

碳离子治疗系统放射治疗 100 例恶性肿瘤患者摆位误差分析

An Analysis on Set Up Error of 100 Malignant Tumor Patients with Carbon Ion Radiotherapy

LI Wan-guo, ZHU Fang-fang, QI Ying, ZHANG Yan-shan, ZHANG Yi-he, WANG Kai-ping, YANG Xiao-dong, LU Hui-xiang

李万国, 朱芳芳, 祁英, 张雁山, 张一贺, 王开平, 杨晓东, 鲁会祥

(甘肃省武威肿瘤医院重离子中心, 甘肃 武威 733099)

摘要: [目的] 评价碳离子治疗系统放射治疗恶性肿瘤时摆位误差的影响因素, 并探讨精确放疗摆位实施过程中的精度控制方法。[方法] 选取 2020 年 3 月 26 日至 2021 年 2 月 23 日甘肃省武威肿瘤医院重离子中心 100 例恶性肿瘤患者。头颈部 30 例、胸部 30 例、腹部 17 例、盆腔 17 例、四肢 6 例。所有患者在分次间碳离子放疗前行 DR 0°和 90°正交位 DR 拍片, 利用 Registration 软件将 DR 拍摄正交图像和计划 CT 生成的 DRR 图像进行配准, 分析靶区中心在 X、Y、Z 轴方向上误差值及误差分布。[结果] 不同部位肿瘤患者摆位误差为头颈部 X 轴(0.62±0.67) mm, Y 轴(0.38±0.43) mm, Z 轴(1.03±1.45) mm; 胸部 X 轴(1.13±1.25) mm, Y 轴(2.21±1.76) mm, Z 轴(1.62±1.68) mm; 腹部 X 轴(1.20±1.22) mm, Y 轴(2.91±2.33) mm, Z 轴(1.51±1.65) mm; 盆腔 X 轴(0.31±0.77) mm, Y 轴(0.88±1.31) mm, Z 轴(1.62±1.21) mm; 四肢 X 轴(1.91±1.45) mm, Y 轴(1.06±1.09) mm, Z 轴(1.12±1.11) mm。[结论] 碳离子治疗中摆位重复性存在一定误差, 头颈部运动器官不明显, 治疗体位重复性明显优于胸腹、盆腔、四肢部位。选择正确的体位固定技术及 DR 位置验证对于碳离子放射治疗的精确实施具有重要作用和实际指导意义。

关键词: 碳离子治疗系统; ciGPS 图像配准; 摆位误差

中图分类号: R730.55 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-170X(2022)08-0696-03

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2022.08.B012

重离子虽具有独特的物理优势和生物优势, 但受其固定束流的限制, 无法进行旋转机架剂量权重分配。因此, 在重离子治疗的同时, 患者精准的体位固定成为放射治疗高质量实施的讨论话题。放射治疗摆位误差即总误差, 包括随机误差 σ 、系统误差 Σ 。系统误差指实际治疗位置和模拟定位初期时位置的差异, 发生在治疗准备的期间, 体现了在放射治疗加速器上重复模拟定位初期时技术上的难度, 可采取一定的定位手段纠正使之减小。随机误差指每日治疗重复性的差异, 发生在放射治疗期间, 多由患者自身位置及部分器官运动的变化引起, 具有很大的偶然性。本文针对甘肃省武威肿瘤医院重离子中心在临床运行期间 100 例肿瘤患者治疗期间的摆位误差进行分析。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究经医院伦理委员会批准。选取 2020 年 3 月 26 日至 2021 年 2 月 23 日重离子肿瘤治疗中心

100 例肿瘤患者, 其中 83 例患者采用重离子 2 号治疗室均匀扫描 2D 技术, 17 例采用 2 号治疗室层扫描 2DLS 技术进行碳离子治疗。

1.2 体位固定及模拟定位

头颈部肿瘤患者均采取头颈肩带孔热塑模, 25 例患者采用仰卧位, 5 例俯卧位; 胸腹部患者采用全身型真空垫配合无孔体膜固定, 仰卧、俯卧均有涉及; 四肢患者采取针对个体化特殊设计固定器具进行固定。在西门子大孔径螺旋 CT 模拟机下进行定位, 所有部位均以 3 mm 层厚获取增强或平扫图像, 获得的 CT 图像传输到 ciPlan V2.0 计划系统进行靶区勾画和治疗计划设计。

1.3 ciGPS 图像配准

患者每次放疗前均行 ciGPS 图像配准, 进行在线体位校准。患者首次上机治疗, 需由治疗师、物理师、主管医生共同完成图像配准。ciGPS 图像与计划 CT 图像配准完成后, 由主管医生审核配准结果, 审核通过后签署配准报告。治疗师根据治疗床在左右 (Lateral, X 轴)、头脚 (Longitudinal, Y 轴)、腹背 (Vertical, Z 轴) 方向上的摆位误差配准差值, 校正等中心位置使之完全与治疗计划靶区相重合后为患者实施放疗。

ciGPS V1.0 图像配准系统中国科学院近代物理

基金项目: 甘肃省科技厅重点研发计划-社会发展类 (19YF3FH001)

