

基于日志文件分析PerFRACTION系统的敏感度和特异度

闫慧芳^{1,2}, 刘洪源², 杨志勇², 李勤², 韩军², 聂鑫², 梁志文², 张盛²

1. 郑州大学第二附属医院肿瘤放疗科, 河南 郑州 450000; 2. 华中科技大学同济医学院附属协和医院肿瘤中心, 湖北 武汉 430022

【摘要】目的:通过观察PerFRACTION系统检测出Trilogy加速器上执行VMAT计划的敏感度和特异度,得出该系统对VMAT计划剂量验证的诊断效能和 γ 通过标准。**方法:**随机选取两组不同解剖部位的VMAT计划(包括原始计划和引入随机误差的修改计划)。通过PerFRACTION系统检测原始计划和修改计划,测试该系统的敏感度和特异度。同时, ArcCHECK模体也测试了两组同样的计划,作为参考。**结果:**原始和修改计划的剂量分析分别采用3%/3 mm、3%/2 mm的 γ 分析标准进行分析,原始计划的 γ 通过率均在98%和95%以上,满足AAPM TG-218报告的要求。但是,修改计划在同样的标准下,部分仍在98%和95%以上。因此,在此通过标准下修改计划中引入的误差并未能检测出,说明该 γ 通过标准不具有针对性,本研究计划得出针对本中心特定病种诊断效能高的 γ 通过标准。基于PerFRACTION系统测量工具,头颈VMAT计划 γ (3%/3 mm)及 γ (3%/2 mm)分析结果对应的ROC下面积(AUC)分别是0.86、0.88;盆腔VMAT计划对应的AUC值分别是0.76、0.76。同样,基于ArcCHECK模体测量工具,头颈VMAT计划 γ (3%/3 mm)、 γ (3%/2 mm)分析结果对应的AUC值分别是0.97、0.82;盆腔VMAT计划对应的AUC值是0.98、0.86。对比ArcCHECK模体验证结果,ROC分析表明PerFRACTION基于 γ (3%/3 mm)及 γ (3%/2 mm)的通过标准适合作为患者质量保证结果分析的标准。此时,头颈VMAT计划对应的 γ 通过标准分别是98.80%、96.32%;盆腔VMAT计划对应的 γ 通过标准分别是99.62%、99.36%。在此标准下,PerFRACTION系统的敏感度和特异度均较高。**结论:**PerFRACTION系统和ArcCHECK模体验证方法同样可靠,在本文通过标准下可检测出随机误差,由于其方便、实时、敏感度高的特性,对于监测患者日常计划传输和执行情况具有较大优势。

【关键词】PerFRACTION系统;日志文件; γ 分析;ROC曲线;敏感度;特异度

【中图分类号】R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)04-0404-07

Analysis of sensitivity and specificity of PerFRACTION system based on log files

YAN Huifang^{1,2}, LIU Hongyuan², YANG Zhiyong², LI Qin², HAN Jun², NIE Xin², LIANG Zhiwen², ZHANG Sheng²

1. Department of Radiation Oncology, the Second Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China; 2. Cancer Center, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China

Abstract: Objective To analyze the sensitivity and specificity of PerFRACTION system for volumetric modulated arc therapy (VMAT) plans executed on Trilogy accelerator, thereby obtaining the diagnostic efficacy and gamma passing criteria of PerFRACTION system for the dose verification of VMAT plans. **Methods** PerFRACTION is a real-time online dose verification system that could calculate the three-dimensional dose distribution through multi-leaf collimator log files, online field image data and convolution/superposition algorithm, and automatically generate dose volume histogram and gamma passing rate. Two groups of VMAT plans for different anatomical sites were randomly selected in the study, and each group of plans included original plans and modified plans with the introduction of random errors. The sensitivity and specificity of PerFRACTION system were detected on original plans and modified plans. In addition, two groups of the same plans were tested by ArcCHECK phantom, and the result was taken as a reference. **Results** The dosimetric analysis on original and modified plans were performed with gamma criteria of 3%/3 mm and 3%/2 mm. The gamma passing rates of original plans were above 98% and 95%, which met the requirements of AAPM-TG218 report, and some of modified plans were also above 98% and 95% under the same criteria. Therefore, the errors introduced in modified plans were not detected, indicating that the gamma criteria was not targeted. The study aimed to obtain gamma passing criteria with high diagnostic efficiency for

【收稿日期】2020-11-09

【基金项目】国家自然科学基金青年基金(81803047)

