

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.23.012

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241024.1353.006\(2024-10-25\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241024.1353.006(2024-10-25))

不同类型多叶准直器在宫颈癌容积旋转 调强放疗中的剂量学比较*

李林山, 司梦远, 杨雪琴, 苏坤普, 肖 姚, 周德力, 刘岩海, 陈 川, 刘 云[△]
(陆军特色医学中心肿瘤科, 重庆 400042)

[摘要] **目的** 探讨不同类型多叶准直器(MLC)在宫颈癌容积旋转调强放疗(VMAT)中对靶区和危及器官的剂量学差异。**方法** 选取 2023 年 5 月到 2024 年 1 月该院接受放疗的 20 例宫颈癌术后患者为研究对象, 为每例患者分别设计 AgilityTM-MLC 和 MLCi2-MLC 两种宫颈癌术后 VMAT 计划, 比较两种计划靶区(PTV)剂量学参数、危及器官受照剂量、 γ 通过率和机器跳数(MU)的差异。**结果** 与 MLCi2-MLC 比较, AgilityTM-MLC 的 V_{45} 、适形性指数(CI)和均匀性指数(HI)更优, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。与 MLCi2-MLC 比较, AgilityTM-MLC 的膀胱 V_{30} 、 V_{40} 、平均剂量(D_{mean})、直肠 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、左股骨头 V_{10} 、 D_{mean} 及小肠 V_{10} 、 V_{30} 、 D_{mean} 、最大剂量(D_{max})更低, 膀胱 V_{45} 、直肠 V_{45} 、右股骨头 V_{20} 更高, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。与 MLCi2-MLC 比较, AgilityTM-MLC 的 γ 通过率更低[(98.31 ± 0.64)% vs. (99.73 ± 0.37)%], 差异有统计学意义($P < 0.05$); 而 AgilityTM-MLC 与 MLCi2-MLC 的 MU 比较(996.74 ± 65.46 vs. 996.80 ± 49.77), 差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** AgilityTM-MLC 的 PTV 适形性、均匀性及在高、低剂量区对危及器官的保护更好。

[关键词] 宫颈癌; 多叶准直器; 危及器官; 容积旋转调强放疗; 剂量学

[中图法分类号] R730.55 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)23-3585-05

Dosimetric comparison of different types of multileaf collimators in volumetric modulated arc therapy for cervical cancer*

LI Linshan, SI Mengyuan, YANG Xueqin, SU Kunpu, XIAO Yao, ZHOU Deli,
LIU Yanhai, CHEN Chuan, LIU Yun[△]

(Department of Oncology, Army Characteristic Medical Center, Chongqing 400042, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the dosimetric differences of different types of multileaf collimators (MLCs) on the planning target volume (PTV) and organs at risk (OARs) in volumetric modulated arc therapy (VMAT) for cervical cancer. **Methods** Twenty postoperative patients with cervical cancer receiving radiotherapy in this hospital from May 2023 to January 2024 were selected as the study subjects. For each patient, two kinds of VMAT plans (MLCi2-MLC and AgilityTM-MLC) after cervical cancer operation were designed. The dosimetric parameters of the planning target volume (PTV), exposure dose by organs at risk (OAR), γ passing rate and monitor units (MU) were compared between the two plans. **Results** Compared with MLCi2-MLC, prescription dose (V_{45}), conformity index (CI) and homogeneity index (HI) in AgilityTM-MLC were better, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). Compared with MLCi2-MLC, bladder V_{30} , V_{40} , average dose (D_{mean}), rectal V_{10} , V_{20} , V_{30} , left femoral head V_{10} , D_{mean} and small intestine V_{10} , V_{30} , D_{mean} and D_{max} were lower, bladder V_{45} , rectal V_{45} , right femoral head V_{20} were higher, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). Compared with MLCi2-MLC, the γ passing rate in AgilityTM-MLC was lower [(98.31 ± 0.64)% vs. (99.73 ± 0.37)%], and the difference was statistically significant ($P < 0.05$); while MU had no statistical difference between AgilityTM-MLC and MLCi2-MLC (996.74 ± 65.46 vs. 996.80 ± 49.77, $P > 0.05$). **Conclusion** AgilityTM-MLC demonstrates better PTV conformity and homogeneity, as well as good protection on OARs in both high and low dose regions.

