

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.04.019

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250402.1032.003\(2025-04-02\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250402.1032.003(2025-04-02))

射野角度对患者 EPID 在体剂量验证结果影响的研究*

方家¹,朱万里¹,戴春艳²,张毅¹,梅英杰¹,戴嘉倩¹,张红智¹,赵飞²,丁叔波^{1△}

(1.金华市中心医院放疗科,浙江金华 321000;2.上海联影医疗科技股份有限公司,上海 201807)

[摘要] **目的** 探讨射野角度对患者电子射野影像装置(EPID)在体剂量验证结果的影响。**方法** 设计模体试验,分析不同模体厚度、不同机架角度对 2D γ 通过率的影响。选取 2023 年 1—6 月在金华市中心医院放疗科行放疗的患者 23 例为研究对象,治疗中进行在体剂量验证,获取以计划 CT 为参考图像和执行图像引导放疗(IGRT)的当日扇形束 CT(FBCT)为参考图像(FBCT 组)的 2D γ 通过率,分析射野角度对通过率的影响。**结果** 机架角度不变时,射野面积大于 17 cm $\times$ 17 cm,2D γ 通过率随厚度增加而下降;模体厚度不变时,机架角度对 2D γ 通过率无影响。临床治疗中,靠近 0°/180°射野的 2D γ 通过率高于靠近 90°/270°射野($P<0.05$),且 FBCT 组靠近 90°/270°射野通过率的提高高于 IGRT 组($P<0.05$)。23 例患者 3% 3 mm 2D γ 通过率的中位数为 97.97%;非 IGRT 组为 96.81%;IGRT 组为 97.89%;FBCT 组为 98.94%。非 IGRT 组和 IGRT 组的 2D γ 通过率比较,差异有统计学意义($Z=-5.083, P<0.05$),IGRT 组和 FBCT 组的 2D γ 通过率比较,差异有统计学意义($Z=-10.657, P<0.05$)。**结论** 临床上不同机架角度在体剂量验证 2D γ 通过率的差异主要来自分次内和分次间的图像差异,以当日 FBCT 作为在体剂量验证的参考图像可以提高通过率的准确性,排除分次间图像差异的影响。

[关键词] 电子射野影像装置;在体剂量验证;射野角度;计算机断层扫描

[中图法分类号] R811.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)04-0898-05

Study on the influence of field angle on the results of EPID dose verification in vivo*

FANG Jia¹, ZHU Wanli¹, DAI Chunyan², ZHANG Yi¹, MEI Yingjie¹, DAI Jiaqian¹,
ZHANG Hongzhi¹, ZHAO Fei², DING Shubo^{1△}

(1. Department of Radiation Oncology, Jinhua Municipal Central Hospital, Jinhua, Zhejiang 321000, China; 2. Shanghai United Imaging Healthcare Co., Ltd, Shanghai 201807, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effect of field angle on the results of in vivo dose validation of electronic portal imaging device (EPID) in patients. **Methods** Design the mold test and analyze the influence of different mold thicknesses and different frame angles on the 2D γ pass rate. Twenty-three patients who underwent radiotherapy in the Department of Radiotherapy of Jinhua Municipal Central Hospital from January to June 2023 were selected as the research object. In vivo dose verification was carried out during treatment to obtain 2D γ pass rate using same-day sector beam CT (FBCT) of planned CT and executive image guided (IGRT) as reference images, and the influence of field angle on pass rate was analyzed. **Results** When the frame angle was unchanged, the area of the shooting field was larger than 17 cm $\times$ 17 cm, and the 2D γ passing rate decreased with the increase of the thickness. The frame angle had no effect on the 2D γ pass rate when the mold thickness was constant. In clinical treatment data, the passage rate of 2D γ near 0°/180° was higher than that near 90°/270° ($P<0.05$), and the passage rate near 90°/270° in the FBCT group was higher than that in the IGRT group ($P<0.05$). The median passing rate of 3 mm 2D γ was 97.97% in 3% of the 23 patients. The non-IGRT group was 96.81%, the IGRT group was 97.89%, the FBCT group was 98.94%. There was a statistically significant difference in 2D γ passing rate between the non-IGRT group and the IGRT group ($Z=-5.083, P<0.05$), and there was a statistically significant difference in 2D γ passing rate between the IGRT group and the FBCT group ($Z=-10.657, P<0.05$). **Conclusion** Clinically, the difference of pass rate in vi-

in vivo dose verification at different rack angles is mainly due to the difference of images within and between sessions. Using same-day FBCT as the reference image for in-vivo dose verification can improve the accuracy of pass rate and eliminate the influence of image difference between sessions.

