

锥形束 CT 在肿瘤精确放疗中的应用

刘轶群¹, 王文玲²

(1. 慈溪市人民医院, 浙江 慈溪 315300;

2. 贵阳医学院附属肿瘤医院, 贵州省肿瘤医院, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 锥形束 CT 是图像引导放疗的一种方式, 具有多种优势, 在精确放疗中发挥了重要作用。本文就锥形束 CT 的基本原理、在放疗中的应用情况、研究进展进行综述。

关键词: 锥形计算机断层摄影术; 放射疗法; 肿瘤

中图分类号: R73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-170X(2013)12-0991-04

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2013.12.B018

Application of Cone Beam Computed Tomography to Precise Radiotherapy for Cancer

LIU Yi-qun, WANG Wen-ling

(1. Cixi People's Hospital, Cixi 315300, China; 2. Guizhou Provincial Tumor Hospital, Guiyang 550004, China)

Abstract: Cone beam computed tomography (CBCT) is a way of image guided radiation therapy (IGRT), has many advantages. It plays an important role in the precise radiotherapy. This paper reviews the basic principle, application and research progress of CBCT.

Subject words: cone beam computed tomography; radiotherapy; neoplasms

随着放疗技术的快速发展, 三维适形、调强放疗、立体定向放疗等精确放疗已经成为目前主要的放射治疗方式。精确放疗除了更加准确的靶区勾画外, 更小的摆位误差和根据肿瘤治疗情况不断修订治疗计划在精确放疗中扮演了非常重要的角色。图像引导放疗(image-guided radiotherapy, IGRT)以其独特的影像引导方式减小了各种误差。近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT (cone beam CT, CBCT), 具有体积小、重量轻、开放式架构的特点, 可以直接整合到直线加速器上, 通过在治疗位置的容积成像、图像配准等技术大幅提高放射治疗的精度, 掀开了影像引导下放射治疗技术的新篇章。现将 CBCT 的技术特点及其在肿瘤精确放疗中的应用作一综述。

通讯作者: 王文玲, 科主任, 主任医师, 学士; 贵阳医学院附属肿瘤医院, 贵州省肿瘤医院腹部肿瘤科, 贵州省贵阳市云岩区北京西路 1 号(550004); E-mail: wwlmn9666@vip.sina.com

收稿日期: 2013-03-06; **修回日期:** 2013-05-08

1 CBCT 技术特点

1.1 CBCT 的成像原理

CBCT 由一个 kV 级或 mV 级 X 射线源和一个安装在机械手臂上的非晶硅平板探测器(flat-panel imager, FPI)组成。探测器是由命令处理器、射线接收器、电源组成。其中射线接收器包含闪烁晶体屏、大面积非晶硅传感器阵列及读出电路等。闪烁晶体屏将 X 射线转换成可见光, 大面积非晶硅传感器阵列将可见光转换为电信号, 然后读出电路将其数字化, 传送至计算机中, 形成可显示的数字图像^[1]。CBCT 通过旋转一个装有 X 射线源的机架, 在对侧的大面积非晶硅数字化 X 线探测板上获得反投射重建图像^[2]。

1.2 CBCT 的优势

CBCT 与常用的电子射野影像系统(electronic portal imaging device, EPID)比较, 具有下列优势^[3]:

①可重建三维图像,不仅对骨性结构显示清晰,还能清楚显示照射区内所有组织、器官的三维结构及其在治疗过程中的体积、位置的变化,能准确反应肿瘤的实际状况;②匹配方式多样,可选择自动匹配或手动匹配,也可在自动匹配的基础上再行手动匹配调整;匹配条件可根据情况选择骨密度匹配或软组织灰度匹配;③能测量6个自由度的摆位误差,包括3个线性误差及3个旋转误差,而EPID仅能测出5个自由度的摆位误差,即3个线性误差及分别绕前后方向和左右方向形成的旋转误差;④用EPID测量摆位误差时常因骨性解剖标志显示不清而存在肉眼偏差造成的误差,应用CBCT可以减少这种偏差;⑤将测量所得的摆位误差输入图像引导软件,通过HexaPOD来移动治疗床,在线、实时纠正摆位误差,提高了放疗的精确性;⑥所得三维的图像剖成所需的断面图,将患者的治疗计划移到上面重新计划剂量分布,可得到患者实际接受的照射剂量,然后根据实际的照射剂量对后续分次治疗作调整,即自适应性放疗。王艳阳等^[4]发现根据EPID和CBCT得到的两组数据具有明显的线性关系,在LR、SI和AP3个方向上CBCT发现的摆位误差均较EPID发现的摆位误差大。而与普通CT相比,CBCT的辐射剂量降低,对皮肤表面的辐射量仅0.044Gy,尤其是在盆腔部位,比普通CT减少了40%~50%,并进一步提高了分辨率和对比噪音比,对于头颈部、肺、前列腺部位的肿瘤可提供更好的软组织和骨的对比度,可以很好地缩小ITV,对于减少放疗中靶区位移有明显优势^[5]。

