

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.09.025

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250903.1617.004\(2025-09-03\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250903.1617.004(2025-09-03))

CIVCO 头架在头部肿瘤放疗摆位中的应用价值研究

曲荣荣, 郑倩倩, 曹婧, 王子红[△]

(首都医科大学石景山教学医院/北京市石景山医院放疗科, 北京 100043)

[摘要] 目的 比较 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度头架(以下简称 CIVCO 头架)与国产一体板两种不同的体位固定装置在头部肿瘤患者放疗中的摆位误差、所需的计划靶区(PTV)外扩边界和三维位移,探索 CIVCO 头架在头部肿瘤放疗摆位中的应用价值。方法 回顾性分析 2023 年 1—12 月在该医院进行放疗的 82 例头部肿瘤患者的临床资料。根据体位固定装置方式分为可调节角度头架组和一体板组,每组 41 例,两组均采用 U 型热塑头膜进行固定。采用 ELEKTA infinity 直线加速器行放疗,锥形束 CT(CBCT)图像引导,结合骨配准和人工校对获得患者 3 个方向摆位误差:X 轴、Y 轴、Z 轴,记录每次 CBCT 摆位误差数据;根据 PTV 外扩公式($2.5\Sigma + 0.7\sigma$)计算两组不同固定装置在各个方向上所需的 PTV 外扩边界;根据患者单次放疗摆位误差计算三维空间位移。结果 可调节角度头架组 X、Y、Z 三个方向上的绝对摆位误差分别为 0.13(0.07, 0.22)、0.16(0.16, 0.27)、0.10(0.05, 0.18) cm, 一体板组分别为 0.14(0.07, 0.24)、0.18(0.08, 0.32)、0.09(0.04, 0.10) cm, 调节角度头架组在 Y 方向上的绝对误差小于一体板组($P=0.006$)。两组相对摆位误差比较差异无统计学意义($P>0.05$);根据 PTV 外扩公式计算得出可调节头架组在 X、Y、Z 方向的外扩边界分别为 0.24、0.30、0.22 cm, 国产一体板组分别为 0.21、0.36、0.21 cm;利用 3 个方向摆位误差数值通过公式计算可得三维空间综合摆位误差数值,可调节角度头架组和国产一体板组的三维空间位移均值分别为 0.320 cm 和 0.340 cm, 两组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 CIVCO 头架在 Y 轴上绝对误差、三维空间位移均小于国产一体板, 临床条件允许下值得推广应用。

[关键词] 头部肿瘤; 摆位误差; CIVCO Uni-fram 可调节角度头架; 国产一体板; PTV 外扩边界

[中图法分类号] R739.91 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)09-2138-04

Application value of CIVCO headrest in positioning of head tumor radiotherapy

QU Rongrong, ZHENG Qianqian, CAO Jing, WANG Zihong[△]

(Department of Radiotherapy, Shijingshan Teaching Hospital of Capital Medical University/Beijing Municipal Shijingshan Hospital, Beijing 100043, China)

[Abstract] **Objective** To compare the positioning errors, required planning target volume (PTV) outer expansion boundary and three-dimensional displacement of two different positioning fixation devices CIVCO Uni-frame carbon fiber adjustable angle head frame and domestic integrated board in radiotherapy for the patients with head tumor, and to investigate the application value of CIVCO headrest in the positioning of head tumor radiotherapy. **Methods** The clinical data of 82 patients with head tumors who underwent radiotherapy in this hospital from January to December 2023 were analyzed retrospectively. The patients were divided into the adjustable angle head frame group and integrated plate group, 41 cases in each group. Both groups were fixed with U-shaped thermoplastic head film. Radiotherapy was performed by using ELEKTA infinity linear accelerator. The cone beam computed tomography (CBCT) image guidance was used, combined with bone registration and manual calibration to obtain the patient positioning errors in three directions: X axis, Y axis and Z axis. The positioning error data of each CBCT was recorded; based on the PTV outward expansion boundary formula ($2.5\Sigma + 0.7\sigma$), the PTV outward expansion boundaries required by the two fixation devices in all directions for the treatment of head tumors were calculated; the 3-dimensional spatial displacement was calculated based on the patient's single radiotherapy positioning error. **Results** The absolute positioning errors in the X, Y, and Z directions of the adjustable angle head frame group were 0.13(0.07, 0.22), 0.16(0.16, 0.27), 0.10(0.05, 0.18) cm respectively, which in the integrated board group were 0.14(0.07, 0.24), 0.18(0.08, 0.32), 0.09(0.04, 0.10) cm respectively. The absolute error of the Y direction in the adjustable angle head

