



[DOI]10.3969/j.issn.1001-9057.2024.08.022

http://www.lcnkz.com/CN/10.3969/j.issn.1001-9057.2024.08.022

# 弹性成像技术评估肝硬化门静脉高压的研究进展

罗珍妍 吴清明

**[摘要]** 门静脉高压导致的食管胃底静脉曲张出血是肝硬化失代偿期患者最严重的并发症,目前肝静脉压力梯度及内镜检查仍是诊断门静脉高压及静脉曲张的金标准,因两者均为侵入性检查,临床应用受限,随着弹性成像技术的发展,超声弹性成像是肝硬化门静脉高压患者的随访筛查中有较好应用,对预防出血起到重要作用。本文就弹性成像检查评估肝硬化门静脉高压及静脉曲张的原理、优点、局限性及评估效能进行综述。

**[关键词]** 肝硬化; 门静脉高压; 食管胃底静脉曲张; 弹性成像

**[中图分类号]** R445.9 **[文献标识码]** A

工作单位:430065 武汉,武汉科技大学医学院(罗珍妍、吴清明);武汉科技大学附属天佑医院(吴清明)

通讯作者:吴清明, E-mail:wuhe9224@sina.com

[8] Greed L, Willis F, Johnstone L, et al. Metabolite diagnosis of primary hyperoxaluria type 3[J]. *Pediatric Nephrology*, 2018, 33(8):1443-1446.

[9] Arvans D, Jung Y, Antonopoulos D, et al. Oxalobacter formigenes-Derived Bioactive Factors Stimulate Oxalate Transport by Intestinal Epithelial Cells[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2017, 28(3):876-887.

[10] Jiang J, Knight J, Easter LH, et al. Impact of Dietary Calcium and Oxalate, and Oxalobacter Formigenes Colonization on Urinary Oxalate Excretion[J]. *J Urol*, 2011, 186(1):135-139.

[11] Lumlertgul N, Siribamrungwong M, Jaber BL, et al. Secondary Oxalate Nephropathy: A Systematic Review[J]. *Kidney Int Rep*, 2018, 3(6):1363-1372.

[12] Nazzal L, Puri S, Goldfarb DS. Enteric hyperoxaluria: an important cause of end-stage kidney disease[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2016, 31(3):375-382.

[13] Schwen ZR, Riley JM, Shilo Y, et al. Dietary Management of Idiopathic Hyperoxaluria and the Influence of Patient Characteristics and Compliance[J]. *Urology*, 2013, 82(6):1220-1225.

[14] Blair B, Fabrizio M. Expert Opinion on Pharmacotherapy [J]. *Expert Opin Pharmacother*, 2000, 1(3):435-441.

[15] Taylor EN. Dietary Factors and the Risk of Incident Kidney Stones in Men: New Insights after 14 Years of Follow-up[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2004, 15(12):3225-3232.

[16] Cellini B, Montioli R, Oppici E, et al. The chaperone role of the pyridoxal 5'-phosphate and its implications for rare diseases involving B6-dependent enzymes[J]. *Clin Biochem*, 2014, 47(3):158-165.

[17] Cochat P, Hulton SA, Acquaviva C, et al. Primary hyperoxaluria Type 1: indications for screening and guidance for diagnosis and treatment[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2012, 27(5):1729-1736.

[18] Duan CY, Xia ZY, Zhang GN, et al. Changes in urinary nanocrystallites in calcium oxalate stone formers before and after potassium citrate intake [J]. *Int J Nanomedicine*, 2013, 8:909-918.

[19] Holmes RP, Assimos DG, Wilson DM, et al. (L)-2-oxothiazolidine-4-carboxylate in the treatment of primary hyperoxaluria type 1 [J]. *BJU Int*, 2001, 88(9):858-862.

[20] Nordenvall B, Backman L, Larsson L, et al. Effects of calcium, aluminum, magnesium and cholestyramine on hyperoxaluria in patients with jejunoleal bypass[J]. *Acta Chir Scand*, 1983, 149(1):93-98.

[21] Illies F, Bonzel KE, Wingen AM, et al. Clearance and removal of oxalate in children on intensified dialysis for primary hyperoxaluria type 1 [J]. *Kidney int*, 2006, 70(9):1642-1648.

[22] Devresse A, Cochat P, Godefroid N, et al. Transplantation for Primary Hyperoxaluria Type 1: Designing New Strategies in the Era of Promising Therapeutic Perspectives [J]. *Kidney Int Rep*, 2020, 5(12):2136-2145.