1.3 CBCT 图像特点

由于CBCT的算法是基于理想模型(单能、单焦点、理想探测器)并且面探测器的射线采集效率远远低于线阵列探测器,CBCT又是开放式扫描,所以散射影响大于传统CT^[1],致使其空间分辨率高,密度分辨率低。另外,由于重力对KV射线源和检测板及支撑臂的作用,在某些方向上,CBCT几何位置会发生偏差,导致重建图像质量降低,这可以通过在各个角度附加校正因子解决。姜伟等^[6]认为使用医科达的Bowtie滤线器可以使图像均匀度有明显提高,边缘伪影问题明显改善,提高CT值的精确性和线性度及低对比度分辨率,提高图像质量。

1.4 CBCT 的不足

①扫描时间长,尤其是胸腹部,许峰等^[7]从摆

位、扫描、图像获取到匹配得出结果,平均为7min,其中CBCT图像获取采用中分辨率重建需2min(高分辨率重建时间需4min),图像匹配1min。②由于扫描时间长,图像常常包含了几个呼吸时相,而计划CT图像获取时间很短,可认为是呼吸周期中某一瞬时的图像,故在匹配时可能存在一定误差。③对受呼吸运动影响的器官如肝脏、肺等,图像质量会受到一定影响,且目前还不能测量其移动的幅度。④CBCT为X射线源,在引导放疗过程中会使患者额外接受辐射剂量。Ding等^[8]研究发现,在CBCT单次扫描后,头颈部儿童和成人各器官的平均剂量分别为:眼部7cGy和8cGy;脊髓5cGy和6cGy;颈椎18cGy和23cGy。腹部扫描时成人和儿童前列腺平均辐射剂量分别为3cGy和7cGy,股骨头分别为7cGy和17cGy。⑤只能进行治疗前和/或治疗后扫描,无法对治疗过程中靶区内部器官的运动进行监测。⑥锥形束CT图像与定位CT图像的匹配是通过位置偏差,而位置偏差的计算受匹配区域和匹配方法的影响,因此匹配范围及匹配方式非常重要。对不同的肿瘤应选用什么匹配方式及匹配区的大小还需进一步的研究。

2 CBCT 在肿瘤精确放疗中的应用

2.1 摆位误差

因CBCT采集的图像为三维图像,显示清晰,可在三维方向上观察并测量摆位误差,了解其分布规律。许峰等^[7]应用医科达Synergy系统及CBCT治疗51例患者,其中头颈部肿瘤19例,胸部肿瘤25例,腹、盆部肿瘤7例,CBCT共行955次,发现所有摆位误差均成正态分布,根据其分布范围,提出头颈部肿瘤PTV边界在三维方向均小于3.6mm;在胸部肿瘤,左右、前后外扩6mm,上下外扩10mm,可以包括90%的摆位误差;腹盆部肿瘤,最大值在头脚方向达17.4cm,左右、前后外扩约5mm,上下外扩10mm时,可以包括90%的摆位误差。吴君心等^[9]应用医科达Synergy IGRT加速器治疗12例盆腔肿瘤患者,通过CBCT影像获得患者的摆位误差,建议CTV外放PTV时考虑X方向5mm、Y方向15mm、Z方向10mm。

2.2 在线校位

当应用CBCT扫描获得三维图像并与计划CT

匹配后,如果误差过大,则可应用六维床进行平移及旋转六个方位的调整,最大程度地使治疗体位与计划体位重复,保证靶区的精准放疗。同时在 CBCT 引导下,可以减小 CTV 到 PTV 的边距,这个边距减小,可以提高靶区的等效均匀剂量。Enmark 等^[10]通过 CBCT 研究前列腺癌的摆位误差,得出未用 IGRT 引导放疗时,在 X、Y、Z 轴上的 MPTV 分别为 5.4mm、11.1mm、7.4mm,如果每次通过 CBCT 引导放疗,同时不考虑放疗时靶区内的器官运动与变形即分次内的误差,则在 X、Y、Z 轴上的 MPTV 减小到 0.7mm、1.4mm、1.3mm,即三维方向外放 1.5mm,即可满足分次间摆位误差的要求。Ghilezan 等^[11]用 CBCT 校正前列腺癌患者摆位,使 CTV 至 PTV 安全边界平均减 1mm,靶区均一等效剂量提高 2.1%。