[△] 通信作者, E-mail: wzh9906@163.com.

frame group was smaller than that of the integrated board group ($P=0.006$), and the difference in the relative error between the two groups was not statistically significant ($P>0.05$). According to the PTV expansion formula, the calculated expansion boundaries of the X, Y, and Z directions in the adjustable head frame group were 0.24, 0.30, 0.22 cm, which in the integrated plate group were 0.21, 0.36, 0.21 cm, respectively. The three-dimensional space comprehensive positioning error value could be calculated by the formula calculation using the positioning error values in three directions. The mean values of the three-dimensional space positioning errors of the adjustable angle headstock group and domestic integrated plate group were 0.320 cm and 0.340 cm respectively, there was no statistically significant difference between the two groups. **Conclusion** The absolute error in Y direction and the median value of three-dimensional displacement of the CIVCO adjustable angle head rest are smaller than those of the domestic integrated plate, which is worthy of clinical promoted application if conditions permit.

[Key words] head tumors; positioning error; CIVCO Uni frame adjustable angle headrest; domestic integrated board; PTV external expansion boundary

全球头部肿瘤的发生率约为 15.4 人/10 万人,占所有类型肿瘤的 3%^[1]。放疗是头部肿瘤的有效治疗手段之一。图像引导放射治疗(image guide radiation therapy, IGRT)技术是将影像设备与放疗机器相结合,每次放射治疗前对患者进行影像学信息采集,在线校正患者的摆位误差^[2],从而更准确地实施计划、验证和治疗复杂病例^[3]。近年来图像引导容积旋转调强放疗技术被越来越多地应用到临床,极大缩短了治疗时间,提高了治疗效率^[4-6]。头部肿瘤放疗时需要保护的重要器官较多且大多时候离靶区较近^[7],既要保证肿瘤接受足够的剂量又要最大限度保护危及器官,确保临床靶区(clinical target volume, CTV)100%体积接受 95%处方剂量,则需要加一个剂量安全边界,生成计划靶区(plan target volume, PTV)^[8],因此靶区的外扩边界尤为重要。合适的外扩边界与精准摆位息息相关,是保证头部肿瘤精准放疗的关键。在实际放疗过程中,对同一患者需周期性重复摆位,因此保证患者体位固定的重复性是影响放疗精度的重要因素之一^[9]。本研究分析两种固定装置在头部肿瘤放疗过程中的摆位误差,以期为头部肿瘤放疗 PTV 外扩边界的计算提供进一步数据参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 1—12 月在本院进行 IGRT 的 82 例头部肿瘤患者为研究对象,其中脑胶质瘤 28 例、脑转移瘤 43 例、脑膜瘤 4 例、脑癌 7 例;女 34 例,男 48 例;年龄 20~89 岁,中位年龄 60 岁。纳入标准:(1)头部肿瘤均采用 IGRT 进行治疗;(2)卡诺夫斯凯计分(Kanofsky performance score, KPS)70 分以上,意识清楚,能在病床上安静平躺 20 min 以上。排除标准:(1)沟通障碍,不能配合;(2)无法有效重复同一体位。按照 CIVCO Uni-frame 碳纤维可调节角度头架(10°角)和国产一体板固定方式将患者分为可调节角度头架组($n=41$)和一体板组($n=41$)。患者均已完善相关检查,排除放疗禁忌证,放疗前签订知情同意书。

