

不同图像灰度-密度校准曲线对螺旋断层放疗系统剂量计算的影响

叶柳清¹, 洪文松¹, 黎静², 文婷², 张晋建²

1. 广东省第二人民医院 放疗科, 广东 广州 510317; 2. 广州军区广州总医院螺旋断层放疗中心, 广东 广州 510010

【摘要】目的:探讨不同图像灰度-密度校准曲线(IVDT)对螺旋断层放疗系统(Tomo)计划剂量计算的影响。**方法:**用3台不同CT设备分别以头部、胸部、腹部的扫描条件扫描含有已知密度插件的Tomo phantom模体,采集所有密度插件CT值并取其平均值,并在Tomo计划系统中建立IVDT曲线。然后选取头部、胸部、腹部各5例患者,同时用3种不同的IVDT曲线在Tomo计划系统中用相同的射野宽度、螺距和调制因子进行计划设计,比较3种方案计划靶区的均匀性指数、适形度指数、最大值、最小值、出束时间和危及器官的剂量体积直方图指标的差异。**结果:**两台千伏级CT机所得IVDT曲线基本一致,而兆伏级CT所得IVDT曲线在密度为0~1.2 g/cm³处与其它两条IVDT曲线几乎相近,在密度为1.2 g/cm³(CT值200 HU)附近有明显的拐点。采用单因素方差分析可得:3种方案靶区均匀性指数、适形度指数、最大值、最小值和头部、胸部、腹部各正常组织的剂量学参数差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**用不同CT机、不同扫描条件定位时,用采集的CT值建立IVDT曲线有微小差异,但是不同IVDT曲线对剂量计算无统计学差异,故无需重新建立新的IVDT曲线,可提高物理工作者的工作效率。

【关键词】图像灰度-密度校准曲线;螺旋断层放疗系统;剂量体积直方图;电子密度;危及器官;剂量学

【中图分类号】R815.6

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)05-0505-05

Effect of different image value-density calibration table on dose calculation of helical tomotherapy system

YE Liu-qing¹, HONG Wen-song¹, LI Jing², WEN Ting², ZHANG Jin-jian²

1. Department of Radiation Oncology, Guangdong Second People's Hospital, Guangzhou 510317, China; 2. Department of Helical Tomotherapy Center, General Hospital of Guangzhou Military Command of Chinese People's Liberation Army, Guangzhou 510010, China

Abstract: Objective To research on the effect of different image value-density calibration table (IVDT) on the dose calculation of tomotherapy system. **Methods** Tomo phantom with plug-ins of known density was scanned by three different CT machines respectively based on the scan conditions of head, chest and abdomen to gather the CT values of all plug-ins and take the average. And IVDT was established in tomotherapy planning system. Fifteen patients respectively treated with tomotherapy for head, chest and abdomen were selected, each of five patients. Three different IVDT with the same field width, pitch, modulation factor were applied in tomotherapy planning system to design plans. The differences in homogeneity index (HI), conformal index (CI), maximum, minimum, delivered time and the dose-volume histogram of organs at risk were compared among three plans. **Results** The two kV-CT machines obtained the similar IVDT, almost similar with the IVDT obtained by the mV-CT at density of 0-1.2 g/cm³. Nearby the density of 1.2 g/cm³ (CT value = 200 HU), the IVDT obtained by the mV-CT showed significant turning point. The analyze results of single factor analysis of variance available showed no significant differences were found in HI, CI, maximum, minimum, and the dose parameters of head, chest, abdomen among the three plans ($P>0.05$). **Conclusion** With different CT machines and scanning conditions of positioning, the IVDT curve established based on the collected CT values has a small difference. The analyzed results proves IVDT has no significant effects on dose calculation, so IVDT don't need to be re-established, which improves the work efficiency of physical workers.

Key words: image value-density calibration table; tomotherapy system; dose-volume histogram; electron density; organ at risk; dosimetry

【收稿日期】2016-01-30

【基金项目】广东省社会发展领域科技计划项目(2013B021800051)

