

肺癌在线自适应放射治疗中国专家共识

陈明¹, 王绿化², 傅小龙³, 尹勇⁴, 黄晓延¹, 毕楠², 朱正飞⁵, 孙建国⁶, 薛建新⁷, 陈大卫⁴, 张莉⁸

华南恶性肿瘤防治全国重点实验室, 广东省鼻咽癌诊治研究重点实验室, 广东省恶性肿瘤临床医学研究中心, 中山大学肿瘤防治中心, 中山大学-国科离子放射治疗前沿技术联合实验室, 中华医学会放射肿瘤治疗学分会, 中国临床肿瘤学会肿瘤放射治疗专家委员会

(1. 中山大学肿瘤防治中心, 广东 广州 510060; 2. 中国医学科学院肿瘤医院, 北京 100021; 3. 上海交通大学附属胸科医院, 上海 200030; 4. 山东省肿瘤医院, 山东 济南 250117; 5. 复旦大学附属肿瘤医院, 上海 200032; 6. 重庆市新桥医院, 重庆 400030; 7. 四川大学华西医院, 四川 成都 610041; 8. 华中科技大学附属同济医院, 湖北 武汉 430030)

摘要:肺癌是我国发病率和死亡率最高的恶性肿瘤。精准放疗显著提高了肿瘤控制率、降低了不良反应, 其中在图像引导放疗基础上发展起来的在线自适应放射治疗可以根据实时影像反馈动态调整放疗区域和剂量, 已逐步应用于肺癌治疗。为规范临床应用、推动技术发展与临床协作, 特制定本专家共识。该共识结合理论与实践, 阐述肺癌在线自适应放射治疗的物理技术要求、临床实施规范和常见临床问题, 以期更好地为放疗同道了解和开展该技术提供参考, 使更多肺癌患者能从放射治疗中获益。

关键词:肺癌; 放射治疗; 在线自适应放射治疗; 专家共识

中图分类号: R734.2; R73-31 文献标识码: A 文章编号: 1004-0242(2024)04-0255-07
doi: 10.11735/j.issn.1004-0242.2024.04.A001

Chinese Expert Consensus on Online Adaptive Radiotherapy for Lung Cancer

CHEN Ming¹, WANG Lvhu², FU Xiaolong³, YIN Yong⁴, HUANG Xiaoyan¹, BI Nan², ZHU Zhengfei⁵, SUN Jianguo⁶, XUE Jianxin⁷, CHEN Dawei⁴, ZHANG Li⁸

State Key Laboratory of Oncology in South China, Guangdong Key Laboratory of Nasopharyngeal Carcinoma Diagnosis and Therapy, Guangdong Provincial Clinical Research Center for Cancer, Sun Yat-sen University Cancer Center, United Laboratory of Frontier Radiotherapy Technology of Sun Yat-sen University & Chinese Academy of Sciences Ion Medical Technology Co., Ltd, Radiation Oncology Branch of Chinese Medical Association, Radiation Oncology Expert Committee of Chinese Society of Clinical Oncology

(1. Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China; 2. Cancer Hospital Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021, China; 3. Shanghai Chest Hospital, Shanghai 200030, China; 4. Shandong Cancer Hospital, Jinan 250117, China; 5. Fudan University Shanghai Cancer Center, Shanghai 200032, China; 6. Xinqiao Hospital Army Medical University, Chongqing 400030, China; 7. West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 8. Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huat, Wuhan 430030, China)

Abstract: Lung cancer is the malignant tumor with the highest morbidity and mortality. Precision radiotherapy can significantly improve tumor control and reduce treatment-related toxicities, among which online adaptive radiotherapy based on image-guided radiotherapy can dynamically adjust the radiotherapy area and dose based on real-time image before each radiotherapy, and has been gradually applied to the treatment of lung cancer. In order to standardize clinical application, improve the cooperation of technology and scientific research of online adaptive radiotherapy for lung cancer, this expert consensus is established. This consensus combined theory and practice, and elaborated the physical and technical requirements, the clinical implementation standardization and common clinical problems of the online adaptive radiotherapy for lung cancer, so as to provide better reference for understanding and implementing this precision radiotherapy technology in hospitals of different levels, so that more patients with lung cancer can benefit from radiotherapy.

