

文献综述

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.003410

超声弹性成像评估淋巴结的研究进展

王震¹, 白佳玉², 李澎¹, 焦光宇¹

(1. 中国医科大学附属盛京医院呼吸与危重症医学科, 沈阳 110004;

2. 中国医科大学附属第一医院风湿免疫科, 沈阳 110000)

【摘要】淋巴结作为人体免疫系统的重要组成部分, 分布于全身各个部位, 各种良性和恶性疾病都可能导致淋巴结病变, 而恶性淋巴结的鉴别诊断对于预后和分期非常重要。超声弹性成像 (ultrasound elastography, UE) 作为一种非侵入性技术, 在临床上, 可以显示出淋巴结皮质和髓质的硬度和均匀性, 并能发现早期局限性恶性浸润。因此, 本文主要讨论超声弹性成像的原理和优缺点, 以及对淋巴结肿大相关疾病的应用进展。

【关键词】超声弹性成像; 淋巴结; 综述

【中图分类号】R445.1

【文献标志码】A

【收稿日期】2023-05-17

Research progress on ultrasound elastography in lymph node evaluation

Wang Zhen¹, Bai Jiayu², Li Peng¹, Jiao Guangyu¹

(1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Shengjing Hospital of China Medical University;

2. Department of Rheumatology and Immunology, The First Affiliated Hospital of China Medical University)

【Abstract】As an important part of the human immune system, lymph nodes are extensively distributed throughout the body. Various benign and malignant diseases may lead to lesions in lymph nodes, and the differentiation of benign and malignant lymph nodes is very important for prognosis prediction and staging. Ultrasound elastography (UE) is a non-invasive technique that can visualize the hardness and uniformity of the cortex and medulla of the lymph nodes and detect early local malignant infiltration. Therefore, this paper mainly discusses the principles and advantages and disadvantages of ultrasound elastography and the application progress on ultrasound elastography in lymphadenopathy.

【Key words】ultrasound elastography; lymph node; review

超声弹性成像 (ultrasound elastography, UE) 作为一种新的成像模式, 是以软组织的弹性大小为参量反映生物组织的弹性信息, 以此进一步反映组织病变特征。可有效地为临床医生提供重要的诊断信息, 有利于癌变的早发现及早治疗, 具有非常重要的临床意义和应用前景。

1 超声弹性成像 (ultrasound elastography, UE) 的原理与分类

弹性成像是基于生物组织的弹性差异进行的成像技术, 其主要原理包括两个方面: 第一, 对于给定的作用力, 较硬的组织形变小于较软的组织; 第二, 机械波在较硬的组织中传播的速度更快。因此, 临床上通过超声给生物组织一个外在的压迫刺激, 由于不同硬度的组织会显示不同的颜色信号, 可以对疾病进行初步评估。

根据 UE 的原理分为应变成像 (strain elastography, SE)

和剪切波弹性成像 (shear wave elastography, SWE) 技术。其中, SE 包括静态/准静态超声弹性成像和脉冲声辐射力 (acoustic radiation force impulse, ARFI) 成像; SWE 主要由剪切波速度 (shear wave velocity, SWV) 测量和 SWV 成像所构成, 其中 SWV 测量包括瞬时弹性成像、单点剪切波成像, SWV 成像包括多维剪切波弹性成像 (2D-SWE、3D-SWE)^[1]。

1.1 SE

准静态弹性成像是测量对组织施加压力而产生的组织位移, 从而绘制出图像。每种生物组织都有其特异的弹性系数, 而弹性系数是评价组织硬度的一个指标。通常弹性系数小、受压后位移变化大的组织显示为红色, 反之显示为蓝色, 而绿色表示组织弹性系数中等。主要包括弹性评分法 (elastography scoring, ES) 和应变率比值法 (strain ratio, SR)^[1]。ES 通常以选定区域内的颜色或亮度分布来表示, 但由于弹性评分缺乏统一的分类方法, 不同的研究人员将弹性评分记为 4 点、5 点、6 点、7 点或 8 点等级量表^[1]。SR 是感兴趣区域 A (通常是病变组织) 和区域 B (通常是正常的周围组织、脂肪或肌肉组织) 之间的应变比。这种成像方式操作简单, 可在短时间内掌握, 是评价浅表淋巴结最常用的方法。然而, 此种成像方式不能对组织硬度进行定量分析且受到检查者主观因素的影响较大。

