

Varian Edge 加速器治疗长尺寸肿瘤的剂量学分析

冯维贵 郭逸潇 张利娟 蔡宏懿 杜文

(甘肃省人民医院放疗科 兰州 730000)

摘要 使用 Varian Edge 直线加速器治疗长尺寸肿瘤的宫颈癌患者,比较新设计的计划(NewPlan)和治疗计划系统(Treatment planning system, TPS)自动生成双中心添加射野的计划(AutoPlan),探讨二者剂量学差异,寻求更有益的治疗方式。根据加速器多叶光栅准直器的特点,回顾分析 11 例同步加量容积旋转调强放疗(Volumetric modulated arc therapy, VMAT)的宫颈癌治疗计划,基于 Eclipse 13.6.23 版本的计划系统,用 SPSS 19.0 统计软件分析数据,GraphPad prism 9.0 软件绘制统计图,分析 NewPlan 与常规 AutoPlan 计划中计划靶区和危及器官的剂量分布差异。结果表明:两种方案均满足剂量学指标要求。高剂量区域 PGTVnd 的 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 D_{mean} 、靶区覆盖率(Target coverage, TC)和均匀性指数(Heterogeneity index, HI)有明显差异($p < 0.05$);靶区 CTV 差异没有统计学意义($p > 0.05$);计划靶区 PTV 的 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 D_{mean} 和 HI 有明显差异($p < 0.05$)。膀胱和直肠的 D_{mean} 、 V_{30} 、 V_{40} 差异均有统计学意义($p < 0.05$),与 AutoPlan 对比,NewPlan 中膀胱和直肠在受照相同剂量下所占的体积百分比更低。双侧股骨头和小肠的各项指标差异无统计学意义($p > 0.05$)。比较两计划得知,NewPlan 能够减少靶区内的冷点和热点,提高肿瘤区域的治疗剂量,降低危及器官受量,有利于提升疗效。基于 Varian Edge 加速器治疗长尺寸肿瘤患者的 NewPlan 设计方案是可行的。

关键词 同步加量调强放射治疗,宫颈癌,治疗计划系统,剂量学,容积旋转调强放疗

中图分类号 TL72

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0012

Dosimetric analysis of the Varian Edge accelerator for long-size tumor treatment

FENG Weigui GUO Yixiao ZHANG Lijuan CAI Hongyi DU Wen

(Department of Radiotherapy, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT Among the cervical cancer treatments for patients with long-size tumors using the varian edge linear accelerator, we compared the newly designed plan (NewPlan) with the AutoPlan, which was automatically generated by the treatment planning system, and explored the dosimetric difference between the two plans for a more beneficial treatment. According to the accelerator's multi-leaf collimator characteristics, 11 cases of cervical cancer treatment plans using the simultaneous volumetric modulated arc therapy were selected. Based on the Eclipse 13.6.23 version of the planning system, the SPSS 19.0 statistical software was used to analyze the data, and the

基金资助: 甘肃省自然科学基金(21JR7RA598、21JR1RA010)资助

第一作者: 冯维贵,女,1981年1月出生,2009年毕业于西北师范大学理论物理专业,现为甘肃省人民医院放疗科医学物理师,从事放射治疗医学物理工作。

通信作者: 蔡宏懿,博士,硕士生导师,主任医师, E-mail: gschy333@163.com

收稿日期: 初稿 2022-01-13; 修回 2022-06-13

Supported by Natural Science Foundation of Gansu Province (21JR7RA598, 21JR1RA010)

First author: FENG Weigui (female) was born in January 1981, and graduated from Northwest Normal University in 2009, majoring in theoretical physics. Now she works in the Department of Radiation Oncology of Gansu Provincial Hospital as a medical physicist, engaging in medical physics of radiation therapy

Corresponding author: CAI Hongyi, doctoral degree, master's supervisor, chief physician, E-mail: gschy333@163.com

Received 13 January 2022; accepted 13 June 2022

GraphPad prism 9.0 software was used to produce statistical graphs. The dose distribution difference between the NewPlan and conventional AutoPlan in the target area and organs at risk was analyzed. The results showed that the two plans met the dosimetry requirements. There were significant differences in the $D_{98\%}$, $D_{50\%}$, D_{mean} , target coverage, and heterogeneity index (HI) of the PGTVnd in the high dose area ($p < 0.05$). There was no significant difference in the target area CTV ($p > 0.05$). There were significant differences in the $D_{2\%}$, $D_{98\%}$, $D_{50\%}$, D_{mean} , and HI of PTV in the planned target area ($p < 0.05$). The differences of the D_{mean} , V_{30} , and V_{40} of the bladder and rectum were statistically significant ($p < 0.05$). The volume percentage of the bladder and rectum in the NewPlan was lower compared with that of the AutoPlan at the same dose. There was no statistical difference in the dosimetry parameters of the bilateral femoral head and small intestine ($p > 0.05$). The comparison of the two plans reveals that the NewPlan can reduce cold and hot spots in the target area, improve the therapeutic dose in the tumor area, and reduce the dose of the organs at risk, which is conducive to improving the efficacy. Based on the varian edge accelerator, the NewPlan design is feasible for the treatment of patients with long-size tumors.

