

- [18] Sun JF, Ding CH, Yang Z, et al. The long non-coding RNA TUG1 indicates a poor prognosis for colorectal cancer and promotes metastasis by affecting epithelial-mesenchymal transition[J]. *J Transl Med*, 2016, 14(1): 42.
- [19] Shi J, Li XH, Zhang F, et al. Circulating lncRNAs associated with occurrence of colorectal cancer progression[J]. *Am J Cancer Res*, 2015, 5(7): 2258-2265.
- [20] Liu Y, Zhang M, Liang L, et al. Over-expression of lncRNA DANCR is associated with advanced tumor progression and poor prognosis in patients with colorectal cancer[J]. *Int J Clin Exp Pathol*, 2015, 8(9): 11480-11484.
- [21] Iguchi T, Uchi R, Nambara S, et al. A long noncoding RNA, lncRNA-ATB, is involved in the progression and prognosis of colorectal cancer[J]. *Anticancer Res*, 2015, 35(3): 1385-1388.
- [22] Yin D, Liu J, Zhang EB, et al. Decreased expression of long noncoding RNA MEG3 affects cell proliferation and predicts a poor prognosis in patients with colorectal cancer[J]. *Tumour Biol*, 2015, 36(6): 4851-4859.
- [23] Shi D, Zheng H, Zhuo C, et al. Low expression of novel lncRNA RP11-462C24. 1 suggests a biomarker of poor prognosis in colorectal cancer[J]. *Med Oncol*, 2014, 31(7): 31.
- [24] Yan B, Gu W, Yang ZH, et al. Downregulation of a long noncoding RNA-ncRuPAR contributes to tumor inhibition in colorectal cancer[J]. *Tumour Biol*, 2014, 35(11): 11329-11335.
- [25] Qi P, Xu MD, Ni SJ, et al. Low expression of LOC285194 is associated with poor prognosis in colorectal cancer[J]. *J Transl Med*, 2013, 11(1): 122.
- [26] Yin D, He X, Zhang E, et al. Long noncoding RNA GAS5 affects cell proliferation and predicts a poor prognosis in patients with colorectal cancer[J]. *Med Oncol*, 2014, 31(11): 253.
- [27] Han J, Rong F, Shi B, et al. Screening of lymph nodes metastasis associated lncRNAs in colorectal cancer patients[J]. *World J Gastroenterol*, 2014, 20(25): 8139-8150.
- [28] Hu Y, Chen Y, Yu Y, et al. A long non-coding RNA signature to improve prognosis prediction of colorectal cancer[J]. *Oncotarget*, 2014, 5(8): 2230-2242.

(收稿日期: 2017-04-18 修回日期: 2017-07-06)

肝脏局灶性病变消融治疗的研究进展

严静¹, 徐苏琴¹, 严高武², 胡兰¹综述, 杨汉丰^{1△}审校

(1. 川北医学院附属医院放射科, 四川南充 637000; 2. 四川省遂宁市中心医院放射影像科 629000)

【关键词】 肝脏局灶性病变; 消融; 进展

【中图分类号】 R816; R575

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-8348(2017)31-4447-04

近年来,随着医学影像学技术的不断发展,肝脏局灶性病变(FLLs)特别是小肝癌和一些具有恶性化倾向的良性局灶性病变的早期检出率明显提高,使更多患者可以得到治愈的机会^[1-2]。当前对于能够施行手术治疗(开腹、腹腔镜或机器人辅助下)的FLLs多实施肝脏部分切除术,但其创伤仍然较大,术后并发症发生率高且不易控制。消融治疗以其微创、安全、局部控制满意的独特优点正被越来越多的临床医生和患者所接受,已成为许多患者有效的替代方式,从而在临床上得到了广泛应用。本文旨在对射频消融、微波消融等为代表的局部消融技术进行综述,以提高认识及运用水平。

