

Arc CHECK 在乳腺癌螺旋断层放疗计划剂量验证中的应用

张晋建, 黎 静, 文 婷, 叶柳清, 李志强, 侯友贤, 贾峻嵩, 陈 静, 王 彦, 钟 毓
广州军区广州总医院螺旋断层放疗中心, 广东 广州 510010

【摘 要】目的: 探讨 Arc CHECK 旋转调强剂量验证系统在乳腺癌螺旋断层放疗(Helical Tomotherapy, HT)计划剂量验证中的应用可行性。方法: 将 20 例乳腺癌 HT 计划移植到 Arc CHECK 系统进行调强放射治疗(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)计划剂量验证, 得到的验证结果与 HT 计划在其模体中计算获得的平面剂量分布进行比较。剂量验证结果分析采用 Gamma 分析法, 并采用多种标准进行评估。结果: 20 例乳腺癌病例在阈值水平(Threshold, TH)为 10%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率超过 90% 的病例数分别占总例数的 40%、55%、80%; TH 水平为 15%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率超过 90% 的比例分别为 40%、55%、85%, TH 水平为 20%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率超过 90% 的比例分别为 40%、60%、85%。当评估标准为 5%/5 mm 时, γ 通过率超过 90% 的比例为 100%。靶区剂量均匀性指数(HI), 瘤床的同步追量, 靶区边界内缩至皮缘下及淋巴结情况对 γ 通过率无影响($P > 0.05$)。模体中心偏离 x 负方向大于 4 cm 的 11 例病例中, 仅有 2 例验证结果达到 3%/3 mm (TH=10), 比例为 18%; 模体中心偏离 x 正方向大于 4 cm 的 9 例病例中, 有 6 例验证结果达到 3%/3 mm (TH=10), 比例为 66.7%。结论: Arc CHECK 旋转调强验证系统可用于乳腺癌 HT 计划剂量验证, 有效地简化了 HT 剂量验证的流程, 但验证模体中心与机器等中心偏移关系对验证通过率的影响仍需配合第三方验证系统作进一步研究。

【关键词】 乳腺癌; 螺旋断层放射治疗; 旋转调强剂量验证; Arc CHECK

【DOI 编码】 doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.02.021

【中图分类号】 R815

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)02-0244-04

Irradiation Dose Verification by Arc CHECK on Breast Therapy Cancer Tomotherapy

ZHANG Jin-jian, LI Jing, WEN Ting, YE Liu-qing, LI Zhi-qiang, HOU You-xian, JIA Jun-song, CHEN Jing, WANG Yan, ZHONG Yu

Department of Helical Tomotherapy Center, PLA General Hospital of Guangzhou Command, Guangzhou 510010, China

Abstract: Objective To discuss the clinical application of Arc CHECK on the breast irradiation dose verification using Helical Tomotherapy. Methods A total of 20 patients with breast tumor were selected, whose irradiation plan were transplant to the Arc check phantom for the IMRT dose verification. The measured dose distributed on the corresponding plans were compared with those calculated by the treatment planning system (TPS). Based on several different Gamma criteria, the Gamma analysis method was utilized to evaluate the dose verification. Results The γ pass rate of 20 breast irradiation dose verification with Arc check in threshold level (threshold, TH) of 10%, the γ pass rate with criteria 3%/3 mm, 3%/4 mm, 3%/5 mm were 40% (case of the total number), 55%, 80%, respectively. Threshold level (threshold, TH) of 15%, the γ pass rate with criteria 3%/3 mm, 3%/4 mm, 3%/5 mm were 40% (case of the total number), 55%, 85%, respectively. Threshold level of 10%, the γ pass rate with criteria 3%/3mm, 3%/4 mm, 3%/5 mm were 40%, 60%, 85%, respectively. Threshold level of 10%, the γ pass rate with criteria 5%/5 mm, all plans were reached 90%. Target dose homogeneity index (HI), synchronous integrated boost (SIB), target area within the boundaries to skin edge and lymph nodes has no effect on γ rate ($P > 0.05$). Phantom center deviates from the negative direction is greater than 4 cm in 11 cases, only two cases to verify the results reached 3%/3 mm (TH=10), the proportion was 18%; phantom center deviation is greater than the positive direction 4 cm in 9 cases, there are six cases of the verification result reach 3%/3 mm (TH=10), the ratio was 66.7%. Conclusion Arc check rotating intensity-modulated authentication system can be used

【收稿日期】 2015-01-07

【基金项目】 广东省社会发展领域科技计划项目(2013B021800051)

【作者简介】 张晋建(1988-), 男, 物理师。E-mail: phy_jjzhang@163.com.

