

质子放疗计划解析与传输软件开发

刘春波,皮一飞,徐遥,裴曦

中国科学技术大学放射医学物理中心, 安徽 合肥 230025

【摘要】目的:开发一款精确、高效、跨平台的质子放疗计划解析与传输软件,为质子放射治疗临床数据解析与传输提供解决方案。**方法:**分析放疗医学数字成像和通讯标准,采用面向对象方法设计软件流程,利用QT开发框架搭建软件界面,根据SOAP协议开发基于WebService的数据解析与传输的应用程序接口(API)。**结果:**开发出质子放疗计划解析与传输软件P-Viewer,测试了20组不同质子放疗计划,CT、MRI、PET、RTImage、RTIonPlan、RTStructureSet等文件解析速度平均为0.01 s,RTDose文件解析速度平均为0.05 s,不同设备之间数据传输速度随带宽增加而提升;P-Viewer解析结果与主流DICOM解析软件Sante DICOM HEX Viewer等对比,准确率达100%。**结论:**P-Viewer为质子放射治疗计划解析与传输提供了一套准确可靠的跨平台解决方案。

【关键词】质子放疗;P-Viewer软件;DICOM;传输

【中图分类号】TP317.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)04-0373-05

Development of proton radiotherapy plan analysis and transmission software

LIU Chunbo, PI Yifei, XU Yao, PEI Xi

Center of Radiological Medical Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230025, China

Abstract: Objective To develop an accurate, efficient and cross-platform proton radiotherapy plan analysis and transmission software for the analysis and transmission of clinical data. **Methods** Based on the radiotherapy in digital imaging and communications in medicine standard, proton radiotherapy plan analysis and transmission software was developed, with software process following object-oriented principles and software interface established by QT tool. Moreover, a Webservice-based APT for data analysis and transmission was developed according to simple object access protocol. **Results** The developed data analysis and transmission software P-Viewer was used to test 20 groups of proton radiotherapy plans. P-Viewer software spent 0.01 s to parse single file of CT, MRI, PET, RTImage, RTIonPlan, or RTStructureSet, etc., and 0.05 s for single RTDose file. The transmission speed boosted with the increase of bandwidth between client and server. Compared to the mainstream analysis software Sante DICOM HEX Viewer, the accuracy rate of P-Viewer software achieved 100%. **Conclusion** P-Viewer software provides an accurate and reliable cross-platform solution for proton radiotherapy plan analysis and transmission.

Keywords: proton radiotherapy; P-Viewer software; digital imaging and communications in medicine; transmission

前言

为了研究医学影像信息处理问题,1983年美国放射学会(ACR)及美国电子厂商联合会(NEMA)成立了ACR-NEMA数字成像和通讯标准委员会并初步在硬件、接口传输等问题上提出建议,之后委员会分别于1985、1988年发布ACR-NEMA 1.0和2.0版

本^[1]。1993年发布的医学数字成像和通讯3.0标准(Digital Imaging and Communications in Medicine 3.0, DICOM 3.0)是目前在医学成像领域部署最为广泛的医学图像和相关信息的国际标准。DICOM 3.0采用面向对象的分析方法,定义医学图像在存储和通讯过程中各种实体和关系,并提供对TCP/IP多种网络协议的支持^[2]。DICOM RT是DICOM标准在放疗领域的扩展应用,专门用于处理放射治疗设备间的数据传输,并支持放疗数据在不同科室之间的传输^[3]。

质子放疗通过质子束流照射肿瘤靶区进而杀死肿瘤细胞,是目前国内外广受关注的放疗手段之一^[4]。不同于常规光子放疗,质子放疗的剂量分布曲线有着尖

【收稿日期】2017-10-20

【基金项目】国家自然科学基金(11375181)