【作者简介】闫慧芳, 硕士, 研究方向: 肿瘤放射物理学, E-mail: 1024061308@qq.com

【通信作者】刘洪源, 硕士, 中级技师, 研究方向: 肿瘤放射物理学, E-mail: liuhongyuan1991@163.com

specific diseases in our cancer center. Based on PerFRACTION system, the areas under the receiver operating characteristic curves (AUC) of head and neck VMAT plans were 0.86 and 0.88, respectively, and the corresponding AUC values of pelvic VMAT plans were 0.76 and 0.76, respectively. Similarly, based on ArcCHECK phantom, the AUC values of head and neck VMAT plans were 0.97 and 0.82 under the gamma criteria of 3%/3 mm and 3%/2 mm; and the corresponding AUC values of pelvic VMAT plans were 0.98 and 0.86. Compared with the verification results of ArcCHECK phantom, ROC analysis showed that the gamma criteria (3%/3 mm, 3%/2 mm) of PerFRACTION system were suitable for the analysis of quality assurance (QA). The gamma passing rates of head and neck VMAT plans were 98.80% and 96.32%, respectively, and those of pelvic VMAT plans were 99.62% and 99.36%, respectively. Under the same criteria, PerFRACTION system had a higher sensitivity and specificity. **Conclusion** PerFRACTION system is reliable as ArcCHECK phantom and can be used to detect random errors. With the properties of convenience, real-time and highly sensitive, PerFRACTION system has greater advantages in monitoring daily plan transmission and plan implementation.

Keywords: PerFRACTION system; log files; gamma analysis; receiver operating characteristic curve; sensitivity; specificity

前言

质量保证 (Quality Assurance, QA) 和质量控制 (Quality Control, QC) 是保证放射治疗安全的重要措施^[1-3]。随着放射治疗技术的发展, 旋转容积调强放疗 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 技术逐渐成为主流^[4-5]。因为 VMAT 在满足临床剂量学要求的前提下, 大大地减少了机器跳数和治疗时间。但是 VMAT 计划的复杂性和执行不确定性也给病人的 QA 带来更大的挑战。目前病人的 QA 主要是进行一维、二维和三维剂量验证。一维剂量验证设备主要是电离室、热释光剂量计等; 二维剂量验证设备主要是胶片^[6]、MapCHECK^[7]和 MatrixX^[8]; 三维剂量验证设备主要是 ArcCHECK 模体^[9]和 PerFRACTION 系统^[10]。电离室进行单点剂量的测量, 无法提供测量点之外的剂量信息。胶片用于测量单个平面的剂量, 无法实现三维剂量的验证。ArcCHECK 模体作为目前 QA 的常规方式, 虽然 ArcCHECK 模体可以获取二维和三维剂量分布, 剂量验证准确性、敏感度、稳定性及可重复性相较之前的剂量验证工具更好, 但在计划准备、机器时间、数据测量和分析方面花费了大量的人力、物力和时间, 也无法实现实时在线剂量验证。近年来出现的实时在线质控软件 PerFRACTION 系统, 它采用卷积迭代算法^[11], 并且可以利用 MLC 日志文件、在线射野影像数据计算出病人的实时三维剂量, 并自动得出剂量体积直方图 (Dose-Volume Histogram, DVH) 和 γ 通过率。关于该系统执行过程中的稳定性、临床应用的有效性及其基本误差侦测能力已经被证明^[12]。本研究通过利用 PerFRACTION 实时在线获取原始计划和引入随机误差的修改计划在治疗过程中加速器记录的日志文件, 重新计算获得病人的三维剂量分布, 与治疗计划

系统 (Treatment Planning System, TPS) 计算的原始计划剂量分布进行 γ 分析对比, 检测出修改计划中的误差, 对误差进行统计学分析, 进而得出该系统对误差检测的敏感度和特异度。考虑到不同机构、不同解剖部位的计划差异性, 采取统一的 γ 通过标准进行剂量分析, 也许会导致部分误差的遗漏。因此, 本研究经分析得出针对两组解剖部位的 VMAT 计划 γ 分析通过标准, 为今后临床工作提供更为精确的 γ 通过标准。

1 材料与方法

1.1 PerFRACTION 系统

PerFRACTION 系统是实时在线质控软件, 它采用的算法是基于图形处理器 (Graphics Processing Unit, GPU) 加速的独立卷积迭代算法, 命名为 SDC (Sun Nuclear Dose Calculator), 该系统可以利用 MLC 日志文件、在线射野影像数据计算出病人的三维剂量分布, 同 TPS 计算的剂量分布进行 γ 分析, 当分析结果超出误差限时可自动报告给物理师。在 PerFRACTION 系统临床应用前, 将根据本机构的机器相关参数, 比如百分深度剂量 (Percentage Dose Depth, PDD)、离轴比 (Off Axis Ratio, OAR) 及射野输出因子 (Output Factor, OUF) 等, 建立本机构的机器相关的光束模型。本机构根据该光束模型进行调试并验证, 保证临床应用的准确性。

