

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2020.04.007

EDose 软件在锥筒计划剂量验证中的应用

石俊月¹,袁玲²,石兴源²,屈伟强³,王茹⁴,徐瑶瑶²,周剑良^{1*}

(1. 南华大学核科学技术学院,湖南衡阳 421001;2. 广州医科大学附属第五医院,广东广州 510700;
3. 瓦里安医疗器械贸易(北京)有限公司,北京 101149;4. 广州中医药大学金沙洲医院,广东广州 510168)

摘要:通过使用软件 Varian 公司的 Trilogy 加速器自带的 EPID 配合 EDose 软件和德国 IBA 公司的 RAROR Chamber 以及与其配套的 DOSE1 剂量仪和 RW-3 固体水分别对 12 例锥筒计划进行绝对剂量验证,记录并分析使用 EDose 软件时在不同标准下绝对剂量 γ 通过率和使用电离室时的点剂量验证结果。发现采用 $\gamma(3\%/3\text{ mm})$ 、 $(3\%/2\text{ mm})$ 、 $(2\%/2\text{ mm})$ 标准时,EDose 软件验证的绝对剂量 γ 通过率分别为 $(99.59\% \pm 0.33\%)$ 、 $(96.96\% \pm 1.27\%)$ 、 $(95.48\% \pm 1.37\%)$,等中心处绝对剂量偏差为 $0.27\% \pm 1.02\%$;电离室测量的等中心处绝对剂量偏差为 $-0.03\% \pm 1.20\%$,最大偏差是 -1.82% 。两种验证方法的验证结果均满足临床治疗的要求且无统计学差异。结果表明基于电子射野影像系统(EPID)的 EDose 软件可以用于锥筒计划的剂量验证,而且可以提供二维剂量分布,操作更加方便,同时可以节约科室成本。

关键词:电子射野影像系统;EDose 软件;锥筒计划;剂量验证; γ 通过率

中图分类号:R144.1 **文献标志码:**A

文章编号:1673-0062(2020)04-0042-06

The Application of EDose Software in Dose Verification of Cone-plan

SHI Junyue¹, YUAN Ling², SHI Xingyuan², QU Weiqiang³,
WANG Ru⁴, XU Yaoyao², ZHOU Jianliang^{1*}

(1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. Fifth Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou, Guangdong 510700, China; 3. Varian Medical
Equipment Trading (Beijing) Co., Ltd., Beijing 101149, China; 4. Jinshazhou Hospital, Guangzhou
University of Chinese Medicine, Guangzhou, Guangdong 510168, China)

Abstract: The absolute dose verification of 12 cone-plans was performed by using the EPID that comes with the Trilogy Accelerator of the Varian company, the EDose software,

收稿日期:2020-03-23

基金项目:广东省临床教学基地教学改革研究项目(2017JD108)

作者简介:石俊月(1990-),男,硕士研究生,主管技师,主要从事放射物理治疗方面的研究。E-mail: shijunyue@aliyun.com。*通信作者:周剑良(1959-),男,研究员,主要从事放射物理治疗方面的研究。E-mail: jianliang_zhou1@163.com

the RARORChamber of the German IBA company, and the matching DOSE1 dosimeter and RW-3 solid water respectively, Record and analyze the absolute dose γ pass rate under different standards when using EDose software and the point dose verification results when using RARORChamber. It was found that when using γ (3%/3 mm), (3%/2 mm), (2%/2 mm) standards, the absolute dose γ pass rates verified by EDose software were (99.59% \pm 0.33%), (96.96% \pm 1.27%), (95.48% \pm 1.37%), the absolute dose deviation at the isocenter is 0.27% \pm 1.02%; the absolute dose deviation at the isocenter measured by the ionization chamber is -0.03% \pm 1.20%, and the maximum deviation is -1.82%. The verification results of the two verification methods meet the requirements of clinical treatment without statistical difference. The results show that the EDose software based on EPID can be used for dose verification of cone-plan, and can provide two-dimensional dose distribution, which is more convenient to operate and saves department costs.