[Key words] electronic portal imaging device; in vivo dose verification; pass rate; field angle; computed tomography

在放疗中推荐进行在体剂量测定,以避免重大治疗错误发生,提高治疗的准确性^[1]。基于电子射野影像装置(electronic portal imaging device, EPID)的在体剂量验证通过测量透体剂量并进行二维透射图像对比和三维剂量重建,可以评估患者的真实吸收剂量,发现剂量差异和治疗错误^[2-3]。已有研究^[4-5]表明,基于 EPID 的在体剂量验证能够检测出重大误差(即机器/计划相关误差和患者相关误差),评估计划剂量与实际剂量之间的临床相关偏差。一些研究^[6-7]也证明了该系统对检测患者解剖结构、患者摆位和光束传输变化具有一定的敏感性和有效性。本课题组前期研究^[8]认为临床上影响患者在体剂量验证结果的主要因素为射野角度、摆位误差及分次间影像差异。基于此,本研究设计不同厚度模体及等厚度均匀水模体实验并结合临床数据,进一步探讨射野角度对在体剂量验证结果的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用单纯随机抽样法选取 2023 年 1—6 月在金华市中心医院放疗科行放疗的肺癌和食管癌患者为研究对象。纳入标准:符合肺癌、食管癌放疗适应证。排除标准:射野大小超过在体剂量验证允许范围($>27\text{ cm}\times27\text{ cm}$)。最终纳入患者 23 例,其中肺癌 15 例,病理分期 T2~T4、N1~N3、M0~M1,中位年龄 72 岁;食管癌 8 例,病理分期 T2~T4、N1~N3、M0,中位年龄 68 岁。本研究经金华市中心医院伦理委员会批准[审批号:(研)2022-伦理审查-83]。

1.2 方法

1.2.1 定位及影像传输

采用一体化固定板(瑞典 Macromedics 公司)联合热塑膜(广州科莱瑞迪公司)固定患者。用 Discovery 大孔径 CT(美国 GE 公司)扫描并将影像传输至 uRT-TPOIS(ROO1)计划系统(上海联影公司)进行放疗计划和 EPID 在体剂量验证(In vivo EPID)计划的制订。

1.2.2 直线加速器

uRT-Linac 506c 直线加速器(上海联影公司)集成 6 MV 直线加速器和诊断级扇形束 CT(fan beam CT, FBCT)放射治疗设备。加速器机头配备 60 对多叶准直器,中心由 40 对 0.5 cm 厚的叶片组成,最大射野可达 $40\text{ cm}\times40\text{ cm}$ 。其机载 EPID 采用非晶硅

材料,有效面积为 $40.96\text{ cm}\times40.96\text{ cm}$,配有 In vivo EPID 2D 功能。

1.2.3 In vivo EPID 2D 功能

采用蒙特卡罗算法结合患者 CT 计算粒子在平板上沉积的伪剂量图像。通过粒子的能量点扩散函数模拟粒子在探测器上散射和能量沉积过程,得到 In vivo EPID 2D 预期图像^[9-10]。实际治疗中,射线透过患者,在 EPID 上进行能量沉积,再经平板增益校正、几何校正、坏点校正后,得到测量图像的灰度图像。将预期图像和测量图像对比,通过 2D γ 通过率判断测量图像和预期的符合程度^[11-12]。

1.2.4 模体试验

根据患者临床应用的结果设计厚度及角度。厚度影响试验模体由 RW3 等效固体水模体(德国 IBA 公司)组成(体积 $30\text{ cm}\times30\text{ cm}\times1\text{ cm}$, 30 块),角度影响试验模体采用自购桶装水(实际采用范围长度 12.5 cm,直径 24.5 cm)。所有模体图像计算前需进行电子密度重置。

