

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2023.09.002

腹压板不同压腹位置对肝癌立体定向放射治疗精度的影响

邵剑辉, 杨鑫, 李雅宁

中山大学肿瘤防治中心放疗科/华南肿瘤学国家重点实验室/肿瘤医学协同创新中心, 广东 广州 510060

【摘要】目的:探究肝癌立体定向放射治疗中腹压板在不同位置施压对摆位误差及肿瘤移动度的影响。**方法:**选取经病理诊断为肝癌的患者共30例,根据腹压板施压位置不同分为腹压组和剑突组各15例。获取30例肝癌患者共180组4D-CBCT扫描数据,记录并分析每组内摆位误差大小,并利用Elekta直线加速器自带的XVI(X线容积影像系统)软件分析肿瘤随肝脏的移动度。**结果:**剑突组在Y方向上的摆位误差小于腹压组($P<0.05$)。剑突组的肿瘤移动度均值在Y方向上小于腹压组($P<0.05$),但在X和Z方向上差异无统计学意义($P>0.05$);剑突的肿瘤移动度均方差在Z方向上小于腹压组($P<0.05$),但在X和Y方向上差异无统计学意义($P>0.05$);剑突组的肿瘤最大移动度在X和Y方向上小于腹压组($P<0.05$),但在Z方向上差异无统计学意义($P>0.05$)。剑突组在3个方向上的靶区外放边界值均比腹压组小。**结论:**在肝癌立体定向放射治疗中,腹压板压迫在剑突下位置比腹部肚脐位置的呼吸抑制效果更为明显,更大程度上减小摆位误差和肿瘤移动度,提高放疗的精确度。

【关键词】肝癌;立体定向放射治疗;腹压板位置;呼吸运动;摆位误差

【中图分类号】R816.5

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)09-1064-05

Effects of different abdominal compression plate positions on accuracy in stereotactic body radiotherapy for liver cancer

SHAO Jianhui, YANG Xin, LI Yaning

State Key Laboratory of Oncology in South China/Collaborative Innovation Center for Cancer Medicine/Department of Radiation Oncology of Sun Yat-Sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To investigate the effects of different abdominal compression plate positions on setup error and tumor mobility in stereotactic body radiotherapy (SBRT) for liver cancer. **Methods** Thirty patients pathologically diagnosed with liver cancer were enrolled and divided into abdominal compression group ($n=15$) and xiphoid process group ($n=15$) according to their abdominal compression plate positions. A total of 180 groups of 4D-CBCT scanning data were obtained from the 30 patients. The setup errors in each group were recorded and analyzed, and the tumor mobility was analyzed by XVI (X-ray volumetric imaging system) of Elekta linear accelerator. **Results** The xiphoid process group had smaller setup error in Y direction than abdominal compression group ($P<0.05$). For tumor mobility in 3 directions, the mean tumor mobility in only Y direction, mean square error of tumor mobility in only Z direction, and maximum tumor mobility in both X and Y directions were all lower in xiphoid process group than abdominal compression group ($P<0.05$), and the other differences between two groups were trivial ($P>0.05$). The target margins of xiphoid process group were smaller than those of abdominal pressure group in all 3 directions. **Conclusion** In liver cancer SBRT, the abdominal compression plate under xiphoid process has more obvious respiratory depression than under abdominal navel, which greatly reduces setup error and tumor mobility, and improves the accuracy in radiotherapy.

Keywords: liver cancer; stereotactic body radiotherapy; abdominal compression plate position; respiratory movement; setup error

【收稿日期】2023-04-03

【基金项目】国家自然科学基金(82172669);广东省基础与应用基础研究基金企业联合基金(2021A1515220140);广东省食管癌研究所科技计划项目青年项目(Q202221);中山大学肿瘤防治中心“青年优创”计划(QNYCPY32)