【作者简介】刘春波,硕士研究生,主要从事医学物理研究,E-mail: an-cuwer@mail.ustc.edu.cn

【通信作者】裴曦,博士,副教授,主要从事智能优化方法、放射治疗计划设计与优化等研究,E-mail: xpei@ustc.edu.cn

锐的 Bragg 峰,通过合理调节 Bragg 峰的位置能够使高剂量分布于肿瘤区域,而危及器官吸收剂量则相对较少,从而最大限度保护正常组织与器官^[5]。常规光子放疗技术已经成熟,在医院应用广泛,而近几年中国的质子治疗领域发展势头迅猛^[6]。随着国内加速器技术、计算机技术、设备制造技术和医学影像诊断技术的发展和推广,以及精确放疗的需求,国内加快了质子治疗发展的速度,特别是上海质子重离子医院^[7]、合肥离子医学中心^[8]等单位的大力推动与倡导,质子放疗在国内发展迅速。质子放射治疗过程中,计划设计需要用到治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS),其中 DICOM 数据的解析和传输是非常关键的环节。商用质子 TPS 如瑞典 RaySearch 公司的 RayStation^[9]、美国 VARIAN 公司的 Eclipse^[10]等,基于各自需求对 DICOM 3.0 进行了不同实现,这些商业产品体积庞大,价格昂贵并且实现方式封闭。同时,CT、MRI 等图像的设备厂商,如 GE、Siemens 等,会在生成的 DICOM 文件中设置一些技术障碍,这就为国内很多从事医学图像相关应用的开发商带来很大困难^[11]。对于解决质子放疗过程中的影像和计划数据的准确解析和快速可靠传输的轻量软件的需求不断提升促使本软件 P-Viewer 的产生。本研究旨在开发更灵活、通用的解析方案,对不同厂家设备产生的 DICOM 文件进行准确解析。为了便于 DICOM 文件浏览、信息查看,基于 QT 框架开发了界面程序;为更灵活地实现跨平台、跨编程语言的解析功能,开发基于 Web 的 API,可以在服务器与客户端实现解析、数据传输功能,并形成最终的解决方案 P-Viewer。

1 材料与方法

1.1 DICOM RT 文件标准解析

1.1.1 数据元素与数据集 数据元素(Data Element)是 DICOM 文件最基本的构成单元,也是 DICOM 数据编码的基本单位,编码规则分为隐式编码和显式编码,显式编码由 Tag(标签)、VR(Value Representations,值表现)、Value Length(值长度)、Value Field(实际值)组成,隐式编码中不含 VR^[12-13]。不同数据元素按照一定顺序排列起来组成数据集,如图 1 所示。

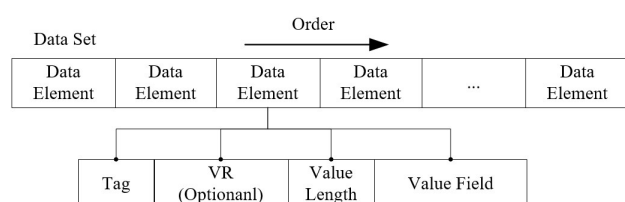


图1 DICOM 数据集和数据元素结构

Fig.1 Digital imaging and communications in medicine (DICOM) data set and data element structure

其中,Tag 包括 GroupTag(组标签)和 ElementTag(元素标签),是数据元素在 DICOM 文件中的唯一识别标识。DICOM 3.0 根据数据元素的相关性进行了分类,如 PatientName(病人姓名, Tag:0x0010 0x0010)、PatientID(病人编号, Tag:0x0010 0x0020)、PatientSex(病人性别, Tag:0x0010 0x0040)等病人基本信息 GroupTag 为 0x0010,而图像存储方式相关的信息的 GroupTag 为 0x0028。

VR 是对数据类型的定义, DICOM 3.0 定义了近 30 种的数据类型,如 CS(Code String,代码字符串)、SH(Short String,短字符串)、ST(Short Text,短文本)和 AE(Application Entity,应用实体)等,其中 Value Length 表示所储存值的字节数, Value Field 是储存对象值的具体内容。

1.1.2 信息对象定义(IOD) IOD 是一种面向对象的抽象数据模型,用于指定有关真实世界对象的信息。DICOM RT 是 DICOM 标准的扩展,定义了放疗领域的相关概念、流程和应用场景,因此了解 DICOM RT 标准对 P-Viewer 开发是必要的。DICOM RT 主要定义了 RTStructureSet(放疗结构集)、RTDose(放疗剂量)、RTPlan(放疗计划)、RTImage(放疗图像)、RTTreatmentRecord(放疗治疗记录)等部分(图 2)。放射治疗过程中,医生对肿瘤病人影像的勾画信息储存在 RTStructureSet 中,物理师根据医生给定的处方做治疗计划储存在 RTPlan 中,TPS 对计划进行计算、验证并把剂量信息、数字重建射野图像信息等分别储存在 RTDose 和 RTImage 中^[14-15]。

