论　著

MRI引导下HIFU在老年人胸部肿瘤治疗中的应用研究*

季兴晖[1]　董玲丽[1,*]　刘念龙[2]
杨　波[1]　李　康[1]　付金凤[1]
1.江苏省肿瘤医院影像科
2.江苏省肿瘤医院医学装备部
(江苏 南京 210000)

【摘要】**目的** 探究磁共振成像(MRI)引导下高强度聚焦超声(HIFU)在老年人胸部肿瘤治疗中的应用效果。**方法** 选取我院接收的76例老年胸部肿瘤患者，选取时间为2019年1月至2021年12月。采用随机信封法分成对照组(n=38例，计算机断层扫描引导下HIFU治疗)与观察组(n=38例，MRI引导下HIFU治疗)，对比两组患者在治疗总缓解率、临床获益率、机器扫描次数、引导治疗总扫描时间、病灶消融时间、血清肿瘤相关因子含量、并发症发生率、复发率等方面的差异。**结果** ①两组患者术后6个月的治疗总缓解率、临床获益率差异不显著(*P*>0.05)。②较之对照组，观察组的机器扫描次数、引导治疗总扫描时间、病灶消融时间更少(*P*<0.05)；③治疗后，两组患者术后6个月的血清糖类抗原(CA)125、CA153、血管内皮生长因子、促血管生成素含量均比术前降低，且较之对照组，观察组更低(*P*<0.05)；④观察组并发症发生率5.26%(2/38)，低于对照组21.05%(8/38)(*P*<0.05)；⑤观察组术后1年内复发率15.79%(6/38)，低于对照组36.84%(14/38)(*P*<0.05)。**结论** MRI引导下HIFU应用老年胸部肿瘤患者治疗可减少机器扫描次数、引导治疗总扫描时间及病灶消融时间，改善血清肿瘤相关因子含量，降低并发症发生率及复发率。

【关键词】高强度聚焦超声；磁共振成像；老年；胸部肿瘤
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
【基金项目】江苏省卫健委干部保障局课题(BJ18034)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.016

Application of MRI-Guided HIFU in the Treatment of Elderly Thoracic Tumors*

JI Xing-hui[1], DONG Ling-li[1,*], LIU Nian-long[2], YANG Bo[1], LI Kang[1], FU Jin-feng[1].
1.Department of Imaging, Jiangsu Cancer Hospital, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China
2.Department of Medical Equipment, Jiangsu Cancer Hospital, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT
Objective To explore the application effect of magnetic resonance imaging (MRI)-guided high-intensity focused ultrasound (HIFU) in the treatment of elderly thoracic tumors. ***Methods*** 76 elderly patients with thoracic tumors received in the hospital were selected from January 2019 to December 2021, and were divided into control group (n=38, computed tomography-guided HIFU treatment) and observation group (n=38, MRI-guided HIFU treatment) by random envelope method. The total remission rate of treatment, clinical benefit rate, number of machine scans, total scan time of guided treatment, lesion ablation time, serum tumor-related factors, incidence of complications and recurrence rate were compared between groups of patients. ***Results*** There were no obvious differences in the total remission rate of treatment and clinical benefit rate between groups at 6 months after surgery (*P*>0.05). Compared with control group, the number of machine scans, total scan time of guided treatment and lesion ablation time were less or shorter in observation group (*P*<0.05). After treatment, the levels of serum carbohydrate antigen (CA) 125, CA153, vascular endothelial growth factor and angiopoietin in both groups at 6 months after surgery were reduced compared with those before surgery, and the above levels were lower in observation group (*P*<0.05). The incidence of complications in observation group was 5.26% (2/38), which was lower than 21.05% (8/38) in control group (*P*<0.05). The recurrence rate within 1 year after surgery in observation group with 15.79% (6/38) was lower than 36.84% (14/38) in control group (*P*<0.05). ***Conclusion*** MRI-guided HIFU in the treatment of elderly patients with thoracic tumors can reduce the number of machine scans, shorten the total scan time of guided treatment and lesion ablation time, improve the contents of serum tumor-related factors, and reduce the incidence of complications and recurrence rate.

