

术中放疗加速器 Mobetron 的临床运用 测量及质量保证方法

沈文同 陈毅 张毅斌 赵胜光

上海交通大学医学院附属瑞金医院肿瘤放疗科, 上海市 200025

摘要 目的: 测量移动式术中放疗加速器 Mobetron, 获知它的电子线临床运用特性, 并获得质量保证方法。方法: 使用测量仪器包括三维水箱、剂量仪、0.6cc Farmer 电离室, 测量移动式术中放疗加速器 Mobetron 的临床运用数据。测量项目有各档能量电子线垂直于水模体表面的中心轴百分深度剂量和平行于水模体表面的射野离轴比、相对输出因子、每日质量保证(QA)数据。测量时使限光筒端面与水面相切, 标称源皮距为 50cm。结果: 各档能量电子线最大剂量深度随限光筒倾斜角度增加而变浅, 表面剂量随能量升高而增加, 并且比常规加速器更高。对 10cm 直径、0° 倾斜角的限光筒四档能量的最大剂量深度依次为 6、12、16、20mm; 有效治疗深度依次为 0.9、1.9、2.7、3.6cm; 输出因子随能量、限光筒直径的变化无明显规律; 有倾斜角的筒对称性和平坦度都较差; 四档能量质量保证每日 QA 数据输出量依次为 2.098、2.196、2.201、2.260Gy, 射线质依次为 1.390、1.648、1.078、1.181Gy。结论: 通过测量了解了 Mobetron 加速器的临床运用特性, 获得了临床使用和每日 QA 的数据, 为临床提供了质量保证的方法。

关键词 术中放疗 电子线 测量 质量保证

中图分类号: R815.2 文献标识码: A 文章编号: 1004 7585(2015) 05 0586 04

Measurement of the Clinical Use and Method of Quality Assurance for Mobetron Mobile Intra Operative Radiotherapy Accelerator

SHEN Wentong CHEN Yi ZHANG Yibin et al. Department of Tumor Radiation and Chemotherapy, Ruijin Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai City 200025

ABSTRACT Objective Measure the Mobetron mobile intra operative radiotherapy accelerator in order to find out its clinical characteristics of electron beam and acquire method of quality assurance. **Methods** Using measurement instruments including 3D water scanning tank, dosimeter, 0.6cc Farmer ionization chamber to measure the clinical characteristics data for Mobetron mobile intra operative radiotherapy accelerator. For every energy electron beam the measurement items were as followings: percentage depth dose perpendicular to the surface of the water phantom and beam profiles parallel to water phantom surface, relative output factors, daily QA data. During measurement the applicator end was placed to be tangent with water surface meanwhile the nominal source distance to water surface was 50cm. **Results** Every energy electron beam the maximum dose depth became shallow with applicator tilt angel increased, the skin dose became large when energy rised, as well as the skin dose for Mobetron was more higher than the regular accelerator. For a 10cm 0° applicator the Dmax depth in water were 6, 12, 16 and 20mm for the 4 energies respectively. The valid treatment depth were 0.9, 1.9, 2.7 and 3.6cm, respectively. Output factor along with the change of energy, the diameter of applicator had no obvious rule. For the beveled applicator the symmetry and flatness was all worse. For four energy of daily QA data the output were in turn 2.098, 2.196, 2.201, 2.260Gy, and the beam quality were 1.390, 1.648, 1.078, 1.181Gy. **Conclusion** Through measuring of machine the clinical characteristics of Mobetron are understood, the data of clinical use and daily QA are acquired, and the quality assurance method for clinical use is also provided.

KEY WORDS Radiotherapy Intra operative, Electron beam, Measurement, Quality assurance

术中放疗技术最早可追溯至 20 世纪 50 年代, 当时因技术限制未能推广。它治疗的时间很短, 剂量率很高, 有较高的表面剂量, 而瘤床后的正常组织所受的剂量很低。最近 20 年以来由于移动式术中放疗加速器的出现使得术中放疗又成为放疗中的一个热点, 欧美已将该技术应用于多种肿瘤的治疗并且疗效可观^[1]。笔者所在医院于 2010 年引进了美

