

## 医用直线加速器质控数据分析与管理系统-QAManager的功能设计与临床应用

王学敏, 吴湘阳, 常晓斌, 冯涛, 屈喜梅, 赵强, 杨迪, 邓佳  
陕西省肿瘤医院放疗医院放射治疗区, 陕西 西安 710061

**【摘要】目的:**基于Python Django框架的加速器质控自动化分析网页系统(QAManager)的开发和测试。**方法:**利用Python Django和MySQL数据库开发系统QAManager,实现加速器质控数据的统计分析和OBI系统影像自动分析功能。使用QAManager对TrueBeam加速器为期半年的质控结果统计分析并进行功能性测试,包括:①利用QAManager分析各项质控数据分布和变化趋势,对该段时间内TrueBeam的状态进行综合评估;②选取一年内TrueBeam OBI系统扫描Catphan504所得影像,分别使用人工、QAManager分析,并比较两者结果,分析QAManager图像自动识别算法的准确性和精确性;③将模体分别向前、后、左、右4个方向移动1 cm,采用QAManager自动检测,分析算法的鲁棒性。**结果:**QAManager界面简洁紧凑,用户能够使用QAManager自由选择需要展示的质控项目绘制曲线图,清晰显示各项目整体的分布趋势以及出现偏差最大的时间;QAManager能够准确识别到Catphan504 CBCT影像检测中各模块,除层厚( $P=0.05$ )外,人工分析和自动分析结果比较差异没有统计学意义( $P>0.05$ )。**结论:**QAManager系统准确可靠,算法能够准确地检测出加速器OBI影像系统参数,具有很强的应用性,对科室实现网络化管理具有重要意义。

**【关键词】**医用直线加速器;质量控制;自动影像分析;网页数据统计;网络化管理

**【中图分类号】**R811.1;R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)05-0545-06

## Development and clinical application of a data analysis and management system (QAManager) for accelerator quality assurance

WANG Xuemin, WU Xiangyang, CHANG Xiaobin, FENG Tao, QU Ximei, ZHAO Qiang, YANG Di, DENG Jia  
Department of Radiotherapy, Shaanxi Provincial Cancer Hospital, Xi'an 710061, China

**Abstract: Objective** To develop and test Python Django-based automatic analysis web system (QAManager) for accelerator quality assurance (QA). **Methods** QAManager was developed based on Python Django and MySQL database, with the functions of statistical analysis on accelerator QA data and automatic analysis on images obtained by on-board imaging (OBI) system. Half-a-year QA results of TrueBeam accelerator were statistically analyzed by QAManager. Besides, several functional tests were also conducted. ① The distribution and variation trend of all QA items were analyzed by QAManager, thereby comprehensively evaluating the working state of TrueBeam accelerator during the period. ② The results of manual analysis and QAManager analysis on Catphan504 images obtained by TrueBeam OBI system in the past year were analyzed and compared, thereby analyzing the accuracy and precision of QAManager image automatic recognition algorithm. ③ Catphan504 phantom which was set up on the treatment couch was deliberately shifted by 1 cm in lateral and longitudinal (no rotational) directions from the reference position, and then QAManager was used for automatic detection, thereby analyzing algorithm robustness. **Results** The interface of QAManager was user-friendly and compact. According to the custom QA item graphs drawn by QAManager, the rules of QA data distribution and the trends of data varying with time were pointed out; and all modules in Catphan504 CBCT image detection were identified precisely by QAManager. No significant difference was found between manual analysis and QAManager analysis on Catphan504 images obtained by TrueBeam OBI system ( $P>0.05$ ), except for slice thickness ( $P=0.05$ ). **Conclusion** QAManager is accuracy and reliable, and the algorithm can be used to accurately detect all OBI parameters. Therefore, QAManager can be widely used in clinic and is vital for network-

**【收稿日期】**2020-12-19

**【基金项目】**陕西省卫生健康科研基金(2018A007)

**【作者简介】**王学敏,工程师,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: wangxuemin2013@163.com

**【通信作者】**吴湘阳,主任技师,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: 13087566100@163.com

based department management.

