

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2016.11.002

医学放射物理

Eclipse计划系统基部剂量计划补偿方法在睾丸精原细胞瘤放疗中的应用

杨海芳¹, 刘建平¹, 时秀菊¹, 郭瑞霞², 姜斌¹, 徐寿平³, 张晓斌¹, 王静¹

1.唐山市人民医院放疗中心,河北 唐山 063001;2.河北医科大学第四医院放疗科,河北 石家庄 050011;3.解放军总医院放疗科,北京 100853

【摘要】目的:研究瓦里安Eclipse计划系统中基于基部剂量计划补偿(BDPC)的调强放射治疗计划优化方法在睾丸精原细胞瘤放疗中的可行性。**方法:**选取15例睾丸精原细胞瘤患者,医师勾画靶区及危及器官,通过RTIS网络传输至Eclipse治疗计划系统,物理师将较长靶区分两段,分别用3D-CRT和BDPC制定放疗计划。评价靶区适形度指数、均匀性指数和危及器官受量,并分析射野衔接处的剂量和二次摆位误差。**结果:**利用BDPC制定的调强放射治疗计划提高了靶区适形度指数,改善了靶区内的剂量均匀性。利用Delta4验证设备测量射野衔接处的剂量分布,未出现剂量冷热点,与计算值基本一致;CBCT图像引导技术验证了利用加速器移床方法二次摆位误差各方向均为零。**结论:**BDPC优化方法在睾丸精原细胞瘤“狗腿”野的应用能提高靶区适形指数,改善射野衔接处的剂量分布;通过移床方法确保治疗位置准确性,避免二次摆位误差造成的射野衔接处的剂量冷热点,从而简化了整体治疗过程。

【关键词】睾丸精原细胞瘤;调强放射治疗;基部剂量计划补偿;射野衔接;Eclipse治疗计划系统

【中图分类号】R737.21;R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)11-1086-06

Application of base dose plan compensation method of Eclipse planning system in the radiotherapy for testicular seminoma

YANG Haifang¹, LIU Jianping¹, SHI Xiuju¹, GUO Ruixia², JIANG Bin¹, XU Shouping³, ZHANG Xiaobin¹, WANG Jing¹

1. Department of Radiation Oncology, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063001, China; 2. Department of Radiation Oncology, Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China; 3. Department of Radiation Oncology, General Hospital of Chinese People's Liberation Army, Beijing 100853, China

Abstract: Objective To study on the feasibility of base dose plan compensation (BDPC) optimization method of Eclipse treatment planning system (TPS) in the intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for testicular seminoma. **Methods** The target areas and organs at risk of 15 selected patients with testicular seminoma were delineated by physicists, and then transmitted into Eclipse TPS by RTIS transmission networks. The longer target areas were broke up into two segments by physicists, and the three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) and BDPC were used for plan design, respectively. The conformity index (CI), homogeneity index (HI), and dose of organs at risk were evaluated, and the dose of abutting field and secondary set-up error were analyzed. **Results** IMRT plan based on BDPC improved the target CI and HI. Delta4 verification equipment was used to measure the dosimetric distribution of abutting field, without appearing cold and hot spots, basically consistent with the calculated values. CBCT image guided technology verified that the secondary set-up error in each direction was zero by using the bed moving method with accelerator. **Conclusion** BDPC optimization method in the dogleg field of testicular seminoma increases the target CI, and improves the dose distribution of abutting field. The bed moving method ensures the accuracy of the treatment position, and avoids the hot or cold spots at the abutting field caused by secondary set-up errors, simplifying the overall treatment process.

Keywords: testicular seminoma; intensity-modulated radiotherapy; base dose plan compensation; abutting field; Eclipse treatment planning system

【收稿日期】2016-09-16

【基金项目】国家自然科学基金(11275105)