1.2 原始 VMAT 计划和修改 VMAT 计划的获取

随机选取武汉协和医院肿瘤中心头颈和盆腔两个解剖部位的 VMAT 计划各 10 组, 所有计划均已经接受临床治疗。计划均在 Varian Eclipse 13.5 TPS (Varian Medical System, Plato Alto, CA) 中完成, 计划选取 X 射线能量为 6 MV, 采用双弧来优化靶区覆盖范围。使用

光子优化算法(Photon Optimization Algorithm, PO)进行优化,PO算法生成一系列控制点用来定义MLC叶片的位置、机架角度及机器跳数(Monitor Unite, MU),然后使用多分辨率(Multiple Resolution, MR)方法来优化计划,此时分4步,分别是MR1、MR2、MR3、MR4。最终Eclipse采用AcurosXB 13.6.23算法进行剂量计算,计算网格尺寸是0.25 cm,得出原始计划。将原始计划进行复制,在第4步MR4继续优化,将靶区最大剂量限制条件上调3%,人为诱导产生误差,得出修改计划^[13]。Eclipse新生成的修改计划与原始计划相比,误差主要体现在靶区剂量及危及器官剂

量上,两者DVH图可看出误差引入后产生的差别(图1、图2)。原始计划和修改计划经过Trilogy加速器执行,执行后PerFRACTION自动获取加速器记录的日志文件进行测量。测量的剂量分别进行了3方面的比较,①原始计划(TPS)与测量的原始计划进行 γ 分析比较;②修改计划与测量的修改计划进行 γ 分析比较;③原始计划与测量的修改计划进行 γ 分析比较。①和② γ 分析结果均满足临床要求。③人为诱导MLC叶片位置、加速器旋转角度等随机变化,测试PerFRACTION系统测试出随机误差的敏感度和特异度,该研究重点分析。

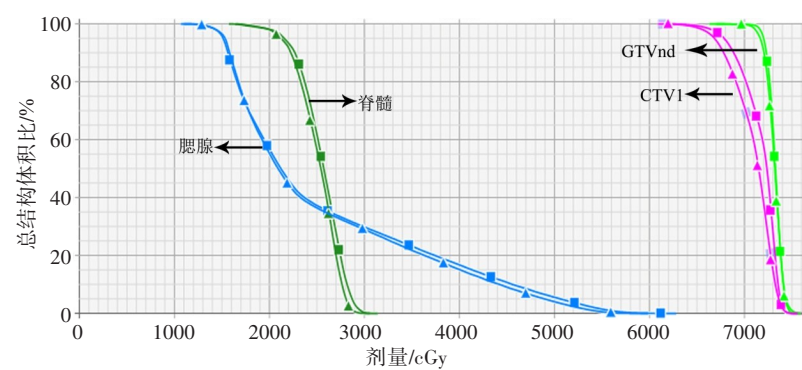


图1 头颈VMAT计划修改前后靶区及危及器官的剂量曲线变化
Fig.1 Dose curve of target areas and organs-at-risk before and after modification of head and neck VAMT plans

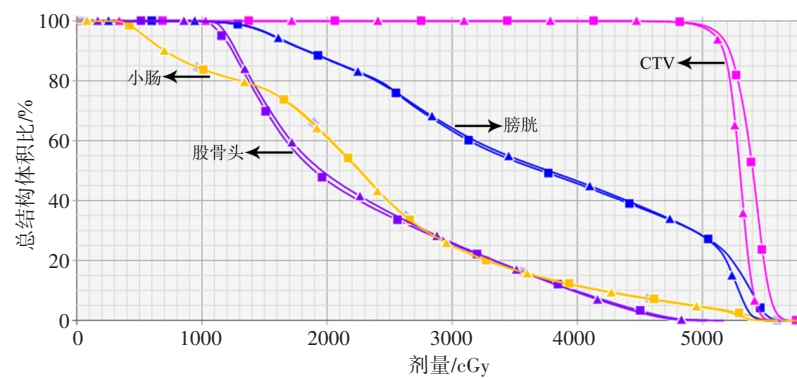


图2 盆腔VMAT计划修改前后靶区及危及器官的剂量曲线变化
Fig.2 Dose curve of target areas and organs-at-risk before and after modification of pelvic VAMT plans

1.3 MLC 日志文件的获取

原始VMAT计划和修改计划传输至加速器执行,由Trilogy(Varian Corporation)加速器记录患者治疗过程的日志文件,文件包含MLC信息、治疗床位置、加速器输出剂量率及机器跳数等,PerFRACTION系统可实时获取包含MLC信息的日志文件,利用日志文件实时在线计算病人三维剂量分布。