国 IntraOp 公司的移动式术中放疗加速器 Mobetron, 现介绍一下它临床运用特性和每日质量保证的测量结果, 为其临床使用提供必要的数据和质量保证。

1 资料与方法

1.1 术中放疗加速器 Mobetron 的介绍 该加速器由美国 IntraOp 公司生产, 它由三部分组成: 控制

部分(加速器远程控制系统及 BEV 监控系统)、调制部分(加速器本地控制系统和电源系统)和治疗头(射线发生装置)。它使用了较高频率的 X 波段高频磁控管(10GHz)^[2],使得加速管的尺寸和重量较常规直线加速器的大大降低。整个治疗头集成到了机头里,其重量仅为 1 250kg,并且在机身下面安装了电动的三轮托架,在手术室里操作者通过控制驾驶盘就可以实现治疗头移来移去,方便手术中的摆位治疗。加速器配置有 4、6、9、12MeV 电子线,有高低两种剂量率模式,常用高剂量率 1 000MU/min,标称源皮距为 50cm。射束正下方装有射线阻挡装置(Beam Stopper)使射线的防护降低到一个很低的水平, Mobetron 不需特别屏蔽就可在常规手术室使用^[3]。加速器配有 3~10cm(间隔 0.5cm)直径,端面倾角分别为 0°、15°、30°的圆形限光筒,一套专用的 QA 限光筒及适配器,另还配有厚度为 0.5cm 和 1.0cm 的组织补偿器,消毒隔离帽等附件。

Mobetron 还有一套特殊的射线对位装置即所谓激光软到对位装置,用它来实现射束中心线与限光筒中心线的对齐。实际治疗时先由医生在瘤床表面置放限光筒,然后由技术员控制手控盒来实现激光软到对位,限光筒对好后再在控制部分上出束治疗。在照射前医生还可以通过控制部分的 BEV 监视系统监控靶区是否在野内以及重要器官是否已移出限光筒^[4]。

1.2 加速器临床运用及质量保证测量 测量仪器有三维水箱及半导体探头、IBA 剂量仪 DOSE I、0.6cc Farmer 电离室(FC65 P)。测量项目有垂直

于水模体表面的中心轴百分深度剂量和平行于水模体表面的射野离轴比、相对输出因子、每日质量保证(QA)数据。测量时使限光筒端面与水面相切,标称源皮距为 50cm。

2 结果

2.1 百分深度剂量

2.1.1 参考深度:取最大射野 Φ10cm 最大剂量深度 Dm 作为该能量不同限光筒直径以及不同倾斜角的参考深度(表 1)。从表中看出,倾斜角度越大时, Dm 变小即最大剂量深度变浅。

表 1 不同能量不同倾斜角最大限光筒的最大剂量深度 Dm 分布(mm)

能量	0°	15°	30°
4MeV	6	4	4
6MeV	12	10	8
9MeV	16	15	12
12MeV	20	17	16

2.1.2 表面剂量:表 2 列出了不同能量和不同限光筒的表面剂量。从表中可看出:(1)表面剂量随能量升高而增加,这一点与常规外照射电子线类似;(2)除 4MeV 外相同能量相同直径的限光筒端面角度为 15°时电子束表面剂量最大,4MeV 时从 0°逐渐增加,到 30°时为最大;(3)除 4MeV 外同一能量不同限光筒直径之间限光筒直径 5cm 为最低点,4MeV 时随限光筒直径增加而增加。

2.1.3 有效治疗深度 R85:即治疗剂量规定值(85%Dm)处的深度^[5];如表 3 所示,有效治疗深度随能量增加而增加,随端面倾斜角增加而减少,同时还受到限光筒尺寸的影响。

表 2 不同能量不同直径限光筒的表面剂量分布(%)

能量	直径 3cm			直径 5cm			直径 7cm			直径 10cm		
	0°	15°	30°	0°	15°	30°	0°	15°	30°	0°	15°	30°
4MeV	74.9	78.9	81.7	75.9	80.9	82.0	76.1	81.6	82.5	77.4	82.5	83.3
6MeV	82.2	86.1	85.6	80.5	82.7	81.9	81.1	83.3	82.8	83.4	85.5	84.2
9MeV	87.3	89.3	88.8	84.6	85.4	84.2	86.1	86.3	84.8	88.5	89.0	87.0
12MeV	90.5	91.4	90.0	89.9	89.8	88.0	91.6	91.3	89.0	92.3	92.3	90.1

表 3 不同能量不同直径限光筒的有效治疗深度 R85(cm)