通信作者: 朱芳芳, E-mail: 18093536091@163.com

收稿日期: 2021-09-01; **修回日期:** 2021-12-08

研究所自主研制。该系统配备 DR 拍片系统及 ciGPS 软件配准系统,配准原理同普通电子射野影像系统相似,在正交(90°和 0°)方向拍摄患者体位片,然后用 ciGPS 配准系统进行 DR 片和 DRR 片的配准^[1]。

外放边界(MPTV)确定采用坐标系进行误差分析。通常以矢量表示各个方向的偏移量。计算 X (Lateral),Y (Longitudinal),Z (Vertical) 轴三维方向上 CTV 与 PTV 间的外放距离(MPTV)。MPTV 的计算公式为: $MPTV=2.5\Sigma+0.7\sigma$ 。由 ciTreat V2.0 系统生成患者分次间摆位误差的数据。

2 结 果

不同部位肿瘤患者摆位误差为头颈部 X 轴(0.62±0.67) mm,Y 轴(0.38±0.43) mm,Z 轴(1.03±1.45) mm;胸部 X 轴(1.13±1.25) mm,Y 轴(2.21±1.76) mm,Z 轴(1.62±1.68) mm;腹部 X 轴(1.20±1.22) mm,Y 轴(2.91±2.33) mm,Z 轴(1.51±1.65) mm;盆腔 X 轴(0.31±0.77) mm,Y 轴(0.88±1.31) mm,Z 轴(1.62±1.21) mm;四肢 X 轴(1.91±1.45) mm,Y 轴(1.06±1.09) mm,Z 轴(1.12±1.11) mm (Table 1)。

不同部位肿瘤患者 MPTV 结果显示外放边界在 1.25~5.79 mm (Table 2)。

Table 1 Set up errors of tumor patients at different parts of heavy ion center($\bar{x}\pm s$)

Region	N	Lateral(X)	Longitudinal(Y)	Vertical(Z)
Head & Neck	30	0.62±0.67	0.38±0.43	1.03±1.45
Chest	30	1.13±1.25	2.21±1.76	1.62±1.68
Abdomen	17	1.20±1.22	2.91±2.33	1.51±1.65
Pelvic	17	0.31±0.77	0.88±1.31	1.62±1.21
Others	6	1.91±1.45	1.06±1.09	1.12±1.11

Table 2 MPTV of patients with different tumor region(mm)

Region	N	Lateral(X)	Longitudinal(Y)	Vertical(Z)
Head & Neck	30	2.02	1.25	3.59
Chest	30	3.70	6.76	5.23
Abdomen	17	3.85	8.91	4.93
Pelvic	17	1.33	3.12	4.91
Others	6	5.79	3.41	3.58

3 讨 论

本研究所采用的治疗技术均为碳离子固定束流均匀扫描,这对患者的体位设置及摆位精度提出了

更高的要求。综合分析在碳离子放射治疗临床实践中各部位肿瘤患者的摆位误差产生的因素,器官运动带来的摆位误差及配准难度是最难控制的。

头颈部肿瘤质量控制:对于头颈部肿瘤患者来说,各方向的摆位误差差异甚小。许多研究采用了不同的固定装置,目前应用于头颈部的固定装置主要有聚乙烯(PVC)材料的面罩(热塑料面罩)配合头颈肩一体板进行体位固定。PVC 与热塑材料面罩固定效果无明显差别。需注意的是热塑料面罩制作后第 1 天收缩(1.5±0.3) mm,应避免制作后马上使用^[2]。

我们采取三种不同方式进行头颈部肿瘤患者的体位固定:(1)船型头枕+头颈肩热塑模配合 CIVCO 头颈肩一体板;(2)发泡胶+头颈肩热塑模配合 CIVCO 头颈肩一体板;(3)CIVCO trUpoint ARCH 弓形头架。第一种固定方式方便快捷、使用效率高,可适用于精神状况较好的患者;第二种固定方式主要适用于颈部及肩部肿瘤患者,发泡胶自适应能力强,能更好地贴合人体曲线;第三种固定方式定位使用较为麻烦,效率低下,但精度高,尤其在控制患者头部的旋转误差方面,效果极佳,可适用极高精度头部肿瘤患者定位^[3-4]。

胸腹部肿瘤患者摆位误差质量控制:呼吸运动在放射治疗质量管理方面一直是一个难题,目前较为流行的主动呼吸控制及被动呼吸控制在重离子放射治疗领域广泛应用,但此两种方法直接导致了重离子束流利用率较低,患者治疗时间较长,尤其是粒子脉冲式束流放疗。重离子中心脉冲周期为 8 s,而人体呼吸频率约为 5 s,两者都满足条件方可出束,这对加速器束流及呼吸的稳定性提出了挑战。在实际临床使用期间,据不完全统计,1 Gy 剂量的条件下,碳离子出束时间增加至少 1 倍。如遇加速器束流不稳定,时间会更长^[4]。

