

ArcCHECK结合3DVH在容积旋转调强放疗剂量验证中的应用研究

冯瑞兴

青海大学附属医院 肿瘤放疗科, 青海 西宁 810001

[摘要] 目的 探索ArcCHECK结合3DVH在容积旋转调强放疗 (Volume Rotation Intensity Radiotherapy, VMAT) 剂量验证中的应用。方法 随机选取20例肿瘤患者, 其中鼻咽癌5例, 食管癌和肺癌各5例, 直肠癌5例。使用Pinnacle3 Version 9.8计划系统 (TPS) 设计双弧VMAT计划, 将计划移植到ArcCHECK模体上重新计算剂量, ArcCHECK模体下出来测量, 评估每例患者的 γ 通过率, 然后使用3DVH软件重建靶区和危及器官的剂量分布, 与TPS计算结果比较剂量体积参数的偏差。结果 20例患者VMAT计划的 γ 通过率平均值为 $(98.1 \pm 1.1)\%$, 除了1例鼻咽癌患者的低于95%以外, 其余病例的 γ 通过率均 $>95\%$ 。靶区PTV的 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 D_{mean} 偏差均在3%以内; 危及器官方面, 鼻咽癌有1例左、右晶体 D_{max} 偏差分别在8.63%和7.01%, 直肠癌有2例左、右股骨头 V_{50} 偏差大于5%, 其余病例的危及器官剂量体积偏差均小于5%。结论 ArcCHECK结合3DVH在VMAT剂量验证中可以提供更多的剂量分布信息, 有助于提高临床肿瘤放疗的安全保障。

[关键词] ArcCHECK; 3DVH; 容积旋转调强放疗; 剂量验证; 鼻咽癌放疗

Application of ArcCHECK Combined with 3DVH in Volumetric Modulated Arc Therapy Dose Verification

FENG Ruixing

Department of Radiation Oncology, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining Qinghai 810001, China

Abstract: Objective To study the application of ArcCHECK combined with 3DVH in volumetric modulated arc therapy (VMAT) dose verification. **Methods** Twenty cancer cases were randomly selected, including five nasopharyngeal carcinoma cases, five esophageal cancer and lung cancer cases respectively, and five rectal cancer cases. Double arc VMAT plans were designed with Pinnacle³ Version 9.8 treatment planning system (TPS) and transplanted to the ArcCHECK phantom to recalculate the dose. The ArcCHECK phantom was used to measure the beam output, and the gamma passing rate of each patient was evaluated. Then the dose distribution of target and organs at risk were reconstructed by 3DVH software, and the deviation of dose volume parameters were compared with that of TPS. **Results** The average gamma passing rates of VMAT plans in twenty patients were $98.1\% \pm 1.1\%$. Except for one of the patients with nasopharyngeal carcinoma, the gamma passing rates in the remaining cases were more than 95%. The deviations of $D_{2\%}$, $D_{98\%}$, $D_{50\%}$, D_{mean} of PTV were less than 3%. In organs at risk, the D_{max} deviations of left and right crystal in one nasopharyngeal carcinoma case were 8.63% and 7.01%, respectively. For two rectal cancer cases, the V_{50} deviations of left femoral head and right femoral head were more than 5%, and the dose volume deviations of other cases were less than 5%. **Conclusion** ArcCHECK combined with 3DVH in VMAT dose verification can provide more dose distribution informations, which help to improve the safety of clinical tumor radiotherapy.

