

运动模体中靶区长度与锥形束 CT 扫描速度的相关性

张俊俊¹, 杨 振², 柏朋刚³, 王 玉³, 李奇欣³, 邱小平¹, 吕知平², 张子健², 陈惠琴³

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 中南大学湘雅医院, 湖南 长沙 410008; 3. 福建省肿瘤医院放疗中心, 福建 福州 350014

【摘 要】目的: 研究锥形束 CT 扫描速度与动态模体中靶区长度的相关性。方法: 选用 QUASAR (Modus, Germany) 呼吸运动模体, 模体内含运动插件, 插件中心内嵌入一边长 3 cm 的立方体, 用其来模拟运动靶区。设置模体振幅为 0.5、1、2 cm, 每一振幅分别设 20、15、10 次/min 三种频率, 在每振幅下分别行 300°、180°、90°/min 运动速度的 CBCT 扫描。计算 CBCT 图像靶区长度及靶区长度覆盖率与理论结果比较。结果: 振幅为 5 mm 时, 300°、180°、90°/min 扫描时所得不同频率下靶区长度分别为 (30.17, 30.33, 30.5) mm; (31.17, 31.83, 32) mm; (32.5, 33.67, 33.67) mm; 振幅为 10 mm 时, 300°、180°、90°/min 扫描时所得靶区长度分别为 (32.67, 33.67, 35.67) mm; (36, 37.5, 37.65) mm; (40.17, 40.5, 41.17) mm; 振幅为 15 mm 时, 300°、180°、90°/min 扫描时所得靶区长度分别为 (39.33, 41, 41.83) mm; (43, 46, 46.5) mm; (47.83, 48.83, 49.17) mm。结论: CBCT 扫描速度、模体振幅以及模体运动频率对靶区长度均有影响。扫描速度越慢, 图像所得靶区长度越接近靶区长度真实值, 但是各种速度下均小于理论靶区长度。振幅越小时所得靶区长度越接近于靶区理论值, 靶区覆盖率越高。临床实践中使用 CBCT 对动态肿瘤监控时应使用患者平静呼吸的慢速扫描。

【关键词】 锥形束 CT; 呼吸运动模体; 靶区长度; 扫描速度

【DOI 编码】 doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.02.025

【中图分类号】 R73

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)02-0259-03

The Correlation Research between the Target Length of Respiratory Phantom and Cone-beam CT Scanning Speed

ZHANG Jun-jun¹, YANG Zhen², BAI Peng-gang³, WANG Yu³, LI Qi-xin³, QIU Xiao-ping¹, Lü Zhi-ping², ZHANG Zi-jian², CHEN Hui-qin³

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China; 3. Department of Radiation Therapy, Fujian Provincial Cancer Hospital, Fuzhou 350014, China

Abstract: Objective To study the correlation research between the CBCT scanning speed and the length of the respiratory phantom. **Methods** The QUASAR respiratory phantom was selected to simulate the movement of target volume embedded the movement plug-in which contained a 3*3*3 cm cubes. Under the situation, we set the phantom movement amplitude to 0.5, 1, 2 cm and the amplitude were 20, 15, 10 times/minute of frequency, respectively. Then under each amplitude, set up 300, 180, 90 degrees / minutes of CBCT scanning speed. The length of target obtained by CBCT scanning images was compared with the theoretical target length. **Results** The target length is (30.17, 30.33, 30.5) mm; (31.17, 31.83, 32) mm; (32.5, 33.67, 33.67) mm when its amplitude is 5 mm and the scanning speed is respectively 300°, 180°, 90° / minutes; the target length is respectively (32.67, 33.67, 35.67) mm; (36, 37.5, 37.65) mm; (40.17, 40.5, 41.17) mm when its amplitude is 10 mm and scanning speed is respectively 300°, 180°, 90°/min; the target length is respectively (39.33, 41, 41.83) mm; (43, 46, 46.5) mm; (47.83, 48.83, 49.17) mm when its amplitude is 15 mm and scanning speed is respectively 300°, 180°, 90° / minutes. **Conclusion** The slower the scanning speed is, the more close to the truth value of the target length it obtained. But the length of target scanned under different speeds are lower than theoretical value. The smaller amplitude leads to the value more close to the target volume the theoretical value and the higher target volume coverage. In clinic, when we monitor dynamic tumor, we require patients staying slow breathing and under slow CBCT scan speed.