Key words: lung cancer; radiotherapy; online adaptive radiotherapy; expert consensus

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFC2413900)

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

肺癌是我国发病率和死亡率最高的恶性肿瘤,包括非小细胞肺癌(non-small-cell lung cancer, NSCLC)和小细胞肺癌(small-cell lung cancer, SCLC)两大类^[1]。作为肿瘤治疗的重要手段,放射治疗在肺癌治疗中发挥着不可替代的作用。目前普遍应用的调强放疗(intensity modulated radiotherapy, IMRT)和图像引导放疗(image guided radiotherapy, IGRT)技术可给予肿瘤处方照射剂量的同时,尽可能地降低危及器官(organ at risk, OAR)的受照剂量。然而,肺癌放疗一般要持续数周,肿瘤在放疗分次间常发生位置和解剖形态改变,有可能造成靶区漏照或OAR误照,最终导致肿瘤未控或放疗并发症增加^[2-3]。因此,治疗过程中有必要在适当的时机修改放疗计划。

自适应放射治疗(adaptive radiotherapy, ART)是将放疗全程,即从模拟定位、计划设计、放疗实施到验证作为一个可自我响应、自我修正的动态闭环系统,进而实现肿瘤个体化治疗^[4]。根据计划设计与放疗出束的关系,自适应放疗可分为离线ART和在线ART。随着机载影像技术的进步与人工智能的赋能,基于IGRT发展延伸出的在线ART正逐步进入临床,为规范其在肺癌治疗的临床应用,推动技术提升与科研协作,特制定肺癌在线ART中国专家共识,本共识将在临床实践中根据最新研究成果不断更新。

一、肺癌在线ART的物理技术要求

基于肺癌在线ART的特殊性(剂量叠加、时间限制、器官运动等),在采用这一方法时应充分考虑技术上的特点与难点,从全流程管理的角度,在患者在线模拟定位、靶区修正、计划再优化、验证和治疗实施等各环节,确保安全和有效,同时还应进行全面、细致的质控。由于呼吸运动的影响,肺癌靶区及相邻组织器官在定位、治疗过程中存在不同程度的变化,为确保治疗位置和剂量的准确性,在整个治疗流程中应对呼吸运动进行评估,并根据评估结果采取相应措施。

考虑到医疗机构的差异,本共识尽可能列出不同条件下开展肺癌在线ART的最基本需求,并针对肺癌在线ART所需物理技术条件提出参考性建议。

1 设备的配置要求

1.1 定位设备

开展肺癌在线ART应配置加速器机载三维成

像系统,如一体化扇形束CT(fan-beam CT, FBCT)、锥形束CT(cone-beam CT, CBCT)、滑轨CT(CT-on-rails, CTOR)或磁共振成像引导,对于CT成像应满足如下要求:

- (1)物理孔径 ≥ 70 cm;
- (2)扫描视野或扩展视野 ≥ 50 cm;
- (3)扫描层厚 ≤ 5 mm;
- (4)具备呼吸运动管理功能,如4D-CT或屏气监控功能;
- (5)4D-CT图像的重建(若机载成像设备具有四维成像功能);
- (6)可由扫描影像直接获得电子密度并用于剂量计算(适用于FBCT),或可由算法转换得到合成CT(synthetic CT);
- (7)配套的激光定位系统;
- (8)配备相应的质控工具,如图像质量检测模体和电子密度转换模体等。

1.2 放疗计划系统

开展在线ART的治疗计划系统,在符合美国TG 53和国际原子能组织TRS430报告以及我国YY/T 0798-2010、YY 0832.2-2015和YY 0832.1-2011行业标准要求的基础上,还应特别关注以下特性:

- (1)图像(包括勾画)的重建精度以及空间几何精度,包括长度、面积、体积和空间位置的精度;
- (2)多模态图像的识别与配准,包括CT、PET-CT和MRI图像的识别与配准能力,还应具有常用的伪彩显示模式;
- (3)剂量学叠加和计算的准确性;
- (4)组织非均匀性校正算法的准确性;
- (5)剂量计算网格的精细程度;
- (6)通过严格遵守约束条件进行计划优化,并满足评估指标的成功率和耗时长短。

1.3 治疗设备

放射治疗设备除满足常规放射治疗的基本要求外,还应达到如下要求:亚毫米级机械精度;高分辨率多叶光栅(最小叶片宽度 ≤ 5 mm);影像定位及辅助控制系统能满足对靶区运动管理的需要。