KEYWORDS Simultaneous modulated accelerated radiotherapy, Cervical cancer, Treatment planning system, Dosimetry, Volumetric modulated arc therapy

CLC TL72

瓦里安公司 TrueBeam 系列 Edge 加速器最大视野尺寸 Y 轴方向 22 cm、 X 轴方向 30 cm, 准直器中心 32 对光栅叶片宽为 2.5 mm, 两端 28 对叶片宽为 5 mm、长 17.63 cm, 配置高精度的验证及定位等系统设备, 具有实施精准放疗的优势^[1-3]。对于尺寸超过 21 cm 的肿瘤, 计划系统会自动生成双中心治疗计划。本文回顾性选取 11 例中晚期宫颈癌治疗计划, 其治疗靶区在头脚方向 (Y 轴方向), 长度均大于 21 cm (加速器的最大视野尺寸), 新设计一个等中心计划 (NewPlan) 和治疗计划系统 (Treatment planning system, TPS) 自动设计的两个等中心计划 (AutoPlan)^[4-5] 进行剂量学分析比较, 评估该方法的可行性, 以期为患者寻求更适合的计划设计方式。

宫颈癌是女性常见恶性肿瘤之一^[6-7], 严重威胁女性生命健康, 发病率和病死率呈逐年升高趋势, 全球宫颈癌患者约 90% 的病死率发生在中低收入国家。淋巴结转移是宫颈癌转移的主要途径^[8-10], 在中国西北部地区, 由于医疗卫生条件所限和人民健康意识薄弱等各种原因, 很多宫颈癌患者检查和治疗时都已经为中晚期。放射治疗是宫颈癌的主要治疗手段之一, 但是由于病变区域紧邻膀胱、直肠、小肠等重要器官, 探索最优的计划设计方案成为病人生存获益的主要考虑之一。本研究基于 Varian Edge 加速器的特点, 利用容积旋转调强放疗 (VMAT) 技术治疗较长靶区的宫颈癌患者, 评估两种设计方案的剂量学优劣。

1 材料与方法

1.1 材料

回顾性选取 2019 年 8 月至 2020 年 3 月甘肃省人民医院放疗科的 11 例中晚期宫颈癌放疗计划, 均有盆腔淋巴结转移, 依据 FIGO 分期: IIB 期 5 例、IIIB 期 1 例、IIIC 期 5 例, 医师确认需同步加量放射治疗。其中头脚方向 (Y 轴方向) 计划靶区长度最小值是 21.87 cm, 最大值是 29.44 cm, 中位值是 26.11 cm, 与加速器视野尺寸相比, 在头脚方向靶区长度为 21~30 cm, 大于准直器光栅尺寸。

原治疗计划中患者采用热塑腹膜固定, 俯卧位, 在大孔径螺旋 CT 模拟定位机 (PHILIPS 公司) 下进行静脉增强扫描, 层厚 5 mm, 获得 CT 图像传输至 Eclipse 计划系统 (版本 13.6.23, Varian 公司) 上设计容积旋转调强计划, 选择 6 MV 光子线、剂量率 600 MU/min。Aria 网络管理系统传输, 医用直线加速器 Edge (Varian 公司) 执行计划, 电子射野影像装置 (Electronic portal imaging device, EPID) 进行剂量 (Portal dosimetry, PD) 验证, EPID (型号 aSi-1200) 探测面板为验证模体。

1.2 靶区和危及器官定义

根据 NCCN 指南勾画靶区及危及器官 (Organ at risk, OARs)。靶区包括: 腹主动脉旁淋巴引流区 PGTVnd、宫旁靶体积 CTV、计划靶体积 PTV。其中 PTV 包括原瘤区、上段阴道、宫旁及髂总、髂内、髂

外、骶前、闭孔和腹主动脉旁淋巴引流区。OARs 包括:直肠、膀胱、小肠、双侧股骨头。医师勾画靶区和 OARs,物理师设计计划,由主任医师和其他物理师审核。临床处方剂量要求:PGTVnd=6 160 cGy/28 F,CTV=5 600 cGy/28 F,PTV=5 040 cGy/28 F,5 F/周,要求处方剂量至少覆盖 95% 的计划靶区体积。

1.3 计划设计

计划系统优化模型中,两种计划均选择相同的物理约束条件和等效均匀剂量(Equivalent uniform dose, EUD)约束条件,选择铅门跟随技术^[11-13]。根据处方,计划设计中目标 PGTVnd 区域设定 6 160 cGy/28 次,CTV 区域(包含 PGTVnd 体积)设定 5 600 cGy/28 次,PTV 区域(包含 CTV 体积)设定 5 040cGy/28 次。每种计划分别采用 4 个全弧,机架从 181°~179°旋转或从 179°~181°旋转,床角为 0°。计划系统自动生成的 AutoPlan 为两个等中心,每个中心两个全弧野,每一个等中心处准直器角度设为 10°和 350°,共 4 个野;新设计 NewPlan 计划中,准直器角度分别设为 10°和 350°各一个全弧野、上下再各补一个准直器角度为 90°的全弧野,共 4 个野。