【通信作者】 黎 静(1966-), 男, 主任医师, 教授。E-mail: jameslijing@163.com。

for breast cancer HT planned dose verification and effectively simplify the procedure of HT dose verification, but the phantom center and the machine center offset to the influence of the pass rate still need to cooperate with the third party authentication system for further study.

Key words: breast tumor; helical tomotherapy; IMRT irradiation dose verification; Arc CHECK

前言

对于行乳腺癌保乳术及乳腺癌根治术后存在高危风险因素的,放射治疗是术后治疗的重要组成部分,文献报道每减少 4 例局部复发就可以转化为 1 例生存获益^[1]。螺旋断层放射治疗设备(HT)是一种全新的影像引导调强放疗设备^[2-3],文献资料表明,HT 技术用于乳腺癌放疗可以实现陡峭的剂量梯度和治疗指标的改善,在提高计划靶体积(PTV)剂量的同时减少危及器官(OAR)的照射剂量^[4]。相比普通直线加速器,HT 在治疗方式上有很多不同,其能在 360°范围内全角度实施切片式照射,照射过程中,机架旋转,床运动,加速器脉冲和二元气动多叶准直器保持同步。对于这样一种新型的调强放疗技术,建立规范的调强放疗计划质量保证(Delivery Quality Assurance, DQA)体系,保证调强放疗的安全可靠性尤显重要。

目前乳腺癌 HT 放疗的 DQA 通常采用厂家提供的专用模体 Cheese Phantom(图 1)配合电离室进行计划剂量验证。具体方法是验证胶片夹在圆柱形模体 Cheese Phanto(Tomotherapy, 美国)中间,并将 Farmer 型电离室放置在模体中心,用胶片验证相对剂量和用电离室同时测量点绝对剂量^[5]。但胶片验证的可靠性及稳定性受诸多因素的影响,如胶片密度校正曲线、药水质量稳定性、洗片机的稳定性等,验证流程也较为繁琐,需耗费大量时间和人力。半导体探测器阵列的应用为简化 DQA 流程、提高精度提供了可能性^[6-7]。Arc CHECK 是随半导体技术应运而生的一种三维验证设备(图 2)。其外形为圆柱体,圆柱形矩阵从射线角度显示整个旋转照射的剂量分布,可以测量包括合成剂量与任意弧段剂量,更多的数据提供更全面的剂量验证分析。其应用于 HT 的 DQA 已经在多篇文献中有过报道,在对头颈部肿瘤、腹部肿瘤方面已经证明了有很好的应用前景^[8-9]。本研究使用 Arc

CHECK 剂量验证系统对 20 例乳腺癌患者的 DAQ 计划进行剂量验证,探讨 Arc CHECK 剂量验证系统用于乳腺癌 DQA 的可靠性和准确性。

1 资料与方法

1.1 病例选择

收集我院 2013 年 10 月到 2014 年 6 月接受 HT 放疗的乳腺癌患者 20 例,年龄 28 岁~68 岁,中位年龄 49 岁。其中保乳术后放疗 10 例,根治性术后放疗 10 例;左侧乳腺 11 例,右侧乳腺 9 例;PTV 外边界内缩至皮缘下 10 例,PTV 外边界在皮缘处 10 例;靶区包含淋巴结 13 例,不含淋巴结 7 例;靶区剂量为 46 Gy~50 Gy,5 例患者可见肿瘤影像区域追加至 60 Gy。

1.2 定位、靶区勾画及 DQA 计划设计

患者仰卧位,低温热塑膜配合体板固定体位。行增强 CT 定位扫描,扫描层厚为 3 mm,扫描得到的定位图像传输到 MIM 靶区勾画系统上。在医生和物理师勾画靶区、危及器官及剂量限制区域后传至 HT 计划系统上完成 HT 计划设计。照射野宽度(FW)选用 2.5 cm,螺距值(Pitch)选用 0.287,调制因子(MF)为 2.0~2.9,剂量计算网格选用“Normal”,即 0.546×0.546。设计好的 HT 计划移植到 Arc CHECK 模体完成剂量验证计划,并在 HT 上执行。