【作者简介】杨海芳,女,工程师,物理师,E-mail: yang-hai-fang@163.com

【通信作者】刘建平,硕士,高级工程师,研究方向:放射治疗技术应用及质量控制,E-mail: ljp717@sohu.com

前言

睾丸精原细胞瘤在睾丸恶性肿瘤中最为常见, 所占比例 50% 以上^[1]。由于精原细胞瘤对放射治疗高度敏感, 放射治疗是 I 期和 II A~B 期的标准治疗^[2]。大部分身高 170 cm 以上成年患者靶区头脚方向(Y)很有可能大于 40 cm, 超过加速器最大照射野, 必须分段照射。传统 3D-CRT 适形治疗方案, 射野衔接处容易出现剂量冷热点并增加了计划设计和摆位的复杂性, 需要每隔 1 周改变衔接的位置^[3]。Eclipse 计划系统的基部剂量计划补偿(Base Dose Plan Compensation, BDPC)模块能够在调强优化时考虑到基部剂量, 调整整个剂量计划时, 对基部剂量造成的影响进行补偿, 使得顶部剂量更加均匀, 冷热点得到修正, 得到较好的综合计划^[4]。本研究通过利用 BDPC, 依靠直线加速器治疗床的到位精度, CBCT 图像引导, Delta4 三维立体验证设备进行剂量验证, 提出一种适用于精原细胞瘤靶区头脚方向(Y)长度大于 40 cm 的放射治疗技术。

1 资料和方法

1.1 病例选择

本研究选取 2011 年 1 月至 2016 年 8 月在我院放疗中心因睾丸精原细胞瘤接受放射治疗患者, 共 15 例男性患者。患者身高 170~182 cm, 体质量 60~78 kg, 无远处转移, 经详细检查, 临床分期诊断为 II A 期 7 例, II B 期 8 例。

1.2 CT 模拟定位

患者体位为仰卧位于 CIVCO 体架, 自主呼吸, 双手抱肘放于额前, 双腿分开, 睾丸用医用胶布拉向健侧, 并放置铅档。为保证摆位的重复准确性, 患者两侧和体中线均画出与体架之间的对应标记线, 保证患者与体架前后左右的相对位置固定, 制作热塑膜时注意严格按患者体形并做出肚脐、腹股沟等明显位置的对应形状。待热塑膜完全冷却 20 min 后无回缩时在患者体表画出体膜的上下界^[5]。利用 Philipse Brilliance 大孔径 CT 模拟定位机增强扫描, 层厚及层间距均为 5 mm。将 DICOM 图像通过 RTIS 放疗网络(深圳医诺)传输至 Eclipse 治疗计划系统。

1.3 靶区及危及器官的勾画

由放疗医师勾画出肿瘤靶区(PTV)和危及器官。靶区为典型“狗腿”野, 范围包括腹主动脉旁+同侧髂淋巴结, 上界为胸 11 椎体上缘, 下界为同侧髂臼上缘, 患侧界包括患侧肾门, 对侧界包括对侧腰椎横突。根据淋巴结情况外放, 留出 1.0~1.5 cm 的安全边界。

1.4 治疗计划设计

由于靶区较长, 需要分段照射。为增加安全性, 射野分段选择远离危及器官处。本文选择在马尾神经上缘耐受量较高的区域, 将靶区 PTV 分割成 PTV₁ 和 PTV₂ 上下两个部分, 利用 Eclipse 治疗计划系统分别设计两组计划, 即 3D-CRT 及 BDPC 计划。处方量均为 180 cGy, 共 17 次, 总量是 3 060 cGy。

1.4.1 3D-CRT 计划 根据 PTV₁ 及 PTV₂ 分别设计计划, 在射野连接处反复调节和修改 MLC 位置保证靶区重叠处的剂量尽量均匀, 避免出现剂量冷热点。为避免摆位误差, 每周要变化 1 次 MLC 位置。

1.4.2 BDPC 计划 以 PTV₁ 和 PTV₂ 为靶区设计两个 IMRT 计划, 命名为 Plan-up 及 Plan-down, 均采用共面滑窗(sliding window)式照射野, 最终剂量算法采用 AAA, 计算网格为 2.5 mm。(1)Plan-up 计划: 采取 4 个照射野, 角度分别为 0°、72°、190°及 280°, 准直器角度均为 0°。放置等中心为 PTV₁ 的几何中心位置, 调整角度, 尽量避免选择先照射肾脏后照射靶区的角度, 进行 IMRT 优化。优化过程中在保证靶区受量的前提下, 尽可能压低肾脏的受量, 并予以重点保护。(2)Plan-down 计划: 采用三野调强计划, 布野时避开性腺部位。摆位治疗时采用直接移床方法, 以避免二次摆位误差, 故 Plan-down 计划中心位置需根据 PTV₁ 中心进行调整, 即左右方向(X)、前后方向(Z)与 Plan-up 计划中心一致, 仅头脚方向(Y)参数不同, 距离 PTV₁ 中心 20 cm。这样执行 Plan-down 计划技师摆位时只需在 Y 方向移床 20 cm 即可, 既减小了误差形成几率也使操作更加简便。在优化界面中, 利用 Eclipse 的 BDPC, 与 Plan-up 计划关联起来, 使其下半部分靶区剂量分布更加均匀。调整后, 再次调整 Plan-up 计划, 使用同样的方法, 使其上半部分靶区剂量均匀。反复调整, 使其连接处剂量均匀, 不出现剂量冷点与热点。

