部检测点。所以加速器输出 200 MU 时，患者平面平均剂量 $D_{patientMean}$ 为 0.15 mGy，束轴中心水下 10 cm 处开野最大吸收剂量 1 290 mGy，由两者的比值得出患者平面泄漏辐射 $R_{patientMean}$ 。

表 3 M 区外各测量点泄漏辐射检测数据

射野	检测位置	检测角度/°	检测点	剂量/mGy
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	0.0	O ₁	0.33
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	45.0	O ₂	0.22
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	90.0	O ₃	0.28
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	135.0	O ₄	0.17
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	180.0	O ₅	0.29
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	225.0	O ₆	0.17
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	270.0	O ₇	0.39
2 cm×2 cm	距离等中心点 71 cm	315.0	O ₈	0.23
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	22.5	P ₁	0.36
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	67.5	P ₂	0.28
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	112.5	P ₃	0.2
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	157.5	P ₄	0.24
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	202.5	P ₅	0.18
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	247.5	P ₆	0.3
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	292.5	P ₇	0.27
2 cm×2 cm	距离等中心点 114 cm	337.5	P ₈	0.4
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	0.0	O ₁ '	0.68
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	45.0	O ₂ '	0.26
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	135.0	O ₄ '	0.18
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	180.0	O ₅ '	0.41
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	225.0	O ₆ '	0.25
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	270.0	O ₇ '	0.22
2 cm×2 cm	距离等中心点 157 cm	315.0	O ₈ '	0.29

注：测试条件的温度为 17.5℃，气压为 1 004.1 hPa，工作气体为空气，剂量率为 400 cGy/min，200 MU。

本次检测使用的探头是灵敏体积 1 000 cc 的球形电离室，0°、90°、180°、270°附近的检测点，即靠近钨门边缘附近的检测点泄漏辐射剂量会略高于其他点。国标 WS 674—2020^[3] 中 4.3.2 规定 6 MeV X 射线治疗时杂散水平的限值为 58%；4.4.1.2 规定 M 区内泄漏辐射的空气吸收剂量与最大吸收剂量的比值≤2%，的平均吸收剂量与最大吸收剂量的比值≤0.75%；4.4.3.1 规定最大吸收剂量应不超过 10 cm × 10 cm 照射野在平面中心测得的吸收剂量的 0.2%，其平均值应不超过中心的 0.1%；4.4.3.2 规定患者平面外侧泄漏辐射所致吸收剂量与最大吸收剂量的比值≤0.05%。

本次测得检测项目结果在表 4 中列出：LA-6B 型加速器 M 区内 X 射线泄漏辐射水平为 0.009%~0.016%，平均值漏辐射率为 0.012%，M 区外 X 射线泄漏辐射率的范围为 0.013%~0.053%，平均值漏辐射率为 0.022%，患者平面平均泄漏辐射为 0.012%；杂散 R_{stray} 水平也均<58%。故该台加速器的这几项指标都符合国标 WS 674—2020 的要求。

表 4 检测结果列表

检测项目	检测结果	要求	结论
M 区内平均泄露辐射	0.012%	<0.75%	符合
M 区内泄露辐射范围	0.009%~0.016%	<2%	符合
M 区外平均泄露辐射	0.022%	<0.1%	符合
M 区外泄露辐射范围	0.013%~0.053%	<0.2%	符合
患者平面平均泄漏辐射	0.012%	<0.05%	符合
杂散 R_{stray}	<56%	<58%	符合

4 讨论

测量 X 射线的杂散水平时，本试验使用的是 30013 型 0.6 cc 电离室和固体水模。偏差主要存在于固体水没有 0.5 mm 的建成厚度，需要进行数据的拟合计算。该部分的偏差主要因为在使用剂量仪测量时，探头中心位置不能到达绝对要求的测量深度，造成测量的偏差。陈敬忠^[6]使用 FARMER 2570/1A 剂量仪测量加速器治疗室内的杂散辐射剂量，测量不同的测量点到等中心距离的距离，发现杂散辐射剂量水平逐渐减小。而本试验是测量不同射野的杂散水平。对于接近水模体的剂量测量，或者可以采用蒙卡模拟的方式对于计算，可能会获得更好的结果。