key words: EPID; EDose software; cone-plan; dose verification; γ pass rate

0 引言

锥筒计划 (cone-plan) 是瓦里安公司在其 Trilogy 和 TrueBeam 型号加速器上实现的光子束的高剂量率立体定向放射外科 (stereotactic radiosurgery, SRS) 技术, 其中, 无均整滤过器 (flattening filter free, FFF) 的 6 MV 和 10 MV X 射线的最高剂量率分别为 1 400 MU/min 和 2 400 MU/min。锥筒 (conical collimator) 的尺寸有七种, 直径分别为 4 mm、5 mm、7.5 mm、10 mm、12.5 mm、15 mm、17.5 mm, 其可以有效地减少散射线的数量, 因此锥筒模式下立体定向放射外科 (stereotactic radiosurgery, SRS) 可以为肿瘤放疗提供更好的解决方案, 尤其是在头部较小肿瘤, 可以更好地保护正常脑组织, 减少正常脑组织剂量^[1]。瓦里安锥筒计划具有照射野小、单次剂量较高、照射野边缘剂量梯度比较大的特点, 为保证锥筒治疗计划在 Trilogy 加速器上得到可靠的执行, 治疗前需要进行严格的剂量验证^[2-4]。由于 Eclipse 中的 Cone Planning 模块不具备组织非均匀性校正功能, 且锥筒计划射野较小, 一般验证设备的分辨率达不到精度要求, 而胶片又难以对单次剂量超过 10 Gy 的计划进行绝对剂量测量^[5-6]。对于瓦里安设备的锥筒计划的绝对剂量验证目前依赖测量点剂量完成, 操作较为复杂。本研究利用 Edose 分析了 12 例使用 6 MVFFF X 射线的锥筒计划的剂量验证结果, 并探讨该方法的可行性^[7-10]。

1 材料与方 法

选取 12 例在 Trilogy 加速器上利用 6 MVFFF X 射线治疗的锥筒治疗计划, 所有锥筒治疗计划

均采用 Eclipse13.6 治疗计划系统中的 cone planning 模块进行计划设计, 利用非共面弧 (arc) 技术, 每个锥筒计划采用 4 ~ 6 个弧, 剂量率采用 1 260 MU/min。剂量计算采用的 CDC (cone dose calculation) 算法, 计算角度分辨率为 1°, 计算网格为 1 mm, CT 层厚为 2 mm。计算选取的锥筒计划都经过德国 IBA 公司的微型电离室 RAROR^{Chamber} 配备 DOSE1 剂量仪及 RW-3 模体进行剂量验证和 Winston lutz 进行位置验证。

1.1 基于 EPID 的 EDose 软件剂量验证

aS1000 EPID (varian medical systems) 非晶硅平板探测器是安装在 Varian Trilogy 加速器上的。aS1000 EPID 由一个图像探测单元 (image detector unit, IDU)、图像获取单元 (image acquisition unit, IAS3) 以及专用的工作站 (portal vision, PC) 组成。其中 IDU 主要包括非晶硅探测器和相关电子线路, IAS3 主要包括图像探测单元的驱动和获取电子线路, PC 是射野影像的工作站。IDU 的有效探测像素点为 1 024 \times 768, 探测点间距为 0.39 mm, 有效探测面积为 40 cm (X axis) \times 30 cm (Y axis)。Edose5.0 软件可以通过 IAS3 获取的图像推算出加速器的通量, 通过卷积和反卷积计算出虚拟模体的等中心处冠状面的剂量分布图。

1.1.1 建模

采用 Trilogy 加速器上利用无均整滤过器 6MV X 的数据进行建立物理模型 (如图 1 和图 2)。通过调整 μ_1 μ_2 μ_3 、 c_1 、 c_2 、 ε 、 d 、 cr 因子, 观察不同射野下射野 Profile (off-axes ratio, OCR) 的拟合结果和射野输出因子 (output factor, OF) 的拟合结果 (如图 1 ~ 图 2), 尽量让小射野部分有更好的拟合结果, 可以接受较大射野拟合结果较差, 因为最大的锥筒