本研究已通过本院伦理委员会批准[审批号:伦审科研第(SJS2025-LW030)号],患者均知情同意。

1.2 方法

1.2.1 放疗定位和图像获取

可调节头架角度均为 10°,头托为透明 B 托;国产一体板头托为 C 托。患者平躺于床板上,将 Create 头部 U 型热塑膜浸于 70 ℃水中 3 min 后取出,兜住患者下巴,然后均匀向后向下用力拉伸并固定在固定装置上,塑形间捏出患者鼻根、鼻尖、额头轮廓,待热塑膜冷却之后,依照激光灯画出 3 个“十”字交叉线,贴上铅点,确定等中心位置。热塑膜上记录患者信息及摆位信息。进床确定扫描中心,接通增强高压注射器。GE Discovery RT 大孔径定位 CT 定位扫描图像,扫描范围为头顶至锁骨下 3 cm。扫描条件:电压 120 kV,电流 300 mA,视场角(field of view, FOV)50 cm,层厚 2.5 mm,螺距 1,轴扫图像,出床扫描。扫描平扫图像和延迟后的增强图像。扫描结束之后传至治疗计划系统。每天行一次锥形束 CT(cone beam CT, CBCT),82 例头部肿瘤患者共获得 1 823 次 CBCT 图像,其中可调节角度头架组 864 次,一体板组 959 次。

1.2.2 靶区勾画和计划设计

在 Monaco 系统上勾画放疗靶区和危及器官,确认靶区和照射剂量后,计划采用 6 MV 能量,容积旋转调强放疗,射野角度 180°,每次 2 Gy 或 2.5 Gy,5 次/周,处方剂量 50~60 Gy,放疗 20~30 次。

1.2.3 患者位置验证和图像匹配

选择头部的扫描模式,CBCT 滤过器选择 S20、F0,CBCT 探测板位置调整至 S 位,采用半锥形束扫描模式,旋转角度位 315°~160°,共 205°,成像范围 41.00 cm×27.67 cm。获取 CBCT 图像与 CT 定位图像匹配,从而获得患者 X、Y、Z 共 3 个方向的差值。

1.2.4 摆位误差数据分析及运算

1.2.4.1 PTV 外扩边界的计算

记录患者 X、Y、Z 轴 3 个方向的摆位误差,获得 3

个方向不同的位移数值,在同一个方向上对某一个患者的多次位移数值,计算其标准差(standard deviation, SD),当有 n 个患者时,可计算 n 个 SD。计算患者在单一方向所有位移绝对值的平均值即为绝对摆位偏差;根据 n 个绝对摆位偏差在计算其标准差即为系统误差(Σ),n 例患者 SD 的均方根

$$\sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2 + SD_3^2 + \dots + SD_n^2}{n}} \quad \text{式①}$$

即为随机误差(δ)^[10]。根据 PTV 外扩边界公式

$$2.5\Sigma + 0.76 \quad \text{式②}$$

可计算患者在该方向上所需要的 PTV 外扩边界^[11-12]。

1.2.4.2 三维空间位移的计算

三维空间位移为同一个患者当次治疗时左右、进出、升降方向位移三维空间欧几里得距离

$$\sqrt{D_{LAT}^2 + D_{LNG}^2 + D_{VRT}^2} \quad \text{式③,}$$

根据公式分别计算 CIVCO Uni-fram 可调节角

表 1 两种固定装置三维方向绝对摆位误差 [$M(Q_1, Q_3)$, cm]

组别	n	X 轴	Y 轴	Z 轴
可调节角度头架组	41	0.13(0.07, 0.22)	0.16(0.16, 0.27)	0.10(0.05, 0.18)
一体板组	41	0.14(0.07, 0.24)	0.18(0.18, 0.32)	0.09(0.04, 0.16)
Z		-2.002	-2.747	-2.599
P		0.045	0.006	0.090

表 2 两种固定装置三维方向相对摆位误差 [$M(Q_1, Q_3)$, cm]

组别	n	X 轴	Y 轴	Z 轴
可调节角度头架组	41	0.06(-0.09, 0.05)	-0.03(-0.19, 0.12)	0.02(-0.08, 0.03)
一体板组	41	0.02(-0.11, 0.16)	0.04(-0.23, 0.12)	0.01(-0.08, 0.11)
Z		-1.093	-1.256	-1.394
P		0.274	0.209	0.163