**Keywords:** medical accelerator; quality assurance; automatic image analysis; web-based data statistics; network-based management

# 前言

目前医用直线加速器质量保证(Quality Assurance, QA)和质量控制(Quality Control, QC)已成为保证放射治疗安全准确进行的必备措施<sup>[1]</sup>。根据内容QA可分为加速器机械、剂量学、影像学3部分;按照检测周期可分为日检、月检和年检<sup>[2-4]</sup>。这些质控数据量大且繁杂,目前普遍采用纸质表格存储,很难实现数据的便捷实时分析及回顾查找<sup>[5-6]</sup>,为加速器性能长期变化分析及数据有效管理增加了很大的困难<sup>[7-9]</sup>。此外,当前加速器影像系统质控多依靠操作人员肉眼识别,精准度对人员依赖性大,很难实现真正的结果一致性定量分析<sup>[10-11]</sup>。本研究基于Python Django框架系统开发出一种加速器质控数据存储和分析管理系统(QAManager),能够实现加速器质控数据的存储和分析,影像数据基于算法自动分析,期望能解决上述问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

①QAManager:自行开发的加速器质控数据分析处理系统。基于Python Django 2.2框架系统开发,数据库为MySQL 14.14,兼容Chrome、IE等主流浏览器,配备OBI影像自动分析算法;②TrueBeam医用直线加速器(Varian, USA);③Catphan504模体(The Phantom Laboratory, Salem NY, USA);④SPSS软件(V13.0, IBM)。

### 1.2 系统软件架构

系统架构采用3层MTV设计模式,如图1所示。底层为数据的模型块(Model),实现数据的建模与存储,负责系统数据库的读取和写入;中间的模块(View)为交互工作平台,实现功能逻辑和算法,负责处理需显示数据或逻辑运算;上层的模块(Template)为用户交互平台,实现用户数据的输出与输入,负责系统与用户的交流。

### 1.3 系统功能

加速器质控管理及分析系统,能对加速器性能稳定性行检测分析,系统按功能可分为质控数据统计和影像分析两部分。系统采用树形结构数据库表设计,左侧为系统主要功能分类,包括日检、周检、月检、年检和影像质控。不同的项目对应不同的表单,表格上方工具栏可实现数据的添加、编辑、移除和分析。

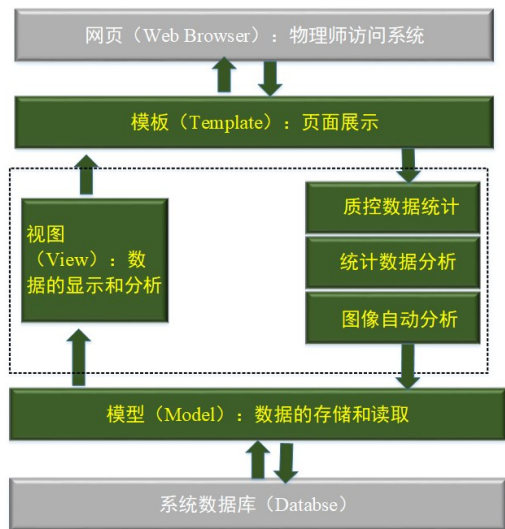


图1 软件架构图

Fig.1 Software architecture

**1.3.1 质控数据统计功能** 主要包括剂量学和机械数据统计两个方面,可进行条件搜索、绘制数据趋势图、以Excel表格交互传递分析等功能。

**1.3.2 影像分析功能** 可对加速器测得的Catphan503/504等模体影像进行自动分析和检测。研究中以Catphan504为例<sup>[12]</sup>,分析其空间分辨率、低对比度分辨率、HU线性和均匀性、影像几何失真度和层厚。具体算法和分析方式如下:

(1)空间分辨率:Catphan504空间分辨率模块(CTP528)包含21对铝制的线对,线对间距从0.500到0.024 cm之间递减。QAManager根据线对在模体中具体位置进行粗带采样,绘制出CT值随采样点变化的曲线图,找出峰值CT<sub>peak</sub>和谷值CT<sub>valley</sub>,再通过式(1)计算线对的调制传递函数(MTF)值<sup>[13]</sup>,最后相对MTF(RMTF)通过最小频率即间距最大的线对结果归一,用RMTF=0.5表示图像的空间分辨率:

$$MTF(f) = \frac{CT_{peak} - CT_{valley}}{CT_{peak} + CT_{valley}} \quad (1)$$

(2)低对比度分辨率:选取Catphan504低对比度分辨率模块(CTP515)中1.0% supra-slice为感兴趣区域(ROI),在其附近选取两个背景区域(Background)。使用式(2)计算每个ROI的对比度噪声比(Contrast-to-Noise, CNR)。式中ROI<sub>mean</sub>、ROI<sub>stdev</sub>、ROI<sub>diameter</sub>分别为感兴趣区域CT平均值、CT标准差、直径,Background<sub>mean</sub>是背景区域CT平均值。研究中设置CNR阈值为10,当CNR大于10时<sup>[14]</sup>,认

