

·综述·

磁共振弹性成像技术在肿瘤中的应用及研究进展

袁杰 詹松华

上海中医药大学附属曙光医院放射科 201203

通信作者: 詹松华, Email: zhansonghua@sina.com

【摘要】 肿瘤组织的硬度与肿瘤的发展、浸润、远处转移、放化疗抵抗以及手术方式的选择密切相关, 因此准确评估肿瘤组织硬度对于肿瘤的诊断、手术方式的选择及预后评估具有重要意义。磁共振弹性成像是通过机械波定量测量组织弹性剪切力的动态成像方法。磁共振弹性成像作为一种非侵入性的技术可以定量分析在体组织的机械性能(硬度)。它是传统触诊机械化、量化的一种手段, 不仅客观且分辨率高, 又不受诊断部位的限制, 因此具有良好的研究和应用前景。笔者将综述目前磁共振弹性成像的原理以及其在乳腺、前列腺、脑、肝脏及胰腺等肿瘤中的应用和研究进展。

【关键词】 弹性成像技术; 肿瘤; 肿瘤硬度; 剪切波

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.013)

Application and research progress of magnetic resonance elastography in cancer

Yuan Jie, Zhan Songhua

Department of Radiology, Shuguang Hospital Affiliated of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

Corresponding author: Zhan Songhua, Email: zhansonghua@sina.com

【Abstract】 Tumor stiffness is closely related with tumor growth, invasion, distant metastasis, radiotherapy and chemotherapy resistance, and the choice of operation. Therefore, accurate evaluation of tumor stiffness is of great significance for the diagnosis of tumor, the choice of operation, and prognosis evaluation of tumor. Magnetic resonance elastography (MRE) is a dynamic imaging method for quantitative analysis of tissue elastic shear force by mechanical wave. It is a method to quantify the mechanical properties (stiffness) of cancer in vivo. It is objective, high-resolution, and can be used in many organs. Therefore, it has potential research value and applied foreground. This article reviews the principle of MRE and the application in cancer of breast, prostate, brain, liver, and pancreas.

【Key words】 Elasticity imaging techniques; Neoplasms; Cancer stiffness; Shear wave

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.013)

人体组织的硬度或者弹性很大程度上取决于组织的分子构成以及这些分子构成在微观和宏观上的组织形式, 是组织物理性质中一种重要的机械力学参数, 与其生物学特性紧密相关^[1]。肿瘤组织尤其是恶性肿瘤组织中常存在大量的细胞外基质, 质地硬度明显高于周围正常组织。了解肿瘤组织的硬度对于肿瘤组织局部浸润、远处转移、放化疗抵抗以及手术方式的选择具有重要的作用^[2]。

弹性成像, 又称为“影像触诊”, 最早在1991年由 Ophir 等^[3]提出, 可反映组织的硬度。弹性成像

首先被用于超声方面, 但是超声弹性成像由于主观影响较大、无统一的操作规范等对检测组织弹性程度的评估准确性欠佳。磁共振弹性成像(magnetic resonance elastography, MRE)作为评估软组织硬度的成像技术于1995年产生^[4], 因其具有安全、可行、无创等特点, 目前已经被用于乳腺、前列腺、脑、肝脏、胰腺等肿瘤的研究。

1 MRE 原理

MRE 是通过外部激发装置对兴趣组织施加连

续、动态的剪切波，剪切波在兴趣组织内传播产生振幅，引起组织微小位移和形变，然后通过 MRI 脉冲序列对组织质点位移进行成像，得到相位图和波形图。应用弹性成像处理软件将波形图生成全幅、全定量的彩色编码弹性图，通过勾画 ROI 得到定量弹性值，从而定量分析兴趣组织。因此 MRE 的完成需要具备：能产生特定频率及连续剪切波的外部激发装置、与剪切波变化同步的相位位移成像序列、获得剪切波产生位移变化的磁共振图像、计算组织弹性的反演拟合算法、弹性图像分析系统。

