

位置重复性对射波刀模体绝对剂量验证的影响

王琳

福建医科大学附属协和医院放疗科, 福建 福州 350001

【摘要】目的:对医院新引进的射波刀按照国际原子能机构(IAEA)TRS-398号报告进行模体绝对剂量测量,进而探索水模体位置的重复性对治疗计划绝对剂量验证通过率的影响,确保输出剂量更加精准地投照到患者肿瘤。**方法:**选取60、40和25 mm 3种准直器按照正面入射、侧面入射和混合入射方式分别设计3个计划,采用德国PTW公司的UNIDOS^{webline}型静电计和TW31010 0.125cc 指形电离室测量绝对剂量。**结果:**每一组实验3种不同准直器测量对治疗计划绝对剂量的TPS计算值与实际测量值之间的偏差基本一致(小于0.7%)。当射束全部从模体的正面入射时,无论是单射束还是多个射束,验证偏差均在2%左右;随着侧向射束的引入,其值由3%左右逐渐增大到4%左右;甚至当射束全部从侧向入射时,偏差达5%以上;但将模体固定之后再重复测量,即使在侧向射束也存在的条件下,偏差下降为2%左右。**结论:**模体空间相对位置的重复性是引起计划系统计算结果和实际测量结果之间偏差增大的主要原因。

【关键词】射波刀;模体绝对剂量验证;位置重复性;射束

【中图分类号】R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)09-1107-04

Effect of position repeatability on the verification of absolute dose for CyberKnife

WANG Lin

Department of Radiation Oncology, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou 350001, China

Abstract: Objective To measure the absolute dose delivered to phantom on newly introduced CyberKnife according to IAEA TRS-398 report for exploring the effect of the position repeatability of water phantom on the passing rate of absolute dose verification, thereby ensuring that the prescription dose is accurately delivered to the tumors. **Methods** Three types of collimators (60, 40 and 25 mm) were used to design 3 different plans based on different incident directions of the beams which included normal incidence, lateral incidence and mixed incidence. The absolute dose was measured by UNIDOS^{webline} electrometer from PTW, Germany, and TW31010 0.125cc finger ionization chamber. **Results** Trivial dose deviations (less than 0.7%) were observed between the absolute dose calculated by treatment planning system and measured results for 3 types of collimators in each group of experiments. The verification deviation was about 2%, when the radiation beams entered the phantom at a normal incidence regardless of single beams or multi beams. With some radiation beams entering the phantom at a lateral incidence, the deviation was gradually increased from 3% to 4%. When all beams entered the phantom at a lateral incidence, the deviation was up to 5%. However, after the phantom was fixed, the deviation was reduced to about 2% even there were radiation beams at a lateral incidence. **Conclusion** The main reason for the increasing deviation between the results calculated by treatment planning system and the results measured by electrometer is the repeatability of the relative position of phantom.

Keywords: CyberKnife; verification of phantom absolute dose; position repeatability; radiation beams

前言

立体定向放射治疗(Stereotactic Radiotherapy, SRT)作为一种新型的肿瘤治疗技术,由于其单次剂

量大、分次少、肿瘤控制率高和周围正常组织受量低等优点在临床上备受青睐^[1-2]。放射外科手术机器人又称为射波刀或者赛博刀,其机械精度可达到亚毫米级^[3-4],真正实现了精准治疗,被广泛应用于全身肿瘤的治疗如颅内肿瘤^[5-7]、肺部肿瘤^[8]、肝脏肿瘤^[9-10]、胰腺肿瘤^[11]等。同时,为SRT精确的实施奠定了坚实的医疗装备基础。尽管射波刀系统有着较高的治疗精度,但是质量保证和质量控制是其维持高精度运行的前提条件,其中,最为重要的是治疗计划绝对剂量的验证^[12-14]。目前常用的射波刀计划绝对剂量

【收稿日期】2020-04-08

【基金项目】福建省科技厅引导性项目(2019Y0020)

