

多模态影像引导下的放射治疗研究进展

罗志尧

(德阳市人民医院, 四川 德阳)

摘要: 图像引导下的放射治疗 (imageguided radiotherapy, IGRT) 技术已经融合了多种成像技术, 如 CBCT (Cone Beam Computed Tomography)、MRI (Magnetic Resonance Imaging)、4DCBCT 成像等。这些技术提供了高分辨率的实时成像, 用于引导放疗过程中的目标定位和剂量计算。本文对多模态影像获取下的放射治疗技术研究进展进行综述, 介绍了 IGRT 在肿瘤放射治疗的应用现状。

关键词: IGRT; 放射治疗; 研究进展

中图分类号: R730.55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3141.2024.004.001

本文引用格式: 罗志尧. 多模态影像引导下的放射治疗研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2024, 24(004): 1-5.

Research Progress of Multimodal Image-Guided Radiation Therapy

LUO Zhi-yao

(Deyang People's Hospital, Deyang Sichuan)

ABSTRACT: Image guide radiotherapy (IGRT) technology has integrated a variety of imaging techniques, such as CBCT (Cone Beam Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), 4DCBCT imaging, etc. These technologies provide high-resolution real-time imaging for guiding target localization and dose calculation during radiotherapy. This article reviews the research progress of radiotherapy technology under multimodal image acquisition, and introduces the application status of IGRT in tumor radiotherapy.

KEY WORDS: IGRT; radiotherapy; research progress

0 引言

几十年来, 放射疗法一直用于治疗各种类型的癌症。然而, 传统的放射治疗方法是基于外照射放射治疗的概念, 它有一些局限性, 例如对健康组织的高剂量递送、肿瘤运动和治疗过程中的解剖变化。这些限制会导致并发症并降低治疗效果。最近的技术进步能够在图像引导下进行放射治疗。IGRT 是指在患者进行治疗前、治疗中、治疗后利用各种影像设备获取患者相关影像信息, 对肿瘤、正常组织器官或患者体表轮廓进行定位, 能根据其位置变化进行调整, 以达到靶区精确放疗和减少正常组织受照为目的的放射治疗技术总称^[1]。图像引导放射治疗 (IGRT) 的主要优势之一是它可以增加剂量优势, 从而更好地控制肿瘤并改善患者预后。使用 IGRT 还可以缩短整个治疗持续时

间, 从而最大限度地减少患者的不便和并发症的可能性, 这种技术提高了剂量的准确性。

1 电子影像验证设备EPID

二维影像引导下的放射治疗是一种医疗技术, 用于将二维影像作为指导, 对肿瘤进行放射治疗。这种方法通常用于早期放射治疗, 在二维影像引导下的放射治疗中, 医生首先获取患者的二维影像, 这些影像提供了有关肿瘤位置、大小和周围组织的信息。然后, 医生使用这些影像来规划放射治疗计划, 确定辐射束的方向、剂量和持续时间, 以确保最大程度地破坏肿瘤细胞而最小化对健康组织的损害。常用的包括 EPID, 验证胶片, X线透视, 平片系统等。

二维影像引导下的放射治疗在时下仍然是一种有用的方法, 特别适用于资源有限的医疗

环境或某些早期肿瘤的治疗。在这些情况下，二维影像可以提供足够的信息来指导放射治疗，并在肿瘤控制方面取得良好的结果。

电子射野影像设备（Electronic Portal Imaging Device, EPID）是一种用于放射治疗的影像设备。EPID主要用于对患者进行治疗时的实时影像监控和验证。

EPID通常由一个平板探测器组成，该探测器位于放射治疗机的治疗头部或治疗装置中。当放射治疗机释放辐射束照射患者时，EPID可以接收到经过患者体内的辐射束，并将其转换成数字信号。

EPID可以提供高分辨率的影像，用于检查患者在治疗期间的位置和姿态是否与计划的放射治疗图像相匹配。这样的验证有助于确保放射治疗的准确性和精确性。如果发现患者的位置有偏差或姿态不正确，医疗团队可以及时采取纠正措施，以确保辐射束准确地照射到肿瘤区域，同时最大程度地减少对健康组织的伤害。钱月红^[2]等发现通过在颈、胸中下段放疗过程中应用EPID可以将患者放疗过程中摆位误差相对减少，形成对放疗效果的有效控制。然而李庆^[3]等提到，EPID使用具有局限性，不能较好地对软组织显像，这也是EPID不能作为金标准应用于临床放射治疗缩小摆位误差的主要原因。