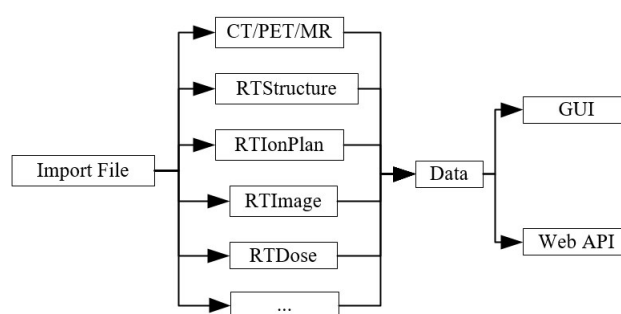


图2 P-Viewer 程序框架

Fig.2 P-Viewer program flow

前面章节提到的 RTPlan 为常规放疗所用的治疗计划文件, DICOM 3.0 为解决粒子放疗中的治疗计划问题专门定义了 RTIonPlanIOD, 包含分次治疗信息、粒子束流信息等。常规光子放疗中,光子射野覆盖肿瘤区同时可采用多叶准直器对肿瘤区域适形,而质子放疗是利用治疗头发射的具有一定发射度、能

量和能散度且半径不到1 cm的质子束流对肿瘤区域进行照射。作为治疗头的核心——束流配送系统,主要为被动散射束流配送系统和主动扫描束流配送系统,前者采用散射体或磁铁扩展束流,并用准直器和补偿器达到适形治疗的效果;后者利用电磁扫描技术动态扩展质子束的照射范围来适形肿瘤^[16]。

1.2 软件设计

根据前一节所述的概念模型和数据模型,设计物理模型及面向对象的程序框架,如图2所示。主要模块有导入、解析、数据加工、显示/传输。软件解析部分主要有CT、MR、PET、RTIonPlan、RTDose、RTImage、RTStructureSet等模块,其中RTIonPlan是针对质子放疗专门建立的模块。软件GUI处理CT、MR、PET、RTDose、RTImage等图像、感兴趣区域(ROI)显示及查看关键信息。

1.2.1 医学影像CT/MRI/PET解析模块 根据DICOM标准IOD,采用面向对象的方法建立CTImage、PETImage、MRImage 3个大类(Class)。除了包含Patient、GeneralStudy等几个共有子类,3个大类还拥有各自专门的类,子类还可以继续划分,或储存相关的数据信息,如图3所示。

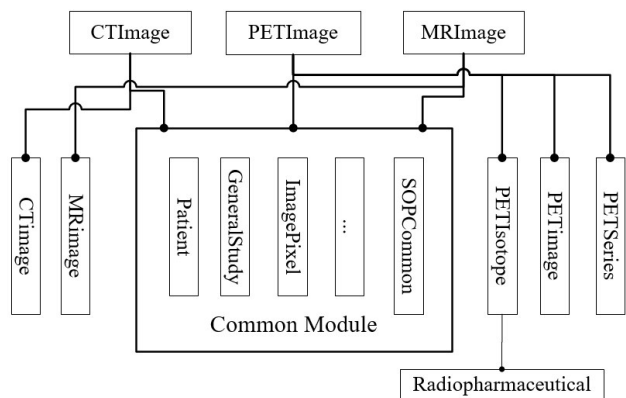


图3 影像解析模块

Fig.3 Image programming modules

1.2.2 质子放疗计划RTIonPlan解析模块 图4为质子放疗计划RTIonPlan程序模块结构设计,程序设计时每个模块对应一个类,子类在父类中完成初始化操作,如包含相关粒子束信息的类RTIonBeams在类RTIonPlan中完成初始化。这样的分层方式有利于模块的增删及修改,实现程序设计高内聚低耦合的要求。

1.2.3 其它主要模块 (1)RTStructureSet解析模块:在TPS中导入单个病人一组CT,一组CT由几十张人体断层图像组成,ROI主要有GTV(肿瘤靶区)、CTV(临床靶区)、PTV(计划靶区)、OAR(危及器官)等,对ROI准确的解析是后续计划评估和执行的基础,本