1.4 PerFRACTION系统和ArcCHECK模体计划验证的分析

PerFRACTION系统测量的原始计划剂量和修改计划剂量,分别与Eclipse中计算的原始计划剂量分别进行 γ 分析,参考美国医学物理学家协会第218号报告(American Association of Physicists In Medicine-Task Group 218, AAPM-TG218)^[14],本研究采用3%/3 mm、3%/2 mm的 γ 通过标准,分别得出不同通过标准下 γ 通过率。同时基于ArcCHECK也采用相同的测量方法。

1.5 统计学分析方法

使用 GraphPad Prism(version 5.01)软件对 γ 通过率进行分析, γ 通过率用均值 \pm 标准差表示。采用配对 t 检验分析方法, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。受试者工作特征曲线(ROC)分析最初用于量化疾病诊断的价值, 现在被用于评价 QA 的错误检测能力及限制^[15]。ROC 曲线下面积(Area Under Curve, AUC)评价诊断效能, AUC 值为 0.5~1, AUC 值越接近 1, 诊断效能越大。敏感度即正确判断病人的概率, 特异度即正确判断非病人的概率。本研究中, 敏感度指在所得 γ 通过标准下, 修改计划中检测出误差计划数的比率; 特异度则是指在此标准下, 在原始计划中所检测出无误差计划数的比率。敏感度越高, 漏检率越低; 特异度越高, 则误检率越低。本研究结果在 MedCalc 软件(Version 18.2.1)中实现, 通过综合分析比较 γ 通过率, 选择敏感度和特异度均较高的 γ 通过率作为通过标准, 验证 PerFRACTION 系统的敏感度和特异

度, 并得出不同解剖部位 VMAT 计划的 γ 通过率的最佳通过标准。

2 结果

2.1 PerFRACTION 系统和 ArcCHECK 模体测量结果分析

Eclipse 中原始计划的剂量分布分别与 PerFRACTION 系统测量及 ArcCHECK 模体测量的原始计划和修改计划的剂量分布进行 γ 分析, 分析结果如下。

在 3%/3 mm 和 3%/2 mm 的 γ 分析标准下, PerFRACTION 系统原始计划的 γ 通过率均在 98% 和 95% 以上, 修改计划在同样的标准下, 部分在 98% 和 95% 以下, 部分在 98% 和 95% 以上。ArcCHECK 模体亦是如此。因此, 修改计划中引入的误差并未能检测出, 说明了此 γ 通过标准不具有针对性。具体分析数据见表 1。

表 1 γ 通过率的分析比较(% , $\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Analysis and comparison of gamma passing rates (% , Mean \pm SD)

项目	计划类型	PerFRACTION		ArcCHECK	
		3%/3 mm	3%/2 mm	3%/3 mm	3%/2 mm
头颈	原始计划	99.14 \pm 0.64	97.72 \pm 1.05	99.29 \pm 0.53	96.90 \pm 2.21
	修改计划	97.75 \pm 1.17	95.82 \pm 1.06	96.47 \pm 1.67	93.15 \pm 2.88
盆腔	原始计划	99.80 \pm 0.23	99.44 \pm 0.42	99.53 \pm 0.40	97.56 \pm 1.72
	修改计划	99.61 \pm 0.23	99.03 \pm 0.48	97.46 \pm 1.01	94.88 \pm 1.57

2.2 ROC 曲线分析结果

对于头颈 VMAT 计划, 3%/3 mm、3%/2 mm 的 γ 分析标准下, ArcCHECK 模体分析结果对应的 AUC 值分别是 0.97、0.82(图 3、4); PerFRACTION 系统分析结果对应的 AUC 分别是 0.86、0.88(图 5、6)。同样, 对于盆腔 VMAT 计划, 3%/3 mm、3%/2 mm 的 γ 分析标准下 ArcCHECK 模体分析结果对应的 AUC 值分别是 0.98、0.86(图 7、8); PerFRACTION 系统分析结果对应的 AUC 分别是 0.76、0.76(图 9、10)。基于 PerFRACTION 系统, 在敏感度和特异度均较高时, 头颈 VMAT 计划在 γ (3%/3 mm)、 γ (3%/2 mm) 分析标准下通过标准分别是 98.80%、96.32%; 盆腔 VMAT 计划分别是 99.62%、99.36%。

2.3 PerFRACTION 的敏感度和特异度分析

根据 ROC 曲线分析得出的 γ 分析的最佳通过标准, 对 PerFRACTION 系统和 ArcCHECK 模体检测出修改计划的敏感度和特异度进行分析, 不论头颈还是盆腔计划两者均具有较高的敏感度和特异度, 具体结果见表 2。