【作者简介】叶柳清(1988-),男,物理师,E-mail:yeliuqing4568@163.com。

【通信作者】洪文松(1969-),男,主任技师,放疗科主任,Tel:15920480612,E-mail:hong@163.com。

前言

螺旋断层放疗系统(Tomo)是一种全新的影像引导调强放疗系统,它完美地将兆伏级CT和放疗系统整合到了一起^[1],加速器在进床的同时环绕患者进行360°旋转治疗,对肿瘤进行高度适形照射的同时并最大可能对周围的正常组织进行保护^[2]。在30 keV~25 MeV能量内,射线与物质的相互作用主要是康普顿效应,它们在人体中的吸收与散射主要取决于组织物质的相对电子密度^[3-4]。CT值与线性衰减系数相对应,而线性衰减系数又与相对电子密度相关,故可将CT值与相对电子密度相关联建立图像灰度-密度校准曲线(IVDT),IVDT曲线是现代放射治疗计划系统的计算基础^[5-6]。许多放疗中心因无配置供定位用的CT扫描设备,需要借用其它科室的CT扫描设备,不同CT扫描设备对相同的电子密度会有不同CT值,或随着设备使用时间的增加,其CT值也会有变化。因此用不同CT设备扫描圆柱形固体水模体以建立不同的IVDT曲线,利用这些曲线进行相同病人的治疗计划设计,通过分析利用不同IVDT曲线完成治疗计划的指标差异,以明确不同IVDT曲线对相同CT图像建立的治疗计划的剂量学影响。另外,不同IVDT曲线对放疗系统剂量计算的影响在国内外文献中也鲜有报道。本文对不同IVDT曲线对Tomo剂量计算的影响进行了初步研究,以明确Tomo设备在使用不同CT扫描定位时是否需要重新建立IVDT曲线。

1 材料和方法

1.1 病例选择

选取2014年3~6月接受Tomo治疗的头部、胸部、腹部各5例患者作为研究对象。年龄31~70岁,中位年龄57岁,其中男性7例,女性8例。

1.2 材料与设备

Tomo设备,孔径85 cm;西门子Biograph 16 HR CT机,孔径70 cm;GE公司Light Speed RT16 CT机,孔径70 cm;Tomo phantom(圆柱形固体水模体),该模体由固体等效水材料制作,其直径33 cm,中间包括20个直径2.8 cm的小圆孔,可插入不同密度的等效材料圆柱插件,提供水、肺、肝、骨等多种等效电子密度材料插件。

1.3 IVDT曲线的建立

西门子Biograph 16 HR CT机和GE公司Light speed RT16 CT机采用不同扫描条件:头部(120 kV, 260 mAs)、胸部(120 kV, 190 mAs)和腹部(120 kV, 220 mAs)扫描含有不同密度插件的Tomo phantom模

体,如图1所示。Tomo的兆伏级CT扫描条件固定,故只扫描1次,扫描层厚均为2 mm。将扫描所得图像通过DICOM方式传入MIM靶区勾画系统,读取同一台CT扫描密度插件的CT值,其中每一密度插件的CT值为任意3层,每层任意取3个点的CT平均值,3种扫描条件所得的CT平均值为该点的CT值,输入Tomo,建立相应的IVDT曲线(IVDT₁、IVDT₂、IVDT₃),保存为IVDT曲线模板,如图2所示。



图1 不同密度插件的Tomo phantom模体

Fig.1 Tomo phantom with plug-ins of different densities

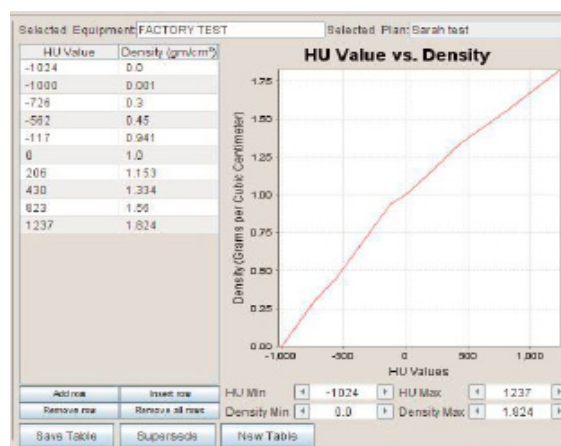


图2 图像灰度-密度校准曲线

Fig.2 Image value-density calibration table (IVDT)

1.4 治疗计划的设计

将在MIM上勾画好的头部、胸部、腹部肿瘤患者各5例的靶区、危及器官轮廓和定位图像传输到Tomo,每例患者同时使用相应的3条不同IVDT曲线建立治疗计划,其中射野宽度(FW)均选用2.5、螺距(pitch)均选用0.287、调制因子(MF)均选用2.0进行治疗计划设计。同一患者计划靶区(PTV)和危及器官的各个优化参数、权重与计划计算迭代次数均一样,分别比较3种方案PTV的均匀性指数(HI)、适形度指数(CI)和危及器官的剂量体积直方图(DVH)指标。