[Key words] cervical cancer; multileaf collimator; organs at risk; volumetric modulated arc therapy; dosimetry

宫颈癌是最常见的妇科肿瘤之一,尽管目前有预防疫苗的普及和筛查措施,但在资源受限地区,宫颈癌的发病率和病死率依然较高^[1]。治疗宫颈癌的主要方法包括手术、化疗和放疗^[2],其中放疗通过辐射损伤癌细胞的 DNA 和氧化应激来抑制其生长和繁殖。随着放疗技术的快速发展,不同的治疗方法应运而生,从最初的二维放疗到三维适形放疗(three-dimensional conformal radiation therapy, 3DCRT)、调强放疗(intensity-modulated radiation therapy, IM-RT)、容积旋转调强放疗(volumetric modulated arc therapy, VMAT)、立体定向放疗(stereotactic body radiation therapy, SBRT)等,放疗技术不断发展也带来了更好的治疗效果^[3-9]。放疗高精尖技术的发展离不开多叶准直器(multi-leaf collimator, MLC)的发展。MLC 是医用直线加速器最重要的部件之一,它精确“雕塑”射线束的形状,使射线准确照射到肿瘤区域,同时尽量减少射线对正常组织的辐射。不同类型 MLC 都有各自的特点,如叶片宽度和数量、叶片运动最大速度、叶片间的最小间隙和错位能力^[10]。已有学者开展了关于 MLC 宽度、运动误差等对放疗计划的剂量学对比研究^[11-15]。因此,本研究使用医科达的 Monaco6.0 计划系统,为每例患者分别设计 Agility-MLC 和 MLCi2-MLC 两种宫颈癌术后 VMAT 计划,并通过分析这两种计划在宫颈癌术后放疗中对计划靶区(planning target volume, PTV)剂量参数和危及器官保护的影响,评估其优劣,为临床选择提供参考依据,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 5 月到 2024 年 1 月本院接受放疗的 20 例宫颈癌术后患者为研究对象,年龄 35~71 岁,平均(53.0±9.49)岁。皆遵循国际妇产科联盟(international federation of gynecology and obstetrics, FIGO)确立的分期标准,临床分期 I B1 期 5 例, I B2 期 7 例, I B3 期 3 例, II A1 期 3 例, II A2 期 2 例;腺癌 6 例,鳞癌 14 例。PTV 体积 1 145.14~1 517.27 cm³,中位体积 1 339.49 cm³。本研究通过本院伦理委员会批准[审批号:医研伦审(2024)第 68-01 号]。

1.2 方法

1.2.1 CT 定位及靶区勾画

定位前准备:患者需提前 2 h 排空大小便,再摄入 800 mL 水,憋尿,使膀胱呈充盈状态。体位固定:呈仰卧位,通过热塑模加以固定。CT 定位扫描:采用 Brilliance CT(Big Bore)进行定位,扫描范围为肝顶到坐骨结节下 2 cm,层厚为 5 mm。CT 图像传输:扫描完成后,以 DICOM 文件格式将图像上传到医生工作站。靶区和危及器官勾画:同一位医生在 Monaco 计划系统中负责完成患者靶区和危及器官的勾画。临床靶区(clinical target volume, CTV)勾画范围为上界

