

中国放射治疗相关的器官运动管理指南

陈明^{1,2}, 李建彬³, 邓小武¹, 戴建荣⁴, 尹勇³, 赵路军⁵, 毕楠⁴, 胡伟刚⁶

中华医学会放射肿瘤治疗学分会

中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会

中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会

中国临床肿瘤学会放射治疗专家委员会

(1. 中山大学肿瘤防治中心/华南肿瘤学国家重点实验室, 广东 广州 510075; 2. 浙江省肿瘤医院/浙江省放射肿瘤学重点实验室, 浙江 杭州 310022; 3. 山东省肿瘤防治研究院(山东省肿瘤医院)/山东第一医科大学(山东省医学科学院), 山东 济南 250117; 4. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院, 北京 100021; 5. 天津医科大学附属肿瘤医院, 天津 300060; 6. 复旦大学附属肿瘤医院, 上海 200032)

摘要:放射治疗相关的器官运动管理是实现精准放射治疗的重要基础。随着放射治疗技术的发展,器官运动管理方法日趋成熟。我们参考《世界卫生组织指南制定手册》的规范和相关原则,组建了指南编写工作组,制定了我国首个放射治疗相关的器官运动管理指南。本指南对放射治疗过程中,设备误差、摆位误差、器官自主和不自主运动进行了分析,并有针对性地提出了运动管理和减少误差的建议,对运动管理方法的选择和临床应用具有参考指导意义。

关键词:器官运动管理;肿瘤;放射治疗;指南;中国

中图分类号:R730.55 文献标识码:A 文章编号:1004-0242(2021)10-0726-08

doi:10.11735/j.issn.1004-0242.2021.10.A002

China Guideline for the Management of Organ Motion Related to Radiotherapy

CHEN Ming^{1,2}, LI Jian-bin³, DENG Xiao-wu¹, DAI Jian-rong⁴, YIN Yong³, ZHAO Lu-jun⁵, BI Nan⁴, HU Wei-gang⁶

Radiation Oncology Branch of Chinese Medical Association

Radiation Oncology Physicians Branch of Chinese Medical Doctor Association

China Anti-Cancer Association Experts Committee on Radiation Oncology

Radiation Oncologist Branch of Chinese Society of Clinical Oncology

(1. Sun Yat-sen University Cancer Center/ State Key Laboratory of Oncology in South China, Guangzhou 510075, China; 2. Zhejiang Cancer Hospital/Zhejiang Provincial Key Laboratory of Radiation Oncology, Hangzhou 310022, China; 3. Shandong Cancer Hospital and Institute(Shandong Cancer Hospital)/Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Jinan 250117, China; 4. National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China; 5. Tianjin Medical University Affiliated Cancer Hospital, Tianjin 300060, China; 6. Fudan University Affiliated Cancer Hospital, Shanghai 200032, China)

Abstract: Organ motion management in radiotherapy is the basis of accurate radiation therapy. In recent years, with the development of radiotherapy technology, new motion management methods have emerged in an endless stream, and understanding of motion management has been continuously deepened. This guideline is the first for management of organ motion in radiotherapy in China. Referring to the guidelines and relevant principles of the *World Health Organization Guide Development Manual*, we established the Working Group for Exercise Management of Radiation Organs and proposed the organ motion management method for tumors at different sites. Suggestions analysis and motion management were made on equipment error, pendulum error, organ autonomy and involuntary movement during radiotherapy. It is of reference and guiding significance for the selection and clinical application of motion management methods.

Key words: organ motion management; neoplasms; radiation therapy; guideline; China

收稿日期:2021-09-12

通信作者:陈明, E-mail: chenming@sysucc.org.cn

李建彬, E-mail: lijianbin@msn.com

一、器官运动类型总论

放射治疗过程中,影响计划靶体积(PTV)确定的因素很多,如治疗过程中的设备误差、摆位误差、器官自主和不自主运动,周围软组织或器官的变化对器官运动的影响、不同体位时同一器官的运动方式不同^[1]。在放射治疗技术快速发展的今天,了解肿瘤的运动规律,研究控制其运动的方法,可有效地缩小肿瘤内边界,减小计划靶区,更好地发挥先进技术的优势,达到既提高肿瘤控制率,又不增加正常组织并发症的目的,从而扩大放射治疗增益比,达到更好的治疗效果。

器官运动管理主要关注两类误差:分次间误差和分次内误差。分次间误差是指放射治疗时患者解剖位置与模拟计划之间的差别,任何两次摆位都无法做到患者体位完全相同。分次内误差指单次治疗过程中患者因器官运动或体位移动导致的位移误差。

