放射肿瘤学专题 ●放射治疗●

电子射野影像系统在测量调强放疗三维剂量上的 应用*

胡银祥,王志勇,金海洁,苏胜发,毕婷,罗元强,金风,卢冰[△] 550004 贵阳,贵州医科大学附属医院/贵州省肿瘤医院 肿瘤科(胡银祥、金海洁、苏胜发、毕婷、金 风、卢冰):550004 贵阳,贵州省肿瘤医院 肿瘤科(王志勇、罗元强)

[摘要] 目的:采用三维 γ 分析与靶区平均剂量评估电子射野影像系统(electronic portal imaging device, EPID) 在测量调强放疗三维剂量上的应用特点。方法:首先在固体水模体中测试规则野和调强野,分析点剂量、平面 γ 通过率及靶区三维 γ 通过率的模型重建精度;再采用 EPID 测量 80 例鼻咽癌患者调强放射治疗(intensity modulated radiotherapy,IMRT),基于 CT 重建治疗前三维剂量,分析靶区三维 γ 通过率和平均剂量;最后抽取其中 12 例分析空腔修正对三维 γ 通过率和靶区剂量的影响。结果:IMRT 在固体水模体中三维剂量重建的等中心点剂量平均偏差为 –1.09% ±1.27%,二维平面 γ 通过率为 99.38%,固体水模体计划靶区(planning target volume, PTV)三维 γ 通过率为 98.01%;基于 CT 重建 80 例鼻咽癌患者 IMRT 剂量分布,PTV 的 3%/3mm 和 5%/3mm 三维 γ 通过率分别为 89.71% ±5.71%和 96.36% ±3.02%;其中 12 例患者 PTV1 与原发肿瘤靶区的三维 γ 通过率(3%/3mm)分别为 91.20% ±3.53%和 87.70% ±8.07%,经过空腔密度修正后通过率分别为 96.80% ±2.15%和 97.90% ±3.41%,修正前后有统计学差异(t = -7.214,P < 0.001;t = -4.263,P = 0.001),修正前后重建平均剂量的偏差分别为 0.70% ±1.30%和 0.60% ±2.05%,差异无统计学意义(t = -1.910,P = 0.083;t = 1.083,P = 0.302)。结论:三维 γ 分析是 三维剂量验证可靠的质控方法,修正空腔密度可提升靶区三维 γ 通过率,而对平均剂量影响小,分析评估靶区平均 剂量对三维剂量验证具有临床应用价值。

[关键词]电子射野影像系统;三维剂量重建;调强放疗;γ分析 [中图分类号] R730.55;R815.2 [文献标志码] A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2021.01.007

引文格式:Hu YX, Wang ZY, Jin HJ, *et al.* Electronic portal imaging devices in 3D dose measurement for intensity modulated radiotherapy [J]. J Cancer Control Treat, 2021, 34(1):41-47. [胡银祥,王志勇,金海洁,等. 电子射野影像系统在测量调强放疗三维剂量上的应用[J]. 肿瘤预防与治疗,2021, 34(1):41-47.]

Electronic Portal Imaging Devices in 3D Dose Measurement for Intensity Modulated Radiotherapy

Hu Yinxiang, Wang Zhiyong, Jin Haijie, Su Shengfa, Bi Ting, Luo Yuanqiang, Jin Feng, Lu Bing Department of Oncology, Guizhou Cancer Hospital & the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Gui Yang 550004, Guizhou, China (Hu Yinxiang, Jin Haijie, Su Shengfa, Bi Ting, Jin Feng, Lu Bing); Department of Oncology, Guizhou Cancer Hospital, Guiyang 550004, Guizhou, China (Wang Zhiyong, Luo Yuanqiang)

Corresponding author: Lu Bing, E-mail: lbgymaaaa@163.com

This study was supported by grants from Guizhou Science and Technology Department (No. LH[2016]7398).