2 CBCT (Cone Beam Computed Tomography) 引导下的放射治疗

锥形束CT是在放射治疗中常见的获取三维影像信息的设备，能量分为KV级和MV级，KV级CBCT利用锥形束X射线成像系统进行成像，并与放射治疗设备相结合，实现准确的放射治疗。CBCT系统使用圆锥形束的X射线源，通过旋转一圈或特定角度的方式，围绕患者进行快速扫描。与传统的医用CT不同，CBCT使用的X射线剂量较低，成像时间较短。通过

接收器获取的X射线数据，经过计算机处理，可以重建出高分辨率的三维体积图像。这些图像能够清晰地显示出患者的解剖结构，包括肿瘤、器官和周围组织。CBCT成像技术在放疗过程中用于定位和验证治疗目标的位置。在每次放疗治疗之前或期间，患者接受CBCT扫描，以获取实时的解剖信息。通过配准CBCT与TPS输出的治疗计划的螺旋CT图像，得到患者在空间上的位置偏差，并进行必要的调整。马平平^[4]的研究表明应用CBCT能有效减少摆位误差，并且在头颈部恶性肿瘤病人放疗中计划靶区可外扩3mm，发泡胶组在面枕方向上可适当小于3mm，可以进一步提升外照射的精确性和有效性。袁亚杰^[5]等在CBCT引导下，应用不同的解剖标志物配准的误差值差异进行了分析，总结在放射治疗开始前选择合适的解剖结构进行在线图像配准是图像引导放射治疗成功实施的重要前提。肖亮杰^[6]等的研究提到，基于CBCT引导下，旋转误差对食管癌放疗精度的影响不容忽视，六维配准技术配合六维床能降低胸部肿瘤患者放疗时摆位误差，特别是长靶区如食管癌方面，校正旋转摆位误差有明显优势。朱清红^[7]等的报告道采用高精度技术治疗宫颈癌时，每周KV-CBCT是一种令人满意的精确定位方法，有助于减少CTV-PTV边界。通过以上研究可以看出KV级CBCT应用于各类型肿瘤放射治疗，不仅可以量化摆位误差，并纠正摆位误差，还能提供缩小CTV-PTV边界的有效数据，进一步提高放射治疗的精准性。

MV级的CBCT以Varianhalcyon为例是利用治疗用兆伏级能量射线进行透视，以获取患者影像信息，将治疗与获取影像信息两个概念进行整合，halcyon设计放射治疗计划是可以将成像剂量加进处方剂量中，避免患者受到多余不必要的辐射。MV级CBCT的优势在于其高能量的X射线源，它能够提供更好的穿透力和成像质量。这使得MV级CBCT适用于治疗部位较深、骨骼结构较密集的情况，如头颈部、胸

部和腹部等区域的放射治疗。Yuliang Huang^[8]等的研究表明基于计划 CT 和 MV-CBCT 之间的 DIR 为 Halcyon 进行 ART 的可能性提供了依据。初步临床数据表明,患者特异性剂量重建和 ART 可以避免靶区剂量不足和正常组织剂量过量。李寒旭等^[9]认为MV-CBCT可在一定程度上满足临床需求,并可以从6个自由度对患者的精准度进行调整,提高放射治疗精度。MV级CBCT的成像剂量较高,在使用过程中需要仔细考虑辐射剂量的管理和控制。

3 4DCBCT引导下的放射治疗

利用4DCBCT成像技术来指导放射治疗的方法。4DCBCT结合了CBCT成像技术和时间分辨率的特点,可以在呼吸或其他运动状态下获取动态的三维图像,包含解剖结构在三维空间上位置和形状随时间周期性的变化信息。

4DCBCT使用与CBCT类似的成像原理,但它在成像过程中捕捉和记录患者的运动信息。通过使用特殊的成像装置或呼吸门控技术,4DCBCT可以获取在呼吸周期或运动过程中的多个时间点的图像。这样可以获得一个动态的三维图像序列,反映出肿瘤或治疗目标的运动情况。通过4DCBCT成像,可以实时跟踪和记录肿瘤或治疗目标的运动轨迹。这些运动信息可以用于重建出一个完整的运动过程中的三维图像序列,反映出目标的位置变化。能够更准确地定位和定向放疗,确保放射束准确照射到移动目标。李毅等^[10]认为:4DCBCT可有效评估放疗靶区摆位和呼吸运动误差,并确定中下叶肺癌SABR治疗中PTV外放边界大小。郑明志^[11]利用4DCT配合4DCBCT图像能对靶区进行更为精确的勾画,进一步提升放疗实施前的准确性。刘利彬等^[12]的研究指出3D-CBCT和4D-CBCT都可应用于肺癌SBRT,但4D-CBCT能减少头脚方向呼吸运动导致的内部肿瘤位置不确定性。