1.4 治疗计划评价指标

参考 ICRU 83 号报告^[14],按以下指标评估计划靶区剂量:近似最大剂量 $D_{2\%}$;中位剂量 $D_{50\%}$;近似最小剂量 $D_{98\%}$;平均剂量 D_{mean} 。此外,在本研究中还引入^[15-17]靶区覆盖率(Target coverage, TC, 变量记为 C_T)、适形性指数(Conformity index, CI, 变量记为 C_I)以及均匀性指数(Homogeneity index, HI, 变量记为 H_I)来评估计划质量。

$$C_T = \frac{V_{P \cap T}}{V_T}$$

$$C_I = \frac{V_{P \cap T}}{V_T} \times \frac{V_{P \cap T}}{V_P}$$

$$H_I = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}}$$

式中: $V_{P \cap T}$ 指处方等剂量线所包绕的靶体积; V_T 是靶区的体积; V_P 是处方等剂量线所围绕的治疗体积。根据上述公式评估治疗计划,当处方等剂量线完全覆盖靶区时 C_T 为 100%,大于 95% 时计划可执行。 C_I 值介于 0~1, C_I 值越接近于 1,说明靶区适形度

越好; H_I 值越接近于 0,说明靶区内剂量分布的均匀性越好。

淋巴引流区 PGTVnd 和宫旁靶体积 CTV 的评估参数采用 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 D_{mean} 、 C_T 和 H_I 。计划靶体积 PTV 的评估指标采用 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 D_{mean} 、 C_I 和 H_I 。与以往评估方法^[18-19]有区别的是:考虑到剂量跌落梯度区域,本文中 CTV 的评估区域选取减去包含在 CTV 中的 PGTVnd 外扩 3 mm 的体积; PTV 的评估区域选取减去 PGTVnd 外扩 5 mm 和 CTV 外扩 3 mm 后的剩余体积。除 TC、CI 按原靶区区域采集数据评估外,其余剂量学指标均按裁切后的评估区域进行评估。危及器官(OARs)受照剂量评估参数:统计小肠、直肠和膀胱体积 V_{30} (V_{30} 为 3 000 cGy 所包绕的体积,下同)、 V_{40} 、 V_{50} 的受照剂量以及两侧股骨头平均剂量 D_{mean} ,比较两种计划之间的差异。危及器官限量要求为:小肠 $V_{50} < 10\%$,直肠 $V_{50} < 50\%$,膀胱 $V_{50} < 50\%$,两侧股骨头 $V_{50} < 5\%$ 。采用 EPID 对每个计划进行剂量验证,以 γ 分析 3%/3 mm 标准通过率达到 95% 以上视为计划通过。

1.5 统计方法

采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行分析,组间数据比较前进行 Shapiro-Wilk 正态性检验,若服从正态分布,采用配对 t 检验,反之则采用 Wilcoxon 符号秩检验,用 GraphPad prism 9.0 软件绘制统计图, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种计划对靶区的剂量学分析

靶区 PGTVnd 指标值见图 1,从图 1 可知,除 $D_{2\%}$ 差异无统计学意义外,其余指标差异均具有统计学意义 $p < 0.05$ 。其中 $D_{98\%}$ 相差 34.01 cGy, $D_{50\%}$ 相差 50.16 cGy, D_{mean} 相差 39.32cGy,靶区覆盖率 C_T 相差 0.008,均匀性指数 H_I 相差 0.005。

靶区 CTV 指标值见图 2,两种计划中各指标值相当,差异不具有统计学意义 ($p > 0.05$)。靶区 PTV 指标值见图 3,从图 3 可知,除 CI 差异没有统计学意义外,其余指标值差异均具有统计学意义 ($p < 0.05$)。其中 $D_{2\%}$ 相差 31.91 cGy, $D_{98\%}$ 相差 30.04 cGy, $D_{50\%}$ 相差 31.42 cGy, D_{mean} 相差 20.79 cGy, H_I 相差 0.011。