3 讨论

本研究随机选取 20 对 VMAT 原始计划和修改计划进行分析, IMRT 计划并没有纳入研究的范畴, 因为它的分段都是静态的, 并且很好被定义, 用探测器可以很容易检测出误差, 这在 Islam^[16] 等和 Hoffman 等^[17] 的研究中都有详细的介绍。并且, 本中心头颈和盆腔计划均是通过 VMAT 放疗技术实现的。目前关于 PerFRACTION 系统的相关研究旨在验证其作为 QA 工具的临床应用有效性, 本研究目的则是通过 PerFRACTION 检测修改 VMAT 计划, 分析该系统的敏感度和特异度, 并且通过获取的 γ 通过率进行 ROC 分析, 得出头颈及盆腔 VMAT 计划的 γ 通过标准。

目前, 临床上在线剂量验证系统成为 QA 的重要工具, 它可以监测复杂计划传输和执行的准确性。Boggula 等^[18] 借助加速器机头和患者之间的二维辐射探测器, 获取平面剂量分布图, 然后 COMPASS 系统进行重新计算, 获取病人的三维剂量分布, 与电离室及胶片进行对比, 验证了 COMPASS 系统在线验证

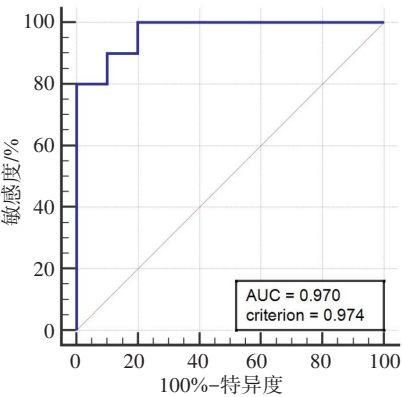


图3 头颈VMAT计划在3%/3 mm γ 分析标准下的ROC曲线(ArcCHECK)
Fig.3 ROC curve of head and neck VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/3 mm (ArcCHECK)

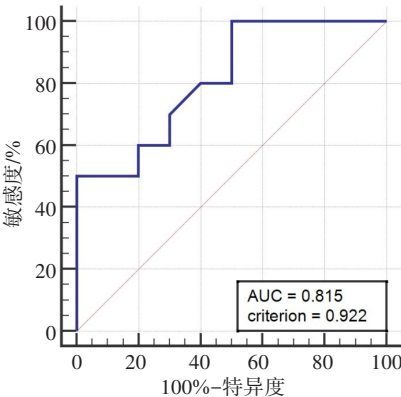


图4 头颈VMAT计划在3%/2 mm γ 分析标准下的ROC曲线(ArcCHECK)
Fig.4 ROC curve of head and neck VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/2 mm (ArcCHECK)

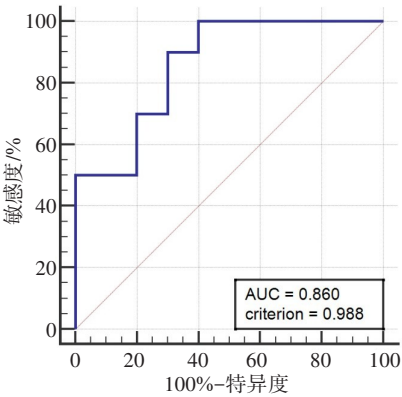


图5 头颈VMAT计划在3%/3 mm γ 分析标准下的ROC曲线(PerFRACTION)
Fig.5 ROC curve of head and neck VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/3 mm (PerFRACTION)

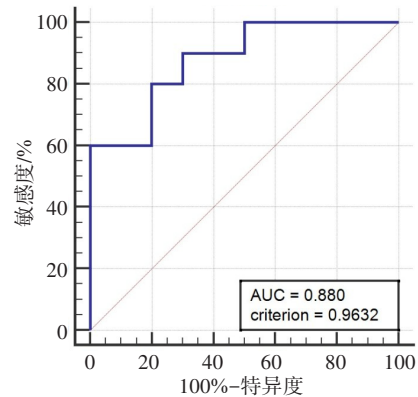


图6 头颈VMAT计划在3%/2 mm γ 分析标准下的ROC曲线(PerFRACTION)
Fig.6 ROC curve of head and neck VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/2 mm (PerFRACTION)

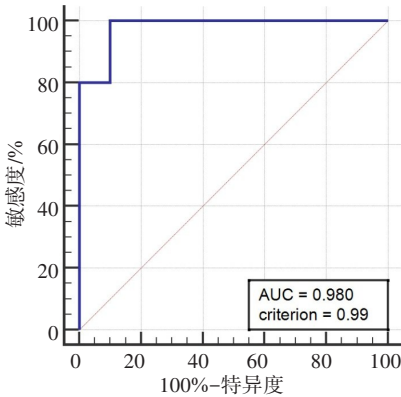


图7 盆腔VMAT计划在3%/3 mm γ 分析标准下的ROC曲线(ArcCHECK)
Fig.7 ROC curve of pelvic VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/3 mm (ArcCHECK)