2 流程管理与质控要求

2.1 固定

固定方式与常规肺癌放疗要求相同,包括负压真空袋、发泡胶、胸腹平架和热塑体膜、体部立体定向

框架等,可根据患者状况选用。固定的基本原则同常规放疗,在此不再赘述。

2.2 在线模拟定位

患者在加速器一体治疗机床上完成在线 ART 模拟定位。增强 4D-FBCT 是肺癌在线 ART 的首选定位技术,若机载成像无此功能,可考虑采用屏气成像技术(吸气、呼气末及中位呼吸状态下扫描)来辅助确定内靶区(internal target volume,ITV)范围。对于机载 CBCT,考虑到尽量减少呼吸运动伪影,推荐采用屏气成像技术。对于原发病灶与肺不张或炎症区分仍困难时,可提前完成 MRI 或 PET-CT 扫描,并进行在线多模态图像的识别与配准。在线模拟定位注意事项:

(1)定位前应进行必要的呼吸训练,使患者能够在整个定位及后续的治疗过程中稳定呼吸,确保系统能够获取合适的呼吸波形(波形数据应妥善记录并保存)。

(2)当采用屏气扫描时要确保患者训练后的屏气时间能够支持完成一次包括靶区全范围的扫描。

(3)扫描范围应超出原始照射的肿瘤范围及包含全肺,一般从 C4 锥体上缘到 L2 锥体下缘水平,以便评估全肺的总剂量,建议层厚 ≤ 5 mm(推荐有条件 ≤ 3 mm),对全肺成像范围覆盖不足的情况,应特别关注肺剂量体积直方图(dose-volume histogram,DVH)限量评估方式。

2.3 图像重建及运动评估

4D-CT 图像在肺癌在线 ART 过程中需注意各重建图像的正确使用,重建图像与原始计划图像进行配准后传输至在线放射治疗计划系统(treatment planning system,TPS)。为减少因前后计划图像不一致造成的靶区勾画差异,建议重建图像的勾画与原始计划一致,推荐采用最大密度投影(maximum intensity projection,MIP)图像辅助评估 ITV 勾画范围,并采用平均密度投影(average intensity projection,AIP)图像进行放疗计划再设计与计算。常规 CBCT 用于治疗计划时,需要评估其对剂量准确性的影响。

2.4 在线治疗计划

患者维持固定体位于加速器一体治疗机床上等待在线 ART 计划设计完成。在线治疗计划应参考靶区体积、运动幅度、邻近 OAR 选择恰当的放疗技术。

在靶区体积和运动幅度较小的情况下,可选择固定射野角度调强和容积调强技术;在靶区运动幅度较大的情况下,推荐采用三维适形技术、旋转适形技术或门控治疗技术;OAR 剂量也是重要指标。为保证放疗执行的连贯性,建议延用初始放疗的治疗技术。此外,治疗技术的选择应考虑治疗时长,因为在线 ART 的执行时间越短,患者体位的一致性越好、分次内误差越小。

在线剂量计算应首选人工智能辅助的高精度的算法,如蒙特卡洛或类蒙特卡洛的算法,也可以采用三维卷积算法或各向异性解析算法等。建议在线 ART 计划在实施前进行第三方独立验算保证剂量学的准确性。计划质控可通过发送到独立验算质控软件上进行,也可基于机载系统在体剂量验证技术开展。

2.5 治疗实施

为降低分次内误差,执行肺癌在线 ART 前需采用三维成像进行位置验证,通常是将验证图像与在线模拟定位图像进行自动、手动的配准。在治疗实施过程中应通过光学体表监测系统、透视系统或在体剂量监测系统监控患者和靶区运动,以确保患者治疗位置稳定和肿瘤运动未超出计划靶区(planning target volume,PTV)或 ITV。

二、肺癌在线 ART 的临床实施规范

在治疗前通过 IGRT 影像评价解剖变化所带来的剂量学影响的频率,按照临床需求从每天 1 次至每周 1 次不等。如机载成像设备可进行四维成像,建议每周开展至少 1 次 4D-CT 的 IGRT 以充分评估治疗与器官运动影响下的肿瘤解剖变化。在线 ART 实施前需与患者及家属充分知情同意。

