

## SunCHECK 软件在调强放疗计划剂量验证中的应用

齐洪志, 杨玉刚, 郝洁, 许林, 尚革

新疆医科大学第一附属医院肿瘤中心, 新疆 乌鲁木齐 830054

**【摘要】目的:**探讨 SunCHECK 软件在调强放疗计划剂量验证中的应用。**方法:**选取新疆医科大学第一附属医院已执行 IMRT 计划的 40 例患者, 应用 SunCHECK 软件, 对所接受数据进行单独计算, 然后对原始放疗计划和 QA 计划进行 Gamma 分析。最后对 QA 计划与 ArcCHECK 测量结果进行 Gamma 通过率比较。**结果:**在 SunCHECK 软件单独计算结果中, Monaco 计划平均 Gamma 通过率略高于 Eclipse 计划。相同计划系统原始计划与 QA 计划 Gamma 通过率没有差异。使用 SunCHECK 软件计算 QA 计划(包括 Monaco 计划和 Eclipse 计划)Gamma 通过率略高于 ArcCHECK 测量结果的 Gamma 通过率。**结论:**SunCHECK 软件符合 IMRT 计划剂量验证需要, 给放疗质控工作带来了很大的便利性。无论是作为单独放疗计划验算工具, 还是以 log 日志文件反推进行计划验证, 都应该把 SunCHECK 作为质量保证程序的一部分。

**【关键词】**SunCHECK; 剂量验证; 调强放疗; 质量保证

**【中图分类号】**R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)03-0289-06

## Application of SunCHECK software in dose verification of intensity-modulated radiotherapy plan

QI Hongzhi, YANG Yugang, HAO Jie, XU Lin, SHANG Ge

Cancer Center, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China

**Abstract: Objective** To explore the application of SunCHECK software in the dose verification of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plan. **Methods** Forty patients who had completed IMRT in the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University were enrolled. The received data were calculated separately by SunCHECK software, and the original radiotherapy plan were compared with QA plan for Gamma analysis. Finally, a comparison of Gamma passing rate between QA plan and ArcCHECK measurement results was carried out. **Results** The separate calculation results obtained by SunCHECK software showed that the Gamma passing rate of Monaco plan was slightly higher than that of Eclipse plan. For the same planning system, there was no difference in the Gamma passing rate between the original plan and QA plan. The Gamma passing rates of QA plans (Monaco plan and Eclipse plan) calculated by SunCHECK software were slightly higher than those of measurement results obtained by ArcCHECK. **Conclusion** SunCHECK software meets the needs of clinical dose verification of IMRT plan and brings great convenience to radiotherapy quality control. Whether it is used as a separate radiotherapy plan checking tool or plan verification based on log file, SunCHECK should be used as a part of quality assurance program.

**Keywords:** SunCHECK; dose verification; intensity-modulated radiotherapy; quality assurance

### 前言

在现代放疗模式中, 患者质量保证(Quality Assurance, QA)过程的重要性毋庸置疑, 尤其是在调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)和容积

旋转调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)中, 辐射光束是通过多叶准直器(Multi-leaf Collimator, MLC)而形成的一类复杂投照技术<sup>[1]</sup>。目前通用的剂量验证方法是采用电离室、感光胶片或电离室和半导体探测器阵列与等效水模体来创建计算测量模型<sup>[2-6]</sup>, 并使用 Gamma 分析方法比较测量剂量与计算剂量的结果<sup>[7]</sup>。虽然这种基于模型的放疗计划验证方法具有测量模体内实际剂量的优点, 但这种方法也存在一定的局限性。首先, 基于模型 QA 的一个主要缺点是验证计划是在均匀模体上生成的, 这不能反映患者照射部位内的组织不均匀性。其次, 当患者放疗计划

**【收稿日期】**2021-09-11

**【基金项目】**国家自然科学基金(81860360)

**【作者简介】**齐洪志, 副主任技师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: qhz\_930@163.com

**【通信作者】**尚革, 副主任技师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: 290576002@qq.com

的 QA 结果不满足 Gamma 通过率的标准时,无法确定导致验证失败的具体原因<sup>[8]</sup>。此外,在使用传统的基于模型的放疗计划验证方法时,无法评估剂量体积的变化,即剂量体积直方图(Dose-Volume Histogram, DVH)的变化<sup>[9-10]</sup>。