1 射频消融

射频消融属于物理热消融技术,早在1990年,射频消融就被首次使用。其原理是在影像设备引导下,经皮肤将消融电极准确刺入病变部位,通过射频在电极针周围产生正负离子振荡导致局部高温(90~120℃),肿瘤组织发生凝固坏死和灭活。

外科手术切除是很多肝癌患者的首选治疗方法,尤其是在疾病的早期阶段。在世界范围内,肝功能储备良好的患者术后5年生存率大于50%,手术病死率低至0.0%~6.4%^[3]。有学者对经射频消融治疗和手术切除的早期肝癌患者的治疗结

果进行比较,消融组第1、3、5年总体生存率分别为94.2%、82.6%和67.5%,手术切除组分别为90.1%、65.0%和55.1%($P=0.038$),经射频消融和肝脏切除的患者总体生存率并无明显区别,对于小于或等于3cm的早期肝癌可以首选射频消融^[4]。朱晓峰等^[5]报道了广州市3所医院近5年采用肝切除、原位肝移植及射频消融治疗的1198例原发性肝癌患者,结果显示射频消融治疗的3年存活率及复发率均优于肝切除。

肝血管瘤是肝脏最常见的良性占位性病变,在过去很长一段时间内,主要采取外科手术切除。Zhang等^[6]治疗了66例有症状的肝血管瘤患者,其中32例行腹腔镜射频消融,另34例行传统开放手术,腹腔镜射频消融组手术时间明显缩短(138 min vs. 201 min, $P<0.01$),出血少($P<0.01$),术后疼痛显著减低,无严重并发症或病死率。作为一种新的微创治疗方法,腹腔镜下射频消融对有症状的肝血管瘤患者是一种与开放手术切除一样安全和有效的方法。

肝脏局灶性结节增生(FNH)是一种少见的肝脏良性病变。2010年Hedayati等^[7]报道1例有肝脏肿块并伴有持续加重的右上腹痛的女性患者,经皮活检证实为局灶性结节增生,在行射频消融治疗后症状显著缓解。2013年刘俊等^[8]对18

例 FNH 患者行超声引导下射频消融治疗, 经过 1~3 年随访, 无严重并发症, 取得了良好疗效。

射频消融具有微创、几乎没有术后腹腔粘连的独特优点, 能为后续治疗提供良好的条件。射频消融的并发症如腹腔内出血、严重感染、胆道损伤等发生率较低, 病灶局部控制令人满意, 对小肝癌近期疗效可与手术切除相媲美。但消融治疗后肿瘤复发率较高仍然是困扰消融发展的难题, 因此, 必须保证充分的消融边界, 包括在消融过程中, 向病灶内注水或无水乙醇, 通过液体的扩散增加消融范围; 应用更大范围的消融电极; 重叠技术或多针消融等。

2 微波消融

微波消融也是常用的热消融方法, 其原理是利用高频微波 (通常为 900~2 500 MHz) 产生交变电场, 快速振荡电场中的极性分子, 产生对组织的热效应, 使蛋白质因高温脱水变性、发生凝固性坏死。Xu 等^[9] 研究经皮微波消融和腹腔镜切除术对肝癌患者的治疗效果, 经皮微波消融组患者的手术情况明显优于腹腔镜切除术组 ($P < 0.05$)。微波消融组并发症发生率为 6.67%, 明显低于腹腔镜切除术组 ($P < 0.05$)。两组患者的总复发率和 1~3 年生存率均差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。经皮微波消融和腹腔镜切除术治疗肝癌均有良好的远期疗效。但经皮微波消融治疗侵袭性较低, 可降低并发症的发生率, 改善肝癌的预后。另一项回顾性研究对微波消融和射频消融的长期效果做了对比, 微波组 26 例, 射频消融组 47 例, 两种治疗方法的 5 年总体生存率和 5 年无瘤生存率差异无统计学意义 ($P > 0.05$)^[10]。Tang 等^[11] 总结了 46 例在超声引导下经皮微波治疗肝血管瘤患者的临床资料, 瘤体总计 47 枚, 平均直径 (6.3 ± 1.4) cm ($5.0 \sim 0.6$ cm), 完全消融率为 91.5% (43/47)。