【作者简介】邵剑辉, 技师, 研究方向: 放射治疗技术, E-mail: shaojh@sysucc.org.cn

【通信作者】李雅宁, 硕士, 主管技师, 研究方向: 放射治疗技术, E-mail: liyn@sysucc.org.cn

前言

肝癌是目前世界范围内最常见的恶性肿瘤之一,全球癌症相关死亡率排第4位^[1]。在我国,肝癌是排名第4位的恶性肿瘤^[2],其发病率占到了全球肝癌的50%以上^[3-4]。临床上,手术切除是早期肝癌最为有效的治疗手段,但是绝大部分患者确诊时病程已经发展到中晚期,同时伴有肝炎、肝硬化等慢性肝病,仅有20%~30%的患者适合接受外科手术治疗^[5]。近年来,随着计算机和放疗技术的不断发展,放疗治疗已成为肝癌综合治疗的重要手段之一,并在临床中取得了显著的疗效。有大量研究表明,对于体积较小的肝癌采用立体定向放射治疗(SBRT)在疗效上能够获得与手术切除和射频消融类似的效果^[6-7]。但是,在解剖位置来说由于肝脏紧邻膈肌,其受膈肌呼吸运动的影响较大(头脚方向运动幅度约1~3 cm)^[8-11],在制定放疗计划时,会造成从临床靶区(CTV)到计划靶区(PTV)外扩范围增大,从而增加正常肝脏组织的受量,引发正常组织并发症,从而限制肝癌放疗剂量的增加。因此,如何有效减少呼吸运动对肝脏肿瘤移动度的影响成为肝癌放疗的一项重要研究课题。

为了最大程度减少呼吸运动对肝癌放疗精度的影响,肝癌放疗患者的体位固定方式以及呼吸控制技术也在不断地探究和改进中。临床上肝癌放疗患者呼吸控制的方法大致可以归为主动呼吸控制以及被动呼吸控制两大类。两类呼吸控制技术均可以控制患者的呼吸运动,但是主动呼吸控制技术需要提前对患者进行训练,容易受到患者对自身呼吸控制情况的配合度等不确定因素的影响,操作难度较大。另外,主动呼吸控制技术需要高精度医疗设备的密切配合,给患者造成较大的经济负担。近年来,大多数肝癌放疗的患者采用被动加压技术(即腹压装置控制呼吸运动幅度)达到控制呼吸的效果^[12]。本研究以此为切入点,探究肝癌在SBRT中腹压板不同施压位置对摆位误差及肝脏移动度的影响。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本研究选取2021年12月~2022年5月在中山大学肿瘤防治中心放疗科接受治疗的肝癌患者30例(腹压组和剑突组各15例),年龄41~82岁,中位年龄56岁。纳入标准:(1)经组织病理诊断或细胞学诊断或符合临床诊断标准^[13-14];(2)Child-Pugh肝功能评分 ≤ 8 分;(3)病灶为原发性肝癌,无明显转移灶、黄疸及腹水等;(4)其他重要器官无明显异常,心肺功能

正常,患者可在平静状态下主动配合均匀呼吸。放疗前对各入组患者均行血常规、心电图及肝肾功能等各项检查,确保无放疗禁忌症。采用SBRT,单次分割剂量6.5 Gy,照射次数共6次,隔日1次。

1.2 体位固定及CT扫描

30例肝癌患者均采用腹压板联合真空袋的固定方式,体位实行仰卧位,双手上举交叉放头顶。CT定位前嘱患者空腹3 h以上,腹压板压迫的深度由主治医生到场决定,以患者能忍受的最大深度为限。腹压组的15例患者腹压板压迫位置为肚脐中心周围;剑突组的15例患者腹压板位置为剑突下缘(图1)。



a: 腹压组(以肚脐为中心点)

b: 剑突组(沿剑突下缘)

图1 腹压板两种不同压迫位置

Figure 1 Two different abdominal compression plate positions

利用 Philips 大孔径 16 排 CT 模拟定位机(CT-Sim, 图像矩阵 512×512, 扫描电压 140 kV, 电流 280 mAs)获取 30 例肝癌患者的 CT 平扫和增强两套图像,扫描范围为第6胸椎上缘到第5腰椎下缘,扫描层厚为 5 mm。由主管医生在增强 CT 图像上勾画靶区和危及器官,平扫 CT 图像由物理师进行放疗计划设计。放疗前,这套包含了各项治疗计划信息的 CT 图像被传输至直线加速器自带的 X 线容积影像(XVI)系统,作为与 CBCT 图像配准的参考图像。