能量	直径 3cm			直径 5cm			直径 7cm			直径 10cm		
	0°	15°	30°	0°	15°	30°	0°	15°	30°	0°	15°	30°
4MeV	1.0	0.9	0.7	1.1	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7
6MeV	1.8	1.6	1.3	2.0	1.8	1.5	1.9	1.8	1.4	1.9	1.8	1.5
9MeV	2.4	1.9	1.5	2.8	2.4	2.1	2.7	2.4	2.1	2.7	2.5	2.1
12MeV	3.0	2.1	1.8	3.7	3.2	2.6	3.7	3.4	2.9	3.6	3.5	2.9

2.2 相对输出因子 输出因子的测量深度与相应能量的百分深度剂量参考深度一致,以 0°倾角的 10cm 限光筒的测量值归一来计算相对输出因子(表 4)。从表中可看出,输出因子并无明显的变化规律,能量增大输出因子可大可小,同样限光筒直径增大,输出因子也可大可小。

2.3 对称性和平坦度 用三维水箱扫描了不同能量的各种直径、倾斜角的限光筒,扫描结果可概括为:筒的直径>5cm 且倾斜角为 0°的对称性在 3%

以下,平坦度在 6% 以下,这与常规加速器相似;倾斜角为 0°且直径≤5cm,或者有倾斜角的筒对称性和平坦度都较差。

2.4 每日 QA 数据 Mobetron 加速器有其关于 QA 的独特配置,就是每挡电子线能量配有两个适配器模块,一个测量点深度为对应最大剂量深度 Dm 的模块,另一个为 50%剂量深度 D50,还专门配备了一个专用 QA 限光筒,当测量输出量的时候,用最大深度的模块,当测量射线质的时候,就用 50%

表4 不同能量不同直径限光筒的输出因子

能量	直径 3cm			直径 5cm			直径 10cm		
	0°	15°	30°	0°	15°	30°	0°	15°	30°
4MeV	0.648	0.647	0.596	0.967	0.962	0.909	1.000	0.987	0.956
6MeV	0.838	0.823	0.672	1.078	1.070	1.011	1.000	1.006	0.978
9MeV	0.973	0.951	0.691	1.124	1.120	1.088	1.000	1.012	1.013
12MeV	0.756	0.729	0.697	1.167	1.173	1.129	1.000	1.010	1.016

的模块。因此以上剂量曲线测量完后,就按照国家剂量测定规程校正了每个能量的输出绝对剂量。绝对剂量标定完后按照以上机器专用配置立即采集了每日 QA 的参考数据如表 5 所示,用于以后每次治疗前的剂量 QA 基准,表中数据每次射线跳数为 200MU。

表5 每日 QA 数据

能量	输出量 Dm(Gy)	射线质 D50(Gy)	比值
4MeV	2.098	1.390	0.663
6MeV	2.196	1.648	0.750
9MeV	2.201	1.078	0.490
12MeV	2.260	1.181	0.523

3 讨论

Mobetron 加速器是美国 IntraOp 公司生产的专门用于术中放疗的可移动式电子直线加速器,它只产生电子线,有许多自身的特点,在测量中遇到了一些问题:(1)没有等中心也没有射野中心线的指示包括激光等中心线的指示。因此为了使测量电离室置于射野中心,我们想了个方法就是将最小直径的倾斜角为 0° 的限光筒装上机头,然后让其下降直到距水面 1cm 左右,使探头对准限光筒的中心,再使探头中心位于水面即深度为零的地方,把它设为扫描的原点,由于最小限光筒的直径为 3cm,这样做误差就很小。(2)在测量有倾斜角度的限光筒时,必须使其斜面与水面相切,而此时机架必然要旋转,势必会导致机架与三维水箱箱壁碰撞,只有使水箱里的水位很高,才能由于水箱有一定的宽度避免这个问题,实际我们确实是加了很多水。(3)由于机器自带射线阻挡器,位于射线正下方,测量时无法将水箱置于机头下面,经过计算几何距离后特地请医院后勤处制作了一张木头的桌子,它非常结实,将其架于射线阻挡器上方,然后再将水箱置于其上开始测量。

第一项百分深度剂量的测量:(1)参考深度的测量结果即倾斜角度越大时, Dm 变小,分析原因这是由于线束斜入射导致最大电离深度处旁散射份额增加,使最大电离峰值向模体表面移动,电子线穿透能力相对降低的原因造成的^[6]。(2)表面剂量的测量结果即表面剂量随能量升高而增加,这是由于电子束易于散射,造成表面剂量随能量增加而增加^[5];不过 Mobetron 加速器的表面剂量比常规加速器的更高,可以用以下原因来解释:常规加速器的偏转磁铁在使束流偏转时,同时对电子束的能谱进行选择,使得束流中低能部分减少,而 Mobetron 束流不需要偏转;另外 Mobetron 限光筒的设计使机头中射线散射更大,就会增加低能量电子线的比例^[7],最终导致表面剂量升高。总之 Mobetron 的表面剂量有

