Vol.41, No.1 February 2023

基于 iCBCT 图像的盆腔肿瘤放疗计划 剂量计算相关研究

赵前锋^{1,2} 明 鑫³ 刘 波⁴ 唐春慧^{1,2} ¹(湖北文理学院附属医院 襄阳市中心医院肿瘤科 襄阳 441021) ²(湖北文理学院肿瘤研究所 襄阳 441021) ³(天津医科大学 生物医学工程与技术学院 天津 300050) ⁴(山东省肿瘤医院 济南 250117)

摘要 为了探讨iCBCT 图像用于盆腔肿瘤剂量计算的准确性,本研究选取某院使用Haleyon加速器行放疗的 病例 30 例,利用 Eclipse 15.6 计划系统重新设计容积旋转调强(VMAT)放疗计划,随后将首次治疗采集的摆位 CBCT 图像(iCBCT)与计划CT 图像(pCT)进行配准,并将每例病例的 VMAT 计划(pCT 计划)移植到iCBCT 图 像上,基于 iCBCT 图像标定的 CT 值一相对电子密度曲线重新进行剂量计算,生成新的治疗计划(iCBCT 计 划)。采用 SPSS 26.0 软件对两种计划的剂量学参数进行 t 检验分析。结果显示,iCBCT 计划和 pCT 的计划相比, 计划靶区(Planning target volume, PTV)剂量学参数中D₂、D₉₈、D_{mean}、适形指数(Conformity index, CI)和均匀性 指数(Homogeneity index, HI)结果均较接近,差异平均值依次为0.71%、0.53%、0.97%、0.25%和0.95%,差异无 统计学意义(p>0.05)。所统计的危及器官中,左右股骨头、直肠和膀胱的D_{mean}、D₅、V₂₀、V₃₀和V₄₀的差异平均值均 较小,均无统计学意义(p>0.05),差异平均值最大的参数为膀胱的D_{mean}、差异值为1.71%。与pCT 计划相比, iCBCT 计划的 Gamma 通过率为1%/1 mm 标准(88.1±1.1)%,2%/2 mm 标准(97.8±1.2)%。两种计划的等中心点 剂量与实测值相比差异平均值分别为0.98%和0.81%,差异均无统计学意义(p>0.05)。结果提示,在大多数盆 腔病例中,iCBCT 图像用于放疗计划剂量计算的结果准确、可靠,准确性满足临床应用的要求。 关键词 迭代锥形束 CT,剂量计算,盆腔肿瘤,容积旋转调强 中图分类号 R815,TL72

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0090

Study on dose calculation of pelvic tumor radiotherapy planning based on iCBCT images

ZHAO Qianfeng^{1,2} MING Xin³ LIU Bo⁴ TANG Chunhui^{1,2}

¹(Department of Oncology, Xiangyang Central Hospital, Affiliated Hospital of Hubei University of Arts and Science,

Xiangyang 441021, China)

²(Institute of Oncology, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441021, China) ³(School of Biomedical Engineering, Tianjin Medical University, Tianjin 300050, China) ⁴(Shandong Cancer Hospital, Jinan 250117, China)

基金资助: 国家自然科学基金(11805144)资助

第一作者:赵前锋,男,1976年9月出生,2008年本科毕业于三峡大学,主管技师,从事肿瘤放射物理学研究工作

通信作者: 唐春慧, E-mail: tangchunhui1992@163.com

收稿日期: 初稿 2022-08-28; 修回 2022-11-07

Supported by National Natural Science Foundation of China (11805144)

First author: ZHAO Qianfeng (male) was born in September 1976, and obtained his bachelor's degree from China Three Gorges University in 2008. Now he is a technician in charge, majoring in radiotherapy physics for tumor research