[23] Jamieson NV. A 20-Year Experience of Combined Liver/Kidney Transplantation for Primary Hyperoxaluria (PH1); The European PH1 Transplant Registry Experience 1984-2004 [J]. *Am J Nephrol*, 2005, 25(3):282-289.

[24] Arvans D, Jung YC, Antonopoulos D, et al. Oxalobacter formigenes-Derived Bioactive Factors Stimulate Oxalate Transport by Intestinal Epithelial Cells[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2017, 28(3):876-887.

[25] Hoppe B, Pellikka PA, Dehmel B, et al. Effects of Oxalobacter formigenes in subjects with primary hyperoxaluria Type 1 and end-stage renal disease: a Phase II study [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2020, 36(8):1464-1473.

[26] Lingeman JE, Pareek G, Easter L, et al. ALLN-177, oral enzyme therapy for hyperoxaluria [J]. *Int Urol Nephrol*, 2019, 51(4):601-608.

[27] 贺婉红, 薛嫚, 李芳, 等. siRNA 药物研究进展 [J]. *中国药理学杂志*, 2018, 53(14):1145-1151.

[28] Garrelfs SF, Frishberg Y, Hulton SA, et al. Lumasiran, an RNAi Therapeutic for Primary Hyperoxaluria Type 1 [J]. *N Engl J Med*, 2021, 384(13):1216-1226.

[29] Sada N, Lee S, Katsu T, et al. Epilepsy treatment. Targeting LDH enzymes with a stiripentol analog to treat epilepsy [J]. *Science*, 2015, 347(6228):1362-1367.

[30] Le Dudal M, Huguet L, Perez J, et al. Stiripentol protects against calcium oxalate nephrolithiasis and ethylene glycol poisoning [J]. *J Clin Invest*, 2019, 129(6):2571-2577.

[31] Zabaleta N, Barberia M, Martin-Higuera C, et al. CRISPR/Cas9-mediated glycolate oxidase disruption is an efficacious and safe treatment for primary hyperoxaluria type 1 [J]. *Nat Commun*, 2018, 9(1):5454.

[32] Knauf F, Asplin JR, Granja I, et al. NALP3-mediated inflammation is a principal cause of progressive renal failure in oxalate nephropathy [J]. *Kidney Int*, 2013, 84(5):895-901.

[33] Mulay SR, Kulkarni OP, Rupanagudi KV, et al. Calcium oxalate crystals induce renal inflammation by NLRP3-mediated IL-1beta secretion [J]. *J Clin Invest*, 2013, 123(1):236-246.

[34] Ludwig-Portugall I, Bartok E, Dhana E, et al. An NLRP3-specific inflammasome inhibitor attenuates crystal-induced kidney fibrosis in mice [J]. *Kidney Int*, 2016, 90(3):525-539.

[35] Mulay SR, Eberhard JN, Desai J, et al. Hyperoxaluria Requires TNF Receptors to Initiate Crystal Adhesion and Kidney Stone Disease [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2017, 28(3):761-768.

(收稿日期:2022-03-29)

(本文编辑:李昊阳)

门静脉高压 (PH) 导致的食管胃底静脉曲张出血 (EGVB) 是肝硬化失代偿期患者最严重的并发症,也是导致肝硬化患者死亡的重要原因之一<sup>[1]</sup>。EGVB 起病凶险、死亡率高,据统计,50% 肝硬化患者有食管胃底静脉曲张,2 年出血发生率约 25%,6 周死亡率达 20%<sup>[2]</sup>。《肝硬化门静脉高压症多学科诊治(基于肝静脉压力梯度)专家共识》<sup>[3]</sup>指出,肝静脉压力梯度 (HVPG)  $\geq 10$  mmHg 为临床显著 PH (CSPH);HVPG  $> 12$  mmHg,EGVB 发生风险增高;当 HVPG  $\geq 20$  mmHg 时,静脉出血内镜下治疗失败、患者再次出血风险及死亡率增高。目前,内镜仍是诊断和筛查肝硬化食管胃底静脉曲张的金标准,HVPG 为诊断 PH 的金指标。但上述方法有创、成本高且并非适用于所有患者。故寻找一种简便高效的非侵入性方法用于肝硬化 PH 患者筛查随访,对预防 EGVB 有重要作用。弹性成像技术是目前较为可靠的无创性方法,用该方法检测的肝硬度 (LSM)、脾硬度 (SSM) 可评估 PH 及其相关并发症(如 EGVB)的严重程度。