【作者简介】王琳,助理工程师,主要从事放射治疗技术、立体定向放疗、放射物理方面的研究,E-mail: wanglin_med@163.com

的验证方法为基于模体的剂量验证。本研究旨在探讨水模体位置的重复性对治疗计划绝对剂量验证通过率的影响及结果分析。

1 材料与方法

1.1 材料

美国安科锐公司 VSI 型射波刀,美国安科锐公司 V4.6 计划系统,美国 GE 公司 LightSpeed 螺旋 CT,美国 CIRS 公司固体水模体(内嵌金标),德国 PTW 公司 UNIDOS^{webline} 型静电计, TW31010 0.125cc 指形电离室,温度计,气压表。静电计和电离室每年送中国计量科学研究院标定。

1.2 验证方法

IAEA TRS-398 号报告中高能光子束测量点处吸收剂量的计算公式如下^[15]:

$$D_{w,Q} = M_Q \times N_{D,w,Q_0} \times k_{Q,Q_0}$$

(1)

其中, $D_{w,Q}$ 为吸收剂量,单位为 Gy; M_Q 为除射线质因素之外其他影响量作修正后的剂量仪读数,单位为 nC; N_{D,w,Q_0} 为剂量仪在参考射线质 Q_0 中水吸收剂量的校准因子; k_{Q,Q_0} 是一个品质因子(射线质修正因子),用于修正参考射线质与实际射线质之间的差异。利用 TRS-398 报告方法测量每个投照计划的绝对剂量,并进行对比和分析。

1.2.1 获取模体 CT 影像 取 5 块固体水模体,从上到下厚度分别为 5、2、2、2、5 cm,并分别命名为 1、2、3、4、5 号。其中 2 号固体水内嵌 4 颗金标,用以投照时金标追踪;3 号固体水中间有一小孔,CT 扫描时将 0.125 cc 指型电离室插入其中,尽量保持电离室中间黑色标记线垂直向上。其余水模体用以吸收散射剂量。记录水模体顺序、位置和电离室在水模体的位置状态,以保证投照时模体位置的一致性(图 1)。在电流为 350 mAs,电压为 120 kV,层厚为 0.125 mm 条件下利用模拟定位 CT 获取模体 CT 影像,并导入射波刀计划系统,用于计划设计。

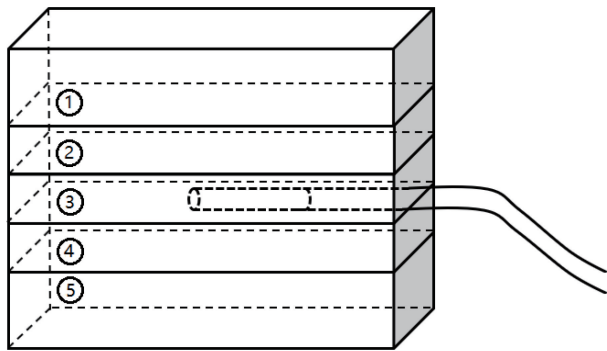


图1 水模体及电离室扫描时空间位置
Fig.1 Spatial position of water phantom and ionization chamber

1.2.2 勾画电离室灵敏体积及计划设计 在射波刀计划系统上勾画出电离室的灵敏体积约为 0.125 cc。为排查单独因素对误差的影响和贡献,共设计 18 个投照计划,将所有计划分为 6 组,每组分别使用 60、40、25 mm 3 种规格的准直器设计 3 种不同的计划,以排除准直器规格及电离室杆效应因素对结果的影响。所有计划的均匀指数(最大剂量与最小剂量的比值)均保证在 2% 之内,并保存为可执行计划,投照计划的详细参数见表 1,射束方向见图 2。

表 1 投照计划参数汇总表
Tab.1 Parameters of delivered plans

| 实验组号 | 平均射束数目 | 准直器/mm | 偏差/% |
|------|--------|--------|-------|
| 1 | 1 | 60 | 2.129 |
| | | 40 | 2.063 |
| | | 25 | 1.698 |
| 2 | 2 | 60 | 3.126 |
| | | 40 | 3.617 |
| | | 25 | 3.225 |
| 3 | 58 | 60 | 2.719 |
| | | 40 | 2.004 |
| | | 25 | 2.251 |
| 4 | 16 | 60 | 4.923 |
| | | 40 | 4.963 |
| | | 25 | 4.396 |
| 5 | 12 | 60 | 5.130 |
| | | 40 | 5.200 |
| | | 25 | 5.152 |
| 6 | 16 | 60 | 2.267 |
| | | 40 | 2.105 |
| | | 25 | 2.203 |