Key words: ArcCHECK; 3DVH; volumetric modulated arc therapy; dosimetric verification; nasopharyngeal carcinoma radiotherapy

[中图分类号] R737.9; R730.55

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2018.07.009

[文章编号] 1674-1633(2018)07-0037-04

引言

旋转调强放疗 (Intensity Modulated Arc Therapy, IMAT) 的概念最早是由 Yu^[1] 提出, 其旋转照射过程中剂量率恒定。而强度调制则将射野等角度转化为多叶准直器 (Multi-Leaf Collimator, MLC) 形成的大量静态子野, 并利用多

个叠加的弧实现, 但当时缺少有效的计划系统和控制系统。随着放射物理学、计算机控制技术等的进步, Otto^[2] 提出了容积旋转调强放疗 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT), 其在照射过程中机架旋转速度、MLC 运动、剂量率可以连续变化, 极大提高了照射效率, 在临床中已普遍应用^[3-5]。然而 VMAT 拥有的多参数动态变化, 使得放疗执行过程中不确定性更多, 因此其质量保证 (Quality Assurance, QA) 非常关键。否则一旦剂量不能准确按治疗

收稿日期: 2018-01-05

修回日期: 2018-01-21

基金项目: 青海省科技支撑计划项目 (2015-SF-131)。

作者邮箱: 51984767@qq.com

计划系统 (Treatment Planning System, TPS) 设计的那样投射到肿瘤患者, 可能造成肿瘤控制失败或产生严重放疗并发症。

以往仅仅使用点剂量和二维平面剂量验证的方式不能完全适用于 VMAT, 目前更倾向使用三维剂量验证系统, 而 ArcCHECK 拥有 1386 个半导体探头螺旋分布于圆柱形模体, 契合了 VMAT 旋转照射的方式。但是应用 ArcCHECK 行剂量验证仅使用 γ 分析法并不能分析靶区和危及器官具体受到照射的剂量体积参数。因此, 本文研究 ArcCHECK 三维剂量验证系统结合配套的 3DVH 软件对 VMAT 计划进行剂量验证, 探讨其临床应用的可行性。

1 材料和方法

1.1 设备材料

瓦里安 Trilogy 直线加速器, 配置有 60 对 MLC; 飞利浦 Pinnacle³ Version 9.8 TPS; IBA 标准剂量水箱, 内径: 长 300 mm, 宽 300 mm, 高 220 mm; IBA DOSE-1 剂量仪和 FC65-G 0.65 cc 电离室; Sun Nuclear 公司 ArcCHECK 三维剂量验证系统 (包含 SNC Patient Version 6.2.3 软件), 模体长 21 cm, 呈圆柱形, 并有 1386 个呈螺旋分布的半导体探头, 探头间距为 1 cm, 有效探测面积: 0.8 mm × 0.8 mm; Sun Nuclear 公司 3DVH Version 3.2 软件。

1.2 研究对象

随机选取 2017 年 1 月至 2017 年 6 月青海大学附属医院肿瘤放疗科收治的 20 例肿瘤患者, 其中头颈部肿瘤鼻咽癌 5 例, 胸部肿瘤食管癌和肺癌各 5 例, 腹部肿瘤直肠癌 5 例。所有患者采用仰卧位, 热塑膜进行体位固定, CT 扫描的图像信息传输至飞利浦 Pinnacle³ Version 9.8 TPS 进行三维重建, 主管医生勾画靶区, 每例患者重新设计 VMAT 计划, 采用 179° ~ 181° 逆时针和 181° ~ 179° 顺时针的两个全弧照射, 准直器角度为 0°, 治疗床角度为 0°。

1.3 ArcCHECK 的校准

(1) ArcCHECK 模体的探头位于表面下 2.9 cm, 其等效水深为 3.3 cm。因此, 将 IBA 水箱按 SSD=86.3 cm 摆位, 水深 3.3 cm, 并放置电离室, 射野大小 10 cm × 10 cm, 加速器出束 200 MU, 测量绝对剂量三次, 记录平均值。

(2) 将 ArcCHECK 模体对准激光灯摆位, SSD=86.7 cm, 连接线缆和电脑, 打开 SNC Patient Version 6.2.3 软件自动行本底校准 (初次摆位时还需进行旋转和倾斜校正)。

(3) 根据软件提示的摆位方式、射野大小、MU 数, 行矩阵探头个异性校准, Normalized Reference Profile 曲线所示的比值位于 1~1.05 之间表示对称性良好 (图 1)。