[收稿日期] 2020-07-11 [修回日期] 2020-12-28
[基金项目] *贵州省科技计划项目(编号:黔科合 LH 字
【2016】7398)
[通讯作者] △ 卢冰, E-mail: lbgymaaaa@163.com

[Abstract] Objective: To evaluate the application of electronic portal imaging devices (EPID) in 3D dose measurement for intensity modulated radiation therapy (IM-RT) by 3D γ analysis and average target dose. Methods: Regular fields and IMRT fields were first tested in the solid water phantom to analyze the model reconstruction accuracy of

point dose, planar γ pass rate and 3D γ pass rate of targets. EPID was then used to measure IMRT in 80 patients with nasopharyngeal carcinoma. 3D γ pass rates and average doses were analyzed based on 3D dose before CT reconstruction. 12 cases were finally selected to analyze the effect of cavity correction on 3D γ pass rates and target doses. **Results**: The average isodose deviation of 3D dose reconstruction for IMRT in solid water phantom was $-1.09\% \pm 1.27\%$; the 2D γ pass rate was 99. 38%; and the 3D γ pass rate of planning target volume (PTV) was 98.01%. For the 80 nasopharyngeal carcinoma patients undergoing CT reconstruction, 3D γ pass rates of PTV with 3%/3 mm and 5%/3 mm criteria were 89.71% $\pm 5.71\%$ and 96.36% $\pm 3.02\%$, respectively. The γ pass rates (3%/3 mm) of PTV1 and the gross tumor volume of nasopharynx in 12 cases were 91.20% $\pm 3.53\%$ and 87.70% $\pm 8.07\%$ before cavity correction; and they became 96.80% $\pm 2.15\%$ and 97.9% $\pm 3.41\%$ after cavity correction; There were statistically significant differences before and after the correction (t =-7.214, P < 0.001; t = -4.263, P = 0.001). The average dose deviation before and after reconstruction were 0.70% \pm 1.30% and $0.60\% \pm 2.05\%$; and the difference was not significant (t = -1.910, P = 0.083; t = 1.083, P = 0.302). **Conclusion**: 3D γ analysis is reliable in quality assurance for 3D dose verification. Cavity correction could improve 3D γ pass rates of the target, but has little effect on the average dose. The analysis and evaluation of the average dose of the target is clinically applicable and valuable for 3D dose verification.

[Key words] Electronic portal imaging devices; 3D dose reconstruction; Intensity-modulated radiotherapy; γ analysis

放射治疗是恶性肿瘤治疗的重要手段之一,随 着肿瘤发病率的不断上升,越来越多的患者需要接 受放射治疗^[1]。由于肿瘤靶区复杂和不规则,远处 转移存在多样性,调强放射治疗(intensity modulated radiotherapy,IMRT)已成为肿瘤放射治疗最普遍和 最常用的方法之一^[2]。IMRT 技术依赖于先进的机 电技术和计算机模拟技术有机结合^[3],放射治疗剂 量计算比较复杂,同时在调强放射计划实施过程中 存在诸多不确定因素,如输出剂量波动、多叶准直器 形状复杂是否运动到位,这些潜在的差错可能导致 治疗的失败,因此需要在治疗前或治疗中进行放射 治疗的剂量验证^[45],是放射治疗质量保证(quality assurance,QA)的一个重要环节,确保执行的安全和 可靠^[6]。非晶硅电子射野影像系统(electronic portal imaging device, EPID)^[7]获取放疗患者的治疗射 野影像,将影像灰度进行准确的剂量刻度和数学拟 合,可以替代传统的电离室检测和三维水箱扫描进 行加速器的常规剂量学质量控制^[8-12],同时 EPID 具 有在线测量穿透剂量的能力^[13]。van Zijitveld 等^[14] 采用 EPID 进行 IMRT 治疗前的剂量验证测试,按 3%/3mm 进行 v 分析,发现 270 例中有 4 例临床相 关的差错, Wu 等^[15] 报道了 120 例 IMRT 采用基于 EPID 采集治疗前射野影像重建患者的调强剂量,所 有的 IMRT 的计划靶区 (planning target volume, PTV)和整体 γ 通过率(3%/3 mm) >90%,表明 EP-ID 可以作为 IMRT 的高分辨率剂量验证工具,检查 IMRT 技术的相关差错,提供治疗前的剂量验证。 治疗计划系统(treatment planning system, TPS)内置 剂量算法大多是基于笔形束叠代卷积技术,误差满 足临床应用要求^[16]。本文使用 DosimetryCheck (DC, MathResolutions LLC, Maryland, 美国)软件, 采 用 EPID 进行 IMRT 计划出束测量, 再采用笔型束 计算重建, 测试基于固体水模体和 CT 图像三维剂 量重建与 TPS 计算的系统精度, 并在临床应用中探 讨靶区平均剂量偏差与通过率的相关性, 分析空腔 对 IMRT 验证通过率与靶区平均剂量影响。