肝腺瘤是较少见的肝脏良性肿瘤, 不仅有破裂出血的倾向, 而且还具有恶变潜能。因此, 一经确诊无论其有无症状, 均应尽早治疗。Smolock 等^[12] 用微波消融治疗 6 例肝腺瘤患者, 瘤体总计 12 枚, 平均直径 (2.7 ± 2.0) cm。初步治疗有效性和局部肿瘤控制率为 100.0%。该研究认为, 微波消融治疗肝腺瘤是一种安全可行的方式。但目前国内尚少见此类报道。

微波消融具有如下优点: (1) 热效率高, 肝脏具有丰富的血流供应, 血流会很快散热, 即“热沉效应”, 微波升温快, 抗热沉效应好; (2) 消融范围比较大, 适合不邻近危险脏器的较大病灶; (3) 操作简便, 微波电极不需要负极板, 术中不必反复的打开和回收电极。微波消融最常见的并发症是出血, 其他并发症包括门静脉血栓形成、胆漏、胆汁瘤等。

随着微波消融技术的不断普及, 临床工作对微波消融的要求也越来越高。高性能水冷微波消融天线产生空间电磁场的边界, 不再是不稳定和未知的, 从而能使消融灶的范围达到与预期一致的效果^[13]。

3 氩氦刀冷冻消融

冷冻消融利用超低温作用于肿瘤, 通过复合性组织变性而造成组织破坏。应用冷冻装置将高压氩气传递给探针, 当探针冷却时, 周围组织也通过对流和传导迅速冷冻至 $-140 \sim -170$ °C^[14]。10~15 min 后, 氦气体通过探针, 引起探针和相邻组织解冻、升温。这种冷冻和解冻过程会导致直接和间接的细胞损伤。

大部分经皮冷冻消融肝细胞癌的研究在中国进行, 其他国家经验较少。Chen 等^[15] 经皮冷冻治疗 76 例不可切除的肝癌

病灶和 76 例复发性病灶, 在不可切除组 1 年和 3 年生存率分别为 81.4% 和 60.3%, 无瘤生存率分别为 67.6% 和 20.8%; 复发性肝癌组 1 年和 3 年生存率分别为 70.2% 和 28.8%, 无瘤生存率分别为 53.8% 和 7.7%; 总体并发症发生率低 (12.1%), 无围术期死亡。冷冻消融的优势在于产生的毁损面积较大、冷冻冰球形成的过程可视化^[16]、治疗过程中痛苦小。缺点包括损伤血管凝血机制引起大出血、冷休克等严重并发症。应用套管针技术进行冷冻消融, 在术后拔出冷冻针的同时应用止血海绵塞外套管可减少出血的发生。Yang 等^[17] 在治疗 300 例肝癌患者中, 严重并发症的发生率为 6.3%, 主要包括冷冻反应综合征 (6 例)、出血 (5 例)、胃出血 (4 例)、肝脓肿 (1 例)、肠外瘘 (1 例) 和肝功能衰竭 (2 例)。目前冷冻消融并发症的发生率不一, 常与治疗经验尚不成熟有关。但其有效消融面积大, 靶区清晰可辨, 作为一项有发展潜力的局部消融技术, 有望在未来得到更多应用。

4 乙醇消融

乙醇消融是化学消融中最常用的一种方式, 通过局部注射无水乙醇使组织细胞发生凝固性坏死; 组织的微循环血栓形成, 也会导致局部缺血, 达到消融的目的。与先进的治疗方法如射频、微波相比, 乙醇消融因费用较低、操作简单、方便反复进行的特点, 在发展中国家仍具有一定的实用性。