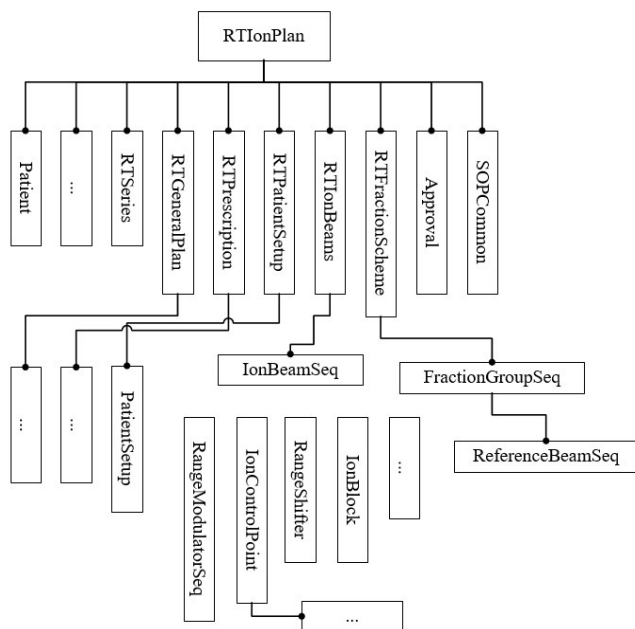


图4 RTIonPlan解析模块

Fig.4 RTIonPlan programming modules

软件设计RTStructureSet模块主要解析该文件中ROI等信息。(2)RTDose解析模块:该模块主要解析TPS系统计算产生的放疗剂量分布数据,如一维、二维、三维剂量分布、等剂量线和剂量体积直方图等。(3)RTImage解析模块:该模块解析数字重建射野图像、电子射野影像系统等设备所得投影图像信息。

除上述介绍的主要模块外,为兼容光子放疗计划,P-Viewer还设计有RTPlan模块,以及为后期开发图像配准融合功能设计的SpatialRegistration模块等。

1.3 WebAPI设计

为了方便数据在不同设备之间传输,利用WebService技术开发基于Web的API,WebService技术能够使运行在不同机器上的应用无须依靠第三方软件或硬件就可以相互交换数据或集成。实现WebService技术的方式有很多种,这里选择开源、跨平台的gSoap编译工具。交互数据采用JavaScript Object Notation(JSON)语言,它是一种完全独立于编程语言的文本格式,层次简洁清晰。数据序列化(Serialization)是将状态信息转换为方便储存或传输的过程,反序列化(Deserializer)则是相反的过程,本软件采用JSONCPP工具来实现JSON文本的序列化与反序列化。为实现此功能开发出了两个软件模块,即P-Viewer的服务器端软件以及客户端软件。服务器端实现解析功能,客户端实现传输DICOM文件及查看解析结果功能,服务器端与客户端采用TCP/IP网络协议进行通讯,WebAPI的工作流程,如图5所示。

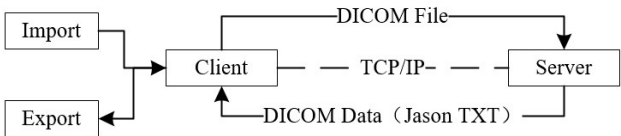


图5 WebAPI工作流程
Fig.5 WebAPI workflow

2 结果及测试

QT 是跨平台的图形开发库,支持 Windows、Linux、MAC 等多种平台,本研究采用QTDesigner 为 P-Viewer设计界面,如图6所示。

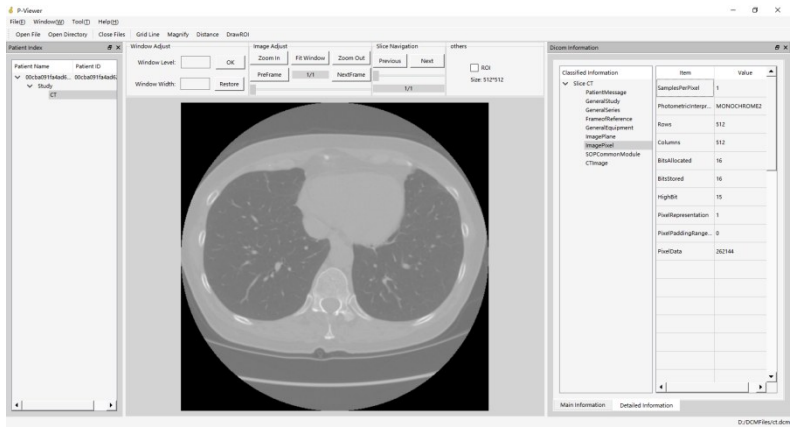


图6 P-Viewer主界面(测试一张CT图像)
Fig.6 Interface of P-Viewer (With a CT image)