的直径是 17.5 mm。对每个锥筒进行单独的剂量刻度,建立灰度-绝对剂量的对应关系(如图 3 为 15 mm 锥筒的剂量刻度)。在小野剂量学中,探测器测量的结果对射野大小极为敏感,经测量使用 10 mm 的锥筒和 10 cm×10 cm 的射野分别让 EPID 板接受 100 cGy 的照射时,使用 10 mm 的锥筒时 EDose 测得的射野等中心处的像素值比使用 10 cm×10 cm 的射野低了大约 3% 以上,因此每个锥筒都要做单独的剂量刻度,以保证测量结果的精度。

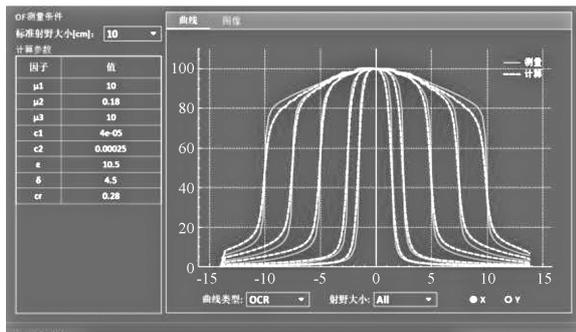


图 1 建模参数和 Profile 的拟合结果

Fig. 1 Modeling parameters and profile fitting results

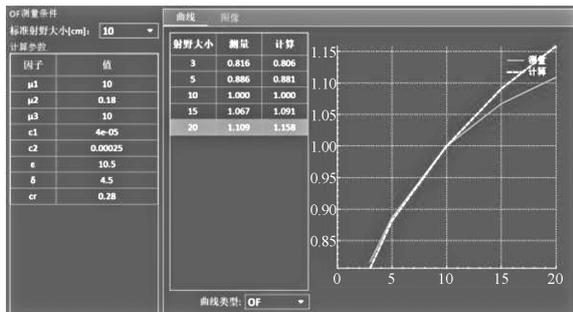


图 2 建模参数和射野输出因子 (OF) 拟合结果

Fig. 2 Modeling parameters and OF fitting results

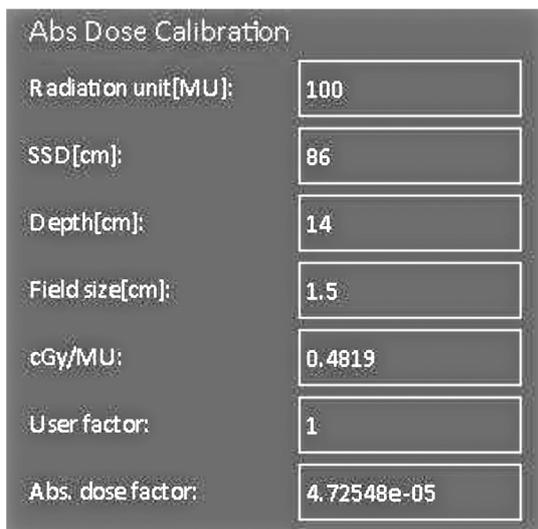


图 3 1.5 cm 锥筒的剂量刻度

Fig. 3 Dose scale of 15 mm-cone

1.1.2 验证计划设计

将原治疗计划拷贝到一个直径为 28 cm、高为 28 cm 的虚拟圆柱形水模体上 (CT 值为 0 HU 时), 剂量计算采用的 CDC (cone dose calculation) 算法, 计算角度分辨率为 1° , 计算网格为 1 mm, 水模体层厚为 1.5 mm, 水模体的层厚对验证结果有较大的影响。然后将剂量文件导入 EDose 软件中。

1.1.3 测量

1) 首先将角度感应器贴在于 0° 的机架上, 然后打开角度感应器, 通过蓝牙和网线将机架角度信息传回 EDose 软件。

2) 然后打开 4DTC 电脑上的 IAS3 Service Monitor 软件, 选择合适的采集模式、能量与剂量率。由于锥筒计划采用的 ARC 技术, 出射线的同时机架角度持续变化, 因此图像采集方式选择 Continue Acquisition 持续采集图像模式, 机架角每旋转 $1^\circ \sim 3^\circ$, EPID 将采集到数据和对应的角度保存一次。