1.3 材料与设备

Arc CHECK 剂量验证系统(Sun nuclear 公司,美国,图 2),有效测量尺寸为 28 cm×21 cm,由 1386 个半导体二极管组成,半导体大小为 0.8 mm×0.8 mm,间距为 1 cm。乳腺癌治疗计划及剂量验证计划由 Tomotherapy Hi·Art 4.04 计划系统完成。

1.4 Arc CHECK 剂量验证

在已经进行矩阵校准和绝对剂量校准的基础上,为了确保测量结果的准确性,在连接好 Arc CHECK 后需要先进行本底校准。校准完成后将 Arc CHECK 在螺旋断层放疗机的治疗床上按照剂量验证计划中



图 1 Cheese Phantom 验证模体

Fig.1 Cheese Phantom



图 2 Arc CHECK 验证系统

Fig.2 Arc CHECK System

建立的激光坐标系进行摆位 (即按红激光灯对 Arc CHECK 的中心横轴和纵轴进行摆位), 然后对 Arc CHECK 进行兆伏级 CT(MVCT)扫描以保证其位置与验证计划中的一致。摆位完成后出束照射并保存验证结果。将验证的体剂量分布与从计划系统中导出的验证计划体剂量分布进行比较, 得到点剂量偏差值与体剂量的 γ 通过率(图 3~ 图 6)。

1.5 统计方法

采用 SPSS19.0 软件对验证系统的验证结果及其影响因素进行统计分析。采用 Pearson 相关分析和单因素 One-Way ANVA 对影响验证通过率的相关因素进行统计学分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 剂量验证结果

阈值水平 (TH) 为 10%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率范围依次为 70.6%~95.3%, 76.9%~98%, 81.6%~99%; TH 水平为 15%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率范围依次为 72.1%~95.1%, 78.4%~97.8%, 82.8%~98.9%, TH 水平为 20%, 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 的 γ 通过率范围依次为 73%~94.8%, 79%~97.8%, 83.7%~99.1%。当评估标准为 5%/5 mm 时, γ 通过率超过 90% 的比例为 100%。

2.2 影响 DQA 通过率的相关因素分析结果

(1) 对靶区剂量均匀性指数 (HI), 瘤床的同步追量, 靶区边界内缩至皮缘下及淋巴结等 4 个因素进行

Pearson 相关分析, P 值结果依次为 0.218、0.193、0.391、0.126, 均大于 0.05, 统计学差异无意义。

(2) 对模体进行摆位时, 20 例验证计划的模体等中心偏移 X 轴中心位置 4.5 cm 以上。11 例右侧乳腺 (模体中心偏离 x 负方向大于 4.5 cm) 病例中, 仅有 2 例验证结果达到 3%/3 mm (TH=10) 的标准, 比例为 18%, γ 通过率为 (81.3±7.4)%; 9 例左侧乳腺 (模体中心偏离 x 正方向大于 4.5 cm) 病例中, 有 6 例验证结果达到 3%/3 mm (TH=10) 的标准, 比例为 66.7%, γ 通过率为 (91.37±5.3)%。模体中心偏移机器等中心两侧时通过率呈现出了较大差异, 对其进行单因素 One-Way ANVA 进行分析。结果表明: 模体中心偏离 x 负方向大于 4.5 cm 和模体中心偏离 x 正方向大于 4.5 cm 的 γ 通过率的差异具有统计学意义 ($P = 0.0039$)

3 讨论

ICRU 83 号报告建议, 可将治疗计划的接受标准放宽至 5%/5 mm。20 例乳腺癌 DQA 中, DQA 的 γ 通过率 (TH=10) 为 90%~99.9%, 平均值与平均值标准差为 (96.9±3.3)%, 通过率超过 90%, 但当标准放至 3%/3 mm、3%/4 mm、3%/5 mm 时, γ 通过率 (TH=10) 比例仅为 40%、55%、80%, γ 平均值与平均值标准差依次为 (85.8±8.2)%、(90.4±6.7)%、(93.4±5.6)%, 通过率较低, 与文献报道的 Arc CHECK 用于验证 HT 计划 DQA 结果有较大差距^[10]。因此, 本研究对区别于其