2.1 P-Viewer功能测试

图7为SBRT(立体定向放疗)脊柱瘤治疗计划数据中的CT图像,主要测试了调窗、ROI显示、器官测

距等功能(截取图像主要部分)。除了上述基本功能外,还有图像缩放、旋转、复位、信息快速查找等功能。

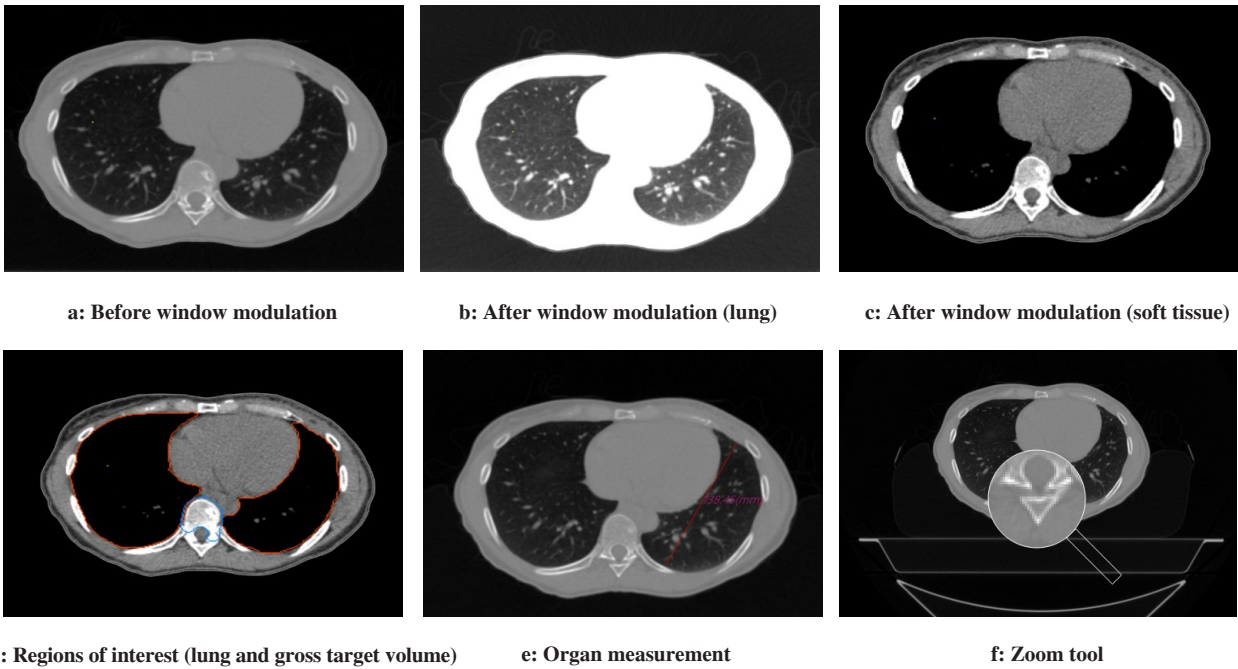


图7 P-Viewer图像功能
Fig.7 P-Viewer image functions

2.2 WebAPI功能测试

将开发的客户端软件、服务端软件分别在客户

端主机与服务器主机安装后,运行服务器端软件,在客户端软件点击“Setting”按钮设置服务器主机的IP

地址。点击客户端软件“Import”按钮导入本地DICOM文件数据,服务器端软件响应请求,快速完成解析过程,并将结果传递回来,客户端软件将解析结果以JSON格式显示,点击“Export”按钮将结果保存在本地磁盘中。测试鼻咽癌病人放疗数据中的一张CT文件,图8为输出的JSON格式的文本(为保护病人隐私,已将病人姓名隐去)。

```
{
  "ReturnCode": 0,
  "ReturnValue": [
    {
      "SOPCommonModuleDomModule": {
        "InstanceCreationDate": "",
        "InstanceCreationTime": "",
        "SOPClassUID": "1.2.840.10008.5.1.4.1.1.2",
        "SOPInstanceUID": "1.3.12.2.1107.5.1.4.66691.30000014110506594975000000530",
        "SpecificCharacterSet": "ISO_IR 100"
      },
      "PatientModuleDomModule": {
        "PatientBirthDate": "19671105",
        "PatientID": "102370",
        "PatientName": " ",
        "PatientSex": "M"
      },
      "GeneralStudyModuleDomModule": {