1.2.4.1 厚度影响试验

设计 0° 射野的方野($5\text{ cm}\times5\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm}\times10\text{ cm}$ 、 $15\text{ cm}\times15\text{ cm}$ 、 $16\text{ cm}\times16\text{ cm}$ 、 $17\text{ cm}\times17\text{ cm}$ 、 $18\text{ cm}\times18\text{ cm}$ 、 $19\text{ cm}\times19\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm}\times20\text{ cm}$)适形放疗(conformal radiotherapy planning, CRT)计划,根据临床患者一般体厚范围,分别采用 15、20、25、30 cm 均匀固体水模体测量方野的 In vivo 2D γ 通过率(重复测量 5 次,取平均值),并进行比较分析。

1.2.4.2 角度影响试验

以 0° 起始,每 30° 为一射野,共 12 射野的 $10\text{ cm}\times10\text{ cm}$ 方野计划,测量桶装水模体的 2D γ 通过率(重复测量 5 次,取平均值),并进行比较分析。

1.2.5 临床治疗

1.2.5.1 放疗计划及 In vivo EPID 计划

放疗计划设计 7 射野,采用蒙特卡罗算法。经物理师及医生确认后创建 In vivo EPID 计划即参考计划,治疗前进行计划验证,结果符合要求后进行治疗。治疗期间患者在首次治疗及之后每周一次行图像引导放疗(image guided radiotherapy, IGRT),该 IGRT 图像为 FBCT 图像。治疗过程中,展开的 EPID 板接收穿透患者的射线。在每个治疗射野结束后,利用 In vivo 系统将放疗计划系统(treatment planning system, TPS)计算的预期图像(参考图像)和 EPID 收集

到的实测图像进行对比,得到当前射野的 2D γ 通过率。将接受过 IGRT 的结果归为 IGRT 组,未接受过 IGRT 的结果归为非 IGRT 组。所有患者治疗中行 In vivo EPID 557 次,IGRT 105 次,其中肺癌患者 In vivo EPID 351 次,IGRT 65 次;食管癌患者 In vivo EPID 206 次,IGRT 40 次。

1.2.5.2 FBCT 图像计划

将治疗计划参数(射野角度、子野、机器跳数)保持不变并传递至当日 FBCT 图像上进行计算,得到基于当日 FBCT 图像的 FBCT 计划。同上,利用 In vivo 系统将 TPS 计算的 FBCT 计划的预期图像(参考图像),与当日 EPID 收集到的实测图像进行对比,进行 2D γ 通过率的比较计算,并记为 FBCT 组。将 IGRT 组、非 IGRT 组、FBCT 组临床数据的 2D γ 通过率按射野角度每 5°归为一组,分析射野角度与 γ 通过率的关系。模体数据 2D γ 通过率结果采用全局 γ 分析 2% 2 mm、10%低剂量阈值,患者临床数据 2D γ 通过

率结果采用全局 γ 分析 3% 3 mm、10%低剂量阈值,进行比较和统计分析^[13]。

1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用方差分析,两组间比较采用独立样本 t 检验;不符合正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,比较采用 Wilcoxon 秩和检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 模体试验结果

2.1.1 厚度对 2D γ 通过率的影响

机架角度 0°、射野面积 $< 16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ 时,厚度变化对 2D γ 通过率无影响($F = 8.588$);射野面积 $> 16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ 、厚度 $> 30\text{ cm}$ 时,2D γ 通过率明显下降;射野面积 $> 17\text{ cm} \times 17\text{ cm}$,2D γ 通过率随厚度增加而下降;射野面积 $> 17\text{ cm} \times 17\text{ cm}$,相同厚度下,2D γ 通过率随射野面积增大而下降,见表 1。

表 1 不同模体厚度和射野面积的 2% 2 mm 2D γ 通过率($\bar{x} \pm s, \%$)

厚度	5 cm×5 cm	10 cm×10 cm	15 cm×15 cm	16 cm×16 cm	17 cm×17 cm	18 cm×18 cm	19 cm×19 cm	20 cm×20 cm
15 cm	99.48±0.08	99.58±0.06	99.34±0.08	97.16±0.05	95.38±0.05	95.19±0.12	94.90±0.18	77.18±0.06
20 cm	97.03±0.04	98.03±0.06	99.09±0.04	96.39±0.04	93.65±0.04	90.44±0.13	82.79±0.05	78.89±0.03
25 cm	98.53±0.02	97.50±0.02	98.73±0.03	96.53±0.03	93.65±0.03	90.49±0.05	82.11±0.09	72.00±0.18
30 cm	99.70±0.02	99.10±0.02	97.20±0.04	89.78±0.02	87.75±0.04	83.57±0.02	78.70±0.11	61.73±0.13