(4) 在射野大小 10 cm × 10 cm, 加速器出束 200 MU, 输入第 1 步记录的绝对剂量平均值, 完成绝对剂量校准。

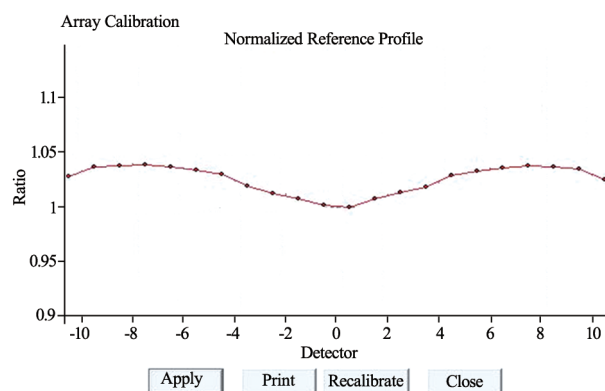


图1 矩阵探头个异性校准的Normalized Reference Profile曲线

1.4 剂量验证方法

1.4.1 γ 通过率评估

在 TPS 中将 20 例患者的 VMAT 计划移植到 ArcCHECK 模体上重新计算剂量, 并把 RT Plan 和 RT Dose 文件导入 SNC Patient Version 6.2.3 软件, 使用患者计划出束, ArcCHECK 模体下测量, 评估每例患者的 γ 通过率, 并保存测量结果的 *.acml 文件, γ 通过率使用的标准为 3 mm, 3%, 阈值 10%。

1.4.2 靶区和危及器官剂量体积参数比较

将 TPS 中患者 VMAT 计划的 RT Plan、RT Dose、RT structures 和 CT images 文件导入 3DVH Version 3.2 软件, 并打开患者剂量测量结果的 *.acml 文件重新进行剂量计算, 采用剂量微扰算法 (Planned Dose Perturbation, PDP), 比较靶区和危及器官 3DVH 重新计算结果与 TPS 计算结果剂量体积参数的偏差, 剂量体积偏差 (%) = (3DVH 重新计算值 - TPS 计算值) / TPS 计算值 × 100%。

2 结果

2.1 γ 分析结果

20 例肿瘤患者 VMAT 计划 γ 通过率, 见表 1。所有患者的 γ 通过率平均值为 (98.1 ± 1.1) %, 除了 1 例鼻咽癌患者的低于 95% 以外, 其余病例的 γ 通过率均 > 95%。

表1 20例肿瘤患者VMAT计划 γ 通过率 (%)

肿瘤类型	序号	γ 通过率	肿瘤类型	序号	γ 通过率
鼻咽癌	1	97.8	肺癌	1	99.2
	2	98.6		2	98.8
	3	98.3		3	97.6
	4	94.2		4	97.0
	5	99.1		5	98.8
食管癌	1	99.1	直肠癌	1	97.4
	2	97.3		2	98.3
	3	98.2		3	99.3
	4	98.8		4	97.8
	5	98.4		5	98.7

2.2 靶区和危及器官剂量体积参数比较

靶区和危及器官 TPS 计算结果与 3DVH 重新计算结果剂量体积参数的偏差见表 2~4。其中 1 例鼻咽癌、食管癌、肺癌、直肠癌的靶区和危及器官 DVH 比较结果, 见图 2。从头、胸、腹三个部位肿瘤验证情况看, 靶区 PTV 的 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 D_{mean} 偏差均较小, 都在 3% 以内; 危及器官方面, 鼻咽癌有 1 例左、右晶体 D_{max} 偏差分别在 8.63% 和 7.01%, 直肠癌有 2 例左、右股骨头 V_{50} 偏差大于 5%, 其余病例的危及器官剂量体积偏差均小于 5%。从测量的数据可以看出, 鼻咽癌中晶体由于体积小, 而且本来限制比较低所以剂量偏差比其他危及器官的大; 对评价体积参数的危及器官通常高剂量区体积所占百分数较小, 因此偏差也相对大一些。