3) 在 Support Arm 窗口中设定 EPID 的位置, 再将其升至离源距离为 150 cm 处。

4) 测量本地后, 进行验证计划的测量, 并将测量信息导出后保存。EDose 软件将 EPID 采集到的图像反推出加速器的通量, 再结合与之对应的机架角度信息通过卷积与反卷积算法计算出等中心处冠状面的平面剂量, 采用 DTA 的方式选择不同的标准对绝对剂量 γ 通过率进行分析。

1.2 点剂量验证

采用 IBA 公司的 RAROR^{Chamber} 和 DOSE1 剂量仪以及 RW-3 固体水进行点剂量的绝对剂量测量。RAROR^{Chamber} 的灵敏体积是 0.01 cm^3 , 外电极的内半径是 1 mm, 室壁的厚度是 0.5 mm (88 mg/cm^2), 电压采用 $\pm 300 \text{ V}$ 。RW-3 固体水的长和宽为 30 cm, 厚度为 1 cm 或 2 cm, 密度为 1.045 g/cm^3 。采用 9 块, 其中一块的厚度是 2 cm 厚的 RAROR^{Chamber} 的适配板, 其余 8 块的厚度均为 1 cm, 测量时 2 cm 厚度的 RAROR^{Chamber} 适配板的上下各放置 4 块 1 cm 的固体水。

1) 用 Cone Planning 模块将锥筒治疗计划拷贝到水模体中, 并记录电离室有效测量点处的绝对剂量的计算值。

2) 用激光灯摆放固体水并插入电离室, 通过配套的线缆连接至剂量仪。

3) 通过拍摄正交 KV 片, 验证电离室有效测量点的位置, 保证其位于射野等中心。因射野较

小,电离室位置的准确极为重要^[11]。

4)采用 IAEA TRS483 号报告的方法对测量点进行绝对剂量的测量与计算。

2 结果

图4和表1给出了使用基于EPID的EDose软件在锥筒计划验证中采用不同标准的 γ 通过率。从结果来看,采用3%/3 mm标准,阈值剂量10%时通过率均在98%以上,均值为99.59%±0.33%;用采用3%/2 mm标准,阈值剂量10%时通过率均在93%以上,均值为96.96%±1.27%;采用2%/2 mm标准,阈值剂量10%时通过率均在92%以上,均值为95.48%±1.37%,但随着标准的更加严格,通过率随之降低。图5是虚拟模体等中心处TPS计算值和EPID测量值的偏差,均值为0.27%±1.02%;图6是RAROR^{Chamber}配备DOSE1在RW-3固体水中测量的绝对剂量与TPS在此点的计算值的偏差,最小偏差是0.20%,最大偏差是-1.82%,均值是-0.03%±1.20%。图7是EDose和RAROR^{Chamber}在等中心处的测量的绝对剂量偏差,利用SPSS V20.0对两组数据做配对样本t检验, $P=0.078>0.05$,没有呈现出统计学差异。

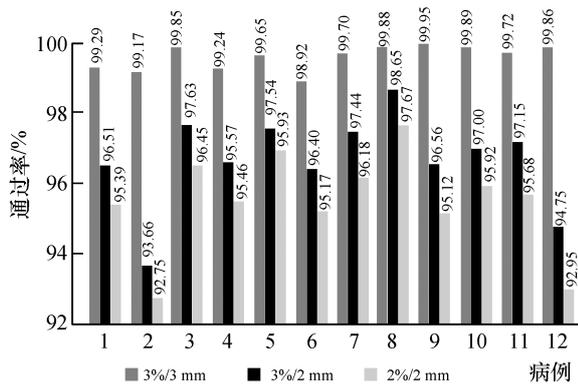
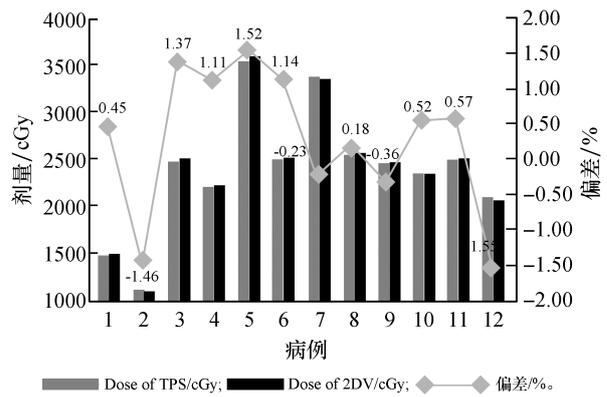


