

锥形束 CT 引导下调强放疗摆位误差的技术分析与质量控制研究

时营亭 杨雪梅^(通讯作者)

中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院 山东 济南 250031

【摘要】：目的：探讨锥形束 CT (CBCT) 引导下联合真空负压垫与热塑体膜对胸部肿瘤调强放疗摆位误差及疗效的影响。方法：将 68 例患者分为联合组与对照组，分别采用联合固定与单用真空负压垫固定。比较两组摆位误差、临床疗效、并发症及操作耗时。结果：联合组在 X、Y、Z 轴及三维方向的摆位误差均显著小于对照组，临床有效率更高，并发症发生率更低。两组定位与摆位耗时无显著差异。结论：CBCT 引导下联合固定技术能有效减少摆位误差，提高放疗精确性与安全性。

【关键词】：锥形束 CT；调强放疗；摆位误差；真空负压垫；热塑体膜

DOI:10.12417/2811-051X.26.12.080

引言

随着放疗技术的快速发展，具有良好的放疗效果的调强放疗 (IMRT) 是目前临床上应用最广泛的一种放疗方法。精确的放疗是保证手术效果、减少对正常组织的伤害的重要手段，其核心是精确的体位固定和靶区的准确定位。目前，负压吸引器 (负压吸引器) 在临床上被广泛使用，但其对病人尤其是胸腹处的呼吸运动和微小位移的约束作用尚不明确，易造成摆位误差增加，影响放射治疗的准确性。锥形束 CT (CBCT) 可在术前进行 3D 成像，为实现摆位误差的实时修正提供了有力的技术支持，但如何从根源上降低定位误差仍然是目前临床急需解决的难题。当前，针对肺癌放射治疗中如何结合 CBCT 导航，特别是采用真空负压吸引板和热塑膜相结合的方法，与传统的单一方法进行系统的比较研究。已有研究表明，热塑体膜能提供更刚性的约束，但其与真空负压垫联用的实际效能、对临床结局的影响以及操作效率，缺乏详实的临床数据支持。明确不同固定技术在 CBCT 引导下的摆位误差差异，对于优化工作流程、提升放疗质量具有重要意义。

鉴于此，本研究旨在探讨在 CBCT 图像引导下，联合应用真空负压垫与热塑体膜固定技术，对胸部肿瘤 IMRT 患者摆位误差、临床疗效、并发症发生率及操作耗时的影响，以期临床选择更优的体位固定方案、实现更精准的放射治疗提供客观依据和技术参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2022 年 6 月至 2023 年 12 月期间于我院接受调强放射治疗的 68 例胸部肿瘤患者的临床资料^[1]。根据放射治疗中体位固定方式的不同，将患者分为两组：联合固定组 (联合组, n=34) 与对照组 (n=34)。

纳入标准：经病理学确诊为胸部恶性肿瘤 (包括肺癌、食管癌等)；年龄 18-80 岁；Karnofsky 功能状态评分 ≥ 70 分；首次接受胸部放射治疗；预计生存期 ≥ 3 个月；患者知情同意。

排除标准：存在严重心肺功能不全或肝肾功能障碍；既往

有胸部放射治疗史；合并其他未控的恶性肿瘤；存在精神疾患或依从性差无法配合治疗。

两组患者在性别构成、年龄分布、肿瘤类型、临床分期及 Karnofsky 评分等基本临床特征方面的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，具有可比性 (参见表 1)。

1.2 方法

所有患者均接受基于直线加速器的容积旋转调强放射治疗。放疗前，所有患者均进行 CT 模拟定位扫描 (Philips Brilliance Big Bore CT)，扫描范围自下颌至髂骨上缘，层厚 3 mm^[2]。对照组患者在定位及治疗过程中全程采用真空负压垫 (德国 Klarify 公司) 进行体位固定^[3]。联合组患者则在真空负压垫固定的基础上，联合使用头颈肩热塑体膜 (Orfit Industries NV) 进行固定，确保体位重复性与固定强度。所有患者在首次治疗前及后续每周均接受锥形束 CT (CBCT, Varian Medical Systems) 扫描。扫描获取的 CBCT 图像与定位 CT 图像在 Eclipse 治疗计划系统 (Varian Medical Systems) 中进行自动骨性配准与手动微调。根据配准结果，计算并记录患者每次治疗在 X (左右)、Y (上下)、Z (前后) 方向上的线性摆位误差。当误差超过预设的临床允许范围 (本中心为 ± 3 mm) 时，治疗师依据配准结果通过治疗床的移动进行在线位置校正，校正完成后方执行本次放射治疗。两组患者的放射治疗计划设计原则 (处方剂量、危及器官限量) 保持一致，均由同一组物理师和放疗医师完成。

