

## 射波刀关节限制联锁的解决方案

曹洋森, 于春山, 张火俊  
第二军医大学长海医院放疗科, 上海 200433

**【摘要】目的:**解决射波刀治疗过程中发生关节限制联锁的问题。**方法:**统计本院2014年射波刀治疗中发生关节限制联锁的16例患者资料,随机抽取2014年未发生关节限制联锁的16例患者资料进行比对。针对影像中心至靶区中心距离(ITD)以及节点源轴距(n-SAD)分别采用受试者特征(ROC)曲线分析指标的诊断价值。**结果:**根据计划测定的ITD值,将93.989 5 mm作为最佳截断点时的诊断价值最高,灵敏度和特异度均为100%,对应的ROC曲线下面积为1.000 0。根据测定的n-SAD值,将874.879 0 mm作为最佳截断点时的诊断价值最高,此时灵敏度和特异度分别为62.5%和93.8%,对应的ROC曲线下面积为0.734 0。**结论:**ITD的诊断价值比n-SAD高。当射波刀治疗计划中ITD值大于100 mm时,应删除计划的94号节点。

**【关键词】**射波刀;关节限制;影像中心至靶区中心距离;节点源轴距

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2016)05-0522-03

## Solution for joint limitation interlock of Cyberknife

CAO Yang-sen, YU Chun-shan, ZHANG Huo-jun

Department of Radiation Oncology, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

**Abstract: Objective** To solve the problem of joint limitation interlock in Cyberknife treatment. **Methods** Admitted in 2014, 16 patients who suffered joint limitation interlock during Cyberknife treatment were statistically analyzed and compared with the other 16 patients without joint limitation interlock. Receiver operating characteristic (ROC) curve was applied to analyze the diagnostic value of image center to target center distance (ITD) and node source-axis distance (n-SAD). **Results** Based on the measured ITD, when the cut-off value was 93.989 5 mm, the diagnostic value was the best; both the sensitivity and the specificity achieved 100%; the area under the ROC curve was 1.000 0. Based on the measured n-SAD, when the cut-off value was 874.879 0 mm, the diagnostic value was most satisfactory; the sensitivity and the specificity were respectively 62.5% and 93.8%; the area under the ROC curve was 0.734 0. **Conclusion** The diagnostic value of ITD is better than that of n-SAD. When the ITD value in Cyberknife treatment plan was over 100 mm, the node of No.94 should be deleted.

**Key words:** Cyberknife; joint limitation; image center to target center distance; node source-axis distance

## 前言

2008年全球癌症发病约1270万例,死亡约760万例,放射治疗作为肿瘤治疗的基础手段之一,在肿瘤的根治以及姑息治疗中占据重要地位<sup>[1]</sup>。近几年放射治疗的分割模式也在发生变化<sup>[2-3]</sup>,以射波刀为代表的实时影像引导的高精度立体定向放射治疗在

肿瘤放射治疗领域得到了越来越多的应用<sup>[4-6]</sup>,在早期非小细胞肺癌的治疗上甚至优于手术<sup>[7-8]</sup>。

射波刀的治疗分为摆位与出束两个阶段。摆位阶段常见的问题包括:亮度错误、配准图像失败、X轴配对公差目标错误、金标提取概率过低、间距错误以及角度错误等。出束阶段常见的主要问题包括:接近检测程序操作碰撞、模型错误、同步性发光二极管运动模式的过度变化等。李延等<sup>[9]</sup>和卢幻真等<sup>[10]</sup>报道需要射波刀技师在治疗过程中灵活机动地处理解决上述问题,这充分体现了技师在射波刀临床治疗环节的重要性<sup>[11]</sup>。

射波刀治疗过程中发生关节限制联锁也是较为常见的问题之一,但检索未见相关研究报道。关节

**【收稿日期】**2016-01-22

**【作者简介】**曹洋森(1985-),男,硕士在读,主管技师,研究方向:肿瘤放射物理, Tel: 15026890880, E-mail: caoyangsen@163.com。

**【通信作者】**张火俊(1973-),男,副主任医师, E-mail: chyyzhj@163.com。

限制发生之后,机械臂关节运动至极限位置,发生锁死或者碰撞,技师需调整患者与床的相对位置后重新摆位,如果继续锁死,治疗将无法进行,物理师需要修改计划,手动删除该节点并经医生重新评估计划后方可继续治疗。该解决方案由医师、物理师和技师三方协作完成,在该问题得到解决前,患者往往等待了较长时间,这在一定程度上增加了病患及家属的心理压力<sup>[12]</sup>。本文总结射波刀治疗过程中发生关节限制联锁的规律并提前预警删除该节点,对临床治疗具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 临床资料