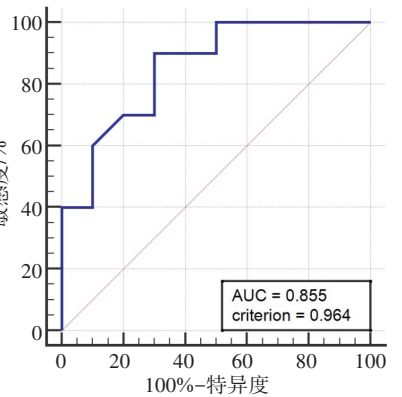


图8 盆腔VMAT计划在3%/2 mm γ 分析标准下的ROC曲线(ArcCHECK)
Fig.8 ROC curve of pelvic VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/2 mm (ArcCHECK)

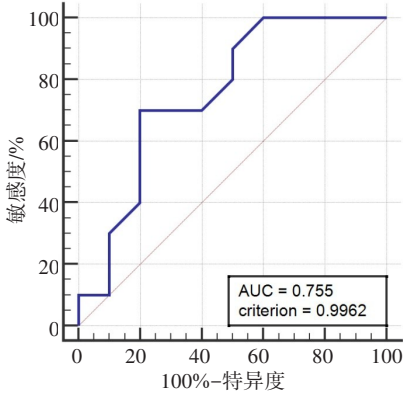


图9 盆腔VMAT计划在3%/3 mm γ 分析标准下的ROC曲线(PerFRACTION)
Fig.9 ROC curve of pelvic VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/3 mm (PerFRACTION)

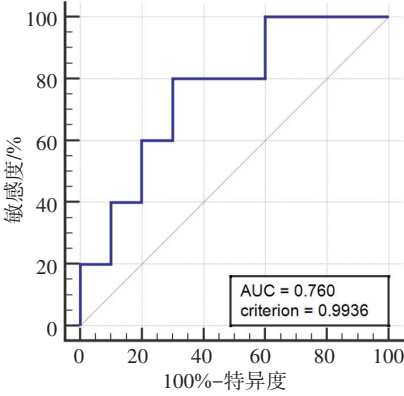


图10 盆腔VMAT计划在3%/2 mm γ 分析标准下的ROC曲线(PerFRACTION)
Fig.10 ROC curve of pelvic VMAT plans under gamma passing criterion of 3%/2 mm (PerFRACTION)

的准确性。Thoelking 等^[19]验证了新型传输探测器 DTD (IBADosimetry, Germany)在线测量传输剂量的准确性,足以应用于临床 QA。Spreeuw 等^[20]基于 EPID 在治疗过程中获取的平面剂量图,采

表2 PerFRACTION 系统和 ArcCHECK 模体敏感度和特异度分析
Tab.2 Sensitivity and specificity of PerFRACTION system and ArcCHECK phantom

项目	γ 分析标准	PerFRACTION			ArcCHECK		
		敏感度	特异度	通过标准	敏感度	特异度	通过标准
头颈	3%/3 mm	0.7	0.8	0.988 0	1	0.6	0.974 0
	3%/2 mm	0.8	0.7	0.963 2	0.8	0.7	0.922 0
盆腔	3%/3 mm	1	0.6	0.996 2	0.9	0.9	0.990 0
	3%/2 mm	1	0.4	0.993 6	0.7	0.8	0.964 0

用三维剂量计算算法进行计算,实现了在线剂量验证。基于MLC日志文件的分析广泛应用于患者的在线剂量验证,大大提高了QA的效率。Schreibmann等^[21]和Agnew等^[22]基于日志文件验证了VMAT和IMRT计划在传输过程中的准确性。关于在线剂量验证的研究还有很多^[23-24],本研究对实时在线剂量验证系统PerFRACTION进行研究,它可自动获取日志文件信息实现剂量重建,检测出放疗传输过程中的误差^[12]。