1.3 摆位误差及肿瘤移动度数据收集

每次放疗前利用 Versa HD (Elekta Co. Ltd, Sweden) 直线加速器自带的四维锥形束图像引导(4D-CBCT)对患者进行扫描,获取 30 例肝癌患者共 180 组 4D-CBCT 数据。这些图像信息不仅包含了患者在三维方向的摆位误差,还包括了肝脏肿瘤随呼吸运动的移动度信息。

在第一次治疗前由主管医生给出每位患者 CBCT 图像的配准框,扫描完成后对即时重建出来的 4D-CBCT 图像与定位 CT 图像进行配准。配准时主要参考对象为医生勾画的靶区,配准方式选择灰度配准,并结合需要进行手动微调,在配准时尤其要注意的是肿瘤在 Y 方向上随呼吸运动的幅度不能超出

靶区边界,记录X(左右)、Y(上下)、Z(前后)方向的摆位误差。

利用 XVI 系统的 4D-CBCT 模块自带的 MASK 分析(即将整个肿瘤靶区作为 MASK)功能,将每次治疗前扫描的 4D-CBCT 图像按呼吸周期分割成 10

个时相,分析出肿瘤在每个呼吸时相中在 X、Y、Z 方向上的移动度大小,并由软件计算出肿瘤在 X、Y、Z 方向上移动度的均值(Mean)、均方差(SD)及最大移动度(A)(图2)。

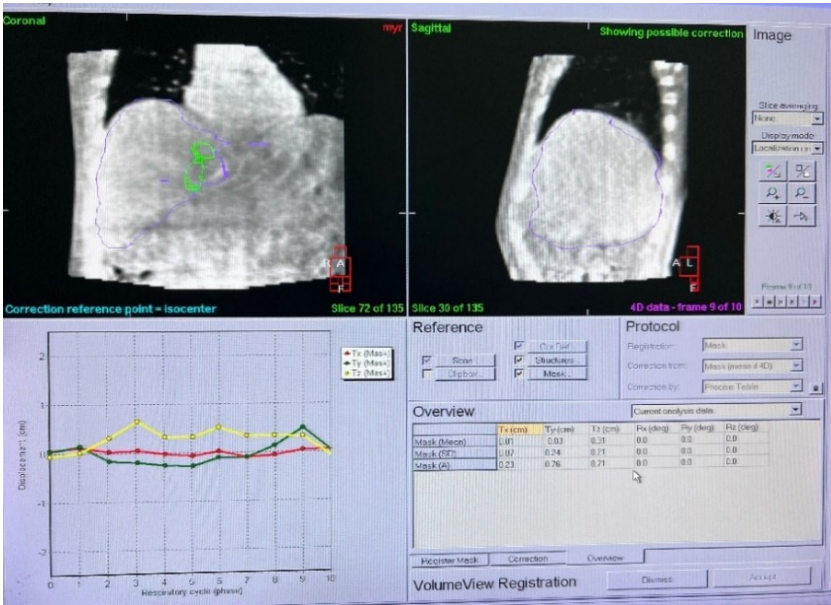


图 2 4D-CBCT 肿瘤移动度分析
Figure 2 Tumor mobility analysis using 4D-CBCT

1.4 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件对两组病例的摆位误差及肿瘤移动度数据进行分析,符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示^[15]。靶区外放边界值 M_{PTV} 由 van Herk 等^[16]的公式 M_{PTV}=2.5Σ+0.7σ(其中 Σ 为系统误差标准差,σ 为随机误差标准差)计算得出。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组摆位误差结果比较