Key words: cone-beam CT; respiratory phantom; length of target; scanning speed

【收稿日期】 2014-12-06

【基金项目】 湖南省科技厅项目 (2011SK3220)

【作者简介】 张俊俊, 男, 湖南娄底人, 在读硕士研究生; 研究方向: 肿瘤放射物理。E-mail: 992004879@qq.com。

【通信作者】 杨 振, 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 肿瘤放射物理。E-mail: yangzhen@188.com。

前言

文献报道 kV 级锥形束 CT (Cone-Beam CT, CBCT) 用于摆位误差校准的图像引导放疗, 靶区与危及器官的外放, 以及放射治疗中 kV 级 CBCT 扫描剂量评估等^[1-2]。不同的图像扫描方式也可能影响图像质量^[3-5]。另外呼吸运动等因素的存在, 严重影响靶区图像的准确性^[6]。目前临床放疗之前摆位 CBCT 的获取一般采用快速扫描的方式获取对位图像, 但是快速扫描所得图像的真实性是否可靠存在争议。笔者利用 CBCT 在不同扫描速度下所得动态模体靶区长度来分析 CBCT 图像的真实性。

1 材料与方法

1.1 设备

Axesse(ELEKTA, Sweden)加速器机载 CBCT, 扫描参数: 扫描电压 120 kV, 电流 150 mA, 滤线器 F0, 准直器 S20。QUASAR(Modus, Germany)呼吸运动模体, 内含长 12 cm、半径为 8 cm 的圆柱形插件, 插件中心嵌入 3 cm×3 cm×3 cm 的立方体靶区。模体参数设置: 振幅 A 分别调至 1.5 cm, 1 cm, 5 cm, 每一振幅下分别将频率 F 调到 20 次/min, 15 次/min, 10 次/min。

1.2 CBCT 图像的获取

模体置于加速器床面, 激光摆位, 在上述模体振幅, 频率下, CBCT 扫描速度 ω 分别为 300°/min, 180°/min, 90°/min。对于同一扫描速度, 同一振幅和频率重复 6 次扫描, 共得到 162 组数据, 同一参数下的 6 组数据取均值。CBCT 形顺时针扫描, 扫描角度为 -180°到 180°。所有图像均采用中分辨率重建(重建厚度为 1 mm), 扫描图像帧数为 1320 帧。

1.3 靶区勾画

将 162 组 3D-CBCT 扫描所得图像传输至 Master Plan 计划系统进行勾画, 由临床经验丰富的肿瘤科医生选取窗宽(-181)窗位(171)的条件下确定靶区的上下界, 最终得到不同参数下的靶区长度, 以理论的靶区

长度为标准。

1.4 统计学方法

利用方差分析方法(SPSS, 版本 17.0)分析不同扫描速度、振幅、频率下模体靶区长度\覆盖率之间的差异。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

CBCT 扫描所得靶区长度的范围在 30.33 mm~49.17 mm 之间, 中位长度为 37.5 mm。数据分析, 先对振幅 A, 频率 F, 扫描速度 ω 对模体长度的影响行假设零检验, P=0.011。方差齐性检验满足, 因此可以用方差分析来分析数据, 得到 $P_{\text{振幅}}=0.000$, $P_{\text{扫描速度}}=0.000$, $P_{\text{频率}}=0.0039$ 。振幅, 频率, 扫描速度对靶区长度的影响有统计学意义。详情见表 1。