Corresponding author: TANG Chunhui, E-mail: tangchunhui1992@163.com

Received 28 August 2022; accepted 07 November 2022

ABSTRACT In order to discuss the accuracy of iterative cone-beam computed tomography (iCBCT) image used for pelvic tumor dose calculation, thirty cases were selected from a hospital that use a Halcyon accelerator for radiotherapy. The volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan was redesigned using Eclipse 15.6 planning system, and the setup iCBCT image acquired for the first time was registered with the planning CT image (pCT). The VMAT plan (pCT plan) of each case was transplanted to the iCBCT image, and the dose was calculated again based on the CT-relative electron density curve calibrated using the iCBCT image to generate a new treatment plan (iCBCT plan). The dosimetric parameters of the two plans were analyzed using SPSS 26.0 software to perform ttests. The results of D_2 , D_{98} , D_{mean} , conformity index (CI), and homogeneity index (HI) in the planning target volume dosimetry parameters of the iCBCT plan were similar to those of the pCT plan. The average differences were 0.71%, 0.53%, 0.97%, 0.25%, and 0.95%, respectively, with no statistical significance (p > 0.05). Among the organs at risk, the average difference of D_{mean} , D_5 , V_{20} , V_{30} , and V_{40} between the left and right femoral head, rectum, and bladder was small, with no statistical significance (p>0.05). The parameter with the largest average difference (1.71%) was D_{mean} of the bladder. Compared with that of the pCT plan, the gamma pass rate of the iCBCT plan was 1%/1 mm standard (88.1±1.1)% and 2%/2 mm standard (97.8±1.2)%. Compared with the measured values, the mean difference between the isocenter dose of the two plans was 0.98% and 0.81%, respectively, with no statistical significance (p>0.05). The results show that in most pelvic cases, the results of the iCBCT images used for radiotherapy planning dose calculation are accurate and reliable, and the accuracy meets the requirements of clinical application.

KEYWORDS Iterative cone-beam CT (iCBCT), Dose calculation, Pelvic tumor, Volumetric modulated arc therapy (VMAT)

CLC R815, TL72

锥形束CT(Cone-beam CT, CBCT)图像本 身具有在线获取患者解剖结构和确定组织电子密 度的潜力, 传统的CBCT 自身散射噪声严重, 造成 重建图像的CT值数据不准确,进行放疗计划的剂 量计算与扇形束CT相比仍存在一定差距,不满足 临床要求^[1-3]。2020年8月,中国第一台Halcyon 2.0加速器(瓦里安公司,美国)装机,其集成的 kV级CBCT通过新的迭代去噪算法进一步提高了 CBCT的图像质量^[4-5]。迭代CBCT(Iterative cone beam CT, iCBCT) 与常规CBCT 图像相比图像质 量明显提高[5-6]。本研究将选取30例盆腔肿瘤病 例,基于计划CT(Planning CT, pCT)和iCBCT 图像重新设计容积旋转调强 (Volumetric modulated arc therapy, VMAT) 放疗计划, 通过等 剂量线分布、剂量体积直方图 (Dose volume histogram, DVH)及Gamma通过率等参数比较两 种计划(图像)的差异,全面对 iCBCT 图像用于 盆腔肿瘤放疗计划的剂量计算进行评估,为实现 基于 iCBCT 图像的自适应放射治疗技术 (Adaptive radiotherapy, ART)^[7-8]等应用场景提供 数据支持。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取山东肿瘤医院 2021 年3 月至 2022 年3 月 期间在行放疗的盆腔肿瘤病例 30 例,其中男性 14 例,女性 16 例,中位年龄 59 岁(45~63)岁,病 例使用经该医院伦理委员会批准,所有患者均签 署知情同意书。30 例病例均行 CBCT 扫描,并由 新的迭代算法进行了三维重建。病例纳入标准: (1)病例选择涵盖常见的盆腔肿瘤;(2)首次治 疗扫描过 CBCT;(3)扇形束 CT 图像的靶区和危 及器官轮廓信息完整。排除标准:(1)多等中心 的病例,治疗范围超过 25 cm 的病例;(2)CBCT 图像存在严重金属伪影;(3)CBCT 图像不完整。

1.2 仪器设备

本研究使用的软硬件为: Varian Eclipse 计划系 统及其自带的 Registration 配准软件,软件版本均 为15.6; Gamma 通过率分析软件 PTW verisoft 7.1; Halcyon 2.0 加速器 (美国, Varian 公司); CIRS Model 062 模体 (美国, CIRS 公司); MT-VW 固体 水和 PTW 0.6 cc 指形电离室 (德国, PTW 公司);