外部激发装置多采用电磁装置，由波形发射器产生低频正弦信号，经放大器放大后驱动激发器产生震荡，将后者耦合于体表，使得剪切波在兴趣组织中传播引起组织周期性微小位移。MRE 脉冲序列以梯度回波序列为基础，在 X、Y 或 Z 轴上施加运动敏感梯度(motion sensitizing gradient, MSG)序列。MSG 与剪切波频率保持同步，通常为 50~1000 Hz。MSG 的方向与质点运动方向平行，与波的传播方向垂直。当施加 MSG 时，剪切波传播导致质子自旋周期性移动，使得接收信号产生周期性相位位移，反映在相位图上，通过反演拟合算法获得组织 MRI 弹性图。剪切波的传播速度和波长取决于组织硬度，两者呈正相关，通过把剪切波速度与弹性模量关联，即可量化组织的剪切硬度，从而评估脏器或肿瘤的硬度，反映组织生物力学特性。与超声弹性成像相比，MRE 具有无创、重复性高、检测结果稳定、对操作者依赖性小、可提供肿瘤全貌等优势，将成为一种前景更广阔的诊断新方法^[5]。

2 MRE 的应用

细胞力学实验研究发现正常人体细胞的弹性值为 0.75(正常乳腺细胞)~90(白细胞)kPa^[6]，肿瘤细胞的弹性值为 0.05~3.00 kPa^[7]，因此肿瘤细胞的弹性值明显低于人体正常细胞。但实际上肿瘤组织的硬度明显高于正常组织。肿瘤组织中肿瘤细胞仅占不到 1/2，脉管及细胞外间质是肿瘤的主要组成成分，因此作为肿瘤微环境的细胞外基质决定了肿瘤的硬度，其中包括胶原纤维沉积、细胞密度增加、灌注异常、脉管系统改变、组织渗透压升高等。细胞外基质与肿瘤的分级和治疗密切相关，因此应用 MRE 评估肿瘤硬度具有重要的临床价值。

2.1 乳腺

乳腺 MRE 成像需要低频发射，频率一般为 40~100 Hz。对健康志愿者的 MRE 研究发现，腺体组织硬度明显高于脂肪组织，在月经周期第 5 天时乳腺纤维腺体组织的弹性值最低，在第 11~23 天时最高^[8]。

对在体的乳腺癌 MRE 研究发现，乳腺癌组织的硬度是正常纤维腺体组织的 4 倍^[9]。该研究采用 100 Hz 剪切波测定了 6 名健康志愿者的乳腺组织以及 5 例浸润性导管癌和 1 例浸润性小叶癌患者肿瘤组织的硬度，结果发现，健康志愿者纤维腺体组织弹性值较脂肪组织高，分别是 7.5 kPa 和 3.3 kPa，而肿瘤组织的平均弹性值为 33 kPa，肿瘤组织周围的脂肪组织弹性值高于正常乳腺组织。Lorenzen 等^[10] 研究发现，正常乳腺组织的弹性值最低，实质部分弹性值中位数为 2.5 kPa，乳腺脂肪组织弹性值中位数为 1.7 kPa，良性肿瘤组织弹性值轻度增高，中位数为 7.0 kPa，恶性肿瘤组织弹性值最高，中位数为 15.9 kPa。因此，乳腺癌肿瘤组织弹性值显著高于肿瘤周围正常组织、良性肿瘤和正常乳腺组织。

MRE 可以明显提高 MRI 诊断乳腺癌的特异度。Balleyguier 等^[11] 对 43 例乳腺影像报告和数据库评分 3 分及以上的乳腺肿瘤患者进行研究发现，MRE 对乳腺癌诊断的灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 79%、90%、96% 和 56%。但由于良恶性肿瘤弹性值有重叠，因此单纯的 MRI 并不能提供一个非常精确的诊断，需要结合常规 MRI 形态学改变、信号强度数据和磁共振动态增强参数综合评估。

2.2 前列腺

剪切波激发装置是 MRE 成像技术的关键，尤其是在非体表组织中。为了能够产生适合前列腺 MRE 的合理频率的剪切波，研究人员设计了多种激发装置，其中包括经尿道激发装置、经直肠激发装置和经会阴激发装置。Chopra 等^[12] 设计了经尿道的激发装置，体模和犬实验可以在整个前列腺中观察到均匀一致的剪切波，具有很好的重复性；本研究证明了经尿道激发装置在 MRE 应用中的可行性，但由于其具有侵入性，限制了该装置的临床应用。Arani 等^[13] 对志愿者进行了经直肠剪切波激发装置的研究，实现了剪切波在整个前列腺的均匀传播，且志愿者对振动的耐受性良好，这项研究的结

