

基于辐射变色胶片测量的射野剂量学分析工具包设计开发

周舜,王若曦,岳海振,弓健,冯仲苏,吴昊,杜乙

北京大学肿瘤医院暨北京市肿瘤防治研究所放疗科/恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部重点实验室,北京 100142

【摘要】为适应放疗临床采用胶片开展射野剂量参数快速校验和离线深度分析的需求,本设计开发了基于MATLAB的胶片射野剂量学数据处理与分析工具包。工具包由GUI图形交互程序和功能模块函数集两部分组成:图形交互程序通过流程式操作,实现数据快速导入与处理,并能自动计算射野尺寸、半高宽、最大剂量深度等关键射野剂量学指标;功能模块函数集,可独立调用并获取过程中间变量,数据处理和分析自由度大,可做二次开发。工具包的开发为放疗临床采用辐射变色胶片开展射野剂量学质控提供了有力技术支撑,可有效提升质控工作效率与资源效益。

【关键词】放疗;辐射变色胶片;射野剂量学;MATLAB;工具包

【中图分类号】R815;R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)07-0751-04

Design and development of radiochromic film measurement-based toolkit for radiotherapy field dosimetric analysis

ZHOU Shun, WANG Ruoxi, YUE Haizhen, GONG Jian, FENG Zhongsu, WU Hao, DU Yi

Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing), Department of Radiation Oncology, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China

Abstract: A MATLAB-based dosimetric data processing and analysis toolkit using radiochromic film (RCF) is designed and developed to meet the needs of using RCF for quick quality assurance and off-line deep analysis. The toolkit is composed of a graphical user's interface program and a modular function set. The graphical user's interface program is implemented on a pipeline workflow for data input and processing and the calculation of key dosimetric indexes such as field size, full width at half maximum, maximum dose depth. The function set of function module can be called independently, and intermediate variables are accessible. Moreover, the function set of function module which has high versatility for data processing and analysis can be further developed. The designed toolkit is believed to provide strong technical support for using RCF to perform the dosimetric quality assurance of radiotherapy, thereby improving the efficiency of quality assurance and increasing resource efficiency.

Keywords: radiotherapy; radiochromic film; field dosimetry; MATLAB; toolkit

前言

放疗加速器在安装测试验收后、投入临床使用前,物理师需采集加速器基础剂量学数据完成束流建模,以此作为设备质控的参考基准^[1],并在后续运行期间,定期校验射野剂量学参数,确保束流品质满

足要求^[2]。采用点探测器测量参考射野剂量学数据过程费时繁琐,效率低下,故快速获取射野剂量学关键信息、自动给出感兴趣剂量学参数对于提高放疗质控效率具有重要临床实用价值^[3-4]。以GAFchromic EBT系列产品为代表的辐射变色胶片使用胶片扫描仪进行读取,二维高空间分辨率剂量测量优势突出,兼具射线能量和剂量率依赖度小、组织等效性好、即时显影和免冲洗的特点,适合放疗临床用作射野剂量学数据快速采集和参数校验工作^[5-7]。胶片剂量学数据分析可借助专业软件进行,但商业软件往往功能繁复庞杂、采购价格不菲,成为限制胶片临床应用的重要因素^[8-9]。为更好地发挥辐射变色胶片在放疗临床质控中的优势,本研究基于MATLAB环境开发了用于辐射变色胶片测量的放疗

【收稿日期】2019-03-20

【基金项目】国家自然科学基金(11505012);北京市自然科学基金(1184014, 1174016);中国博士后科学基金(2017M620542);首都卫生发展科研专项(2018-4-1027)