4DCBCT引导下的放射治疗在治疗移动目标的肿瘤(如肺癌、肝癌等)中具有重要意义。它可以提供实时的运动跟踪和重建功能,帮助医生进行准确的定位和调整放疗计划。通过4DCBCT引导下的放疗,可以最大程度地减少对移动目标周围正常组织的损伤,提高治疗的精确性和疗效。

4 MRI引导下的放射治疗

MRI引导下的放射治疗是一种利用磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)技术来指导和监控放射治疗过程的方法。它将MRI成像与放射治疗设备相结合,磁共振成像是一种使用磁场和无害的无线电波来生成人体内部高分辨率图像的成像技术。通过对患者进行MRI扫描,可以获取详细的解剖和功能信息,包括肿瘤位置、周围组织结构和器官功能等,MRI成像可以提供更准确的肿瘤定位和边界识别,在放疗过程中,MRI引导下的治疗技术可以通过实时的MRI成像来监测肿瘤位置的变化。医生可以获取连续的MR图像序列,可以更好地观察肿瘤在治疗过程中的运动、缩小或形态变化。

MRI具有实时适应性,通过MRI引导下的放疗,医生可以根据实时的MRI成像信息进行实时适应性治疗。如果肿瘤位置或形态发生变化,可以相应地调整放疗计划,以保证准确的照射,这种实时适应性可以提高治疗的精确性和效果。MRI引导的放射治疗在国内的关注度越来越高,现有研究表明^[13-15]MR引导的自适应放射治疗能呈现更清晰靶区,投照剂量更加严格和准确,并且能在自适应放疗中发挥重要作用。NgJ等^[16]指出MRI引导放射治疗每次治疗所需的时间和人员分配以及与传统放射治疗平台相比临床效益不明确,但可能随着以后的发展改变放射治疗的流程。Tallet A等^[17]的研究表明使用MRI作为IGRT可以在不降低肿瘤控制

率的情况下减少健康肝实质的照射量，有助于后续肝脏肿瘤照射。

MRI引导下的放射治疗在某些情况下具有特殊优势，特别是对于需要准确的解剖信息和功能评估的治疗。它在治疗中的实时监控和适应性调整方面提供了更高的准确性，减少了对周围正常组织的副作用。然而，与其他放疗技术相比，MRI引导下的放疗还面临着设备成本高、治疗时间长等挑战。

5 自适应放射治疗 (Adaptive Radiation Therapy, ART)

自适应放疗 (Adaptive Radiation Therapy, ART) 和图像引导治疗 (IGRT) 是两种密切相关的放射治疗技术，它们共同旨在提高放射治疗的准确性和效果。虽然它们有一些相似之处，但也存在一些区别。

自适应放射治疗 (Adaptive Radiation Therapy, ART) 是一种根据患者的解剖和生理变化实时调整放疗计划的治疗方法。它结合了成像技术和放射治疗设备，以最大程度地适应患者的个体变化，提高治疗的准确性和效果。在开始放射治疗之前，基于初始的成像数据 (如CT、MRI等)，制定放疗计划。这个计划包括确定治疗目标的位置、剂量分配和放疗计划的几何形状。在放疗过程中，患者可能会经历解剖变化，如器官移位、肿瘤缩小或扩大等。为了捕捉这些变化，重复成像 (如CT、MRI、CBCT等) 被用于获取实时的解剖信息。通过比较初始成像和重复成像，可以进行变形分析，评估治疗目标和周围组织的解剖变化。这些分析可以通过图像配准和分割技术来量化和可视化。根据变形分析的结果，可以根据实时的解剖变化调整放疗计划。这可能涉及调整剂量分配、修改放疗计划的几何形状或调整治疗技术，以确保放射束精确照射到治疗目标，并最小化对周围正常组织的伤害。在

接下来的放疗过程中，这个适应过程可以迭代进行。通过周期性的重复成像和计划适应，医生可以持续监测和调整治疗，以适应患者的变化。一些研究^[18-20]显示治疗过程中靶区变化明显，自适应放疗为剂量分配提供了更可靠的方法，虽然KV-CBCT引导可以为ART治疗提供相对可靠的图像，但与MR相比图像质量差异较大，MR仍是首选，并且与CBCT相比存在剂量优势，但是ART如何深入整个放疗流程，还需要不断探究。McComas Kyra N等^[21]的研究显示虽然在线 ART 大大降低了解剖变化的不确定性，但是需要考虑增加的时间和人力成本。虽然目前在线自适应在时间和人力成本上花费较大，存在问题，但随着技术不断进步，未来ART或许能成为放射治疗实现更准确化，更精确化，更个性化的关键技术。

