

左乳癌保乳术后调强放疗计划三维剂量验证

周晖,许赧,沈文同,陈毅,张毅斌
上海交通大学医学院附属瑞金医院,上海 200025

【摘要】放疗计划验证能够确保病人接受精准治疗,具有重要临床意义。选取11例左乳癌保乳术后患者,对其调强放疗计划做Compass三维剂量验证。通过Compass重建计划与Pinnacle治疗计划系统数据对比,分析靶区(Planning Target Volume, PTV)和危及器官(Organs-at-Risk, OAR)的剂量体积直方图与Gamma值。PTV和OAR的 D_1 、 D_{95} 、 D_{99} 、 D_{mean} 偏差小于1 Gy, V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 偏差小于1.5%。在3 mm/3%标准下,PTV平均Gamma值为 0.45 ± 0.04 ,通过率均值为 $92.70\% \pm 2.44\%$,且具有统计学意义;OAR通过率接近100%。在2 mm/2%标准下,PTV通过率均值为 $78.61\% \pm 3.90\%$;OAR通过率均值为 $97.34\% \pm 0.96\%$ 。Compass验证了直线加速器对放疗计划的执行能力,为乳腺癌保乳术后调强放疗计划的临床应用提供了依据。

【关键词】乳腺癌;调强放疗;三维剂量验证;Compass系统

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)12-1216-04

Three-dimensional dose verification of intensity-modulated radiotherapy after left breast-conserving surgery

ZHOU Hui, XU Cheng, SHEN Wentong, CHEN Yi, ZHANG Yibin

Ruijin Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200025, China

Abstract: Radiotherapy planning verification can ensure that patients receive accurate treatment. We performed Compass three-dimensional dose verification for intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans for 11 patients undergoing breast-conserving surgery for left breast cancer. The dose-volume histograms and Gamma values of the planning target volume (PTV) and the organs-at-risk (OAR) were analyzed by comparing the parameters in Compass reconstruction plan with those in Pinnacle treatment planning system. The results showed that the deviation of D_1 , D_{95} , D_{99} , and D_{mean} of PTV and OAR were less than 1 Gy, and that of V_5 , V_{20} and V_{30} were less than 1.5%. Under the 3 mm/3% criterion, the average Gamma value of PTV was 0.45 ± 0.04 , and the average passing rate was $92.70\% \pm 2.44\%$, which had a statistical significance; for OAR, the passing rate was nearly 100%. Under the 2 mm/2% criterion, the mean passing rate of PTV was $78.61\% \pm 3.90\%$, and that of OAR was $97.34\% \pm 0.96\%$. Compass is capable of verifying the feasibility of linear accelerator in radiotherapy planning to facilitate the clinical implementation of radiotherapy plans after breast-conserving surgery for breast cancer.

Keywords: breast cancer; intensity-modulated radiotherapy; three-dimensional dose verification; Compass system

前言

据2012年的最新统计,每年新增女性乳腺癌患者约27.3万例,乳腺癌在女性恶性肿瘤发病率中居首位^[1]。近年来,随着放疗技术的发展,放疗已成为早期乳腺癌治疗的重要手段之一,尤其对乳腺癌保乳术后患者,放疗能提高肿瘤局部控制率,降低复发风险,从而给患者

带来生存获益^[2-5]。治疗计划设计是放疗流程中的重要环节,放疗计划的质量直接影响病人疗效,因此,放疗计划验证极其重要。Compass系统是IBA公司为放疗计划三维验证提供的解决方案,相对传统的点剂量和面剂量验证,以及其他三维验证产品,其突出优点是能够在患者CT图像上重建三维剂量分布,最大程度模拟患者真实治疗情况^[6-8]。放疗计划虽然通过了医生的审核,但由于直线加速器的性能与状态存在不稳定因素,患者实际接受的放疗计划仍可能存在一定偏差。因此,通过配套软件分析实际照射下的计划靶区(Planning Target Volume, PTV)和危及器官(Organs-at-risk, OAR)的剂量体积直方图(Dose-volume Histogram, DVH)信

