

基于小波融合多野剂量评估计划整体通过率的可行性

孟慧鹏^{1,2},董化江¹,丁红军¹,孙小喆²,郑爱青²,梁克明²

1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院,天津 300072;2. 武警后勤学院附属医院放疗中心,天津 300162

【摘要】目的:评价基于小波方法融合电子射野影像装置(EPID)多野剂量分析计划整体通过率的可行性。**方法:**选取70例不同部位的容积调强(VMAT)双弧计划,用Varian公司的aSi500-II EPID系统进行剂量验证,将TPS计划和验证结果的通量图导出,用Matlab读取通量图,并基于小波的一层分解重构分别对每个计划的单弧通量图进行融合。用Matlab仿真3%/3 mm标准的 γ 通过率,并记录双弧计划每个弧的结果和融合后的结果,共3组数据。同时利用PTW Detector 729矩阵对计划进行剂量验证作为对照组,与融合后的结果行配对 t 检验分析。**结果:**双弧计划每个弧的通过率和融合后的通过率均在95%以上,两种方式不同部位双弧VMAT计划的通过率均无统计学差异($t=1.453\sim 2.129$, $P>0.05$)。**结论:**基于小波融合EPID多野剂量可用于评估VMAT双弧计划整体通过率,其结果有助于更全面保障调强放疗计划验证的准确性。

【关键词】电子射野影像装置;容积调强;剂量验证;小波

【中图分类号】R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)04-0359-04

Feasibility of evaluating the plan overall passing rate based on wavelet fused with multi field dose assessment

MENG Huipeng^{1,2}, DONG Huajiang¹, DING Hongjun¹, SUN Xiaozhe², ZHENG Aiqing², LIANG Keming²

1. School of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Radiotherapy Center, Affiliated Hospital of Logistics University of Chinese People's Armed Police Force, Tianjin 300162, China

Abstract: Objective To discuss on the feasibility of multi field dose assessment of electronic portal imaging device (EPID) based on wavelet method for evaluating the plan overall passing rate. **Methods** The double-arc volumetric modulated arc therapy (VMAT) plans for different body sites in 70 patients were selected. After the dosimetric verification of Varian aSi500-II EPID system, the flux maps of treatment planning system plans and verification results were exported and read by using Matlab. The flux maps of each single arc in plans were fused, respectively, based on the wavelet decomposition. The gamma passing rate of 3%/3 mm in Matlab simulation were used to record three sets of data, including the results of each single arc and the fusion results. In addition, t -test was used to analyze the results of image fusion and the results of control group, in which PTW Detector 729 array was used for dosimetric verification. **Results** No statistical difference in gamma passing rate between the two methods for different body sites was found ($t=1.453\sim 2.129$, $P>0.05$), and all the gamma passing rates of each arc in the double-arc plan and the fused images were more than 95%. **Conclusion** The wavelet fused with EPID multi field dose assessment comprehensively evaluate the overall passing rate of double-arc VMAT plans, and the results provides value for the comprehensive verification of intensity-modulated radiotherapy plans.

Keywords: electronic portal imaging device; volumetric modulated arc therapy; dosimetric verification; wavelet

前言

设计电子射野影像装置(Electronic Portal Imaging

Device, EPID)的初衷主要是为了实现射野验证无胶片化,EPID探测器面板不断发展之后,基于非晶硅和非晶硒的固体探测器面板,由于其可形成大视野、高效率、高分辨率的影像,在放疗射野验证中被广泛应用^[1-3]。近年来,国外基于非晶硅EPID(a-Si EPID)在剂量验证方面的研究越来越多,已经证实其是具有良好图像质量、光学转换效率相对较高、大面积成像区域和高

【收稿日期】2016-11-30

【基金项目】武警后勤学院附属医院种子基金项目(FYM201620, FYQ201608)

【作者简介】孟慧鹏,硕士,物理师、高级工程师,主要从事肿瘤放射治疗物理学及网络相关的研究工作,E-mail:hongyi1218@163.com

抗辐射性等特点的系统^[4-7];a-Si EPID的剂量响应好并具有良好的线性剂量响应特性(线性优于1%),通过简单的校准因子就可将EPID信号转换为绝对剂量;其剂量测量信号的长期稳定性高,测量重复性误差小于0.5%,a-Si EPID非常适合扩展到剂量学验证测量的应用^[8-11]。配置在Varian公司IX加速器上的aS500-II(a-Si EPID)对多弧(野)计划目前只能单独查看每个弧(野)的剂量验证通过率情况,无法得知整体验证情况,融合EPID多野剂量从而分析计划整体的通过率未见相关报道。本研究对70例(包括头颈肩病例30例,胸部和腹部病例各20例)患者的容积调强(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)放疗计划用EPID进行剂量验证,随后通过Matlab仿真软件及小波工具对剂量验证的计划通量图和验证结果通量图分别进行融合处理后计算其通过率,从而实现双弧计划剂量验证通过率的整体评价,进而评价基于小波方法融合EPID多野剂量分析计划整体通过率方法的可行性。