SunCHECK 软件使用直线加速器后台产生的日志文件或电子射野影像设备(Electron Portal Imaging Device, EPID)获得 MLC 叶片的具体位置,或者使用 EPID 获取每个照射野的照射通量,然后使用这些数据来计算患者 CT 图像上的剂量分布。这种 QA 方法的主要优点是能够计算患者照射部位几何结构上产生的剂量分布,并通过 Gamma 分析方法来计算 Gamma 通过率,获得更具临床相关性的 DVH 变化<sup>[11-12]</sup>。此外,通过对比原始放疗计划,还可以检测 MLC 位置错误,从而提供有关 QA 失败的可能原因的有用信息<sup>[13-14]</sup>。因此,本研究主要探讨 SunCHECK 软件在 IMRT 计划验证中的应用。

# 1 资料与方法

## 1.1 患者资料

选取新疆医科大学第一附属医院 2021 年治疗的 40 例不同部位肿瘤患者,其中 Varian Eclipse 和 Elekta Monaco 各 20 例。此 40 例放疗计划在患者治疗前均已使用 ArcChenck 三维剂量验证仪进行验证, Gamma 通过率达到国家癌症中心发布的调强放疗剂量验证实践指南要求<sup>[15]</sup>。

## 1.2 设备

采用 Varian CX 医用电子直线加速器、Eclipse 8.9

版本放疗物理工作站、Elekta Synergy 医用电子直线加速器、Monaco 3.3 版本放疗物理工作站。测量软件使用美国 Sun nuclear 公司 SunCHECK 软件、ArcChenck 三维剂量验证仪。

## 1.3 计划传输

采用 DICOM 传输格式,分别将 Eclipse 工作站和 Monaco 工作站上所选取的患者原始放疗计划和在 ArcCHECK 模体上生成的 QA 计划分别传输至 SunCHECK 软件,传输文件包括该计划中所涉及的所有 CT Images、RT Structure set、RT Plan 和 RT Dose。将所生成的 QA 计划中 RT Dose 和 RT Plan 文件传输至 ArcCHECK 软件系统。

## 1.4 计划比较

通过在 SunCHECK 软件中比较 Gamma 通过率、DVH、三维剂量分布差异等内容,以及使用 ArcCHECK 实际测量和追踪其在放疗执行过程中的结果来探讨软件的应用。

**1.4.1 Gamma 通过率和 DVH 比较** 应用 SunCHECK 软件,对所接受数据进行单独计算,首先将计算结果与 40 例患者的原始放疗计划进行 Gamma 分析比较, Gamma 分析方法误差设定条件均为 3%/3 mm, TH (%)为 10 的标准。Eclipse 和 Monaco 的计算网格都设置为 2.5 mm, SunCHECK 的最小计算网格设置为 2.5 mm,以保证所有计算软件的精度相同。通过比较分析得到原始放疗计划的 Gamma 通过率和独立计算结果与原始放疗计划的 DVH 差异(图 1)。虚线为软件计算结果,实线为原始计划结果。