由表 1 可以看出,剑突组在 Y 方向上的摆位误差小于腹压组(P<0.05),但在 X 和 Z 方向上差异无统计学意义(P>0.05)。

2.2 两组肿瘤移动度结果比较

由表 2 可以看出,剑突组的肿瘤移动度均值在 Y 方向上小于腹压组(P<0.05),但在 X 和 Z 方向上差异无统计学意义(P>0.05);剑突组的肿瘤移动度均方差在 Z 方向上小于腹压组(P<0.05),但在 X 和 Y 方向上差异无统计学意义(P>0.05);剑突组的肿瘤最大移动度在 X 和 Y 方向上小于腹压组(P<0.05),但在 Z 方向上差异无统计学意义(P>0.05)。

表 1 两组肝癌病例摆位误差对比(mm, Mean±SD)
Table 1 Comparison of setup error between two groups of liver cancer patients (mm, Mean±SD)

组别	X 方向	Y 方向	Z 方向
腹压组	2.70±0.33	6.50±0.75	8.30±0.52
剑突组	7.10±0.36	-4.44±0.58	4.30±0.34
t 值	-0.716	-4.296	-0.782
P 值	0.772	0.025	0.141

2.3 两组靶区外扩边界比较

根据公式 M_{PTV}=2.5Σ+0.7σ^[16]分别计算得出两组在 X、Y、Z 3 个方向上的靶区外放边界值 M_{PTV}(表 3)。由表 3 可以看出,剑突组在 3 个方向上的靶区外放边界值均比腹压组小。

3 讨论

肝脏是人体内重要的代谢器官之一,大部分肝脏位于人体右季肋部及上腹部,上部紧贴着膈肌。由于肝脏所处位置易受到膈肌运动的影响,在人体处于自由呼吸状态时,肝脏会随着呼气向上移动,随着吸气向下移动。因此,呼吸运动是影响肝癌放疗

表 2 两组肿瘤移动度对比(mm, Mean±SD)
Table 2 Comparison of tumor mobility between two groups (mm, Mean±SD)

组别	均值			均方差			最大移动度		
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
腹压组	6.30±0.33	-3.63±0.61	5.10±0.56	1.29±0.47	3.62±0.99	1.94±0.75	3.89±1.44	10.05±2.82	5.83±1.27
剑突组	-6.10±0.31	1.25±0.81	2.15±0.35	1.22±0.71	2.22±0.81	1.52±0.53	3.84±1.16	6.23±2.09	4.61±1.75
t 值	-1.444	-3.864	-2.005	3.429	0.640	8.784	8.820	3.663	0.168
P 值	0.118	0.024	0.065	0.063	0.238	0.019	0.007	0.049	0.857

表 3 两组肝癌病例靶区外放边界比较(mm)
Table 3 Comparison of target margin between
two groups of liver cancer patients (mm)

组别	参数	X 方向	Y 方向	Z 方向
腹压组	Σ	3.35	6.46	4.48
	σ	0.76	0.18	0.39
	M _{PTV}	8.91	16.28	11.47
剑突组	Σ	2.54	5.19	2.72
	σ	0.16	0.19	0.08
	M _{PTV}	6.46	13.11	6.86

精度的重要因素,对呼吸运动的合理控制能够有效提高肝癌放疗的精度和效果^[17]。有研究表明,当器官运动幅度超过 5 mm 时可能对放疗剂量的分布造成很大的影响^[18]。腹部加压是利用放置于腹部表面的加压装置来控制患者腹式呼吸幅度,从而达到减少肿瘤移位的作用。曹旻昱等^[19]研究结果显示,利用腹压装置的肝癌病人在左右(X)、上下(Y)及前后(Z)方向的摆位误差及肿瘤移动度均比自由均匀呼吸的病人小;在陈明东等^[12]研究中,利用简易腹压装置的观察组病人在肝上缘头脚(Y)方向的最大移动幅度、Y 轴移位误差均低于对照组自由呼吸的病人。多个研究表明^[20-21]利用腹部加压方式可以控制肝癌病人的呼吸幅度,从而减小摆位误差及肿瘤移动度,提高放疗精确度。腹部加压的方法在临床实际操作中方法简单,价格较低,在治疗过程中可以根据不同患者的身体状况调整合适的压迫点及压迫深度。不同的压迫点及压迫深度对患者的呼吸抑制程度不同。在患者耐受的情况下,压迫越深,对呼吸的抑制作用越好。有研究发现,在安全范围内,较大的压力可以更好地限制肿瘤运动^[22]。Loveloock 等^[23]发现压力装置每增加 10 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),头脚方向的肿瘤运动幅度约减小 1 mm。同时,通过对比研究^[24]发现,当把压力装置放在剑突与肚脐连线的上半部时,对呼吸的控制效果最好;压力装置位置距