1.5 实施治疗计划

患者实际治疗选取的是 BDPC 计划。先实施 Plan-up 计划, 技术员根据复位结果进行摆位。治疗前进行 CBCT 图像引导, 调整摆位误差。实施 Plan-down 计划时不进行摆位, 而是根据计算好的两个计划中心头脚方向(Y)差值, 直接进床达到 Plan-down 计划中心位置, 治疗前同样实施 CBCT 技术, 验证直线加速器治疗床的到位精度, 达到要求后进行治疗。

1.6 剂量验证

本治疗方案着眼点在于两个放疗计划的衔接处的剂量冷热点。本文使用 Delta4 验证射野衔接处的

剂量。为了保证两个计划射野衔接处位于模体中心,将PTV₁中心移植到验证模体前1/3的中心,PTV₂中心放置到后1/3处,测量过程完全模拟实际治疗过程。

1.7 靶区剂量评估

分析对比两种计划靶区PTV的指标主要包括:近似最高剂量D_{2%};近似最低剂量D_{98%};中位剂量D_{50%};适形指数(CI)^[6]: $CI=(TV_{R1}/TV) \times (TV_{R1}/V_{R1})$,TV为靶区体积,TV_{R1}为处方剂量包绕的靶体积,V_{R1}为处方剂量包绕的所有体积,CI取值为0~1,越接近1,说明靶区适形性越好;均匀指数(HI)^[7], $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$,HI值越大说明该计划的剂量分布均匀性越差。评估有代表性危及器官受照射量:小肠和肾脏接受10、20和30 Gy的体积百分比,即V₁₀、V₂₀、V₃₀,脊髓最大剂量D_{max}。

1.8 统计学处理

采用SPSS 20.0 软件进行统计分析,数据以均值±标准差表示,计量资料采用两样本t检验,率的比较采用χ²检验,P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 BDPC计划与3D-CRT计划剂量学比较

2.1.1 两种计划靶区剂量指标 从表1和图1~3可看出BDPC计划的评价指标优于3D-CRT计划,D_{98%}无显著性差异,D_{50%}、D_{2%}、CI和HI均有显著性差异(P<0.05)。图1和图2为某位患者剂量体积直方图,由于处方剂量较低,两种计划方法正常组织均不超过剂量限值。但在低剂量区,BDPC计划不具有优势,而在高剂量区,BDPC计划能显著降低正常组织受量,减少并发症发生几率及其损伤严重程度。

表1 两种计划PTV剂量体积参数比较
Tab.1 Comparison of dose-volume parameters between two PTV plans

Plan	D _{2%} /cGy	D _{98%} /cGy	D _{50%} /cGy	CI	HI
BDPC	3 207±56	3 084±10	3 135±23	0.810±0.066	0.039±0.017
3D-CRT	3 315±89	3 078±11	3 164±38	0.701±0.088	0.100±0.028
Z value	-3.329	-1.249	-2.266	-3.209	-3.422
P value	0.010	0.212	0.023	0.010	0.001

PTV: Planning target volume; BDPC: Base dose plan compensation; 3D-CRT: Three-dimensional conformal radiotherapy; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index