主动脉分叉水平,下界阴道残端 3 cm;危及器官勾画为直肠、膀胱、小肠、左股骨头、右股骨头、脊髓等。PTV 为 CTV 沿各个方向外扩 7 mm。

1.2.2 放疗计划设计

本研究采用医科达 Axesse、Synergy 直线加速器,其中 Axesse 直线加速器装备了 Agility™ 型 80 对 5 mm MLC, Synergy 直线加速器装备了 MLCi2 型 40 对 10 mm MLC。由同一物理师使用医科达的 Monaco6.0 治疗计划系统对每个宫颈癌术后患者分别制订 Agility™-MLC 和 MLCi2-MLC 的 VMAT 两种计划。制作计划环节,计划中心点皆为 PTV 几何中心, X 射线能量为 8 MeV, VMAT 计划设置 4 弧技术,小机头与治疗床的角度是 0°。具体机架转动角度为逆时针 150°~210°、顺时针 210°~150°,然后再逆时针 160°~200°、顺时针 200°~160°。同一患者两种计划的优化参数和设置保持一致。PTV 的处方剂量为 45 Gy/25 次, 1.8 Gy/次;每个计划处方剂量需要覆盖 PTV 的体积 ≥ 95%。危及器官的限量条件:膀胱 V₄₅ < 50%、直肠 V₄₅ < 50%、小肠 V₃₀ < 40%、左股骨头 V₄₅ < 5%、右股骨头 V₄₅ < 5%,其中 V₃₀ 和 V₄₅ 分别指危及器官接受 30、45 Gy 剂量照射的体积百分比。

1.2.3 评估指标

通过剂量-体积直方图,记录每个 PTV 最大剂量(maximum dose, D_{max})、最小剂量(minimum dose, D_{min})和平均剂量(mean dose, D_{mean})、处方剂量覆盖 PTV 的体积百分比(V₄₅)、适形性指数(conformity index, CI)和均匀性指数(homogeneity index, HI)。

CI 的计算公式为:

$$CI = \frac{V_{t,ref}^2}{V_t \times V_{ref}} \quad (1)$$

式(1)中, V_t、V_{t,ref}、V_{ref} 依次为靶区体积、处方剂量线包绕的靶区体积、处方剂量线面包绕整个区域的体积。CI 值越趋于 1,表明治疗计划的适形性越好,处方剂量越能将靶区紧密覆盖。

HI 的计算公式为:

$$HI = \frac{D_2 - D_{98}}{D_{50}} \quad (2)$$

式(2)中, D₂、D₅₀ 和 D₉₈ 依次为 2%、50%、98% 靶区体积受照的剂量。HI 值越趋于 0,表明靶区内剂量的分布越均匀,没有明显的热区或冷区。

1.2.4 危及器官受照剂量参数比较

危及器官受照射剂量是评估放疗计划好坏的关键指标之一。PTV 达到临床处方的受照剂量标准且剂量分布均匀;同时尽量降低危及器官的照射剂量,满足临床剂量限制条件以保护正常组织,减少射线带来的副作用和并发症的风险,提高患者的生活质量^[16-19]。两组计划均满足危及器官的临床剂量限制条件。危及器官的评价参数为膀胱、直肠、左股骨头、右股骨头和小肠的 V₁₀、V₂₀、V₃₀、V₄₀、D_{max}、D_{mean},以

及脊髓的 D_{max} 。

1.2.5 剂量分布验证比较

在实施放疗计划前,计划 QA 剂量分布验证是确保治疗计划准确性和安全性的重要步骤。计划 QA 剂量分布验证的流程:(1)验证设备准备,选择剂量验证设备(如 MapCHECK、ArcCHECK),然后依次进行模体摆位、通讯检测、本底测量。(2)数据导出,从计划系统(如 Monaco、Eclipse)中把宫颈癌术后患者计划 RT Plan 和 RT Dose 文件导入测量电脑。(3)剂量分布测量,设置与治疗计划一致的机架角度、光束参数和治疗位置。按照治疗计划的参数,在验证设备上实施模拟放疗。(4)数据分析,通过软件测量加速器实际出束剂量分布,并将其与计划剂量分布进行比较,以确保放疗计划的实施符合预期的剂量分布,保障患者的治疗安全和效果,提高治疗准确度^[20-23]。质量评估指标为计划的 γ 通过率和每个计划的总机器跳数(monitor unit, MU)。

1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0 软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PTV 剂量学参数比较

与 MLCi2-MLC 比较,AgilityTM-MLC 的 V_{45} 、CI、HI 更优,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