在一项研究中晚期肝癌的治疗中, 47 例患者接受经皮乙醇消融术, 1~3 年生存率分别为 89.4% (42/47)、38.3% (18/47)、10.6% (5/47)^[18]。由于乙醇弥散的不可控性和对个体应该给予的剂量难以判断, 乙醇消融主要适用于肿瘤直径小于 2~3 cm 的小肝癌, 对较大肝癌效果不理想。在对肝脏良性病变治疗方面, 有学者对 48 例肝脏单纯性囊肿患者行 CT 引导下乙醇硬化治疗, 取得了较好效果^[19]。总的来说, 乙醇消融有局限性, 乙醇在病灶内不能精确均匀分布, 因此有坏死不全的可能, 较大病灶需反复多次治疗; 但瘤内无水乙醇注射与肝动脉导管化疗栓塞术联合应用疗效明显高于单纯乙醇消融治疗。乙醇消融的并发症除与其他消融治疗并发症一样外, 还有胆管注入、患者中毒等。

5 高强度聚焦超声消融

高强度聚焦超声是 20 世纪 80 年代后发展的一种非侵入性体外治疗肿瘤的新技术, 在我国最早由重庆医科大学等高校于 20 世纪 90 年代开发并用于肿瘤的临床治疗。利用超声的组织穿透性和聚焦性等物理特征, 从体外定位, 聚焦于深部肿瘤病灶^[20], 在短时间内通过温度骤升杀死肝内肿瘤细胞。Ng 等^[21] 应用高强度聚焦超声治疗 49 例原发性肝癌患者, 术后 1 年、3 年的生存率分别达到 87.7% 和 62.4%。吴阳等^[22] 对 118 例肝脏肿瘤患者进行了高强度聚焦超声消融治疗, 结果显示治疗后患者的临床缓解率为 54.5% (42/77 例), 59.4% (41/69 例) 的患者血清甲胎蛋白水平下降。高强度聚焦超声的优点有治疗反应小; 体外操作无创伤, 可以多次重复治疗; 可以进行适形治疗。不过与其他消融方法相比, 高强度聚焦超声的手术时间较长, 对有肋骨遮盖区域的肿瘤治疗入路受到限制。这个问题已经部分得到克服, 如通过使用更大的换能器将超声波传播出去, 从而降低表面能量浪费, 或使用多元相控阵换能器选择性地作用于相应的肋间隙^[23]。

6 不可逆电穿孔

不可逆电穿孔采用高压、低能量电流脉冲作用于细胞膜的

磷脂双分子层,通过形成永久多孔通道对细胞膜造成不可逆的损害,诱导肿瘤细胞凋亡。相比对组织结构无选择性破坏的热消融,不可逆电穿孔在细胞膜水平产生作用,治疗肿瘤时临近的容易受到热损伤的重要结构,如主要血管、胆管不受破坏^[24],最大限度保留了肝实质和功能。该技术于 2011 年 10 月在美国得到批准应用于临床,因此大多数数据都是短期的,远期疗效不能肯定。Cannon 等^[25]经不可逆电穿孔治疗 44 例肝癌患者,初始成功率 100%,术后随访观察 3 个月和 12 个月,局部无复发生存率分别为 97.4%和 59.5%。黄凯文等^[26]总结了 2011—2013 年接收的 32 例肝癌患者,在超声引导下纳米刀肿瘤消融后,中位随访 22 个月,消融区邻近血管胆管均无损伤,完全消融率 91.4%,局部复发率为 6.2%,平均无恶化存活期为 20.8 个月,随访期间无死亡。由于样本量少,缺乏相关的长期安全性和有效性的数据,价格昂贵,目前该技术并未被广泛推荐使用。但在治疗肝门部、大血管旁等特殊部位的位置病变有巨大的前景,值得大力发展。

7 总结与展望

肝脏局灶性病变的消融治疗发展较快,是一类新型影像引导下精准微创技术,治疗效果已经不在手术治疗之下,但对于较大病灶的治疗仍需继续探索。将多种消融治疗技术联合应用有利于解决局部消融治疗在治疗较大肝脏病灶时遇到的难题,但如何选择合理的综合治疗方案仍没有确定的标准。治疗的肿瘤组织残留在体内,术后残余肿瘤或卫星结节也限制了消融治疗的有效性。因此,未来的研究应该集中在这些问题上。