1 执行肺癌在线 ART 的适应证

1.1 靶体积或胸腔内解剖结构发生较大变化

- (1)放疗期间 ITV 超出 PTV;
- (2)放疗期间 PTV 改变 $\geq \pm 10\%$;
- (3)肺不张、肺炎、胸腔积液出现或消失。

1.2 计划剂量与实际剂量存在明显差异

- (1)肿瘤靶体积(gross tumor volume,GTV)靶区覆盖率显著变化(1 mm^3 体积接受 $>120\%$ 处方剂量,

或<95%靶区体积接受 95%处方剂量);

(2)OAR 超过限制的最大剂量。

1.3 放疗医生认为有必要调整放疗计划

2 肿瘤靶区在线修正

建议选择 4D-FBCT 扫描确定 ITV,采用 MIP 图像进行肿瘤靶区修正,但需参考各时相横断面图像靶区位置进行确认和修改;也可分别采用最大吸气相与最大呼气相图像来修正大体 GTV,最终叠加生成 ITV,并在各时相上进行确定和修改。为保证放疗靶区的连贯性与准确性,推荐将配准后原始计划的靶区轮廓拷贝、叠加于 ART 模拟定位 CT。可借助人工智能辅助修正肿瘤靶区,但必须经有经验的放疗医师核对确认。

关于肿瘤靶区在线修正的几点说明:

2.1 肺原发肿瘤(GTV_T)靶区在线修正

于在线 ART 模拟定位扫描的图像上修改。基于当前的 CT、MRI 或 PET-CT 图像,在肺窗(窗位-600~-800 HU,窗宽 1 000~1 600 HU)修改被肺组织包围的肿瘤轮廓,在纵隔窗(窗位 30~60 HU,窗宽 300~500 HU)修改侵犯纵隔或胸壁的肿瘤轮廓,同时应充分考虑治疗前和放疗期间的肿瘤图像。不推荐对已侵犯骨质的原发肿瘤进行 ART。

2.2 转移淋巴结(GTV_N)靶区在线修正

应在模拟定位图像的纵隔窗下进行修改。基于当前转移淋巴结的大小与位置,修正拷贝原始计划的 GTV_N 靶区轮廓。淋巴结的 GTV 应包含所有受累淋巴结,对于淋巴结在放疗期间完全消失的情况,应保留基线的 GTV_N 轮廓,并基于当前纵隔位置修正。

2.3 临床靶区(clinical target volume,CTV)在线修正

参照原始计划靶区勾画要求,将修正后的 GTV 外扩 6~8 mm 生成 CTV,并根据周围解剖屏障(例如骨骼、大血管或心脏的天然屏障)而再次手动修改。

2.4 计划靶区(PTV)在线修正

CTV 外放 5 mm 生成 PTV,CTV-PTV 外放边界需要根据各单位确定系统误差进行调整。一般情况下,不对 PTV 进行手动编辑。

3 正常器官重勾画

考虑到放疗期间靶体积或胸腔内解剖结构已发生变化,肺癌在线 ART 需根据肿瘤位置,借助人工智能在模拟定位 AIP 图像上重新勾画 OAR,主要包括双侧肺、左或右侧肺、食管、心脏、脊髓、气管和近

端支气管树、胃和肝脏等^[5-6]。

3.1 双侧肺、左或右侧肺

CT 肺窗下勾画,建议窗宽、窗位分别为 W=1 600 和 L=-600。可采用肺自动勾画,需注意勾画后应除外 GTV、肺门和气管或主支气管、近端气管树,但要包括伸展到肺门区外的小血管,所有的肺部炎症和肺不张也应包括在内。

3.2 食管

CT 纵隔窗下勾画,从环状软骨下起始部勾画到食管胃连接部。勾画应包括食管黏膜、黏膜下和所有肌层向外到脂肪膜。除非肿块位于食管周围,一般不推荐口服造影剂以避免影响剂量计算和食管的解剖形态。

3.3 心脏

CT 纵隔窗下勾画,建议窗宽、窗位:W=500 和 L=50。心脏的勾画实际上包含了部分心包。勾画从肺动脉经过中线层面开始,并向下沿伸到心尖部结束。

3.4 脊髓

推荐按髓腔的骨性边界进行勾画。从环状软骨开始逐层勾画到 L2 下缘。勾画过程中注意避开神经孔。

3.5 气管

环甲膜至隆突上 2 cm。

3.6 近端支气管树

范围包括气管远端 2 cm、双侧主支气管、双侧肺上叶支气管、中间支气管、右中叶支气管、舌段支气管和双侧下叶支气管。可在 CT 纵隔窗上并结合肺窗进行勾画,从隆突上 2 cm 勾画到段分叉出现为止。