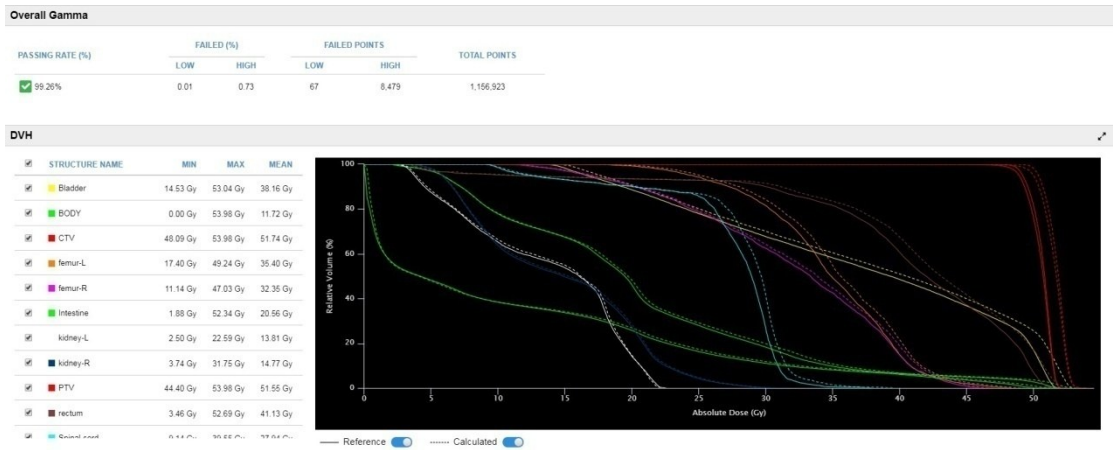


图 1 Gamma 通过率和 DVH  
Figure 1 Gamma passing rate and dose-volume histogram

**1.4.2 三维剂量比较** 通过 SunCHECK 软件的计算,还能得到剂量在 CT 影像上的三维分布,可以对软件计算的靶区和危及器官的 Gamma 通过率以及相应剂

量参数进行比较。图 2 显示了计算结果与原始放疗计划在 CT 影像上的三维剂量分布差异。红色点为热点区域,蓝色点为冷点区域。

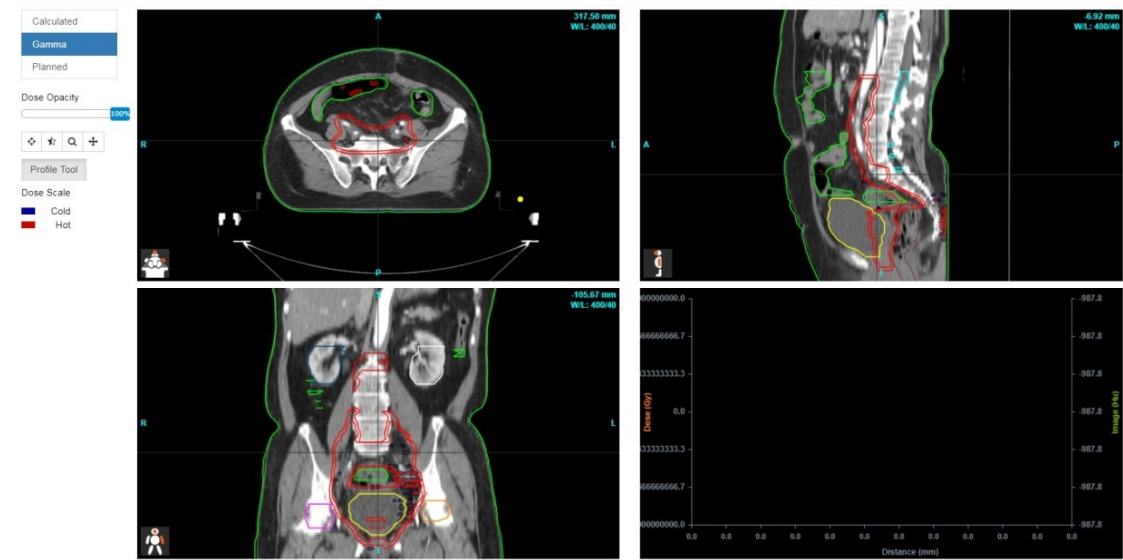


图2 软件计算结果与原计划的差异

Figure 2 Differences between the software calculation results and the original plan