参考文献

- [1] 严高武,严高文,王兴林,等.对比增强磁共振成像对肝脏局灶性病变诊断价值的 Meta 分析[J].实用放射学杂志,2015,31(7):1117-1120.
- [2] 严高武,王金良,张川,等.肝脏局灶性结节增生的影像学表现及诊治进展[J/CD].中华临床医师杂志(电子版),2015,9(5):829-832.
- [3] Ishizawa T, Mise Y, Aoki T, et al. Surgical technique: new advances for expanding indications and increasing safety in liver resection for HCC: the eastern perspective[J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 2010, 17(4): 389-393.
- [4] Peng ZW, Liu FR, Ye S, et al. Radiofrequency ablation versus open hepatic resection for elderly patients (> 65 years) with very early or early hepatocellular carcinoma [J]. Cancer, 2013, 119(21): 3812-3820.
- [5] 朱晓峰,何晓顺,陈敏山,等.原发性肝癌三种根治性方法疗效的多中心对比研究[J].中华肝胆外科杂志,2011,17(5):372-375.
- [6] Zhang X, Yan L, Li B, et al. Comparison of laparoscopic radiofrequency ablation versus open resection in the treatment of symptomatic-enlarging hepatic hemangiomas: a prospective study[J]. Surg Endosc, 2016, 30(2): 756-763.
- [7] Hedayat P, Van Sonnenberg E, Shamos R, et al. Treatment of symptomatic focal nodular hyperplasia with percutaneous radiofrequency ablation[J]. J Vasc Interv Radiol, 2010, 21(4): 582-585.
- [8] 刘俊,郑进方,吴昌雄,等.超声引导下射频消融治疗肝脏局灶性结节增生 18 例疗效分析[J].海南医学,2013,21(2):253-254.
- [9] Xu J, Zhao Y. Comparison of percutaneous microwave ablation and laparoscopic resection in the prognosis of liver cancer[J]. Int J Clin Exp Pathol, 2015, 8(9): 11665-11669.
- [10] Lee KF, Wong J, Hui JW, et al. Long-term outcomes of microwave versus radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma by surgical approach: A retrospective comparative study[J]. Asian J Surg, 2017, 40(4): 301-308.
- [11] Tang XY, Wang Z, Wang T, et al. Efficacy, safety and feasibility of ultrasound-guided percutaneous microwave ablation for large hepatic hemangioma[J]. J Dig Dis, 2015, 16(9): 525-530.
- [12] Smolock AR, Cristescu MM, Potretzke TA, et al. Microwave ablation for the treatment of hepatic adenomas[J]. J Vasc Interv Radiol, 2016, 27(2): 244-249.
- [13] Yu J, Liang P, Yu X, et al. A comparison of microwave ablation and bipolar radiofrequency ablation both with an internally cooled probe: results in ex vivo and in vivo porcine livers[J]. Eur J Radiol, 2011, 79(1): 124-130.
- [14] Walker K, Lindeque B. The application of cryoprobe therapy in orthopedic oncology[J]. Orthopedics, 2014, 37(8): 536-540.
- [15] Chen HW, Lai EC, Zhen ZJ, et al. Ultrasound-guided percutaneous cryotherapy of hepatocellular carcinoma[J]. Int J Surg, 2011, 9(2): 188-191.
- [16] Orlacchio A, Bazzocchi G, Pastorelli D, et al. Percutaneous cryoablation of small hepatocellular carcinoma with US guidance and CT monitoring: initial experience[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2008, 31(3): 587-594.
- [17] Yang Y, Wang C, Lu Y, et al. Outcomes of ultrasound-guided percutaneous argon-helium cryoablation of hepatocellular carcinoma [J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 2012, 19(6): 674-684.
- [18] 钱艺,陈挺松,郭佳. PEIT 治疗中晚期原发性肝癌 47 例疗效观察[J].山东医药,2012,52(43):67-69.
- [19] 曾利川,杜勇,杨汉丰,等.监测乙醇浓度在 CT 引导下硬化治疗肝脏单纯性囊肿中的应用[J].中国介入影像与治疗学,2014,11(6):345-348.
- [20] Kim YS, Lim HK, Rhim H, et al. Ablation of hepatocellular carcinoma [J]. Best Pract Res Clin Gastroenterol, 2014, 28(5): 897-908.
- [21] Ng KK, Poon RT, Chan SC, et al. High-intensity focused ultrasound for hepatocellular carcinoma: a single-center experience[J]. Ann Surg, 2011, 253(5): 981-987.
- [22] 吴阳,宋天亮,李捷,等.高强度聚焦超声治疗肝脏肿瘤近期疗效观察[J].医药论坛杂志,2013(7):23-25.
- [23] Quesson B, Merle M, Kohler MO, et al. A method for MRI guidance of intercostal high intensity focused ultrasound ablation in the liver[J]. Med Phys, 2010, 37(6): 2533-2540.