分次间误差的来源可以从两方面考虑:一类与设备(模拟机、治疗机、激光灯等)不确定性有关,另一类与患者及摆位有关。与设备有关的因素主要包括射野大小及位置、旋转角度(准直器、机架、治疗床等)设置、十字中心、光野一致性、激光灯系统、多叶光栅等。这类因素可通过采取质量保证程序予以控制。与患者及摆位有关的因素包括器官运动、患者移动、体形变异、皮肤标志点的不准确等。这类因素与治疗部位、患者个体情况(年龄、体重、活动度等)及摆位技术(技术员摆位的准确性、经验、培训、责任心以及摆位的时长)密切相关,这类误差不能消除,但通过努力可将其减少^[2-3]。

摆位误差的量化方法:摆位误差指的是放射治疗执行过程中实际治疗位置和治疗参考位置的差异。实际治疗位置误差可由机载影像系统通过对比计划影像获得。为了描述多次摆位误差的分布情况,把分次间摆位误差分为系统误差(systemic error)和随机误差(random error)。系统误差为实际治疗位置和模拟定位时位置的差异,发生在治疗计划准备期间,体现了在放射治疗机器上重复模拟定位时技术上的难度,可采取相应措施纠正而使误差减小。随机误差为每日治疗重复性的差异,发生在治疗计划执行期间,多由患者位置及器官运动的变化引起,具

有偶然性。

二、不同部位肿瘤放射治疗中的器官运动来源

1. 对于头颈部肿瘤,器官运动主要来源于吞咽、脑脊液的流动、张口、眼球运动和舌头的运动等。

2. 对于胸部肿瘤,呼吸运动、心脏的收缩与舒张、大血管的搏动和膈肌运动等,对由临床靶体积(CTV)至PTV外扩边界的确定影响较大。呼吸运动是影响肺癌PTV最重要的因素,也是导致其他胸部肿瘤靶区运动的最主要因素。

3. 对于腹部肿瘤,胃肠蠕动、膈肌运动、呼吸和心脏运动,对器官位置的影响比较大。胃肠蠕动和充盈状态显著影响腹部肿瘤和危及器官的位置和边界,与呼吸运动不同的是,胃肠充盈与蠕动状态的变化大多是不规律的,并且此类变化具有一定的时间依赖性,引起的运动幅度通常难以预测。由于分次间的时间跨度比分次内大,由此引起的大幅度偏差可能更为明显。

4. 对于盆腔肿瘤,膀胱和直肠充盈程度对靶区位置影响较大。治疗分次间,影响靶区位置和边界的因素包括盆腔内器官的位置和体积变化,例如宫颈和淋巴结的位置变化。治疗分次内,影响靶区运动的因素主要有呼吸运动和胃肠蠕动等。

三、运动管理方法总论

准确的患者定位和运动管理是实现预期治疗结果的关键。成功的运动管理能够减少PTV外放范围,确保计划剂量准确覆盖靶区,并避免危及器官不必要的照射。下面介绍临床使用的常见运动管理方法。对于个体患者,具体选择哪几种运动管理,应结合临床考虑。

1. 靶体积外扩:根据不同位置、类型肿瘤的特点以及摆位误差情况,进行合适的靶体积外扩。

2. 咬合器:在头颈部放射治疗的时候,有些患者需要在嘴里放置咬合器以确保嘴和下巴保持在正确的位置。放射治疗团队会根据临床情况决定患者是否需要使用咬合器,如果有必要,患者在定位膜塑形的时候就需要戴上咬合器。

3. 内靶区 (ITV) 法:使用最大密度投影(MIP)方法处理所有的 4D 图像序列,在 MIP 图像上勾画靶区,使得 CTV 或 GTV 的范围涵盖所有时相上的肿瘤图像。在各个时相的 CT 序列上检查,保证靶区完整。该方法勾画出所有时相靶区的并集称为 ITV,在 ITV 的基础上考虑摆位误差生成 PTV^[4]。在图像引导治疗阶段,ITV 可以和锥形束断层扫描(CBCT)图像进行配准。该方法常用于靶区的组织密度显著大于周围正常组织的情况,比如肺癌。

4. 中位呼吸法:首先计算各图像序列上 GTV/CTV 的平均位置,选择最接近平均位置的一个阶段图像序列作为中位呼吸图像,该图像可以最好地代表靶区的时间加权位置。在中位呼吸图像上进行靶区勾画,在外扩 PTV 时考虑器官运动幅度。中位呼吸法勾画靶区时主要考虑呼吸周期中,PTV 位置维持时间最长的时相,并不确保 PTV 包含所有时相的靶区。

5. 腹部加压:肿瘤/器官的运动幅度可通过腹部加压进行限制,患者上腹部受到加压装置的压迫,膈肌运动受到限制从而迫使患者进行浅而快的呼吸。该方法已广泛应用于腹部放射治疗中,以降低呼吸相关的肿瘤/器官运动^[5]。