2.2 PTV 外扩边界

使用这两种固定装置时勾画靶区时从 CTV 到 PTV 外扩时所需要的外扩边界,见表 3。

表 3 两种固定装置外扩边界(cm)

项目	CIVCO Uni-fram 可调节角度头架			国产一体板		
	X 轴	Y 轴	Z 轴	X 轴	Y 轴	Z 轴
平均值 M	0.15	0.19	0.13	0.17	0.22	0.12
系统误差 Σ	0.07	0.08	0.06	0.05	0.10	0.06
随机误差 δ	0.09	0.14	0.10	0.12	0.15	0.09
PTV 外扩边界	0.24	0.30	0.22	0.21	0.36	0.21

2.3 三维空间位移

CIVCO 可调节角度头架的平均位移为(0.320±0.018)cm;国产一体板的平均位移为(0.340±0.017)cm($P>0.05$)。

度头架和国产一体板的三维空间位移^[13],即相对摆位误差。

1.3 统计学处理

采用统计学软件 SPSS27.0 进行数据分析,符合正态分布数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 t 检验,不符合非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,比较采用配对 Wilcoxon 秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 摆位误差

2.1.1 绝对摆位误差

可调节角度头架组 Y 轴方向小于一体板组,差异有统计学意义($P=0.006$);Z 轴方向差异有统计学意义($P=0.011$);X 轴方向差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

2.1.2 相对摆位误差

两组在左右、进出、升降方向误差比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。

3 讨 论

目前临幊上常用的头部体位固定装置是可调节头架和一体板,但这两种固定装置在头部肿瘤的摆位可重复性和 PTV 外扩边界上有待进一步研究,本研究利用 ELEKTA infinity 直线加速器自带 CBCT 系统对头部肿瘤患者放疗进行图像引导,探讨 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板和国产一体板在头部肿瘤放疗过程中摆位误差,计算 PTV 外扩边界,为临幊应用提供参考。

体位固定是放疗的第一个环节,也是贯穿整个放疗过程的重要环节,体位重复性的高低是放疗成功与否的关键因素。在确定治疗体位时,要首先根据治疗技术的要求,借助治疗体位固定装置让患者得到一个较舒适的重复性好的体位。理想的头颈部肿瘤放疗摆位误差在 2 mm 以下。

在放疗中减少摆位误差能够降低对正常组织的

辐射^[14]。本研究结果显示,两组研究摆位误差的差异主要体现在进出方向上,与既往研究相符^[13-16]。在本研究中,CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板与国产一体板在 X 轴(左右)方向与 Z 轴(升降)方向上在绝对误差上无明显误差,在 Y 轴(进出)方向上 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板较国产一体板在绝对误差上较小。分析原因为 X 轴(左右)方向上,CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板与国产一体板的头枕均为常规头枕,适用于大部分患者,在摆位过程中,尾激光灯与患者头部矢状位中心重合,以及调整头顶,鼻尖,下颌骨位置与头膜相吻合,故误差无明显差异;Z 轴(升降)方向上,本研究中 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板具有 10°角度,患者 XVI 扫描图像和 CT 定位图像的差值投影到 Z 轴垂直方向上会相对减小。故在 Z 轴方向上相差不大;Y 轴方向上,制作热膜时,因 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度底板具有 10°角度,额头与头顶的头膜无需牵拉过长距离即可扣至头架,使得头膜对额头与头具有一定限制作用,从而与头托进一步贴合。摆位误差分为系统误差和随机误差^[17]。系统误差存在于患者的整个治疗过程,其规律性和重复性主要与机器设备的精度有关,可通过经常性的校准设备、质量控制、减小扫描层厚、层距等方式降低。随机误差在摆位误差中没有规律,主要与机器设备的不稳定、患者状况及技术员的摆位技术密切相关,虽不能完全消除,但可以尽量将其降低。因此对患者行放疗摆位时,有效减少摆位误差成为实际放疗中的重点和难点。