为ROI可见,否则不可见:

$$CNR = \frac{ROI_{mean} - Background_{mean}}{ROI_{stdev}} \times ROI_{diameter} \quad (2)$$

(3)HU线性和均匀性:HU线性(CTP404)和均匀性(CTP486)模块中包含多种不同HU值的材料。根据模体中不同材料所在的位置,采用霍夫变换识别图像中相应材料的HU区域为ROI,取ROI中CT平均值作为对应材料的HU值。

(4)影像几何失真度:CTP404模块中有距离50 mm的节点,通过测量节点之间的距离来判断影像的几何失真度。根据节点在模体中的具体位置找到感兴趣区域ROI,ROI区域内使用边缘阈值化,检测到需要测量的端点并对其距离进行测量。

(5)层厚:通过测量CTP404中一定角度放置线段的半高宽(FWHM)计算层厚。根据Catphan504使用手册,测量线段计算FWHM值,使用FWHM×0.42得到层厚。

#### 1.4 QAManager可靠性验证

QAManager系统主要包含数据统计和分析功能,后者中算法精确度和可靠性是重点考察的部分。

①算法精确度验证:选取我科2019年TrueBeam OBI质控所得Catphan504影像及人工分析结果,使用QAManager自动计算分析,验证QAManager算法的准确性和精确性。②算法鲁棒性验证:将Catphan504模体正常摆位后分别向左、右、前、后移动1 cm,模拟日常摆位误差,利用OBI扫描模体,使用QAManager分析影像,验证QAManager算法的鲁棒性。

#### 1.5 TrueBeam性能变化评估

使用QAManager对我科TrueBeam加速器2019年7~12月间测量所得的晨检、周检和月检数据进行分析,评估加速器性能变化情况。主要评估参数有光子输出稳定性、光子平坦度和对称性、机械等中心偏差、左右两侧(令左为A右为B)及天花板激光灯偏差、光距尺准确度、铅门及MLC到位准确度、机架角和小机头角及治疗床角度变化、光射野一致性以及影像学参数(几何失真度、低/高密度分辨率、HU准确性、均匀性、层厚)。

#### 1.6 统计学方法

使用SPSS(V13.0, IBM)软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料采用均数±标准差表示,采用配对t检验分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 质控数据统计

使用QAManager分析我科2019年7~12月间

TrueBeam质控数据统计结果如图2所示。图2a为光子稳定性数据统计界面,图2b为使用查询功能显示TrueBeam 6 MV能量的光子稳定性数据的界面图,用户可根据需求显示不同搜索结果,图2c和图2d分别为使用系统绘制图像功能绘制出光子稳定性参数随时间变化的柱状图和折线图。从图中可以看出,2019年7~9月间,TrueBeam平坦度和对称性均呈上升趋势,随后开始下降。猜测加速器平坦度和对称性于2019年9月调整,与维修记录一致。

### 2.2 影像分析结果

对Catphan504模体在OBI系统腹部模式下扫描得到的CBCT三维影像使用QAManager自动分析,如图3所示为算法自动分割结果图,对分割结果分析,得到OBI系统的空间分辨率、低对比度分辨率、HU线性和均匀性、影像几何失真度和层厚,如图4a所示为系统OBI影像质控结果存储界面图。

### 2.3 自动分析算法验证

本研究对2019年1~12月间所有Catphan504质控图像人工和QAManager分析结果比较。使用SPSS绘制数据的箱线图,发现层厚、PMP和空间分辨率3组数据中存在异常点(图4b)。剔除异常点后重新对数据进行统计分析,如表1所示,除层厚外( $P=0.05$ ),其余比较统计结果均无统计学意义( $P>0.05$ )。

### 2.4 算法可靠性验证结果

使用QAManager分析模体分别向前、后、左、右4个方向移动1 cm后影像,所得空间分辨率、低密度分辨率、层厚及HU准确性等指标检测成功率均为100%,即算法可成功检测到所有模块指标,具有良好的鲁棒性。