6. 主动呼吸控制(active breathing control,ABC):在患者较为舒适的情况下,在呼吸循环的某一时相稳定地限制呼吸运动幅度。该方法主要利用导管控制患者呼吸,治疗时患者佩戴鼻夹避免鼻腔呼吸,确保只能进行口部呼吸。当患者呼吸深度到达设定范围时,阀门自动关闭,空气流通中断,患者开始屏气,同时加速器开始出束治疗^[6]。只有当患者的屏气体积和设定范围高度一致时加速器才实施治疗。

7. 屏气 (breath hold):分为深吸气屏气(deep inspiration breath hold,DIBH)和呼气末屏气(end expiration breath hold,EEBH)两种^[7-8]。对于肝脏部分靶区邻近心包以及乳腺的患者而言,EEBH 时由于膈顶上移,靶区会更加贴近心包或者与乳腺处于同一层面,邻近心包的保护难度会增大,部分患者的乳腺会受到不必要的照射,此时应在保证患者屏气重复度与稳定性的前提下,采取 DIBH 技术。在呼吸时相与患者屏气程度的选择时,需要注意吸气末相的重复性与稳定性要低于呼气末相。

8. 门控(gating):仅在靶区移动到呼吸周期的预定时相进行出束照射^[9-10]。这一方法可以显著降

低 CTV-PTV 外扩。不同于自主屏气,使用门控方法的患者进行自由呼吸,在呼吸信号落入呼吸周期的预定范围内时触发出束,其余时间不出束。但是,由于加速器仅在呼吸周期的选定部分(30%~50%)内出束,导致该方法的治疗效率较低,也易受到不规则呼吸的影响。

9. 实时运动追踪技术(tracking):对肿瘤靶区位置实时探测,并根据探测结果调整射束。目前实时探测的方法主要包括:通过 X 射线摄影或 MRI 图像直接对肿瘤靶区或植入靶区内的金属标志物进行实时定位^[11];或者利用电磁导航以及探测体表变化等间接的方法来预测肿瘤靶区位置^[12-16]。该技术可以减小 PTV 外放边界,患者治疗时可以自由呼吸,相比于呼吸门控技术可以极大地减少治疗时间,并显著提高分次内的放射治疗精度。

10. 直肠一致性管理:可采用直肠排空、直肠移位、直肠排气、灌肠和服用益生菌等方式保持直肠一致性。

11. 膀胱一致性管理:可通过膀胱容量测定仪来测量膀胱的容量。对患者进行教育、培训和持续性的膀胱容积测量可以有效提高膀胱容量的一致性。

四、头颈部肿瘤的器官运动和管理

本节头颈部器官运动和管理研究的主要病种包括鼻咽癌、脑瘤、喉癌等(表 1)。固定体位均采用仰卧位。

器官运动带来的头颈部放射治疗误差较小,主要考虑摆位过程带来的误差。治疗计划应参考靶区大小、复杂程度以及与危及器官关系,选择恰当的治疗

表 1 头颈部肿瘤的器官运动和管理

项目	运动管理内容
主要病种	鼻咽癌、脑瘤、喉癌等
固定体位	仰卧位
固定方式	使用一体化板(带头枕)配合头颈肩热塑膜、发泡胶、塑形垫等对患者进行固定
靶区勾画	CTV→PTV 3~5 mm
定位技术	CT 模拟定位、磁共振模拟定位
摆位验证方式	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT 和光学表面引导(SGRT)
运动管理方式	使用口腔咬合器、吞咽控制等

疗技术。对于喉癌和下咽癌等有一定器官运动风险的患者,应适当控制调强放射治疗的射野和子野数量;对于鼻咽癌和鼻腔癌等靶区复杂的患者,推荐使用多射野多子野的调强技术或容积调强技术;舌癌等涉及口腔照射的情况,建议使用口腔咬合器。

应充分使用机载 CBCT 或 CT 获取在线三维图像,对靶区和危及器官的运动和位移进行量化评估。如果没有三维图像,至少应使用电子射野成像 (EPID)。对于治疗计划射野中心点相对于定位标记点有位移的患者,在首次放射治疗前,应在模拟机或者 CT 模拟机或加速器下完成中心点的移位,以获得中心点处的优质图像并及时修正误差。对于脑瘤患者,可以通过 CBCT 或 CT 扫描获取脑脊液变化情况并进行配准来实现运动管理,必要时注射甘露醇脱水。

五、胸部肿瘤的器官运动和管理

本节胸部肿瘤的器官运动和管理研究主要对肺癌和乳腺癌进行探讨(表 2)。

1. 肺癌运动管理相关问题: 在 4D CT 定位前,应训练患者在整个放射治疗过程中保持稳定呼吸,以使系统能够获取到合适的呼吸波形;当采用屏气 CT 扫描时,要确保患者训练后的屏气时间能够完成一次包括靶区全范围的扫描,4D CT 扫描时要确保患者平稳呼吸^[17-20]。