表 1 PTV 剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

项目	MLCi2-MLC ($n=20$)	Agility TM -MLC ($n=20$)	t	P
V_{45} (%)	97.60±0.75	98.44±0.53	-5.815	<0.001
D_{max} (Gy)	49.25±0.24	49.26±0.27	-0.136	0.893
D_{min} (Gy)	37.97±2.45	38.47±2.34	-1.876	0.076
D_{mean} (Gy)	46.72±0.10	46.70±0.12	0.350	0.730
CI	0.93±0.01	0.94±0.01	-2.654	0.016
HI	0.06±0.01	0.05±0.01	6.163	<0.001

2.2 危及器官受照剂量学参数比较

与 MLCi2-MLC 比较,AgilityTM-MLC 的膀胱 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} ,直肠 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} ,左股骨头 V_{10} 、 D_{mean} 及小肠 V_{10} 、 V_{30} 、 D_{mean} 、 D_{max} 更低,膀胱 V_{45} 、直肠 V_{45} 、右股骨头 V_{20} 更高,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 2。

2.3 质量评估指标

选择 3 mm/3% 为评判标准来评估计划执行精确性, γ 通过率在 95% 以上,与临床治疗需求相符。与 MLCi2-MLC 比较,AgilityTM-MLC 的 γ 通过率更低 [(98.31±0.64)% vs. (99.73±0.37)%],差异有统计学意义($P < 0.05$)。AgilityTM-MLC 与 MLCi2-MLC 的 MU 比较 (996.74±65.46 vs. 996.80±

49.77),差异无统计学意义($P > 0.05$)。

表 2 危及器官受照剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

项目	MLCi2-MLC ($n=20$)	Agility TM -MLC ($n=20$)	t	P
膀胱				
V_{10} (%)	100.00±0.00	100.00±0.00		
V_{20} (%)	98.87±1.63	97.90±3.26	1.895	0.073
V_{30} (%)	74.77±6.40	72.53±6.95	5.197	<0.001
V_{40} (%)	51.92±6.07	51.55±6.11	3.904	0.001
V_{45} (%)	37.71±5.99	38.13±6.12	-2.299	0.033
D_{max} (Gy)	48.60±0.24	48.68±0.27	-1.109	0.281
D_{mean} (Gy)	38.05±1.31	37.68±1.33	5.092	<0.001
直肠				
V_{10} (%)	98.37±2.35	97.88±2.91	3.077	0.006
V_{20} (%)	96.28±3.80	96.01±3.94	3.046	0.007
V_{30} (%)	90.77±5.46	90.06±5.32	3.093	0.006
V_{40} (%)	65.91±2.97	65.57±2.51	1.360	0.190
V_{45} (%)	44.08±2.62	46.58±2.40	-7.166	<0.001
D_{max} (Gy)	48.97±0.34	49.03±0.29	-0.770	0.451
D_{mean} (Gy)	40.67±1.21	40.59±1.29	1.589	0.129
左股骨头				
V_{10} (%)	83.59±4.88	81.99±5.80	2.411	0.026
V_{20} (%)	36.67±5.04	35.32±3.29	2.036	0.056
V_{30} (%)	14.75±3.48	14.30±3.87	1.156	0.262
V_{40} (%)	1.52±1.03	1.51±1.08	0.01	0.992
V_{45} (%)	0.02±0.05	0.03±0.05	-0.614	0.547
D_{max} (Gy)	44.46±1.39	44.47±1.39	-0.043	0.966
D_{mean} (Gy)	18.38±1.39	18.04±1.17	2.146	0.045
右股骨头				
V_{10} (%)	81.74±6.76	82.41±6.63	-0.678	0.506
V_{20} (%)	35.69±5.05	37.81±6.70	-2.126	0.047
V_{30} (%)	12.49±2.96	11.93±2.67	1.330	0.199
V_{40} (%)	1.69±1.11	1.59±1.03	0.977	0.341
V_{45} (%)	0.05±0.12	0.05±0.11	0.057	0.956
D_{max} (Gy)	44.97±1.19	44.86±1.36	0.758	0.458
D_{mean} (Gy)	18.07±1.21	18.33±1.42	-1.726	0.101
小肠				
V_{10} (%)	38.94±11.57	38.35±11.44	8.267	<0.001
V_{20} (%)	31.85±10.17	31.18±9.74	1.798	0.088
V_{30} (%)	16.11±5.20	15.63±5.13	4.460	<0.001
V_{40} (%)	8.17±3.50	8.15±3.46	0.666	0.514
V_{45} (%)	5.18±2.76	5.22±2.69	-1.044	0.309
D_{max} (Gy)	48.53±0.28	48.35±0.45	2.181	0.042
D_{mean} (Gy)	12.46±3.25	12.18±3.16	5.957	<0.001
脊髓				
D_{max} (Gy)	31.18±2.22	30.66±2.29	2.089	0.050