2.1.2 机架角度对 2D γ 通过率的影响

在机架角度 0°、30°、60°、90°、120°、150°、180°、210°、240°、270°、300°、330°时,桶装水模体(直径 24.5 cm)2% 2 mm 2D γ 通过率分别为 99.23%、99.46%、99.08%、99.74%、99.34%、99.87%、99.53%、99.84%、99.32%、99.17%、98.97%、99.52%,差异无统计学意义($F = 74.182, P > 0.05$)。

2.2 临床结果

将 7 射野计划中 330°~30°、150°~210°的射野归为 I 组,30°~150°、210°~330°的射野归为 II 组,I 组和 II 组比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。射野角度和 2D γ 通过率均为靠近 0°/180°高,靠近 90°/270°低,见表 2。

表 2 不同照射分次下射野组的 3% 3 mm 2D γ 通过率[$M(Q_1, Q_3), \%$]

项目	组别		Z	P
	I	II		
所有分次	97.67(93.86,99.24)	94.42(87.38,97.47)	-16.901	<0.05
非 IGRT 组	97.49(93.62,99.20)	94.11(86.95,97.26)	-15.598	<0.05
IGRT 组	98.28(94.64,99.43)	95.66(89.37,98.58)	-6.498	<0.05
FBCT 组	99.18(97.82,99.74)	97.64(94.87,99.09)	-7.692	<0.05

23 例患者在体剂量验证的 3% 3 mm 2D γ 通过率为 97.97%;非 IGRT 组、IGRT 组、FBCT 组的 3% 3 mm 2D γ 通过率分别为 96.81%、97.89%、98.94%,非 IGRT 组和 IGRT 组比较差异有统计学意义($Z = -5.083, P < 0.05$);IGRT 组和 FBCT 组比较差异有统计学意义($Z = -10.657, P < 0.05$)。

3 讨论

EPID 受射野角度变化的影响可能源于受到机架旋转过程中重力因素的影响。例如重力对 EPID 的位置影响(包括 SDD 和中心位置的改变)^[14]、重力对准直器叶片的影响^[15]、重力对电离室和均整器位置的影响,都可能使 EPID 接收的剂量发生改变。另外,由于

EPID 响应存在能量依赖性,随着射线能量提高响应逐渐弱化,物体厚度增加时,射束硬化作用明显,高能射线比例提高,EPID 灰度值减小^[16]。临床应用中,由于不同射野方向上射线穿透的人体厚度不同,考虑人体前后方向厚度较左右方向薄,2D γ 通过率可能呈现随角度变化趋势。

本研究通过设计均匀水模体厚度影响试验及角度影响试验来分析射野角度变化对 2D γ 通过率的影响。厚度影响试验中,通过将射野角度归 0°减少重力对机架和 EPID 的影响,同时排除基于 EPID 的在体剂量验证对机架角度的影响,结果表明模体厚度变化对 2D γ 通过率无影响。对于等效方野面积超过 17 cm×17 cm,射野面积增加,2D γ 通过率下降,可能因为 EPID 对低能光子线存在过响应,当射野继续增大,由于散射线的影响,EPID 的响应增大,实测结果高于预测结果,2D γ 通过率出现下降趋势^[17]。另外,对其他通过率低的大方野和深厚度的分析结果显示,探测器测量计算范围内,射野外的不通过区域增加,野内区域一致性好,一方面与 2D γ 通过率计算时采用 10%低剂量阈值的方法有关,另一方面可能包含建模计算精度的影响,需进一步证实。在角度影响试验中,设计等厚度水模体,以探讨机架角度对于基于 EPID 的在体剂量验证的影响。结果表明,对于均匀模体,2D γ 通过率不随射野角度的改变而变化。因此,机架旋转中的重力对 γ 通过率无影响。

