

Monaco治疗计划系统的剂量学性能测试验证

郭跃信,王海洋,马阳光,贾飞,刘乐乐,王芳娜

郑州大学第一附属医院放射治疗部,河南 郑州 450052

【摘要】目的:对Monaco治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)进行临床使用前的剂量学性能测试,验证TPS不同类型射野计划计算剂量与计划执行时加速器的实际递送剂量间的差异是否符合标准。**方法:**所用设备为医科达公司Axesse直线加速器,配置Agility型多叶光栅;Monaco TPS版本号5.0,剂量计算模型为Monte Carlo;IBA公司Dose 1剂量仪、0.6 cc电离室和Matrixx电离室矩阵。依据IAEA 430号和AAPM TG-53号报告、科室设备和验证工具,从医科达公司网站下载ExpressQA Plan测试包,其中的测试例涵盖规则野、不规则野和模拟病人头颈部肿瘤调强野。在Monaco TPS系统中分别调用测试例,将计划分别移植到模体上,创建验证计划,将计算验证计划所得剂量分布输出到Matrixx软件OmniPro I'mRT,将计划计算剂量与Matrixx实际所测剂量进行比对和分析。剂量验证通过标准是绝对量3 mm/3%, γ 通过率超过90%。**结果:**所有测试例剂量验证结果均达到了93%以上。**结论:**Monaco TPS可以安全地用于临床。

【关键词】Monaco;治疗计划系统;剂量学;验证

【中图分类号】R811

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)01-0054-05

Test and verification of dosimetric characteristics of Monaco treatment planning system

GUO Yue-xin, WANG Hai-yang, MA Yang-guang, JIA Fei, LIU Le-le, WANG Fang-na

Department of Radiation Oncology, First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Abstract: Objective To verify if the differences between the dose calculated by treatment planning systems (TPS) for different kinds of radiotherapy and the actual dose delivered by accelerator meet the standards by testing the dosimetric characteristics of Monaco TPS. **Methods** Elekta Axesse linear accelerator with multi-leaf collimator (MLC) of Agility and Monaco TPS of Version 5.0 were applied; the dose calculation model was Monte Carlo. Dose 1 dosimeter, 0.6 cc ionization chamber and Matrixx ionization chamber array of company IBA were also applied. According to IAEA 430 and AAPM TG 53 report on equipment and verification tools, a testing package of ExpressQA Plan was downloaded from Elekta website. The test cases included regular fields, irregular fields, the intensity-modulated fields of simulated head and neck tumor. The test cases were applied in Monaco TPS. The plans were transferred into models to establish verification plan; the dose distribution calculated from verification plan were inputted into OmniPro I'mRT of Matrixx. The calculated dose was compared with actual dose measured by Matrixx. The criterion of dose verification was absolute dose of 3 mm/3%, with more than 90% γ pass rate. **Results** All the verification results of test cases were more than 93%. **Conclusion** Monaco TPS can be safely used in clinic.

Key words: Monaco; treatment planning system; dosimetry; verification

前言

治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)是调强放疗的重要组成部分,TPS能否准确反映加速

器剂量输出情况,关系到放疗治疗的成败,因此TPS的准确验收至关重要。本文总结了我科Monaco TPS的验收经验,对验收中所遇问题给予强调,为TPS验收工作提供一定的经验借鉴。

1 材料与方法

1.1 设备

医科达Axesse直线加速器,多叶光栅类型为

【收稿日期】2015-08-12

【基金项目】河南省医学科技攻关项目(201403056)

【作者简介】郭跃信,男,硕士,主任技师,主要从事放射物理工作。Tel: 0371-67967812;E-mail: guoyx0371@126.com。

Agility; Monaco 治疗计划系统 (Version 5.0), 剂量计算为 Monte Carlo 算法。德国 IBA Matrixx 电离室矩阵及 OmniPro I'mRT 处理软件, SP34 固体水模; Dose 1 工作型剂量仪, 0.6 cc 电离室。