1 材料与方法

1.1 剂量计算模型建模

医科达 Synergy 和 Precise 加速器 iView GT EP-ID 非晶硅探测面积为 26 cm × 26 cm, 像素分辨率 1 024 pixel×1 024 pixel(0.254 mm pixel),固定放 射源和探测器的距离为160 cm。采用 DC 软件进行 三维剂量建模。首先使用电离室校准加速器 6MV_ X射线、10 cm×10 cm方野100 MU的绝对剂量,再 采用单爆光采集空气中9个方野和4个矩形野影 像,完成 EPID 规则野影像数据与辐射剂量学特性 刻度,将影像转换为 DICOM 格式导入 DC 软件,同 时导入相应射野百分深度剂量、输出因子和离轴比 剂量(深度为1.5 cm、5 cm、10 cm 和 20 cm),最后 在 DC 软件中采用 Pencil Beam 算法反投影计算拟 合三维剂量重建模型。通过固体水模体导入 Pinnacle³ 8.0 m(飞利浦治疗 TPS)测试野和调强野,测试 模型精度。再进行基于 CT 病例测试和临床病例应 用。

1.2 方法

1.2.1 规则野模体中心点和平面剂量测试 射野 为:2 cm×2 cm、3 cm×3 cm、4 cm×4 cm、5 cm×5 cm、8 cm×8 cm、10 cm×10 cm、15 cm×15 cm、20 cm×20 cm、24 cm×24 cm方野和5 cm×2 cm、2 cm ×5 cm、10 cm×5 cm、5 cm×10 cm 矩形野,分别进 行治疗前模式(EPID 测量穿过空气的射野)和穿透 模式(EPID 测量穿过模体的射野)的剂量重建,统 计 DC 软件在重建固体水模体中等中心点剂量与电 离室测量结果,比较等中心冠状位平面剂量与 Map-Check 二维半导体探测器阵列相同深度冠状位平面 测量结果,评估三维剂量重建系统绝对剂量偏差精 度,采用 γ 通过率^[17](3%/3 mm)分析平面剂量分 布符合度,确认系统重建精度。

1.2.2 固体水模体 IMRT 野中心点和平面剂量重 建精度测试 随机选取 10 例肺癌脑转移瘤临床病 例作模型精度测试,放疗均为全脑 IMRT 计划,将 IMRT 转换为固体水模体测量例,在 TPS 导入固体 水模体和治疗计划进行剂量计算,在加速器下使用 针点电离室测量固体水模体中的等中心点剂量;采 用二维平面阵列 MapCheck 测量 0 度机架角下相同 深度平面剂量;应用 EPID 在空气中采集各射野出 束影像数据,转换导入 DC 软件,重建固体水模体 IMRT 剂量,进行空气中(治疗前模式)的剂量重建 偏差比对,采用γ分析固体水模体等中心冠状位平 面与 TPS 相应平面剂量分布,类比 MapCheck 与 TPS 的平面剂量 γ 通过率,评估确定 DC 重建软件应用 于治疗前 IMRT 射野平面剂量验证的精度。

1.2.3 IMRT 射野基于 CT 重建三维剂量测试 在 DC 软件中将上述 10 例 IMRT 临床病例基于计划 CT 进行治疗前模式测量重建,计算 DC 软件重建的 等中心剂量与 TPS 比较,统计比较等中心横断面、 冠状面和矢壮面二维 γ 通过率及大体肿瘤靶区 (gross tumor volume,GTV)和 PTV 的三维 γ 通过率。 1.2.4 基于 CT 重建 IMRT 临床应用 回顾分析 2014~2016 年在本院治疗的 80 例鼻咽癌患者资 料,IMRT 计划采用 6MV_X 射线、9 野均分 360°(其 中 11 例为 7 野)、子野数 70~90 个、子野的最小面 积为 5 cm²,经过 EPID 在空气中采集 IMRT 各射野 的影像,在 DC 软件中基于计划 CT 重建治疗前剂量 结果,分别统计 PTV1 和原发肿瘤靶区(gross tumor volume of nasopharynx,GTVnx)的三维 γ 通过率 (3%/3 mm 和 5%/3 mm)和平均剂量。