1.4.3 QA 计划在软件中的比较 将原始放疗计划移植到 ArcCHECK 模体上生成 QA 计划,并将 QA 计划按 1.3 的要求传输至 SunCHECK 软件,进行独立计

算,剂量分布差异见图3,分别显示了软件计算 QA 计划和原始 QA 计划在横断面、矢状面和冠状面的剂量分布。

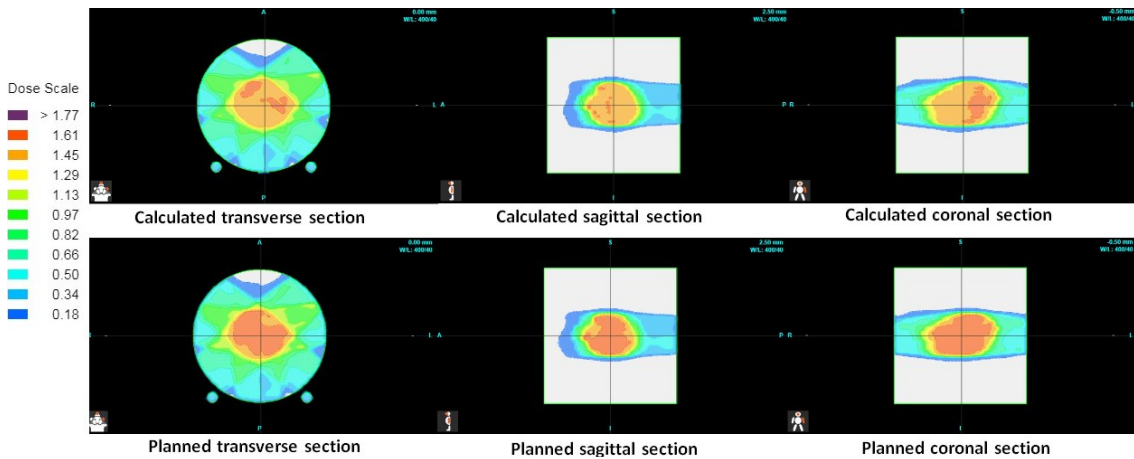


图3 软件计算结果与 QA 计划比较的差异

Figure 3 Difference between the software calculation results and the QA plan

1.4.4 使用 ArcCHECK 软件对 QA 计划进行验证 将 ArcCHECK 测量仪按质控要求摆放至直线加速器床面,接受相应放疗计划的投照,应用其软件系统将实测结果与 QA 计划进行 Gamma 分析比较, Gamma 分析方法误差设定条件均为 3%/3 mm, TH(%) 为 10%, 结果见图4。

1.4.5 治疗过程中分次间计划执行结果比较 通过 log 文件反推计算,追踪其中一例放疗计划实施的情况,共执行 25 次,将每次放疗执行结果的 log 文件中机架、机头和 MLC 叶片位置等数据反推计算结果 Gamma 通过率与第一次放疗计划验算结果 Gamma 通过率(99.26%)进行分析比较(图5)。

1.5 统计学方法

使用 SPSS 17.0 软件将上述不同放疗计划的 Gamma 通过率进行配对样本 *t* 检验, *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 40 例患者不同计划间的 Gamma 通过率比较结果

两种计划系统之间原始计划和 QA 计划的 Gamma 通过率比较以及同一种计划系统原始计划和 QA 计划的 Gamma 通过率比较结果见表1。由表1可见, Monaco 计划的 Gamma 通过率略高于 Eclipse 计划; Monaco QA 计划的 Gamma 通过率略高于 Eclipse QA 计划。