1.2.3 计划投照 创建好模体计划后,首先将模体摆位,尽量确保模体与模体,模体与电离室之间的相对位置关系与模拟定位时保持一致。利用金标追踪系统再次确认模体的摆位准确性^[16],使得每次投照之前六维误差修正值均在临床可接受范围之内。治疗中两次位置验证的时间间隔设为 60 s。

1.2.4 模体绝对点剂量测量与记录 连接好线路后对 UNIDOS^{webline} 型静电计先进行开机预热、调零,检查静电计漏电情况,确认静电计稳定后,正式执行计划,并记录静电计数值,由 TRS-398 报告算出最终的剂量值。

为排除测量时电离室杆效应对测量结果的影

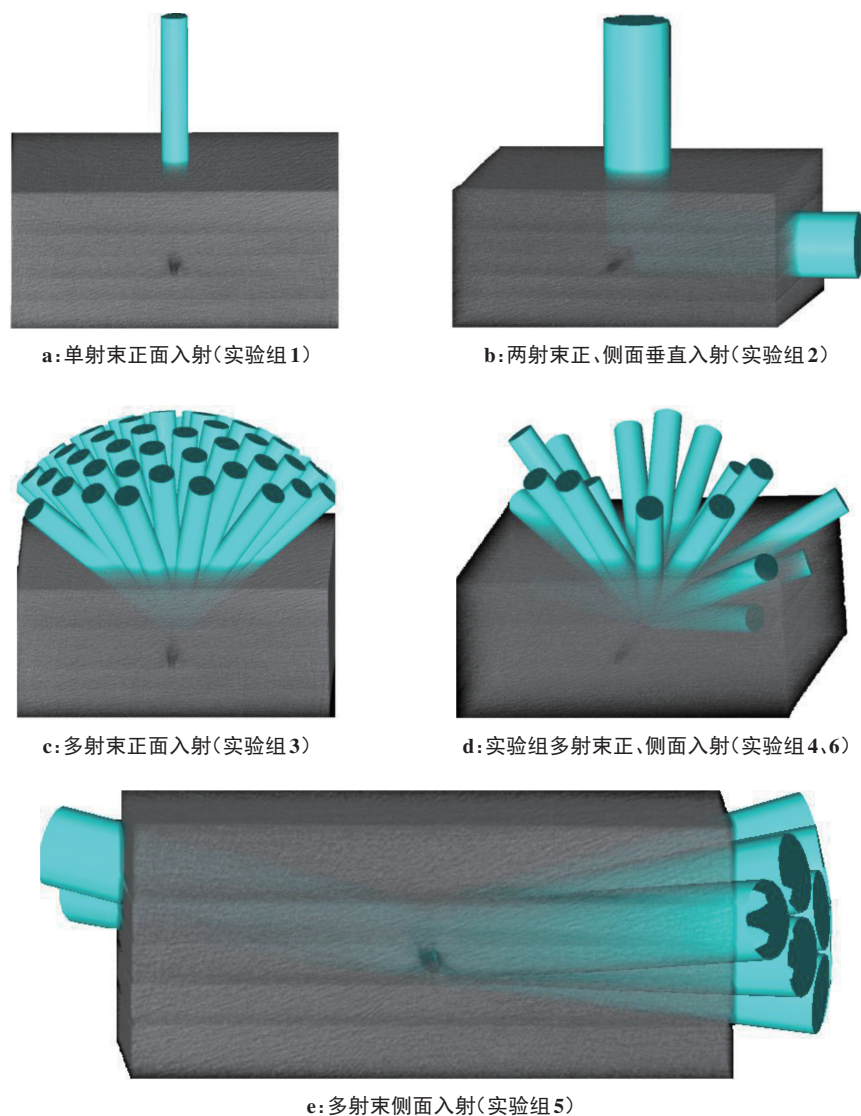


图2 射束投照方向

Fig.2 Beam delivery directions

响^[17],实验设计采取以下措施:①射波刀工作节点及射束路径全部分布于上半球面,基于其机器人手臂和治疗床的相对空间位置关系,结合机械和患者安全考虑,在临床中几乎没有平行于头脚方向的射束生成,利用射波刀系统的这一特点,在模体CT扫描和实验测量时,电离室沿头脚方向插入水模体,进而避免射束直接大面积地照射在电离室线缆或者金属杆上,防止杆效应对结果的干扰。②计划设计时采用等中心技术,使射束高度聚焦于电离室灵敏体积(气腔),进一步减少受照射的电离室杆体积。③每组分别使用60、40、25 mm 3种规格的准直器设计3种不同的计划,通过增加电离室杆受辐照面积,分析杆效应对实验结果的影响。

2 结果

结果表明每一组实验3种不同准直器测量对治疗计划绝对剂量的TPS计算值与实际测量值之间的

偏差基本一致(小于0.7%);当射束全部从模体的正面入射时,无论是单射束还是多个射束,验证偏差均在2%左右;随着侧向射束的引入,其值由3%左右逐渐增大到4%左右;甚至当射束全部从侧向入射时,偏差达5%以上;但把模体固定之后再重复测量,即使在侧向射束也存在的条件下,偏差下降为2%左右,具体结果如表1所示。

3 讨论