1.2.5 基于 CT 重建 IMRT 三维剂量中空腔影响分析 从上述鼻咽癌病例中随机抽取 12 例,在 TPS 中 勾画鼻咽部空腔, PTV1 中间的空腔平均体积为 (116.60 ± 40.14) cm³ (67.22 ~ 200.51 cm³),将空 腔密度设置为1 g/cm³,保持各射野参数不变计算剂 量,再将射野影像和计划传输至 DC 软件中,重建治

疗前的剂量分布,比较分析 3%/3 mm γ 通过率变 化、PTV1 和 GTVnx 的平均剂量偏差,评价空腔对剂 量重建计算的影响。

1.2.6 统计学处理 数据以均数 ± 标准差表示。 采用 SPSS 21.0 软件进行分析,比较两组差异采用 配对 t 检验, P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 规则野的中心点和平面剂量测试结果

在固体水模体中测试 20 个规则野空气中出束 的等中心点剂量,DC 软件重建的中心点剂量与电 离室测量的偏差在 -1.35% ~1.96% 之间,平均偏 差为 0.34% ±0.81%,TPS 中计算的等中心剂量和 电离室测量平均偏差为 -0.23% ±0.50%,DC 软件 重建与电离室测量及 TPS 计算偏差 <1%;在加速 器下移入固体水模体采用 EPID 单野穿透测量,穿 透重建剂量与电离室测量平均偏差 3.91% ± 0.74%,最大偏差 5.80%,穿透偏差偏大。对于相 同等中心处的平面剂量分布,在 DC 软件重建空气 中测量规则方野的冠状位平面 γ (3%/3 mm)通过 率为 99.38%,与相同深度半导体阵列测量的平面 结果相同,固体水模体 PTV 三维 γ 通过率为 98.01%。

2.2 IMRT 病例固体水模体中心点和平面剂量测 试结果

DC 软件重建 10 例 IMRT 基于固体水模体治疗 前剂量,计划测量重建示意图见图 1,等中心剂量比 电离室测量平均偏差低 1.09% ±1.27%(-2.70% ~1.04%),DC 软件重建穿透剂量比电离室测量平 均高 1.48% ±1.28%(0.12% ~4.50%),见图 2。 在固体水模体中相同深度平面,MapCheck、DC 软件 治疗前和穿透模式的 3%/3 mm 的 γ 通过率分别是 99.30% ±0.52%、98.89% ±1.31% 和 98.02% ± 2.32%,治疗前模式固体水模体中 PTV 通过率 98.01% ±0.41%高于 GTV 的 91.71% ±11.41%, PTV 治疗前模式通过率高于穿透模式。重建值与电 离室测量值的偏差见表1。

基于 CT 重建 IMRT 病例三维剂量初步测试 结果

10 例 IMRT 测试例基于计划 CT 治疗前模式重 建结果, TPS 计算的等中心剂量比 DC 治疗前测量 重建剂量平均高 1.91% ± 0.99%(0.09% ~ 3.21%),90%的测试例误差 < 3%,1 例等中心剂量 误差为 3.21%;等中心测量重建剂量与固体水模中 的重建剂量的误差相一致。等中心横断面、冠状面 和矢状面 γ 平均通过率(3%/3 mm)分别为91.57% ±3.11%,96.47% ±0.96%,97.45% ±0.86%; GTV 和 PTV 的三维 γ 平均通过率(3%/3 mm)为 90.11% ±13.58%,97.51% ±0.92%,与模体重建 的三维 γ 分布一致。



图 1 固体水模体计算与重建示意图

Figure 1. Calculation and Reconstruction of Solid Water Phantom

A. IMRT dose calculated by TPS and measured by the ionization chamber; B. 3D reconstructed dose distribution by DC in the coronal plane, iso-dose lines reconstructed by DC as indicate by red curves, and TPS dose lines as indicated by green curves; C. An illustration of the measurement.

IMRT: Intensity modulated radiation therapy; TPS: TPS: Treatment planning system; DC: DosimetryCheck.





Figure 2. Comparison between Reconstructed Point Dose Measured by DC and by the Ionization Chamber in the Solid Water Model

DC: DosimetryCheck; DCpre: Reconstructed dose before treatment; DCexit: Reconstructed dose via transit dosimetry; TPS: Treatment planning system; IC: Ionization chamber.