## 一、超声弹性成像

超声弹性成像是一种用超声波来检测组织硬度的技术。临床上用于检测 LSM 及 SSM 的弹性成像技术,主要包括瞬时弹性成像 (TE)、单点剪切波弹性成像 (p-SWE)、实时二维剪切波弹性成像 (2D-SWE)。

### 1. TE

TE 通过机械振动装置在身体表面施加可控振动,产生可沿组织传播的剪切波,利用超声波跟踪剪切波的传播,评估组织硬度<sup>[4]</sup>。TE 最早用于评估肝纤维化,目前在诊断肝硬化等慢性肝病患者肝脏弹性方面应用广泛。

(1)TE 检测的 LSM:2010 年,Vizzutti 等<sup>[5]</sup>的研究证明,TE 测量的 LSM 与 HVPG 强相关( $r = 0.81, P < 0.001$ ),但当 HVPG  $> 12$  mmHg 时,两者的相关性明显降低。在肝硬化进展后期,肝纤维化不再是影响门静脉压力的最主要因素,其中还有肝内血管收缩、门静脉侧支循环等血液流量增加的因素参与。尽管 LSM 无法替代 HVPG 诊断门静脉压力,但在识别 CSPH 方面有较高价值。在一项纳入 9 项研究、679 例患者的 Meta 分析中,分析了 TE 检测的 LSM 在识别不同病因导致 CSPH 的可靠性,以 21.8 kPa 为临界值,LSM 诊断 CSPH 的敏感度和特异度分别为 0.89 和 0.71<sup>[6]</sup>。最近 Baveno VII 共识<sup>[7]</sup>建议,LSM  $\leq 15$  kPa 和 PLT 计数  $\geq 150 \times 10^9/L$  可排除大多数病因的 CSPH,LSM  $\geq 25$  kPa 是诊断酒精性肝病、慢性乙型肝炎、慢性丙型肝炎和非肥胖型代谢相关脂肪性肝炎 (MASH) 病因导致 CSPH 的最佳临界值(特异性和阳性预测值  $> 90\%$ )。Pons 等<sup>[8]</sup>的研究也表明,LSM  $\geq 25$  kPa 可预测大多数病因导致的 CSPH,但不适用于肥胖 MASH 患者(阳性预测值仅为 62.8%)。LSM 在胆汁淤积性肝病和自身免疫性肝炎中预测 CSPH 的数据较少,尚需进行有针对性的研究。关于预测食管胃底静脉曲张的非侵入性检查,Baveno VI 共识<sup>[9]</sup>建议将 TE 检测的 LSM 与 PLT 计数相结合 (LSM  $< 20$  kPa 和 PLT 计数  $> 150 \times 10^9/L$ ),作为筛查病毒相关代偿进展期慢性肝病患者的静脉曲张的非侵入性检测指标,基于上述指标的检测方法可减少 20% ~ 40% 的内镜检查,且高危静脉曲张的漏诊率  $< 5\%$ 。虽然 TE 是目前较为成熟的弹性成像

技术,但是在炎症、水肿或肝外胆汁淤积等病变下,LSM 的诊断效能下降<sup>[10]</sup>。有研究表明,LSM 联合脾长径、PLT 计数评分<sup>[11]</sup>能提高预测 CSPH 及静脉曲张的准确性。

(2)TE 检测的 SSM:在重度 PH 情况下,LSM 与门静脉压力之间的相关性减弱。门静脉压力升高可通过脾静脉传递到脾脏,且 PH 会引起血管增生和纤维化病变,故有研究认为 SSM 可作为评估 PH 的更可靠指标<sup>[12]</sup>。已有研究表明,SSM 在评估 CSPH 和静脉曲张的价值上高于 LSM。在 2021 年发表的一项 Meta 分析中,发现 SSM 预测 CSPH 的总敏感度和特异度分别为 85% 和 86%<sup>[13]</sup>。Baveno VII 共识<sup>[7]</sup>强调了 SSM 在病毒性肝炎诊断中的价值,SSM 可常规用于排除 (SSM  $< 21$  kPa) 和纳入 (SSM  $> 50$  kPa) CSPH;该共识提出了对于不符合 Baveno VI 标准 (LSM  $< 20$  kPa 和 PLT 计数  $> 150 \times 10^9/L$ ) 的患者,若 SSM  $\leq 40$  kPa,则可进一步排除高危静脉曲张,避免内窥镜检查。但 TE 检测 SSM 也有两个主要缺点:一是失败率高达 15% ~ 30%,二是 TE 检测探头 (50 Hz) 的硬度检测上限值为 75 kPa,使其难以在临床实践中实施<sup>[14]</sup>。正常人群的脾脏要比肝脏硬,故采用与检测 LSM 相同的探头和采集参数并不合适。但目前已有研究者克服了上述缺陷,开发了新型探头 (100 Hz),其硬度检测上限值可达 100 kPa,并在实践中验证了新型探头性能更优<sup>[15]</sup>。最近的一项研究表明,采用 100 Hz 探头检测 SSM 较 50 Hz 探头可更多地避免胃镜筛查 (75.4% 比 59.5%, $P < 0.001$ )<sup>[16]</sup>。