- [24] Charpentier KP. Irreversible electroporation for the ablation of liver tumors: are we there yet? [J]. Arch Surg, 2012,147(11):1053-1061.
- [25] Cannon R, Ellis S, Hayes D, et al. Safety and early efficacy of irreversible electroporation for hepatic tumors in proximity to vital structures[J]. J Surg Oncol, 2013, 107

(5):544-549.

- [26] 黄凯文. 履险如夷之纳米刀肝癌消融[J/CD]. 肝癌电子杂志, 2015, 2(2):36-41.

(收稿日期:2017-03-18 修回日期:2017-06-22)

• 综述 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2017.31.047

螺旋断层放射治疗在胸部肿瘤的应用

唐正, 邹雪综述, 王颖[△]审校
(重庆市肿瘤研究所放疗科 400030)

[关键词] 螺旋断层放射治疗; 调强放射治疗; 胸部肿瘤

[中图分类号] R730.55

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2017)31-4450-03

放射治疗(简称放疗)在胸部肿瘤的治疗中发挥重要的作用,对于有明显外侵、侵犯重要器官、淋巴结转移及有严重并发症不能耐受手术的患者,放疗是目前主要的、有效的、安全的手段之一。随着放疗技术的不断改进,目前研究的重点是如何在提高疗效的同时,减少并发症的发生,以期提高患者生存质量。适形调强放疗的出现,改善了胸部肿瘤患者的治疗现状,与传统放疗技术相比,它能在保证靶区得到根治剂量照射的同时降低周围正常组织的受量。

螺旋断层放射治疗(HT)是一种新的适形调强放疗技术。它是将 6 MV 的直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上,可以环绕机械等中心做 360°连续旋转照射,同时运用“同源双束”技术,利用同一个加速管切换 2.8 MeV/6 MeV 输出的治疗方式。在患者治疗前,经螺旋扫描而产生 MV 级 CT 的三维图像,除了可从三维角度上校正摆位误差,确保治疗的高度精确性,更使得无论常规分割或是大分割放疗均可安全实施。HT 是集调强放疗(IMRT)、影像引导调强适形放疗(IGRT)、剂量引导调强适形放疗(DGRT)于一体的目前最先进的放射治疗设备之一。与常规加速器调强放疗相比,HT 具有以下优势:(1)剂量分布更为复杂,每个周期有 51 个弧形照射野,每个弧形照射野有 64 个可调节子野,每个子野有 100 级可调强度,单位剂量率达到 850 MU/min,可完成普通加速器较难实现的极端复杂的放疗计划;(2)不受肿瘤大小、肿瘤位置、靶区形状复杂程度的限制,照射野范围达到 40 cm×160 cm,可实施多病灶,形状复杂病灶,临近危及器官病灶,全中枢神经系统甚至全骨髓的 IMRT;(3)每次治疗前均进行 MVCT 扫描,可校正摆位误差,确保治疗的高度精确性,其等中心精度可达到 0.1 mm,并可在放疗过程中实现剂量验证,根据需要进行计划修改,从而实现 DGRT;(4)可实现 IGRT、ARTS-DGRT 以及实施颅内 SRS/SBRT 等。