表 1	10 例固体水模体中	IMRT 平均二维)	γ通过率(3%/3mm)	

Table 1. Average 2D γ Pass Rates of IMRT in Solid Water Phantom (10 cases, 3%/3 mm)

Phantom test	γ _{MapCheck} (%)	γ_{DCpre} (%)	γ _{DCexit} (%)
Reconstruction of 0 degree measurement	99.30 ± 0.52	98.89 ±1.31	98.02 ± 2.32
Reconstruction of actual angle measurement		99.42 ± 0.21	98.12 ±1.31
GTV		91.71 ± 11.41	90.42 ± 19.33
PTV		98.01 ± 0.41	95.05 ± 3.53

GTV: Gross tumor volume; PTV: Planning target volume.

2.4 基于 CT 重建 IMRT 三维剂量临床应用结果

基于计划, CT 重建 80 例头颈部鼻咽癌 IMRT 三维剂量(图 3), PTV1 的 γ 通过率(3%/3 mm)平 均为 89.71% ±5.71%,其中有 23 例小于 89.00%; 最小 71.19%; GTVnx 的三维 γ 通过率(3%/3 mm) 平均为 91.57% ±8.74%,21 例小于 89.00%,最小 值仅为 44.00%。而按 5%/3 mm 的校准, PTV1 和 GTVnx 的 γ 通过率平均分别 96.36% ±3.02% 和 99.14% ±2.03%,小于 89.00%分别只有 2 例和 1 例,最小值分别为 85.21%和 88.75%。结果见表 2 和图 4。DC 重建 PTV1 与 GTVnx 的平均剂量与 TPS 的偏差分别为 0.38% ±1.26%和 -0.18% ± 1.77%, PTV1和 GTVnx 重建的平均剂量偏差大于 3%各有 2 例(占 2.50%)和 6 例(占 7.50%),见图 5。危及器官的重建的平均剂量偏差和靶区相同,三 维 γ 通过率相对靶区更高。



图 3 基于 CT 重建三维剂量与 TPS 计算分布

Figure 3. 3D Dose and TPS Dose Distribution Based on CT Reconstruction

A: Transverse plane; B: Coronal plane; C: Sagittal plane.

The figure shows the dose distribution of 3D reconstruction; iso-dose lines as indicated by the red curves; TPS dose lines as indicated by green curves.

TPS: Treatment planning system.

表 2 DC 治疗前重建 80 例 NPC IMRT 验证 γ 通过率(%, x ± s)

Table 2. γ Pass Rates for IMRT Reconstructed by DC before Treatment in 80 NPC Cases (%, $\bar{x} \pm s$)

Variable	GTVnx	PTV	Body
γ 3%/3 mm	91.57 ± 8.74	89.71 ±5.71	95.33 ± 3.31
γ5%/3 mm	99.14 ± 2.03	96.36 ± 3.02	97.87 ±1.16

DC: DosimetryCheck; NPC: Nasopharyngeal carcinoma; GTVnx: Gross tumor volume of nasopharynx; PTV: Planning target volume.

2.5 基于 CT 重建 IMRT 三维剂量中影响结果

12 例患者 PTV1 和 GTVnx 的 γ 平均通过率 (3%/3 mm)分别是 96.80% ±2.15% 和 97.90% ± 3.41%,高于空腔密度未修改的通过率 91.20% ± 3.53% 和 87.70% ±8.07% (图 6)。空腔密度修改 设置前后 PTV1 和 GTVnx 两组通过率配对 t 检验差 异存在统计学意义(t = -7.214, P < 0.001;t = -4.263, P = 0.001)。空腔密度修正前后 DC 重建 PTV1 和 GTVnx 的平均剂量偏差分别是 0.70% ± 1.30% 和0.60% ±2.05%,配对 t 检验差异无统计 学意义(t = -1.910, P = 0.083;t = 1.083, P = 0.302)。



图 4 80 例靶区的通过率分布 Figure 4. γ Pass Rates of Targets



图 5 DC 重建鼻咽癌 PTV1 与 GTVnx 平均剂量偏差 Figure 5. Average Dose Deviation at PTV1 and GTVnx Reconstructed by DC for NPC

Abbreviations as indicated in Table 2.





X-axis indicates cavity densities, Y-axis indicates γ pass rates. Abbreviations as indicated in Table 2.