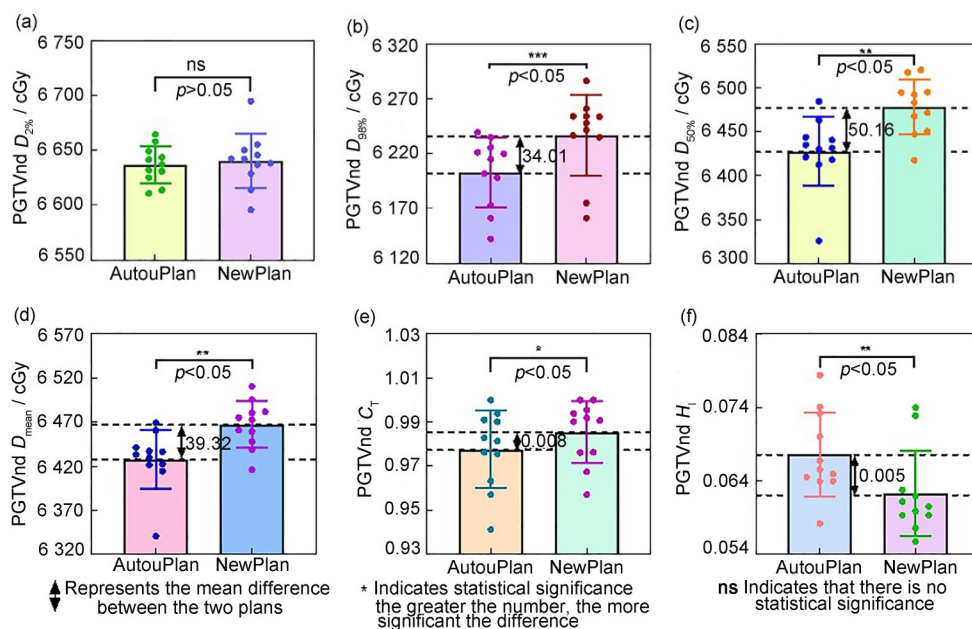


图1 PGTVnd靶区剂量学指标比较: (a) $D_{2\%}$ 、(b) $D_{98\%}$ 、(c) $D_{50\%}$ 、(d) D_{mean} 、(e) C_T 、(f) H_I 在两种计划中的统计分析
Fig.1 Comparison of dosimetric index in PGTVnd target areas: statistical analysis (a) $D_{2\%}$, (b) $D_{98\%}$, (c) $D_{50\%}$, (d) D_{mean} , (e) C_T , (f) H_I in two plans

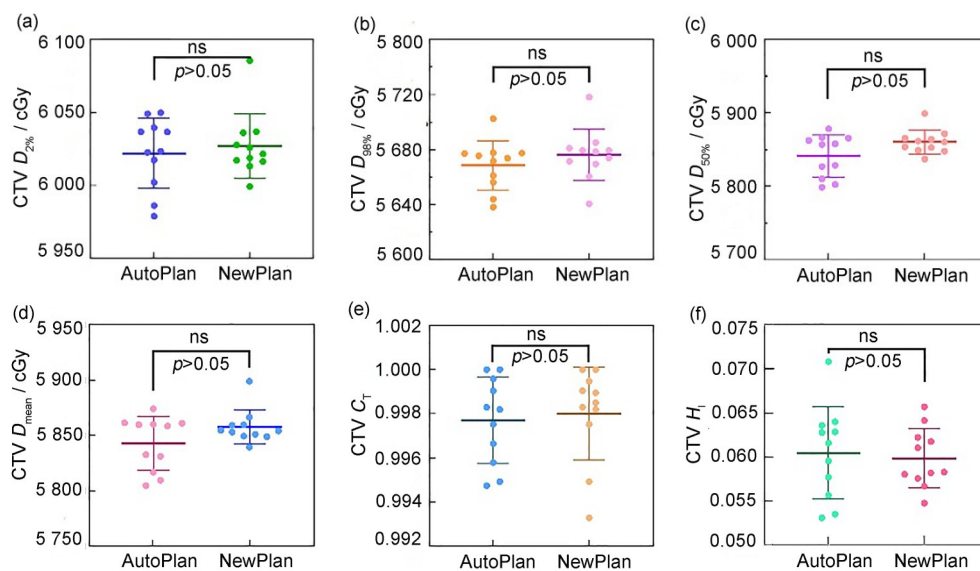
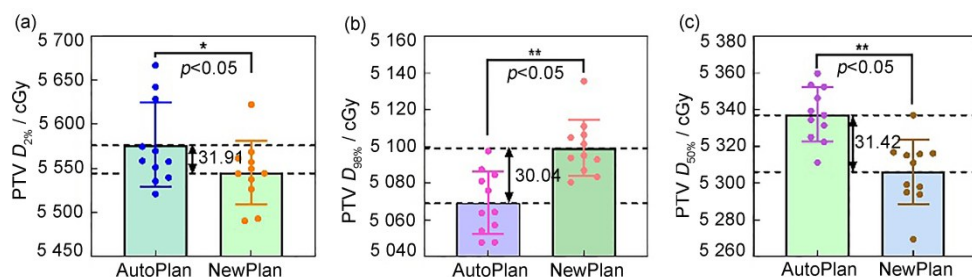


图2 CTV靶区剂量学指标比较: (a) $D_{2\%}$ 、(b) $D_{98\%}$ 、(c) $D_{50\%}$ 、(d) D_{mean} 、(e) C_T 、(f) H_I 在两种计划中的统计分析
Fig.2 Comparison of dosimetric index in CTV target areas: statistical analysis of (a) $D_{2\%}$, (b) $D_{98\%}$, (c) $D_{50\%}$, (d) D_{mean} , (e) C_T , (f) H_I in two plans



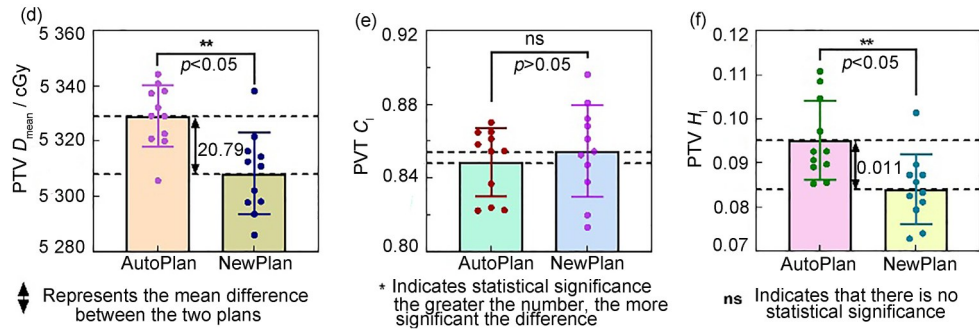


图3 PTV靶区剂量学指标比较: (a) $D_{2\%}$ 、(b) $D_{98\%}$ 、(c) $D_{50\%}$ 、(d) D_{mean} 、(e) C_1 、(f) H_1 为在两种计划中的统计分析
 Fig.3 Comparison of dosimetric index in PTV target areas: statistical analysis of (a) $D_{2\%}$, (b) $D_{98\%}$, (c) $D_{50\%}$, (d) D_{mean} , (e) C_1 , (f) H_1 in two plans