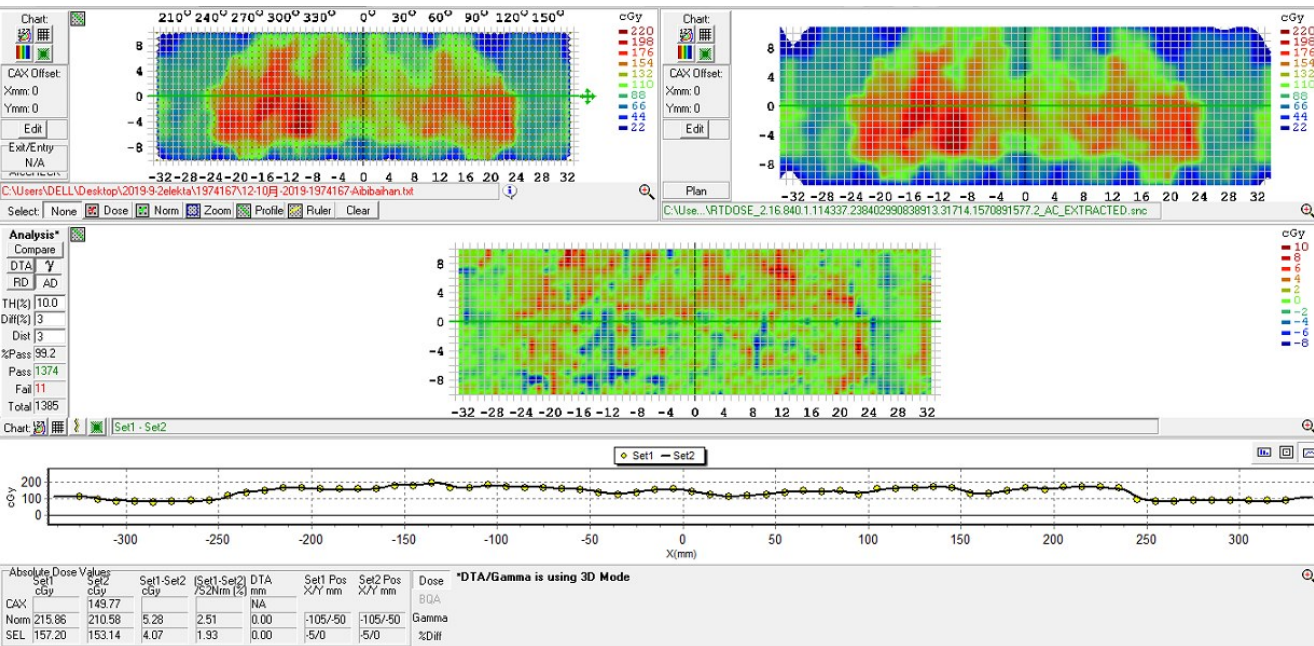


图 4 使用 ArcCHECK 软件对 QA 计划进行验证  
Figure 4 QA plan verification by ArcCHECK software

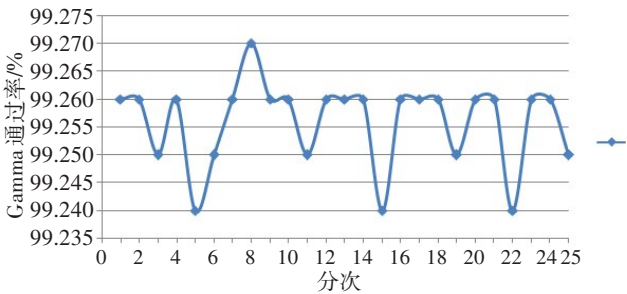


图 5 治疗过程中分次间计划 Gamma 通过率  
Figure 5 Gamma passing rates at different fractions of treatment

2.2 40 例患者放疗 QA 计划与 ArcCHECK 测量 Gamma 通过率比较结果

相同计划系统 QA 计划与 ArcCHECK 测量结果 Gamma 通过率比较结果显示,使用 SunCHECK 软件独立计算 QA 计划的 Gamma 通过率均高于 ArcCHECK 测量结果(表 2)。

3 讨论

自从 IMRT 技术应用以来,关于放疗质控的探索

表 1 不同计划之间的 Gamma 通过率比较  
Table 1 Comparison of gamma passing rate between different plans

计划比较	均值	标准差	均值的标准误	差分的 95% 置信区间		P 值
				下限	上限	
Monaco vs Eclipse	1.363 00	1.055 61	0.236 04	0.868 96	1.857 04	0.000
Monaco QA vs Eclipse QA	1.065 50	0.650 28	0.145 41	0.761 16	1.369 84	0.000
Monaco vs Monaco QA	-0.013 00	0.053 02	0.011 86	-0.037 82	0.011 82	0.287
Eclipse vs Eclipse QA	-0.310 50	0.839 23	0.187 66	-0.703 27	0.082 27	0.114

Monaco QA 为在 Monaco 系统上以 ArcCHECK 模体生成的 QA 计划,Eclipse QA 为 Eclipse 系统上生成的 QA 计划

表 2 QA 计划与相应测量结果的 Gamma 通过率比较  
Table 2 Comparison of gamma passing rate between QA plan and the corresponding measurement results

计划与实际测量结果比较	均值	标准差	均值的标准误	差分的 95% 置信区间		P 值
				下限	上限	
Monaco QA vs ArcCheck1	1.790 50	0.601 60	0.134 52	1.508 94	2.072 06	0.000
Eclipse QA vs ArcCheck2	0.668 50	0.687 14	0.153 65	0.346 91	0.990 09	0.000