DIBH 在定位扫描和治疗时,同时采用可持续屏气的最大程度吸气时相,实施时需要监测吸气量是否达到要求范围。需要增强扫描的患者,建议同时获取平扫图像,并注意在注射造影剂过程中可能

对患者体位造成的影响。

对于个体患者而言,具体选择哪一种运动管理可参考如下基本原则^[21-24]:

对于靶区运动小于 13 mm 的肿瘤,与采取中位呼吸时相计划相比,呼吸门控或运动追踪获益有限。呼吸运动管理对于靶区运动大于 13 mm 的患者更有必要。

对于上肺部肿瘤,呼吸运动引起的误差较小,摆位误差的控制是保证精度的重要环节。对于下肺部,尤其是靠近膈肌的肿瘤,需注意呼吸运动的管理。SBRT 技术在肺癌放射治疗中非常重要,至少应采用 4D CT 扫描,CBCT/CT 引导定位。其他可选择的技术包括呼吸门控和运动追踪等。

2. 乳腺癌运动管理相关问题: 乳腺组织距离肺很近,分次内胸壁随呼吸运动有一定的变化^[25-26]。摆位误差引起的前后方向运动为 2.8 mm^[27]。呼吸运动造成的心脏平均剂量计算误差为 0.1%,摆位误差造成的心脏平均剂量计算误差为 1.3%^[28]。

心脏的放射性损伤是乳腺癌放射治疗的常见并发症之一,并且心脏放射性损伤没有阈值,心脏剂量的降低会直接减少心脏病的发病率,平均心脏剂量每升高 1 Gy,心脏病的发生率上升 7.4%^[29]。带有内乳区淋巴结的乳腺癌照射会显著增加心脏的受量^[30],DIBH 技术可作为一种常用呼吸控制技术,用于降低心脏受量。

治疗计划应参考靶区及危及器官选择恰当的技术。对于胸壁和乳腺靠近空气的一侧,可适当加大射野外放,覆盖器官运动,简单易行;采用调强或容积调强技术,须格外关注子野大小。治疗技术的选择也应同时结合治疗时间的长短,治疗时间越短患者体位的一致性越好。

相比单独使用体表三点标记,光学表面引导(SGRT)可以显著提高摆位精度^[31-32],另一个优势是无辐射。其在 DIBH 使用时,SGRT 下骨性结构的误差 < 3 mm,使用 CBCT/CT 进一步调整后,误差 < 2 mm,表明在使用 SGRT 的情况下可适当减

表 2 胸部肿瘤的器官运动和管理

项目	肺癌	乳腺癌
固定体位	仰卧位	仰卧位或俯卧位
固定方式	真空垫、塑形垫、发泡胶、热塑膜、腹压板、一体化板等	一体化板、乳腺托架、发泡胶等
定位技术	4D CT、屏气 CT、呼吸门控等	4D CT、屏气 CT、呼吸门控、MR-sim 等
摆位验证方式	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT 和光学表面引导(SGRT)	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT 和光学表面引导(SGRT)
运动管理方式	深吸气/呼气末屏气、门控技术、实时运动追踪、视听反馈	深吸气/呼气末屏气、门控技术

少 CBCT/CT 的频率^[33]。但目前为止,SGRT 仍然不能取代 CBCT/CT, 在线 CBCT/CT 依然是乳腺癌摆位误差控制的金标准^[34]。

六、腹部肿瘤的器官运动和管理

腹部肿瘤运动受皮肤牵拉、皮下脂肪厚度、腹式呼吸与体重等因素的影响,患者在放射治疗过程中的重复性相比其他部位不易保持^[35-37]。腹部患者的肿瘤与危及器官的呼吸相关的运动状况可以通过如下技术获取:4D CT、4D PET、电影模式 MRI、4D MRI 以及 4D CBCT。靶区勾画应考虑各时相的 CT 图像。选取门控治疗时,可考虑 EEBH 方式。PTV 的外扩应该包含摆位误差、解剖结构变化以及分次内的靶区运动。日常基于三维图像(如 CBCT)的摆位校正的误差范围为 2~4 mm, 未经过 CBCT 纠正的摆位误差可能会更大^[38]。

腹部(肝脏、胰腺、胃)肿瘤常规采用仰卧位。肝脏和胰腺肿瘤患者可采用热塑膜、真空垫、发泡胶、立体定向体架等固定方式(表 3)。推荐使用立体定向体架搭配真空垫的固定方式^[39], 可更好地限制肿瘤位移。胃部肿瘤患者可采用热塑膜、真空垫、发泡胶、塑形垫等固定方式。患者在模拟定位前 3 小时需空腹,胃部肿瘤患者定位及放射治疗前,建议在空腹状态下定时定量口服含碘造影剂。CT 定位前应对患者进行呼吸训练,使其尽量保持平静均匀呼吸。CT 定位标记点放置时,应选择有骨性标记且身体刚性较好的位置,尽量接近肿瘤中心^[39]。根据所选用的呼吸控制技术确定在患者平静呼吸、呼气末或吸气末标记参考点定位标记线,标