【收稿日期】2017-10-17

【作者简介】周晖,男,硕士,初级物理师,研究方向:医学物理,E-mail:zhouhui2012@yeah.net

【通信作者】许赧,男,博士,副主任医师,研究方向:乳腺癌、前列腺癌放射治疗,E-mail:xucheng60@126.com

息和Gamma值,验证直线加速器对放疗计划的执行能力,具有重要临床意义。本文研究了左乳腺癌保乳术后调强计划的三维剂量验证,并对验证结果进行DVH和Gamma分析。

1 材料与方法

1.1 病例选择

选取在上海交通大学医学院附属瑞金医院接受治疗的11例左乳腺癌保乳术后放疗患者,由同一放疗科医师勾画PTV和OAR,包括心脏、左肺、右肺、左肱骨头以及脊髓。

1.2 放疗计划设计

每例患者均采用逆向调强技术设计放疗计划,执行方式为多叶准直器静态照射。采用的治疗计划系统为飞利浦公司的Pinnacle³(version 9.10),治疗计划均采用6个角度的照射野,分别为110°、120°、130°、305°、315°、325°,子野数为30,最小子野面积10 cm²,最小子野跳数10 MU,使用的直线加速器为医科达公司的Synergy放疗系统。

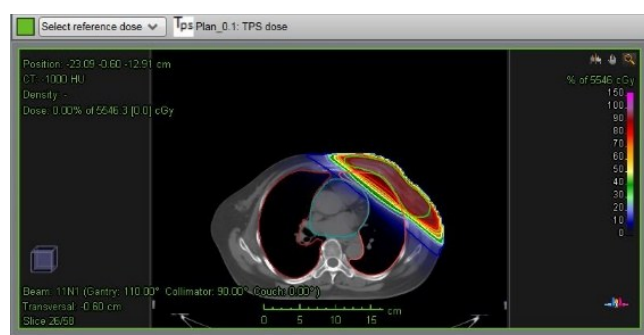
1.3 Compass系统

Compass三维验证系统分为硬件和软件两个部分,其中硬件部分主要包括加速器机头悬挂支架以及MatriXX二维平板电离室矩阵。MatriXX系统由1020

个空气电离室构成,等间距排成32×32矩阵形式。电离室间隔7.62 mm,其有效测量面积为24 cm×24 cm。每个电离室直径4.5 mm,高度5.0 mm,灵敏体积0.07 cm³,能够精准测量每一个点的剂量,减小平均效应^[9-10]。测量时,MatriXX悬挂在源轴距100 cm位置处,表面放置两块1 cm厚固体水。软件部分包括调试软件BeamCommission和分析软件Compass。

1.4 实验方法

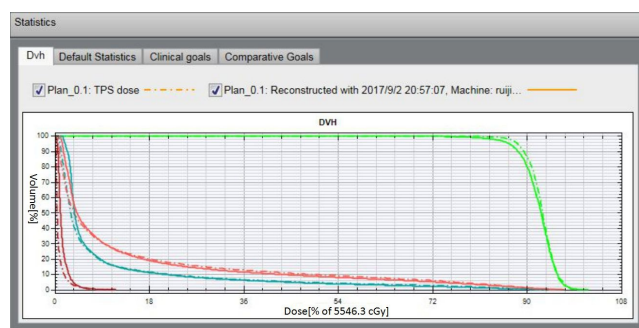
病人扫描CT后,医生勾画PTV和OAR并给出放疗处方剂量和OAR限定条件。物理师根据处方剂量制定放疗计划,医生确认通过后,分别传输计划到放疗网络和Compass分析软件。在加速器机头安装好Compass系统后,使用BeamCommission软件对直线加速器进行测试,测试通过后,加速器执行放疗计划的同时采集剂量数据。将采集到的数据导入Compass分析软件,重建出三维剂量分布。Compass分析界面如图1所示,图1a为Pinnacle³计划系统剂量分布图,图1b为Compass重建的剂量分布图,图1c为两者的DVH,图1d为Gamma值分布图。通过分析DVH和Gamma值的相关指标来反映放疗计划的验证结果,主要分析参数指标有PTV的 D_1 、 D_{95} 、 D_{99} 、 D_{mean} ,左肺的 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} ,心脏的 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} ,右肺的 D_{mean} ,以及各自的平均Gamma值 γ_{mean} 和Gamma通过率 $V_{\gamma < 1}$ 。