1 材料和方法

1.1 仪器设备

随机选取武警后勤学院附属医院放疗中心2012年12月至2015年12月接受VMAT治疗的双弧计划70例,包括头颈肩病例30例,胸部和腹部病例各20例;所有计划及验证计划等均使用瓦里安公司Eclipse 10.0版本的计划系统设计;治疗机为瓦里安公司的Clinac IX直线加速器,能量选择6 MV X线,剂量率为600 MU/min;用于导出EPID计划通量图和验证结果通量图的软件为瓦里安公司的Portal Dosimetry系统,软件版本为10.0;EPID探测面板型号为aS500-II;用于融合及仿真的软件为Matlab 8.3;电离室为PTW 0.6 cc 指形电离室和OCTAVIUS Detector 729矩阵;Gamma指数分析软件为PTW公司的Verisoft软件,软件版本为5.1;PTW公司的八角模体和瓦里安的EPID探测面板用于实验验证;固体水使用MT-VW红固体水,密度为1.03 g/cm³。

1.2 方法

1.2.1 设备校准及刻度 为保证验证的准确性,测量前首先用PTW 0.6 cc 指形电离室和固体水对加速器刻度,使用相同条件,同样在进行实验前对EPID-Portal Dosimetry系统进行相应的校准以保证验证的准确性,比如对EPID进行本底修正、增益修正和坏点修正等^[8-10]。

1.2.2 实验设计与评估方法 实验的基本思想是将计

划和验证结果的通量图导出,用Matlab读取通量图,并基于小波的一层分解重构分别对每个计划的单弧通量图进行融合,用Matlab仿真3%/3 mm标准的 γ 通过率(以下均简称为通过率),包括单个弧的结果和融合后的结果共3组数据,同时将PTW矩阵的验证结果作为对照组,最终比较双弧计划图像融合得到的通过率和PTW矩阵得到的通过率结果的差异。具体步骤如下:(1)Portal Dosimetry系统导出每个计划两个弧的计划通量图和验证结果通量图,导出PTW矩阵验证计划并进行验证及记录验证结果;(2)用Matlab自编程序读取第2步导出的通量图,并进行基于小波的一层分解和重构,得到双弧计划融合后的计划通量和验证通量;(3)用Matlab仿真3%/3 mm标准的通过率,分别记录每个计划单个弧的结果和融合后的结果,共3组数据;(4)比较基于小波融合的通过率结果与PTW矩阵通过率结果的差异。

1.3 统计学方法

均数、标准差等统计学参数均由SPSS 19.0软件计算得到,对两种方式验证结果行配对 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

70例不同部位的剂量验证结果见表1。由表1可见,双弧计划每个弧的通过率、融合后的通过率及PTW矩阵的通过率均在95%以上,融合结果的通过率略高于PTW矩阵的通过率。双弧计划PTW矩阵结果与融合结果的配对 t 检验结果见表2。由表2可见,两种方法不同部位病例的通过率结果中, t 值最大为2.129,最小为1.453, P 值均大于0.05,提示两种方法的实验结果无统计学差异。图1为单弧TPS计划通量图与EPID验证通量图融合后效果的图例。

3 讨论

探测面板型号为aS500-II的Varian EPID,有效探测面积为40 cm×30 cm,分辨率约为0.78 mm。PTW Detector 729电离室矩阵的有效探测面积为27 cm×27 cm,分辨率为10 mm,通过其特殊的4步合成测量可以达到5 mm的分辨率。电离室矩阵和半导体矩阵因其方便快捷、设备可重复利用、数字化程度高等特点而被广泛使用,在没有配置昂贵的Delta 4、Arccheck等三维剂量验证工具的单位仍然为调强放疗剂量验证的主流方法^[12-14]。近年来,EPID自身的物理特性逐渐被揭示,其具备诸多用于剂量验证的优点,如高分辨率、快速采集数据、强抗辐射能力,并且使用方

表 1 γ 通过率结果(%)

Tab.1 Results of gamma passing rates (%)

Site	Single arc1		Single arc2		PTW array		Fusion result	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
Head-neck-shoulder	97.72	1.40	97.97	1.46	97.87	1.47	98.05	1.26
Chest	96.65	1.98	97.04	1.81	97.06	1.72	97.37	1.52
Abdomen	97.30	1.58	97.18	1.67	97.02	1.73	97.20	1.58