【作者简介】周舜,助理工程师,研究方向:医学物理, E-mail: shunzhou@bjcancer.org

【通信作者】杜乙,助理研究员,研究方向:医学物理, E-mail: yi.du@hotmail.com

参考射野剂量学参数分析工具包。

1 工具包功能设计

使用扫描仪读取辐射变色胶片,推荐使用48位RGB彩图读取,利用R通道做小于8 Gy的常规剂量测量分析,利用G通道做大剂量测量分析^[10]。有多种扫描设置可供选择,如AAPM TG-55报告^[11]建议使用正片、透射式扫描方式来降低测量不确定度,近年来亦有研究推荐使用反射式扫描来提高低剂量区测量灵敏度^[12]。

本工作所开发的射野剂量学胶片测量分析工具包,在设计之初即以多种扫描方式要求为先导^[13],其总体功能为:依靠辐射变色胶片获取待测参考射野剂量分布,通过已知刻度胶片剂量信息建立剂量刻度曲线,修正胶片剂量响应非线性,给出测量胶片所记录的参考射野绝对剂量分布,自动计算射野尺寸、半高宽、半影大小、最大剂量点深度等关键剂量学参数。

1.1 坏点修正

辐射变色胶片读取依赖于胶片扫描仪,如Epson Expression系列平板扫描仪,使用中可能存在CCD出现坏像素、扫描面板内面附着尘埃等问题,造成扫描图像出现坏点,干扰后续图像与剂量分析过程^[14]。坏点校正模块的功能是利用图像坏点与其邻域像素值差异显著特征,通过检测算法自动检测、剔除并修正坏点像素信息。

坏点自动识别与修正主要通过三步实现:首先,计算图像的二维离散拉普拉斯梯度并使用旋转对称的高斯核函数做卷积,以提取图像中的图像边缘点与坏点;然后,通过阈值分割算法检测坏点位置,生成坏点模板;最后,采用四邻域线性插值算法修正坏点像素信息^[15]。

1.2 图像降噪

辐射变色胶片测量剂量分布受多种噪声影响,如剂量沉积中的统计性涨落、胶片使用过程造成的表面沾污和损伤、与扫描面板间非完美贴合引起的杂散光等。研究表明,且噪声水平随图像分辨率增高而增大^[16-17]。图像降噪模块的主要功能是根据设置分辨率对原始扫描图像做像素合并的重采样处理,再进行适度平滑滤波,降低图像噪声,提高数据信噪比。其中,常规与大辐射野(大于等于4 cm×4 cm)剂量测量推荐扫描分辨率为150或300 dpi,默认重采样分辨率为72 dpi;小辐射野(小于4 cm×4 cm)剂量测量推荐扫描分辨率至少为300 dpi,默认重采样分辨率为150 dpi。平滑滤波可选择维纳滤波或中

值滤波^[8],滤波核尺寸可调节,默认使用5×5中值滤波。

1.3 像素值-剂量转换

辐射变色胶片扫描图像的像素值与受照剂量间呈非线性关系^[18-19]。像素值-剂量转换模块的主要功能是利用剂量已知刻度胶片,建立扫描图像像素值与吸收剂量间的刻度曲线,并通过刻度曲线,将待测胶片的扫描图像信息转换为对应的剂量分布信息^[13]。其中,推荐使用同批次胶片在源皮距为100 cm、射野大小为10 cm×10 cm、水等效深度为10 cm的标准参考条件下进行刻度,刻度剂量点至少为5个,最大刻度剂量推荐至少大于最大测量剂量10%,使用平滑样条算法建立剂量刻度曲线^[20]。

剂量刻度与转换通过中间变量光密度(Optical Density, OD)来实现,即:

$$OD(d) = \lg \left(\frac{\text{Film}(d)}{\text{Blank}(d)} \right) \quad (1)$$

其中, d 表示刻度剂量(单位Gy)或加速器跳数(单位MU);Film表示胶片扫描图像的像素值;Blank表示光场扫描图像的像素值;OD表示 d 所对应的光密度。待测胶片的剂量分布可通过式(1)计算对应的光密度分布,再利用光密度-剂量刻度关系做变换而获取。