果证明了使用经直肠线圈进行前列腺 MRE 的可行性。Sahebjavaher 等^[14]在体模和健康志愿者中进行经会阴机械激发装置的研究发现,其可以显示 0.5 mm 病变,该试验还在健康志愿者中进行了前列腺平均弹性值的测量,且具有较好的重复性。研究证明了使用无创技术对前列腺 MRE 进行在体测量的可行性。

Li 等^[15]研究发现,前列腺癌的平均弹性值(6.55 kPa)显著高于良性前列腺炎(1.99 kPa)和正常前列腺组织(2.26 kPa),且前列腺癌弹性值与 Gleason 评分呈正相关($r=0.913$)。Sahebjavaher 等^[16]对 11 例前列腺癌患者进行经会阴前列腺 MRE 评估,外周带和中央带 Gleason 评分 $\geq 3+3$ 的前列腺癌肿瘤组织平均弹性值与正常组织有显著差异,诊断灵敏度和特异度分别为 63% 和 68%。目前,MRE 已经开始应用于前列腺癌的诊断、定位和肿瘤分期,前列腺机械波激发装置在技术方面也取得了很大进展。但是 MRE 在诊断前列腺癌的特异性和重复性上仍需要进一步提高。

2.3 脑

MRE 是脑肿瘤应用的重要研究领域,具有很好的临床价值。但是由于颅骨的保护,如何将剪切波传导至颅内是 MRE 在颅脑肿瘤中应用的关键。目前头部 MRE 成像的激发装置主要有:气动垫片驱动装置、头部固定驱动装置和牙齿咬合驱动装置。Kruse 等^[17]研究健康志愿者大脑白质的平均剪切模量为 13.6 kPa,灰质平均剪切模量为 5.22 kPa,两者的差异有统计学意义,但不同年龄之间并不存在显著差异。

颅内肿瘤的硬度对于外科医师决定是否手术以及选择何种手术入路具有重要的影响。质地软的肿瘤容易分离,而纤维含量多,质地硬的肿瘤往往需要更长时间的手术操作。Hughes 等^[18]研究表明 MRE 对脑膜瘤异质性判断的灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 75%、100%、100% 和 87%;对肿瘤硬度判断的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 60%、100%、100% 和 56%。Murphy 等^[19]对 13 例脑膜瘤患者术前行 MRE,术中由神经外科医师对肿瘤硬度进行定性评价。MRE 测定的肿瘤硬度与术中外科医师的评估具有显著相关性。MRE 已经被应用于评价正常脑组织和脑内病变包括局灶性病变、神经变性病变,如阿尔茨海默症、脑积水、多发性硬化等^[17, 19-21]。

阿尔茨海默症小鼠模型海马区域的平均弹性和黏性分别为 7.01 kPa 和 1.21 kPa,正常对照组为 7.75 kPa 和 1.16 kPa。

未来可能会试用 MRE 进行术前评估,如垂体瘤等,作为垂体常见肿瘤,它的手术风险和术式选择与形态学和机械性能有关。尽管头颅 MRE 在数据采集和重建方面仍有很大的技术挑战,包括扩大样本量、建立诊断参考值、提高图像分辨率、改进图像重建方法,但其仍具有很大的临床价值和科研价值。