通过人为引入误差产生错误计划是研究常用的方法。通常可以分为两种类型,一种是机器性能误差,如机架歪斜、铅门偏移、MLC到位不准;另一种则是无规律、随机的误差。机器性能误差通常在病人QA执行之前进行相关的排除,随机误差与临床密切相关。对计划优化条件进行修改后继续优化,产生随机偏差是本研究的主题。随机误差通常包括MLC叶片位置的变化、加速器的输出剂量率、机架旋转速率及治疗床位置的变化等。机架角度和准直器角度等误差很少对QA的结果产生影响,且很容易被监测到。而MLC是形成每个光束角度的注量图的重要机器组件,很小的MLC摆位误差都可以造成剂量传输较大的误差。Heilemann等^[25]通过在前列腺和头颈癌的RapidArc计划中人为加入MLC误差,使用2%/2 mm通过标准进行分析,研究MLC误差对 γ 通过率结果的影响。这项研究显示即使0.5 mm MLC误差也会显著降低 γ 通过率。Vieilleigne等^[26]选取VMAT计划,将MLC误差引入计划中。他们的结果表明,在2%/2mm分析标准下,引入2 mm MLC误差时, γ 通过率降低至23.4%。因此本研究人为诱导产生随机误差,PerFRACTION系统对包含MLC信息的日志文件进行剂量的测量,与TPS计算的剂量分布对比进而筛选出错误计划,由ROC曲线可以看出,无论头颈还是盆腔解剖部位,PerFRACTION系统可检测出随机误差,且具有较高的敏感度和特异度,检测结果具有统计学意义。相比较目前普遍应用的ArcCHECK模体,该软件也显示出与ArcCHECK模

体良好的一致性。

本研究采用 γ 分析的方法, γ 分析是一种定量比较两种剂量分布的快速又可靠的方法。随着放射治疗技术的发展, γ 分析方法不仅用于比较TPS计算的剂量分布与被测量的剂量分布,也普遍应用于两种计算剂量分布以及两种测量工具的剂量分布^[27-28]。为了统一标准,AAPM-TG218报告建议的参考标准是在3%/3 mm、3%/2 mm的基准下,两种剂量分布的 γ 通过率分别在98%、95%以上。虽说此标准具有普适性,但不具有针对性。考虑到治疗部位组织的不均一性、治疗技术的不同及治疗机器的差别,采用此标准,也许会遗漏一些随机误差。从本研究结果中可看出部分修改后的计划在此标准下并未被检测出。因此,本研究针对头颈及盆腔VMAT计划的 γ 通过率进行ROC曲线分析,在敏感度和特异度均较高的情况下,获得 γ 通过率的最佳标准,即在3%/3 mm、3%/2 mm的分析标准下,头颈VMAT计划两者对应的最佳 γ 通过标准分别是98.80%、96.32%;盆腔VMAT计划对应的 γ 通过标准分别是99.62%、99.36%。这为以后头颈及盆腔VMAT计划的QA提供了更为精确的通过标准,充分体现了“三精时代”之一即精准放疗。

本研究存在一定不足之处,尽管20个VMAT计划的研究是很好的开端,但仍需要更多的数据来检查PerFRACTION敏感度和特异度。虽然PerFRACTION系统和ArcCHECK模体对同一批计划进行分析,以ArcCHECK模体作为标准,PerFRACTION系统的结果可以很好的与之符合,得出的结论可信度相对较高,但仍需要其他方面的研究,比如人工智能相关研究^[29],预测 γ 通过率,进一步分析验证研究结果是否与TPS类型以及与加速器的模型相关。本研究针对头颈及盆腔VMAT计划进行研究,关于其他解剖部位的分析及其他治疗技术的研究将会进一步开展。