1.4 射野参数分析

射野参数分析模块的主要功能是给出待测剂量分布的剖面线或深度剂量曲线信息,自动计算射野宽、半高宽、半影宽、最大剂量点深度、射线质等关键剂量学指标。射野宽度定义为中心坪区归一化后80%等剂量点距离;半影宽定义为左右两侧20%~80%等剂量点距离的平均值;考虑到实际应用中往往对胶片做裁剪使用以至胶片尺寸有限,此处射线质默认定义为沿射线中心轴距模体表面深度5 cm与深度10 cm两处百分剂量(即 D_5 与 D_{10})以及两者间比值(D_{10}/D_5)。

2 工具包架构与接口设计

2.1 架构设计

为满足放疗临床剂量学快速校验和离线分析的双重需求,辐射变色胶片剂量分析工具包由GUI图形交互工具和功能模块函数两部分构成。总体架构以胶片测量的实际工作流程为设计导向,遵从扫描参数输入、数据导入、图像预处理、剂量响应刻度、剂量分布计算与关键参数提取的实操顺序,将主要功能以独立模块形式做串联设计(图1),架构直观、便

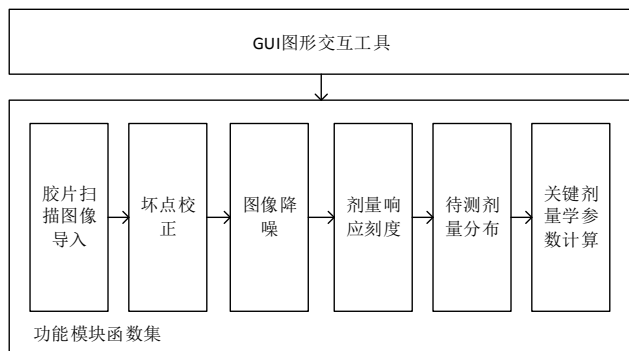
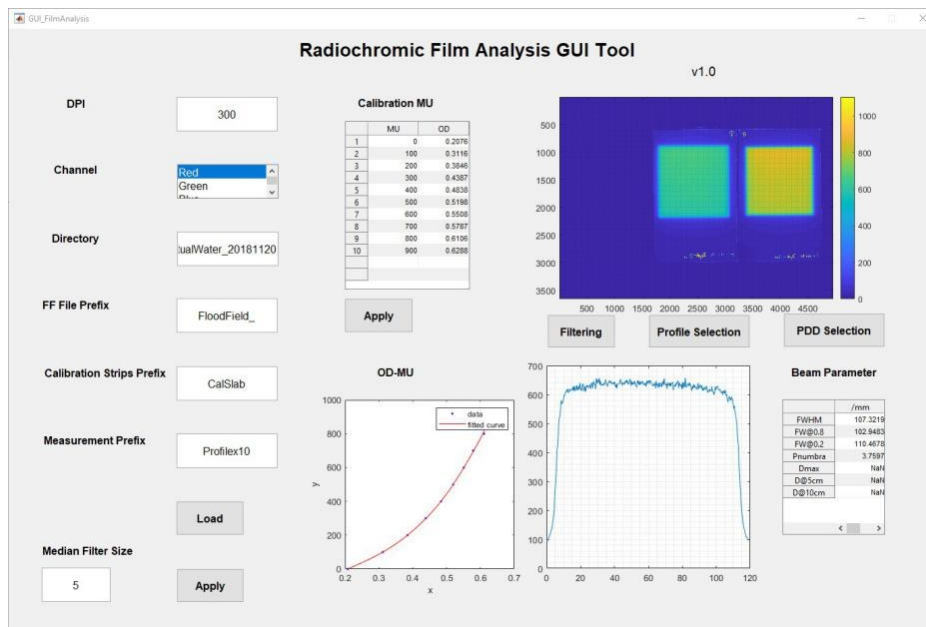