记线建议在平坦且运动幅度小的胸廓中下位置。肝脏扫描范围包括全肝,在平静呼吸状态(如果使用运动管理技术,根据技术具体要求进行呼吸状态的选择)下采用螺旋容积扫描^[40]。对受呼吸运动影响的腹部肿瘤模拟定位推荐使用 4D CT, 可准确记录肿瘤在呼吸周期内的轨迹,精确定位放射治疗靶区位置,从而减少外扩范围^[41-42]。

由于 SBRT 技术在许多腹部肿瘤放射治疗中的应用越来越多,对腹部运动进行有效管理显得尤为重要。

七、盆腔肿瘤的器官运动和管理

本节盆腔肿瘤的器官运动和管理研究主要对直肠癌、前列腺癌、宫颈癌进行探讨(表 4)。

1. 直肠癌运动管理相关问题: 直肠癌放射治疗多采用俯卧位。相比于仰卧位,使用腹板装置的俯

表 3 腹部肿瘤的器官运动和管理

主要病种	肝癌和胰腺癌	胃癌
固定体位	一般取仰卧位	一般取仰卧位
固定方式	真空垫、塑形垫、发泡胶、热塑膜、腹压板、一体化板等	真空垫、塑形垫、发泡胶、热塑膜、腹压板、一体化板等
定位技术	4D CT、屏气 CT、同步呼吸跟踪、金标追踪、电磁导航、PET-CT、MR-sim	CT-sim、MR-sim
摆位验证方式	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT、光学表面引导(SGRT)、电影模式	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT、光学表面引导(SGRT)、电影模式
运动管理方式	腹部加压、深吸气/呼气末屏气、门控、实时运动追踪	腹部加压、定位前 3 小时需空腹、定位时按需口服含碘造影剂

表 4 盆腔肿瘤的器官运动和管理

项目	直肠癌	前列腺癌	宫颈癌
固定体位	俯卧位	仰卧位或俯卧位	仰卧位
固定方式	俯卧位板、一体化板等	热塑膜、发泡胶、塑形垫、真空垫、俯卧位板、一体化板等	真空垫、塑形垫、发泡胶、热塑膜、腹压板、一体化板等
扫描前准备	直肠排空,确保膀胱容量一致性	直肠排空、灌肠或直肠球囊填充后,确保膀胱容量一致性	直肠排空、直肠填塞或阴道填塞,确保膀胱容量一致性
定位技术	CT-sim、MRI-sim	CT-sim、MRI-sim	CT-sim、MRI-sim
摆位验证方式	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT、膀胱容量测定	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT、膀胱容量测定	电子射野成像(EPID)、锥形束断层扫描(CBCT)、CT、膀胱容量测定

卧位可使小肠向上方和前方移位。对于使用容积旋转调强治疗的患者,俯卧位小肠剂量更小。

直肠和膀胱一致性管理在直肠癌治疗中非常重要。直肠充盈一致性管理包括:(1)直肠排空:服用泻药使大便松软或腹泻,从而有利于直肠轻松排空,可以减少分次内运动。(2)直肠排气:直肠气体清除后,可以减少横截面积,减少CT影像上直肠轮廓内的组织不均匀性,从而限制直肠体积变化引起的分次间和分次内运动,对提高剂量计算准确性有重要意义。(3)服用益生菌:益生菌能够降低直肠内气体的产生,控制直肠体积变化。

膀胱一致性管理:膀胱体积在整个治疗疗程中会发生明显的变化,膀胱容积一致性管理是精准放射治疗的基础。更大的膀胱体积可使小肠远离肿瘤,起到保护小肠的目的。膀胱容量管理的有效方法是通过膀胱容量测定仪来测量。需要注意的是在治疗过程中膀胱的容量会系统性地变小,通过教育、培训和持续性的膀胱容积测量可以有效提高膀胱容量的一致性。

2. 前列腺癌运动管理相关问题:直肠和膀胱一致性管理在前列腺癌治疗中也非常重要。临床中还需要确保患者对膀胱容量跟CT定位时的膀胱尿量感受保持在较一致的水平。使用超声膀胱容量仪可以很方便地测量膀胱容积。