3.7 胃

当肿瘤位于左肺下叶靠近膈肌时,需要勾画出胃轮廓。

3.8 肝脏

当肿瘤位于右肺下叶靠近膈肌时,需要勾画出肝脏轮廓。勾画肝脏轮廓时应注意排除胆囊,下腔静脉应排除在肝脏轮廓之外。

4 肺癌在线 ART 的计划制定与质量控制

使用与初始计划相同的计划目标参数调整在线 ART 计划。肺癌在线 ART 计划制定应遵循最佳疗效、最低副反应以及经济的原则,最低要求是基于 CT 模拟定位的三维适形放疗,应使用多野照射并且

所有射野均应每日同照。有条件的单位可以使用调强放疗、容积调强、IGRT 或螺旋断层治疗等放疗技术。为尽可能降低肺癌患者在线期间发生位移的可能,计划设计的时间十分紧迫,推荐采用基于人工智能辅助的自动放疗计划算法,以预设的临床目标参数和原计划剂量分布为参考输入,在线无需额外输入即可输出可执行的 ART 计划,能够有效提高在线流程效率。

放疗计划完成后应对靶区剂量与 OAR 剂量进行在线评估,以 DVH 作为基本工具,并根据三维空间中区域等剂量曲线的分布,评估 PTV 及危及器官的剂量分布,同时记录原始计划和在线 ART 计划肿瘤靶区的剂量覆盖率差异,以及肺、心脏、食管和脊髓等正常器官的受照剂量差异。在线 ART 的质控团队应至少包括 2 名放疗医生、1 名物理师和 1 名治疗技师,在制定肺癌在线 ART 计划时,医生、物理师均应审核通过,保证 ART 的质量。

三、肺癌在线 ART 的常见临床问题

1 肺癌在线 ART 的执行时机

追踪肺肿瘤体积和周围解剖结构随放疗进程的变化情况,确定在线 ART 的最佳时机是当前的研究重点。机载三维 IGRT 影像是监测解剖位置和剂量分布变化最常用方法。通过分析局部晚期 NSCLC 根治性放疗期间每天至每周采集的 CBCT,发现放疗完成后肿瘤体积平均缩小 50%^[7-8],且放疗阶段的中后期肿瘤体积变化最大,GTV 平均下降 30%^[9-11]。总的来说,相比较于肺癌放疗进程前期,临床实践倾向于在中后期提高的放疗前图像采集频率。

2 肺癌在线 ART 的临床获益与风险

目前对比肺癌 ART 与非 ART 的随机临床试验尚未完成,只有少数单臂研究试图量化这项技术的益处。已有研究表明,ART 有助于精准提升肺癌靶区剂量,并带来潜在临床获益^[11-18]。此外,对于因肿瘤位置、器官运动或肺部合并症而难以实施常规放疗的肺癌患者,MRI 引导的自适应体部立体定向放射治疗可提供理想的靶区覆盖和 OAR 保护^[19-21]。

根据缩小的肺肿瘤调整靶体积和剂量覆盖范围是否安全?这是选择 ART 适应证必须回答的问题。

一项比较局限期 SCLC 患者照射诱导化疗前原发灶范围或诱导化疗后残留灶范围的疗效与安全性的系列研究一定程度上证明了实时修改放疗靶区的可行性。结果显示,照射化疗前原发灶或化疗后残留灶的局部区域复发率分别为 28.6%和 31.6% ($P=0.81$),未观察到残留灶照射野外复发^[22];初治 SCLC 瘤床的浸润距离为 10.2 mm,而接受 2 个周期诱导化疗后的浸润范围则为 1.4 mm^[23],为肺癌临床靶区的研究提供了微观层面上的证据支持。LARTIA 试验的结果表明,中位随访 20.5 个月,局晚期 NSCLC 原始 PTV 与修正后 PTV 的差异区域失败发生率仅为 6%^[15],与以往报道一致^[16]。

3 肺癌在线 ART 的随访策略

目前肺癌在线 ART 的计划调整频率仍不明确^[13,15,24],我们推荐 ART 期间每周 1 次 CBCT 以监测肿瘤变化与器官移动。患者应在放疗结束后 1 个月进行疗效评估,并根据医生指导进行定期随访和进行相应的检查,随访频率与常规放疗相同^[25-26]。