1 物理学优势

HT 采用了由 64 片 0.625 cm 宽的叶片组成的气动二元多叶光栅,每个弧形照射野拥有 64 个 100 级可调子野,能在 51 个射野方向上实现百倍调强^[1],并且通过 360°的连续旋转照射的方式对患者进行治疗。这些独特的结构特点使得 HT 较传统加速器放疗而言,在尽可能降低正常组织受量的前提下实现更好的靶区适形度及剂量均匀性^[2]。

1.1 靶区剂量适形度 靶区剂量分布的适形度采用适形度指数(CI)作为评价标准。 $CI = (VT, ref / VT) \times (VT, ref / Vref)$, VT 为 PTV 体积, Vref 为接受处方剂量的体积, VT, ref 为接受处方剂量的 PTV 体积, CI 越接近 1, 靶区剂量分布的适形度就越好。研究发现,在胸上段食管癌的放疗中,HT 较简化调强放疗(sIMRT)有明显优势(HT: CI = 0.86, sIMRT: CI = 0.77)^[3]。在另一项胸上段食管癌 HT、sIMRT 和 VMAT(容积弧形调强)的剂量学对比研究中,也显示出了 HT 在靶区适形度上的优势(HT: CI = 0.907; sIMRT: CI = 0.814; VMAT: CI = 0.827)^[4]。Haciislamoglu 等^[5] 研究分析对比了乳腺癌 5 种常用放疗技术(3D-CRT、for-IMRT、inv-IMRT、HT、VMAT)的剂量学差异,其各自的 CI 分别为 3D-CRT: 0.56; for-IMRT: 0.60; inv-IMRT: 0.74; HT: 0.81; VMAT: 0.74。可以看出 HT 的靶区适形度最好, 3D-CRT 最差。

1.2 靶区剂量均匀性 剂量均匀性同时也是放疗计划评估的重要指标,通常采用均匀性指数(HI)作为评价标准。 $HI = D5 / D95$, HI 越小说明剂量分布越均匀。在 2 项胸上段食管癌的研究中,分别对 HT 与 sIMRT, HT 与 sIMRT、VMAT 进行剂量学比较,结果均证明 HT 的 HI 较小: HT/sIMRT = 1.06/1.09; HT/sIMRT/VMAT = 1.037/1.093/1.091^[3-4]。Martin 等^[6] 研究发现对于胸下段食管癌而言,HT 仍然具有明显优势(HT = 0.08, IMRT = 0.19, ARC = 0.17)。孟玲玲等^[7] 发现在中央型非小细胞肺癌(NSCLC)治疗中,HT 与 IMRT 的靶区剂量均匀性差异无统计学意义($P > 0.05$),但在周围型 NSCLC 中两者的靶区剂量均匀性差异有统计学意义(HT: IMRT = 1.071 : 1.111, $P < 0.05$)。乳腺癌的剂量学研究中 HT 较传统放疗技术在 HI 的对比中仍有明显优势(HT = 0.06; 3D-CRT = 0.13; for-IMRT = 0.11; inv-IMRT = 0.09; VMAT = 0.18)^[5]。同时也有研究发现,当靶区体积越大,形状越不规则,HT 的剂量均匀性优势就越明显^[8]。

1.3 正常组织保护 在 HT 的胸部肿瘤剂量学研究中可以发现,HT 对于正常组织器官的保护具有明显优势,主要表现在: HT 降低了脊髓 Dmax^[3-4,6-7]、双肺 V20 及 V30^[3,5-7]。HT 计划在心脏、食管、气管受量上也低于传统放疗计划,但差异无统计学意义($P > 0.05$)^[7]。同时 HT 增加了双肺 V5、V10 的体积^[3-7]。脊髓作为典型的串联排列器官,其最大受量的降低,对