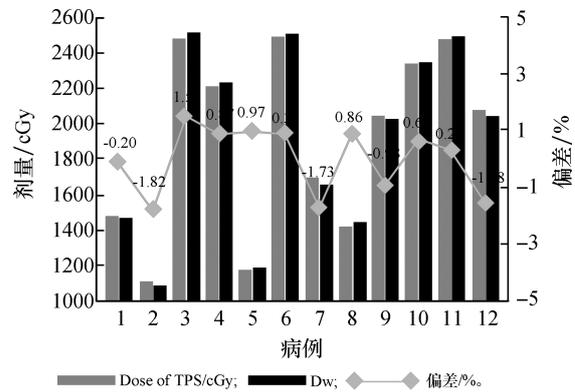
图4 EDose在锥筒计划验证中的绝对剂量 γ 通过率
Fig.4 Absolute dose γ passing rate in EDose of Cone-Plan

表1 EDose在锥筒计划验证中绝对剂量 γ 通过率的均值(平均值±方差)和范围

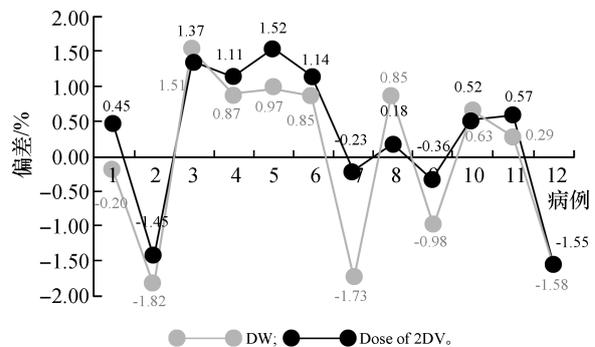
标准	γ 通过率/%	范围/%
3%/3 mm	99.59±0.33	98.92 ~ 99.95
3%/2 mm	96.96±1.27	93.66 ~ 98.65
2%/2 mm	95.48±1.37	92.75 ~ 97.67



Dose of 2DV 是 EDose 重建的剂量值
图5 TPS和EDose在等中心处的绝对剂量
Fig.5 Absolute dose of TPS and EDose at isocenter



Dw 是 RAROR^{Chamber} 在 RW-3 固体水中测量的绝对剂量
图6 TPS和RAROR^{Chamber}在等中心处的绝对剂量
Fig.6 Absolute dose of TPS and RAROR^{Chamber} at isocenter



DW 是 RAROR^{Chamber} 在 RW-3 固体水中测量的绝对剂量偏差, Dose of 2DV 是 EDose 重建的剂量偏差
图7 EDose和RAROR^{Chamber}在等中心处的测量的绝对剂量偏差
Fig.7 Absolute dose of TPS and RAROR^{Chamber} at isocenter

3 讨论

锥筒计划是实现 SRS 的一种放射治疗技术,其具有照射野较小,单次剂量较高,剂量梯度较陡的特征。在小野测量中,由于诸多因素(包括探测器的大小,辐射源的大小,探测器响应)的影响,准确测量其绝对剂量极具挑战性^[12]。由于不符合空腔理论的要求,即便使用微型电离室,与射野的大小相比,它的大小仍然偏大。可以使用微型固态探测器(例如二极管、塑料闪烁体、人工合成的微型金刚石)去测量小野点剂量,但是需要探测器与射束中心轴平行,对于使用 ARC 技术的锥筒计划而言,无法做到让探测器和机架角进行同步的旋转,临床上也没有与之进行适配的固体水。在 IAEA TRS483 号报告中给出了使用空气电离室测量缺少横向平衡和违背空腔理论时进行小野测量的一般方法,测量小野剂量需要使用必要的修正因子,测量过程较为复杂^[13]。