1.5 治疗计划评价

3组治疗计划方案完成后,对靶区、危及器官进行

剂量学比较,靶区的剂量学比较包括靶区剂量分布的HI、CI、剂量的最大值(D_{max})、最小值(D_{min})和出束时间。HI定义为 $D_{5\%}/D_{95\%}$,HI越小越接近1,剂量就越均匀^[7]; $CI=CF \times SF$,CF定义为PTV接受处方剂量的体积与PTV体积的比值,SF定义为接受处方剂量的PTV体积与接受处方剂量整个体积的比值,CI越大越接近1,剂量分布的适形度就越好^[8]。各危及器官的剂量学评估参数按照不同的肿瘤部位及剂量限制要求进行选取:头部肿瘤的危及器官剂量参数为晶体(Len-l/Len-r)、眼球(Eye-l/Eye-r)、视神经(On-l/On-r)、脊髓(spinal)的 D_{max} ,脑干(brain stem)中位剂量;胸部肿瘤的危及器官剂量参数为脊髓的 D_{max} ,肺 V_5 、 V_{20} ,心脏(heart)、食道(eso)平均剂量;腹部肿瘤的危及器官剂量参数为脊髓的 D_{max} ,股骨头(FH-L/FH-R)、直肠(rectum)、膀胱(bladder)、肠道(blower)平均剂量。

1.6 统计学方法

采用SPSS18.0统计软件,计算结果用均数±标准差表示,采用单因素方差分析进行数据统计和分析,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 IVDT 曲线的差异

西门子 Biograph 16 HR CT机所得的IVDT₂曲线和GE公司Light speed RT16 CT机所得的IVDT₃曲线几乎相近,而兆伏级CT所得的IVDT₁曲线在密度为0~1.2 g/cm³处跟其它两条IVDT曲线几乎相近,在密

度为1.2 g/cm³ (CT值200 HU)附近有明显的拐点,即不同电压对低原子序数材料影响不大,对高原子序数材料有明显的差异,如图3所示。

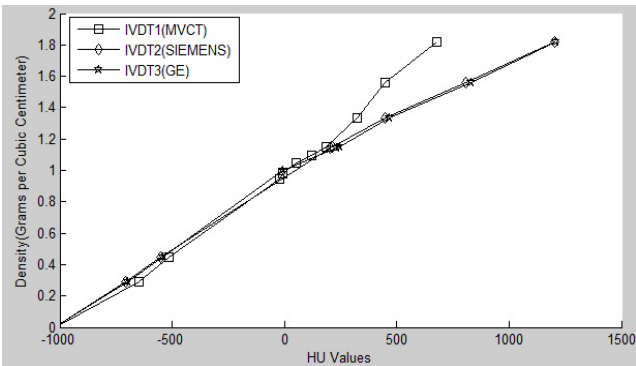


图3 3台CT扫描设备的IVDT曲线
Fig.3 IVDT curve of three CT machines

2.2 治疗计划剂量学比较

3组放疗计划的靶区HI、CI、 D_{max} 、 D_{min} 和出束时间,头部、胸部、腹部各危及器官的剂量参数如表1~3所示,对表中数据进行统计学分析可知:各组数据之间差异甚微,均无统计学意义($P>0.05$)。

3 讨论

计划系统中CT值与相对电子密度的关系,国内外有不少文献报道:不同扫描层厚和扫描电流对CT值的影响很小,低原子序数材料在不同型号CT、不同扫描电压下的CT值差异可忽略;不同扫描电压对高

表1 头部靶区各参数与各正常组织参数的分析结果
Tab.1 Head target parameters and analyzed results of normal tissue parameters

Target/ organ	Parameter	IVDT ₁ (A)	IVDT ₂ (B)	IVDT ₃ (C)	P value		
					A vs B	A vs C	B vs C
PTV	HI	1.04±0.02	1.03±0.02	1.03±0.02	0.95	0.90	0.95
	CI	0.88±0.45	0.89±0.47	0.88±0.45	0.97	0.98	0.99
	D_{max} (Gy)	57.50±8.84	57.49±8.80	57.56±8.78	1.00	0.99	0.99
	D_{min} (Gy)	50.86±7.44	50.83±7.40	50.85±7.45	1.00	1.00	1.00
	Duration (s)	4.02±1.82	4.02±1.88	4.02±1.72	1.0	0.96	0.96
	Len-L (Gy)	8.62±3.39	8.58±3.31	8.63±3.29	0.98	1.00	0.98
	Len-R (Gy)	9.51±4.14	9.48±4.07	9.54±4.06	0.99	0.99	0.98
	Eye-L (Gy)	24.92±9.63	24.70±9.48	25.03±10.96	1.00	0.99	0.99
	Eye-R (Gy)	24.78±9.63	24.70±9.47	24.85±9.72	0.99	0.99	0.99
	On-L (Gy)	38.67±10.21	38.70±10.20	38.72±10.16	1.00	0.99	1.00
Organ	On-R (Gy)	37.25±9.72	37.22±9.77	37.23±9.81	1.00	1.00	1.00
	Brain stem (Gy)	45.94±9.01	45.90±9.03	45.82±9.08	0.99	0.98	0.99
	Spinal (Gy)	19.44±16.05	19.56±16.15	19.72±16.13	0.99	0.98	0.99

