

## 医科达 XVI 锥形束 CT 头颈部扫描角度优化

李正贤<sup>1</sup>, 赵晶晶<sup>1</sup>, 马永乐<sup>1</sup>, 王博生<sup>1</sup>, 杨立婷<sup>1</sup>, 周莉<sup>2</sup>, 张艺宝<sup>3</sup>

1. 吉林国文医院放疗科, 吉林 公主岭 136100; 2. 四川大学华西医院肿瘤中心(生物治疗国家重点实验室)放射物理技术中心, 四川 成都 610041; 3. 北京大学肿瘤医院暨北京市肿瘤防治研究所放疗科/恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部重点实验室, 北京 100142

**【摘要】目的:**比较医科达 XVI 头颈部标准全弧和快速半弧模式的辐射剂量和图像质量,并优化扫描角度降低辐射敏感器官的剂量。**方法:**利用 PTW 静电计和 CT 电离室测量头颈 CTDI 模体正位 0、3、9 点方向,以及逆时针旋转模体 45° 后 3、0 点方向,模拟甲状腺、左、右腮腺和左、右晶体的辐射剂量。同时测量加权 CT 剂量指数(CTDI<sub>w</sub>)。除测量标准全弧和半弧外,还通过修改半弧脚本将默认 315°~160° 机架旋转变更至 335°~180°,并对顺/逆时针扫描分别测量。用 Catphan503 模体评估各参数图像质量。**结果:**全弧 CTDI<sub>w</sub> 为 0.81/0.81 mGy(0°/45°),约是半弧的 2 倍。优化模式顺时针扫描剂量最低,快速模式顺时针最高,对于甲状腺、左腮腺、左晶体、右晶体、0° 和 45° CTDI<sub>w</sub>,前者比后者低 3.17%、3.55%、2.04%、1.75%、0.93% 和 4.18%。角度优化不会对图像质量产生明显影响,但可减少治疗前机架空转时间从而提高效率。**结论:**头颈快速模式较标准全弧模式剂量低且图像质量满足临床要求,角度优化后的快速模式可进一步降低敏感器官剂量并提高临床效率。

**【关键词】**锥形束 CT; 参数优化; 影像引导放疗; 成像剂量; 放射防护

**【中图分类号】**R730.55; R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)11-1106-05

## Optimizing gantry rotation of head and neck scanning for Elekta XVI cone beam CT

LI Zhengxian<sup>1</sup>, ZHAO Jingjing<sup>1</sup>, MA Yongle<sup>1</sup>, WANG Bosheng<sup>1</sup>, YANG Liting<sup>1</sup>, ZHOU Li<sup>2</sup>, ZHANG Yibao<sup>3</sup>

1. Department of Radiation Oncology, Jilin Guowen Hospital, Gongzhuling 136100, China; 2. Division of Radiation Physics, State Key Laboratory of Biotherapy, Cancer Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing), Department of Radiotherapy, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China

**Abstract: Objective** To compare the irradiation dose and image quality of Elekta XVI head and neck scans using standard full arc and fast partial arc protocols, and reduce the dose to sensitive organs by optimizing gantry rotation. **Methods** The standard head and neck CTDI phantom at 0, 3, 9 o'clock (upright setup), and 3, 0 o'clock (rotating the phantom by 45°, counter clockwise) were measured using a PTW electrometer and a CT chamber to simulate the irradiation dose to thyroid, left and right parotid, left and right lenses. Weighted CT dose index (CTDI<sub>w</sub>) of each protocol was also measured. In addition to the measurement of standard full and partial arc scan, the configuration script of partial arc scan was modified, where the gantry rotation was changed from 315°-160° to 335°-180°, and the dose in clockwise and counter clockwise scans were measured, respectively. Image quality was assessed using Catphan 503 phantom. **Results** CTDI<sub>w</sub> of standard full arc scanning was 0.81/0.81 mGy (0°/45°), which was about twice of that of partial arc scanning. The optimized partial arc clockwise scan and standard partial arc clockwise scan had the lowest dose and the highest, respectively, and compared with the latter, the former reduced dose to thyroid, left parotid, left lens, right lens, 0° and 45° CTDI<sub>w</sub> by 3.17%, 3.55%, 2.04%, 1.75%, 0.93% and 4.18%, respectively. Gantry rotation optimization did not affect image quality obviously, but improved clinical efficiency by reducing unnecessary gantry idle time. **Conclusion** Relative to standard full arc scan, partial arc XVI scan can achieve satisfactory image quality for head and neck at a lower dose. Optimized partial arc protocol can further reduce imaging dose to sensitive organs and improve clinical efficiency.