1.3 CT-相对电子密度曲线的建立

iCBCT 图像的 CT 值-相对电子密度曲线标定 采用 CIRS Model 062模体(与pCT 图像标定模体相 同)。该模体由内外两层环形结构组成,共计9种(17 个),密度插件分别分布于内外两层环形结构上,可 模拟常见的人体组织,内外层配合使用,用于模拟 体部的应用场景。为了保证足够的散射,标定曲线 扫描模体时,将模体夹于两块10 cm厚的固体水之 间;扫描协议与采集真实病例 iCBCT 时相同 (125 kV、80 mA、13 ms)。最终在重建的iCBCT 图像 上获取模体中各密度插件的 CT 值(取其0.7 cm×0.7 cm矩形区域内的平均 CT 值),并输入 Eclipse 15.6 计划系统中建立 CT 值-相对电子密度标定曲线。

1.4 pCT计划和iCBCT的创建

对30例盆腔病例重新设计VMAT计划(靶区和 危及器官结构移植于原始pCT计划),根据计划的 复杂程度设计单弧或者双弧计划。处方剂量均设置 为6000 cGy/30次,射线能量为6MVX线,采用 FFF模式,计划设计要求95%以上的处方剂量包绕 100%计划靶区(Planning target volume,PTV)。计划 优化时 PTV 的目标函数优先级最高,其余主要危及 器官剂量体积限值如表1所示,剂量计算采用 Acuros XB算法,计算网格为0.25。基于pCT 图像的 计划设计完成后,将iCBCT 图像(首次治疗时采集) 与 pCT 图像进行配准(通过 Eclipse 自带的 Registration刚性配准软件),并将pCT 计划移植到 iCBCT 图像上,使用 iCBCT 图像的CT 值-相对电子 密度曲线重新进行剂量计算,生成 iCBCT 计划。两 种计划均导出剂量文件备用。

表1 危及器官的剂量体积限值 Tabel 1 Dose volume limits of organ at risk (OAR)

危及器官	剂量体积限值
Organ at risk	Dose volume limits
膀胱 Bladder	V ₅₀ <50%
直肠 Rectum	$V_{50}\!\!<\!\!40\%$, $V_{40}\!\!<\!\!50\%$
股骨头 Femoral head	$V_{40}\!\!<\!\!5\%$, $D_{\rm max}\!\!<\!\!52~{ m Gy}$
小肠 Small intestine	$V_{50} < 10\%$, $D_{\text{mean}} < 30 \text{ Gy}$
卵巢 Ovary	<i>D</i> _{max} <12 Gy
睾丸 Testis	$D_{\rm max}$ <4 Gy

1.5 pCT计划与iCBCT的比较

两种计划均比较等剂量分布曲线、DVH等中点 心处点剂量(与PTW 0.6cc 指形电离室实测值比 较)、Gamma 通过率,并通过 DVH 图获取靶区和危 及器官的剂量学参数进行比较。统计的剂量学参数 包括 PTV 的 D_{98} 、 D_2 、 D_{mean} ,及适形指数(Conformity index,CI)和均匀性指数(Homogeneity index,HI)。 其中,CI和 HI 的计算公式参照相关文献执行^[9-10]; 危及器官统计左右股骨头、直肠和膀胱,均统计 D_{mean} 、 D_5 、 V_{20} 、 V_{30} 和 V_{40} 。使用 PTW verisoft软件分析剂 量文件的 Gamma 通过率,比较的标准为1%/1 mm、 2%/2 mm(低剂量阈值 10%)。

1.6 统计学方法

对数据结果进行正态分布验证,符合正态分布 的进行 t 检验分析, p<0.05表示差异有统计学意义, 使用的数据统计分析软件为IBM SPSS 26.0。

2 结果

2.1 CT 值-相对电子密度曲线

与pCT图像相比,iCBCT图像的CIRS Model 062 模体密度插件CT值差异均较小,差异均在±11 HU以 内。用于剂量计算的CT值-相对电子密度曲线如图 1所示。由图1可知,两种图像的标定值均较接近,密 度低于水的区域pCT图像的标定值略高于iCBCT, 密度高于水的区域则正好相反。