直肠充盈一致性管理:(1)直肠排空:当直肠胀大时,可将前列腺推向前方,尤其是周边区,引起部分前列腺照射不足。(2)直肠移位:将直肠作为危及器官实施物理移位。使用器官牵引装置,该装置采用了一种镍钛形状记忆合金,可使直肠移位,远离辐射。控制系统通过移动直肠前壁来创造出理想的形状,以可重复和安全的方式调节。(3)直肠排气:直肠气体清除后,可以减少横截面积,从而减少前列腺和精囊的运动,对前列腺放射治疗的患者尤为重要。(4)灌肠:在每次放射治疗前对患者进行50 mL 50%甘油的直肠灌肠,控制直肠体积变化,可以限制直肠体积变化引起的分次间和分次内前列腺运动。(5)服用益生菌:益生菌能够降低直肠内气体的产生,控制直肠体积变化,从而减少前列腺的位置变化。膀胱一致性管理可参考直肠癌运动管理。

3. 宫颈癌运动管理相关问题:宫颈癌运动管理主要考虑直肠和膀胱充盈程度的重复性。

直肠充盈一致性管理:解决直肠充盈一致性最简单的办法就是排空直肠。可服用泻药用于减少治疗分次内或者治疗分次间因直肠气体而引起摆位误差。直肠排气、灌肠和服用益生菌也可作为排空直肠的方式。除此外,还可采用直肠填充,使用器官牵引装置,将直肠作为危及器官实施物理移位,从而使直肠远离辐射路径。膀胱一致性管理可参考直肠癌运动管理。

作者贡献声明:中华医学会放射肿瘤治疗学分会、中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会、中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会、中国临床肿瘤学会肿瘤放射治疗专家委员会共同制定。

指南编撰荣誉顾问:于金明(山东省肿瘤医院),王绿化(中国医学科学院肿瘤医院),王俊杰(北京大学第三医院),李宝生(山东省肿瘤医院),王平(天津医科大学附属肿瘤医院),郭小毛(复旦大学附属肿瘤医院),吴永忠(重庆大学附属肿瘤医院),傅小龙(上海市胸科医院),李晔雄(中国医学科学院肿瘤医院)

指南编纂专家组组长:陈明(中山大学肿瘤防治中心),李建彬(山东省肿瘤医院)

指南编纂专家组副组长:邓小武(中山大学肿瘤防治中心),戴建荣(中国医学科学院肿瘤医院),尹勇(山东省肿瘤医院),赵路军(天津医科大学附属肿瘤医院),毕楠(中国医学科学院肿瘤医院),胡伟刚(复旦大学附属肿瘤医院)

指南编纂专家组秘书:单国平(浙江省肿瘤医院),徐志勇(上海交大附属胸科医院),金献测(温州医科大学附属第一医院)

利益冲突:所有作者宣称未接受任何不当的职务或财务利益。

志谢:感谢所有对指南的撰写和修订提出宝贵意见的专家组成员;感谢刘吉平、王彬冰、杨一威、白雪、祝成龙、邵凯南、时建芳、孙钦飞和张鹏飞,在指南编写过程中付出的辛劳和努力!

参考文献:

- [1] Hurkmans CW, Remeijer P, Lebesque JV, et al. Set-up verification using portal imaging; review of current clinical practice[J]. *Radiother Oncol*, 2001, 58(2): 105-120.
- [2] Stroom JC, Heijmen BJM. Geometrical uncertainties, ra-