表2 5例鼻咽癌3DVH重新计算结果与TPS计算结果剂量体积参数比较

感兴趣区	参数	剂量体积偏差 (%)
PTV1	$\Delta D_{2\%}$	1.07 ± 0.42
	$\Delta D_{98\%}$	-0.24 ± 1.36
	$\Delta D_{50\%}$	-0.37 ± 0.87
	ΔD_{mean}	-0.33 ± 0.88
	ΔD_{max}	-0.94 ± 0.95
PTV2	$\Delta D_{2\%}$	0.94 ± 0.95
	$\Delta D_{98\%}$	0.96 ± 0.27
	$\Delta D_{50\%}$	-0.99 ± 1.84
	ΔD_{mean}	-1.07 ± 1.85
	ΔD_{max}	-1.07 ± 1.85
脑干	ΔD_{max}	1.35 ± 1.47
左晶体	ΔD_{max}	2.94 ± 4.21
右晶体	ΔD_{max}	1.83 ± 3.85
左视神经	ΔD_{max}	1.39 ± 1.26
右视神经	ΔD_{max}	0.62 ± 2.19
视交叉	ΔD_{max}	-0.37 ± 2.00
左腮腺	ΔV_{30}	2.23 ± 2.15
右腮腺	ΔV_{30}	-0.49 ± 2.35
脊髓	ΔD_{max}	0.42 ± 1.42

表3 5例食管癌和5例肺癌3DVH重新计算结果与TPS计算结果剂量体积参数比较

感兴趣区	参数	剂量体积偏差 (%)
PTV	$\Delta D_{2\%}$	1.16 ± 0.42
	$\Delta D_{98\%}$	-0.55 ± 1.08
	$\Delta D_{50\%}$	0.01 ± 0.63
	ΔD_{mean}	0.06 ± 0.64
	ΔD_{max}	0.69 ± 0.75
肺	ΔD_{mean}	0.69 ± 0.75
	ΔV_5	1.40 ± 0.90
	ΔV_{20}	0.30 ± 1.74
	ΔV_{30}	-0.85 ± 2.97
	ΔD_{mean}	1.52 ± 2.18
心脏	ΔV_{30}	0.69 ± 2.36
	ΔV_{40}	0.63 ± 2.30
	ΔD_{max}	-0.40 ± 1.85

表4 5例直肠癌3DVH重新计算结果与TPS计算结果剂量体积参数比较

感兴趣区	参数	剂量体积偏差 (%)
PTV	$\Delta D_{2\%}$	-0.96 ± 1.30
	$\Delta D_{98\%}$	-1.16 ± 0.51
	$\Delta D_{50\%}$	-0.98 ± 0.53
	ΔD_{mean}	-0.96 ± 0.49
	ΔD_{max}	-0.58 ± 1.72
小肠	ΔD_{mean}	-0.67 ± 1.32
膀胱	ΔV_{50}	-2.51 ± 1.95
左股骨头	ΔV_{50}	1.12 ± 5.86
右股骨头	ΔV_{50}	1.00 ± 5.61