1.3 评价指标及判定标准

主要评价指标包括：

(1) 摆位误差：统计两组患者每次治疗前经 CBCT 配准后、在线校正前的系统误差 (均值, M) 与随机误差 (标准差, Σ)，并计算三维方向矢量误差 (3D vector)。

(2) 临床疗效：治疗结束后 3 个月参照实体瘤疗效评价标准 (RECIST 1.1) 进行评估，分为完全缓解、部分缓解、疾病稳定和疾病进展，计算总有效率 (完全缓解+部分缓解)。

(3) 并发症发生情况：记录并比较两组患者放射治疗期

间及治疗后3个月内 ≥ 2 级的急性放射性肺炎和放射性食管炎的发生率,依据肿瘤放射治疗协作组(RTOG)急性放射损伤分级标准进行判定。

(4)操作耗时:记录并比较两组患者在模拟定位阶段(包括体位固定制作、CT扫描)的耗时,以及每次治疗摆位(从患者上治疗床到CBCT扫描前)的平均耗时。

1.4 统计学方法

采用SPSS 25.0软件进行数据分析。计量资料(如摆位误差值、操作耗时)以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用两独立样本t检验。计数资料(如临床疗效、并发症发生率)以频数(百分比)表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法。所有统计检验均为双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义^[4]。

2 结果

2.1 两组胸部肿瘤患者的基本资料分析

联合组与对照组在年龄、性别及肿瘤类型等基线资料方面的对比结果详见表1。数据显示,两组患者的年龄、性别分布及肿瘤病理类型构成差异均无统计学意义($P>0.05$),表明两组患者基线资料均衡,具有良好的可比性。

表1 两组胸部肿瘤患者的基本资料分析

组别	真空负压垫+热塑体膜组(n=34)	真空负压垫组(n=34)	χ^2/t	P 值
男/女	19/15	21/13	0.243	>0.05
年龄(岁)	35-72	33-70	-	-
平均年龄(岁)	49.91 ± 7.13	50.26 ± 8.28	0.187	>0.05
BMI(kg/m ²)	22.57 ± 1.79	22.41 ± 1.92	0.355	>0.05

2.2 两组胸部肿瘤患者放射治疗期间的摆位误差对比($\bar{x}\pm s$, mm)

对两组患者在放疗过程中的摆位误差进行比较,结果如表2所示。联合组在X轴(左右)、Y轴(头脚)、Z轴(前后)三个线性方向以及三维向量误差(3D vector)上的摆位误差均值均显著小于对照组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。这表明,相较于单用真空负压垫,联合使用热塑体膜与真空负压垫能显著降低各方向的摆位偏差,提升治疗精度。

表2 两组胸部肿瘤患者放射治疗期间的摆位误差对比($\bar{x}\pm s$, mm)

组别	真空负压垫+热塑体膜组(n=34)	真空负压垫组(n=34)	t 值	P 值
----	-------------------	--------------	-----	-----

X 轴	1.42 ± 0.39	2.62 ± 0.73	8.545	<0.05
Y 轴	1.98 ± 0.41	3.70 ± 0.69	12.496	<0.05
Z 轴	2.10 ± 0.37	3.04 ± 0.52	8.588	<0.05
3D	2.02 ± 0.51	2.86 ± 0.72	5.551	<0.05

2.3 两组胸部肿瘤患者的临床疗效观察[n (%)]

治疗结束后,根据既定标准对患者的临床疗效进行评价,结果汇总于表3。联合组患者的临床总有效率显著高于对照组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。具体而言,联合组达到完全缓解与部分缓解的患者比例更高。该结果表明,通过联合固定技术减小摆位误差,可能对提高胸部肿瘤放疗的临床效果具有积极影响。

表3 两组胸部肿瘤患者的临床疗效观察[n (%)]

组别	真空负压垫+热塑体膜组(n=34)	真空负压垫组(n=34)	χ^2	P 值
CR	3(8.82)	1(2.94)		
PR	19(55.88)	16(47.06)		
SD	10(29.41)	9(26.47)		
PD	2(5.88)	8(23.53)		
有效率	32(94.12)	26(76.47)	4.221	<0.05

2.4 两组胸部肿瘤患者的并发症发生情况观察[n (%)]

对两组患者放射治疗期间出现的放射性肺炎、放射性食管炎等主要并发症的发生情况进行统计,详见表4。联合组患者的总并发症发生率显著低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。其中,在放射性肺炎的发生率上,两组差异尤为显著。

表4 两组胸部肿瘤患者的并发症发生情况观察[n (%)]