总之,PerFRACTION系统可以方便快捷的进行实时的三维剂量测定,具有较高的敏感度和特异度。

本研究经分析得出针对本中心两组解剖部位的VMAT计划的 γ 通过率,为今后临床工作提供更为精确的 γ 通过标准,有助于精准放疗的开展。

【参考文献】

- [1] ZHOU Z D, CHEN Y H, YU Z L, et al. A study of quality control method for IMRT planning based on prior knowledge and novel measures derived from both OVHs and DVHs[J]. Biomed Mater Eng, 2014, 24(6): 3479-3485.
- [2] VALENTINI V, GLIMELIUS B, FRASCINO V. Quality assurance and quality control for radiotherapy/medical oncology in Europe: guideline development and implementation[J]. Eur J Surg Oncol, 2013, 39(9): 938-944.
- [3] JAIN S, GOODMAN K A. Quality control of radiation delivery for lower gastrointestinal cancers[J]. Curr Treat Options Oncol, 2018, 19(10): 51.
- [4] CHEN H X, CRAFT D L, GIERGA D P. Multicriteria optimization informed VMAT planning[J]. Med Dosim, 2014, 39(1): 64-73.
- [5] YANG Y Q, LIU Q T, JIA B Q, et al. Preoperative volumetric modulated arc therapy with simultaneous integrated boost for locally advanced distal rectal cancer[J]. Technol Cancer Res Treat, 2019, 18: 1180780988.
- [6] ANDRES C, DEL C A, TORTOSA R, et al. A comprehensive study of the gafchromic EBT2 radiochromic film. A comparison with EBT[J]. Med Phys, 2010, 37(12): 6271-6278.
- [7] JIN H, KEELING V P, JOHNSON D A, et al. Interplay effect of angular dependence and calibration field size of MapCHECK 2 on RapidArc quality assurance[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 4638.
- [8] HAN Z H, NG S K, BHAGWAT M S, et al. Evaluation of MatriXX for IMRT and VMAT dose verifications in peripheral dose regions[J]. Med Phys, 2010, 37(7): 3704-3714.
- [9] CHASWAL V, WELDON M, GUPTA N, et al. Commissioning and comprehensive evaluation of the ArcCHECK cylindrical diode array for VMAT pretreatment delivery QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(4): 212-225.
- [10] BRESCIANI S, POLI M, MIRANTI A, et al. Comparison of two different EPID-based solutions performing pretreatment quality assurance: 2D portal dosimetry *versus* 3D forward projection method[J]. Phys Med, 2018, 52: 65-71.
- [11] LIU H H, MACKIE T R, MCCULLOUGH E C. Correcting kernel tilting and hardening in convolution/superposition dose calculations for clinical divergent and polychromatic photon beams[J]. Med Phys, 1997, 24(11): 1729-1741.
- [12] ZHUANG A H, OLCH A J. Sensitivity study of an automated system for daily patient QA using EPID exit dose images[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(3): 114-124.
- [13] RAZINSKAS G, WEGENER S, GREBER J, et al. Sensitivity of the IQM transmission detector to errors of VMAT plans[J]. Med Phys, 2018, 45(12): 5622-5630.
- [14] MIFTEN M, OLCH A, MIHAILIDIS D, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: recommendations of AAPM Task Group No. 218[J]. Med Phys, 2018, 45(4): e53-e83.
- [15] CARLONE M, CRUJE C, RANGEL A, et al. ROC analysis in patient specific quality assurance[J]. Med Phys, 2013, 40(4): 42103.
- [16] ISLAM M K, NORRLINGER B D, SMALE J R, et al. An integral quality monitoring system for real-time verification of intensity modulated radiation therapy[J]. Med Phys, 2009, 36(12): 5420-5428.
- [17] HOFFMAN D, CHUNG E, HESS C, et al. Characterization and evaluation of an integrated quality monitoring system for online quality assurance of external beam radiation therapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(1): 40-48.
- [18] BOGGULA R, JAHNKE L, WERTZ H, et al. Patient-specific 3D pretreatment and potential 3D online dose verification of Monte Carlo-calculated IMRT prostate treatment plans[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(4): 1168-1175.
- [19] THOELKING J, FLECKENSTEIN J, SEKAR Y, et al. Patient-specific online dose verification based on transmission detector measurements[J]. Radiother Oncol, 2016, 119(2): 351-356.
- [20] SPREEUW H, ROZENDAAL R, OLACIREGUI-RUIZ I, et al. Online 3D EPID-based dose verification: proof of concept[J]. Med Phys, 2016, 43(7): 3969-3974.
- [21] SCHREIBMANN E, DHABAAN A, ELDER E, et al. Patient-specific quality assurance method for VMAT treatment delivery[J]. Med Phys, 2009, 36(10): 4530-4535.
- [22] AGNEW C E, KING R B, HOUNSELL A R, et al. Implementation of phantom-less IMRT delivery verification using Varian DynaLog files and R/V output[J]. Phys Med Biol, 2012, 57(21): 6761-6777.
- [23] 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): 3837.
- [24] RANGARAJ D, ZHU M Y, YANG D S, et al. Catching errors with patient-specific pretreatment machine log file analysis[J]. Pract Radiat Oncol, 2013, 3(2): 80-90.
- [25] HEILEMANN G, POPPE B, LAUB W. On the sensitivity of common gamma-index evaluation methods to MLC misalignments in Rapidarc quality assurance[J]. Med Phys, 2013, 40(3): 31702.
- [26] VIEILLEVIGNE L, MOLINIER J, BRUN T, et al. Gamma index comparison of three VMAT QA systems and evaluation of their sensitivity to delivery errors[J]. Phys Med, 2015, 31(7): 720-725.
- [27] LOW D A, DEMPSEY J F. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method[J]. Med Phys, 2003, 30(9): 2455-2464.
- [28] PARK J M, KIM J, PARK S, et al. Reliability of the gamma index analysis as a verification method of volumetric modulated arc therapy plans[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 175.
- [29] ONO T, HIRASHIMA H, IRAMINA H, et al. Prediction of dosimetric accuracy for VMAT plans using plan complexity parameters via machine learning[J]. Med Phys, 2019, 46(9): 3823-3832.

(编辑:薛泽玲)