## 3 讨论

目前,现阶段国内大部分医院均以科室为单位进行放疗的质控管理,各级医院中质控情况、质控技巧各不相同,缺少规范化、系统化以及可持续的质量管理。在互联网快速发展的今天,建立放疗质控数字化管理,有利于:①通过互联网实现各级医院的互联互通,为各级医院提供放疗质量控制、保障和管理;②在数字化信息中,管理人员可快速抓取错误数据,把握加速器整体变化趋势,对其决策提供帮助<sup>[15]</sup>。

QAManager为基于Windows系统开发的网页版质控数据管理平台,能够实现加速器质控数据实时存储和分析,以及OBI影像系统自动检测。与传统质控数据管理方式相比,QAManager具有以下优势:①随时编辑和统计加速器质控数据,实现无纸化数据存储;②快速绘制质控项目趋势图,观察加速器状态





图2 QAManager数据统计界面  
Fig.2 QAManager interfaces for data statistics

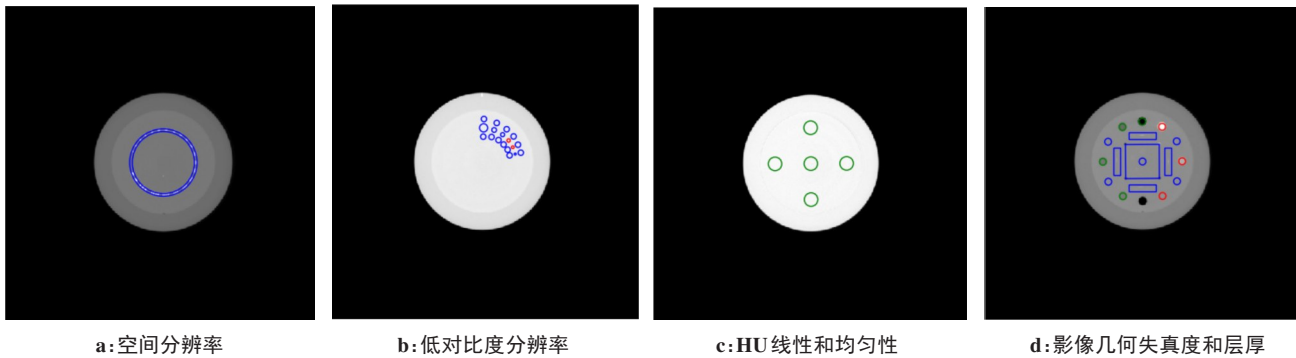


图3 Catphan504影像分析结果  
Fig.3 Analysis results of Catphan504 image

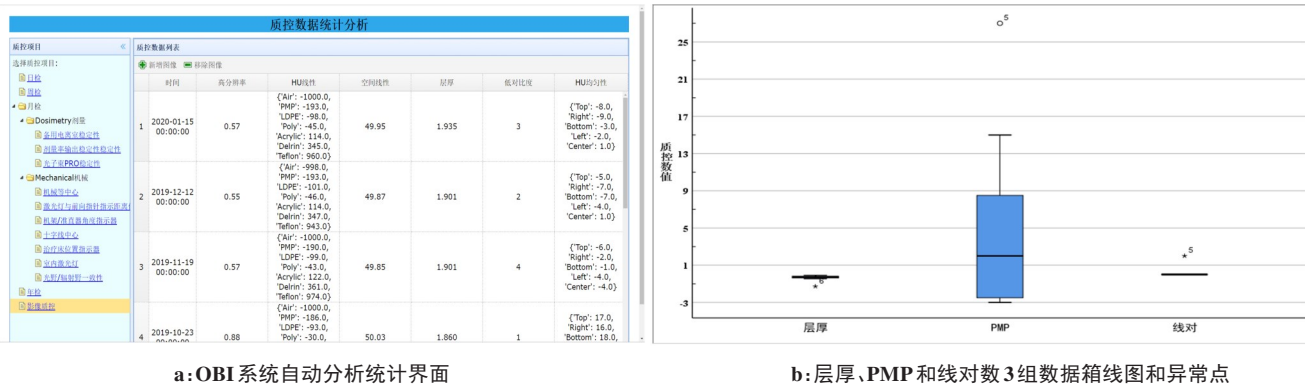


图4 QAManager OBI自动分析统计界面与异常点分析箱线图  
Fig.4 QAManager interface for automatic statistics on OBI data and box plot analysis for outliers