1.2 测试例

介绍 TPS 验收测试方法的文献较多^[1-3], 其中最系统的当属国际原子能机构 (Internal Atomic Energy Agency, IAEA) 430 号报告^[4]以及北美医学物理师协会 (America Association of Physicist in Medicine, AAPM) 的 TG-53 号报告^[5]。测试例的设计要充分体现出临床中遇到的各种情况, 医科达最新的测试包有 ExpressQAPlan 和 FullPackage。ExpressQAPlan 测试包含有 8 个测试例, 基本上考虑到了临床中的情况, 具体测试例如下: (1) 3ABUT: 由 3 个 6 cm×24 cm 的衔接野构成, 用于验证 TPS 模拟 MLC “Major Offset”、“Minor Offset”的准确性; (2) 20×20: 用来验证射野的平坦度和对称性及探头的反应; (3) 10×10: 用于绝对量的校准; (4) DMLC1: 铅门开至 20 cm×20 cm, MLC 构成 2 cm×20 cm 的射野, 加速器出束时, MLC 所形成射野由 -10 cm 处均匀滑行至 10 cm 处。用于验证 Monaco 对 MLC “Minor Offset”值模拟的准确性; (5) 7segA: 7 条 2 cm×24 cm 的分割射野, 是一典型的 Picket Fence 射野, 用来测试 MLC 相对叶片间隙对剂量的影响。因为研究发现当两侧 MLC 距离很近时, 端面散射会对剂量产生比较大的影响^[6-8]; (6) FOUR L: 由 4 个相互衔接的“L”形射野构成, 用于评估 TPS 是否准确模拟 MLC 的 offset、凹凸槽效应及穿射。加速器叶片一般设计都采用凹凸槽形状, 以减少叶片间的漏射; (7) HDMLC: 1 个头颈部肿瘤 (类鼻咽癌) 33 个子野的动态调强射野, 检测动态调强执行情况; (8) HIMRT: 1 个头颈部肿瘤 (类鼻咽癌) 33 个子野的静态调强射野, 检测静态调强射野执行情况。以上所有测试例的摆位条件均为 SAD=100 cm, d=5 cm, 输出剂量均为 100 MU。

1.3 测试方法及数据分析

1.3.1 测试内容和方法 剂量验证前, 首先刻度加速器输出剂量。使用 IBM 公司一维水箱, Dose1 剂量仪和 0.6 cc 电离室 (经国家计量院标定) 对 Axesse 加速器进行刻度, 使得在标称条件下 1 MU=1 cGy, 误差<0.1%。根据所测射线的最大剂量建成深度, 在 Matrixx 系统表面覆盖一层水等效材料 SP34, 使测量平面位于最大剂量深度处, 并在 Matrix 系统底部放置 6 cm 厚的固体水模块作为反向散射用。按 Matrixx 系统刻度步骤

进行操作, 获得剂量刻度因子, 输入刻度因子后就用 Matrixx 进行输出剂量值的测量即绝对测量。

1.3.2 模体建立 在 IBA Matrixx 电离室矩阵上加 4.7 cm 厚度固体水模, 使探头有 5 cm 的等效水建成厚度, 给予 5 cm 等效水背散厚度。将模体在 CT 模拟机下以 2.0 mm 层厚扫描, 将图像传输至计划系统待用。

1.3.3 剂量验证流程 在 Monaco TPS 系统中调用测试例, 将计划分别移植到模体上, 创建验证计划。将计算验证计划所得剂量分布输出到 Matrixx 软件 OmniPro I'mRT, 将它们分别与 Matrixx 实际所测剂量进行比对和分析。对于验证结果的分析方法, 均采用 γ 分析^[9], 判断验证是否通过的标准是: 当选择 3%/3 mm 的阈值时, γ 通过率应不小于 90%。

2 结果

2.1 测试例 3ABUT

“3ABUT”主要是用来测试 MLC offset, 一方面用来评估在 AB 或 X 方向曲线上 MLC bank major offset, 它的稍许差异就会使递送的剂量有很大的变化, 因此对 MLC bank major offset 的正确校准是极其重要的; 另一方面评估在 GT 或 Y 方向上 MLC leaves minor offset, 以此对 MLC 校准。图 1 是测量结果 (通过率为 93.95%), 图 2 是 AB 方向的 Profile 曲线。