ArcCheck1 为 Monaco QA 计划的实际测量结果,ArcCheck2 为 Eclipse QA 计划的实际测量结果

就从未停止。传统的调强放疗计划验证从最初一维的等中心点剂量验证到二维胶片验证和二维探测器阵列验证,一直发展到三维剂量验证。随着技术的发展,放疗质控的手段也在不断提升<sup>[16]</sup>。

本研究使用放疗计划系统以外的软件对放疗计划进行独立验算,通过对40例不同部位肿瘤患者放疗计划的比较,我们发现不同放疗计划系统之间的Gamma通过率是有差异的。这与计划系统的算法、加速器数据采集情况以及治疗计划系统数据拟合是有密切关系的。在本研究中,通过SunCHECK软件计算得出Monaco计划系统原始计划与QA计划的Gamma通过率都略高于Eclipse放疗计划系统,这是因为本研究中SunCHECK软件的模型建立与Monaco计划系统的算法较为接近,这也导致了在验算结果方面,Monaco计划的结果略高于Eclipse。所以,在独立验算软件的建模时需要反复的测试和调整以达到临床应用水平,需要平衡不同计划系统中各种算法的侧重点。本研究中SunCHECK软件的最小剂量网格设置为2.5 mm,当计划系统设置的计算网格大于2.5 mm时,SunCHECK软件的计算网格将默认保持与计划系统的计算网格一致,当计划系统设置的计算网格小于2.5 mm时,SunCHECK软件的计算网格为最小剂量网格设定值,即为2.5 mm。另外,不同计划系统QA计划与相应测量结果的Gamma通过率比较显示SunCHECK软件计算Gamma通过率略高于ArcCHECK测量结果,分析其原因可能是测量过程中,测量模体摆位精度、加速器投照过程中MLC叶片到位精度、机架角到位精度以及加速器束流系统的剂量参数的精度都会降低最终的测量结果。

与以往传统放疗计划验证相比,使用SunCHECK软件可以提升工作效率。整个验证过程可以完全自动化,在几分钟内就可以对患者CT影像的解剖结构进行详细的剂量分析,减少了进行调强放疗QA所需的工作量<sup>[17]</sup>。SunCHECK软件还能使用加速器在治疗过程中产生的log日志文件反推进行剂量计算,得到三维剂量分布,并将结果与原始放疗计划进行剂量分析比较,这不仅验证了来自计划系统信息传递的准确性,而且还能够全面和定量地评估放疗执行情况对患者三维剂量的影响<sup>[18-19]</sup>。每次执行放疗计划时都会生成log日志文件,这意味着除了首次预处理测量之外,该方法还可以在患者整个放疗过程中使用,这扩展了目前调强放疗QA的范围。在本研究中,对治疗过程中分次间计划执行的结果进行比较,发现分次间放疗计划执行结果的Gamma通过率基本围绕初次计划验证的Gamma通

过率上下浮动(图5),可以反映该加速器的稳定性和机械质控水平。

基于日志文件的调强放疗QA必须通过独立的调试测量和常规QA程序(如AAPM TG 142)来确保加速器的设备性能。主要有以下几个方面的考量:(1)需要确定记录在log日志文件中的机器信息的准确性;(2)记录机器信息的传感器是如何进行测量的,这些传感器的精度和不确定度如何;(3)是否能像对电离室和其他QA装置那样进行充分的校准和QA;(4)是否存在传感器无法检测到错误的故障模式<sup>[20-21]</sup>。

综上所述,SunCHECK作为一款放疗QA软件,能满足临床需求,给放疗质控工作带来了很大的便利性。无论是作为单独放疗计划验算工具,还是以log日志文件反推计算进行调强放疗计划的验证,都应该把SunCHECK作为QA程序的一部分使用,从而给物理师们提供更多的时间和信息来分析检测到的错误。