2.2 PTV和危及器官的剂量学参数

与 pCT 计划相比, iCBCT 计划的剂量学参数 中, PTV 的 D_2 、 D_{98} 和 D_{mean} 结果均较接近, 差异平均值 分别为: 0.71%、0.53%和0.97%, 差异无统计学意义 (*t*值分别为-1.599、1.346和1.918, *p*>0.05); CI和HI 指数差异亦较小, 差异平均值分别为: 0.25%和 0.95%, 差异无统计学意义(*t*值分别为-2.065和 1.837, *p*>0.05), 详细的靶区剂量学参数结果见表2。 所统计的危及器官中(左右股骨头、直肠和膀胱), 两种计划的 D_{mean} 、 D_5 、 V_{20} 、 V_{30} 和 V_{40} 的平均值差异均 较小,均无统计学意义(p>0.05),t值最大1.752(膀 胱的 V_{20}),最小0.035(右股骨头的 D_{mean});E、右股骨 头的差异平均值最大分别为1.57%和1.13%,均为 V_{30} 的结果,直肠的差异平均值最大为 $1.63\%(V_{20})$, 膀胱的差异平均值最大为 $1.71\%(D_{mean})$,危及器官 剂量学参数结果见表3。

本2 元回加里子多效和末 Table 2 Results of target dosimetric parameters (菜生s)								
参数Parameter	D_2 / cGy	$D_{ m 98}$ / cGy	$D_{ m mean}$ / cGy	CI	HI			
рСТ	6 255±84	5 895±57	6 116±74	$0.877 {\pm} 0.034$	0.059±0.016			
CBCT	6 287±71	5 875±53	6 074±95	$0.860 {\pm} 0.035$	$0.068 {\pm} 0.017$			
t	-1.599	1.346	1.918	-2.065	1.837			
p	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05			

如区刘县公会教徒田

表3 危及器官剂量学参数结果 Table 3 Results of OARs dosimetric parameters (<i>x</i> ±s)								
参数Parameter		$D_{\rm mean}$ / cGy	D_5 / cGy	V ₂₀ / %	V ₃₀ / %	V ₄₀ / %		
左股骨头	pCT	2 222±166	3 177±285	74.66±6.26	18.76±7.22	1.65±0.82		
Left femoral head	CBCT	2 224±169	3 163±285	73.96±6.34	19.04±7.35	$1.63{\pm}0.81$		
	t	-0.053	0.195	0.428	-0.151	0.095		
	р	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
右股骨头	pCT	2 125±246	3 005±468	75.28 ± 8.99	15.25 ± 8.50	$1.94{\pm}0.92$		
Right femoral head	CBCT	2 122±247	2 997±467	74.69 ± 8.94	15.16 ± 8.49	$1.95{\pm}0.93$		
	t	0.035	0.069	0.253	0.042	-0.073		
	р	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
直肠	pCT	2 725±428	4 305±543	59.19±11.33	38.60±10.97	21.02±10.06		
Rectum	CBCT	2 762±428	4 458±558	60.09±11.66	39.23±11.16	21.14±10.29		
	t	-0.339	-0.368	-0.301	-0.223	-0.042		
	р	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
膀胱	pCT	3 772±167	4 589±573	97.23±2.31	73.81 ± 5.88	45.01±7.54		
Bladder	CBCT	3 834±173	4 619±570	96.16±2.47	75.09 ± 5.94	45.72±7.69		
	t	-1.422	-0.209	1.752	-0.840	-0.367		
	р	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		