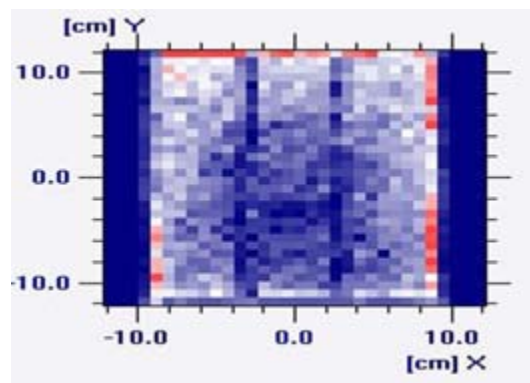


图1 3ABUT测试例计算值与测量值比较

Fig.1 Comparison of calculated dose and measured dose in 3ABUT test cases

2.2 测试例 DMLC1

“DMLC1”所形成的 2 cm×20 cm 的滑动射野, 对于平坦模体从理论上讲应该递送的是均匀的剂量, 测得的“DMLC1”剂量图形与“3ABUT”GT 方向曲线直接相关, 本单位测试的“DMLC1”结果如图 3, 从图中可以看出, 计算结果与实测结果高度一致, 说明

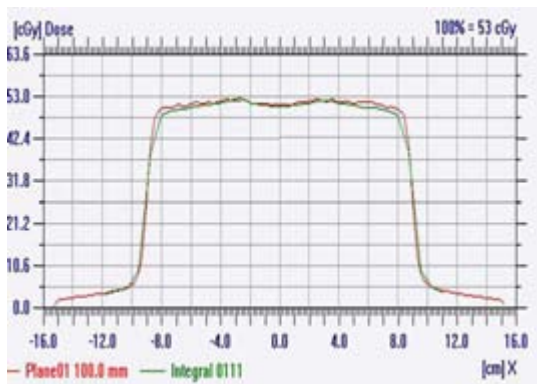


图2 3ABUT AB方向离轴曲线计算值与实测值比较
Fig.2 Profile curve of calculated dose and measured dose of 3ABUT at AB direction

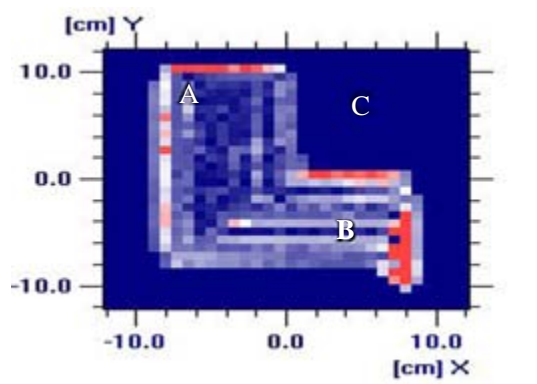


图4 FourL测量剂量与计算剂量比较
Fig.4 Comparison of measured dose and calculated dose in FourL

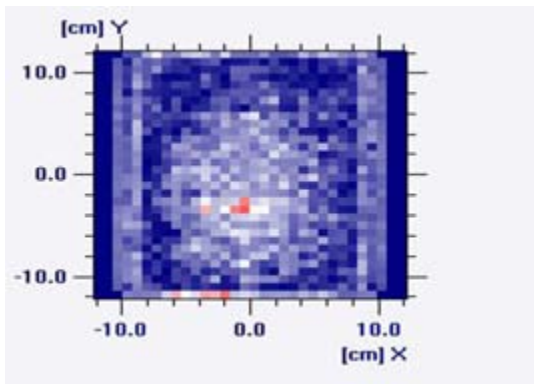


图3 DMLC1实测剂量与计算剂量比较
Fig.3 Comparison of measured dose and calculated dose in DMLC1

Monaco准确模拟了各对MLC的minor offset(通过率为98.05%)。图中最下侧未能通过是因为射野在该区域超出了Matrixx的测量范围,造成测量不准确。