Eclipse13.6 中的 Cone planning 模块没有对物体的进行非均匀性校正,剂量计算时将 CT 图像上的所有轮廓结构按照 CT 值 0 HU(相对电子密度为 1,物理密度为 1 g/cm^3) 计算,而实际上常用的一些固体水的密度并不是 1 g/cm^3 ,例如 RW-3 固体水的物理密度是 1.045 g/cm^3 ,所以在理论上会导致使用 RW-3 固体水时的测量结果会偏低。使用 RAROR^{Chamber} 的测量结果与 TPS 计算值相比,偏差的均值为 $-0.03\% \pm 1.20\%$,而使用 EDose 时等中心处的剂量偏差为 $0.27\% \pm 1.02\%$ 。尽管使用两种设备测得的结果相差 0.3%,利用 SPSS V20.0 对两组数据做配对样本 *t* 检验, $P = 0.078 > 0.05$,没有统计学意义。一些质控设备厂商也推出了用于 SRS 计划验证的高分辨率矩阵,例如:Sunuclear 公司推出的 SRS-MapCHECKTM,探头为半导体探测器,探头数量是 1 013,探头间距是 2.47 mm,与其配套的 StereoPHANTM 为有机玻璃,物理密度是 1.2 g/cm^3 ,这对于没有非均匀性校正功能的 Cone planning 并不适用。M. Lassot 等^[14]认为 SRS-MapCHECKTM 在验证小于 $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 射野时,仍然具有一定的局限性;PTW 公司推出的 OCTAVIUS Detector 1000 SRS,由 977 个液体电离室组成,在 $55 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ 的中心区域内,相邻电离室间距为 2.5 mm,中心区域以外间距为 5 mm,主轴上间距是 2.5 mm,对角线上间距为 3.5 mm^[15-16]。相对于瓦里安加速器配备的锥筒(直径为 4 mm ~ 17.5 mm)而言,这样的探头间

距依然偏大,而 aS1000 EPID 上的探头的间距为 0.39 mm,可以较好地解决这个问题。

从本研究中 12 例锥筒计划的验证结果来看,基于 EPID 的 EDose 软件采用 3%/3 mm 标准,阈值剂量 10% 时具有较高的绝对剂量 γ 通过率,均值是 $99.59\% \pm 0.33\%$;采用 3%/2 mm 标准,阈值剂量 10% 时绝对剂量 γ 通过率均值为 $96.96\% \pm 1.27\%$,其中病例 2 和病例 12 的绝对剂量通过率分别是 93.66% 和 94.75%,低于 AAPM TG-218 推荐的关于 SRS 的容差限值 95%,高于干预限值 90%^[17]。分析原因是病例 2 采用了直径为 10 mm 和 15 mm 的混合筒照射,而在计算模型中采用了直径 15 mm 锥筒的计算模型,没有通过点主要分布在靶区边缘的较大的剂量梯度区域;病例 12 采用的直径为 10 mm 的锥筒照射,不通过的区域分布在剂量较陡的射野边缘且计划在临床上可以接受。采用 2%/2 mm 标准,阈值剂量 10% 时绝对剂量 γ 通过率均值为 $95.48\% \pm 1.37\%$ 。

4 结论

RAROR^{Chamber} 配备 DOSE1 在 RW-3 固体水中测量的绝对剂量与 TPS 在此点的计算值的最小偏差是 -0.20% ,最大偏差是 -1.82% ,均值是 $-0.03\% \pm 1.20\%$,测得的偏差与使用 EDose 时相比整体偏小,笔者认为这与 TPS 在剂量计算时未进行组织非均匀性校正有关。从本研究结果来看,使用 EDose 软件和使用 RAROR^{Chamber} 测得的等中心处的绝对剂量偏差没有显著性差异,且 EDose 软件还提供了二维绝对剂量分布,可以更好地了解整体剂量分布和没有通过的区域。