离剑突越远,肝脏的呼吸动度越大,当把压力装置放在肚脐上时,腹部加压基本无效,其产生的呼吸动度与自由呼吸相近。

本研究以腹压板位置为基础,根据腹压板施压位置不同将经病理诊断为肝癌的患者共 30 例分为腹压组和剑突组各 15 例。将 30 例肝癌患者共 180 组 4D-CBCT 扫描数据进行统计分析,探究不同腹压板压迫位置对肝癌放疗的摆位误差及肿瘤移动度的影响。研究结果显示,剑突组在进出方向上的摆位误差及肿瘤移动度均明显小于腹压组。因此,腹压板施压在剑突下能更有效地减小肝癌大剂量调强放疗的误差,同时肿瘤移动度的缩小可以减小靶区外扩值,从而减少靶区周围正常组织的受照射量。本研究的结果与 Hu 等^[24]研究结果相似,这也验证了腹压板压迫在剑突下的有效性,具有实际的临床参考意义。另外,有研究^[24]指出,性别和体质量指数(BMI)也是影响腹部加压效果的独立因素,这可能归因于女性大多以胸式呼吸为主,腹部加压对女性呼吸影响不大;BMI 的影响可能表现为腹部脂肪较多的患者可以对压力起到一定的缓冲效果,因此女性和肥胖患者的腹压效果欠佳。在本研究中,由于入组患者均为男性,实验结果排除了性别的影响;同时未考虑 BMI 这一因素。在后续的研究中,将会扩大样本,更为深入地探究 BMI 因素对腹压效果的影响。

综上所述,在肝癌大剂量调强放疗中,腹压板压迫在剑突下位置比腹部肚脐位置的呼吸抑制效果更为明显,能够在更大程度上减小摆位误差和肿瘤移动度,提高放疗的精确度。在实际临床中,放疗医生可根据患者的具体情况,在患者耐受范围内,将腹压板尽可能压迫在靠近剑突的位置,以达到提高治疗效果的目的。

【参考文献】

[1] Mohammadian M, Allah Bakeshei K, Mohammadian-Hafshejani A. International epidemiology of liver cancer: geographical distribution, secular trends and predicting the future[J]. J Prev Med Hyg, 2020, 61 (2): E259-E289.