2.3 测试例FourL

“FourL”由4个相互衔接的“L”形射野构成。图4是计算结果与测量结果的比较图,图中可分为A、B、C三个部分,A区域用来测试TPS是否准确模拟MLC的“Offset”值,B区域用来验证TPS是否准确模拟MLC凹凸槽效应,而C区域用来考察TPS是否正确模拟MLC穿射。沿图中水平方向作离轴剂量曲线得图5,沿图中垂直方向作离轴剂量曲线得图6。通过观察图5曲线,可以断定MLC Offset值是否调整得合适。测试结果表明,增加MLC Offset值,计划计算的剂量就会增高;通过观察图6曲线,可以断定MLC的穿射凹凸槽效应,调整MLC Groove值的大小可以使计算值与测量值得到比较好的一致。从比较结果可知,Monaco计划系统准确模拟了MLC的各项参数(通过率为96.19%)。

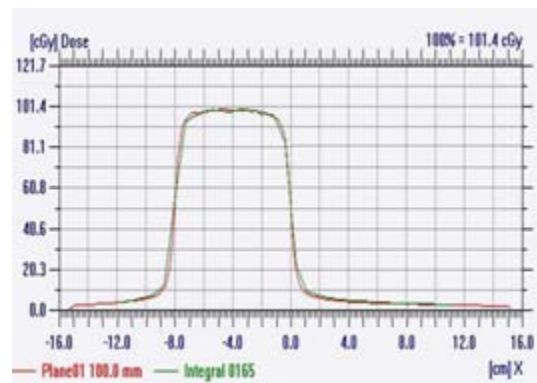


图5 图4中水平线对应离轴剂量曲线
Fig.5 Horizontal profile dose curve of Fig.4

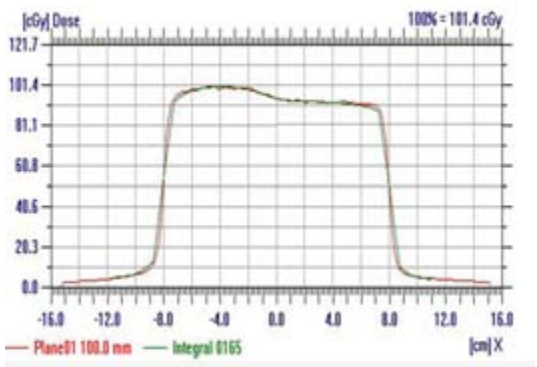


图6 图4中垂直线对应离轴剂量曲线
Fig.6 Vertical profile dose curve of Fig.4

2.4 测试例7SegA

调强放射治疗(IMRT)和容积旋转调强(VMAT)多数射野是靠中心区域的MLC来完成的,它们的真实Offset值在不同位置会有稍许的不同。“7SegA”是典型的picket fence射野,用来检测MLC的位置准确性。 γ 通过率为97.66%。

2.5 测试例HDMC、HIMRT、10×10和20×20

HDMC是验证1个头颈部肿瘤(类鼻咽癌)33

个子野的动态调强射野,检测动态调强执行情况,验证的 γ 通过率为100%;HIMRT是验证1个头颈部肿瘤(类鼻咽癌)33个子野的静态调强射野,检测静态调强射野执行情况,验证的 γ 通过率为99.61%; 10×10 是个标准射野,用于绝对量的校准,验证的 γ 通过率为93.14%;选择 20×20 射野用来检查射野的平坦度和对称性及探头的反应, γ 通过率为97.63%。