**Keywords:** cone beam CT; protocol optimization; image-guided radiotherapy; imaging dose; radiological protection

**【收稿日期】**2017-06-20

**【基金项目】**国家自然科学基金(11505012);北京市医院管理局“青苗”计划专项经费(QML20151004);北京市卫生和计划生育委员会首都卫生发展科研专项;北京市自然科学基金(7172048, 1174016);北京大学深化专业学位研究生教育综合改革项目(住院物理师规范化培训体系建设)

**【作者简介】**李正贤,理学学士,主管技师,研究方向:医学物理, E-mail: lzx8609@126.com

**【通信作者】**张艺宝,工学博士,高级工程师,硕士生导师,研究方向:医学物理, E-mail: ybzhang66@163.com

## 前言

影像引导,特别是锥形束CT(CBCT)的引入极大改善了放疗摆位的精确度<sup>[1]</sup>。由于CBCT的单次扫描剂量高于诊断CT且需要反复使用<sup>[2]</sup>,在不影响引导精度的情况下降低成像剂量所带来的风险一直是工业和学界的努力方向<sup>[3]</sup>。相对于其他部位而言,头颈部具有较好的结构刚性及分明的骨骼/软组织对比度,适当降低成像剂量和图像质量通常不会影响治疗精度<sup>[4]</sup>。因此,除了普通成像模式外,各主流CBCT厂家均针对头颈部设计了低剂量快速扫描模式,如瓦里安OBI的低剂量头(Low-Dose Head)降低了总曝光量<sup>[5]</sup>,医科达XVI的快速头颈(Fast Head and Neck)减少了机架旋转角度等。其中OBI低剂量模式下的辐射研究已有论文发表<sup>[6]</sup>,而XVI的低剂量模式,尤其是有关参数优化的工作还未见报道。文献提示,OBI和XVI在球管构造、滤线装置、扫描参数等均存在显著差异,导致二者的剂量特征不具有通用关系<sup>[7]</sup>。

本工作基于标准CTDI模体和CT专用千伏电离室,测量比对标准模式和快速模式医科达下XVI CBCT的辐射剂量,并尝试通过优化扫描角度的方法降低头颈部重要敏感器官的辐射剂量。

## 1 材料与方法

### 1.1 XVI头颈部标准和快速扫描模式

本工作使用医科达VersaHD加速器机载XVI CBCT系统,其头颈部标准和快速扫描模式的参数设置如表1所示。在厂家工程师的指导下,将机架转速由180°/min调至360°/min以提高临床效率。据实测,该设置会导致剂量减半,但不影响相对剂量的分布规律<sup>[8]</sup>。由于kV源和MV源相距90°,标准和快速模式下kV源的实际旋转角度范围分别是270°至270°,45°至250°。快速模式的实际转角幅度为205°。此外,对于同一参数,本工作还研究了机架旋转方向(顺/逆时针)对剂量的影响。

### 1.2 XVI快速模式的扫描角度优化(优化快速模式)

由于头颈部对低剂量放射线敏感的器官(如晶体、甲状腺、腮腺等)大都位于身体前中部,本工作拟通过将kV源的入射线尽可能安排在身体后部从而有效降低上述器官的辐射剂量,同时保持相同的扫描角度范围(205°)以获取足够的图像重建数据。具体方案是通过修改XVI快速扫描模式的参数配置脚本,将旋转起始角度、采集起始角度和采集终止角度分别修改为-25°、-20°和180°,从而将kV源的实际旋转始末角度变更为65°至270°。

表1 XVI头颈部标准和快速扫描模式详细参数设置及差异分析  
Tab.1 Settings and difference analysis of parameters in XVI standard head protocol and fast scanning protocol

| Parameters                 | Standard | Fast | Difference |
|----------------------------|----------|------|------------|
| kV                         | 100      | 100  | 0          |
| Nominal mA/frame           | 10       | 10   | 0          |
| Nominal ms/frame           | 10       | 10   | 0          |
| Collimator                 | S20      | S20  | None       |
| Filter                     | F0       | F0   | None       |
| Rotation starting angle    | 180      | -45  | 225        |
| Acquisition starting angle | 180      | -40  | 220        |
| Acquisition ending angle   | -180     | 160  | 340        |
| Frame                      | 660      | 183  | 477        |