四、总结与展望

肺部肿瘤治疗期间靶区体积和位置存在明显的动态变化,是肺癌在线 ART 优先考虑的适应证。越来越多的证据证明,通过图像引导在放疗期间对计划进行调整,可提高肿瘤剂量覆盖率并降低放疗相关并发症发生率。本共识介绍并归纳了肺癌在线 ART 的物理技术要求和常见临床问题,详述肺癌在线 ART 前定位流程、靶区勾画以及放疗计划质控的实施规范;本共识鼓励开展更多前瞻性临床试验进行肺癌在线 ART 的疗效评价、筛选获益人群,并进一步优化流程,专家组将根据这一领域的进展及时更新本共识,以利于放疗同道们了解这项技术并在使用时进行参考。

参考文献:

- [1] SUNG H,FERLAY J,SIEGEL R L,et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin,2021,71(3):209-249.
- [2] KWINT M,CONIJN S,SCHAAKE E,et al. Intra thoracic anatomical changes in lung cancer patients during the

course of radiotherapy [J]. *Radiother Oncol*, 2014, 113(3): 392–397.

- [3] JAN N, GUY C, RESHKO L B, et al. Lung and heart dose variability during radiation therapy of non-small cell lung cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2017, 98(3): 683–690.
- [4] YAN D, VICINI F, WONG J, et al. Adaptive radiation therapy[J]. *Phys Med Biol*, 1997, 42(1): 123–132.
- [5] MAYO C S, MORAN J M, BOSCH W, et al. American Association of Physicists in Medicine Task Group 263: standardizing nomenclatures in radiation oncology[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2018, 100(4): 1057–1066.
- [6] KONG F M S, RITTER T, QUINT D J, et al. Consideration of dose limits for organs at risk of thoracic radiotherapy: atlas for lung, proximal bronchial tree, esophagus, spinal cord, ribs, and brachial plexus [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(5): 1442–1457.
- [7] BERKOVIC P, PAELINCK L, LIEVENS Y, et al. Adaptive radiotherapy for locally advanced non-small cell lung cancer, can we predict when and for whom? [J]. *Acta Oncol*, 2015, 54(9): 1438–1444.
- [8] LEE Y H, KIM Y S, LEE H C, et al. Tumour volume changes assessed with high-quality KVCT in lung cancer patients undergoing concurrent chemoradiotherapy[J]. *Br J Radiol*, 2015, 88(1052): 20150156.
- [9] WOODFORD C, YARTSEV S, DAR A R, et al. Adaptive radiotherapy planning on decreasing gross tumor volumes as seen on megavoltage computed tomography images[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 69(4): 1316–1322.
- [10] LIM G, BEZJAK A, HIGGINS J, et al. Tumor regression and positional changes in non-small cell lung cancer during radical radiotherapy[J]. *J Thorac Oncol*, 2011, 6(3): 531–536.
- [11] MENG Y, LUO W, XU H, et al. Adaptive intensity-modulated radiotherapy with simultaneous integrated boost for stage non-small cell lung cancer: is a routine adaptation beneficial? [J]. *Radiother Oncol*, 2021, 158: 118–124.
- [12] MØLLER D S, LUTZ C M, KHALIL A A, et al. Survival benefits for non-small cell lung cancer patients treated with adaptive radiotherapy [J]. *Radiother Oncol*, 2022, 168: 234–240.
- [13] MØLLER D S, HOLT M I, ALBERT M, et al. Adaptive radiotherapy for advanced lung cancer ensures target coverage and decreases lung dose [J]. *Radiother Oncol*, 2016, 121(1): 32–38.
- [14] KONG F M, HAKEN R K T, SCHIPPER M, et al. Effect of midtreatment PET/CT-adapted radiation therapy with concurrent chemotherapy in patients with locally advanced non-small-cell lung cancer: a phase 2 clinical trial [J]. *JAMA Oncol*, 2017, 3(10): 1358–1365.
- [15] RAMELLA S, FIORE M, SILIPIGNI S, et al. Local control and toxicity of adaptive radiotherapy using weekly CT imaging: results from the LARTIA trial in stage NSCLC [J]. *J Thorac Oncol*, 2017, 12(7): 1122–1130.
- [16] GUCKENBURGER M, RICHTER A, WILBERT J, et al. Adaptive radiotherapy for locally advanced non-small-cell lung cancer does not underdose the microscopic disease and has the potential to increase tumor control [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(4): e275–e282.
- [17] HOEGEN P, LANG C, AKBABA S, et al. Cone-Beam-CT guided adaptive radiotherapy for locally advanced non-small cell lung cancer enables quality assurance and superior sparing of healthy lung [J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 564857.
- [18] NIERER L, EZE C, DA SILVA M V, et al. Dosimetric benefit of MR-guided online adaptive radiotherapy in different tumor entities: liver, lung, abdominal lymph nodes, pancreas and prostate [J]. *Radiat Oncol*, 2022, 17(1): 53.
- [19] FINAZZI T, PALACIOS M A, SPOELSTRA F O B, et al. Role of on-table plan adaptation in MR-guided ablative radiation therapy for central lung tumors [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2019, 104(4): 933–941.
- [20] REGNERY S, BUCHELE C, WEYKAMP F, et al. Adaptive MR-guided stereotactic radiotherapy is beneficial for ablative treatment of lung tumors in high-risk locations [J]. *Front Oncol*, 2021, (11): 757031.
- [21] FINAZZI T, HAASBEEK C J A, SPOELSTRA F O B, et al. Clinical outcomes of stereotactic MR-guided adaptive radiation therapy for high-risk lung tumors [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2020, 107(2): 270–278.
- [22] HU X, BAO Y, ZHANG L, et al. Omitting elective nodal irradiation and irradiating postinduction versus preinduction chemotherapy tumor extent for limited-stage small cell lung cancer: interim analysis of a prospective randomized noninferiority trial [J]. *Cancer*, 2012, 118(1): 278–287.
- [23] HU X, BAO Y, XU Y J, et al. Final report of a prospective randomized study on thoracic radiotherapy target volume for limited-stage small cell lung cancer with radiation dosimetric analyses [J]. *Cancer*, 2020, 126(4): 840–849.
- [24] KONG F M S, LI L, WANG W, et al. Greater reduction in mid-treatment FDG-PET volume may be associated with worse survival in non-small cell lung cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2019, 132: 241–249.
- [25] 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, 中国抗癌协会放射治疗专业委员会,