表 2 t 检验结果

Tab.2 Results of t -test

Site	PTW array/%		Fusion result/%		t test	
	Mean	Std	Mean	Std	t value	P value
Head-neck-shoulder	97.87	1.47	98.05	1.26	2.129	0.06
Chest	97.06	1.72	97.37	1.52	1.453	0.18
Abdomen	97.02	1.73	97.20	1.58	1.925	0.08

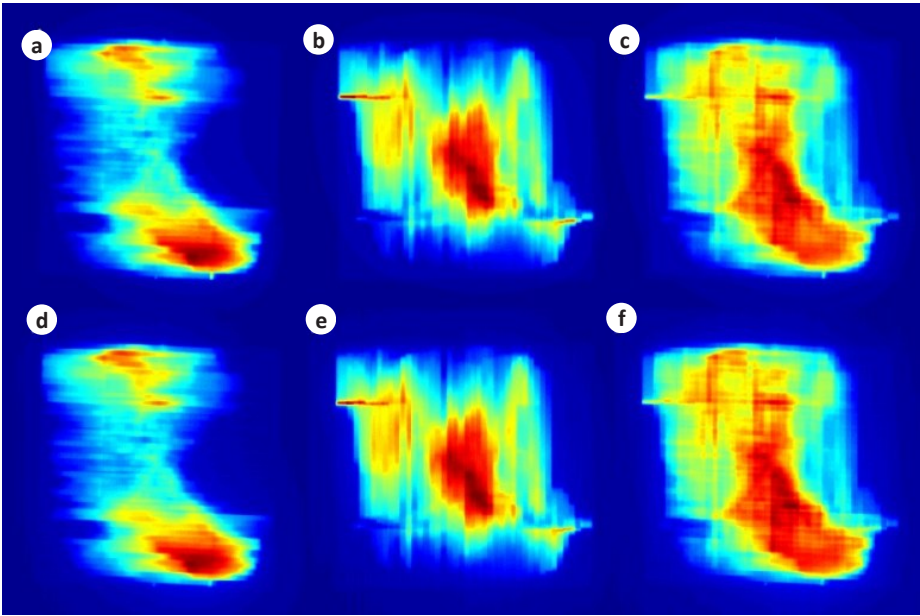


Fig.a and fig.b show the flux maps of treatment planning system (TPS) for each arc in the double-arc plans; fig.c shows the fusion flux map of TPS for each arc in the double-arc plans; fig.d and fig.e show the flux maps of EPID dosimetric verification for each arc in the double-arc plans; fig.f shows the fusion flux map of EPID dosimetric verification for each arc in the double-arc plans.

图 1 融合结果图示

Fig.1 Examples of fusion results

便能即时显示二维图像,将其应用于放射治疗剂量验证的研究也越来越多^[8-11]。本研究即属于EPID用于放射治疗的剂量验证范畴。

调强验证中采用不同的验证工具、评价方法、评价标准,相互之间没有可比性,本质上的通过率差异可以是验证工具、评价方法、评价标准这三者中任意

的一种或几种组合因素所造成的。之前从临床实际应用的层面分析EPID和PTW矩阵的 γ 通过率发现,两种方法的通过率与计算通过率时所选的范围有关^[14]。表现为靶区外扩30 mm范围之内PTW Detector 729矩阵的通过率高於Varian EPID,靶区外扩30 mm范围两者的通过率趋于相同,靶区外扩30 mm范围之

外(有效测量面积之内)Varian EPID的通过率高于PTW Detector 729矩阵,为了尽可能保证实验的可比性,本实验均选择靶区外扩30 mm范围计算通过率。