### 1.3 CTDI模体

本工作使用的PTW丙烯酸标准头颈部CTDI模体直径为16 cm,在中心点、0、3、6、9点钟位置分别钻有5个圆柱型小孔,可适配PTW TW30009 CT电离室。在测量时没插电离室的小孔均由配套的丙烯酸插件填充。在激光灯辅助下,模体被摆放至治疗床的侧位中心以尽可能避免左右射线因穿透不同厚度床面对模体内剂量分布的影响。在模体正位时,分别利用其0、3和9点位置模拟甲状腺,左、右腮腺;将模体沿机架旋转相反方向转动45°,再分别测量其3点和0点位置代替左、右晶体剂量。

### 1.4 剂量测量系统

实验采用德国国家实验室PTB溯源的PTW TW30009 CT电离室和PTW UNIDOS weblin 静电计。电离室 $N_k$ 系数 $8.484 \times 10^7 \text{ Gy} \cdot \text{cm/C}$ , $K_Q=1.00$ ,不确定度3%,极化电压为-100 V,并做实时温度、气压修正。利用下式计算加权CT剂量指数( $\text{CTDI}_w$ )以反应模体内整体剂量分布<sup>[7,9]</sup>,其中, $D_1 \sim D_5$ 分别代表中心、0、3、6、9点所测空气比释动能值(mGy)。

$$\text{CTDI}_w = \frac{1}{3} \cdot D_1 + \frac{2}{3} \left[ \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=2}^5 D_i \right]$$

### 1.5 图像质量

分别在标准、快速和优化快速模式下获取Catphan 503模体(The Phantom Laboratory)CBCT图像,利用其CTP404、CTP528模块评估各参数对于插件识别以及高分辨率辨析的影响<sup>[10]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 测量结果

在标准扫描模式(360°全角)、标准快速模式(kV源转角45°至250°)和优化快速模式(kV源转角65°至

270°)和两种摆位条件下CTDI模体内甲状腺(正位0°)、左右腮腺(正位3/9点)、左右晶体(45°位3/0点)实测剂量(mGy)和CTDI<sub>w</sub>计算值如表2所示。

表2 不同扫描模式下各测量点剂量和CTDI<sub>w</sub>值(mGy)  
Tab.2 Dose and CTDI<sub>w</sub> of each measuring point using different scanning protocols (mGy)

| Measuring points      | Standard (360°) | Standard fast |                   | Optimized fast |                   |
|-----------------------|-----------------|---------------|-------------------|----------------|-------------------|
|                       |                 | Clockwise     | Counter clockwise | Clockwise      | Counter clockwise |
| Thyroid               | 0.88            | 0.25          | 0.30              | 0.24           | 0.22              |
| Left parotid          | 0.80            | 0.56          | 0.62              | 0.54           | 0.49              |
| Right parotid         | 0.92            | 0.35          | 0.29              | 0.35           | 0.44              |
| Left lens             | 0.84            | 0.39          | 0.46              | 0.38           | 0.33              |
| Right lens            | 0.90            | 0.23          | 0.22              | 0.22           | 0.28              |
| 0° CTDI <sub>w</sub>  | 0.81            | 0.43          | 0.42              | 0.43           | 0.43              |
| 45° CTDI <sub>w</sub> | 0.81            | 0.43          | 0.42              | 0.41           | 0.43              |