### 2. p-SWE 和 2D-SWE

p-SWE 和 2D-SWE 均是基于声辐射力脉冲成像 (ARFI) 的弹性检测技术,分别在单点、多点聚焦产生横向弹性波,测量横向弹性波通过组织的速度即可评估组织弹性<sup>[10]</sup>。TE 存在无法实时可视化、不适用于肥胖及腹腔积液患者检测等问题,ARFI 技术弥补了这些不足,可在传统超声机上使用标准超声探头进行操作,直接实现肝脏的可视化;此外,聚焦的脉冲波可穿透皮下脂肪和腹腔积液,可实现对肥胖和腹腔积液患者的测量,提高了检测效率。

研究表明,p-SWE 与 HVPG 有显著相关性和良好诊断准确率,但其截断值的变异性大<sup>[17]</sup>,故不推荐将 p-SWE 用于肝硬化患者 CSPH 的常规筛查。p-SWE 在预测静脉曲张方面的结果也各不相同,2014 年一项队列研究报告结果显示,采用 p-SWE 预测食管胃底静脉曲张的曲线下面积 (AUC) 为 0.743 (而采用 TE 的 AUC 为 0.802)<sup>[18]</sup>。2D-SWE 是新近应用于临床检测的基于 ARFI 技术的弹性成像方法,不同于 p-SWE 的单点聚焦,该方法可在组织内实现多点、快速、连续聚焦,明显增大了振幅和传播距离,可实时监测二维横波,并生成定量弹性图<sup>[4]</sup>。在一项同时使用 2D-SWE 检测 LSM 和 HVPG 测量的研究中,Suh 等<sup>[19]</sup>证实了 2D-SWE 诊断 CSPH 的良好性能 (AUC 为 0.88),其总敏感性和特异性均为 85%,但其截断值 (16 ~ 38 kPa) 具有显著的异质性,无法给出建议。在检测食管胃底静脉曲张方面,Yoo 等<sup>[20]</sup>发现 2D-SWE 检测的 LSM 在静脉曲张方面的诊断效能与 TE 相似,2D-SWE 预测需治疗静脉曲张的 AUC 为 0.712。刘丹等<sup>[21]</sup>发现 2D-SWE 与 TE 检测的 SSM 均对肝硬化静脉曲张程度有一定诊断价值,两种方法在轻度静脉曲张的诊断效能相当,但 2D-SWE 对中、重度静脉曲张的诊断价值较 TE 高 (2D-SWE