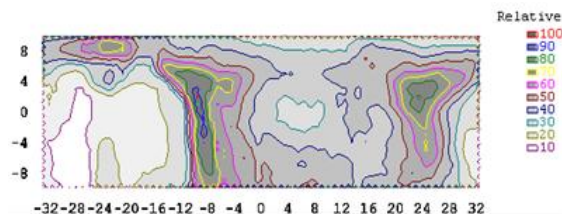


图 3 实际测量剂量分布图

Fig.3 Dose Distribution of Actual Measurement

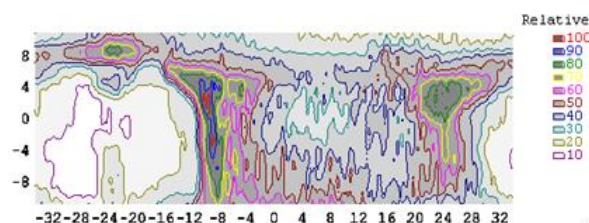


图 4 DQA 计划剂量分布图

Fig.4 Dose Distribution of DQA

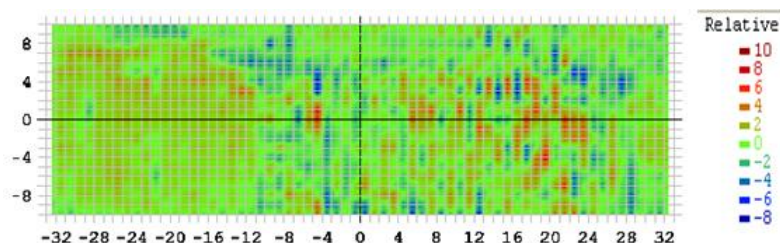


图 5 实测剂量与 DQA 计划剂量比较

Fig.5 Comparison of Dose Distribution Between Actual Measurement and DQA Plan

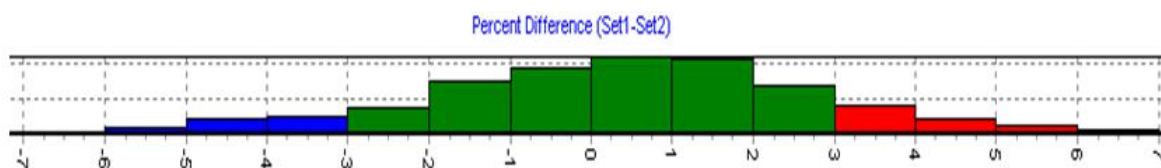


图 6 实测剂量与 DQA 计划剂量偏差分布图

Fig.6 Scatter Diagram Distribution Between Actual Measurement and DQA plan

他部位肿瘤的相关因素进行分析, 如皮肤表面剂量, 淋巴结情况, 对瘤床的局部追量照射, 以及乳腺偏移机架等中心的位置、TH 值的影响等。统计发现, 前面三个因素对验证结果无统计学差异, 该研究结果与文献报道是一致的^[11]。对比鼻咽癌放疗, 乳腺癌的剂量梯度变化较平滑, 淋巴结情况也比鼻咽癌简单, 但鼻咽癌计划的剂量验证通过率要比乳腺癌高。

影响 γ 通过率的相关因素有 TH 阈值的选择和模体中心在 X 方向偏移机器等中心的位置。从统计数据所得, TH 值的选取可以提高 DQA 的 γ 通过率。以 3%/3 mm 为例, TH 为 10、15、20 时, γ 通过率的平均值与均值标准差依次为 (85.8±8.2)%、(85.9±7.3)%、(86.7±7.0)%, 但差异无统计学意义。HT 计划系统和 DQA 计划系统提供了 3 种剂量计算网格, 分别“Course”=1.092×1.092、“Normal”=0.546×0.546、“Fine”=0.273×0.273。在患者治疗计划和 DQA 计划, 在常规情况下均选用 Normal 计算栅格。有研究表明: 采用 Gamma 分析时, 相应间隔应不超过吻合距离的 1/3, 以确保在剂量梯度较大区域的 γ 值计算的精确性^[12]。选用“Normal”的计算栅格超过了此前设定的 3 mm 的吻合距离, 因此, γ 通过率受到 TH 因素的影响。若选情况用“Fine”的计算栅格, 可以减少 TH 造成的影响。尽管 Arc CHECK 探测器阵列空间分辨率理论上无法达到胶片的精度, 但对剂量梯度较大的区域而言, 这种高分辨率的物理结构已经能够较好地评估剂量分布^[13-14]。