ARFI 是一种新型弹性技术, 通过使用短时间的声波脉冲沿超声波束传播, 使感兴趣区域内的组织发生位移, 从而反映组织的弹性大小^[2]。主要通过声触诊组织成像和声触

作者介绍: 王震, Email: sywangzhen2016@163.com,

研究方向: 超声弹性成像及支气管镜治疗。

通信作者: 焦光宇, Email: jiao_gy@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (编号: 81170068); 2022 年辽宁省应用基础研究计划资助项目 (编号: 2022JH2/101500051)。

优先出版: <https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20240119.1601.025>
(2024-01-22)

诊组织量化技术来估计组织硬度。与静态/准静态超声弹性成像相比,ARFI通过产生剪切波来评估组织硬度,受到操作者的主观影响较小,因此能够半定量或者定量测量组织硬度,使得诊断信息更加准确^[3]。

1.2 SWE

在SWE中,SWV测量属于定量评估,是根据剪切波速在硬组织中快速传播和在软组织中慢速传播的原理,通过测量剪切波速间接反映组织的硬度,剪切波速可转换为杨氏模量E,以kPa表示。而SWV成像属于定性评估,主要通过图像处理技术检测SWV,形成彩色图像并计算杨氏模量E。由于硬度图能够与二维图像保持同步,因此SWE的定性评估是基于颜色模式^[4],而定量评估是基于感兴趣区域内杨氏模量值。

瞬时弹性成像作为一种剪切波速测量技术,目前主要应用在肝脏病变,是基于对肝脏中机械脉冲引起的剪切波速进行测量,而剪切波速反映了肝脏的硬度,僵硬程度主要取决于肝脏中细胞外间质的数量,因此,肝硬化程度与肝纤维化程度密切相关^[5]。对于单点剪切波成像,其原理与ARFI类似,其速度越快,即弹性模量值越大,表示组织硬度越大。

2D-SWE是一种基于超声测量剪切波速度和组织刚度的定量弹性成像技术。而现在3D-SWE可以立体式地做到全面展示结节的硬度信息,使评估更加客观、准确。与SE不同的是,SWE可以有效地避免人为因素的影响,实现了动态弹性成像定性与定量的双重诊断。然而,多中心研究表明SWE的重复性受到大小、位置、深度等因素的影响^[6]。

2 UE在淋巴结中的应用

2.1 UE在颈部淋巴结中的应用

颈部淋巴结肿大大多数是由良性疾病引起,比如细菌或病毒感染,但如果持续时间超过14 d,则需要考虑恶性肿瘤转移的可能性,因此必须进行组织学检查^[7]。在临床上,对于不明原因的颈部淋巴结肿大,超声是评估的主要影像学方法。随着超声波的影像不断提升,UE作为一种新型的无创成像方法,在颈部淋巴结中的应用越来越多,不仅可以提示病变的良恶性,还可增加穿刺的诊断率^[8]。近期一篇荟萃分析系统评估超声弹性成像在颈部淋巴结患者中的诊断性能,发现SE和SWE在鉴别良性和恶性颈部淋巴结之间的准确性中提供有用的证据^[9]。