射波刀独特的追踪方式及其内置的实时图像引导系统,能够保证治疗在亚毫米级精度下运行^[18]。然而模体每次治疗时位置的重复性对治疗的准确性有着决定性的作用。本次测量选择不同规格的准直器,射束由少到多,射束方向包括正面入射、侧面入射及正面和侧面混合入射,设计6组共18个计划,根据TRS-398报告分别进行剂量测量,用于验证模体计划剂量和实际测量剂量之间的偏差。

首先,准直器孔径增大和射束的增加使得电离室灵敏体积相邻金属杆的受照面积增大。根据表1可知,每组实验不同准直器的验证偏差基本一致(小于0.7%)。实验组1与实验组2以及实验组1与实验组3的平均偏差分别为1.36%和0.36%,由此可知电离室杆效应并不是引起结果偏差增大的主要因素。其次,当射束全部从模体的正面入射时,无论是单射束还是多个射束,验证偏差均在2%左右。这说明当射束从正面入射时射束的量不会引起验证的大幅度偏差。再次,随着侧向射束的引入且侧向射束增加时,偏差值由3%左右逐渐增大到4%左右;甚至当射束全部从侧向入射时,偏差达5%以上;表明侧向射束的引入及其数目增加会大幅度增加验证偏差。最后,即使在侧向射束也存在的条件下,把模体固定之后,重新CT扫描、计划设计、重复测量偏差值也仅为2%左右。产生上述结果的主要原因是5块模体在投照和CT扫描两个阶段空间相对位置不一致。射束正面入射时,尽管模体在投照和CT扫描两个阶段空间相对位置不一致,在射束穿过路径上的物质厚度基本没有大的变化,所以计算剂量与测量剂量基本一致;而如果两个阶段模体之间的空间相对位置发生改变时,对于侧向入射的射束而言,其路径上所穿过的物质厚度会发生变化,尤其射束路径上空气体积发生了较大变化,引起较大的组织不均匀性,从而导致验证结果的不一致;最后,射波刀系统的精度可达到亚毫米级,正由于其对位置精度的高度敏感性,当模体之间的空间相对位置发生改变时,计算剂量与测量剂量之间的偏差会大幅增加。

综上所述,对于高精度的射波刀系统,被投照模体空间相对位置的重复性是引起计划系统计算结果和实际测量结果之间偏差增大的主要原因,有时会超出临床的可接受范围。在实际临床应用中每次治疗时确保患者体位的重复性是保证放射治疗精确的重要前提。