Keywords: High-Intensity Focused Ultrasound; Magnetic Resonance Imaging; Elderly; Thoracic Tumors

以肺癌和食管癌为代表的胸部肿瘤是严重威胁人类健康的重大疾病，而肺癌又是世界上最常见的恶性肿瘤之一[1-2]。目前临床多通过病灶切除或放疗等方法杀灭癌细胞，从而达到抑制肿瘤生长、延长患者生存期的目的，但其疗效存在个体差异性[3]。而高强度聚焦超声(HIFU)是一种物理消融治疗方式，对于无法实施根治性切除手术的肺癌患者，通过消融治疗能缩小病灶体积并有效缓解癌症患者疼痛情况，其具备无创、有效和安全等优点，已越来越受到临床医生的重视，有广阔的临床应用前景[4]。尽管HIFU在技术上取得了巨大进展并得到普及，但这种治疗方案在实际应用过程中仍存在一定的问题，其缺乏可靠的影像引导和术后组织损伤评价系统，可能会影响治疗效果[5]。目前引导HIFU治疗主要采用磁共振成像(MRI)和计算机断层扫描(CT)，相较于CT，MRI以其高灵敏、高组织分辨率、实时温度测量等优点，可为肿瘤的早期诊断、术前规划、术中检查及预后评价等研究提供重要依据[6]，但其在老年人胸部肿瘤HIFU治疗中的应用较少，其有效性及安全性仍有待进一步明确。基于此，本文将MRI方法引入到HIFU治疗系统中，探讨其在老年人胸部肿瘤治疗中的实施效果，报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 针对2019年1月至2021年12月期间，我院接收的76例老年肺癌患者，按随机信封法分成对照组(n=38例，CT引导下HIFU治疗)与观察组(n=38例，MRI引导下HIFU治疗)，两组一般资料比较差异无统计学意义(*P*>0.05)(表1)。本研究在我院伦理委员会的批准下进行。

纳入标准：确诊为肺癌[7]；病历资料完整；年龄＞18岁；患者及家属对本研究知情同意。排除标准：认知障碍，不能自主配合治疗；合并其他部位严重感染、恶性肿瘤及器官衰竭者；凝血功能障碍，出血风险较大；穿刺部位或病灶周围存在严重感染；心、肝、肾等内脏质性病变者。

1.2 方法 (1)术前：嘱咐所有患者行HIFU消融术前3 d时进食以低渣、不产气食物为主，术前12 h禁食。

(2)MRI及CT定位方法：根据患者病灶的位置确定其体表位置，将病灶的体表标记置于患者相应皮肤上，启动检查扫描以确定标志物与病灶间的角度、深度，选定并确定最佳穿刺位置，随后对患者进行消毒、铺设治疗巾，最后对患者局部麻醉、破皮处理，做好记录。

(3)HIFU治疗方法：由具有丰富HIFU操作经验的医师，通过上海新地实业有限公司生产的高强度聚焦超声仪中消融肿瘤，型号HIFU-2001型肿瘤治疗系统。对照组采用CT

【第一作者】季兴晖，男，技师，主要研究方向：医学影像技术。E-mail：15380533709@163.com
【通讯作者】董玲丽，女，技师，主要研究方向：医学影像技术。E-mail：17361971858@163.com

引导下HIFU消融术，患者采用俯卧位，不透X射线的栅栏格放于病变大体位置，使用美国GE公司产生的Optima 680型64排螺旋CT扫描仪(参数：120 kV，100 mA，层厚3mm)，行三维重建并开展多靶点消融。观察组采用MRI仪(美国GE，Discovery 750W型)行MRI引导下HIFU消融术，患者采用俯卧位，在MRI导向下用T1-TFE、T2-TSE序列图像引导进针，T1-TFE、T2-TSE和DWI序列观察治疗效果，序列参数：TR/TE值分别为10/2.3，1129/80及749/70；time分别为14 s，17 s及36 s；REC Voxel(mm)分别为：0.93/0.93/4.00，0.78/0.78/4.00及1.25/125/4.00；Flip angle(deg)分别为15，400×330及400×330；层数均为：轴位15层，厚度4.0 mm，间距0 mm；NSA均为1。矫正能量后自动规划病灶区域治疗靶点，随即以点照射方式行HIFU消融逐点治疗，引导期间依据治疗情况调整引导位置等，同时监测病灶及靶点温度。