2.2 两种计划对OARs的剂量学分析

NewPlan和AutoPlan的危及器官剂量学指标比较及比较结果见图4~7。图4显示两侧股骨头的平均剂量差异均无统计学意义($p > 0.05$)；图5和图6中可

见膀胱和直肠 V_{50} 的差异没有统计学意义外,其余指标 D_{mean} 、 V_{30} 、 V_{40} 的差异均有统计学意义($p < 0.05$)；图7显示两计划中小肠的所有剂量学指标差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

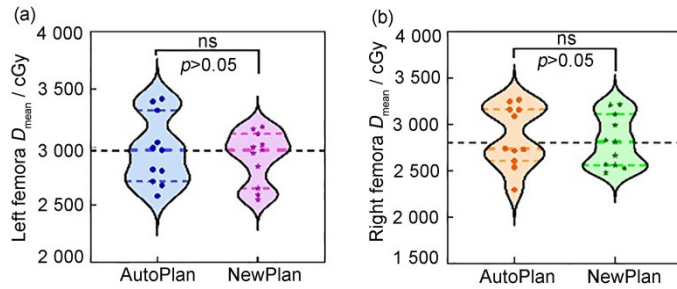


图4 两侧股骨头的剂量学指标比较: (a)、(b)依次为左侧股骨头和右侧股骨头在两种计划中的统计分析
 Fig.4 Comparison of dosimetric index in femora areas: (a), (b) are statistical analysis of left femora and right femora in two plans

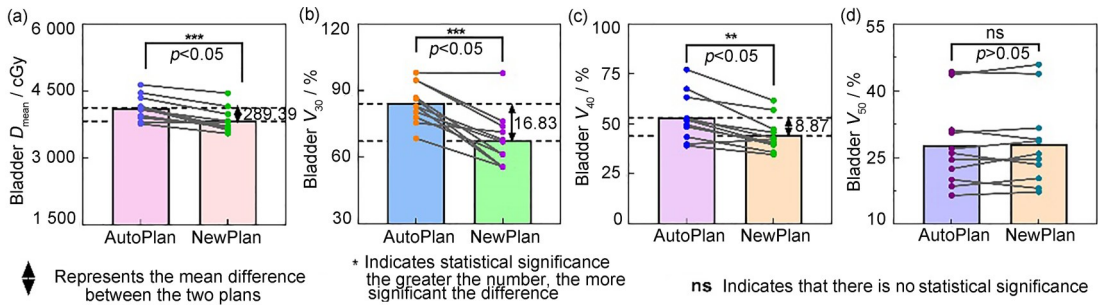


图5 膀胱的剂量学指标比较: (a) D_{mean} 、(b) V_{30} 、(c) V_{40} 、(d) V_{50} 为膀胱在两种计划中的统计分析
 Fig.5 Comparison of dosimetric index in bladder areas: statistical analysis of (a) D_{mean} , (b) V_{30} , (c) V_{40} , (d) V_{50} in two plans

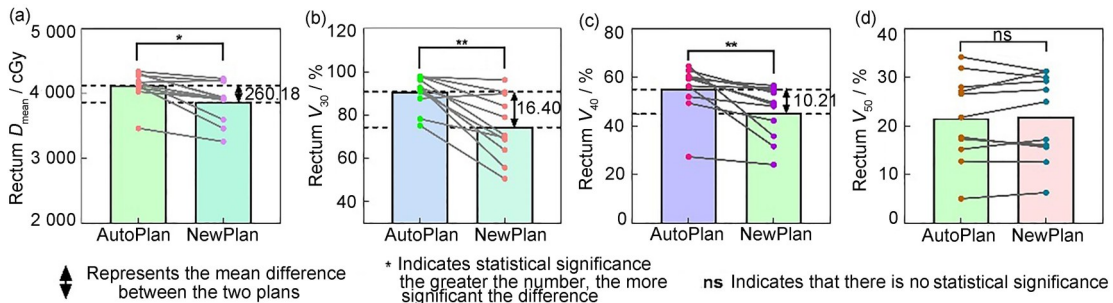


图6 直肠的剂量学指标比较: (a) D_{mean} 、(b) V_{30} 、(c) V_{40} 、(d) V_{50} 为直肠在两种计划中的统计分析
 Fig.6 Comparison of dosimetric index in rectum areas: statistical analysis of (a) D_{mean} , (b) V_{30} , (c) V_{40} , (d) V_{50} in two plans