2.4 肝脏

肝脏是目前 MRE 应用最成熟的脏器,已经广泛应用于正常肝实质、肝脏纤维化、局灶性结节样增生和肝癌。MRE 可以精确评估肝脏的纤维化程度,无创、安全且经济^[22]。肝纤维化根据严重程度分为 F0、F1、F2、F3、F4 五个等级,Yin 等^[23]研究发现不同等级肝脏弹性值分别为(3.00 \pm 1.12)、(3.11 \pm 0.82)、(3.87 \pm 1.85)、(4.78 \pm 1.89)、(6.52 \pm 2.34)kPa。MRE 区分重度肝纤维化的灵敏度和特异度分别为 98% 和 99%,区分轻度肝纤维化的灵敏度和特异度分别为 86% 和 85%。因此 MRE 是鉴别肝纤维化分期的有效指标,可以对肝纤维化进行评估和分期,尤其是在早期肝硬化的检出方面具有独特优势。肝硬化患者中肝脏硬度的增加是发展为肝细胞癌的重要危险因素^[24]。Venkatesh 等^[25]研究发现,恶性肿瘤的平均硬度明显高于良性肿瘤和正常肝实质。恶性肿瘤组织平均弹性值为 10.1 kPa,良性肿瘤为 2.7 kPa,正常肝脏组织为 2.3 kPa。5.0 kPa 可以作为区分良恶性肿瘤的参考值,良性肿瘤和正常肝实质硬度的差异没有统计学意义。然而,Motosugi 等^[26]研究认为,肝脏硬度与肝细胞肝癌之间并没有明显关系。尽管 MRE 在肝脏纤维化中的应用已经很成熟,但在肝脏肿瘤方面的应用还需要进一步研究。

2.5 胰腺

由于胰腺癌早期临床症状不明显,且胰腺位于腹膜后,位置较深,活检及剖腹探查风险较大,目前影像学方法诊断胰腺癌的灵敏度不高,使得胰腺癌的早期诊断比较困难。胰腺癌肿瘤细胞向周围组织浸润生长,对邻近组织产生类损伤修复的促纤维形成的间质反应,导致胶原蛋白大量沉积,富含胶原纤维组织,间质成分占近 90%,硬度较大。因

此应用 MRE 进行胰腺癌研究具有重要的临床意义。目前我国研究人员已经应用低频三维 MRE 技术获得了满意的健康志愿者胰腺图像,同时测量了不同位置的弹性值,为 MRE 胰腺成像提供了方法基础^[27]。在 3 个胰腺亚区域进行剪切硬度量:头部、体部和尾部。胰腺在 40 Hz 频率的剪切波诱导时平均硬度为 1.11 kPa,在 60 Hz 时平均硬度为 2.06 kPa^[27]。Shi 等^[28]研究发现,正常胰腺组织平均硬度为 1.21 kPa,胰腺良性肿瘤的硬度中位数为 1.96 kPa,恶性肿瘤中位数为 2.38 kPa,差异均具有统计学意义。Liu 等^[29]对 30 例胰腺炎患者和 56 例胰腺癌患者进行研究,发现 60 Hz MRE、40 Hz MRE、增强磁共振、增强磁共振联合 60 Hz MRE 及增强磁共振联合 40 Hz MRE 诊断胰腺癌的准确率分别 70.2%、77.4%、83.3%、75.0% 及 92.9%。因此,增强磁共振联合 40 Hz MRE 可以明显提高胰腺癌诊断特异度。综上,MRE 是诊断胰腺良恶性肿瘤的无创、有效的定量分析新方法。

3 结语

恶性肿瘤机械性能的改变是 MRE 诊断肿瘤和进行定量分析的基础。MRE 作为一种无创技术,可以改善恶性肿瘤的诊断,成为肿瘤领域新的研究方法,在反映恶性肿瘤特征、术式选择及评估治疗方法方面具有巨大潜力。未来的研究需要进一步改进体外激发装置、优化 MRE 采集参数,提高 MRE 在肿瘤诊断中的特异度和可重复性。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 袁杰负责查阅文献、论文撰写;詹松华负责命题提出、论文审阅。