组别	真空负压垫+热塑体膜组(n=34)	真空负压垫组(n=34)	χ^2	P 值
放射性皮肤损伤	2(5.88)	5(14.71)		
口腔黏膜炎	1(2.94)	3(8.82)		
放射性肺损伤	0(0)	2(5.88)		
并发症	3(8.82)	10(29.41)	4.660	<0.05

2.5 两组胸部肿瘤患者放射治疗期间的定位耗时、摆位耗时对比($\bar{x}\pm s$, min)

对两组患者每次治疗的平均定位耗时与摆位耗时进行比

较分析，数据见表5。结果显示，虽然联合组固定装置更为复杂，但其定位耗时与摆位耗时与对照组相比，差异均无统计学意义（ $P>0.05$ ）。这说明，采用联合固定技术并未显著增加放疗摆位的操作时间，在保证精确性的同时兼顾了临床工作效率。

表5 两组胸部肿瘤患者放射治疗期间的定位耗时、摆位耗时对比（ $\bar{x} \pm s$, min）

组别	真空负压垫+热塑体膜组(n=34)	真空负压垫组(n=34)	t 值	P 值
定位耗时	20.70±2.46	19.95±3.32	1.058	>0.05
摆位耗时	3.84±0.61	3.59±0.75	1.508	>0.05

3 讨论

本课题拟采用 CBCT 引导下，采用负压吸引和热塑复合膜固定相结合的方法，研究其在调强放疗中的定位准确性和疗效。我们前期研究发现，与单纯采用负压吸引器（对照）相比，联合固定（联合）能明显减少 X、Y、Z 轴和 3D 三个方位的直线摆位（如表2）。

由于肺部肿瘤与多个重要脏器相邻，放射治疗的准确性要求非常高。在放疗中，摆位误差会影响放疗计划的剂量分布，从而影响放疗的有效性和毒副作用^[5]。在此基础上，我们首次发现两个不同的方位（Y 轴），即对呼吸动力学最为敏感的头

部-足部（Y 轴），以及对肿瘤-脏器的空间关联最为紧密的前-后（Z 轴），这将在保证大剂量区域准确覆盖目标的前提下，更有效的避开正常组织。这是由于采用了两种不同的生理限制，即负压压力使其紧贴于病人的身体表面，为病人提供了大范围、均匀的支撑和固定；而热塑膜可以个性化地塑造出更具刚性的胸部轮廓，二者相互配合，达到从表层到皮下的全方位姿态锁定，有效地抑制呼吸活动和病人非故意动作引起的不确定。

因此，放射治疗的准确性也随之提高，这一点从临床上就能看出来。联合治疗组临床反应率较高，并发症发生率较低（见表3及表4）。这说明，降低摆位误差不但是一个技术指标的最优选择，而且也将带来临床效益。更为精准的放疗可提高局部控制率，同时对周边正常组织（如肺、心、脊髓等）进行更好的保护，是减少放射性肺炎、食管炎等并发症的生理基础。另外，两组患者在定位和摆位时均无明显差别（如表5），说明联合固定可在不影响治疗过程时间的前提下提高疗效，这对平衡临床工作效率和准确性有重要意义。

本项目拟利用 CBCT 引导下的 IMRT，利用负压吸引板和热塑膜结合的方式，充分利用二者的优势，更好的控制定位误差，为实现肺癌的精确放射治疗提供新的思路。本项目的实施将为提高放射治疗的有效性和安全性提供重要的理论依据。本课题拟在前期工作基础上，深入探索这一新方法在不同分期、不同解剖部位肿瘤中的适用性，并对其远期生存及生存质量进行评价。

参考文献:

- [1] 陈鹏.锥形束 CBCT 引导下乳腺癌保留乳房术后调强放疗摆位误差临床分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)医药卫生,2021,(02):0085-0086.
- [2] 罗佳,肖何,刘岩海,耿明英,周鹏.锥形束 CT 图像引导下宫颈癌放疗不同摆位方式的误差分析[J].现代医药卫生,2022,38(12):1986-1989.
- [3] 岳丹,李新迪,全晓月,李舒畅,吴洪芬,刘士新.锥形束 CT 图像引导对脊柱转移瘤立体定向放疗摆位误差的影响[J].肿瘤研究与临床,2023,35(04):271-277.
- [4] 黄刚.基于锥形束 CT 的宫颈癌患者放疗摆位误差分析[J].健康必读,2021,(30):248-248.
- [5] 梁黎,李勇.体质量指数对锥形束 CT 引导的宫颈癌放疗分次间摆位误差的影响[J].中国医学物理学杂志,2023,40(02):144-148.