2.1.1 SE在颈部淋巴结中的应用 在良恶性颈部淋巴结的鉴别和头颈部恶性肿瘤的术前评估中,ES定性测量具有重要意义。比如Alam F等^[10]的研究中,就根据高弹性淋巴结面积的分布将颈部淋巴结的弹性图像定性为五种模式,并证实ES对颈部淋巴结的良恶性具有较高的诊断效能。其后多项研究仍采用Alam F等^[10]描述的5点量表对颈部淋巴结进行评价,同样证实ES对颈部淋巴结的良恶性具有高诊断率^[8,11-12]。此外,对于头颈部恶性肿瘤,大多数都可导致颈部淋巴结肿大,因此术前判断颈部淋巴结是否转移至关重要。而随着超声弹性成像的应用,术前构建相关列线图来评估淋巴结的转移具有良好效能,Huang CW等^[13]将弹性评分的实时弹性成像、常规超声特征和临床特征相结合构建列线图,发现存在实时弹性成像的列线图提高甲状腺乳头状癌引起的颈部淋巴结肿大的预测准确性。相对于ES测量,SR作为一种半定量测量方法,不仅排除了检查者主观因素的影响,且在颈部淋巴结良恶性的检测中显示出更高的灵敏度^[11]。

ARFI作为一种无创检查,可以更好地评价颈部淋巴结的良恶性,预测恶性肿瘤的颈部淋巴结转移及预后,选择可

疑的淋巴结进行细胞学检查或活检,以获得更高的组织病理学收益^[8,14]。近期一篇研究就表明ARFI能够准确地识别恶性颈部淋巴结,对于恶性淋巴结,最准确的参数是SWV,截止值为2.68 m/s^[15]。同时ARFI成像和超声特征相结合可避免颈部恶性肿瘤患者进行不必要的颈部淋巴结清扫^[2]。

此外,颈部淋巴结肿大在儿童时期也较常见,尽管穿刺活检是金标准,但对于年幼的患者来说,具有高诊断率的无创检查是非常必要的。在近期的一项前瞻性研究中,通过纳入64例持续性颈部淋巴结肿大(在接受抗生素治疗的情况下超过4周且诊断仍不确定)的儿童,发现超声弹性成像的灵敏度和特异度分别为100%和85.7%,对淋巴结良恶性的准确率高达90.6%^[16]。ARFI同样也可用于评估儿童颈部淋巴结的良性肿大,有研究发现患组织细胞坏死性淋巴结炎的SWV显著高于对侧淋巴结^[17]。

2.1.2 SWE在颈部淋巴结中的应用 由于SWE可以实时监测颈部淋巴结僵硬程度,近年来,已经更多地被用于颈部淋巴结的病变中,并且在不确定类型的颈部淋巴结病变中,SWE的诊断效率甚至优于超声造影,其中单点剪切波成像结合常规超声可减少活检的数量,有效鉴别良恶性颈部淋巴结病变,同时SWE可作为甲状腺癌术前颈部淋巴结转移风险评估的非侵入性方法^[7,18-20]。

此外,还可以基于组织硬度来区分转移性和非转移性颈部淋巴结。Favril S等^[21]通过研究患有头颈部恶性肿瘤的犬时,发现与非转移性淋巴结相比,转移性淋巴结的最硬区域的SWV更高,且收集八张弹性图以上可增加诊断的准确性。然而在某些情况下的慢性炎症、结节内纤维化可能导致硬度增大,影响SWE对颈部淋巴结良恶性的评估,而多模式联合诊断可部分消除误差,比如有研究发现多模态超声(包括常规超声、SWE和超声造影)可增加对颈部淋巴结转移特点的价值,是评估可疑颈部淋巴结肿大的有效工具^[22]。

尽管弹性成像主要用于鉴别良恶性,但由于不同疾病引起的颈部淋巴结肿大的硬度可能不同,因此有研究认为SWE在鉴别不同良性疾病引起的淋巴结肿大中可能具有一定作用^[18]。Qin Q等^[18]发现SWE评估川崎病和细菌性颈部淋巴结炎的儿童时,细菌性颈部淋巴结炎组最大颈部淋巴结的平均弹性硬度明显高于川崎病组,且截断值为14.55 kPa。这对于缺乏特性诊断方法的川崎病患儿来说,具有重要意义。