其他测量者如夏元福等^[7]沿用标准 GBZ 126—2011 使用热释光剂量计测得 18 台加速器 M 区内 24 个测量点 X 射线泄露辐射率最大值的范围为 0.007%~0.073%，平均值范围为 0.005%~0.059%；杨淑慧等^[8]依照标准 GBZ 126—2011 采用热释光元件测量瓦里安的 23 Ex 型加速器的患者平面 X 射线及中子泄露辐射率，M 区内 X 射线泄露辐射率范围 0.023%~0.028%，平均值为 0.025%；M 区外 X 射线泄露辐射率范围 0.005%~0.023%，平均值为 0.014%；赵新春等^[9]使用热释光元件沿用旧标准 GBZ 126—2002 的测量方法对 29 台医用电子加速器的相对泄漏辐射水平进行测量，其中距轨道 1 m 处的相对辐射泄漏率最大值为 0.032%，其值为 0.007%~0.032%，低于国家标准 0.05%。相比热释光元件测量泄漏辐射时需要退火，保存，数据处理中相关因子的选择，本次检测泄漏辐射水平使用的探头是灵敏体积 1 000 cc 的球形电离室，关闭多叶光栅情况下，检测到机房内杂散范围为 0.12~0.68 mGy。0°、90°、180°、270°附近的检测点，即靠近钨门边缘附近的检测点泄漏辐射剂量会略高于其他点。球形电离室的测量操作更为简

便，且得到的数据在满足标准要求更加精准。

加速器在实际临床实践前，必须通过各项性能的检测与验收评价^[10-13]。因为泄漏辐射水平是加速器防护性能的重要指标。泄露辐射产生的剂量是除了正常治疗人体靶组织外，放射剂量的重要来源之一。较高的辐射泄漏剂量会增加患者正常组织放射损伤的危险，进而影响患者的治疗效果与生存风险^[14-16]。

综上所述，通过检测型号为 LA-6B 1802 加速器的 M 区内外泄漏辐射水平和杂散并分析检测结果，该加速器泄露辐射水平满足国标 WS 674—2020 的要求。故该加速器的辐射防护性能指标都合格，能够满足临床试验及患者的实际治疗需要。

参 考 文 献

[1] IAEA. Radiation protection in the design of radiotherapy facilities: safety reports series No. 47[M]. Vienna: IAEA publications, 2006.

[2] GLASGOW GP. Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities[J]. Med Phys, 2006, 33(9): 3578.

[3] WS 674—2020, 医用电子直线加速器质量控制检测规范[S].

[4] GBZ 126—2011, 电子加速器放射治疗放射防护要求[S].

[5] IAEA. Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international code of practice. Technical reports series No. 277[M]. 2nd ed. Vienna: IAEA publications, 1997.

[6] 陈敬忠. 医用电子直线加速器治疗室内的杂散辐射剂量[J]. 核技术, 1996, 19(12): 750-753.

[7] 夏元福, 朱建国, 杨淑慧, 等. 医用电子加速器 M 区内 24 个点泄露辐射测量与分析[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(3): 261-264.

[8] 杨淑慧, 卢峰, 张琳, 等. 某 15MV 医用电子加速器 M 区内、外泄露辐射测量与分析[J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(2): 122-125.

[9] 赵新春, 周艳, 张会敏, 等. 广西医用电子加速器验收检测泄露辐射水平分析[J]. 中国医学装备, 2014, 11(2): 9-12.

[10] 林珠, 陈鑑, 黄宝添. Truebeam 直线加速器的辐射防护与性能检测[J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(1): 61-62.

[11] 马永忠, 娄云, 万玲, 等. 36 台医用加速器装置泄漏辐射水平测量与分析[J]. 中国职业医学, 2011, 38(3): 220-222.

[12] 张京战, 周开建, 赵智慧, 等. 河北省部分医用电子加速器性能检测结果与分析[J]. 中国辐射卫生, 2011, 20(2): 209-210.

[13] 陈军军, 苟于强, 吴敏, 等. 医用电子直线加速器辐射防护验收[J]. 职业与健康, 2010, 26(15): 1698-1701.

[14] 王燕, 孟庆勇. 低剂量辐射诱导适应性反应机制的研究进展[J]. 中国辐射卫生, 2013, 22(4): 509-512.

[15] 马建萍, 赵仁, 何剑莉, 等. 106 例宫颈癌放疗所致放射性损伤的临床分析[J]. 宁夏医学杂志, 2012, 34(3): 260-261.

[16] 刘发全. 辐射损伤与修复的研究近况[J]. 国外医学(放射医学核医学分册), 2000(4): 186-188.

(张咏 编辑)

• 11 •