- diotherapy planning margins, and the ICRU-62 report [J]. *Radiother Oncol*, 2002, 64(1): 75-83.
- [3] Stroom JC, De Boer HCJ, Huizenga H, et al. Inclusion of geometrical uncertainties in radiotherapy treatment planning by means of coverage probability [J]. *Int J Radiat Oncol*, 1999, 43(4): 905-919.
- [4] 尚东平, 李明焕, 李延持, 等. 4DCT 容积数据图像重建模式对肺孤立灶内靶区构建的影响 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24(5): 556-559.
- Shang DP, Li MH, Li YC, et al. Comparison of internal tumor volume based on different reconstruction modes of 4DCT for solitary pulmonary lesion [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2015, 24(5): 556-559.
- [5] 戚元俊, 李建彬, 张英杰, 等. 基于四维 CT 探讨腹部加压对周围型肺部肿瘤立体定向放射治疗靶区位移及外扩边界的影响 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2021, 41(2): 134-139.
- Qi YJ, Li JB, Zhang YJ, et al. The effectiveness of abdominal compression in the target movement and external extension boundary of peripheral pulmonary tumors treated with stereotactic radiotherapy based on 4DCT [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2021, 41(2): 134-139.
- [6] 张黎. 主动呼吸控制技术在肺癌放射治疗中的应用及剂量学研究 [D]. 北京: 清华大学, 2008.
- Zhang L. Application of active breathing control and dosimetric analysis for non-small cell lung cancer [D]. Beijing: Tsinghua University, 2008.
- [7] 钟仁明, 柏森. 深吸气屏气技术在放射治疗中的运用 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2019, 28(11): 801-805.
- Zhong RM, Bai S. Application of deep inspiration breath-hold technique in radiotherapy [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2019, 28(11): 801-805.
- [8] 洪超善, 朱小东, 曲颂, 等. 自主屏气技术对肝癌放射治疗靶区几何学影响 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(2): 171-177.
- Hong CS, Zhu XD, Qu S, et al. Effect of independent breath-holding technology on target geometry in radiotherapy for liver cancer [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2017, 26(2): 171-177.
- [9] 舒留洋, 陆合明, 陈华生, 等. 四维 CT 联合呼吸门控技术在非小细胞肺癌放射治疗中的剂量学研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2014, 23(2): 97-146.
- Shu LY, Lu HM, Chen HS, et al. Dosimetry study on four-dimensional CT in radiotherapy for non-small cell lung cancer [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2014, 23(2): 97-146.
- [10] Xi M, Zhang L, Liu MZ, et al. dosimetric analysis of respiratory-gated radiotherapy for hepatocellular carcinoma [J]. *Med Dosim*, 2012, 36(2): 213-218.
- [11] Worm ES, Bertholet J, Hoyer M, et al. Fiducial marker guided stereotactic liver radiotherapy: is a time delay between marker implantation and planning CT needed? [J]. *Radiother Oncol*, 2016, 121(1): 75-78.
- [12] Silva C, Mateus D, Eiras M, et al. Calypso 4D Localization System: a review [J]. *J Radiother Pract*, 2014, 13(4): 473-483.
- [13] Mutic S, Dempsey JF. The ViewRay System: magnetic resonance-guided and controlled radiotherapy [J]. *Semin Radiat Oncol*, 2014, 24(3): 196-199.
- [14] Kubiak, Tomasz. Particle therapy of moving targets—the strategies for tumour motion monitoring and moving targets irradiation [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1066): 20150275.
- [15] Rottmann J, Keall P, Berbeco R. Markerless EPID image guided dynamic multi-leaf collimator tracking for lung tumors [J]. *Phys Med Biol*, 2013, 58(12): 4195-4204.
- [16] Nguyen VH, Pyun JY. Location detection and tracking of moving targets by a 2D IR-UWB Radar System [J]. *Sensors-Basel*, 2015, 15(3): 6740-6762.
- [17] 包勇, 邓小武, 王卫华, 等. 四维 CT 量化膈顶运动准确性和放射治疗前后呼吸运动稳定性临床验证 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2007, 16(4): 302-305.
- Bao Y, Deng XW, Wang WH, et al. Clinical verification of the accuracy of quantitative diaphragmatic dome movement on four-dimensional CT scan and the stabilization of respiratory movement before and after radiotherapy [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2007, 16(4): 302-305.
- [18] 尚东平, 李建彬, 王玮, 等. 肺内孤立性病灶不同时间段位移四维 CT 测量差异分析 [J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2013, 20(24): 1921-1923.
- Shang DP, Li JB, Wang W, et al. Comparison of the solitary pulmonary lesion motion in different time periods based on four-dimensional CT images [J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Control*, 2013, 20(24): 1921-1923.
- [19] 王彦, 包勇, 张黎, 等. 基于四维 CT 影像肺内肿瘤运动度的测量与分析 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2010, 19(1): 40-43.
- Wang Y, Bao Y, Zhang L, et al. Four-dimensional computed tomography based assessment and analysis of lung tumor motion during free-breathing respiration [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2010, 19(1): 40-43.
- [20] 孙宗文, 黄晓延, 包勇, 等. 基于四维 CT 的肺体积及呼吸运动分析 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2008, 17(6): 437-440.
- Sun CW, Huang XY, Bao Y, et al. Four-dimensional CT in the study of lung volume and respiratory movement [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2008, 17(6): 437-440.
- [21] Korreman SS. Image-guided radiotherapy and motion management in lung cancer [J]. *Br J Radiol*, 2015, 88(1051): 20150100.
- [22] Wang Y, Bao Y, Zhang L, et al. Assessment of respiration-induced motion and its impact on treatment outcome for lung cancer [J]. *Biomed Res Int*, 2013, 2013: 872739.