PTV: Planning target volume; HI: Homogeneity index; CI: Conformal index

表2 胸部靶区各参数与各正常组织参数的分析结果

Tab.2 Chest target parameters and analyzed results of normal tissue parameters

Target/ organ	Parameter	IVDT ₁ (A)	IVDT ₂ (B)	IVDT ₃ (C)	P value		
					A vs B	A vs C	B vs C
PTV	HI	1.06±0.02	1.06±0.03	1.07±0.03	0.99	0.93	0.94
	CI	0.54±0.26	0.54±0.11	0.54±0.10	0.96	0.91	0.90
	D _{max} (Gy)	62.50±5.26	62.63±5.29	62.76±5.38	0.97	0.94	0.97
	D _{min} (Gy)	46.83±8.91	46.83±8.84	46.72±8.79	1.00	0.99	0.99
	Duration (s)	10.03±5.83	10.10±5.84	10.20±6.04	0.99	0.97	0.98
	Spinal (Gy)	34.87±10.36	34.96±10.21	35.03±10.17	0.99	0.98	0.99
Organ	Lung V _s (%)	44.59±21.89	45.04±21.71	45.38±21.71	0.97	0.96	0.98
	Lung V ₂₀ (%)	19.22±9.85	19.07±9.65	19.37±9.83	0.98	0.98	0.96
	Heart (Gy)	17.86±16.22	17.89±16.25	17.91±16.28	1.00	1.00	1.00
	Eso (Gy)	13.77±12.25	13.75±12.21	13.77±11.33	1.00	1.00	1.00

表3 腹部靶区各参数与各正常组织参数的分析结果

Tab.3 Abdominal target parameters and analyzed results of normal tissue parameters

Target/ organ	Parameter	IVDT ₁ (A)	IVDT ₂ (B)	IVDT ₃ (C)	P value		
					A vs B	A vs C	B vs C
PTV	HI	1.01±0.00	1.01±0.00	1.01±0.00	0.94	0.89	0.83
	CI	0.77±0.84	0.77±0.88	0.76±0.65	0.88	1.00	0.88
	D _{max} (Gy)	59.03±10.13	58.93±10.01	59.02±10.08	0.99	1.00	0.99
	D _{min} (Gy)	53.42±10.64	53.46±10.72	53.43±10.66	1.00	1.00	1.00
	Duration (s)	7.62±3.15	8.02±3.15	7.96±3.13	0.84	0.87	0.98
	Spinal (Gy)	31.12±15.55	31.23±15.71	31.14±15.52	1.00	1.00	1.00
Organ	FH-L (Gy)	24.39±13.99	24.15±13.99	24.04±13.94	0.98	0.97	0.99
	FH-R (Gy)	23.20±14.98	22.99±14.98	31.14±14.91	0.98	0.98	0.99
	Rectum (Gy)	49.62±13.80	49.08±12.89	49.14±12.93	0.96	0.96	0.99
	Bladder (Gy)	46.08±17.57	45.57±16.91	45.61±16.93	0.97	0.97	1.00
	Blower (Gy)	24.60±17.47	24.56±17.43	24.57±17.44	1.00	1.00	1.00

FH: Femoral head

原子序数材料CT值有明显差异。以上原因可能是千伏级CT射线能量较低,与物质相互作用以光电效应为主,不同管电压在组织内的光电吸收与反冲电子吸收比例不同,骨吸收远大于软组织吸收,并随能量升高而下降较快^[9]。从表1分析可知:西门子Biography 16 HR CT机所得的IVDT₂曲线和GE公司Light speed RT16 CT机所得的IVDT₃曲线几乎相近,而兆伏级CT所得的IVDT₁曲线在密度为0~1.2 g/cm³处跟其它两条IVDT曲线几乎相近,在密度为1.2 g/

cm³(CT值200 HU)附近有明显的拐点,即不同的电压对低原子序数材料影响不大,对高原子序数材料有明显的差异,与文献[10]报道一致。因此,对于低原子序数材料如脂肪、空气、肺、肌肉,不同CT机、不同扫描电压对其CT值变化影响甚微,即对剂量分布计算和不均匀校正影响较小^[11-12]。