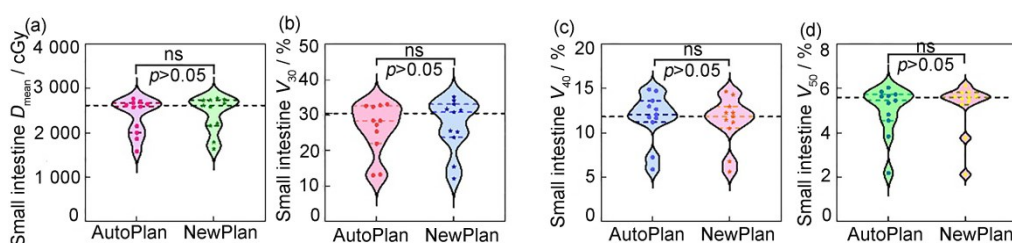


图7 小肠的剂量学指标比较:(a) D_{mean} 、(b) V_{30} 、(c) V_{40} 、(d) V_{50} 为小肠在两种计划中的统计分析

Fig.7 Comparison of dosimetric index in small intestine areas: statistical analysis of (a) D_{mean} , (b) V_{30} , (c) V_{40} , (d) V_{50} in two plans

3 讨论

NewPlan 计划与常规 AutoPlan 计划均为同步加量 VMAT 计划。VMAT 作为一种先进高效的调强放疗技术^[20-22], 自应用于临床以来, 已在头颈部肿瘤、食管癌、宫颈癌及直肠癌等多种恶性肿瘤的放射治疗中表现出一定的剂量学优势。Varian 公司的新型直线加速器 Edge, 其多叶光栅准直器的叶片宽度更窄, 剂量率高, 较其他直线加速器具有自身的独特性^[1-3], VMAT 技术治疗小体积肿瘤具有一定的剂量学优势, 更多的用于立体定向放射外科 (Stereotactic radiosurgery, SRS) 和体部立体定向放射治疗 (Stereotactic body radiotherapy, SBRT) 中。而调强放疗也广泛应用于宫颈癌的治疗, 可实现照射野内靶区剂量分布的有效调节, 从而减少正常组织的受照剂量, 减轻其不良反应, 提高宫颈恶性肿瘤的放射治疗疗效。同步加量调强技术治疗有淋巴结转移的宫颈癌患者的应用也越来越广泛, VMAT 技术应用于同步加量调强放疗越来越多被研究。在一部分恶性肿瘤的治疗中, 受 Edge 最大射野尺寸的限制, 用常规一个或两个弧设计治疗计划^[23-24]很难完全覆盖整个治疗区域。目前, 用此加速器治疗各种肿瘤的报道较少, 中晚期宫颈癌淋巴结发生转移, 放射治疗的计划靶区体积在头脚方向上长度较长, 本文探索使用 Edge 直线加速器治疗此类肿瘤的最优方案。

两种治疗计划方案靶区剂量均能满足临床评估要求。用同步推量 VMAT 调强放疗治疗技术治疗中晚期宫颈癌患者, NewPlan 与 AutoPlan 比较, NewPlan 能够减少靶区内的冷点和热点, 降低靶区内最大剂量, 提高最小剂量, 高剂量靶区和低剂量靶区区域内处方剂量值覆盖率更高, 剂量分布均匀性更好。能够提高靶区 PGTVnd 内中位剂量和平均剂量, 同时降低 PTV 整个靶区内的中位剂量和平均剂量, 更有利于降低周围正常组织的受量, 部分危及器官受照相同剂量的体积占比有显著差异。

NewPlan 中膀胱和直肠受相同剂量曲线包绕所占的体积百分比更低, 减少射线对正常组织的伤害, 可能有利于提升治疗质量, 提高病人生存质量, 符合对放射治疗计划的评估要求。统计数据及统计图得出结果 NewPlan 更优于 AutoPlan。

Edge 直线加速器能精确定位靶区位置, 配备有 EPID 和千伏锥形束 CT。EPID 早期主要用于射野摆位验证, 近年来开始逐步用于调强放疗的剂量验证^[28], Edge 加速器集成的 EPID 用作剂量 PD 验证。每位患者治疗前均需完成调强放射治疗计划的剂量验证, 并在治疗过程中定期用锥形束 CT 校正患者摆位偏差。NewPlan 是单中心计划, 比 AutoPlan 更容易实施, 更易用锥形束 CT 校正患者摆位偏差, 降低摆位过程中的误差, 更好地保证计划的执行精度。PD 验证结果显示, AutoPlan 两个中心计划 γ 通过率 (3%/3 mm 标准) 平均值为 99.5 ± 0.3 和 99.2 ± 0.6 ; NewPlan 单中心计划 γ 通过率 (3%/3 mm 标准) 平均值为 98.6 ± 0.8 , 均达到计划要求。但是 AutoPlan 在治疗的过程中需要考虑两部分计划衔接处的剂量分布, 而 NewPlan 实施过程中无需考虑衔接问题, 实际治疗过程中射束调制更准确。

综上所述, 对头脚方向靶区较长的中晚期宫颈癌患者, 采用 Edge 加速器治疗此类病人时选用本研究提出的 NewPlan 治疗方案更具有剂量学优势。将进一步探索利用 NewPlan 计划设计方案治疗其他类型的肿瘤, 如相距较远的两个或多个区域肿瘤、多发转移瘤、全中枢神经系统放疗等^[25-27], 加强临床近远期疗效和不良反应的评估。