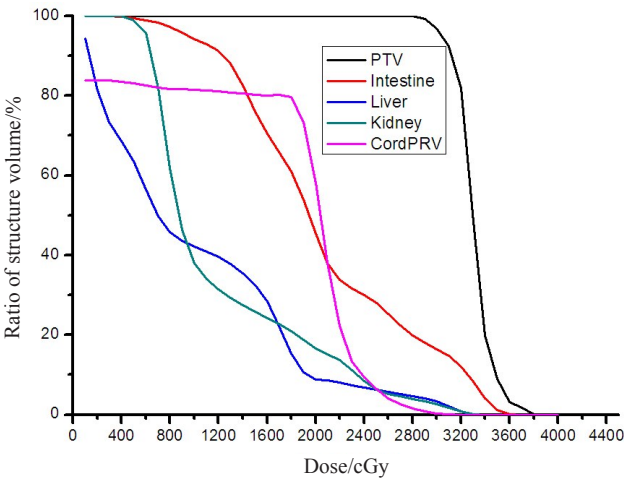


图1 3D-CRT计划的剂量体积直方图
Fig.1 Dose-volume histogram (DVH) of 3D-CRT plan

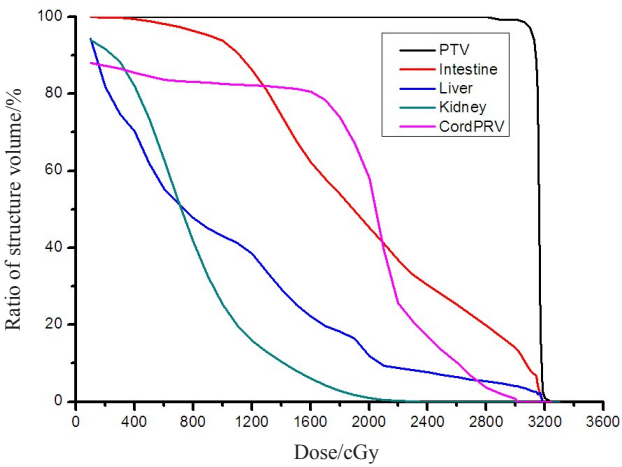


图2 BDPC调强计划剂量体积直方图
Fig.2 DVH of IMRT plan based on BDPC

2.1.2 危及器官剂量比较 因处方剂量较低,选取有代表性的3种正常组织。肾脏与小肠的V₁₀和V₂₀均无统计学意义(P>0.05),两者的V₃₀相比具有统计学

意义(P<0.05)。两种计划脊髓最大量分别为(2885±79)和(2961±82) cGy,有显著差异(P<0.05),BDPC计划优于3D-CRT计划。详见表2。

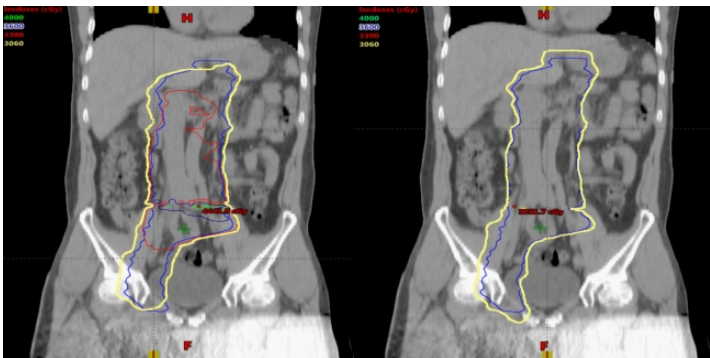


图3 3D-CRT(左)和BDPC调强(右)计划冠状位靶区剂量曲线分布曲线
Fig.3 Dose distribution curve of the target area at coronal position in 3D-CRT plan (left) and IMRT plan based on BDPC (right)

表 2 危及器官参数指标比较
Tab.2 Comparison of the parameter of organs at risk

Parameter	BDPC	3D-CRT	Z value	P value
Kidney				
V ₁₀ /%	31.21±3.72	34.03±4.67	-1.591	0.112
V ₂₀ /%	18.32±3.84	20.55±4.52	-1.231	0.218
V ₃₀ /%	0.87±0.53	2.78±0.61	-3.906	0.000
Intestine				
V ₁₀ /%	71.60±4.70	75.53±6.60	-1.497	0.134
V ₂₀ /%	41.86±4.36	39.93±4.92	-1.064	0.287
V ₃₀ /%	14.00±3.04	17.67±4.45	-2.273	0.023
Cord D _{max} /cGy	2885±79	2961±82	-2.660	0.008