其自身的特点,选用治疗参数时需考虑这个因素。(3)有效治疗深度 R85 的测量,结果表明治疗时需根据肿瘤的深度合理选择射线能量、限光筒大小、倾斜角度。

第二项输出因子的测量结果,分析原因主要是电子束有一定的射程,易于散射,再加上加速器本身设计的限束系统等的限制,使得输出因子随能量、照射野的变化规律变得复杂^[9],同时射野对输出因子的影响在小野时会非常显著。本机测量的结果也是小野的因子明显偏小,因此对小野的数据要足够重视并精确测量^[6]。

第三项射野对称性和平坦度的测量,结果表明有倾斜角的限光筒对称性和平坦度都较差,究其原因是在测量时必须使限光筒的端面与水面相切,也就是射线的斜入射导致指标变差。因此不能以有倾斜角的限光筒来评价相应能量的对称性和平坦度指标,必须以 0° 的限光筒测量结果作为参考。

第四项每日 QA 数据采集,是 Mobetron 投入临床使用时保证机器的射线质量和剂量准确的关键步骤,是重要的质量保证方法。国际上也有相应的报告建议这样做,比如美国 AAPM TG 72 号报给建议每天使用前检查术中放疗射线的射线质和输出量,每月检测射野平坦度和对称性,因此质量保证工作除了每日 QA,还必须进行月 QA。月 QA 的方法可使用一些平面剂量分布检测设备比如半导体阵列 Profiler(美国 Sun Nuclear)每月 1 次来检查射野的平坦度和对称性,检查的参考标准为前述三维水箱的测量结果。

另外在 QA 时如发现问题,比如某一指标超标,应停止临床使用,联系维修工程师一起查找原因,调整机器参数后重新测量(必要时用三维水箱)直至指标符合标准。

总之通过以上项目的测量,了解了 Mobetron 加速器的临床运用特性,获得了临床使用和每日 QA 数据,并为临床提供了质量保证的方法。

参 考 文 献

- [1] Calvo FA, Meirino RM, Orecchia R. Intraoperative radiation therapy[J]. Critical Reviews in Oncology Hematology, 2006, 59(2): 106-127.
- [2] Mills MD, Fajardo LC, Wilson DL, et al. Commissioning of a mobile electron accelerator for intraoperative radiotherapy[J]. J Appl Clin Med Phys. 2001, 2(3): 121-130.
- [3] Beddar AS. Stability of a mobile electron linear accelerator system for intraoperative radiation therapy[J]. Medical Physics. (下转第 662 页)

呕吐消失时间、止泻时间及总病程。

1.4 统计学方法 应用SPSS17.0统计学软件包分析,计量资料采用 t 检验;计数资料采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 治疗疗效比较结果 经治疗后,观察组患儿总有效率为95.12%,对照组患儿总有效率为80.49%,观察组总有效率高于对照组,组间比较差异有统计学意义($\chi^2 = 4.100$, $P < 0.05$)。见表1。

表1 两组患儿治疗疗效比较[n(%)]

组别	n	显效	有效	无效	总有效率
对照组	41	19(46.34)	14(34.15)	8(19.51)	33(80.49)
观察组	41	26(63.41)	13(31.71)	2(4.88)	39(95.12)

2.2 相关指标比较结果 观察组患儿的退热时间、呕吐消失时间、止泻时间及总病程均短于对照组,各项组间比较差异有显著统计学意义($P < 0.01$)。见表2。

表2 两组患儿相关指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	退热时间(h)	呕吐消失时间(d)	止泻时间(d)	总病程(d)
对照组	41	31.9±8.7	3.0±0.7	5.3±0.8	7.2±3.3
观察组	41	25.3±6.8	2.1±0.4	4.1±0.5	5.5±2.1
t		3.827 2	7.147 9	8.144 8	2.782 9
P		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

轮状病毒性肠炎是指轮状病毒引发的急性消化道疾病,多发生于3岁以下婴幼儿,以6个月~2岁婴幼儿的感染最高。相关文献报道指出^[2],轮状病毒感染不仅会导致腹泻、呕吐、发热、脱水、电解质紊乱和酸中毒,也会导致神经系统、呼吸道、心肝脏器等损害。