作者贡献声明 冯维贵是本研究的设计者和实验的执行人, 完成数据分析, 论文初稿的写作; 郭逸潇负责论文审阅及修订; 张利娟和杜文参与数据收集; 蔡宏懿指导研究方法及论文写作。全体作者均已阅读并认可该论文最终版的所有内容。

参考文献

- 1 Mhatre V, Chadha P, Chauhan R, *et al.* Dosimetric comparison of two linear accelerator based radiosurgery system for Intracranial tumours with rapid arc and dynamic conformal arc therapy[J]. Iranian Journal of Medical Physics, 2021, **18**: 321-330. DOI: 10.22038/IJMP.2020.48162.1775.
- 2 戴振晖, 张白霖, 朱琳, 等. Edge 加速器 Calypso 4D 电磁定位系统精确性评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, **35**(5): 497-502. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2018.05.001.
DAI Zhenhui, ZHANG Bailin, ZHU Lin, *et al.* Evaluation of the accuracy of Calypso 4D electromagnetic localization system in Edge accelerator [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, **35**(5): 497-502. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2018.05.001.
- 3 马阳光, 王涛, 胡金炎, 等. 高分辨多叶准直器 HD-MLC 的 Edge 加速器 TPS 模型建立及测试[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, **28**(2): 113-118. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.02.007.
MA Yangguang, WANG Tao, HU Jinyan, *et al.* Commissioning and testing of treatment planning system model of an Edge accelerator with a high-definition multi-leaf collimator[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, **28**(2): 113-118. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.02.007.
- 4 Boman E, Rossi M, Kapanen M. The robustness of dual isocenter VMAT radiation therapy for bilateral lymph node positive breast cancer[J]. Physica Medica, 2017, **44**: 11-17. DOI: 10.1016/j.ejmp.2017.11.006.
- 5 Prabhu R S, Dhakal R, Piantino M, *et al.* Volumetric modulated arc therapy (VMAT) craniospinal irradiation (CSI) for children and adults: a practical guide for implementation[J]. Practical Radiation Oncology, 2022, **12**(2): e101-e109. DOI: 10.1016/j.prro.2021.11.005.
- 6 Fitzmaurice C, Dicker D, Pain A, *et al.* The global burden of cancer 2013[J]. JAMA Oncology, 2015, **1**(4): 505-527. DOI: 10.1001/jamaoncol.2015.0735.
- 7 Agustiansyah P, Sanif R, Nurmaini S, *et al.* WHO global strategy in eradication of cervical cancer[J]. Bioscientia Medicina: Journal of Biomedicine & Translational Research, 2021, **5**: 642-648. DOI: 10.32539/bsm.v5i3.328.
- 8 McMahan C J, Rofsky N M, Pedrosa I. Lymphatic metastases from pelvic tumors: anatomic classification, characterization, and staging[J]. Radiology, 2010, **254**(1): 31-46. DOI: 10.1148/radiol.2541090361.
- 9 Whitney C W, Sause W, Bundy B N, *et al.* Randomized comparison of fluorouracil plus cisplatin versus hydroxyurea as an adjunct to radiation therapy in stage IIB-IVA carcinoma of the cervix with negative Para-aortic lymph nodes: a Gynecologic Oncology Group and Southwest Oncology Group study[J]. Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology, 1999, **17**(5): 1339-1348. DOI: 10.1200/JCO.1999.17.5.1339.
- 10 武雅琴, 韩晶晶, 朱必清, 等. 宫颈癌腹主动脉旁淋巴结转移静态调强放疗与容积旋转调强放疗的剂量学比较[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2018, **38**(9): 1275-1279. DOI:10.7655/NYDXBNS20180920.
WU Yaqin, HAN Jingjing, ZHU Biqing, *et al.* Dosimetric study of intensity modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc radiotherapy for cervical cancer with Para-aortic lymph node metastasis[J]. Acta Universitatis Medicinalis Nanjing (Natural Science), 2018, **38**(9): 1275-1279. DOI: 10.7655/NYDXBNS20180920.
- 11 Pokhrel D, Sanford L, Halfman M, *et al.* Potential reduction of lung dose via VMAT with jaw tracking in the treatment of single-isocenter/two-lesion lung SBRT [J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2019, **20**(5): 55-63. DOI: 10.1002/acm2.12580.
- 12 苏欢繁, 张俊, 刘晖, 等. 准直器角度优化对胃癌调强放疗计划影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, **28**(5): 364-368. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.05.009.
SU Huanfan, ZHANG Jun, LIU Hui, *et al.* Influence of collimator angle optimization on intensity-modulated radiotherapy planning for gastric cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, **28**(5): 364-368. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.05.009.
- 13 叶红强, 康少锋, 夏新舍, 等. 两种固定铅门技术在宫颈癌术后容积旋转调强治疗计划剂量学比较[J]. 生物工程与临床, 2017, **21**(5): 516-519. DOI: 10.13339/j.cnki.sglc.20170906.013.
YE Hongqiang, KANG Shaofeng, XIA Xinshe, *et al.* Dosimetry comparison study of volumetric modulated arc therapy after cervical cancer operation between 2 fixed-jaw techniques[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2017, **21**(5): 516-519. DOI: 10.13339/j.cnki.sglc.20170906.013.
- 14 International Commission on Radiation Units and Measurements. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. Journal of the ICRU, 2010, **10**(1):27-40. DOI: 10.1093/jicru/ndq008.