PTV 是联系患者坐标系和机器坐标系的一个几何概念,它包括临床靶区 CTV 本身、照射中患者器官运动及日常摆位、治疗中靶位置和靶体积变化等因素引起的外扩边界,从而能确保临床靶区得到规定剂量。本研究头部固定装置可调节角度头架和国产一体板的 PTV 外扩边界根据公式 $2.5\Sigma + 0.76$ 进行计算,使用可调节角度头架靶区体积外扩边界值在 X、Y、Z 方向上分别为 0.24、0.30、0.22 cm;在使用国产一体板时靶区体积外扩边界值在 X、Y、Z 方向上分别为 0.21、0.36、0.21 cm。

本研究使用两种不同固定装置对头部肿瘤放疗进行摆位,3 个方向的摆位误差均 $< 2 \text{ mm}$,与既往研究^[18]相符。过大的 PTV 会造成过多的正常组织受损,增加患者不良反应的发生概率,过小的 PTV 会造成肿瘤区域的脱靶^[19]。在使用不同体板对头部肿瘤患者进行放疗时,应该具有不同的外扩边界。但是在实际治疗过程中,由于各个放疗单位的放疗设备不同,技术员对设备操作的熟悉程度不同,摆位、定位技术不同,物理师对其质控要求不同,所以放疗技师应该总结所在单位的摆位误差、各个型号设备的误差范围,物理师应该按时做好日检、周检、月检、年检,保证放疗设备的精确度,为放疗计划中靶区的外放边界提

供必要的保障^[20]。

本研究中涉及的 CIVCO Uni-fram 碳纤维可调节角度头架在头部肿瘤放疗的使用过程中仍有许多注意事项:基板角度为旋转固定,随着患者躺卧次数的增多,倾斜负荷增多,其角度可能会有所变化,需要在患者治疗前验证倾斜基板角度位置和衰减特性,并紧固 Lock-knob 位置,以保证每次治疗的重复性。本研究也存在一些不足之处:只讨论了常规头枕,未涉及头颈部形状特殊的患者;患者在仰卧时颈椎存在或大或小的延伸及旋转,如何控制患者颈部的旋转值得进一步研究讨论。

参考文献

- [1] 胡燕,王亮和,陈星萌,等. 2 种不同固定头架在头颈部肿瘤放疗中的摆位误差研究[J]. 医疗卫生装备,2017,38(3):80-82.
- [2] 张丙新,石祥礼,梁广立,等. 瓦里安机载图像引导系统在鼻咽癌图像引导放疗中联合应用的探索[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2022,31(4):365-369.
- [3] 代馨瑶,成宇,曹潘潘,等. 不同部位体表轮廓对 Catalyst HD 体表光学系统引导放疗摆位的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志,2023,43(9):689-697.
- [4] 白飞,张丽华,许林林,等. 颈部核心肌群锻炼及按摩在头颈部肿瘤放疗过程中改善颈椎曲度变化的可行性[J]. 肿瘤研究与临床,2023,35(8):568-572.
- [5] 柴林燕,周灿,王科峰,等. 基于 VMAT 的固定铅门技术在左侧乳腺癌改良根治术后放疗中的应用[J]. 现代肿瘤医学,2020,28(19):3409-3413.
- [6] 徐丙臣,曹洋森,李健. 乳腺癌术后放疗 H-IM-RT 技术与 H-VMAT 技术剂量学比较[J]. 实用肿瘤学杂志,2021,35(6):511-516.
- [7] 孟瑞娟,郝晶晶,王聪睿,等. 塑形垫结合热塑膜在头颈部肿瘤放疗患者体位固定中的应用[J]. 国际放射医学核医学杂志,2023,47(7):413-418.
- [8] 白志刚,梁德川,蔡群榕,等. 基于电子射野影像系统推导头颈部肿瘤调强放疗计划靶体积边界[J]. 社区医学杂志,2020,18(12):876-881.
- [9] STERZING F, ENGENHART-CABILLIC R, FL-ENTJE M, et al. Image-guided radiotherapy:a new dimension in radiation oncology[J]. Dtsch Arztebl Int, 2011,108(16):274-280.
- [10] 周勇,江泽莹,苏宝锋,等. 直线加速器机载千伏级扇形束 CT 和兆伏级锥形束 CT 系统在放疗摆位误差中的应用[J]. 肿瘤防治研究,2023,50(11):1097-1102. (下转第 2146 页)