目前将EPID用于VMAT剂量验证的放疗单位较少,尤其在双弧计划的验证中,如Varian公司Portal Dosimetry系统对多弧(野)计划目前只能单独查看每个弧(野)的剂量验证通过率情况,而不能查看整体验证情况也进一步制约了其在剂量验证中的应用。本研究提出用Matlab程序基于小波的一层分解重构对VMAT双弧计划两个弧的计划通量和验证结果通量分别进行融合,将融合后图像得到的通过率与PTW矩阵的通过率结果相比,进而分析用EPID的验证结果评价整个计划通过率的可行性。从实验结果来看,PTW矩阵的通过率结果与融合EPID多野剂量的通过率结果基本一致,无统计学差异。在靶区外扩30 mm范围内基于小波方法融合EPID多野剂量进而评价计划的整体通过率是可行的。进一步分析结果发现图像融合后未通过的点与单弧未通过点的位置存在差异,欠剂量点与过剂量点与单弧结果无相关性,这一规律符合预期。原因是实际剂量验证时,某个弧的欠剂量点可能正好对应另一个弧的过剂量点,两剂量点叠加后可形成欠剂量点、过剂量点和通过验证点中的任意形式。另外,本研究还发现图像融合的通过率略高于单个弧,头颈肩、胸部、腹部病例均有类似规律,究其原因融合后的结果与单个弧相比进一步减少了验证时带来的随机误差,从而提高了通过率,同样符合预期。最后,实验基于前人的经验选用的小波为Coiflet小波^[15-16],并未进一步比较不同的小波对结果的影响,以及是否存在其他小波更适合本实验,均有待于进一步研究。本实验基于Varian公司Portal Dosimetry系统仅对系统能够提供的等中心位置的面剂量(靶区外扩30 mm范围内)进行了评价,下一步研究可借助Delta 4、Arc-check等三维剂量验证工具在更多平面更大范围验证此方法的可行性。

4 结 论

基于小波融合双弧VMAT计划的EPID剂量后得到的通过率结果对评价计划的整体通过率有一定参考价值,其结果有助于更全面保障调强放疗计划验证的准确性,且实现简便,可推广使用。

【参考文献】

- [1] ANTONUK L E. Electronic portal imaging devices: a review and historical perspective of contemporary technologies and research [J]. Phys Med Biol, 2002, 47(6): R31-R65.
- [2] BOYER A L, ANTONUK L, FENSTER A, et al. A review of electronic portal imaging devices (EPIDs) [J]. Med Phys, 1992, 19(1): 1-16.
- [3] WONG J W. Electronic portal imaging devices (EPID) [J]. Encycloped Radiat Oncol, 2013, 40(2): 207-213.
- [4] BLAKE S J, MCNAMARA A L, DESHPANDE S, et al. Characterization of a novel EPID designed for simultaneous imaging and dose verification in radiotherapy [J]. Med Phys, 2013, 40(9): 091902.
- [5] SPREEUW H, ROZENDAAL R, OLACIREGUI- RUIZ I, et al. Online 3D EPID-based dose verification for optimum patient safety [J]. Med Phys, 2015, 42(6): 3667-3669.
- [6] SABOORI M, SCHMIDT M, MOHAMMADI M, et al. An experimental method for IMRT transit dose verification using an a-Si EPID system [J]. Radiother Oncol, 2014, 111(1): 172-173.
- [7] CILLA S, IANIROA A, EODATO A F D, et al. EPID-based *in-vivo* dosimetry for VMAT treatment dose verification: initial clinical experience [J]. Phys Med, 2016, 32(1): 14.
- [8] YADDANAPUDI S, CAI B, SUN B, et al. Using an electronic portal imaging device (EPID) for correlating linac photon beam energies [J]. Med Phys, 2015, 42(6): 3517-3520.
- [9] MENON G V, SLOBODA R S. Compensator quality control with an amorphous Silicon EPID [J]. Med Phys, 2003, 30(7): 1816-1824.
- [10] TAN Y, METWALY M, GLEGG M, et al. A dual 2D EPID transit dosimetry model for actual treatment verification [J]. Radiother Oncol, 2015, 115(1): 430.
- [11] NAKAGUCHI Y, ARAKI F, ONO T, et al. Validation of a quick three-dimensional dose verification system for pre-treatment IMRT QA [J]. Radiol Phys Technol, 2015, 8(1): 73-80.
- [12] FREDH A, SCHERMAN J B, FOG L S, et al. Patient QA systems for rotational radiation therapy: a comparative experimental study with intentional errors [J]. Med Phys, 2013, 40(3): 031716.
- [13] HUSSEIN M, ADAMS E J, JORDAN T J, et al. A critical evaluation of the PTW 2D-ARRAY seven 29 and OCTAVIUS II phantom for IMRT and VMAT verification [J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(6): 4460-4464.
- [14] MENG H P, SUN X Z, WANG H, et al. Comparative analysis for dose verification of volumetric modulated arc therapy by Varian EPID and PTW Detector 729 [J]. J Radiat Res Radiat Proces, 2015, 33(5): 25-29.
- [15] SURIYA T S, RANGARAJAN P. An improved fusion technique for medical images using discrete wavelet transform [J]. J Med Imaging Health Inform, 2016, 6(3): 585-597.
- [16] SCHOLKMANN F, REVOL V, KAUFMANN R, et al. A new method for fusion, denoising and enhancement of X-ray images retrieved from Talbot-Lau grating interferometry [J]. Phys Med Biol, 2014, 59(6): 1425-1440.

(编辑:黄开颜)