CTDI<sub>w</sub>: Weighted computed tomography dose index

2.2 模体图像

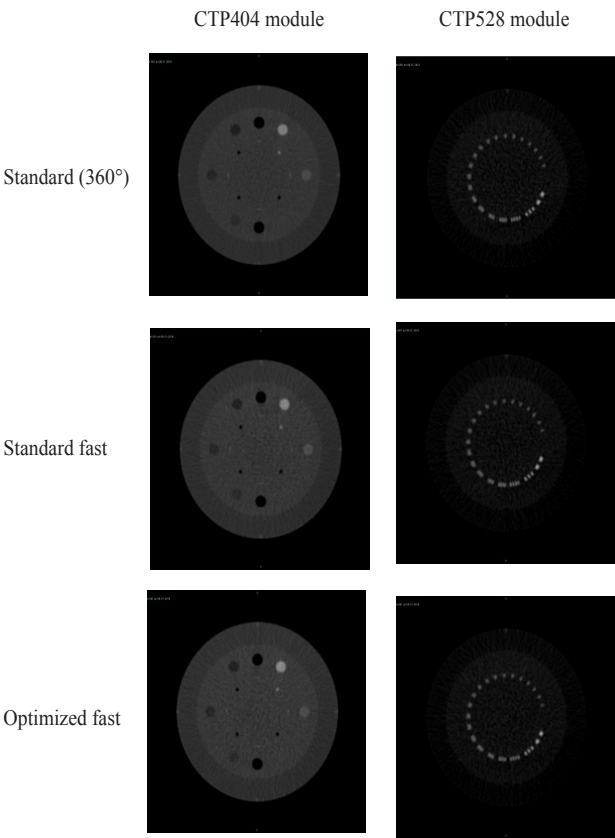
图1展示了利用不同扫描参数获取的Catphan 503模体CTP404和CTP528模块的CBCT图像。

3 讨论

表2中的360°全弧扫描模式在两种模体摆位下的CTDI<sub>w</sub>比优化前后的快速模式均高约2倍,其中对于右晶体的剂量影响最大,最高可达4倍以上。图1所示的图像质量却显示,标准模式和快速模式在插件识别、高密度分辨率辨析(约4个线对)等图像质量表现近似。说明除非特殊情况(如需清晰定义靶区、剂量重建等),快速模式完全可以以更低的辐射剂量和风险满足临床摆位的需要。但图1中全弧模式获取的图像噪声明显小于快速模式,这与文献报道一致<sup>[11]</sup>。

比较表2中优化前后快速模式成像的辐射剂量发现,优化模式在顺时针扫描时明显优于标准快速模式顺时针扫描,其中甲状腺、左腮腺、左晶体、右晶体、0°和45°CTDI<sub>w</sub>分别降低3.17%、3.55%、2.04%、1.75%、0.93%和4.18%,右腮腺剂量保持不变,说明通过扫描角度优化可以有效避免部分不必要的kV线从重要器官入射,从而更好保护其功能或减少远期风险。图1显示的优化前后图像质量肉眼可见并无明显变化。

除了入射kV线角度会明显影响器官剂量外,表2还提示,相同的快速模式下顺时针和逆时针扫描也会导致截然不同的器官剂量和CTDI<sub>w</sub>。可能导致该现象的原因是:为了在起始角度获取稳定、足够的信息用于图像重建,kV源的出束角度早于实际开始获



The image of CTP404 is displayed under W2620 and L853, and CTP 528 is displayed under W2150 and L1053 to avoid reading bias introduced by different window widths and levels.

图1 各扫描参数获取的Catphan503模体CTP404和CTP528模块  
锥束CT图像质量比较  
Fig.1 Comparison of image quality of CTP404 module and CTP528  
module in Catphan 503 phantom scanned by various protocols



取图像5°。此外,如果kV源的剂量率保持稳定,则加速器机架从静止加速的过程可能也会累积更高的剂量。因此,与起始角度同侧的器官通常会受到更高的剂量。

上述两个因素交互作用可能导致更复杂的情况出现,如快速模式逆时针扫描时,左腮腺虽然远离起始角度,但比右腮腺所处的角度有更多的入射kV线,导致左腮腺的剂量较高。如果有更广范围的出射线穿透,远离起始角度的对侧器官剂量也可能偏高,如快速模式顺时针扫描时的右腮腺。虽然机架转角不能超过180°的物理限制使得kV源的旋转范围无法左右对称,但优化后的角度已经使上述情况大为简化,即起始角度的影响占主导地位(顺时针左侧剂量高于右侧,反之同理)。这使得多出的25°放置在哪一侧也可以根据具体情况进行优化,如可安排在非对称靶区较大一侧或已受侵器官同侧,并将起始角度置于该侧,以更好地保护健侧正常器官。对于俯卧位患者,可将优化扫描角度上下翻转使其达到相似的保护效果。