表 1 不同 CBCT 扫描速度下运动模体图像长度统计表

Tab.1 The Phantom Image Length Statistic under the Different CBCT Scanning

Amplitude (mm)	Frequency (t/m)	Frequency			The real length(mm)
		300°/min	180°/min	90°/min	
15	20	41.00±0.63	46.00±0.89	49.17±.041	60
15	15	41.83±1.60	46.50±0.55	47.83±1.40	60
15	10	39.33±3.72	43.00±4.05	48.83±1.17	60
10	20	35.67±1.51	37.50±0.84	40.17±0.75	50
10	15	32.67±1.03	37.67±0.82	40.50±1.05	50
10	10	33.67±0.82	36.00±1.41	41.17±0.75	50
5	20	30.17±0.41	31.17±0.41	32.50±0.55	40
5	15	30.50±0.84	31.83±0.75	33.67±0.52	40
5	10	30.33±0.52	32.00±0.89	33.67±0.52	40

其中靶区理论真实长度为靶区静止长度加模体两倍的运动幅度。

表 2 给出不同 CBCT 扫描速度下运动模体靶区长度覆盖率统计表。靶区长度覆盖率的定义为 CBCT 图像上勾画靶区长度与理论靶区长度的比值。靶区外扩是指在最上层与最下层面同时进行外扩。不同 CBCT 扫描速度下运动模体靶区长度覆盖率详见表 2。

表 2 不同 CBCT 扫描速度下运动模体靶区长度覆盖率统计表

Tab.2 The Phantom Target Length Coverage Statistic Table under Different CBCT Scanning Speed

Amplitude(mm)	Frequency(t/m)	300°/min			180°/min			90°/min		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	20	68.33	78.33	85.00	76.67	86.67	93.33	81.95	91.95	98.62
15	15	69.72	79.72	86.38	77.50	87.50	94.17	79.92	89.72	96.38
15	10	65.55	75.55	82.22	71.67	81.67	88.33	81.38	91.38	98.05
10	20	71.34	83.34	91.34	75.00	87.00	95.00	80.34	92.34	100
10	15	65.34	77.34	85.34	75.34	87.34	95.34	81.00	93.00	100
10	10	67.34	79.34	87.34	72.00	84.00	92.00	82.34	94.34	100
5	20	75.43	90.43	100	77.93	92.93	100	81.25	96.25	100
5	15	76.25	91.25	100	79.58	94.58	100	84.18	99.18	100
5	10	75.83	90.83	100	80.00	95.00	100	84.18	99.18	100

备注: A 组: 靶区无外扩时运动模体靶区长度覆盖率; B 组: 靶区外扩 3 mm 时运动模体靶区长度覆盖率; C 组: 靶区外扩 5 mm 时运动模体靶区长度覆盖率。

3 讨论

CBCT 可重建三维图像,多样匹配方式,能测量 6 个自由度的摆位误差,与 CT 相比具有实时的特性, CBCT 可以减少骨性解剖标志显示不清而存在肉眼偏差造成的误差等优点。尹勇等^[7]研究呼吸运动对 kV 级 CBCT 图像的影响,得出静止状态下 CBCT 图像清晰,无形变,横轴方向与纵轴方向的大小与体模实际大小相符合;呼吸运动使 CBCT 图像清晰度下降,变形,体积增大,运动振幅越大,影响越明显;呼吸频率对体模 CBCT 的图像大小的影响不明显。黑月林等^[8]研究肺癌放疗中呼吸运动频率和图像扫描时间对 CT 图像的影响研究表明当模拟病灶的运动周期等于或者短于每层 CT 的扫描时间,普通 CT 不会丢失信息,相反则会丢失靶区信息,而螺旋 CT 扫描运动模拟病灶都会丢失部分扫描信息。