的 AUC 分别为 0.985、0.994, TE 的 AUC 分别为 0.872、0.926)。

### 二、磁共振弹性成像 (MRE)

MRE 是采用相位对比成像的技术,通过外界的振动装置在肝组织产生机械波,量化处理机械波在组织内部的波长及振幅,计算得出组织硬度值<sup>[22]</sup>。结合 MRI 设备获取全肝和全脾的横断面数据,MRE 可全面评估肝纤维化的程度,具有很好的敏感度和特异度。MRE 用于 PH 和食管胃底静脉曲张的预测是一个新的研究热点。在评估 PH 方面,一项纳入 34 例接受 HVPG 测量的慢性肝病患者的研究发现,MRE 测得的 LSM 与 HVPG 相关性弱( $r=0.478, P=0.016$ ),但诊断 PH 及 CSPH 时,MRE 检测的 LSM 效能均较高( $AUC=0.809、0.742$ )<sup>[23]</sup>。2022 年一项包括 59 例慢性肝病患者的研究中,MRE 的 LSM、SSM 与 HVPG 相关性强( $r=0.74、0.61, P$  均  $<0.001$ ),在诊断 PH 及 CSPH 时,LSM 诊断效能均很高( $AUC$  均  $=0.96$ ),进一步证实 MRE 检测的 LSM 可准确评估 PH,且 LSM 效能略高于 SSM,但 SSM 敏感度高(95.35%~97.40%)<sup>[24]</sup>。然而 Danielsen 等<sup>[25]</sup> 研究结果不同,MRE 检测的 SSM 诊断 PH 的 AUC 高于 LSM。两者结果出现差异的原因,除 Danielsen 等的研究中样本量少、MRE 设备差异外,还与研究中选取的对象 HVPG 较高、LSM 与 HVPG 相关性下降有关。在预测食管胃底静脉曲张方面,SSM 表现更优秀,Singh 等<sup>[26]</sup> 的一项研究发现,用 MRE 测量的 LSM 和 SSM 在预测 CSPH 方面具有非常好的诊断效能( $AUC \geq 0.88$ ),而 LSM 在评估食管胃底静脉曲张存在时的诊断性能( $AUC=0.76$ ) 低于 SSM( $AUC=0.89$ )。Hoffman 等<sup>[27]</sup> 的研究也显示了 MRE 预测静脉曲张的高效性,以  $LSM >4.5$  kPa 为界值,其 AUC 值为 0.873~0.923,对内镜下静脉曲张的敏感度为 79.4%、特异度为 85.2%。MRE 是一种功能强大的检测工具,但由于需要特殊检测人员、设备及价格较高等原因,临床未常规开展,国内外相关数据不足,还需进一步的前瞻性研究来评估其有效性。

### 三、总结

对肝硬化失代偿患者 PH 的非侵入性评估已成为临床研究的重点,弹性成像技术是评估 CSPH 和筛查食管胃底静脉曲张的一种潜在替代方法。其中 TE 检测的 LSM 是目前被广泛应用的无创评估指标,可用于 PH 的诊断,但在不同病因中的截断值及准确性仍需进一步研究;随着技术发展,TE 检测的 SSM 可能成为预测 PH、CSPH 和静脉曲张的更可靠指标,而 2D-SWE 和 MRE 可能会发挥更优秀的作用。总之,未来通过弹性成像技术或其他无创性方法加强肝硬化患者 PH 的筛查,预防出血等重大失代偿事件,避免不必要的内镜检查,减轻患者的随访负担,应用前景广阔。

### 参 考 文 献

[1] Garcia-Pagan JC, Francoz C, Montagnese S, et al. Management of the major complications of cirrhosis: Beyond guidelines [J]. J Hepatol, 2021, 75(2):S135-S146.  
 [2] 中华医学会肝病学分会,中华医学会消化病学分会,中华医学会消化内镜学分会.肝硬化门静脉高压食管胃静脉曲张出血的防治指南[J].中华内科杂志,2023,62(1):7-22.  
 [3] 北京医师协会,门静脉高压专科医师分会,中国研究型医院学会,等.肝硬化门静脉高压症多学科诊治(基于肝静脉压力梯度)专家共识[J].临床肝胆病杂志,2021,37(9):2037-2044.