等. 中国非小细胞肺癌放射治疗临床指南 (2020 版)[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(8): 599-607.

Radiation Oncology Treatment Branch, Chinese Medical Association, Radiation Oncology Treatment Branch, Chinese Medical Doctor Association, Professional Committee on Radiotherapy, China Anti-Cancer Association, et al. Clinical practice guideline for radiation therapy of non-small cell lung cancer (2020 version)[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(8): 599-607.

[26] 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, 中国抗癌协会放射治疗专业委员会, 等. 中国小细胞肺癌放射治疗临床指南 (2020 版)[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(8): 608-614.

Radiation Oncology Treatment Branch, Chinese Medical Association, Radiation Oncology Treatment Branch, Chinese Medical Doctor Association, Professional Committee on Radiotherapy, China Anti-Cancer Association, et al. Clinical practice guideline for radiation therapy in small cell lung cancer (2020 version)[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(8): 608-614.

肺癌在线自适应放疗中国专家共识专家组成员名单

(按姓氏笔画排序)

尹 勇 (山东省肿瘤医院)
王绿化 (中国医学科学院肿瘤医院)
朱正飞 (复旦大学附属肿瘤医院)
孙建国 (重庆市新桥医院)
毕 楠 (中国医学科学院肿瘤医院)
陈大卫 (山东省肿瘤医院)
陈 利 (中山大学肿瘤防治中心)
陈 明 (中山大学肿瘤防治中心)
张 莉 (华中科技大学附属同济医院)
余 雯 (上海交通大学附属胸科医院)
迟 锋 (中山大学肿瘤防治中心)
吴晨飞 (中山大学肿瘤防治中心)
李绮雯 (中山大学肿瘤防治中心)
郑铄瀚 (中山大学肿瘤防治中心)
姜晓勃 (中山大学肿瘤防治中心)
黄思娟 (中山大学肿瘤防治中心)
黄晓延 (中山大学肿瘤防治中心)
傅小龙 (上海交通大学附属胸科医院)
董百强 (中山大学肿瘤防治中心)
蔡旭伟 (上海交通大学附属胸科医院)
薛建新 (四川大学华西医院)