3 讨论

随着放疗快速的发展,MLC 的结构设计也在不断改进和完善。世界各地厂家推出多种结构形式的 MLC,通过叶片宽度和数量、射野大小、运动速度和聚焦等的改变,实现更加精确化、个性化、效率化的放疗。医科达 Agility™ 和 MLCi2 都属于内置式 MLC,Agility™-MLC 相比于 MLCi2-MLC 在叶片数量和运动速度上有明显优势,能够提供更精确和更高效的放疗,适合复杂和高精确的治疗方案,但选择哪种 MLC 取决于具体的临床需求和治疗目标。

已有不少学者研究不同 MLC 宽度对肿瘤放疗 IMRT 中剂量学的影响。陈济杭等^[24]研究了 Agility™-MLC 与 MLCi2-MLC 对宫颈癌 IMRT 计划的影响,结果发现选择 Agility™-MLC 的 IMRT 计划在靶区适形性、均匀性及危及器官受量方面表现出明显优势,但 MU 的增加和治疗时间的延长需要考虑。葛佳林等^[25]研究结果表明,医科达 Agility™-MLC 在头部、颈部、胸部、乳腺、腹部和盆腔部位靶区的均匀性和对危及器官保护方面较 MLCi2-MLC 更有优势,尤其是在处理腹部肿瘤和具有双靶区的患者。FATHY 等^[13]研究了不同 MLC 宽度在前列腺癌放疗中的 IMRT 和 VMAT 计划质量影响,结果表明 MLC 设计可以改善计划的剂量学参数,克服在前列腺癌晚期放疗模式下制订最佳治疗方案的挑战。对于 IMRT 和 VMAT,较小宽度的 MLC (5 mm) 能提供更好的 PTV 覆盖,改善 PTV 的剂量学参数,并减少前列腺癌患者的剂量输送时间,故推荐使用 5 mm MLC 进行前列腺低分次治疗。MURTAZA 等^[26]研究了叶片宽度对放疗计划质量的剂量学影响,针对前列腺和头颈部患者分别设计了 MLC 宽度为 4 mm 和 10 mm 的 VMAT 计划。VMAT 采用单弧、双弧和 2 个独立的单弧组合 3 种方案,结果表明 2 种肿瘤部位的所有 VMAT 计划将 MLC 宽度从 10 mm 改变至 4 mm 后,靶区覆盖率明显提高,同时危及器官受照剂量在允许剂量范围内。在临床应用 IMRT 和 VMAT 时,应兼顾操作便捷、机器装置维护、治疗效率、患者的舒适性等多方面的相关因素,做出最适合患者的设备和治疗技术。

目前,大多数研究为 MLC 对 IMRT 计划的影响,而不同类型 MLC 对宫颈癌术后 VMAT 剂量学差异的报道较少,因此,本研究探讨了医科达 Agility™-MLC、MLCi2-MLC 在宫颈癌术后 VMAT 对 PTV 和危及器官剂量学参数,结果表明,Agility™-MLC 处方剂量覆盖率比 MLCi2-MLC 高 0.86%,Agility™-MLC PTV 的 HI 和 CI 优于 MLCi2-MLC,表明 Agility™-MLC 射野边缘越平滑,能更好地控制靶区中剂量,有更好的适形性。与 MLCi2-MLC 比较,Agility™-MLC 的膀胱 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 更低, V_{45} 更高 ($P < 0.05$),直肠 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 更低, V_{45} 更高 ($P < 0.05$),