```

图8 解析得到的JSON格式文本

Fig.8 Analysis results in JSON format

2.3 跨平台测试

在编程时考虑了Windows平台及Linux平台的特性,采用了面向对象的C++语言,在语法上兼顾两种平台的要求,摒弃不常用的特性及不兼容的语法,编译出可以在上述两种平台运行的可执行程序。基于Web的API采用JSON文本格式,可以利用其他平台接口进行数据的反序列化使用,在开发需要利用DICOM解析功能的项目时,利用主流编程语言均可以使用P-Viewer的解析功能而无需重新开发。

3 结论

测试解析了20套后乳房切除术、前列腺癌、鼻咽管瘤等临床病例的质子放疗计划数据,与商用软件RadiAnt DICOM Viewer、Sante DICOM HEX Viewer等比较,解析数据结果准确率达100%。

P-Viewer单张CT解析耗时平均为0.01 s,单个RTDose文件解析耗时平均为0.05 s。测试WebAPI时使用的是20 M网络带宽,要经过传输、解析、显示这3个步骤,传输耗时是解析时间的20%~50%,传输速度依赖于服务器与客户端之间带宽,在一次性解析文件量较大时,建议在100 M网络环境下进行对比测试。

P-Viewer是自主开发的质子放疗计划解析与传

输软件,解析准确、性能可靠、运行稳定,可以满足临床、科研需求,为质子放疗或重离子放疗研究提供基础,将来可以根据新的需求进行更新、完善,并开发更多实用的功能。

【参考文献】

- [1] CHEN P J. Study on medical image processing technologies based on DICOM[J]. J Comput, 2012, 7(10): 2354-2361.
- [2] CHEN P J. Medical image display based on DICOM[J]. Key Eng Mater, 2011, 1272(480): 932-937.
- [3] LAW M Y, LIU B. Informatics in radiology: DICOM-RT and its utilization in radiation therapy[J]. Radiographics, 2009, 29(3): 655-667.
- [4] MOHAN R, GROSSHANS D. Proton therapy-present and future[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2016, 109: 26.
- [5] LIU H, CHANG J Y. Proton therapy in clinical practice[J]. Chin J Cancer, 2011, 30(5): 315-326.
- [6] 袁炯华. 质子放疗迎来中国加速期[N]. 医药经济报, 2014-07-02(006).
- [7] 郭潇雅. 上海市质子重离子医院运营周年记[J]. 中国医院院长, 2016(8): 82-83.
- [8] 蒋瑜香. 肿瘤患者将可在肥“定点爆破”治疗[N]. 合肥晚报, 2016-10-29(A02).
- [9] BYRNE M, HU Y F, ARCHIBALD-HEEREN B. Evaluation of RayStation robust optimisation for superficial target coverage with setup variation in breast IMRT[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2016, 39(3): 705-716.
- [10] WAGNER D, VORWERK H. Treatment couch modeling in the treatment planning system Eclipse[J]. J Cancer Sci Ther, 2011, 3(1): 7-12.
- [11] 王立功. DICOM医学图像文件格式解析与应用研究[J]. 深圳特区科技, 2006(29): 210-212.
- [12] HAAK D, PAGE C E, REINARTZ S, et al. DICOM for clinical research: PACS-integrated electronic data capture in multi-center trials[J]. J Digit Imaging 2015, 28(5): 558-566.
- [13] BIDGOOD W D, HORII S C. Introduction to the ACR-NEMA DICOM standard[J]. Radiographics, 1992, 12(2): 345-355.
- [14] ATHIYAMAN H, MAYILVAGANAN A, SINGH D. A simple planning technique of craniospinal irradiation in the eclipse treatment planning system[J]. J Med Phys, 2014, 39(4): 251-258.
- [15] HIROSHI O, YASUNORI O. Commissioning of modulator-based IMRT with XiO treatment planning system[J]. Med Phys, 2009, 36(1): 261-269.
- [16] YANG Z X, ZHANG M Z, LI D. Optimization of ripple filter for pencil beam scanning[J]. Nucl Sci Tech, 2013, 24(6): 97-101.

(编辑:谭斯允)