【参考文献】

- [1] MARTIN A, GAYA A. Stereotactic body radiotherapy: a review[J]. Clin Oncol, 2010, 22(3): 157-172.
- [2] 乐紫好, 刘勇. 体部立体定向放疗的放射生物学研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(9): 864-868.
LE Z S, LIU Y. Hotspots of stereotactic body radiotherapy in radiobiology[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(9): 864-868.
- [3] DING C X, SAW C B, TIMMERMAN R D. Cyberknife stereotactic radiosurgery and radiation therapy treatment planning system[J]. Med Dosim, 2018, 43(2): 129-140.
- [4] 王琳, 张建平, 徐本华, 等. VSI型射波刀质量保证及剂量学数据特征的单中心研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(12): 1392-1398.
WANG L, ZHANG J P, XU B H, et al. Single center study of clinical dosimetry data characteristics and quality assurance of VSI CyberKnife[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(12): 1392-1398.
- [5] MANABE Y, MURAI T, OGINO H, et al. CyberKnife stereotactic radiosurgery and hypofractionated stereotactic radiotherapy as firstline treatments for imaging-diagnosed intracranial meningiomas[J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2017, 57(12): 627-633.
- [6] DI FRANCO R, BORZILLO V, RAVO V, et al. Radiosurgery and stereotactic radiotherapy with CyberKnife system for meningioma treatment[J]. Neuroradiol J, 2018, 31(1): 18-26.
- [7] PUATAWEEPONG P, DHANACHAI M, HANSASUTA A, et al. Clinical outcomes of perioptic tumors treated with hypofractionated stereotactic radiotherapy using CyberKnife® stereotactic radiosurgery[J]. J Neurooncol, 2018, 139(3): 679-688.
- [8] LISCHALK J W, WOO S M, KATARIA S, et al. Long-term outcomes of stereotactic body radiation therapy (SBRT) with fiducial tracking for inoperable stage I non-small cell lung cancer (NSCLC)[J]. J Radiat Oncol, 2016, 5(4): 379-387.
- [9] HARADA Y, MIYAZAKI S. CyberKnife stereotactic radiosurgery for cholangiocarcinoma[J]. Intern Med, 2018, 57(10): 1411-1414.
- [10] QUE J, KUO H T, LIN L C, et al. Clinical outcomes and prognostic factors of CyberKnife stereotactic body radiation therapy for unresectable hepatocellular carcinoma[J]. BMC Cancer, 2016, 16(1): 451.
- [11] LOI M, MAGALLON-BARO A, SUKER M, et al. Pancreatic cancer treated with SBRT: effect of anatomical interfraction variations on dose to organs at risk[J]. Radiother Oncol, 2019, 134: 67-73.
- [12] 徐慧军, 李玉, 张素静, 等. G4射波刀物理技术方面的质量保证[J]. 中国现代医药杂志, 2013, 15(2): 1-4.
XU H J, LI Y, ZHANG S J, et al. Quality assurance of G4 CyberKnife in physics aspect[J]. Modern Medicine Journal of China, 2013, 15(2): 1-4.
- [13] 李兵, 沈君姝, 戴威, 等. 射波刀的吸收剂量校准[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(4): 1969-1972.
LI B, SHEN J S, DAI W, et al. Calibration of absorbed dose for CyberKnife[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, 27(4): 1969-1972.
- [14] 梁志文, 杨晶, 杨志勇, 等. 电离室灵敏体积对射波刀计划绝对剂量验证的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(7): 786-789.
LIANG Z W, YANG J, YANG Z Y, et al. Effect of ion chamber sensitive volume on absolute dose verification in CyberKnife plan[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(7): 786-789.
- [15] IAEA. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water, technical report series No.398[R]. Vienna: IAEA, 2000: 84-107.
- [16] 赵瑞, 李中华, 陆军. 射波刀金标追踪优化的临床应用价值[J]. 现代肿瘤医学, 2017, 25(11): 1800-1802.
ZHAO R, LI Z H, LU J. The clinical value of CyberKnife fiducial tracking optimization methods[J]. Journal of Modern Oncology, 2017, 25(11): 1800-1802.
- [17] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 49.
HU Y M. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 49.
- [18] 蔡陈枫, 朱六玲, 徐胜, 等. 射波刀治疗系统的精确度评价[J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(6): 121-123.
CAI C F, ZHU L L, XU S, et al. Accuracy evaluation of CyberKnife system[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2017, 38(6): 121-123.

(编辑: 薛泽玲)