说明膀胱、直肠与靶区重叠区域,Agility™-MLC 不会因过度保护膀胱和直肠致使靶区欠量,同时对膀胱和直肠高、低剂量区控制也有一定的优势。与 MLCi2-MLC 比较,Agility™-MLC 的左股骨头 V_{10} 、 D_{mean} 更低 ($P < 0.05$),表明 Agility™-MLC 对低剂量区控制更优,对高剂量区控制较弱。与 MLCi2-MLC 比较,Agility™-MLC 的右股骨头 V_{20} 更高 ($P < 0.05$),小肠 V_{10} 、 V_{30} 、 D_{max} 、 D_{mean} 更低 ($P < 0.05$),说明 Agility™-MLC 对小肠高低剂量区保护都更有优势。与 MLCi2-MLC 比较,Agility™-MLC 的 γ 通过率更低 [$(98.31 \pm 0.64)\%$ vs. $(99.73 \pm 0.37)\%$],差异有统计学意义 ($P < 0.05$),表明 5 mm 宽度的 Agility™-MLC 在宫颈癌术后 VMAT 计划中产生了更多、更小的子野,子野越小降低了 γ 通过率。而 Agility™-MLC 与 MLCi2-MLC 的 MU 比较 (996.74 ± 65.46 vs. 996.80 ± 49.77),差异无统计学意义 ($P > 0.05$),说明理论上两种治疗中机器的出束时间相差不大。

综上所述,两种计划 PTV 与危及器官都符合临床治疗剂量限制条件,Agility™-MLC PTV 的 HI 与 CI 优于 MLCi2-MLC;在高剂量区和低剂量区,Agility™-MLC 对危及器官的保护效果也更佳。因此,建议在临床设计宫颈癌术后的 VMAT 计划时,尽量选择 Agility™-MLC。

参考文献

- [1] 狄江丽,张小松,赵更力,等.《子宫颈癌综合防控指南(第2版)》解读[J].中国妇幼卫生杂志,2024,15(2):1-5.
- [2] 夏玲芳,朱俊,吴小华.2023年ESMO妇科肿瘤治疗最新进展及展望[J].中国癌症杂志,2023,33(11):969-980.
- [3] THAKUR N,KAUR H,KAUR S,et al. Comparative analysis of VMAT and IMRT techniques: evaluation of dose constraints and bone marrow sparing in cervical cancer patients undergoing chemoradiotherapy [J]. Asian Pac J Cancer Prev,2024,25(1):139-144.
- [4] 常娟娟,李太平,康婉英,等.容积旋转调强与调强放疗在宫颈癌放疗中的应用及剂量学、安全性研究[J].陕西医学杂志,2024,53(2):194-198.
- [5] 蒲琴,赵彪,袁美芳,等.基于内缘切线拉弧的VMAT在左侧乳腺癌保乳术后放疗中的应用[J].现代肿瘤医学,2024,32(8):1480-1485.
- [6] 阳华东,黎鹏,袁强,等.中上段食管癌在不同呼吸时相下VMAT技术放疗的剂量学研究[J].川北医学院学报,2024,39(2):234-238.
- [7] 王瑜,康婉英,王光明,等.3D-CRT、IMRT和