2.3 等剂量分布和DVH

两种计划(iCBCT和pCT计划)的等剂量分布 和DVH图均无显著差异。图2为其中1例病例的等 剂量分布图和DVH图。由图2(a)和(b)可知,基于 iCBCT图像的等剂量分布曲线与pCT的较接近,仅 4 200 cGy和4 800 cGy的等剂量曲线在图像的右上 方略有不同;由图2(c)的DVH图可知,iCBCT图像 的曲线与pCT的相比,差异最大的区域为PTV的 D_s 附近(剂量差异为2.9%);PTV曲线表现为低剂量区 $(D_{80}~D_{90})$ iCBCT计划的剂量低于pCT的,高剂量区 $(D_{1}~D_{10})$ 正好相反;左右股骨头和直肠的曲线表现 为大多数区域 iCBCT计划的剂量曲线略低于pCT 的;膀胱的曲线则表现为低剂量区iCBCT计划的略 高于pCT的,随着剂量的增加,两种计划的曲线逐 渐重合,几乎无差异。

2.4 Gamma 通过率和点剂量

30 例盆腔病例 iCBCT 计划的 Gamma 通过率 (与 pCT 计划相比)为1%/1 mm 标准(88.1±1.1)%, 2%/2 mm标准(97.8±1.2)%。等中心点剂量实测值为 (212.3±4.8) cGy,两种计划(iCBCT 和 pCT 计划)的 值分别为(213.1±4.4) cGy 和(212.0±5.3) cGy,与实 测值相比差异平均值分别为0.98%(0.46%~1.88%) 和 0.81%(0.45%~1.84%),差异均无统计学意义 (p>0.05),t值分别为-0.445和-0.614。



图2 等剂量曲线分布和DVH图结果示例:(a) pCT计划等剂量分布;(b) iCBCT计划等剂量分布;(c)两种计划的DVH图对比 (彩色见网络版)

Fig.2 Example of isodose curves distribution and DVH plot results: (a) isodose distribution for pCT planning; (b) isodose distribution for iCBCT planning; (c) comparison of DVH diagrams of the two plans (color online)

3 讨论

Halcyon为6 MV单光子环形加速器,具有 4 r/min 的机架转速、800 MU/s 的高剂量率、FFF 专 用射束、新一代的双层多叶光栅和自动化的日常工 作流程等独特功能,具有高度整合、高度自动化、高 度智能化的优势^[4],其第二代(V2.0)相比上一代设 备,主要变化为kV级CBCT 替换了MV级CBCT,且 成像范围进一步扩大,多个等中心拼接最大可扫描 36 cm的图像(Pelvis large模式),可满足大多数盆腔 肿瘤病例的图像采集要求[4-6]。V2.0新增加了迭代 CBCT (iCBCT)技术,其算法旨在通过迭代(统计) 重建过程降低图像中的噪声,提高图像质量,提高 分辨率[4-5]。有学者研究显示,传统的CBCT由于散 射噪声的影响造成重建的CBCT 图像CT 值不准确, 剂量计算的结果误差较大,不满足临床需求[1,11]。随 着iCBCT图像质量的提高,其CT值准确性(对剂量 计算影响最大的因素之一)也进一步提高,图3为其 中1例病例iCBCT和pCT图像的CT值差异对比图, 两种图像的 CT 值 Profile 曲线差异较小,使用 iCBCT图像直接进行剂量剂量成为可能。

本研究的结果显示,iCBCT计划与pCT计划相 比,靶区和危及器官的剂量差异均较小,2%/2 mm 标准的Gamma通过率平均值高达97.8%,证实基于 iCBCT图像直接进行剂量计算有较高的准确性,能 满足临床需求。所统计的靶区和危及器官的剂量学 参数中,两种计划相比大多数参数的差异值均小于 2.0%,平均差异靶区剂量学参数均小于1.0%,危及 器官的平均差异最大为1.71%(膀胱的D_{men})。结果 还显示,膀胱所有剂量学参数的差异均较其他结构 略大,造成这种差异的原因是膀胱本身的充盈程度 对其解剖结构的变化影响较其他结构大(尽管已采 取必要措施减小这种影响),进而影响了剂量计算 的结果。为确保各种组织结构的变化尽可能小,本 研究选取了首次治疗的iCBCT图像进行研究,但与 pCT图像相比仍存在差异,引入了不确定度,比如由 于膀胱欠充盈或直肠胀气造成iCBCT图像组织缺 失的情况。为弥补这种差异,有学者提出将缺失部 分的结构由pCT图像复制到iCBCT图像,并用水的 密度值定义该区域[12],但这种方法不能解决组织位 移的情况。另一种方法是通过形变配准算法和CT 值映射^[13]解决组织位移的问题。然而,形变配准的 准确性受算法本身的影响较大,可能会引入额外的 不确定性,在临床中未广泛使用。本研究为尽可能 减少配准算法本身的影响,配准仍使用刚性配准, 配准过程全部由一位高年资物理师手动完成,并由 另一位高年资医生人工审核。然而, iCBCT和pCT 之间的解剖结构差异仍然会影响剂量计算的结果, 特别是当靶区接近体表时。