轮状病毒性肠炎的发病机理为入侵病毒进入肠道后于小肠黏膜的刷状缘黏附,然后进入肠黏膜上皮细胞中进行复制,从而导致其变性空泡最后坏死,坏死细胞脱落影响小肠中电解质的吸收能力,从而导致腹泻,同时肠黏膜上皮细胞受损也会降低双糖酶活性,致使肠对葡萄糖的吸收能力下降,糖类物质无法完全消化而滞留于肠腔,增加肠渗透液浓度而使腹泻更加严重,腹泻会改变肠道内环境,破坏肠道正

常菌群生存环境,致使菌群紊乱,降低厌氧菌数量,使肠道生物保护屏障受到破坏,加重腹泻和感染^[2]。

微生态制剂是使用益生菌或者其促进物发挥调节或维持微生态平衡、增进宿主健康和防止疾病目的的制剂。微生态制剂作为儿科疾病治疗主要药物主要用于腹泻和功能性胃肠道疾病,作为辅助药物可用于肝胆疾病、新生儿坏死性小肠结肠炎、湿疹、幽门螺杆菌感染等疾病^[3]。双歧杆菌乳杆菌三联活菌片中包括双歧杆菌、保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌,每片双歧杆菌乳杆菌三联活菌片活菌数量 $> 0.5 \times 10^7$,其可迅速在大小肠中定植,从而调整肠道微生态平衡。婴幼儿肠道中最主要的革兰氏阳性厌氧菌为双歧杆菌,因而双歧杆菌与乳杆菌进入肠道后共同构成肠道的生物屏障,阻止病原菌的入侵,同时还可促进吸收肠道物质^[4,5]。本文结果显示:在蒙脱石散治疗的基础上使用双歧杆菌乳杆菌三联活菌片可提高治疗疗效,观察组总有效率显著高于对照组($P < 0.05$),同时观察组退热时间、呕吐消失时间、止泻时间及总病程均短于对照组,各项组间比较差异有显著统计学意义($P < 0.01$)。由此可见,双歧杆菌乳杆菌三联活菌片用于婴幼儿轮状病毒性肠炎治疗有助于改善临床症状,提高疗效,应在临床中推广应用。

参考文献

- [1] 刘淑岚. 双歧杆菌四联活菌片联合蒙脱石散对小儿轮状病毒性肠炎的治疗作用观察[J]. 中国实用医药, 2013, 8(23): 9-10.
- [2] 梁小连. 双歧杆菌活菌胶囊联合思密达治疗轮状病毒性肠炎的疗效观察[J]. 中国现代医生, 2013, 51(34): 71-72.
- [3] 郑跃杰, 黄志华, 刘作义. 微生态制剂儿科应用专家共识[J]. 中国实用儿科杂志, 2011, 26(1): 20-24.
- [4] 吴继文. 双歧杆菌乳杆菌三联活菌片治疗婴幼儿抗生素相关性腹泻临床疗效[J]. 临床合理用药, 2012, 5(3A): 75-76.
- [5] 陈碧香. 双歧杆菌乳杆菌三联活菌片联合蒙脱石散治疗小儿腹泻的临床疗效观察[J]. 实用心脑血管病杂志, 2014, 22(4): 104-105.

收稿日期 2014 08 23

(编辑 落落)

(上接第588页)

2005, 32(10): 3128-3131.

- [4] Beddar AS, Domanovic MA, Ellis RJ, et al. Using intraoperative radiation therapy a case study [J]. AORN Journal, 2003, 77(2): 412-417.
- [5] 张红志. 高能电子束野剂量学[M]//胡逸民, 主编. 肿瘤放射物理学. 北京: 原子能出版社, 1999: 229-274.
- [6] 冯宁远. 电子线剂量学[M]//冯宁远, 谢虎臣, 史荣, 等, 主编. 实用放射治疗物理学. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学

联合出版社, 1998: 215-238.

- [7] Beddar AS, Biggs PJ, Chang S, et al. Intraoperative radiation therapy using mobile electron linear accelerators. Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 72 [J]. Medical Physics, 2006, 33(5): 1476-1489.

(本文通讯作者: 赵胜光)

收稿日期 2014 10 29

(编辑 雅文)

◎致作者◎

为了加快编辑、排版的速度,缩短发排周期,欢迎作者网上投稿。本刊E-mail: yxz601@188.com。来稿时请注明作者的通讯地址、联系电话(单位电话、手机)及E-mail。本刊编辑部电话: 0311-87050687, 0311-87306708。