选取本院2014年1~12月射波刀治疗过程中发生机械臂关节限制错误的治疗计划共计16例,随机抽选16例未发生关节限制的治疗计划作为对照组进行比对。

### 1.2 材料设备

统计数据采集使用Accuray公司的数据管理系统中的计划管理模块,版本号2.0.1,以及MultiPlan®治疗计划系统,版本号4.0.2。

### 1.3 观察指标

(1)追踪方式:在计划管理模块中的治疗参数栏获取患者治疗所采用的追踪方式;(2)关节限制的节点及错误代码:在计划管理模块下的Delivery Image栏自动截取记录患者治疗界面的参数,获取患者治疗时发生关节限制联锁的节点以及错误代码;(3)靶区数量(Target Number, TN):在MultiPlan中打开患者治疗计划,统计该计划治疗的TN;(4)警告:在MultiPlan的工具模块(Utilities)下,选择“动画”可模拟患者治疗过程中机械臂的运动情况,并针对特殊节点的运动位置给出碰撞可能的预警;(5)影像中心至靶区中心距离(Image Center to Target Center Distance, ITD):在MultiPlan的定位模块下,分别记录影像中心与靶区中心的三维坐标,并计算坐标两点的空间距离;(6)节点源轴距(node Source-Axis Distance, n-SAD):在MultiPlan的Utilities下,选择“射束”可读取对应节点下每个射束的SAD,对该节点下所有射束源轴距取平均值,即n-SAD;(7)源至影像中心距离(Source to Image Center Distance, SID):在MultiPlan的计划模块下,选择微调可读取对应节点的空间坐标,并结合之前获得的影像中心坐标计算出SID。

### 1.4 统计学方法

分析均采用SPSS 21统计软件,采用灵敏度、特

异度和受试者特征(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线分析指标诊断价值及寻找最佳截断点。

## 2 结果

### 2.1 发生关节限制联锁计划的指标数据

发生关节限制联锁的16例患者的指标数据显示6D颅骨追踪1例,椎体追踪15例。出现关节限制联锁的节点均为94个;错误代码716(机械臂关节限制检查)出现15次,错误代码754(接近检测程序碰撞错误)出现3次;单靶区计划7例,多靶区计划9例;动画演示预警12例,未预警4例;ITD平均值为136.02 mm,中位值为132.59 mm;n-SAD平均值为881.26 mm,中位值为880.54 mm;SID根据追踪方式为恒定值。

### 2.2 未发生关节限制联锁计划的指标数据

随机抽取未发生关节限制联锁计划的指标数据显示6D颅骨追踪1例,椎体追踪15例。出现关节限制联锁的计划均为94号节点,故针对94号节点观察ITD、n-SAD、SID指标。观察显示这16例计划均未出现动画演示预警;计划靶区均为单个;ITD平均值63.09 mm,中位值61.36 mm;n-SAD平均值856.35 mm,中位值855.69 mm。

### 2.3 统计分析

SID与计划无相关性,当治疗部位为头部时,SID恒为800 mm,当治疗部位为体部时,SID恒为900 mm,故SID不参与ROC曲线分析。分析ITD,根据给定的数值,将93.989 5 mm作为最佳截断点时,诊断价值最高,此时灵敏度和特异度均为100%,对应的ROC曲线下面积为1.000 0(95%CI:1.000 0, 1.000 0),诊断价值高。若选择100 mm作为截断点,根据给定的数值ROC曲线下面积也为1.000 0。分析n-SAD,将874.879 0 mm作为截断点时,诊断价值最高,此时灵敏度和特异度分别为62.5%和93.8%,对应的ROC曲线下面积为0.734 0(95%CI:0.540 0, 0.929 0),诊断价值中等。

对比分析两组计划,当TN为1时,计划靶区体积均较大,造成了ITD值较大,诱发联锁。当TN $\geq$ 2时,计划的唯一影像中心共用于多个靶区,同样造成了影像中心至其中某一靶区中心的ITD值超出阈值,诱发联锁。所以在使用单计划治疗多靶区时,应选择介于各个靶区中心位置的椎体用于追踪,并统计影像中心至各个靶区的ITD值,观察其最大值ITD<sub>max</sub>。TN $\geq$ 2使得发生关节限制联锁的概率增加,这也是随机抽样16例未发生关节限制联锁计划的TN均为1的原因。

### 3 讨论

2014年本院行射波刀治疗的患者共计930余例。单日治疗患者12~28例,平均18例(中位数20例),平均分割次数为5.6次(中位数5次),单次治疗时间平均43 min。95%以上的患者可以耐受50 min以内的治疗,且治疗过程中发生超限运动的次数小于两次。冯惠春等<sup>[13]</sup>报道治疗时间的长短决定了患者治疗时的舒适度以及不自主运动的概率,治疗的顺利程度也决定了患者心理不适与紧张的程度。射波刀治疗过程的时长及顺利程度不仅取决于治疗技师处理问题的熟练程度,也取决于治疗计划的重点优化。发生关节限制连锁的16例患者中有12例患者因为是夜间治疗,物理师无法及时优化限制节点,首次治疗过程中断,需第2天修改计划并重新评估后方可继续中断的首次治疗,这样大大延长了治疗时间,增加了患者及家属的心理压力,也增加了物理师及技师的工作量,降低了工作效率。