2.3 自适应放疗 (adaptive radiotherapy, ART)

由于以往从 CTV 至 PTV 的间距方面靠的是临床经验,制定的是群体性的数据,但对每个患者来说,这个间距是不一样的。依据群体性数值外扩 PTV,势必会有过大或过小的差距,从而导致脱靶或漏靶。而且,在治疗过程中,患者体重的变化及肿瘤大小的变化也会引起靶区的改变。因此,如何制定个体化 PTV 间距及如何根据患者体重、肿瘤大小的变化随时调整治疗计划即自适应放疗是临床精确放疗的迫切需求。CBCT 以其精准、简便的特点在自适应放疗中起着重要作用。首先可以制定个体化 PTV,每个患者在治疗前几次摆位时利用 CBCT 拍摄图像,观察其摆位误差并在线校正,可以根据校正后的残余误差得出 CBCT 指导下的 PTV 外扩边距,从而缩小原计划边距,减少正常组织的照射。其次可以在治疗过程中调整治疗计划,根据每日 CBCT 获得的图像可以观察患者体膜的松紧,肿瘤大小的变化,从而在适当的时候予以重新定位或及时调整计划,缩小照射范围,最大程度地保护正常组织并保证肿瘤的高剂量照射。Renaud 等^[12]通过 HT 间皮瘤期间自适应调整 GTV 和 PTV,实现了正常组织保护和肿瘤剂量提升。治疗后肺平均剂量降低了 19.4%,PTV1 和 PTV2 靶区剂量则分别从 50.0Gy 升至 58.7Gy 以及 60.0Gy 升至 70.5Gy。自适应性放疗目前在临床上还未得到常规的应用,而且如果根据影像中肿瘤的变化情况来调整处方量,进行自适应放疗,是否会引起亚临床病灶剂量不足,还有待进一步研究。

2.4 四维放射治疗

4D-CRT 是在图像采集、计划设计和治疗实施的全过程均明确考虑靶区及危险器官的体积和空间位置随时间而变化的放疗技术,实际上是 IGRT 在三维放疗的基础上增加了时间概念而成,是由 4D 影像、4D 计划设计、4D 治疗实施技术三部分组成。四维放疗的发展得益于锥形束 CT 与数字化直线加速器的结合。4D-CRT 包括 CT 的时序扫描和治疗机的时序控制,CT 扫描采集患者 3D 图像信息,同时采集其呼吸信号,利用重建技术,就可以重建出某呼吸时段内肿瘤或重要器官的 3D 图像,多幅 3D 图像组成一幅 4D 图像。而且由于 CBCT 是非晶硅平板探测器,灵敏度高、分辨率高、能响范围宽,不仅可实时监测照射野的形状和位置,还可监测照射野内的剂量,实现剂量引导的放射治疗^[13]。

3 小结及展望

CBCT 可以精确发现摆位误差,并可在线进行校正,保证肿瘤的高剂量区照射和正常组织的保护,并可在治疗过程中根据误差大小个体制定 PTV 间距,根据肿瘤和患者身体变化及时调整治疗计划,在肿瘤的精确放疗中发挥了重要的作用。但 CBCT 的不足之处仍需进一步研究改进,如扫描时间长、额外的辐射剂量,不能动态监测呼吸、血管运动中器官的移动等。目前已有 4D CBCT 研制成功,正在应用于临床,对于肺、肝等活动器官的实时监测有很大帮助。

参考文献:

- [1] Wang W, Nie DS, Wu GH. Cone beam CT applications in radiation therapy[J]. Chinese Medical Imaging Technology, 2011, 27(5):1074-1077. [王为, 聂东生, 吴国华. 锥形束 CT 在放射治疗中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2011, 27(5):1074-1077.]
- [2] Jaffray DA, Siewerdsen JH, Wong JW, et al. Flat-panel cone-beam computed tomography for image-guided radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 53(5): 1337-1349.
- [3] McBain CA, Henry AM, Sykes J, et al. X-ray volumetric imaging in image-guided radiotherapy: the new standard in on-treatment imaging [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,