本研究剂量计算的Acuros XB算法对高密度物质的剂量计算准确性进一步提高^[14],但是在预实验时仍发现,iCBCT图像高估了高密度物质的CT值(由图1的标定曲线亦可知,密度高于水的物质iCBCT图像的标定值略高于pCT的),进而使剂量计算的结果偏高,且密度越高该影响越大。因此,建议临床使用中将iCBCT图像直接用于盆腔肿瘤的剂量计算时,应排除髋关节置换等金属假体植入的

病例,以确保剂量计量结果的准确性,基于此,本研 究选取病例时,对CBCT图像存在严重金属伪影的 病例进行了排除。实验结果提示,在盆腔肿瘤中基 于iCBCT图像直接进行剂量计量有较高的准确性, 为基于iCBCT图像进行离线自适应放疗^[15]、全疗程 的实际吸收剂量汇总分析^[12]提供了数据支持;同时,在没有独立定位CT的科室可基于iCBCT图像 直接进行姑息性放疗^[16]。随着对iCBCT图像的进一 步深入研究,iCBCT图像的使用场景会更广,在放 疗中将发挥更重要的作用。



图3 iCBCT和pCT图像的CT值差异对比:(a)pCT图像;(b)iCBCT图像;(c)为图(a)和(b)沿橘色线的Profile,显示的窗宽窗位为[1000,200](彩色见网络版)
 Fig.3 Comparison of differences in CT values between iCBCT and pCT images: (a) pCT images; (b) iCBCT images;

(c) profiles on the orange line in (a) and (b), display window [1 000, 200] (color online)

本研究的局限性在于未能引入形变配算法(使用的配准算法为刚性配准);临床使用中为了减少 图像引导的额外辐射,iCBCT图像的扫描长度通常 比pCT的小,因此,两者的散射条件差异可能导致 Gamma比较结果的偏差(不同的散射条件对iCBCT 图像的CT值有一定影响,iCBCT的影响大于pCT 的^[8,12]);此外,入组病例样本量较少(仅30例),不能 确定统计学结果是否具有显著性,下一步将纳入更 多的病例进一步验证本研究的结果。

4 结论

在大多数盆腔病例中,iCBCT图像用于放疗计 划剂量计算的结果准确、可靠,准确性满足临床应 用的要求,为基于iCBCT图像直接进行剂量计算的 多种使用场景奠定基础。

作者贡献声明 赵前锋负责数据分析和论文撰写; 明鑫提出研究思路,设计研究方案;刘波协助完成 实验及数据分析;唐春慧对论文进行最后的审阅和 定稿。全体作者都阅读并同意最终的文稿。

参考文献

- Annkah J K, Rosenberg I, Hindocha N, *et al.* Assessment of the dosimetric accuracies of CATPhan 504 and CIRS 062 using kV-CBCT for performing direct calculations [J]. Journal of Medical Physics, 2014, **39**(3): 133-141. DOI: 10.4103/0971-6203.139001.
- 2 Meng H P, Meng X J, Qiu Q T, et al. Feasibility evaluation of kilovoltage cone-beam computed tomography dose calculation following scatter correction: investigations of phantom and representative tumor sites [J]. Translational Cancer Research, 2021, 10(8): 3726-3738. DOI: 10.21037/tcr-21-495.
- 3 Tamihardja J, Cirsi S, Kessler P, *et al.* Cone beam CTbased dose accumulation and analysis of delivered dose to the dominant intraprostatic lesion in primary radiotherapy of prostate cancer[J]. Radiation Oncology, 2021, 16(1): 205. DOI: 10.1186/s13014-021-01933-z.
- 4 Kim H, Huq M S, Lalonde R, *et al.* Early clinical experience with varian halcyon V2 linear accelerator: dual-isocenter IMRT planning and delivery with portal dosimetry for gynecological cancer treatments[J]. Journal