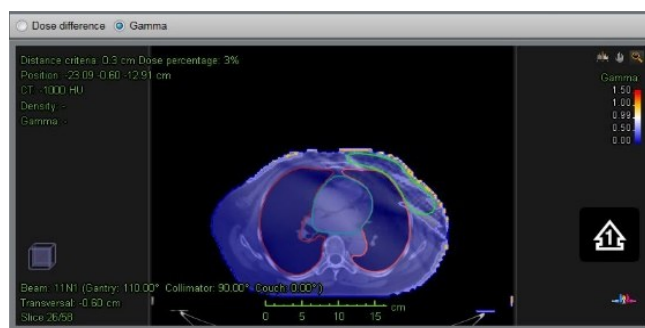
a: Dose distribution of Pinnacle³ treatment planning system



b: Reconstructed dose distribution



c: Dose-volume histogram



d: Distribution of Gamma values

图1 Compass三维剂量验证软件的分析界面

Fig.1 Interface of Compass three-dimensional dose verification software

2 结果

2.1 DVH分析

DVH宏观上反映出放疗计划的三维剂量分布信息,具有重要统计意义。对比Pinnacle³计划系统和Compass的DVH结果,表1列出11例患者PTV和OAR各参数的均值与方差,以及绝对偏差。表1中, D_1 、 D_{95} 、 D_{99} 、 D_{mean} 分别表示相应组织中1%体积对

应的照射剂量、95%体积对应剂量、99%体积对应剂量以及平均剂量,单位为Gy; V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 表示相应组织中照射剂量为5、20、30 Gy的体积所占比重,用百分数显示。表中可以看出,Compass重建结果与Pinnacle³计算结果高度吻合,体积剂量 D_1 、 D_{95} 、 D_{99} 、 D_{mean} 平均偏差均小于1 Gy,剂量体积 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 平均偏差均小于1.5%。

表1 Pinnacle³与Compass剂量体积直方图参数对比($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparison of dose-volume histogram parameters calculated by Pinnacle³ treatment planning system and Compass system (*Mean \pm SD*)

Structure	Indexes	Pinnacle ³	Compass	Deviation
PTV	D_1 /Gy	54.64 \pm 0.20	54.70 \pm 0.41	0.25 \pm 0.37
	D_{95} /Gy	49.18 \pm 0.31	48.38 \pm 0.63	0.80 \pm 0.44
	D_{99} /Gy	46.27 \pm 0.85	45.39 \pm 0.94	0.88 \pm 0.69
	D_{mean} /Gy	51.82 \pm 0.25	51.57 \pm 0.25	0.26 \pm 0.13
Left lung	V_5 /%	30.44 \pm 2.16	30.58 \pm 2.27	0.30 \pm 0.25
	V_{20} /%	14.08 \pm 1.28	12.99 \pm 1.34	1.08 \pm 0.41
	V_{30} /%	10.43 \pm 1.36	9.23 \pm 1.36	1.20 \pm 0.14
	D_{mean} /Gy	8.26 \pm 0.49	8.08 \pm 0.50	0.17 \pm 0.07
Heart	V_5 /%	14.89 \pm 2.91	15.91 \pm 2.83	1.02 \pm 0.33
	V_{20} /%	4.18 \pm 1.92	3.80 \pm 1.81	0.38 \pm 0.18
	V_{30} /%	2.67 \pm 1.39	2.23 \pm 1.25	0.44 \pm 0.19
	D_{mean} /Gy	3.90 \pm 0.81	4.22 \pm 0.72	0.32 \pm 0.12
Right lung	D_{mean} /Gy	0.43 \pm 0.04	0.82 \pm 0.05	0.38 \pm 0.03