- 2006, 64(2): 625-634.
- [4] Wang YY, Fu XL, Gong M, et al. Comparison between electronic portal imaging device (EPID) and cone-beam CT (CBCT) in image guided thoracic tumor radiotherapy [J]. Journal of Chinese Radiological Medicine and Protection, 2009, 29(6): 643-645. [王艳阳, 傅小龙, 龚敏, 等. 电子射野影像仪与锥形束 CT 用于胸部肿瘤影像引导放疗的比较研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2009, 29(6): 643-645.]
- [5] Létourneau D, Wong JW, Oldham M, et al. Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation [J]. Radiother Oncol, 2005, 75(3): 279-286.
- [6] Jiang W, Bo S, Zhou LQ, et al. Impact of the image quality of cone beam CT on the accelerator for the Bowtie filter [J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2010, 19(6): 548-551. [姜伟, 柏森, 周亮强, 等. Bowtie 滤线器对加速器锥形束 CT 图像质量影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(6): 548-551.]
- [7] Xu F, Bo S, Wang J, et al. Setup errors with image guided radiotherapy technique [J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2007, 16(6): 461-464. [许峰, 柏森, 王瑾, 等. 用锥形束 CT 图像测量放疗摆位误差[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2007, 16(6): 461-464.]
- [8] Ding GX, Coffey CW. Radiation dose from kilovoltage cone beam computed tomography in an image-guided radiotherapy procedure [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(2): 610-617.
- [9] Wu JX, Xie ZY, Lin YY, et al. Cone-beam CT scanning in study of setup margin for pelvic carcinoma irradiation [J]. Journal of Chinese Radiation Oncology, 2010, 19(4): 328-330. [吴君心, 谢志远, 林育毅, 等. 应用锥形束 CT 对盆腔肿瘤放疗计划靶区外放距离的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(4): 328-330.]
- [10] Enmark M, Korreman S, Nyström H. IGRT of prostate cancer is the margin reduction gained from daily IG time-dependent? [J]. Acta Oncol, 2006, 45(7): 907-914.
- [11] Ghilezan M, Yan D, Liang J, et al. Online image-guided intensity-modulated radio therapy for prostate cancer: how much improvement can we expect? A theoretical assessment of clinical benefits and potential dose escalation by improving precision and accuracy of radiation delivery [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2004, 60(5): 1602-1610.
- [12] Renaud J, Yartsev S, Dar AR, et al. Adaptive radiation therapy for localization mesothelioma with mediastinal metastasis using helical tomotherapy [J]. Med Dosim, 2009, 34(3): 233-242.
- [13] Gong HY, Yu JM, Wang RB. The state of the art in four dimensional radiotherapy [J]. Journal of Chinese Oncology, 2007, 29(7): 481-483. [巩合义, 于金明, 王仁本. 四维放射治疗的研究现状[J]. 中华肿瘤杂志, 2007, 29(7): 481-483.]

2014 华东胸部肿瘤论坛暨第七届浙江省胸部肿瘤论坛 会议预告及征文通知

2014 华东胸部肿瘤论坛暨第七届浙江省胸部肿瘤论坛将于 2014 年 6 月 27 日~29 日在杭州召开, 由浙江省肿瘤医院、浙江省胸部肿瘤诊治技术研究重点实验室、浙江省癌症中心胸部肿瘤研究指导中心和浙江省抗癌协会主办, 浙江省肿瘤防治办公室、肿瘤学杂志社与浙江省肿瘤诊治质控中心协办。

大会对全程参会者经考试合格后将授予国家级 I 类继续教育学分。同时, 面向广大胸部肿瘤领域的临床医师、预防和科研工作者、研究生、护理人员征集稿件并将制作大会论文集, 欢迎踊跃报名和投稿!

征文要求: (1) 胸部肿瘤专业相关学术论文均可投稿, 投稿一律通过电子邮箱提交, 文稿以附件形式发送至 hdxbzllt@163.com, 提交全文的同时必须有 500~800 字以内的中文摘要。主页上请注明第一作者的姓名、单位、科室、地址、邮编、联系电话、手机号码等, 邮件主题请标注为“2014 华东胸部肿瘤论坛投稿”。

(2) 所有投稿论文均将编入大会论文集, 大会学术委员会将组织专家对论文进行同行评议, 择优组织专题报道刊登于《中国肿瘤》和《肿瘤学杂志》。截稿日期: 2014 年 5 月底, 请作者自留底稿!