本工作的不足之处在于,CTDI模体中的比释动能并不能直接作为器官剂量采用<sup>[12]</sup>,但各参数下实测比释动能的相对关系能够很好说明角度优化的优劣。进一步的工作可以在仿生膜体中利用TLD进行器官剂量测量<sup>[13]</sup>。

对XVI做上述角度优化并做顺时针扫描的另一个优点是,CBCT扫描完毕时机架的停止角度刚好为180°。对于大多数头颈部病例来说,这刚好是第一个射野或VMAT计划的起始角度<sup>[14]</sup>。相比快速模式的默认机架角度终止于160°或315°,这一优化可以节省20°至135°机架空转,按照6°/s的转速估计,每位患者至少可节约时间3~22 s,对于很多超负荷运转的放疗中心来说,累积节约的时间有一定价值。

#### 4 结 论

利用角度优化后的快速模式做顺时针XVI头颈部CBCT扫描,不仅可以在相同图像质量下降低甲状腺、腮腺、晶体等极敏感器官的辐射剂量,而且可以提高临床工作效率。

#### 【参考文献】

- [1] ZENG G G, BREEN S L, BAYLEY A, et al. Using cone beam CT to investigate the local geometrical uncertainties during head and neck radiation therapy[J]. Med Phys, 2006, 33(6): 1785-1788.
- [2] LECHUGA L, WEIDLICH G A. Cone beam CT vs. fan beam CT: a comparison of image quality and dose delivered between two differing CT imaging modalities[J]. Cureus, 2016, 8(9): e778.
- [3] MURPHY M J, BALTER J, BALTER S, et al. The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: report of the AAPM Task Group 75[J]. Med Phys, 2007, 34(10): 4041-4063.
- [4] MIRACLE A C, MUKHERJI S K. Cone beam CT of the head and neck, part 1: physical principles[J]. Am J Neuroradiol, 2009, 30(6): 1088-1095.
- [5] DING G X, MUNRO P, PAWLOWSKI J, et al. Reducing radiation exposure to patients from kV-CBCT imaging[J]. Radiother Oncol, 2010, 97(3): 585-592.
- [6] 王美娇, 张艺宝, 李莎, 等. 瓦里安千伏锥束CT系统间剂量学一致性研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(6): 546-549.  
WANG M J, ZHANG Y B, LI S, et al. A comparative study of dosimetric consistency between different Varian kV cone beam CT[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(6): 546-549.
- [7] SONG W Y, KAMATH S, OZAWA S, et al. A dose comparison study between XVI and OBI CBCT systems[J]. Med Phys, 2008, 35(2): 480-486.
- [8] 李正贤, 赵晶晶, 王美娇, 等. XVI锥形束CT辐射剂量与扫描参数相关性建模[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(8): 618-622.  
LI Z X, ZHAO J J, WANG M J, et al. Modeling the correlations between radiation dose and scanning parameters of XVI cone beam CT [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2017, 37(8): 618-622.
- [9] PODNIEKS E C, NEGUS I S. Practical patient dosimetry for partial rotation cone beam CT[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1010): 161.
- [10] STOCK M, PASLER M, BIRKFEILLNER W, et al. Image quality and stability of image-guided radiotherapy (IGRT) devices: a comparative study[J]. Radiother Oncol, 2009, 93(1): 1-7.
- [11] VERDUN F R, LEPORI D, MONNIN P, et al. Management of patient dose and image noise in routine pediatric CT abdominal examinations [J]. Eur Radiol, 2004, 14(5): 835-841.
- [12] MARTIN C J, ABUHAIMEA, SANKARALINGAM M, et al. Organ doses can be estimated from the computed tomography (CT) dose index for cone-beam CT on radiotherapy equipment[J]. J Radiol Prot, 2016, 36(2): 215.
- [13] AMER A, MARCHANT T, SYKES J, et al. Imaging doses from the Elekta synergy X-ray cone beam CT system[J]. Br J Radiol, 2007, 80(954): 476.
- [14] BERTELSEN A, HANSEN C R, JOHANSEN J, et al. Single Arc volumetric modulated Arc therapy of head and neck cancer [J]. Radiother Oncol, 2010, 95(2): 142.

(编辑:黄开颜)