2.2 UE在腋窝淋巴结中的应用

腋窝有丰富的淋巴组织,胸壁及颈部淋巴引流汇聚于此。多种疾病可以引起腋窝淋巴结肿大,但良恶性腋窝淋巴结肿大的预后差别很大,其中乳腺癌是全世界妇女中最常诊断的癌症,而腋窝淋巴结转移是乳腺癌患者病情恶化的一个常见标志,因此早期对腋窝淋巴结良恶性的鉴别就尤为重要^[23]。在1篇荟萃分析中,比较8种不同影像学检查方法对乳腺癌患者腋窝淋巴结转移的诊断价值,发现弹性成像显示的SUCRA值最高^[24]。

2.2.1 SE在腋窝淋巴结中的应用 在识别乳腺癌引起的腋窝淋巴结转移时,Zhou J等^[23]采用4点法评估腋窝淋巴结,发现SE在评估乳腺癌腋窝淋巴结的特性和转移方面具有较高的价值,较常规超声具有更高的敏感性、特异性和准确性。有研究显示在腋窝淋巴结转移的检查中,3种超声检查方式(常规超声、超声弹性评分和经皮超声造影)联合比单个检查对乳腺癌的腋窝淋巴结转移具有较高的准确性。

如同甲状腺癌术前评估颈部淋巴结是否转移。在乳腺癌中,腋窝淋巴结清扫术在治疗中发挥重要作用,而术前预测腋窝淋巴结状态对手术起到关键作用。近期1篇研究中,

Zhu YY 等^[25]首次将多模式超声特征(灰阶、SE 和超声造影)和原发病变活检相结合去预测 T1-2N0 乳腺癌患者前哨淋巴结状态,证实了肿瘤大小、阻力指数、人表皮生长因子受体-2 状态、强化病灶扩展范围均与前哨淋巴结状态相关,通过整合这些术前数据,所建立的术前列线图使临床医生可以直观地了解前哨淋巴结转移的风险,并制定个性化的手术治疗策略。

2.2.2 SWE 在腋窝淋巴结中的应用 SWE 同样可用于腋窝淋巴结良恶性的诊断。1 篇 Meta 分析表明 SWE 和 SE 在腋窝淋巴结良恶性的鉴别诊断中均具有较高的敏感性和特异性,且 SWE 相对于 SE 表现出更高的准确性^[26]。

对于乳腺癌来说,由于侵袭性高的乳腺病灶具有向周围浸润的生物学特性,可导致病灶周围变硬,因此乳腺癌患者转移性腋窝淋巴结硬于反应性淋巴结肿大,特别是在仅显示皮层增厚的淋巴结中,皮层 SWE (E_{max}) 和皮层厚度联合可增加了诊断转移的特异性^[27]。除此以外,由于临床上,多模式联合诊断的不断应用。定性 SWE 结合常规 B 型超声、SWE 特征与 BI-RADS 分级联合建立了 0~4 级风险分层系统明显增加对腋窝淋巴结转移的诊断率^[4,28]。而随着弹性成像的不断发展,梳状推力超声剪切弹性成像通过四个横向分布的推力束在组织中产生多个剪切波的 SWE,在鉴别反应性和恶性转移引起的腋窝淋巴结肿大中,其准确率高达 92.3%,由于恶性肿瘤引起的细胞外间质的变化(即胶原纤维密度增加),转移性腋窝淋巴结的弹性相对较高^[29]。

同时在乳腺癌的治疗中,由于新辅助化疗后进行手术是局部晚期乳腺癌和腋窝淋巴结阳性的标准治疗方法,而当今,有研究发现乳房 SWE 可作为腋窝超声的补充,用于评估新辅助化疗后的腋窝淋巴结,传统超声与 SWE 的结合显示出比单独使用传统超声更好的诊断性能,可作为 1 种确定淋巴结状态以促进接受新辅助化疗患者微创治疗的有前途的方法^[30]。