参考文献:

- [1] REYNOLDS T A, JENSEN R, BELLAIRS E E, et al. Dose gradient index for stereotactic radiosurgery/radiation therapy[J]. International journal of radiation oncology biology physics, 2020, 106(3): 604-611.
- [2] LING C C, ZHANG P, ARCHAMBAULT Y, et al. Commissioning and quality assurance of Rapidarc radiotherapy delivery system[J]. International journal of radiation oncology biology physics, 2008, 72(2): 575-581.
- [3] DE RUYSSCHER D, FAIVRE-FINE C, NESTLE U, et al. European organisation for research and treatment of cancer recommendations for planning and delivery of high-dose, high-precision radiotherapy for lung cancer[J]. Journal of clinical oncology, 2010, 28(36): 5301-5310.
- [4] BENEDICT S H, YENICE K M, FOLLOWILL D, et al.

- Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101 [J]. *Medical physics*, 2010, 37(8): 4078-4101.
- [5] ALDELAIJAN S, DEVIC S, PAPACONSTADOPOULOS P, et al. Dose-response linearization in radiochromic film dosimetry based on multichannel normalized pixel value with an integrated spectral correction for scanner response variations[J]. *Medical physics*, 2019, 46(11): 5336-5349.
- [6] RUIZ-MORALES C, ANTONIO V J, GONZÁLEZ-LÓPEZ A. Optimizing the recalibration process in radiochromic film dosimetry [J]. *Physics in medicine and biology*, 2020, 65(1): 15-16.
- [7] ZHU J H, CHEN L X, CHEN A L, et al. Fast 3D dosimetric verifications based on an electronic portal imaging device using a GPU calculation engine [J]. *Radiation oncology*, 2015, 10(1): 85-97
- [8] 李玉成, 程晶晶, 单国平, 等. 基于 EDose 软件电子射野影像系统的调强剂量验证[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(1): 1-4.
- [9] 王小深, 鞠忠建, 徐伟, 等. EDOSE 进行调强剂量验证结果的评估[J]. *中国医疗器械杂志*, 2016, 40(2): 147-149.
- [10] WANG X, CHEN L, XIE C, et al. Experimental verification of a 3D in vivo dose monitoring system based on EPID [J]. *Oncotarget*, 2017, 8(65): 109619-109631.
- [11] 李玉成, 陈维军, 单国平, 等. 摆位误差对立体定向放射治疗计划剂量学验证的影响 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(8): 869-873.
- [12] PALMANS H, ANDREO P, HUQ M S, et al. Dosimetry of small static fields used in external photon beam radiotherapy; Summary of TRS-483, the IAEA-AAPM international code of practice for reference and relative dose determination [J]. *Medical physics*, 2018, 45(3): 78-298.
- [13] HALVORSEN P H, CIRINO E, DAS I J, et al. AAPM-RSS Medical Physics Practice Guideline 9. a. for SRS-SBRT [J]. *Journal of applied clinical medical physics*, 2017, 18(6): 125-153.
- [14] LASSOT M, DREZET L, SALOMON O, et al. 67 Study of a new detector for stereotactic treatments: The SRS MapCheckTM [J]. *Physica medica*, 2019, 68(1): 41-58.
- [15] VIEILLEVIGNE L, FERNANDEZ A, FERRAND R. EP-1406: Use of 1000 SRS associated with 4D Octavius phantom for pretreatment QA of stereotactic plans [J]. *Radiotherapy and oncology*, 2015, 115(6): 214-235.
- [16] 岳海振, 张艺宝, 胡俏俏, 等. PTW 1000SRS 与 729 矩阵在非均整模式下剂量验证对比 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(1): 19-23.
- [17] PFEIFFER D, SUTLIEF S, FENG W, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218 [J]. *Medical physics*, 2018, 45(4): 52-83.