图1 工具包架构与操作流程示意图

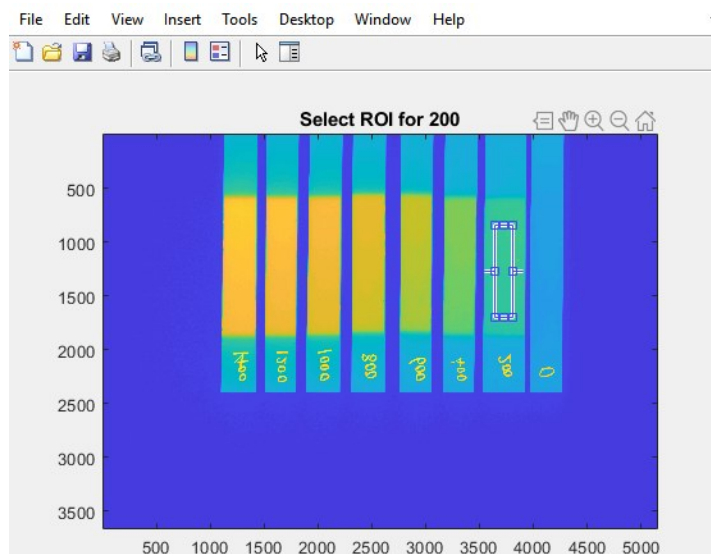
Fig.1 Schematic diagram of toolkit architecture and process workflow

于操作、易于维护。

GUI图形交互工具(图2)以图形化界面做封装,通过流程式操作调取底层的各项功能模块函数,可实现数据快速导入、处理与分析,并自动计算射野尺寸、半高宽、最大剂量深度等指标,可直观显示计算结果,适用于临床开展剂量学快速测算与校验。功能模块函数集,可通过接口参数独立调用,便于获取中间变量结果,不仅丰富了数据深度分析自由度,同时增加了工具包的功能可扩展性能和二次开发空间。



a: GUI程序界面



b: 交互式刻度剂量点选择示意

图2 GUI图形交互工具图

Fig.2 Diagrams of graphical user's interface tool

2.2 接口设计

工具包的输入图像文件推荐使用标准无压缩tiff格式,不同类型胶片扫描图像(如背景、刻度胶片、测量胶片)通过文件名前缀做区分,重复测量文件以数字编号结尾,导入时做自动平均处理。默认使用R通道做数据分析,亦可通过选项更改为G或B通道^[21];刻度胶片在导入后需手动输入刻度剂量,并依次选择刻度感兴趣区域;射野宽、半高宽等剂量学参数以列表形式自动给出。

此外,工具包还可实现电离室、半导体等对照测量数据的快速导入,并计算胶片测量结果与对照数年间相对偏差等,从而对测量结果做整体对比分析。

3 结 语

为了适应放疗临床采用辐射变色胶片开展快速射野剂量质控和剂量分布深度分析的双重需求,本研究设计开发了基于MATLAB的胶片数据处理与剂量分析工具包。工具包由GUI图形交互程序和功能模块函数集这两部分组成。图形交互程序通过流程式操作,实现数据快速导入和处理,自动计算剂量学参数,能够满足临床束流品质快速校验质控需求;功能模块函数集,可独立调用并获取中间过程变量,功能丰富,使用灵活自由,可做二次开发,能够满足剂量学深度分析等科研需求。该工具包无需安装,对MATLAB版本无特殊要求。实际应用经验表明该工具包设计简明合理、操作便捷友好、计算迅速、结果直观、功能实用性强,取得了良好的应用效果。该工具包的开发为使用胶片获取放疗射野剂量学分布和关键参数提供了有力技术支持,可有效提升放疗剂量测量与质控工作效率,提高临床医疗资源使用效益。