为解决呼吸动度带来的困扰,我们也制定了以下方案:(1)采取平扫定位 CT 配合 4DCT、增强 CT,在大图融合工具下进行图像融合,充分考虑各方面运动因素,测量呼吸动度,计算靶区的运动范围,从而确定 ITV 再进行 TPS 计划制作;(2)对患者进行呼吸训练,胸部患者训练主要以腹式呼吸为主,腹部患者训练主要以胸式呼吸为主;(3)模拟定位平扫 CT 及图像配准平片摄取时标记呼吸时相,均采取患者呼气末进行,保证 DRR 与 DR 呼吸时相的匹配度。

盆腔部位肿瘤患者摆位误差质量控制:(1)膀胱运动管理:膀胱癌的重离子放射治疗难度较大,最主要的因素是受限膀胱体积变化所引起的位置变化^[5]。且膀胱的体积变化很快,在重离子较长时间的治疗过程中,很难保证膀胱的治疗体积与定位体积相一致。为此,我们引用连通器原理,下尿管与外界可视容器内液体保持一致,通过反复CT下测量,刻度膀胱较好充盈时可视化容器液面刻度,记录此容器高度、液面刻度,在后期实际的碳离子治疗过程中,不断调整此两项参数,直至与记录参数相匹配,方可执行重离子放射治疗。(2)阴道定位塞的应用:宫颈癌的重离子放射治疗也是较为常见的病例,但在实际的临床治疗期间,受患者阴道的影响,并发症较为普遍。我们研发设计了实用新型专利技术宫颈癌碳离子放疗用阴道内定位塞填充阴道,改变阴道位置,从而降低并发症的发生率,减轻患者痛苦,保证患者顺利完成治疗。

本研究不足之处:(1)患者体位均采用仰卧或俯卧位,而碳离子固定束流必须配合旋转体位,在后期的临床实践中逐步探索此类特殊体位的粒子治疗应用。(2)图像配准为二维骨性配准。此类配准可比对内容较少,局限性较大。(3)摆位误差校正仅为三维平移方向,未分析旋转误差。而六维误差分析校正更能体现实际的临床摆位误差。(4)器官运动管理仍处于探索阶段,需研发更齐全、更合理的管理方案。

碳离子放射治疗由于自身固定束流的限制,对患者的体位精确度要求更高,所以在整个临床期间,患者每次治疗前必须进行DR图像配准进行患者的位置校准,多靶区患者甚至还要进行多次配准。在后期的临床治疗中,治疗技师掌握更加丰富的摆位及配准经验后,实行首次上机需主管医师、物理师、治疗师三方审核制定后期摆位标准,后期在摆位稳定的状态下由经验丰富的主管技师审核治疗。总之,

要减小患者的摆位误差,提高放射治疗的精度,需要各部门共同努力去制定各自的标准操作流程规范放疗流程中的每个细节,做到真正的精益求精。

参考文献:

- [1] 成俊,李伟,徐金济. 40例盆腔恶性肿瘤放射治疗摆位误差分析[J]. 吉林医学, 2014, 27: 6044-6045.
Cheng J, Li W, Xu JJ. Analysis of positioning error of 40 cases of pelvic malignant tumor treated by radiotherapy [J]. Jilin Medical Journal, 2014, 27: 6044-6045.
- [2] 吴晓维,李兵兵,刘苓苓,等. 图像引导的脑立体定向放射治疗摆位误差分析 [J]. 中国急救医学, 2018, 38(z1): 303-304.
Wu XW, Li BB, Liu LL, et al. Analysis of setup error in image-guided stereotactic radiotherapy of brain [J]. Chinese Journal of Emergency Medicine, 2018, 38(z1): 303-304.
- [3] 宋华国,步蕊蕊,李永强,等. 不同固定方式在前列腺癌质子重离子放疗六维治疗床中的使用价值及误差分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(4): 382-386.
Song HG, Bu RR, Li YQ, et al. Comparative analysis of application value and setup error between two setup methods in proton and carbon ion therapy for prostate cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(4): 382-386.
- [4] 陈明,李建彬,邓小武,等. 中国放射治疗相关的器官运动管理指南[J]. 中国肿瘤, 2021, 30(10): 726-733.
Chen M, Li JB, Deng XW, et al. China guidelines for the management of organ motion related to radiotherapy [J]. China Cancer, 2021, 30(10): 726-733.
- [5] 钟嘉健,丘敏敏,邓永锦,等. 两种膀胱充盈方式在宫颈癌术后调强放疗中的对比[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2021, 28(12): 944-948.
Zhong JJ, Qiu MM, Deng YJ, et al. Comparison of two methods of bladder filling in postoperative IMRT for cervical cancer [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2021, 28(12): 944-948.