在放射治疗计划系统中进行三维适形和调强治疗计划设计时,对于小孔径CT,无论扫描电压、模体几何位置如何变化,其MU值相差均≤0.1%,而密度

插件的几何摆放位置对大孔径CT影响稍大, 相对差值为0.3%^[13-14]。本文结果显示不同扫描电压所得的IVDT曲线对靶区的均匀性、适形度、危及器官的各评价指标及出束时间均无统计学差异, 与以往文献报道相似, 而大孔径兆伏级CT所得的IVDT曲线对剂量分布和出束时间均无影响, 具体原因将进一步研究^[12]。

不同千伏级CT定位扫描设备所建立的IVDT曲线均无统计学差异, 兆伏级CT所建立的IVDT曲线在密度为1.2 g/cm³ (CT值200 HU)附近有明显的拐点, 但对Tomo的剂量学计算均无影响。因此, 在临床上选择不同的CT定位时无需重新建立IVDT曲线, 可提高物理师的工作效率。

【参考文献】

- [1] BENEVENTI S, CHIONNE F, GOBBI G, et al. Quantitative CT tomography for radiotherapy treatment planning: calibration phantom and sources of error [J]. *Radiother Oncol*, 1995, 37 (1): 41.
- [2] 马林, 王连元, 周桂霞. 肿瘤断层放射治疗[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2010: 26-48.
MA L, WANG L Y, ZHOU G X. Tomo therapy [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2010: 26-48.
- [3] 胡逸民, 张红志, 戴建荣. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 206-207.
HU Y M, ZHANG H Z, DAI J R. The tumor radiation physics [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 206-207.
- [4] 冯国生, 梁远, 吴丹玲, 等. CT值-相对电子密度转换曲线的影响因素分析 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21: 281-284.
FENG G S, LIANG Y, WU D L, et al. Impact factor of relationships between CT value and relative electron density for treatment planning system [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2012, 21: 281-284.
- [5] THOMAS S. Relative electron density calibration of CT scanners for radiotherapy treatment planning [J]. *Br J Radiol*, 1999, 72 (860): 781-786.
- [6] 张磊, 程品晶, 单国平, 等. 螺旋断层放射治疗的研究进展[J]. *实用医学杂志*, 2015, 31(12): 2056-2058.
ZHANG L, CHENG P J, SHAN G P, et al. Research progress in radiation therapy of spiral CT [J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2015, 31(12): 2056-2058.
- [7] 邱强. CT值相对电子密度校正及其对TPS计算精度的影响[J]. *医疗装备*, 2010, 23(12): 11-12.
QIU Q. CT value of relative electron density correction and its influence on TPS calculation accuracy [J]. *Chinese Journal of Medical Device*, 2010, 23(12): 11-12.
- [8] MUTIC S, PALTA J R, BUTKER E K, et al. Quality assurance for computed tomography simulators and the computed tomography simulation process: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 66 [J]. *Med Phys*, 2003, 30(10): 2762-2793.
- [9] 李定杰, 刘如, 毛荣虎, 等. 不同CT扫描条件模拟定位对放射治疗计划的影响[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2012, 19(20): 1579-1581.
LI D J, LIU R, MAO R H, et al. Evaluation of scanning parameters in CT simulation on radiotherapy planning [J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2012, 19(20): 1579-1581.
- [10] 庄名赞, 吴仁华, 邱庆春, 等. 调强适形放射治疗剂量验证中CT密度值的校准分析[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2011, 35(1): 54-58.
ZHUANG M Z, WU R H, QIU Q C, et al. Calibration of CT density values in dosimetry verification of intensity modulated radiation therapy [J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2011, 35(1): 54-58.
- [11] 王天昶, 张彦兵, 王锋刚, 等. 乳腺癌改良根治术后两种适形放疗计划的剂量学对比[J]. *实用医学杂志*, 2015, 31(22): 3745-3747
WANG T C, ZHANG Y B, WANG F G, et al. Conformal radiotherapy dosimetry two after modified radical mastectomy of breast cancer compared [J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2015, 31(22): 3745-3747.
- [12] SCHNEIDER U, PEDRONI E, LOMAX A. The calibration of CT Hounsfield uniform radiotherapy treatment planning [J]. *Phys Med Biol*, 1996, 41(1): 111-124.
- [13] VAN DYK J, BARNETT R B, CYGLER J E, et al. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1993, 26(2): 261-273.
- [14] SCHNEIDER W, BORTFELD T, SCHLEGEL W. Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulations of clinical dose distributions[J]. *Phys Med Biol*, 2000, 45(2): 459-478.

(编辑:陈丽霞)