【参考文献】

- [1] DAS I J, CHENG C W, WATTS R J, et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM[J]. Med Phys, 2008, 35(9): 4186-4215.
- [2] KLEIN E E, HANLEY J, BAYOUTH J, et al. Task group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J]. Med Phys, 2009, 36(9): 4197-4212.
- [3] LOW D A, MORAN J M, DEMPSEY J F, et al. Dosimetry tools and techniques for IMRT[J]. Med Phys, 2011, 38(3): 1313-1338.
- [4] KNOOS T. QA procedures needed for advanced RT techniques and its impact on treatment outcome[J]. J Phys Conf Ser, 2015, 573(1): 012001.
- [5] DEVIC S. Radiochromic film dosimetry: past, present, and future[J]. Phys Med, 2011, 27(3): 122-134.
- [6] CHAN M, ZHANG Q, LI J, et al. The verification of iplan commissioning by radiochromic ebt2 films[J]. Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol, 2012, 1: 1-7.
- [7] SPELLEKEN E, CROWE S, SUTHERLAND B, et al. Accuracy and efficiency of published film dosimetry techniques using a flat-bed scanner and EBT3 film[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2018, 41(1): 117-128.
- [8] DEVIC S, TOMIC N, LEWIS D. Reference radiochromic film dosimetry: review of technical aspects[J]. Phys Med, 2016, 32(4): 541-556.
- [9] MATHOT M, SOBCZAK S, HOORNAERT M T, et al. Gafchromic film dosimetry: four years experience using FilmQA Pro software and Epson flatbed scanners[J]. Phys Med, 2014, 30(8): 871-877.
- [10] DEVIC S, SEUNTJENS J, SHAM E, et al. Precise radiochromic film dosimetry using a flat-bed document scanner[J]. Med Phys, 2005, 32(7): 2245-2253.
- [11] NIROOMAND-RAD A, BLACKWELL C R, COURSEY B M, et al. Radiochromic film dosimetry: recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55[J]. Med Phys, 1998, 25(11): 2093-2115.
- [12] PAPACONSTADOPOULOS P, HEGYI G, SEUNTJENS J, et al. A protocol for EBT3 radiochromic film dosimetry using reflection scanning[J]. Med Phys, 2014, 41(12): 122101.
- [13] MAYER R R, MA F, CHEN Y, et al. Enhanced dosimetry procedures and assessment for EBT2 radiochromic film[J]. Med Phys, 2012, 39(4): 2147-2155.
- [14] VAN BATTUM L J, HUIZENGA H, VERDAASDONK R M, et al. How flatbed scanners upset accurate film dosimetry[J]. Phys Med Biol, 2016, 61(2): 625-649.
- [15] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S. Digital image processing using MATLAB [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.
- [16] SANCHEZ J A, MORALES C R, LOPEZ A G, et al. Characterization of noise and digitizer response variability in radiochromic film dosimetry. Impact on treatment verification[J]. Phys Med, 2016, 32(9): 1167-1174.
- [17] LEWIS D, CHAN M F. Correcting lateral response artifacts from flatbed scanners for radiochromic film dosimetry[J]. Med Phys, 2015, 42(1): 416-429.
- [18] BOUCHARD H, LACROIX F, BEAUDOIN G, et al. On the characterization and uncertainty analysis of radiochromic film dosimetry[J]. Med Phys, 2009, 36(6): 1931-1946.
- [19] RUIZMORALES C, VERASANCHEZ J A, GONZALEZLOPEZ A, et al. On the re-calibration process in radiochromic film dosimetry[J]. Phys Med, 2017: 67-75.
- [20] AKDENIZ Y, YEGINGIL Z. Evaluation of an efficient calibration protocol for use in radiochromic film dosimetry for photon beams[J]. Radiat Phys Chem, 2018. DOI:10.1016/j.radphyschem.2018.10.002.
- [21] MENDEZ I. Model selection for radiochromic film dosimetry[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(10): 4089-4104.

(编辑:谭斯允)