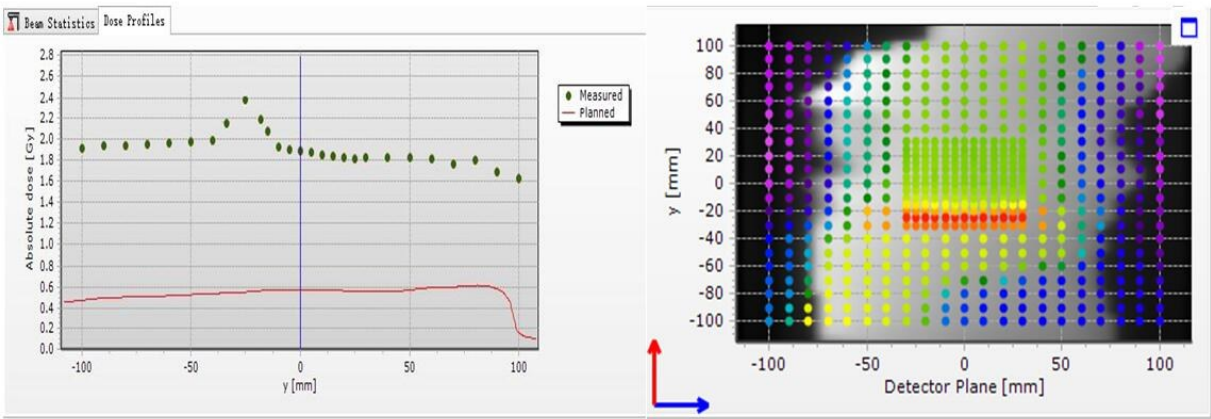


图4 Delta4测量 3D-CRT计划Y轴方向的 Profile(左)和二维剂量分布(右)
Fig.4 Delta4 measurement of Profile (left) and two-dimensional dose distribution (right) at the Y direction of 3D-CRT plan

2.2 剂量验证结果

选取某位患者的验证结果,可以看出适形计划在两个靶区的衔接附近是有剂量热点的(图4),且最大处剂量为230c Gy/次×17次=3910 cGy,图中发生剂

量突变部分与计划系统DVH中的D_{max}也是相符合的;图5是BDPC调强计划,图中靶区交界附近没有发生明显的剂量变化,相对平滑,这与TPS计算也是吻合的。

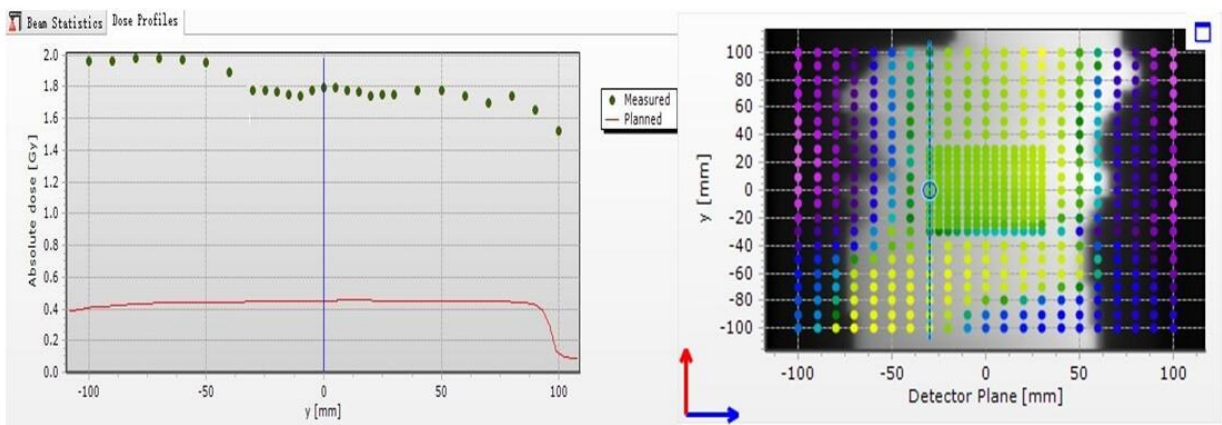


图5 Delta4测量BDPC计划Y轴方向的Profile(左)和二维剂量分布(右)
Fig.5 Delta4 measurement of Profile (left) and two-dimensional dose distribution (right) at the Y direction of BDPC plan

2.3 治疗摆位误差分析

图6为某位患者17次治疗位置偏差统计:Plan-up计划中心系统误差(均数)±随机误差(标准差)在左右方向(X)、头脚方向(Y)、前后方向(Z)Z方向上分别为(2.1±1.4)、(4.4±1.8)、(2.0±1.5) mm,而Plan-

down计划采用直接移床后治疗,从图6可以看出与中心完全吻合,说明加速器治疗床的到位精度可靠,在加速器治疗床精度保证的情况下可不必做CBCT位置验证而直接移床治疗。