- [23] 何瀚,包勇,张黎,等. 四维 CT 和 MIP 融合图像的肺癌内靶体积确定[J]. 中国肿瘤,2007,16(4):267-271.
He H,Bao Y,Zhang L,et al. Internal target volumes determined with maximum intensity projection (MIP) fused images of four-dimensional CT(4D-CT) in lung cancer[J]. China Cancer,2007,16(4):267-271.
- [24] 孙宗文,陈明,邓小武. 四维 CT 在肺癌个体化放疗中的应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2008,17(1):71-74.
Sun CW,Chen M,Deng XW. Application of four-dimensional CT in individualized radiotherapy for lung cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2008,17(1):71-74.
- [25] 王玮,李建彬,邢军,等. 保乳术后放疗治疗四维 CT 呼气末术腔勾画影响因素分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2013,22(5):357-360.
Wang W,Li JB,Xin J,et al. Analysis of influential factors for variability in delineation of lumpectomy cavity based on 4DCT in end-exhalation phase [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2013,22(5):357-360.
- [26] 丁响,李建彬,王玮,等. 四维 CT 测得部分乳腺外照射者基于金属夹与血清肿确定术腔体积及位置关系比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2013,22(5):361-364.
Ding Y,Li JB,Wang W. Volume and location of lumpectomy cavity delineated by metal clips and/or seroma on 4DCT for external-beam partial breast irradiation:a comparative study[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2013,22(5):361-364.
- [27] Jones S,Fitzgerald R,Owen R,et al. Quantifying intra- and inter-fractional motion in breast radiotherapy[J]. J Med Radiat Sci,2015,62(1):40-46.
- [28] Bai X,Wang B,Wang S,et al. Radiotherapy dose distribution prediction for breast cancer using deformable image registration[J]. Biomed Eng Online,2020,19:1-20.
- [29] Darby SC,Ewertz M,McGale P,et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer[J]. N Engl J Med,2013,368(11):987-998.
- [30] Hurkmans CW,Borger JH,Bos LJ,et al. Cardiac and lung complication probabilities after breast cancer irradiation [J]. Radiother Oncol,2000,55(2):145-151.
- [31] 丁响,李建彬,王玮,等. 基于 4DCT 探讨部分乳腺外照射术腔位移与体内外标记位移相关性 [J]. 中华放射肿瘤学杂志,2014,23(3):216-219.
Ding Y,Li JB,Wang W,et al. Correlations between displacements of GTV,surgical clips,and skin markers in external-beam partial breast irradiation:a study based on 4DCT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2014,23(3):216-219.
- [32] Stanley DN,McConnell KA,Kirby N,et al. Comparison of initial patient setup accuracy between surface imaging and three point localization:a retrospective analysis[J]. J Appl Clin Med Phys,2017,18(6):58-61.
- [33] Laaksomaa M,Sarudis S,Rossi M,et al. AlignRT[®] and Catalyst[™] in whole-breast radiotherapy with DIBH;is I-GRT still needed?[J]. J Appl Clin Med Phys,2019,20(3):97-104.
- [34] Hattel SH,Andersen PA,Wahlstedt IH,et al. Evaluation of setup and intrafraction motion for surface guided whole-breast cancer radiotherapy [J]. J Appl Clin Med Phys,2019,20(6):39-44.
- [35] 张英杰,李建彬,邢军,等. 基于四维和三维 CT 的肝癌靶区与正常组织位移分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志,2012,21(3):261-262.
Zhang YJ,Li JB,Xin J,et al. Analysis of liver target volume and normal tissue displacement based on 4D and 3D CT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2012,21(3):261-262.
- [36] Xi M,Liu MZ,Zhang L,et al. How many sets of 4DCT images are sufficient to determine internal target volume for liver radiotherapy?[J]. Radiat Oncol,2009,92(2):255-259.
- [37] 习勉,刘孟忠,李巧巧,等. 基于 4DCT 的腹部器官呼吸运动分析[J]. 癌症,2009,28(9):989-993.
Xi M,Liu MZ,Li QQ,et al. Analysis of abdominal organ motion using four-dimensional CT [J]. Chinese Journal of Cancer,2009,28(9):989-993.
- [38] Létourneau D,Martinez AA,Lockman D,et al. Assessment of residual error for online cone-beam CT-guided treatment of prostate cancer patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2005,62(4):1239-1246.
- [39] 赵永亮,储开岳,吴建亭,等. 胸腹部肿瘤患者放射治疗体位固定参考等中心[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2015,24(1):53-54.
Zhao YL,Chu KY,Wu JT,et al. Fixed fixation reference for radiotherapy in patients with thoracic and abdominal tumors [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2015,24(1):53-54.
- [40] Xi M,Liu MZ,Deng XW,et al. Defining internal target volume (ITV) for hepatocellular carcinoma using four-dimensional CT[J]. Radiat Oncol,2007,84(3):272-278.
- [41] 刘强,李楠,孙彬. 4D-CT 重建技术在肝癌精确放射治疗定位的应用效果 [J]. 胃肠病学和肝病学杂志,2016,25(8):885-888.
Liu Q,Li N,Sun B. Effect of 4D-CT reconstruction technique in accurate radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. Chinese Journal of Gastroenterology and Hepatology,2016,25(8):885-888.
- [42] 张英杰,李建彬,邢军,等. 基于四维和三维 CT 的肝癌靶区与正常组织位移分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志,2012,21(3):261-262.
Zhang YJ,Li JB,Xin J,et al. Analysis of liver target area and normal tissue displacement based on 4D and 3D CT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology,2012,21(3):261-262.