参 考 文 献

- [1] Sarvazyan AP, Skovoroda AR, Emelianov SY, et al. Biophysical Bases of Elasticity Imaging[J]. *Springer US*, 1995: 223–240. DOI: [10.1007/978-1-4615-1943-0_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1943-0_23).
- [2] Lu P, Weaver VM, Werb Z. The extracellular matrix: a dynamic niche in cancer progression[J]. *J Cell Biol*, 2012, 196(4): 395–406. DOI: [10.1083/jcb.201102147](https://doi.org/10.1083/jcb.201102147).
- [3] Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues[J]. *Ultrason Imaging*, 1991, 13(2): 111–134. DOI: [10.1177/016173469101300201](https://doi.org/10.1177/016173469101300201).
- [4] Muthupillai R, Lomas DJ, Rossman PJ, et al. Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves[J]. *Science*, 1995, 269(5232): 1854–1857. DOI: [10.1126/science.7569924](https://doi.org/10.1126/science.7569924).
- [5] Lee Yj, Lee JM, Lee JE, et al. MR elastography for noninvasive assessment of hepatic fibrosis: Reproducibility of the examination and reproducibility and repeatability of the liver stiffness value measurement[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 39(2): 326–331. DOI: [10.1002/jmri.24147](https://doi.org/10.1002/jmri.24147).
- [6] Li QS, Lee GY, Ong CN, et al. AFM indentation study of breast cancer cells[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2008, 374(4): 609–613. DOI: [10.1016/j.bbrc.2008.07.078](https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2008.07.078).
- [7] Suresh S. Biomechanics and biophysics of cancer cells[J]. *Acta Biomater*, 2007, 3(4): 413–438. DOI: [10.1016/j.actbio.2007.04.002](https://doi.org/10.1016/j.actbio.2007.04.002).
- [8] Lorenzen J, Sinkus R, Biesterfeldt M, et al. Menstrual-cycle dependence of breast parenchyma elasticity: estimation with magnetic resonance elastography of breast tissue during the menstrual cycle[J]. *Invest Radiol*, 2003, 38(4): 236–240. DOI: [10.1097/01.RLI.0000059544.18910.BD](https://doi.org/10.1097/01.RLI.0000059544.18910.BD).
- [9] McKnight AL, Kugel JL, Rossman PJ, et al. MR elastography of breast cancer: preliminary results[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2002, 178(6): 1411–1417. DOI: [10.2214/ajr.178.6.1781411](https://doi.org/10.2214/ajr.178.6.1781411).
- [10] Lorenzen J, Sinkus R, Lorenzen M, et al. MR elastography of the breast: preliminary clinical results[J]. *Rofo*, 2002, 174(7): 830–834. DOI: [10.1055/s-2002-32690](https://doi.org/10.1055/s-2002-32690).
- [11] Balleyguier C, Lakhdar AB, Dunant A, et al. Value of whole breast magnetic resonance elastography added to MRI for lesion characterization[J/OL]. *NMR Biomed*, 2018, 31(1)[2018-06-24]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nbm.3795>. DOI: [10.1002/nbm.3795](https://doi.org/10.1002/nbm.3795).
- [12] Chopra R, Arani A, Huang Y, et al. In vivo MR elastography of the prostate gland using a transurethral actuator[J]. *Magn Reson Med*, 2009, 62(3): 665–671. DOI: [10.1002/mrm.22038](https://doi.org/10.1002/mrm.22038).
- [13] Arani A, Plewes D, Chopra R. Transurethral prostate magnetic resonance elastography: prospective imaging requirements[J]. *Magn Reson Med*, 2011, 65(2): 340–349. DOI: [10.1002/mrm.22633](https://doi.org/10.1002/mrm.22633).
- [14] Sahebjavaher RS, Baghani A, Honarvar M, et al. Transperineal prostate MR elastography: Initial in vivo results[J]. *Magn Reson Med*, 2013, 69(2): 411–420. DOI: [10.1002/mrm.24268](https://doi.org/10.1002/mrm.24268).
- [15] Li S, Chen M, Wang W, et al. A feasibility study of MR elastography in the diagnosis of prostate cancer at 3.0 T[J]. *Acta Radiol*, 2011, 52(3): 354–358. DOI: [10.1258/ar.2010.100276](https://doi.org/10.1258/ar.2010.100276).
- [16] Sahebjavaher RS, Nir G, Honarvar M, et al. MR elastography of prostate cancer: quantitative comparison with histopathology and repeatability of methods[J]. *NMR Biomed*, 2015, 28(1): 124–139. DOI: [10.1002/nbm.3218](https://doi.org/10.1002/nbm.3218).
- [17] Kruse SA, Rose GH, Glaser KJ, et al. Magnetic resonance elastography of the brain[J]. *Neuroimage*, 2008, 39(1):