3 讨论

Monaco version5.0 TPS可以进行三维适形和逆向调强计划设计,该TPS采用静态调强技术(Step and Shoot)、动态调强技术(Sliding Window)、VMAT,剂量算法是Monte Carlo。TPS是TMRT的核心组成部件,在投入临床使用前,要将测量的所使用加速器的剂量学参数输入到TPS中,TPS根据使用的数学模型进行拟合处理,确定计算使用的模型参数。正是因为TPS模型建立依靠众多因素,且其准确性关系到放疗能否成功,因此必须对其计算的准确性进行验证,保证TPS能够得出正确的计划结果及能够准确反应加速器的实际情况。AAPM TG-23号报告中给出了测试包,可以将测试包数据输入到TPS进行计算,之后将测试包的测量结果进行比对分析,但此数据不是自己单位加速器的数据,只能作为自己单位TPS临床验证的参考并不能代替本单位的验证,且只有常规放疗射野,并无IMRT验证方法。根据本单位TPS的特点,本测试内容充分利用Monaco TPS内带的测试例,涵盖了测试MLC后备铅门偏差、MLC从一侧动态滑动到另一侧时的偏差、射野的平坦度和对称性、绝对量校准、MLC偏移、凹凸槽效应和MLC漏射、头颈部肿瘤静态调强射野、动态调强射野等。对于剂量比对方法,有作者强调用绝对量 γ 分析^[11],因为相对量分析会发生非常严重的错误,所以本研究中采用绝对量的 γ 分析方法。

3ABUT主要检测MLC bank major offset和MLC leaves minor offset,是模型验证中最重要的一项检测,并且由此检测结果来调整MLC offset。MLC offset调整时,第20对叶片是个参照,它本身的位置偏差会引起其他叶片较大的剂量偏差,首先要保证本对叶片的位置准确。DMLC1检测MLC从一侧运动到另一侧时的偏差,用于验证Monaco对MLC“Minor Offset”值模拟的准确性。研究表明DMLC传递的剂量与MLC的偏差微小变化非常敏感^[12]。物理师根据3ABUT GT方向和DMLC1的比较结果来判定

是否需手动调整MLC offset参数。通过对“3ABUT”和“DMLC1”的验证可以对MLC bank major offset和leaves minor offset的校准状态有一个很清晰的了解,因此这两项验证是整个测试的关键。

FOUR L测试例可以分成仅MLC、picket fence、叶片凹凸槽3个部分,用来评估MLC offset、凹凸槽效应和MLC穿射效应。picket fence野主要测试两侧MLC叶片端面相距较近时的剂量计算准确度,叶片端面间隙会显著影响剂量计算的准确度。治疗过程中相对的、运动的叶片间的最小间隙在MLC叶片配置时就要确定,这个参数是用来避免叶片间的碰撞和降低电机的磨损。为了解决MLC叶片弧形端面间的效应,计划系统算法设想在MLC叶片端面间有一个间隙,间隙的大小是由物理师根据传递剂量与计算剂量曲线比较来确定的^[13]。一些研究评估了在治疗计划中MLC叶片位置误差对剂量的影响,发现系统的MLC叶片间隙误差对剂量有相当大的影响^[14]。笔者验证时用的标准是绝对量 γ 分析方法。对于不同分析方法的影响,Rangel等^[15]在一个独立研究中评估了用二维电离室矩阵或在线EPID检测MLC叶片位置误差的可能性,他们发现用 γ 分析方法(3 mm/3%)可以发现0.5 mm的错误,而平面剂量的相对量对误差较不敏感。MLC叶片侧面结构一般采用凹凸槽形状,以减少叶片间的漏射。调整叶片间的宽度可以提高验证的通过率,但是有关MLC叶片间漏射对调强计划整体剂量的影响,有作者研究发现,IMRT计划中不同角度的各个射野间凹凸槽的效应会互相抵消,再加上各分次之间会有不同的摆位误差,凹凸槽效应在射野数目较多的IMRT计划中对患者剂量的影响基本上可以忽略^[16]。在“FOUR L”测试图的GT方向,通过分析profile曲线的匹配程度,可以评估MLC的漏射和叶片的凹凸槽效应。

大部分的调强野处于MLC的中心区域,7segA是Picket fence类型射野,用来测试这部分区域的MLC,其本身的验证结果和HDMLC、HIMRT的验证结果,说明MLC offset的大小设置是合理的。