PTV: Planning target volume

2.2 Gamma分析

Gamma分析是风险评估的重要手段,广泛应用于放疗计划验证中。3 mm/3%是计算Gamma分布的金标准,该标准下计算某点的Gamma值小于1,则表明该点通过验证。统计某一组织中Gamma值小于1的点所占比重,作为该组织的通过率,通过率大于90%则表明通过验证^[11]。本研究分别以3 mm/3%以及更严格的2 mm/2%来计算11例乳腺癌患者Compass重建计划的Gamma值。统计出PTV、左肺、心脏、右肺的平均Gamma值 γ_{mean} 和Gamma通过率 $V_{\gamma<1}$,同时对PTV和OAR的Gamma通过率做统计学分析,判断条件为通过率大于90%,得出P值,如表2所示。表2中结果表明,在3 mm/3%标准下,PTV和OAR平均通过率都在90%以上,差异具有统计学意义($P<0.05$),Gamma均值小于0.5。在2 mm/2%标

准下,各组织通过率有所降低,PTV低于90%,OAR通过率大于95%,PTV的Gamma均值大于0.5,其他小于0.5。

3 讨论与结论

本研究选取11例左乳癌保乳术后放疗病例,并使用Compass对放疗计划进行三维验证。分别从DVH和Gamma分析角度,对比Compass实测数据与Pinnacle³治疗计划系统计算数据:(1)DVH分析结果发现,Compass实测数据与计划系统计算数据高度吻合,PTV和OAR的各项参数均在合理偏差内;(2)Gamma分析结果发现,在金标准3 mm/3%下,PTV通过率均在90%以上,且结果有统计学意义,OAR通过率更佳,接近100%,表明放疗计划通过验证,可以用于患者治疗;在2 mm/2%的严格标准下,PTV通过率

表2 3 mm/3%和2 mm/2%标准下 Compass 系统 Gamma 参数结果
Tab.2 Gamma parameters for Compass system using the criteria of 3 mm/3% or 2 mm/2%

Structure	Indexes	3 mm/3%		2 mm/2%	
		Gamma (<i>Mean</i> ± <i>SD</i>)	<i>P</i> value	Gamma (<i>Mean</i> ± <i>SD</i>)	<i>P</i> value
PTV	$V_{\gamma<1}/\%$	92.70±2.44	0.000 8	78.61±3.90	1.000 0
	γ_{mean}	0.45±0.04		0.65±0.06	
Left lung	$V_{\gamma<1}/\%$	99.6±0.28	0.000 0	97.34±0.96	0.009 0
	γ_{mean}	0.31±0.02		0.46±0.03	
Heart	$V_{\gamma<1}/\%$	99.92±0.14	0.000 0	99.20±0.57	0.000 0
	γ_{mean}	0.33±0.03		0.49±0.05	
Right lung	$V_{\gamma<1}/\%$	100.00±0.00	0.000 0	99.99±0.04	0.000 0
	γ_{mean}	0.23±1.97		0.35±0.03	

小于 90%, OAR 通过率仍在 95% 以上, 各组织的 Gamma 通过率分布状态均呈现降低趋势, 并且数值区间增大, 数据分布的一致性变差, PTV 尤为明显。

放疗是肿瘤治疗的一种重要手段, 大约 70% 的癌症患者需要使用放射治疗。在强调精准医疗的大环境下, 随着放疗技术的发展, 放射治疗计划设计日益精细化, 但治疗计划的实施受多方面因素的影响, 直线加速器的执行能力很大程度决定了病人的治疗质量^[12-14]。因此, 治疗计划的质量评估工作尤为重要, Compass 系统从三维的角度验证了加速器对治疗计划的执行度, 为病人治疗提供信心与依据, 同时也有利于物理师了解加速器的状态。