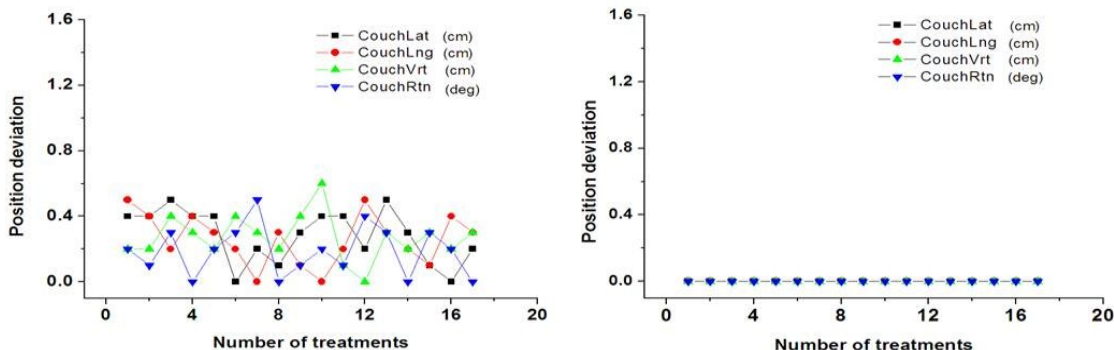


图6 BDPC Plan-up(左)和Plan-down(右)计划摆位位置与计划中心位置偏离结果
Fig.6 Set-up position and deviation result of planning center position in BDPC Plan-up (left) and Plan-down (right) plan

3 讨论

Manecksha等^[8]分析发现睾丸精原细胞瘤发病率在全球范围内呈上升趋势。“狗腿”野照射范围广泛,涉及到脊髓、肾脏、肝、小肠、胃、直肠、膀胱等重要器官。放射治疗引起的近远期毒副作用不容忽视,尤其是第二原发肿瘤影响患者长期生存质量^[9-10],故在放疗中要引起足够重视。

从统计结果上看,3D-CRT和BDPC调强两种方法均能满足靶区剂量要求。但本研究中的BDPC计划大大改善了靶区剂量均匀性,适形指数得到提升。由于该方法属于调强计划,与普通调强不同的

是该计划两个计划相互关联,综合考虑靶区剂量,故靶区的剂量更均匀、适形度更好,没有明显的剂量冷热点,且较3D-CRT计划的设计更方便省时。但因处方剂量偏低,两种计划方法正常组织均满足危及器官受量要求,两者又存在差异,BDPC计划正常组织低剂量不具有明显优势,但是高剂量区域明显下降,平均剂量也显著下降,对正常组织起到很好地保护,减少放疗并发症的发生率^[11]。

本研究利用CBCT图像引导技术测量患者每次的位置偏差,根据图像融合结果进行在线位置校正。本治疗方案关注点在于:(1)两段靶区的衔接问

题,一是在衔接处出现剂量冷、热点,此问题可利用 Eclipse 计划系统的 BDPC 使得剂量更加均匀;(2)在治疗过程中,如果进行两次摆位,很有可能因为摆位误差的存在,使得连接处部分组织受到两次治疗或漏照。Chang 等^[12]提出仰卧位治疗技术实际的每日治疗可得到 0.5 mm 的系统误差和 5.39 mm 标准偏差的随机误差。本文提出利用加速器治疗床进床的到位精度消除掉一次摆位误差,两个计划中心连线与枪靶方向平行,两次 CBCT 图像引导在线验证,即可解决此项问题,不再需要每周改变连接位置。从本研究结果可以看出如加速器治疗床到位精度足够,可不必进行 CBCT 图像引导即可避免连接处重复的问题,但由于摆位体外体内误差的存在,可能造成两个靶区的整体脱靶,是否可以通过医师靶区外扩来解决有待进一步研究,但基于以上研究不会造成靶区衔接包括危及器官在内的重复照射。本研究在治疗过程中考虑了摆位误差、呼吸动度、靶区剂量分布等因素所造成的误差,应用 CBCT 图像引导在患者治疗前进行位置验证并做出相应地调节,确保达到精确治疗^[13-14]。