表1 两组基线资料比较(例)

组别	例数	性别		年龄(岁)	体质量指数(kg/m²)	病程(年)	肿瘤分期	
		男	女				Ⅰ-Ⅱ期	Ⅲ-Ⅳ期
观察组	38	25	13	55.13±5.57	22.34±1.26	1.25±0.34	28	10
对照组	38	22	16	54.84±5.74	22.56±1.57	1.32±0.26	31	7
χ^2/t	-	0.502		0.224	0.674	1.008	0.682	
P	-	0.479		0.824	0.503	0.317	0.409	

(4)术后：两组患者卧床24 h，保持穿刺侧在下方，抗感染药物连续使用3至5天，接受常规心电监护、吸氧、止血等处理。给予所有患者相同化疗方案，完成4个化疗疗程后，进行一年的定期随访。

1.3 观察指标 (1)术后6个月临床疗效[8]：①完全缓解：治疗后，肿瘤彻底消失，影像学检查不能显示肿瘤迹象；②部分缓解：肿瘤体积较治疗前缩小，且减少程度＞50%；③稳定：治疗后，肿瘤体积减少程度＜50%，或增大程度≤25%；④进展：肿瘤体积较治疗前增大，且增大程度＞25%。总缓解率=完全缓解率+部分缓解率，临床获益率=完全缓解率+部分缓解率+稳定率。(2)手术情况：对比机器扫描次数、引导治疗总扫描时间(T1)、病灶消融时间(T2)。(3)血清肿瘤指标：治疗前、治疗后6个月，于患者空腹时，抽取静脉血3 mL，通过德国罗氏cobase 601型电化学免疫发光分析仪检测血清糖类抗原(CA)125、CA153含量；检测血清血管内皮生长因子(VEGF)、促血管生成素(Ang-2)水平，采用中山生物工程有限公司生产的试剂盒，通过酶联免疫吸附法检测。(4)并发症：比较两组患者HIFU相关并发症(胃肠道反应、气胸、胸腔积液等)发生情况。(5)复发率：记录2组患者术后1年内的复发率，消融病灶范围内发现新的病灶定义为复发[9]。

1.4 统计学分析 符合正态分布的计量数据以($\bar{x}\pm s$)呈现，用t检验；计数资料以例[n(%)]呈现，用χ^2检验；等级数据用秩和检验。以上数据采用SPSS 26.0软件分析。*P*<0.05为有统计学差异。

2 结 果

2.1 两组治疗效果对比 两组患者治疗总缓解率、临床获益率差异不显著(*P*>0.05)，见表2。

2.2 两组手术情况比较 较之对照组，观察组的机器扫描次数、T1、T2更少(*P*<0.05)，见表3。

表2 两组治疗效果[n(%)]

组别	例数	完全缓解	部分缓解	稳定	进展	总缓解率	临床获益率
观察组	38	10(26.32)	15(39.47)	8(21.05)	5(13.16)	25(65.79)	33(86.84)
对照组	38	7(18.42)	12(31.58)	11(28.95)	8(21.05)	19(50.00)	30(78.95)
u/χ^2	-		1.357		1.943		0.835
P	-		0.175		0.163		0.361

表3 两组手术情况比较(分)

组别	例数	机器扫描次数/次	T1/s	T2/s
观察组	38	7.25±1.66	2354.43±421.15	965.01±180.62
对照组	38	8.34±1.45	3541.21±567.41	1206.78±225.79
t	-	3.048	10.353	5.154
P	-	0.003	<0.001	<0.001