- 15 Jin X C, Yi J L, Zhou Y Q, *et al.* Comparison of whole-field simultaneous integrated boost VMAT and IMRT in the treatment of nasopharyngeal cancer[J]. *Medical Dosimetry*, 2013, **38**(4): 418-423. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.05.004.
- 16 Kataria T, Sharma K, Subramani V, *et al.* Homogeneity Index: an objective tool for assessment of conformal radiation treatments[J]. *Journal of Medical Physics*, 2012, **37**(4): 207-213. DOI: 10.4103/0971-6203.103606.
- 17 Levegrün S, Pöttgen C, Wittig A, *et al.* Helical tomotherapy for whole-brain irradiation with integrated boost to multiple brain metastases: evaluation of dose distribution characteristics and comparison with alternative techniques[J]. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, 2013, **86**(4): 734-742. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2013.03.031.
- 18 廖博玉, 林晓辉, 李万祯, 等. 淋巴结阳性宫颈癌患者不同放疗方法的剂量学及临床学差异[J]. *实用医学杂志*, 2018, **34**(11): 1859-1862. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2018.11.026.
- LIAO Boyu, LIN Xiaohui, LI Wanzhen, *et al.* Analysis of dosimetry and clinical efficacy of bone marrow sparing intensity modulated radiotherapy in lymph-nodepositive cervical cancer[J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2018, **34**(11): 1859-1862. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2018.11.026.
- 19 邵琰, 王昊, 陈华, 等. 适形指数和均匀性指数的临床应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, **37**(9): 717-721. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.09.016.
- SHAO Yan, WANG Hao, CHEN Hua, *et al.* Clinical applications of conformity index and homogeneity index [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2017, **37**(9): 717-721. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.09.016.
- 20 Phongprapun W, Petsuksiri J, Tangboonduangjit P, *et al.* A study of single-isocenter for three intracranial lesions with VMAT-stereotactic radiosurgery: treatment planning techniques and plan quality determination[M]//Lhotska L, Sukupova L, Lacković I, *et al.* World congress on medical physics and biomedical engineering. Singapore: Springer Singapore, 2018: 481-485. DOI: 10.1007/978-981-10-9023-3_87.
- 21 刘乐乐, 胡金炎, 王芳娜, 等. 多发脑转移瘤铅门跟随 VMAT-SRS 计划与固定技术剂量学对比分析[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2019, **26**(20): 1542-1546. DOI: 10.16073/j.cnki.cjcp.2019.20.09.
- LIU Lele, HU Jinyan, WANG Fangna, *et al.* Dosimetric influence of jaw tracking and static jaw in volumetric modulated arc therapy plans for multiple brain metastases stereotactic radiosurgery[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2019, **26**(20): 1542-1546. DOI: 10.16073/j.cnki.cjcp.2019.20.09.
- 22 Shawata A S, Akl M F, Elshahat K M, *et al.* Evaluation of different planning methods of 3DCRT, IMRT, and RapidArc for localized prostate cancer patients: planning and dosimetric study[J]. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 2019, **50**(1): 1-8. DOI: 10.1186/s43055-019-0021-z.
- 23 Guy J B, Falk A T, Auberdiac P, *et al.* Dosimetric study of volumetric arc modulation with RapidArc and intensity-modulated radiotherapy in patients with cervical cancer and comparison with 3-dimensional conformal technique for definitive radiotherapy in patients with cervical cancer [J]. *Medical Dosimetry*, 2016, **41**(1): 9-14. DOI: 10.1016/j.meddos.2015.06.002.
- 24 Atiq A, Atiq M, Iqbal K, *et al.* A comparative study of RapidArc and intensity-modulated radiotherapy plan quality for cervical cancer treatment[J]. *Indian Journal of Cancer*, 2018, **55**(1): 74-79. DOI: 10.4103/ijc.IJC_609_17.
- 25 Pokhrel D, Sanford L, Larkin S, *et al.* On the use of single-isocenter VMAT plans for SBRT treatment of synchronous multiple lung lesions: plan quality, treatment efficiency, and early clinical outcomes[J]. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2020, **21**(8): 160-167. DOI: 10.1002/acm2.12938.
- 26 廖雄飞, 李厨荣, 黎杰, 等. 多等中心计划设计方法在全中枢神经系统调强放疗中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, **35**(10): 756-760. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.10.008.
- LIAO Xiongfei, LI Churong, LI Jie, *et al.* Application of intensity-modulated radiotherapy for craniospinal irradiation with multi-ISO centers planning method[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2015, **35**(10): 756-760. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.10.008.
- 27 Wang Z, Jiang W, Feng Y M, *et al.* A simple approach of three-isocenter IMRT planning for craniospinal irradiation [J]. *Radiation Oncology*, 2013, **8**: 217. DOI: 10.1186/1748-717X-8-217.
- 28 Mhatre V, Pilakkal S, Chadha P, *et al.* Dosimetric comparison of a-Si 1200 and a-Si 1000 electronic portal imager for intensity modulated radiation therapy (IMRT) [J]. *Journal of Nuclear Medicine & Radiation Therapy*, 2018, **9**(1): 1000354. DOI: 10.4172/2155-9619.1000354.