综上所述,本文提出的基于 BDPC 方法设计精原细胞瘤治疗计划改善射野衔接处的剂量分布,节省了计划设计时间,简化整体治疗过程,对有条件的单位,可成为睾丸精原细胞瘤的可靠治疗技术方法。另外对于基层单位运用 3D-CRT 计划时在保证体膜制作精确的前提下,建议第二段照射不使用等中心摆位而采用直接移床办法来减少二次摆位所引起的误差。

【参考文献】

- [1] 张学齐,刘卓炜,周芳坚,等. 临床 I 期睾丸精原细胞瘤综合治疗 10 年经验总结[J]. 癌症, 2010, 29(1): 98-101.
ZHANG X Q, LIU Z W, ZHOU F J, et al. Experience of the treatment for clinical stage-I seminoma over a period of 10 years [J]. Chinese Journal of Cancer, 2010, 29(1): 98-101.
- [2] 殷蔚伯,余子豪,徐国振,等. 肿瘤放射治疗学[M]. 北京: 协和医科大学出版社, 2008: 919-932.
YIN W B, YU Z H, XU G Z, et al. Radiation Oncology [M]. Beijing: Pecking Union Medical College Press, 2008: 919-932.
- [3] 赵建,张慧敏,沈一叶,等. 三维适形放疗技术在精原细胞瘤中的应用[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2016, 8(2): 117-119.
ZHAO J, ZHANG H M, SHEN Y Y, et al. The application of three dimensional conformal radiation therapy technology in the seminoma [J]. Chinese Journal of Surgical Oncology, 2016, 8(2): 117-119.
- [4] 陆佳扬,张诺民,黄宝添,等. 一种 Eclipse 调强放疗计划优化方法在上段食管癌的应用评估[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(8): 584-589.
LU J Y, ZHANG N M, HUANG B T, et al. Evaluation of an optimization method for Eclipse IMRT plan for upper esophageal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(8): 584-589.
- [5] 徐云华,罗海峰,宋文立,等. 热塑型体网伸缩性对放疗定位标记中心影响的初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(6): 536.
XU Y H, LUO H F, SONG W L, et al. Preliminary study on the effect of thermoplastic network scalability of radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(6): 536.
- [6] FEUVRET L, NOËL G, MAZERON J J, et al. Conformity index: a review[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(2): 333-342.
- [7] 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.
LIAO X F, LI C R, LI J, 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.
- [8] MANECKSHA R P, FITZPATRICK J M. Epidemiology of testicular cancer[J]. BJU Int, 2009, 104(9B): 1329-1333.
- [9] WANDERAS E H, FOSSA S D, TRETLI S. Risk of a second germ cell cancer after treatment of a primary germ cell cancer in 2 201 Norwegian male patients[J]. Eur J Cancer, 1997, 33(2): 244-252.
- [10] HALL E J, WUU C S. Radiation-induced second cancers: The impact of 3D-CRT and IMRT [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56(1): 83-88.
- [11] 赵宇,张映辉,郭红玉. 脑转移瘤放射治疗策略分析[J]. 川北医学院学报, 2014, 29(6): 590-592.
ZHAO Y, ZHANG Y H, GUO H Y. Analysis of radiotherapy strategies in brain metastases [J]. Journal of North Sichuan Medical College, 2014, 29(6): 590-592.
- [12] CHANG E L, WONG P F, FORSTER K M, et al. Verification techniques and dose distribution for computed tomographic planned supine craniospinal radiation therapy [J]. Med Dosim, 2003, 28(2): 127-131.
- [13] 田菲,徐子海,王华峰. 图像引导放射治疗技术的研究现状与发展[J]. 临床医学工程, 2012, 19(5): 833-835.
TIAN F, XU Z H, WANG H F. Research situation and development of the image-guided radiotherapy technique [J]. Clinical Medical & Engineering, 2012, 19(5): 833-835.
- [14] 许峰,王瑾,柏森,等. 应用锥形束 CT 分析肿瘤放疗中分次间及分次内摆位误差[J]. 癌症, 2008, 27(10): 1111-1116.
XU F, WANG J, BAI S, et al. Interfractional and intrafractional setup errors in radiotherapy for tumors analyzed by cone-beam computed tomography [J]. Chinese Journal of Cancer, 2008, 27(10): 1111-1116.

(编辑:黄开颜)