2.3 两组血清肿瘤相关指标比较 两组患者CA125、CA153、VEGF及Ang-2含量均比治疗前降低，且观察组更低(*P*<0.05)，见表4。

2.4 两组并发症发生率比较 观察组并发症发生率5.26%(2/38)，低于对照组21.05%(8/38)(*P*<0.05)，见表5。

2.5 两组复发率比较 观察组术后1年内有6例复发，复发率为15.79%(6/38)；对照组14例复发，复发率为36.84%(14/38)。较之对照组，观察组复发率更低(χ^2=4.343, *P*=0.037)。

表5 并发症发生率比较[n,(%)]

组别	例数	胃肠道反应	气胸	胸腔积液	总发生率
观察组	38	1(2.63)	1(2.63)	0(0.00)	2(5.26)
对照组	38	2(5.26)	3(7.89)	3(7.89)	8(21.05)
χ^2	-	-	-	-	4.146
P	-	-	-	-	0.042

表4 血清肿瘤相关指标比较(%)

组别	例数	CA125(U/mL)		CA153(U/mL)		VEGF(pg/mL)		Ang-2(ng/mL)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	38	235.57±33.53	63.24±15.40*	85.27±18.65	23.06±10.45*	322.56±40.53	43.07±15.34*	85.45±16.67	22.26±6.54*
对照组	38	236.54±35.67	89.12±19.10*	85.06±18.42	43.71±11.24*	321.36±40.64	56.31±18.43*	85.37±16.12	39.67±9.12*
t	-	0.122	6.502	0.049	3.117	0.129	3.217	0.021	9.563
P	-	0.903	<0.001	0.961	<0.001	0.898	0.001	0.983	<0.001

注：*表示与同组治疗前相比，*P<0.05。

2.6 典型病例 某男，71岁，肺癌。CT引导下HIFU治疗穿刺前见图1A，穿刺中见图2A；MRI引导下HIFU治疗消融前见图1B，消融中见图2B；MRI的T2-TSE序列消融前见图1C，消融中见图2C。

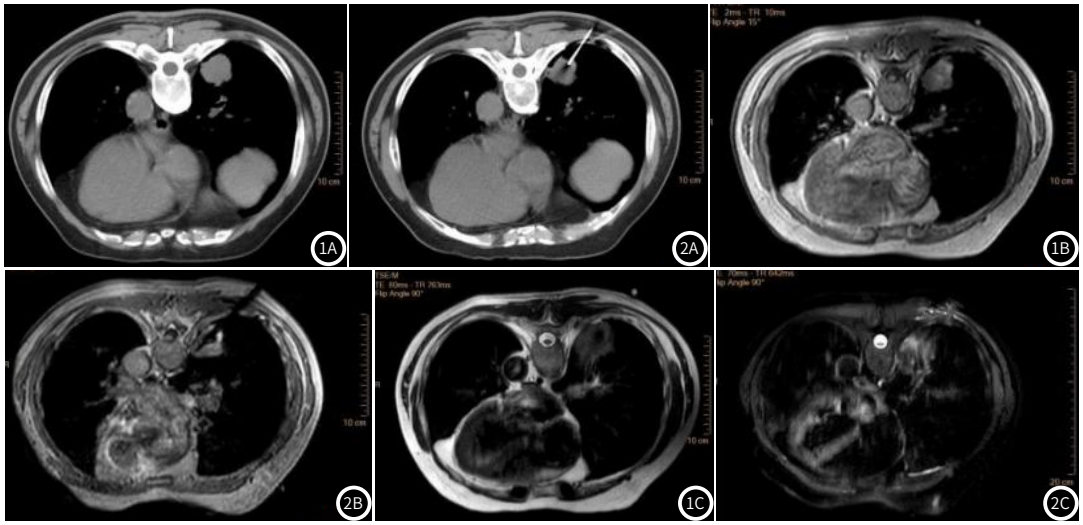


图1A：CT穿刺前，**图2A**：CT穿刺中；**图1B**：MRI消融前，**图2B**：MRI消融中；
图1C：MRI的T2-TSE序列消融前，**图2C**：MRI的T2-TSE序列消融中。