of Applied Clinical Medical Physics, 2019, **20**(11): 111-120. DOI: 10.1002/acm2.12747.

5 杨波, 汪之群, 李文博, 等. 基于盆腔迭代锥形束 CT 图 像的剂量学可行性分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, **41**(11): 851-855. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0254-5098.2021.11.010.

YANG Bo, WANG Zhiqun, LI Wenbo, *et al.* Dosimetric feasibility of iterative kV CBCT for radiation therapy planning for pelvis[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2021, **41**(11): 851-855. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.11.010.

- 6 Washio H, Ohira S, Funama Y, *et al.* Metal artifact reduction using iterative CBCT reconstruction algorithm for head and neck radiation therapy: a phantom and clinical study[J]. European Journal of Radiology, 2020, 132: 109293. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109293.
- Posiewnik M, Piotrowski T. A review of cone-beam CT applications for adaptive radiotherapy of prostate cancer [J]. Physica Medica, 2019, 59: 13-21. DOI: 10.1016/j. ejmp.2019.02.014.
- 8 Åström L M, Behrens C P, Calmels L, *et al.* Online adaptive radiotherapy of urinary bladder cancer with full re-optimization to the anatomy of the day: initial experience and dosimetric benefits[J]. Radiotherapy and Oncology, 2022, **171**: 37-42. DOI: 10.1016/j. radonc. 2022.03.014.
- 9 Wang K Q, Meng H P, Chen J, et al. Plan quality and robustness in field junction region for craniospinal irradiation with VMAT[J]. Physica Medica, 2018, 48: 21-26. DOI: 10.1016/j.ejmp.2018.03.007.
- 10 International Commission Radiological Units. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-

modulated radiation therapy (IMRT) [J]. Journal of the ICRU, 2010, **10**(1): 1-106. DOI: 10.1093/jicru_ndq002.

- Richter A, Hu Q Q, Steglich D, *et al.* Investigation of the usability of conebeam CT data sets for dose calculation [J]. Radiation Oncology (London, England), 2008, 3: 42. DOI: 10.1186/1748-717X-3-42.
- 12 Jarema T, Aland T. Using the iterative kV CBCT reconstruction on the Varian Haleyon linear accelerator for radiation therapy planning for pelvis patients[J]. Physica Medica, 2019, 68: 112-116. DOI: 10.1016/j. ejmp.2019.11.015.
- 13 Onozato Y, Kadoya N, Fujita Y, *et al.* Evaluation of onboard kV cone beam computed tomography-based dose calculation with deformable image registration using Hounsfield unit modifications[J]. International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, 2014, **89**(2): 416-423. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2014.02.007.
- 14 Miyasaka R, Cho S, Hiraoka T, et al. Investigation of Halcyon multi-leaf collimator model in Eclipse treatment planning system: a focus on the VMAT dose calculation with the Acuros XB algorithm[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2022, 23(3): e13519. DOI: 10. 1002/acm2.13519.
- Guan H Q, Dong H. Dose calculation accuracy using cone-beam CT (CBCT) for pelvic adaptive radiotherapy [J]. Physics in Medicine and Biology, 2009, 54(20): 6239-6250. DOI: 10.1088/0031-9155/54/20/013.
- 16 Hu Y F, Byrne M, Archibald-Heeren B, *et al.* A feasibility study on the use of TomoTherapy megavoltage computed tomography images for palliative patient treatment planning[J]. Journal of Medical Physics, 2017, **42**(3): 163-170. DOI: 10.4103/jmp.JMP_32_17.