HDMLC、HIMRT分别是具有33个子野的动态调强和静态调强,测试所得 γ 通过率都接近100%,更进一步说明我科所用Monaco TPS能够准确地进行计划优化和剂量计算,能够准确地反映加速器的实际情况。特别是测试中所用一些小体积肿瘤,虽然计划简单,但射野都较小,其 γ 通过率较高,说明TPS对小野计算的准确性。因此,本科所用Monaco TPS能

够满足临床计划要求,可以投入临床使用。

关于测试分析方法,目前较多的是 γ 分析方法,是否有更为合适、更为全面的方法,不少作者也在探讨。有学者认为, γ 分析和平面剂量比较在检测临床相关剂量错误时不充分^[17];还有作者认为,基于QA度量的DVH在治疗前剂量QA方面比 γ 通过率更有效^[18];还有一些方法,如三维验证方法也在讨论之中。

【参考文献】

- [1] Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS). Quality assurance of treatment planning systems. Forthcoming report of NCS[C]. Delft: NCS, 2000.
- [2] JADKY J, WHITE C P. Testing a 3-D radiation therapy planning program[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1990, 18: 253-261.
- [3] VAN DYK J, BARNETT R B, CYGLER J E, et al. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers [J]. Int J Radiat Oncol Phys, 1993, 26: 261-273.
- [4] International Atomic Energy Agency. Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer: Technical Report Series No.430 [C]. Vienna: IAEA, 2004.
- [5] FRAASS B, DOPPKE K, HUNT M, et al. American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53. quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning [J]. Med Phys, 1998, 25: 1773-1829.
- [6] MARIA N, GRAVES S D, ANTOINETTE V, et al. Calibration and quality assurance for rounded leaf - end MLC systems [J]. Med Phys, 2001, 28: 2227-2233.
- [7] KILLORAN J, GIRAUD J, CHIN I. A dosimetric comparison of two multileaf collimator designs [J]. Med Phys, 2002, 29: 1752-1758.
- [8] SAIFUL M, INDRA J, TODD S, et al. A dosimetric comparison various multileaf collimators [J]. Phys Med Biol, 2002, 47: 159-170.
- [9] STOCK M, KROUPA B, GEORG D. Interpolation and evaluation of the gamma index and gamma index angle for the verification of IMRT hybrid plans[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(3): 399-411.
- [10] CHILDRESS N L, DONG L, ROSEN I I. Rapid radiographic film calibration for IMRT verification using automated MLC fields [J]. Med Phys, 2002, 29(10): 2384-2390.
- [11] MCVICKER A T. Clinical implications of AAA commissioning errors and ability of common commissioning & credentialing procedures to detect them[D]. Duke University.
- [12] BAI S, LI G J, WANG M J, et al. Effect of MLC leaf position, collimator rotation angle, and gantry rotation angle errors on intensity-modulated radiotherapy plans for nasopharyngeal carcinoma[J]. Med Dosim, 2013, 38(2): 143-147.
- [13] SZPALA S, ATWAL P, CAO F, et al. SU-E-T-455: evaluation of the influence of the dosimetric leaf gap on rapidArc plans using gafchromic film and Monte Carlo simulations [J]. Med Phys, 2011, 38: 3593.
- [14] RANGEL A, PETER D. Tolerances on MLC leaf position accuracy for IMRT delivery with a dynamic MLC [J]. Med Phys, 2009, 36: 3304-3309.
- [15] RANGEL A, GESA P, PETER D. The sensitivity of patient specific IMRT QC to systematic MLC leaf bank offset errors [J]. Med Phys, 2010, 37: 3862-3867.
- [16] JUN D, TODD P, CHEN Y, et al. The MLC tongue-and-groove effect on IMRT dose distributions [J]. Phys Med Biol, 2001, 46: 1039-1060.
- [17] NELMS B E, ZHEN H M, TOMÉ W A. Per-beam, planar IMRT QA passing rates do not predict clinically relevant patient dose errors [J]. Med Phys, 2011, 38: 1037-1044.
- [18] ZHEN H M, NELMS B E, TOMÉ W A. Moving from Gamma passing rates to patient DVH-based QA metrics in pretreatment dose QA [J]. Med Phys, 2011, 38: 5477-5489.