变化,分析可能的原因;③支持数据以Excel格式本地交互,对后续大数据和人工智能研究提供数据支持<sup>[16-17]</sup>;④实现OBI影像系统自动分析,减少分析过程中可能存在的人为误差,节省质控时间。

表1 人工、QAManager对Catphan504影像分析结果比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.1 Comparison of the results of annual analysis and QAManager analysis on Catphan504 image (Mean±SD)

模块	指标	人工分析	QAManager	t值	P值
CTP528	空间分辨率	5.50±1.00	5.67±0.59	0.561	0.586
CTP515	低对比度分辨率	3.58±2.06	3.17±1.70	-2.159	0.054
CTP404	层厚	2.12±0.13	1.79±0.35	-3.531	0.050
	空气	-999.25±1.76	-998.08±4.52	0.816	0.432
	聚4-甲基戊烯-1(PMP)	-195.33±7.92	-192.08±7.90	1.232	0.244
	低密度乙烯	-106.25±6.98	-101.58±11.80	2.092	0.060
	聚乙烯	-48.92±7.49	-44.29±14.08	1.642	0.129
	丙烯酸	115.42±15.11	118.67±20.35	0.772	0.456
	聚甲醛树脂	350.58±18.56	359.21±27.94	1.796	0.100
	特氟隆	969.25±49.76	982.71±67.34	1.198	0.256

QAManager可正常完成质控数据,包括日检、周检、月检、年检以及影像质控的数据统计和分析。通过对光子稳定性,包括光子平坦度和对称性的特殊趋势变化点出现原因进行分析,例如维修或者天气变化等因素,对实际质控工作中数据的测量时间和测量周期具有一定的预测和指导性意义。OBI的自动分析结果与人工分析结果进行对比,层厚、PMP和空间分辨率中均存在异常点。分析所用模体CT图像和结果,发现出现异常点的可能原因有:首先,CT图像采集的准确性、包括扫描条件的选择和模块扫描的完整性欠佳;其次,扫描条件的不当改变会影响CT成像质量,使得CT图像信噪比过低;最后,随机伪影的存在及机器故障的发生。上述原因均可能对自动分析结果产生不良影响。此外,人工分析中的操作人员经验不足也会造成人为失误而影响检测结果。剔除异常点后,除层厚外所有P值均大于0.05,两种结果差异很小,算法具有很好的准确性和精确性。层厚P值为0.05,从表中可以看出QAManager层厚值平均值比人工分析大,造成这一现象的原因是计算图像半高宽时,不同操作人员观察最大CT值和计算机判断存在一定的差异而导致最终结果具有一定的差异性<sup>[10]</sup>。但是,两种方法层厚整体变化趋势是一致的,即若层厚存在一定偏差仍可用自动分析方法检测。将模体移位模拟日常工作中可能出现的摆位偏差,算法检测成功率均为100%,算法具有良好的鲁棒性,QAManager影像检测可应用于日常质控工作中。因此,使用该自动分析软件不仅更节约时间,数据也更加的稳定。与目前市场上相关商用软件相比,例如瓦里安Mobius 3D、PerFRACTION等<sup>[18-20]</sup>;这些软件大都集多种功能于一体,集成度很

高,功能定制和扩展很难实现,并且很少有专门针对质控数据开发的统计分析软件。此外,很多医院并没有充足的资金购买该类软件。QAManager系统根据科室内部需求自主开发相应功能,使用操作方便,对帮助本科室日常工作和办公室管理具有重要的意义。

利用QAManager对加速器质控数据进行管理,是一种高效、便捷且准确、环保的统计工具。对实现科室网络化管理具有重要的意义,为以后的科研工作奠定了坚实的基础。

【参考文献】

[1] ZAKS D. Development of online quality assurance automation tool "SmartQC" for radiotherapy clinics[D]. San Diego: San Diego State University, 2015.

[2] HEALY B J, BUDANEC M, OURDANE B, et al. An IAEA survey of radiotherapy practice including quality assurance extent and depth[J]. Acta Oncol, 2020, 59(5): 503-510.

[3] KLEIN E E, HANLEY J, BAYOUTH J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J]. Med Phys, 2009, 36(9 Part 1): 4197-4212.