【参考文献】

- [1] 陈万青, 郑荣寿, 张思维. 2012 年中国恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. 中国肿瘤, 2016, 35(1): 1-8.
CHEN W Q, ZHENG R S, ZHANG S W. Report of cancer incidence and mortality in China, 2012[J]. China Cancer, 2016, 35(1): 1-8.
- [2] CORREA C, MCGALE P, TAYLOR C, et al. On behalf of the Early Breast Cancer Trialists Collaborative Groups (EBCTCG), overview of the randomized trials of radiotherapy in ductal carcinoma *in situ* of the breast[J]. J Natl Cancer Inst Monogr, 2010, 2010(41): 162-177.
- [3] GIUSEPPE F, NICOLA R, EUGENIO P, et al. Breast conserving treatment for ductal carcinoma *in situ* in the elderly: can radiation therapy be avoided? Our experience[J]. Int J Surg, 2014, 12(Suppl 2): S47-S49.
- [4] 黎艳萍, 陈卫东, 廖玲霞. 早期乳腺癌保乳术及术后治疗的研究进展[J]. 医学综述, 2013, 19(1): 69-71.
LI Y P, CHEN W D, LIAO L X. Research progress of early breast cancer's conserving surgery and postoperative treatment[J]. Medical Recapitulate, 2013, 19(1): 69-71.
- [5] 于金明, 李建彬. 乳腺癌保乳术后放射治疗进展[J]. 中华乳腺癌杂志, 2007, 6(3): 13-22.

YU J M, LI J B. The development of radiation therapy after breast-conserving surgery[J]. Chinese Journal of Breast Disease, 2007, 6(3): 13-22.

- [6] 陈旭明, 姚升宇, 许奕. 宫颈癌调强放疗的三维剂量验证[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(2): 74-76.
CHEN X M, YAO S Y, XU Y. Three-dimensional dose verification of cervix cancer intensity modulated radiation therapy[J]. China Medical Devices, 2017, 32(2): 74-76.
- [7] RUURD V, DAVID J L, MARTIJN D G, et al. Evaluation of DVH-based treatment plan verification in addition to gamma passing rates for head and neck IMRT[J]. Radiother Oncol, 2014, 112(3): 389-395.
- [8] MONSEUX A, BALTIERI V, SOTTIAUX A, et al. Assessment of portal dosimetry accuracy as a QA tool for VMAT clinical treatment plans using DOLPHIN/COMPASS tools[J]. Phys Med, 2016, 32 (Suppl 4): 355-356.
- [9] COZZOLINO M, OLIVIERO C, GALIFANO G, et al. Clinically relevant quality assurance (QA) for prostate RapidArc plans: Gamma maps and DVH-based evaluation[J]. Phys Med, 2014, 30(4): 362-472.
- [10] SDROLIA A, BROWNSWORD K M, MARSDEN J E, et al. Retrospective review of locally set tolerances for VMAT prostate patient specific QA using the COMPASS® system[J]. Phys Med, 2015, 31(7): 792-797.
- [11] International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting photon beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. J ICRU, 2010, 10(1): 1-106.
- [12] IRIS E A, ADEOLA Y M, MOLYKUTTY J A, et al. Comprehensive molecular tumor profiling in radiation oncology: how it could be used for precision medicine[J]. Cancer Lett, 2016, 382(1): 118-126.
- [13] DAMIEN C W, MILAN T, CHRISTOS M, et al. QA makes a clinical trial stronger: evidence-based medicine in radiation therapy [J]. Radiother Oncol, 2012, 105(1): 4-8.
- [14] STEPHEN F K, LAINY D, PAOLA A, et al. Radiation therapy deficiencies identified during on-site dosimetry visits by the Imaging and Radiation Oncology Core Houston Quality Assurance Center[J]. Int J Radiat Oncol, 2017, 99(5): E546-E547.

(编辑: 谭斯允)