[4] Sigrist RMS, Liau J, Kaffas AE, et al. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications[J]. Theranostics, 2017, 7(5): 1303-1329.  
 [5] Vizzutti F, Arena U, Romanelli RG, et al. Liver stiffness measurement predicts severe portal hypertension in patients with HCV-related cirrhosis. [J]. Hepatology, 2010, 45(5): 1290-1297.  
 [6] Song J, Ma Z, Huang J, et al. Reliability of transient elastography-based liver stiffness for diagnosing portal hypertension in patients with alcoholic liver disease: a diagnostic meta-analysis with specific cut-off values [J]. Ultraschall Med, 2020, 41(1): 60-68.  
 [7] de Franchis R, Bosch J, Garcia-Tsao G, et al. Baveno VII-Renewing consensus in portal hypertension[J]. J Hepatol, 2022, 76(4): 959-974.  
 [8] Pons M, Augustin S, Scheiner B, et al. Noninvasive diagnosis of portal hypertension in patients with compensated advanced chronic liver disease[J]. Am J Gastroenterol, 2021, 16(4): 23-32.  
 [9] de Franchis R, Faculty BV. Expanding consensus in portal hypertension: Report of the Baveno VII Consensus Workshop: Stratifying risk and individualizing care for portal hypertension [J]. J Hepatol, 2015, 63(3): 743-752.  
 [10] 张启迪, 陆伦根. 无创肝纤维化/肝硬化评估技术的现状[J]. 中华肝脏病杂志, 2018, 26(5): 3.  
 [11] Xixuan W, Hao H, Jian Y, et al. Liver stiffness-spleen diameter to platelet ratio score (LSPS model) predicts variceal rebleeding for cirrhotic patients [J]. Eur J Gastroenterol Hepatol, 2023, 35(4): 488-496.  
 [12] Reiberger T. The value of liver and spleen stiffness for evaluation of portal hypertension in compensated cirrhosis [J]. Hepatol Commun, 2022, 6(5): 950-964.  
 [13] Hu X, Huang X, Hou J, et al. Diagnostic accuracy of spleen stiffness to evaluate portal hypertension and esophageal varices in chronic liver disease: A systematic review and meta-analysis [J]. Eur Radiol, 2021, 31(2): 2392-2404.  
 [14] Vuille-Lessard L, Rodrigues SG, Berzigotti A. Noninvasive Detection of Clinically Significant Portal Hypertension in Compensated Advanced Chronic Liver Disease [J]. Clinics in Liver Disease, 2021, 25(2): 253-289.  
 [15] Stefanescu H, Marasco G, Calès P, et al. A novel spleen-dedicated stiffness measurement by FibroScan © improves the screening of high-risk oesophageal varices [J]. Liver Int, 2020, 40(1): 175-185.  
 [16] Zhang XF, Song JK, Zhang YJ, et al. Baveno VII algorithm outperformed other models in ruling out high-risk varices in individuals with HBV-related cirrhosis [J]. Hepatol, 2023, 78(3): 574-583.  
 [17] Ferraioli G, Wong VW, Castera L, et al. Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations [J]. Ultrasound Med Biol, 2018, 44(1): 2419-2430.  
 [18] Salzl P, Reiberger T, Ferlitsch M, et al. Evaluation of portal hypertension and varices by acoustic radiation force impulse imaging of the liver compared to transient elastography and AST to platelet ratio index [J]. Ultraschall Med, 2014, 35(1): 528-533.  
 [19] Suh CH, Kim KW, Park SH, et al. Shear wave elastography as a quantitative biomarker of clinically significant portal hypertension: a systematic review and meta-analysis [J]. AJR Am J Roentgenol, 2018, 210(5): W185-W195.  
 [20] Yoo HW, Kim YS, Kim SG, et al. Usefulness of noninvasive methods including assessment of liver stiffness by 2-dimensional shear wave elastography for predicting esophageal varices [J]. Dig Liver Dis, 2019, 51(12): 1706-1712.  
 [21] 刘丹, 段庆红. 剪切波弹性成像与瞬时弹性成像技术诊断肝硬化食管胃底静脉曲张程度的对比研究 [J]. 临床超声医学杂志, 2021, 23(6): 437-440.  
 [22] Manduca A, Bayly PJ, Ehman RL, et al. MR elastography: Principles, guidelines, and terminology [J]. Magn Reson Med, 2021, 85(5): 2377-2390.  
 [23] Wagner M, Hectors S, Bane O, et al. Noninvasive prediction of portal pressure with MR elastography and DCE-MRI of the liver and spleen: preliminary results [J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 48(4): 1091-1103.  
 [24] 王晓培, 韩昕君, 王宇, 等. 磁共振弹性成像测得肝弹力值、脾弹力值对门静脉高压的诊断效能 [J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(12): 1252-1257.  
 [25] Danielsen KV, Hove JD, Nabilou P, et al. Using MR elastography to assess portal hypertension and response to beta-blockers in patients with cirrhosis [J]. Liver Int, 2021, 41(9): 2149-2158.  
 [26] Singh R, Wilson MP, Katlariwala P, et al. Accuracy of liver and spleen stiffness on magnetic resonance elastography for detecting portal hypertension: a systematic review and meta-analysis [J]. Eur J Gastroenterol Hepatol, 2021, 32(2): 237-245.  
 [27] Hoffman DH, Ayoola A, Nickel D, et al. MR elastography, T1 and T2 relaxometry of liver: role in noninvasive assessment of liver function and portal hypertension [J]. Abdom Radiol, 2020, 45(3): 2680-2687.

(收稿日期: 2023-03-21)

(本文编辑: 高婷)