- VMAT 放疗技术在早期宫颈癌根治术后辅助放疗中的应用[J]. 保健医学研究与实践, 2023, 20(6):56-60.
- [8] OSHIRO Y, MIZUMOTO M, KATO Y, et al. Single isocenter dynamic conformal arcs-based radiosurgery for brain metastases: dosimetric comparison with Cyberknife and clinical investigation[J]. Tech Innov Patient Support Radiat Oncol, 2024, 29:100235.
- [9] HALL J, MOON A, YOUNG M, et al. Biochemical safety of SBRT to multiple intrahepatic lesions for hepatocellular carcinoma [J]. J Hepatocell Carcinoma, 2024, 11:443-454.
- [10] 周景润, 朱绍林, 朱磊, 等. 多叶准直器的设计与临床应用评价[J]. 中国辐射卫生, 2023, 32(2): 202-208.
- [11] 贾晓斌, 岳堃. MLC 运动误差对不同射野面积的鼻咽癌容积调强计划的影响[J]. 中国医疗设备, 2024, 39(3):68-72.
- [12] 陈车, 陈睿, 陆治江, 等. 多叶准直器角度改变对左侧全乳大分割放疗瘤床推量的剂量学影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2023, 41(4):53-59.
- [13] FATHY M M, HASSAN B Z, EL-GEHALY R H, et al. Dosimetric evaluation study of IMRT and VMAT techniques for prostate cancer based on different multileaf collimator designs [J]. Radiat Environ Biophys, 2023, 62(1):97-106.
- [14] MAHANI L, KAZEMZADEH A, SAEB M, et al. Dosimetric impact of different multileaf collimators on cardiac and left anterior descending coronary artery dose reduction[J]. J Cancer Res Ther, 2023, 19(3):633-638.
- [15] HANVEY S, HACKETT P, WINCH L, et al. A multi-centre stereotactic radiosurgery planning study of multiple brain metastases using isocentric linear accelerators with 5 and 2.5 mm width multi-leaf collimators, CyberKnife and Gamma Knife[J]. BJR Open, 2023, 6(1): tzae003.
- [16] D'AGOSTINO G R, BADALAMENTI M, STEFANINI S, et al. Long term update on toxicity and survival of a phase II trial of linac-based stereotactic body radiation therapy for low-intermediate risk prostate cancer [J]. Prostate, 2024, 84(4):368-375.
- [17] BENSENANE R, HELFRE S, CAO K, et al. Optimizing lung cancer radiation therapy: a systematic review of multifactorial risk assessment for radiation-induced lung toxicity [J]. Cancer Treat Rev, 2024, 124:102684.
- [18] LU Y, HUI B, YANG D, et al. Efficacy and safety analysis of hypofractionated and conventional fractionated radiotherapy in postoperative breast cancer patients [J]. BMC Cancer, 2024, 24(1):181.
- [19] PAAL K, STRANZ B, THURNER E M, et al. Comprehensive geriatric assessment predicts radiation-induced acute toxicity in prostate cancer patients [J]. Strahlenther Onkol, 2024, 200(3):208-218.
- [20] KOSAKA T, TAKATSU J, INOUE T, et al. Dosimetric evaluation in helical TomoTherapy for lung SBRT using Monte Carlo-based independent dose verification software [J]. J Appl Clin Med Phys, 2024, 25(5):e14305.
- [21] STEDEM A, TUTTY M, CHOFOR N, et al. Systematic evaluation of spatial resolution and gamma criteria for quality assurance with detector arrays in stereotactic radiosurgery [J]. J Appl Clin Med Phys, 2024, 25(2):e14274.
- [22] YANG J, DONG S, HUANG Y, et al. Comparison of ArcCHECK and portal dosimetry in dose verification for intensity modulated radiotherapy plan for craniospinal irradiation [J]. J Radiat Res, 2023, 16(2):100534.
- [23] 庄雅靖, 王宁, 郭燕陶, 等. 乳腺癌根治术后 VMAT 大分割放疗的剂量学分析及疗效研究 [J]. 重庆医学, 2024, 53(16):2448-2452.
- [24] 陈济杭, 柏朋刚, 陈文娟, 等. 多叶准直器叶片宽度对宫颈癌调强放疗计划的影响 [J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(10):49-52.
- [25] 葛佳林, 何瑞龙, 许士奇. 医科达加速器多叶光栏 Agility 与 MLCi2 在调强放射治疗计划中的剂量学比较 [J]. 生物医学工程与临床, 2023, 27(3):337-341.
- [26] MURTAZA G, SHAMSHAD M, AHMED M, et al. Dosimetric sensitivity of leaf width on volumetric modulated arc therapy plan quality: an objective approach [J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2022, 27(1):76-85.