影响 γ 通过率的另一个因素是模体中心在 X 方向偏移机器等中心的位置, 模体中心偏离 X 负方向 4.5 cm 时, γ 通过率(3%/3 mm, TH=10)的均值与标准差为 (81.3±7.4)%, 而模体中心偏向 X 轴正方向时 γ 通过率为 (91.37±5.3)%, 呈现出明显的差异性, 造成该差异的原因可能有两方面: 一方面可能与 HT 出束射线有关, 剂量剖面图并不是对称的图像, 造成了机器等中心左右两侧的剂量分布与实际剂量产生了差别。另一种原因是 Arc CHECK 模体的方向依赖性, 但进行本研究之前已经对模体进行了矩阵和绝对剂量校准, Arc CHECK 模体也是开放式的, 故这种可能性较小, 笔者将配合第三方软件作进一步研究。

【参考文献】

[1] Darby S, McGale P, Correa C. Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG). Effect of radiotherapy after breast-conserving surgery on 10-year recurrence and 15-year breast cancer death: meta-analysis of individual patient data for 10, 801 women in 17 ran-

omised trials[J]. Lancet, 2011, 378(9804): 1707-1716.

[2] 徐寿平, 王连元, 戴相昆, 等. 螺旋断层放疗系统原理及其应用[J]. 医疗卫生装备, 2008, (12): 100-102.

Xu SP, Wang LY, Dai XK, et al. Theory and application of helical tomotherapy system[J]. Medical Equipment of China, 2008, (12): 100-102.

[3] 魏继楼, 王若雨. 螺旋断层放射治疗临床应用进展[J]. 实用医学杂志, 2013 29(1): 15-17.

[4] Mackie T, Holmes T, Swerdloff S, et al. Tomotherapy: a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy[J]. Med Phys, 1993, 20(2): 1709-1720.

[5] 徐寿平, 邓小武, 戴相昆. 螺旋断层放疗系统调强放射治疗验证[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17 (5): 395-397.

Xu SP, Deng XW, Dai XK. Dose verification of intensity modulated radiation therapy delivery for helical tomotherapy[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(5): 395-397.

[6] 陈开强, 柏朋刚, 张秀春, 等. 鼻咽癌调强放疗剂量验证的探讨[J]. 中国医疗设备, 2010, (2): 16-18.

Chen KQ, Bai PG, Zhang XC, et al. Discuss the IMRT verification of NPC[J]. Medical Equipment of China, 2010, (2): 16-18.

[7] 时勇, 张芬, 张开贤, 等. 利用二维电离室矩阵进行调强放疗计划剂量验证的探讨[J]. 中国医疗设备, 2014, (9): 120-121.

Shi Y, Zhang F, Zhang KX, et al. Discussion of 2 dimension dose verification system on the IMRT DQA[J]. Medical Equipment of China, 2014, (9): 120-121.

[8] 张俊俊, 邱小平, 李奇欣, 等. ArcCheck 系统在鼻咽癌容积旋转调强剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(5): 5136-5138.

Zhang JJ, Qiu XP, Li QX, et al. Application of ArcCheck system on VMAT therapy of NPC[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(5): 5136-5138.

[9] Herzen J, Todorovic M, Cremers F. Dosimetric evaluation of a 2D pixel ionization chamber for implementation in clinical routine [J]. Phys Med Biol, 2007, (04): 1197-1208.

[10] 吴伟章, 朱夫海, 王勇, 等. 旋转照射剂量测量仪(ArcCHECK)在螺旋断层放疗计划剂量验证中的应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2014, 27(1): 20-23.

Wu WZ, Zhu FH, Wang Y, et al. Application of ArcCHECK on the dose verification with tomotherapy[J]. Cancer Prevent and Treatment, 2014, 27(1): 20-23.

[11] Low DA, Harms WB, Mutic S. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions[J]. Med Phys, 1998, (5): 656-661.

[12] Buonamici FB, Compagnucci A, Marrazzo L. An intercomparison between film dosimetry and diode matrix for IMRT quality assurance [J]. Med Phys, 2007, (4): 1372-1379.

[13] Nelms BE, Simon JA. A survey on planar IMRT QA analysis[J]. J Appl Clin Med Phys, 2007, 8(3): 2448.

[14] Neilson C, Klein M, Barnett R, et al. Delivery quality assurance with ArcCHECK [J]. Med Dosim, 2013, 38(1): 77-80.