3 讨 论

三维剂量重建是基于 CT 和 EPID 测量射野的 一种独立射线束测量计算模型^[10-12],经过 EPID 校 准后反投影计算。Zhang 等^[18]基于电离室和 EPID 测量固体水模体中的 IMRT 等中心的剂量偏差 <2%,EPID 剂量测量质控程序能够达到临床 IMRT 质控目标。在固体水模体中重建空气规则野、调强 野的中心点剂量结果与指形电离室的测量结果偏差 较小,重建等中心冠状位平面剂量通过率与二维平 面测量通过率相同;TPS 计算与电离室测量结果偏 差也相同,由此可以看出 DC 软件的空气中三维剂 量重建模型与 TPS 模型偏差小,穿透模体测量射野 重建三维剂量精度低于空气中测量重建。EPID 在 空气中测量重建三维剂量可以作为临床计划验证使 用,这种治疗前三维重建剂量精度与其他三维验证 设备测量结果相同^[19-21],具有较高的精度和可靠 性,同时增加了基于 CT 的三维剂量分布和剂量统 计,具有患者解剖结构的放射治疗执行剂量的信息, 是一种 IMRT 放射治疗剂量验证更值得推荐的工 具。

AAPM TG-119 号报告^[22]基于众多机构 IMRT 质量保证调查,建议二维 v 分析 3%/3 mm 质量保 证标准,即每个野的全局通过率达到90%及合成野 的通过率为88%~90%。本研究在固体水模体重建 的冠状位平面及合成平面剂量的二维γ通过率符 合这个质控标准,并从结果中发现,基于计划 CT 重 建的 PTV 和 GTVnx 的三维 γ 通过率(3%/3 mm)平 均值比固体水模体重建低,采用5%/3 mm分析通 过率与固体水模体 3%/3 mm 接近,特别是小体积 的靶区 GTV 通过率上升最为明显。当空腔密度进 行修正后再计算与重建,重建的剂量基本保持不变, 3%/3 mm 三维γ通过率提升到与固体水模体一致。 在上述鼻咽癌病例中的空腔均位于 GTVnx 边缘附 近,空腔对边缘点重建剂量影响较大从而降低靶区 通过率,当设置修改空腔密度后,重建与重计算的靶 区平均剂量变化相对较小,GTVnx 小靶区随着体积 变小三维γ通过率提高越明显,PTV1 大靶区变化 相对较小,增加靶区剂量比较分析对剂量验证质控 分析有价值。Wu^[15]认为三维 y PTV 分析提供了一 种简单方法去评估患者的 IMRT 质控结果,不建议 排除其他重要结构简单报道三维γ结果,事实上, 许多医生和物理师都认为除了 γ 分析还需要审查 更多的 QA 结果。三维 γ 分析存在局限性, Zhen 等^[23]认为三维γ通过率与患者的剂量体积直方图 (dose-volume histogram, DVH)错误存在弱相关性, 三维 γ 通过率不能够提供治疗失败的剂量水平及 具体的解剖位置信息。有报道使用 DC 软件作为特 定患者的质量保证手段[24-25],介绍了笔型束算法快 速得到的剂量分布和 DVH 结果,为临床患者的 QA 提供了更多三维解剖剂量分布信息。EPID 三维剂 量重建测量提供了治疗前计划执行的常规 QA 结 果,增加靶区剂量。文中发现三维γ通过率对于大 靶区结果稳定,而小体积可能存在一定不稳定因素, 可以采用空腔密度修正消除对重建计算 γ 分析的 影响。在使用三维剂量重建系统时需要根据系统的 特点,修正低密度的影响,提高精度。

目前广泛使用的二维和三维模体剂量验证,基于 EPID 和 CT 三维剂量重建是一种值得推荐的更高级的剂量验证方法,增加了靶区及危及器官的剂量信息,进一步分析危及器官的剂量学信息与临床疗效相关性,更具有临床应用价值。

作者声明:本文全部作者对于研究和撰写的论 文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉 及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可 接受核查。

学术不端:本文在初审、返修及出版前均通过中 国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的 学术不端检测。

同行评议:经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

文章版权:本文出版前已与全体作者签署了论 文授权书等协议。

[参考文献]