吴志强等^[18]研究表明,EPID 在体剂量验证可检测出非平行射野角度方向的摆位误差,对平行射野角度方向的摆位误差不敏感。这与本研究中所有临床数据的 2D γ 通过率随角度变化呈现的结果一致。为进一步探讨呈现这种变化的原因,本研究首先通过 IGRT 纠正摆位以排除摆位误差对通过率的影响,筛选出接受过 IGRT 分次的结果进行分析,发现 IGRT 分次下各射野的 2D γ 通过率有所提高,但存在靠近 0°/180°射野的 2D γ 通过率高于靠近 90°/270°射野的情况。同时考虑到 CT 图像与 FBCT 图像间存在分次间图像差异,为排除其影响,本研究对 FBCT 图像进行重建计算,发现各射野重建后的 2D γ 通过率提高,但不同角度的通过率提高情况不一,其中近 90°/270°射野的通过率提高比近 0°/180°明显,但近 0°/180°射野的通过率高于近 90°/270°射野。这与均匀模体角度试验的结果相反,其可能原因为以器官运动为主的分次内图像差异,如胸部肿瘤的生理运动包括呼吸运动、膈肌运动、心脏搏动、大血管搏动等因素会造成肿瘤位移,影响靶区精度,使计划靶区和实际靶区剂量产生较大的误差^[19]。此外,呼吸运动幅度及部分幅度下呼吸运动周期对剂量分布也有影响,表现为呼吸幅度增大,2D γ 通过率降低^[20],但具体关系仍需

进一步研究证实。因纳入本研究的患者身体厚度最大径<30 cm,结合模体试验的结果,本研究认为临床应用中分次内图像差异是引起近 0°/180°射野的 2D γ 通过率高于近 90°/270°射野的主要原因,而非人体厚度、射野角度、射野面积等改变。

患者临床应用结果中,23 例患者经 IGRT 后的 2D γ 通过率高于非 IGRT 分次下的结果,说明图像引导纠正摆位误差可以提高在体剂量验证的 2D γ 通过率。相关研究表明,基于每日 FBCT 图像的在体剂量验证 2D γ 通过率比基于 CT 图像的通过率高,且灵敏度和特异度更高^[21]。IGRT 已经修正了摆位误差造成的图像差异,但两者结果仍存在差异,主要原因是肿瘤体积变化、正常组织体积改变、患者体型变化等引起的当前分次治疗图像与定位图像间的不同,导致计算结果不同^[22-23]。可见基于 CT 图像进行在体剂量验证存在分次间图像差异,而基于每日 FBCT 图像可以排除因分次间影像差异而导致的 2D γ 通过率下降,便于临床对放疗的实施过程及结果作出正确评估。

本研究存在一定的局限性:(1)角度试验中,自购模体存在厚度条件无法改变的情况,因此需在今后的研究中寻找可变厚度的模体进行试验以完善结果。(2)由于人体结构为非均匀组织,尤其是胸部组织间密度差异大,实际治疗中不同射野入射方向上人体组织的等效厚度不同。另外,TPS 对均匀模体和非均匀模体计算的准确性存在差异,尤其是不同算法在非均匀介质中的计算差异,可能导致均匀模体的验证结果优于非均匀模体^[24]。(3)仅对均匀模体测量不同厚度下在体剂量验证结果,未对非均匀模体或胸部仿生模体进行测量,需要在今后的研究中进行补充试验。(4)临床数据样本量偏少,需要在今后的研究中扩大样本量。

综上所述,临床上导致射野角度与 2D γ 通过率呈现近 0°/180°高,近 90°/270°低的主要原因是分次内的图像差异(肿瘤及器官运动)及分次间的图像差异(非平行射野方向的摆位误差、肿瘤和正常组织的形体变化)。以当日 FBCT 作为 EPID 在体剂量验证的参考图像可以提高通过率的准确性,排除分次间图像差异的影响,使患者获益,有必要在临床进行推广。

参考文献

- [1] 李丽琴,李光俊,沈九零,等. 基于 EPID 的在体剂量验证研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017,26(7):833-837.
- [2] WENDLING M, LOUWE R J W, MCDERMOTT L N, et al. Accurate two-dimensional IMRT

verification using a back-projection EPID dosimetry method. [J]. Med Phys, 2006, 33(2): 259-273.