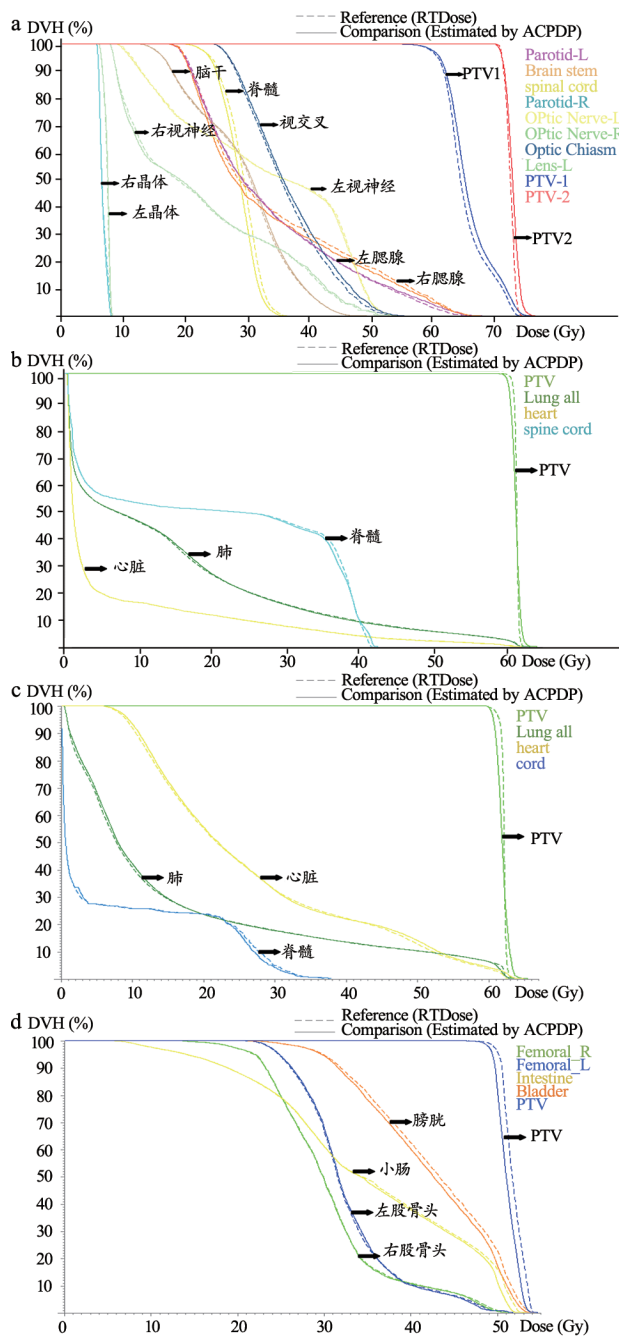


图2 靶区和危及器官DVH比较结果

注: a.鼻咽癌; b.食管癌; c.肺癌; d.直肠癌。虚线表示TPS计算结果, 实线表示ArcCHECK测量后3DVH重新计算结果。

3 讨论

VMAT 技术相比 IMRT 技术增加了角度自由度,在计划优化过程中可以拥有更优的角度选择性,投照过程机架角度随着控制点改变,MLC 同时进行变化,而子野权重变化形成剂量率的变化,理论上靶区的均匀性也会越好^[2]。但其多个可变的参数使计划执行过程更加复杂,如机架到位精度、MLC 运动精度、剂量率与时间的响应特性等都会影响计划的准确执行。因此,放疗前保证计划剂量准确投照到患者是临床放疗安全、有效实施地关键环节。以往点剂量和二维平面剂量的验证只能提供单个点和平面的剂量信息,剂量验证包含的内容太过局限,因而必须进行多个感兴趣点和平面的测量,给验证工作带来诸多不便。二维验证工具在 IMRT 不同角度或 VMAT 旋转照射时表现出角度依赖性,如果不进行修正会带来剂量偏差^[6]。以往 IMRT 使用的单野角度归零进行剂量测量,这样在验证时与实际出束的过程存在很大差异,往往忽略了不同角度时重力对机架和 MLC 的影响、碳纤维治疗床对射线衰减和散射的影响等,射野归零相比实际角度验证特别在水平线下的角度或 90°、270° 附近的角度验证结果均明显提高^[7-9]。因此,使用 ArcCHECK 三维剂量验证系统保证了旋转照射中的剂量信息,本研究中三种部位肿瘤 VMAT 计划 γ 通过率除 1 例鼻咽癌为 94.2%,其余均 >95.0%,取得了较好的验证结果,与国内外一些研究中的结果类似^[10-11]。