3 讨　论

HIFU作为一项非侵入性局部热消融技术，因其靶向性好、无创、无电离辐射等优点，已成为一种治疗癌症的方法，能有效局部控制肿瘤，并可与放疗、化疗等联合用于无法手术切除的原发性肺癌或转移性肺癌患者，但其需在影像学引导下进行，治疗效果与病灶消融精准性存在密切关系[10]。研究表明，相较于其他影像技术，MRI在引导HIFU治疗中的应用展现出多方面的优越性：它不仅提供高分辨率的图像和广阔的成像范围，还能够增强软组织的对比度，为医疗人员提供更多有价值的临床数据，确保治疗的精准实施；没有放射性损害；该技术能明确区分活体组织与坏死区域的界限，并可观察局部血液供应状态。因此，利用MRI，可以实现对病灶的准确定位，并根据治疗区的温度变化对疗效进行判定[11]。

本研究将MRI引导下HIFU应用于老年人胸部肿瘤治疗中，并与CT引导下HIFU治疗进行对比，结果显示，两组患者的治疗总缓解率、临床获益率差异不显著(P>0.05)，表明两种治疗方式均能有效治疗老年胸部肿瘤。另外，观察组机器扫描次数、T1及T2更少(P<0.05)，表明MRI引导下HIFU可有效减少HIFU治疗时间。这可能是因为MRI引导下的HIFU术穿刺精度高、针道清晰、能够在多个部位清晰地显示出针尖与病变之间的关系，从而在治疗中实时地观察到病灶的消融状态；同时，MRI的T1-TFE、T2-TSE、DWI序列在疗效评价中起到重要作用，这些序列可清晰显示病变与正常组织的信号，并能对水肿、出血、气胸等情况进行实时监测[12]。而CT引导HIFU术只能通过病灶大小及消融时间来评价疗效[13]，因此，相比CT引导而言，MRI导向下的HIFU受时间和次数的影响较小。

血清肿瘤标志物，由肿瘤细胞自身合成、释放而来，亦或通过机体对肿瘤细胞的应答反应而来，其在肿瘤诊断、疗效评估、复发监测等方面都有重要的应用价值[14]。当恶性肿瘤发生后，CA125、CA199水平可异常升高，Ang-2与VEGF在病理性血管新生和重构中具有协同效应，会使病变面积增大[15]。本研究表明，治疗后，较之对照组，观察组患者CA125、CA153、Ang-2及VEGF含量更低(P<0.05)，表明MRI导向下HIFU治疗可以更好地控制病变的发展，并在一定程度上促进疾病恢复。可能是因为MRI导向下HIFU手术可以引起病变部位的温度升高，使血管内皮细胞发生不可逆性损伤，从而降低人体血清肿瘤相关分子(如Ang-2、VEGF、CA125、CA199等)的含量，最终缩小病灶范围[16]。本研究亦发现，观察组HIFU相关并发症发生率、复发率均低于对照组(P<0.05)，提示在MRI导向下HIFU手术能够降低并发症、复发情况的发生风险，这可能是因为在MRI导向下，患者HIFU术中血氧饱和度、消融靶区温度、心率等参数实现了实时监控与操控，使得HIFU手术的稳定性及安全性更高[17]。因此在MRI导向下，患者并发症发生情况更少，且最大程度地减少术后肿瘤的复发。

本研究的不足之处：首先，由于手术操作、患者呼吸和器官之间的相对运动等因素，可能使切面发生移位，从而使定量分析产生一定误差；其次，相较于CT，MRI成像时间稍长，且需要手术中所用器械要有MRI兼容性。后续可扩大样本量，提高研究结果的准确性及科学性，为老年胸部肿瘤早期诊断提供准确度更高的诊断方案。