笔者通过对 CBCT 不同扫描速度下呼吸运动模体靶区长度进行研究。CBCT 扫描过程中,模体在扫描野内作多次重复性的往返运动,CBCT 可以充分记录模体的运动信息;静止时靶区长度为 30 mm,运动情况下靶区图像长度在 30 mm~60 mm 之间与理论结果相符合。呼吸运动模体振动幅度为 15 mm 时,靶区覆盖率只有 68.33%~81.95%;振幅为 5 mm 时靶区正确率只有 75.83%~84.18%,均存在较大的靶区信息丢失,原因是图像两端靶区在锥形束中出现的次数相比于中间靶区出现的次数要少,扫描成像的灰度较低,在人眼可分辨的灰度值范围内进行靶区勾画时造成图像信息的丢失,从而使勾画图像靶区长度小于理论长度。而振幅较小时,靶区覆盖率相对较高,原因是振幅较小时,两端图像伪影较小,扫描所得图像长度占整个扫描图像比值就大,但是小靶区扫描时更应该注意呼吸运动的影响,小靶区更易造成靶区漏照和危及器官接受不必要的照射。振幅和频率一定下,在 90°/min 慢速扫描所得靶区长度比 180°/min 或者 300°/min 快速扫描所得靶区长度要长,原因是锥形束 CT 低速扫描下单位时间内可以获得更多的靶区信息。可以看出小振幅慢速扫描在获得更多靶区信息上存在明显优势。与此同时存在的问题是低速扫描必然致使病人接受更多的扫描剂量。研究发现在 CBCT 单次扫描为几个 cGy 到几十个 cGy^[9],相比放疗每次的剂量,扫描所受剂量是可以接受的。研究结果中频率对靶区图像影响不明显,存在的原因是频率设置数值有限。

本研究由于重复次数较少,在扫描速度、振幅以及频率的参数设置范围有限,所得结论还有待更进一步完善。依据本研究,建议临床 CBCT 图像扫描时在病人平稳呼吸下进行低速扫描,这样可以获得更为真实的靶区运动的信息。

【参考文献】

- [1] Bissonnette JP, Purdie TG. Cone-Beam computed tomographic image guidance for lung cancer radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(3): 927-934.
- [2] Grills IS, Hugo G, Kestin LL, et al. Image-guided radiotherapy via daily online cone-beam CT substantially reduces margin requirements for stereotactic lung radiotherapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(4): 1045-1056.
- [3] 姜伟,柏森,周亮强,等. 过滤器对 CBCT 图像质量的影响[J]. 中国放射肿瘤学杂志, 2010, 19(6): 548-551.
Jiang W, Bo S, Zhou LQ, et al. Impact of the image quality of cone beam CT on the accelerator for the Bowtie filter[J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2010, 19(6): 548-551.
- [4] 贾明轩,纪天龙,张旭,等. 计划 CT 扫描层厚对 MVCBCT 图像质量引导放疗精度的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18: 345-346.
Jia MX, Ji TL, Zhang X, et al. The impact of the scanning layer thickness of planning CT about the quality of MV-CBCT image[J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2009, 18: 345-346.
- [5] 董晓祺,王思阳,贾明轩,等. 锥形束 CT 在不同成像剂量和重建层厚及计划 CT 层厚下摆位误差比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 22: 127-128.
Dong XQ, Wang EM, Jia MX, et al. The set up errors under different CBCT scanning dose and reconstruction layer thickness[J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2010, 22: 127-128.
- [6] Mechalakos J, Yorke E, Mageras SG, et al. Dosimetric effect of respiratory motion in external beam radiotherapy of the lung [J]. Radiother Oncol, 2004, 71: 191-200.
- [7] 尹勇,万柏坤. CBCT 图像引导放射治疗中若干关键问题的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.
Yi Y, Wan BK. The Key Technique Research of Image Guided Radiotherapy on Cone Beam Computed Tomography [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008
- [8] 黑月林,王彤,姜伟,等. 立体定向放射治疗肺癌中呼吸运动频率与图像扫描时间对靶体积定位成像结果的影响[J]. 天津医药, 2002, 30(2): 102-105.
Hei YL, Wang T, Jiang W, et al. The respiratory movement frequency and image scanning time influence the target volume imaging positioning result for stereotactic lung radiotherapy [J]. Journal of Tianjin Medical, 2002, 30(2): 102-105.
- [9] Ding GX, Coffey CW. Radiation dose from kilovoltage cone beam computed tomography in an image-guided radiotherapy procedure [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(2): 610-617.