- 231–237. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2007.08.030](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.08.030).
- [18] Hughes JD, Fattahi N, Van Gompel J, et al. Higher-Resolution Magnetic Resonance Elastography in Meningiomas to Determine Intratumoral Consistency[J]. *Neurosurgery*, 2015, 77(4): 653–658. DOI: [10.1227/NEU.0000000000000892](https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000892).
- [19] Murphy MC, Huston J III, Glaser KJ, et al. Preoperative assessment of meningioma stiffness using magnetic resonance elastography[J]. *J Neurosurg*, 2013, 118(3): 643–648. DOI: [10.3171/2012.9.JNS12519](https://doi.org/10.3171/2012.9.JNS12519).
- [20] Elsheikh M, Arani A, Perry A, et al. MR Elastography Demonstrates Unique Regional Brain Stiffness Patterns in Dementias[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2017, 209(2): 403–408. DOI: [10.2214/AJR.16.17455](https://doi.org/10.2214/AJR.16.17455).
- [21] Munder T, Pfeffer A, Schreyer S, et al. MR elastography detection of early viscoelastic response of the murine hippocampus to amyloid β accumulation and neuronal cell loss due to Alzheimer's disease[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 47(1): 105–114. DOI: [10.1002/jmri.25741](https://doi.org/10.1002/jmri.25741).
- [22] Morisaka H, Motosugi U, Ichikawa S, et al. Magnetic resonance elastography is as accurate as liver biopsy for liver fibrosis staging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 47(5): 1268–1275. DOI: [10.1002/jmri.25868](https://doi.org/10.1002/jmri.25868).
- [23] Yin M, Glaser KJ, Talwalkar JA, et al. Hepatic MR Elastography: Clinical Performance in a Series of 1377 Consecutive Examinations[J]. *Radiology*, 2016, 278(1): 114–124. DOI: [10.1148/radiol.2015142141](https://doi.org/10.1148/radiol.2015142141).
- [24] Masuzaki R, Tateishi R, Yoshida H, et al. Risk assessment of hepatocellular carcinoma in chronic hepatitis C patients by transient elastography[J]. *J Clin Gastroenterol*, 2008, 42(7): 839–843. DOI: [10.1097/MCG.0b013e318050074f](https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e318050074f).
- [25] Venkatesh SK, Yin M, Glockner JF, et al. MR elastography of liver tumors: preliminary results[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 190(6): 1534–1540. DOI: [10.2214/AJR.07.3123](https://doi.org/10.2214/AJR.07.3123).
- [26] Motosugi U, Ichikawa T, Koshiishi T, et al. Liver stiffness measured by magnetic resonance elastography as a risk factor for hepatocellular carcinoma: a preliminary case-control study[J]. *Eur Radiol*, 2013, 23(1): 156–162. DOI: [10.1007/s00330-012-2571-6](https://doi.org/10.1007/s00330-012-2571-6).
- [27] 安詠, 石喻, 郭启勇. 3D 磁共振弹性成像评估健康志愿者的胰腺弹性值的可行性研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2015, 26(9): 646–649.
An H, Shi Y, Guo QY. Feasibility of using 3D elastography to assess pancreatic stiffness in healthy volunteers[J]. *J Chin Clin Med Imaging*, 2015, 26(9): 646–649.
- [28] Shi Y, Gao F, Li Y, et al. Differentiation of benign and malignant solid pancreatic masses using magnetic resonance elastography with spin-echo echo planar imaging and three-dimensional inversion reconstruction: a prospective study[J]. *EurRadiol*, 2018, 28(3): 1–10. DOI: [10.1007/s00330-017-5062-y](https://doi.org/10.1007/s00330-017-5062-y).
- [29] Liu Y, Wang M, Ji R, et al. Differentiation of pancreatic ductal adenocarcinoma from inflammatory mass: added value of magnetic resonance elastography[J]. *Clin Radiol*, 2018, 73(10): 865–872. DOI: [10.1016/j.crad.2018.05.016](https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.05.016).
- (收稿日期: 2018-06-27)

热烈祝贺

中国医学科学院放射医学研究所成立六十周年