- 李涛,郎锦义.放射肿瘤学的进展与未来[J].肿瘤预防与治疗,2019,32(1):1-6.
- [2] 徐向英,曲雅勤.肿瘤放射治疗学[M].北京:人民卫生出版 社, 2017.55-57.
- [3] 徐惠军,段学章.现代肿瘤放射物理与技术[M].北京:原子能 出版社, 2017.563-617.
- [4] Kaviarasu K , Nambi Raj NA, Hamid M, et al. Verification of dosimetric commissioning accuracy of intensity modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy delivery using task Group-119 guidelines [J]. J Med Phys , 2017,42(4):258-365.
- [5] Ibrahim AG, Mohamed IE, Zidan HM, et al. Dosimetric comparison of amorphous silicon EPID and 2D array detector for pre-treatment verification of intensity modulated radiation therapy [J]. Int J Med Phys Clin Eng Radia Oncol, 2018, 7:438-452.
- [6] Hendee WR, Herman MG, Improving patient safety in radiation oncology [J]. Med Phys, 2011, 38(1):78-82.
- [7] Mukhtar Alshanqity, Andrew Nisbe. Dosimetric performance of A-Si electronic portal imaging devices [J]. Int J Med Phys Clin Eng Radia Oncol, 2016, 5(2):162-175.
- [8] Zhu JH, Chen LX, Chen A, et al. Fast 3D dosimetric verifications based on an electronic portal imaging device using a GPU calculation engine [J]. Radia Oncol, 2015, 10:85.
- [9] Seliger T , Czarnecki D , Kussather R , et al. Dosimetric calibration of an electronic portal imaging device (EPID) [J]. Biomedizinische Technik , 2017 , 62 : S370.
- [10] Abdelhady I, Khalil KM. Verification of setup errors in head and neck cancer patients treated by 3D-CRT and IMRT using electronic portal image device (EPID) [J]. Pan Arab J Oncol,2017,10(1):

19-23.

- [11] Baek TS, Chung EJ, Son J, et al. Feasibility study of patient specific quality assurance using transit dosimetry based on measurement with an electronic portal imaging device [J]. Prog Med Phys, 2017. 28(2):54-60.
- [12] 黄妙云,陈明秋,陈远贵,等. 基于 EPID 三维剂量验证系统的 物理模型测试及临床应用的初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂 志,2016,25(12).1335-1340.
- [13] Kumar PS, Banerjee S, Arun Kumar ES, et al. In vivo dose estimations through transit signal measured with thimble chamber positioned along the central axis at electronic portal imaging device level in medical linear accelerator in carcinoma of the middle-third esophagus patients undergoing three-dimensional conformal radiotherapy[J]. J Cancer Res Ther, 2018,14(2):300-307.
- [14] van Zijtveld M, Dirkx M, de Boer H, et al. Dosimetric pre-treatment verification of IMRT using an EPID; clinical experience[J]. Radiother Oncol, 2006,81(2):168-175.
- [15] Wu C, Hosier KE, Beck KE, et al. On using 3D gamma-analysis for IMRT and VMAT pretreatment plan QA [J]. Med Phys, 2012,39(6): 3051-3059.
- [16] 廖雄飞,黎杰,肖明勇,等.笔形束和蒙特卡罗算法在放疗剂量 计算中的比较研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2015,4:364-366.
- $[\,17\,]$ Low DA , Dempsey JF. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method $[\,J\,]$. Med Phys, $2003\,,\!30(9)$: 2455-2464.
- [18] Zhang M, Qin SB, Chen T, et al. A clinical objective IMRT QA method based on portal dosimetry and electronic portal imager device (EPID) measurement [J]. Technol Cancer Res Treat, 2013,12(2):145-150.
- [19] 眭建锋,高留刚,倪昕晔. 调强放射治疗剂量验证工具与方法[J]. 国际生物医学工程杂志,2016,39(1):49-53.
- [20] 张秀春,胡彩容,陈开强,等. COMPASS 验证系统在放射治疗 中的应用研究[J]. 肿瘤预防与治疗, 2012,25(5):273-279.
- [21] 吴凡,康盛伟,王培,等. 123 例胸部肿瘤 IMRT 计划三维剂量 验证结果分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2016,25(5):524-525.
- [22] Ezzell GA, Burmeister JW, Dogan N, et al. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119 [J]. Med Phys, 2009, 36 (11):5359-5373.
- [23] Zhen HM, Nelms BE, Tome WA. Moving from gamma passing rates to patient DVH-based QA metrics in pretreatment dose QA [J]. Med Phys, 2011,38(10):5477-5489.
- [24] Narayanasamy G, Zalman T, Ha CS, et al. Evaluation of dosimetry check software for IMRT patient-specific quality assuran [J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(3):5427.
- [25] Chung E , Kwon D , Park T , et al. Clinical implementation of Dosimetry Check[™] for TomoTherapy[®] delivery quality assurance [J]. J Appl Clin Med Phys , 2018,19(6):193-199.
- [26] 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.