## 【参考文献】

- [1] 黄晓延,黄劲敏,张黎,等. 三维治疗计划系统的剂量学验证[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(6): 496-500.  
HUANG X Y, HUANG S M, ZHANG L, et al. Dosimetric verification of a commercial three-dimension treatment planning system [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(6): 496-500.
- [2] RICHARDSON S L, TOMÉ W A, ORTON N P, et al. IMRT delivery verification using a spiral phantom[J]. Med Phys, 2003, 30: 2553-2558.
- [3] LÉTOURNEAU D, PUBLICOVER J, KOZELKA J, et al. Novel dosimetric phantom for quality assurance of volumetric modulated arc therapy[J]. Med Phys, 2009, 36: 1813-1821.
- [4] FEYGELMAN V, FORSTER K, OPP D, et al. Evaluation of a biplanar diode array dosimeter for quality assurance of step-and-shoot IMRT [J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10: 64-78.
- [5] JURŠINIC P A, SHARMA R, REUTER J. MapCHECK used for rotational IMRT measurements: step-and-shoot, tomotherapy, RapidArc [J]. Med Phys, 2010, 37: 2837-2846.
- [6] NEILSON C, KLEIN M, BARNETT R, et al. Delivery quality assurance with ArcCHECK[J]. Med Dosim, 2013, 38: 77-80.
- [7] LOW D A, HARMS W B, MUTIC S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions[J]. Med Phys, 1998, 25: 656-661.
- [8] KIMA J, HAN M C. Detailed evaluation of Mobius3D dose calculation accuracy for volumetric-modulated arc therapy[J]. Phys Med, 2020, 74: 125-132.
- [9] CHILDRESS N, CHEN Q, RONG Y. Parallel/Opposed: IMRT QA using treatment log files is superior to conventional measurement based method[J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16: 4-7.
- [10] NELSON C L, MASON B E, ROBINSON R C, et al. Commissioning results of an automated treatment planning verification system[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(5): 57-65.
- [11] OLCH A J. Evaluation of the accuracy of 3DVH software estimates of dose to virtual ion chamber and film in composite IMRT QA[J]. Med Phys, 2012, 39(1): 81-86.
- [12] SAITO M, KADOYA N, SATO K, et al. Comparison of DVH-based plan verification methods for VMAT: ArcCHECK-3DVH system and dynalog-based dose reconstruction[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(4): 206-214.
- [13] TYAGI N, YANG K, YAN D. Comparing measurement-derived (3DVH) and machine log file-derived dose reconstruction methods for

- VMAT QA in patient geometries[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(4): 54-66.
- [14] NEAL B, AHMED M, KATHURIA K, et al. A clinically observed discrepancy between image-based and log-based MLC positions[J]. Med Phys, 2016, 43: 2933-2935.
- [15] 国家癌症中心. 调强放疗剂量验证实践指南[J]. 中国放射肿瘤学杂志, 2020, 29(12): 1021-1024.
- National Cancer Center. Practice guideline of patient-specific dosimetric verification for intensity-modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(12): 1021-1024.
- [16] 阳露, 余辉, 张国前, 等. 基于ArcCHECK-3DVH系统的鼻咽癌容积旋转调强放疗三维剂量验证研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(12): 1506-1512.
- YANG L, YU H, ZHANG G Q, et al. The study of three-dimensional dosimetric verification of volumetric-modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma based on ArcCHECK-3DVH system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(12): 1506-1512.
- [17] SIOCHI R A, MOLINEU A, ORTON C G. Patient-specific QA for IMRT should be performed using software rather than hardware methods[J]. Med Phys, 2013, 40: 070601
- [18] AGNEW A, AGNEW C E, GRATAN M W, et al. Monitoring daily MLC positional errors using trajectory log files and EPID measurements for IMRT and VMAT deliveries[J]. Phys Med Biol, 2014, 59(9): N49-N63.
- [19] STASI M, BRESCIANI S, MIRANTI A, et al. Pretreatment patient-specific IMRT quality assurance: a correlation study between gamma index and patient clinical dose volume histogram[J]. Med Phys, 2012, 39: 7626-7634.
- [20] NELMS B E, CHAN M F, JARRY G, et al. Evaluating IMRT and VMAT dose accuracy: practical examples of failure to detect systematic errors when applying a commonly used metric and action levels[J]. Med Phys, 2013, 40: 111722.
- [21] SUN B Z, RANGARAJ D, BODDU S, et al. Evaluation of the efficiency and effectiveness of independent dose calculation followed by machine log file analysis against conventional measurement based IMRT QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2012, 13(5): 140-154.
- (编辑:谭斯允)