6 小结

目前图像引导的放射治疗技术不断革新^[22]，它在提高放疗精确性、减少误差和副作用方面取得了显著的临床效果。IGRT的研究重点包括技术改进、剂量计算和优化、放射治疗计划调整和适应性治疗等。IGRT作为一种先进的放射治疗技术，在多模态影像获取下，对癌症治疗具有重要的潜在影响。它提供了更准确的放疗定位和剂量计算，引导了适应性治疗的发展，使放疗更加精确、个体化和有效。持续的研究和临床实践将进一步探索IGRT在癌症治疗中的潜力，并不断提高治疗的精确性和结果。

参考文献

- [1] 林承光,翟福山.放射治疗技术学学习指导与习题集本科影像技术配教[M].北京:人民卫生出版社,2016.
- [2] 钱月红.EPID分析食道癌放疗摆位误差效果[J].现代医用影像学,2019,28(09):2028-2029.
- [3] 李庆,刘侃,谢慧轻,等.锥形束CT对鼻咽癌两种体位固定方式摆位误差的验证分析[J].中国耳鼻咽喉颅底外科杂志,2017,23(06):550-554.

- [4] 马平平.CBCT在不同部位肿瘤放疗中摆位误差的应用研究[D].南华大学,2021.
- [5] 袁亚杰,崔志强,代俊利.基于不同解剖结构的锥形束CT图像配准在肺癌放射治疗中的研究[J].河北医学,2023,29(05):839–843.
- [6] 肖亮杰,方涌文,王宇留,等.基于锥形束CT分析食管癌和肺癌患者摆位误差[J].中国医学物理学杂志,2022,39(10):1189–1193.
- [7] 朱清红,陈小君,甘庆权.千伏锥形束CT(kV-CBCT)图像引导宫颈癌放射治疗的三维摆位误差分析[J].广州医药,2021,52(05):113–116+121.
- [8] Huang Y, Wang H, Li C, et al. A Preliminary Simulation Study of Dose-Guided Adaptive Radiotherapy Based on Halcyon MV Cone-Beam CT Images With Retrospective Data From a Phase II Clinical Trial[J]. Frontiers in oncology,2020,10:574889.
- [9] 李寒旭,张琰,张力维,等.不同校正系统在鼻咽癌加量调强放射治疗中的摆位误差关系研究[J].中国医学装备,2020,17(06):25–28.
- [10] 李毅,吴文婧,张月美,等.3DCT联合4DCBCT在中下叶肺癌SABR放疗靶区外放边界中的应用研究[J].中国医学物理学杂志,2021,38(04):426–430.
- [11] 郑明志.4D锥形束CT引导下的肺癌立体定向放射治疗的临床研究[J].医疗装备,2022,35(21):125–127+131.
- [12] 刘利彬,胡彩容,郑步宏,等.4D锥形束CT在肺癌立体定向放疗中的应用研究[J].医疗装备,2022,35(23):10–13.
- [13] 王华东,李昊东,李振江,等.MR引导食管癌自适应放射治疗研究进展[J].中华肿瘤防治杂志,2023,30(05):301–307.
- [14] 刘鑫,王华东,李昊东,等.基于1.5T MR-linac在线自适应MR引导放疗在肝癌患者中的应用[J].中华肿瘤防治杂志,2022,29(23):1685–1690.
- [15] 刘敏,廖雄飞,唐斌,等.MR加速器呼吸导航引导肝癌SBRT的初步临床应用研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2022,31(12):1133–1139.
- [16] Ng J, Gregucci F, Pennell R T, et al. MRI-LINAC: A transformative technology in radiation oncology[J]. Frontiers in Oncology,2023,13:1117874.
- [17] Tallet A, Boher J M, Tyran M, et al. Is MRI-Linac helpful in SABR treatments for liver cancer?[J]. Frontiers in Oncology,2023,13:1130490.
- [18] 张宇聪,徐钢.鼻咽癌自适应放疗的临床应用进展[J].肿瘤防治研究,2023,50(04):422–426.
- [19] 张利,倪千喜,余功奕.基于KV-CBCT影像引导下非小细胞肺癌自适应放疗可行性研究[J].中国医疗设备,2023,38(02):52–56.
- [20] 李泳衡,巩贯忠,苏亚,等.基于CT/MR图像配准剂量累加对脑转移瘤自适应放疗剂量学研究[J].中华肿瘤防治杂志,2022,29(17):1264–1270.
- [21] McComas KN, Yock A, Darrow K, et al. Online Adaptive Radiation Therapy and Opportunity Cost[J]. Advances in Radiation Oncology,2023,8(3):101034.
- [22] 李明,吴建亭,王君辉,等.肿瘤放射治疗中图像引导方式研究进展[J].生物医学工程与临床,2022,26(05):652–657.