γ 分析法广泛运用于临床剂量验证系统,它将测量的剂量分布作为参考信息与 TPS 计算的剂量分布比较,弥补了剂量差异法和 DTA (Distance-To-Agreement) 法各自的不足,不管是剂量梯度较大的区域还是剂量分布平缓的区域,其计算值的误差较小^[12]。然而 γ 分析法缺乏与临床解剖结构感兴趣区剂量参数的相关性,有些情况下即使 γ 通过率 > 95% 也可能出现较大剂量误差^[13]。本研究利用 3DVH 软件 PDP 算法重建患者剂量分布,提供了靶区和危及器官剂量体积参数信息,在与 TPS 计算结果的比较中,PTV 的剂量偏差均在 3% 以内,危及器官的剂量体积偏差大部分在 5% 以内。但是,受 VMAT 计划执行的复杂性和仪器分辨率的影响,小体积的危及器官或高剂量区体积很小的部分容易偏差较大,但是多大的偏差能为临床可接受,这也是后续需要解决的问题。同时笔者在研究过程中也发现通过 3DVH 软件的剂量重建,如果整个计划剂量偏差较大,软件计算会有警告提示,这反映出可能是加速器的绝对剂量偏差或摆位误差等较大时带来的剂量偏差,这时就需要物理师对加速器的剂量进行校准或摆位进行验证。

目前,许多剂量验证的研究证实了 ArcCHECK 与 3DVH 在临床应用的准确性,特别对 MLC 运动误差、不同分辨率等情况下验证的结果也做了分析^[14-16]。但是, ArcCHECK 是一个均匀的有机玻璃模体,而人体各组织是不均匀

的,其缺点是模体测量的剂量与人体受照剂量还是有一定误差,3DVH 在剂量重建时未考虑非均匀介质的影响^[17]。

综上所述, ArcCHECK 三维剂量验证系统在临床 VMAT 计划的剂量验证中仍然是一个快捷、简便的验证工具,而 3DVH 提供了靶区和危及器官的剂量体积参数,是对 ArcCHECK 测量的一个延伸,结合这两个方面的验证结果将有助于提高临床肿瘤放疗的安全保障。

[参考文献]

- [1] Yu CX. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: an alternative to tomotherapy[J]. *Phys Med Biol*, 1995, 40(9): 1435-1449.
- [2] Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. *Med Phys*, 2008, 35(1): 310-317.
- [3] Smyth G, Evans PM, Bamber JC, et al. Non-coplanar trajectories to improve organ at risk sparing in volumetric modulated arc therapy for primary brain tumors[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 121(1): 124-131.
- [4] Xu Y, Deng W, Yang S, et al. Dosimetric comparison of the helical tomotherapy, volumetric-modulated arc therapy and fixed-field intensity-modulated radiotherapy for stage IIB-IIIB non-small cell lung cancer[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 14863.
- [5] Yadav G, Bhushan M, Dewan A, et al. Dosimetric influence of photon beam energy and number of arcs on volumetric modulated arc therapy in carcinoma cervix: A planning study[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2017, 22(1): 1-9.
- [6] Wolfsberger LD, Wagar M, Nitsch P, et al. Angular dose dependency of MatriXX TM and its calibration[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2010, 11(1): 241-251.
- [7] 孔伟, 丁莉, 叶红强, 等. 调强放疗计划中射野角度归零与实际角度的剂量验证比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2015, 32(6): 892-896.
- [8] 孙彦泽, 周钢, 陈列松, 等. 鼻咽癌 IMRT 中实际机架角度对计划执行准确度影响[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(10): 1182-1186.
- [9] 姜仁伟, 郭栓栓, 陈舒婷, 等. 利用 ArcCHECK 在实际机架角与零机架角的 IMRT 剂量验证结果比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(1): 66-68.
- [10] Thiagarajan R, Nambiraj A, Sinha SN, et al. Analyzing the performance of ArcCHECK diode array detector for VMAT plan[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2016, 21(1): 50-56.
- [11] 鄢佳文, 高靖琰, 刘旭红, 等. ArcCHECK 用于 VMAT 计划剂量的验证[J]. *医疗装备*, 2017, 30(5): 26-27.
- [12] 苗利, 孙彦泽, 李新民. 放射治疗剂量验证中常用剂量分布比较方法及分析[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2012, 30(4): 247-251.
- [13] Nelms BE, Zhen H, Tomé WA. Per-beam, planar IMRT QA

下转第 47 页