综上所述，MRI引导下HIFU应用老年胸部肿瘤患者，可减少机器扫描次数、引导治疗总扫描时间及病灶消融时间，改善血清肿瘤分子含量，降低并发症发生率及复发情况，改善生存质量。

参考文献

[1]Fu Y,Hou R,Fu X,et al.A 3D CNN model using deep learning based on chest CT for predicting disease-free survival of patients with early-stage lung cancer receiving surgery and SBRT[J].International Journal of Radiation Oncology,Biology,Physics,2024,120(2S):e20-e21.
[2]李贵新,高志成,宋鹏,等.黄连膏联合局部高压氧喷对食管癌放射性皮肤损伤疗效[J].中国临床研究,2023,36(6):913-918.
[3]韦雪丽,汪艳娟,米聪.比较培美曲塞与多西他赛分别联合顺铂治疗非小细胞肺癌的疗效及安全性分析[J].罕少疾病杂志,2024,31(11):48-50.
[4]Liu H,Zeng J,Jinyun C,et al.Robust radiomics models for predicting HIFU prognosis in uterine fibroids using SHAP explanations:a multicenter cohort study[J].Journal of Imaging Informatics in Medicine,2024,(prepublish):1-13.
[5]罗婕妤,曹琳娜,确太降初,等.基于双频HIFU换能器的振动声成像及其靶组织损伤区域检测研究[J].传感技术学报,2024,37(7):1135-1143.
[6]冯敏清,张婧,陈向东,等.MRI在高强度聚焦超声消融治疗产后胎盘植入中的应用价值[J].实用放射学杂志,2023,39(2):255-258.
[7]中华医学会肿瘤学分会.中华医学会肺癌临床诊疗指南(2024版)[J].中华肿瘤杂志,2024,46(9):805-843.
[8]中国抗癌协会肺癌专业委员会.2010 中国肺癌临床指南:中国肺癌临床指南[J].北京:人民卫生出版社,2010:123-124.
[9]范骏,魏可,骆金华,等.血清微小RNA-184、微小RNA-451a表达对Ⅰ～ⅡA期非小细胞肺癌根治术后复发转移的预测价值[J].实用临床医药杂志,2024,28(13):1-6.
[10]Mingzhen Z,Ryuta N,Takashi A,et al.Numerical study on sector-vortex phased irradiation method using annular array transducer in high-intensity focused ultrasound treatment[J].Ultrasonics,2021,115(prepublish):1-14.
[11]Wang T,Wen Y,Wang Z.NNU-Net based segmentation and 3D reconstruction of uterine fibroids with MRI images for HIFU surgery planning[J].BMC Medical Imaging,2024,24(1):233-233.
[12]王玉璜,沈晓康,李康,等.磁共振和CT导向下的微波消融技术在肺癌治疗中的应用[J].现代医学,2021,49(07):737-741.
[13]Beatrice L,Florkow Mateusz C,Ferrer Cyril J,et al.Synthetic CT for the planning of MR-HIFU treatment of bone metastases in pelvic and femoral bones:a feasibility study[J].European Radiology,2022,32(7):4537-4546.
[14]徐俊美,王海亚,邓冰瑞.基于炎症指标和肿瘤标志物CEA、CYFRA21-1、CA19-9对肺癌远处转移的预测价值[J].罕少疾病杂志.
[15]李莉,刘春桃,刘杨,等.高强度聚焦超声消融联合屈螺酮炔雌醇片治疗子宫腺肌病患者的临床疗效及对血管生成因子和子宫动脉血流动力学的影响[J].疑难病杂志,2024,23(5):599-604.
[16]蒋雨,黄小华,秦石泽,等.基于增强MRI影像组学模型预测HIFU消融子宫肌瘤疗效的价值研究[J].临床放射学杂志,2022,41(11):2095-2100.
[17]刘晶晶,胡晓君,叶小琳.MRI或超声引导下高强度聚焦超声消融治疗子宫肌瘤的效果比较[J].中国综合临床,2024,40(5):351-356.

(收稿日期：2024-12-02)　　(校对：姚丽娜　排版：张鸿燊)