[3] WENDLING M, MCDERMOTT L N, MANS A, et al. A simple backprojection algorithm for 3D in vivo EPID dosimetry of IMRT treatments. [J]. Med Phys, 2009, 36(7): 3310-3321.

[4] NAILON W H, WELSH D, MCDONALD K, et al. EPID-based in vivo dosimetry using Dosimetry Check™: overview and clinical experience in a 5-yr study including breast, lung, prostate, and head and neck cancer patients[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 20(1): 6-16.

[5] 谭霞, 罗焕丽, 王颖, 等. 宫颈癌调强放疗在体剂量监测初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(9): 784-789.

[6] 谢家存, 李良, 梁恒坡, 等. 联影直线加速器放疗在体剂量验证的应用研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(5): 357-361.

[7] 石锦平, 李盈辉, 滕建建, 等. EDose 在线剂量验证系统对鼻咽癌 VMAT 计划剂量验证可行性研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2020, 27(21): 1749-1757.

[8] 方家, 朱万里, 戴春艳, 等. 基于 EPID 在体剂量验证在肺癌和食管癌动态调强放疗中的应用研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(9): 705-711.

[9] 上海联影医疗科技股份有限公司. 一种建模方法、验证方法、装置、设备及存储介质: CN202010316472. 3[P]. 2020-08-07.

[10] GREER P B, VIAL P, OLIVER L, et al. Experimental investigation of the response of an amorphous silicon EPID to intensity modulated radiotherapy beams [J]. Med Phys, 2007, 34(11): 4389-4398.

[11] SIEBERS J V, KIM J O, KO L, et al. Monte Carlo computation of dosimetric amorphous silicon electronic portal images[J]. Med Phys, 2004, 31(7): 2135-2146.

[12] 上海联影医疗科技股份有限公司. 一种通量图重建方法和系统: CN201911314184. 8[P]. 2020-04-10.

[13] DOGAN N, MIJNHEER B J, PADGETT K, et al. AAPM Task Group Report 307: use of EPIDs for patient-specific IMRT and VMAT QA[J]. Med Phys, 2023, 50(8): e865-903.

[14] WOODRUFF H C, FUANGROD T, ROWSHANFARZAD P, et al. Gantry-angle resolved VMAT pretreatment verification using EPID image prediction[J]. Med Phys, 2013, 40(8): 81715.

[15] 阮长利, 徐利明, 宋启斌, 等. 加速器多叶准直器叶片重力对放疗剂量的影响[J]. 肿瘤学杂志, 2010, 16(12): 941-945.

[16] 任强, 王玉, 曹瑞芬, 等. 基于非晶硅电子射野影像装置的精确剂量刻度方法[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(1): 38-42, 47.

[17] GUSTAFSSON H, VIAL P, KUNCI C Z. EPID dosimetry: effect of different layers of materials on absorbed dose response[J]. Med Phys, 2009, 36(12): 5665-5674.

[18] 吴志强, 陈元华, 王佳舟, 等. 基于患者出射 EPID 剂量验证的在体调强放疗质控技术研究[J]. 中国癌症杂志, 2020, 30(9): 689-693.

[19] 于甬华, 罗立民, 于金明, 等. 呼吸运动对胸腹部肿瘤精确放射治疗的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2001, 10(4): 283-285.

[20] 吴先想, 牛振洋, 费振乐, 等. 呼吸运动状态对动态调强放疗剂量分布影响的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(3): 197-201.

[21] FENG B, YU L, MO E W, et al. Evaluation of daily CT for EPID-Based transit in vivo dosimetry[J]. Front Oncol, 2021, 11: 782263.

[22] 俞伟, 马林, 徐寿平, 等. 前列腺癌 TomoTherapy 治疗过程中分次间及分次内误差研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2011, 18(10): 808-810.

[23] BRITTON K R, STARKSCHALL G, LIU H, et al. Consequences of anatomic changes and respiratory motion on radiation dose distributions in conformal radiotherapy for locally advanced non-small-cell lung cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(1): 94-102.

[24] 毛荣虎, 郭伟, 李兵, 等. 基于 EPID 在体三维剂量验证系统的物理模型测试及初步临床探索[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2021, 30(10): 1065-1070.