在射波刀的5种追踪方式中,肺追踪、金标追踪以及同步追踪都会将靶区中心移置影像中心(追踪区域中心、金标构建的空间中心)附近,故不会发生关节限制连锁。颅骨追踪的影像中心为颅骨中心,正常情况下颅内边缘区肿瘤距离颅骨中心均小于90 mm,选用6D颅骨追踪时,SID为800 mm,机头更加靠近肿瘤,不易发生关节限制连锁。患者选用颅骨追踪还会发生关节限制连锁是因为靶区位于颈椎1~2的位置,造成ITD值为110.46 mm,故该患者应采用椎体追踪更加合适。

由以上结果可知,n-SAD对于是否发生关节限制连锁的诊断价值不如ITD,预警该连锁的发生应重点观察治疗计划的ITD值。本文中的ITD能有效地找到射波刀机械臂锁死的关键所在。依照本研究得出的结论,射波刀单个计划治疗多发肿瘤( $TN \geq 2$ )或巨大肿瘤时,需评估ITD值大小。另外并非所有发生关节限制连锁的计划在动画模拟时都会给出对应节点的警告(4例未出现警告),建议当ITD<sub>max</sub>值大于100 mm时观测该计划是否存在94号节点,如存在,直接将该节点下所有射束的机器跳数置为零,删除该节点。

### 【参考文献】

- [1] JEMAL A, BRAY F, CENTER M M, et al. Global cancer statistics [J]. CA Cancer J Clin, 2011, 61(2): 69-90.
- [2] 于金明, 任瑞美, 袁明智, 等. 早期非小细胞肺癌三维适形放疗剂

- 量分割研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2005, 14(3): 158-161.
- YU J M, REN R M, YUAN M Z, et al. Study on fractionation for early non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2005, 14(3): 158-161.
- [3] 夏廷毅. 立体定向高分次剂量放疗早期非小细胞肺癌[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(4): 342-344.
- XIA T Y. Early stage of non-small cell lung cancer with hypofraction radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(4): 342-344.
- [4] 夏廷毅. SBRT临床应用结果的思考[J]. 医疗装备, 2009, 22(7): 1-4.
- XIA T Y. Thinking of clinical application in SBRT [J]. Medical Equipment, 2009, 22(7): 1-4.
- [5] 王志震, 袁智勇. 射波刀-低分割单次大剂量立体定向放射治疗的最佳执行者[J]. 中国肿瘤临床, 2009, 36(4): 234-237.
- WANG Z Z, YUAN Z Y. Cyberknife, the best choice for high fractional dose radiation therapy [J]. Chinese Journal of Clinical Oncology, 2009, 36(4): 234-237.
- [6] CHANG S D, MAIN W, MARTIN D P, et al. An analysis of the accuracy of the Cyberknife: a robotic frameless stereotactic radiosurgical system[J]. Neurosurgery, 2003, 52(1): 140-146.
- [7] CHANG J Y, SENAN S, PAUL M A, et al. Stereotactic ablative radiotherapy versus lobectomy for operable stage I non-small-cell lung cancer: a pooled analysis of two randomised trials[J]. Lancet Oncol, 2015, 16(6): 630-637.
- [8] WANG Y Y, LIN S X, YANG G Q, et al. Clinical efficacy of Cyberknife combined with chemotherapy and hyperthermia for advanced non-small cell lung cancer[J]. Mol Clin Oncol, 2013, 1(3): 527-530.
- [9] 李延, 张军华, 李栋, 等. 第四代射波刀常见问题分析与处理[J]. 医疗卫生装备, 2013, 34(6): 134-135.
- LI Y, ZHANG J H, LI D, et al. Problem analysis of the fourth-generation Cyberknife [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2013, 34(6): 134-135.
- [10] 卢幻真, 唐阳, 李拯丞, 等. 射波刀治疗过程中出现E-Stop的原因分析及对策[J]. 中国医学创新, 2012, 9(36): 121-122.
- LU H Z, TANG Y, LI Z C, et al. Analysis and countermeasures of E-Stop in process of Cyberknife treatment [J]. Medical Innovation of China, 2012, 9(36): 121-122.
- [11] 唐阳, 许建刚, 卢幻真, 等. 放疗技师在射波刀治疗过程中的作用[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(3): 103-104.
- TANG Y, XU J G, LU H Z, et al. Role of radiotherapists in the process of Cyberknife treatment [J]. China Medical Devices, 2014, 29(3): 103-104.
- [12] 王文荣, 耿翠红, 袁成, 等. 恶性肿瘤放疗病人焦虑情绪原因分析及护理干预[J]. 护理研究, 2012, 26(11): 3111-3113.
- WANG W R, GENG C H, YUAN C, et al. Causative analysis and nursing intervention on anxiety in malignant tumor patients undergoing radiotherapy [J]. Chinese Nursing Research, 2012, 26(11): 3111-3113.
- [13] 冯惠春, 黄静. 心理护理干预对恶性肿瘤放疗患者的心理影响分析[J]. 中国现代医生, 2014, 52(23): 78-80.
- FENG H C, HUANG J. The psychological impact of intervention on psychological care of patients with cancer radiotherapy [J]. China Modern Doctor, 2014, 52(23): 78-80.

(编辑:陈丽霞)