- [2] Zhou M, Wang H, Zeng X, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2019, 394(10204): 1145-1158.
- [3] Lin L, Yan L, Liu Y, et al. The burden and trends of primary liver cancer caused by specific etiologies from 1990 to 2017 at the global, regional, national, age, and sex level results from the global burden of disease study 2017[J]. *Liver Cancer*, 2020, 9(5): 563-582.
- [4] Zheng C, Zeng H, Lin H, et al. Serum microcystin levels positively linked with risk of hepatocellular carcinoma: a case-control study in southwest China[J]. *Hepatology*, 2017, 66(5): 1519-1528.
- [5] Osaki Y, Nishikawa H. Treatment for hepatocellular carcinoma in Japan over the last three decades: our experience and published work review[J]. *Hepatol Res*, 2015, 45(1): 59-74.
- [6] Kimura T, Aikata H, Doi Y, et al. Comparison of stereotactic body radiation therapy combined with or without transcatheter arterial chemoembolization for patients with small hepatocellular carcinoma ineligible for resection or ablation therapies[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2018, 17: 1533033818783450.
- [7] Meng M, Wang H, Zeng X, et al. Stereotactic body radiation therapy: a novel treatment modality for inoperable hepatocellular carcinoma[J]. *Drug Discov Ther*, 2015, 9(5): 372-379.
- [8] Ross CS, Hussey DH, Pennington EC, et al. Analysis of movement of intrathoracic neoplasms using ultrafast computerized tomography[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1990, 18(3): 671-677.
- [9] Kubo HD, Hill BC. Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study[J]. *Phys Med Biol*, 1996, 41(1): 83-91.
- [10] Davies SC, Hill AL, Holmes RB, et al. Ultrasound quantitation of respiratory organ motion in the upper abdomen[J]. *Br J Radiol*, 1994, 67(803): 1096-1102.
- [11] Shimizu S, Shirato H, Aoyama H, et al. High-speed magnetic resonance imaging for four-dimensional treatment planning of conformal radiotherapy of moving body tumors[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 48(2): 471-474.
- [12] 陈明东, 王凯, 吴彬, 等. 简易腹压装置限制呼吸运动对肝癌放射治疗摆位误差的影响[J]. *基层医学论坛*, 2021, 25(23): 3339-3341.
- [13] 中国抗癌协会肝癌专业委员会, 中国抗癌协会临床肿瘤学协作专业委员会. 原发性肝癌规范化病理诊断方案专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2010, 91(12): 802-804.
- [14] 中国抗癌协会肝癌专业委员会. 原发性肝癌的临床诊断与分期标准[J]. *中华肝脏病杂志*, 2001, 9(6): 324.
- [15] Liver cancer Professional Committee of Chinese Anti-Cancer Association. Clinical diagnosis and staging criteria of primary liver cancer[J]. *Chinese Journal of Hepatology*, 2001, 9(6): 324.
- [16] Stroom JC, Heijmen BJ. Geometrical uncertainties, radio-therapy planning margins, and the ICRU-62 report[J]. *Radiother Oncol*, 2002, 64(1): 75-83.
- [17] van Herk M, Remeijer P, Lebesque JV. Errors and margins in radiotherapy[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14(1): 52-64.
- [18] 王凯, 陈明东, 吴彬, 等. 4DCT在肝癌放射治疗中的应用及剂量学研究[J]. *医疗装备*, 2021, 34(13): 11-12.
- [19] Wang K, Chen MD, Wu B, et al. Application and dosimetry of 4DCT in radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. *Medical Equipment*, 2021, 34(13): 11-12.
- [20] Tsai YL, Wu CJ, Shaw S, et al. Quantitative analysis of respiration-induced motion of each liver segment with helical computed tomography and 4-dimensional computed tomography[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1): 59.
- [21] 洪肇迪, 黎国尖, 廖光明, 等. 简压一体板联合真空负压垫固定技术在肝癌放射治疗中的应用[J]. *广西医科大学学报*, 2020, 37(11): 2079-2082.
- [22] Cao MY, Chu KY, Cao F, et al. Application of simple abdominal compression technique in radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. *Traffic Medicine*, 201, 35(6): 582-583.
- [23] Hong ZD, Li GJ, Liao GM, et al. Application of abdominal pressure plate combined with vacuum negative pressure pad in radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. *Journal of Guangxi Medical University*, 2020, 37(11): 2079-2082.
- [24] 李雅宁, 陆世培, 彭应林, 等. BodyFIX联合腹压板在肝癌大剂量放射治疗中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(3): 265-268.
- [25] Li YN, Lu SP, Peng YL, et al. Application of BodyFIX combined with abdominal pressure plate in high dose radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2018, 35(3): 265-268.
- [26] Heinzerling JH, Anderson JF, Papiez L, et al. Four-dimensional computed tomography scan analysis of tumor and organ motion at varying levels of abdominal compression during stereotactic treatment of lung and liver[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(5): 1571-1578.
- [27] Lovelock DM, Zatzky J, Goodman K, et al. The effectiveness of a pneumatic compression belt in reducing respiratory motion of abdominal tumors in patients undergoing stereotactic body radiotherapy[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2014, 13(3): 259-267.
- [28] Hu Y, Zhou YK, Chen YX, et al. 4D-CT scans reveal reduced magnitude of respiratory liver motion achieved by different abdominal compression plate positions in patients with intrahepatic tumors undergoing helical tomotherapy[J]. *Med Phys*, 2016, 43(7): 43.

(编辑:陈丽霞)