[4] International Commission on Radiation Units and Measurements. Report 86: quantification and reporting of low-dose and other heterogeneous exposures[J]. J ICRU, 2011, 11(2): 1-77.

[5] 陈锦树, 马玉家, 黄江华, 等. 多技术集成的放疗信息系统开发与应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(9): 701-705.

CHEN J S, MA Y J, HUANG J H, et al. Development and application of a simple radiotherapy information system with multi-technology integration[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(9): 701-705.

[6] 胡晓渤, 王玉贵, 韩敏. 基于医院OA平台的质控信息发布[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(1): 139-141.

HU X B, WANG Y G, HAN M. Release of quality control information based on the hospital QA system[J]. China Medical Devices, 2018, 33(1): 139-141.

[7] CASTRO M, RADICCHI L A. Statistical process control applied to linear accelerator dosimetry in radiotherapy[C]//Proceedings of the 24 Brazilian Congress on Medical Physics. Brazil, 2019: 567.

[8] MCNUTT T R, MOORE K L, WU B, et al. Use of big data for quality assurance in radiation therapy[C]. Elsevier, 2019: 326-332.

[9] 高兴旺, 张广顺, 陈利, 等. 肿瘤放疗信息网络一体化管理平台的研

- 发及临床实践[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(4): 395-400.
- GAO X W, ZHANG G S, CHEN L, et al. Development and clinical application of integrated network management platform for tumor radiotherapy information[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(4): 395-400.
- [10] DE OLIVEIRA M V, WENZEL A, CAMPOS P S, et al. Quality assurance phantoms for cone beam computed tomography: a systematic literature review[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2017, 46(3): 20160329.
- [11] GAO S, DU W, BALTER P, et al. Evaluation of IsoCal geometric calibration system for Varian linacs equipped with on-board imager and electronic portal imaging device imaging systems[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 164-181.
- [12] DAVID J G. Catphan504 manual[EB/OL]. [2019-01-18]. <http://static1.squarespace.com/static/5367b059e4b05a1adcd295c2/t/551ae42be4b046662454b34d/1427825707349/catphan504manual.pdf>.
- [13] 张俊, 胡翔, 陈纪, 等. 利用MTF法分析Varian 23 EX锥形束CT图像空间分辨率[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(7): 1-3.
- ZHANG J, HU X, CHEN J, et al. Evaluation of spatial resolution characteristic of Varian 23 EX cone-beam CT with MTF[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 32(7): 1-3.
- [14] JAMES H. Pylinac documentation: realease 2.2.1 [EB/OL]. [2019-01-18]. [https://buildmediareadthedocsorg/media/pdf/pylinac/v\\_221/pylinac.pdf](https://buildmediareadthedocsorg/media/pdf/pylinac/v_221/pylinac.pdf).
- [15] 朱晓华, 曾程, 刘汉成, 等. 放射治疗质量控制标准化体系的研究进展与应用[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(4): 108-110.
- ZHU X H, ZENG C, LIU H C, et al. Research and application of quality control standardization system for radiotherapy[J]. China Medical Devices, 2018, 33(4): 108-110.
- [16] EL NAQA I, IRRER J, RITTER T A, et al. Machine learning for automated quality assurance in radiotherapy: a proof of principle using EPID data description[J]. Med Phys, 2019, 46(4): 1914-1921.
- [17] LIESBETH V, MICHAL C, ANNA M D, et al. Overview of artificial intelligence-based applications in radiotherapy: recommendations for implementation and quality assurance[J]. Radiother Oncol, 2020, 153: 55-66.
- [18] KADOYA N, KON Y, TAKAYAMA Y, et al. Quantifying the performance of two different types of commercial software programs for 3D patient dose reconstruction for prostate cancer patients: machine log files vs. machine log files with EPID images[J]. Phys Med, 2018, 45: 170-176.
- [19] VAZQUEZ-QUINO L, HUERTA-HERNANDEZ C, RANGARAJ D. Clinical experience with Mobius FX software for 3D dose verification for prostate VMAT plans and comparison with physical measurements [C]. Texas: IOP Publishing Ltd, 2017: 012060.
- [20] KIM J, HAN M C, PARK K, et al. Commissioning and clinical implementation of Mobius 3D and Mobius FX: experience on multiple linear accelerators[J]. Phys Med, 2020, 80: 1-9.

(编辑:陈丽霞)