除乳腺癌引起的腋窝淋巴结肿大之外,近年来随着 COVID-19 疫苗接种率的提高,疫苗接种而引起腋窝淋巴结肿大的发生率也在迅速增加,在近期 1 篇前瞻性研究中通过 B 型、彩色多普勒评估和 SWE 对接种疫苗的健康人进行随访调查,发现接种疫苗引起的腋窝、颈部等位置的淋巴结肿大, SWE 中位硬度值(11 kPa)低于恶性腋窝淋巴结的临界值^[31]。提示我们对接种疫苗后出现的腋窝等位置的淋巴结肿大,可试行 SWE 进行初步鉴别诊断。

2.3 UE 在纵隔及肺门淋巴结中的应用

纵隔及肺门淋巴结肿大的患者在临床上较为常见,常见的原因因为肺癌的淋巴结转移、肺外肿瘤转移和结节病等^[32]。尤其对于肺癌,其发病率和死亡率是全球最高的恶性肿瘤之一,对怀疑肺癌并伴有纵隔及肺门淋巴结肿大的患者,及早明确淋巴结的性质,对于恶性肿瘤的诊断、分期和制定合理的诊疗方案具有重要意义。支气管内超声弹性成像作为一种非侵入性技术,已被证明能够在常规超声的基础上提供互补的硬度信息,尤其是对 CT 阴性和/或 PET 阴性的纵隔淋巴结肿大的患者,也可指导操作者对可疑淋巴结活检穿刺^[1,33]。在近期一篇荟萃分析中表明 EBUS 弹性成像是鉴别肺门及纵隔淋巴结良恶性的有价值的技术^[34]。

2.3.1 SE 在纵隔及肺门淋巴结中的应用 对于应变弹性成像图像的定性分析,一些研究将 EBUS 弹性图定性分为 3 种模式,发现定性弹性评分对鉴别良恶性纵隔及肺门淋巴结具有重要意义^[35-36]。但恶性淋巴结内的中心坏死和良性淋巴结内的纤维化成分可能会影响弹性成像评估的准确性,且这种定性模式是主观的,因此对于定量指标的研究也越来越多,包括 SR、硬度面积比、平均灰度值。

首先,尽管不同研究者对于 SR 临界值的结果不同,但最终都发现 SR 对区别良恶性纵隔及肺门淋巴结具有较高诊断率^[1]。而由于 SR 在选定区域时也具有一定主观性,同时无法计算整个淋巴结的硬度,因此近年来出现研究淋巴结内的蓝色面积占淋巴结总面积比例,即硬度面积比,其中 Uchimura K 等^[37]认为硬度面积比预测恶性淋巴结的敏感性和特异性分别为 88.2% 和 80.2%,临界值为 0.41。此外,在 1 篇前瞻性研究中, Sun JY 等^[38]通过使用软件将弹性图像转换为灰度,发现目标内部的平均灰度值,也可以反映目标淋巴结的刚度。而当今,随着人工智能的不断应用,已有研究通过使用机器学习算法所建立的自动图像选择模型可以从 EBUS 弹性成像中选择稳定、高质量的代表性图像,对鉴别良恶性具有重要潜力^[39]。

2.4 UE 在腹股沟淋巴结中的应用

腹股沟淋巴结作为人体的浅表淋巴结,同颈部、腋窝淋巴结相似,同样可以通过弹性成像来鉴别疾病的良恶性。Kawahara Y 等^[40]在转移性皮肤癌患者中发表了第一篇仅使用 SWE 研究腹股沟淋巴结的报道,证实 SWE 为鉴别良恶性腹股沟淋巴结提供了新的可能性。但弹性成像应用在腹股沟淋巴结中的报道较少。有研究表明可能是腹股沟区域处的皮肤较为褶皱,尤其对肥胖的患者来说,不仅存在测量上的挑战性,还可能导致超声探头对皮肤的压力过大,从而潜在地影响弹性测量的结果^[41]。

3 总结

超声弹性成像是一种具有前景的组织硬度测量方法,尽管是一种非侵入性技术,但提高了对于恶性疾病的诊断率。随着弹性成像技术的不断发展,纳入弹性成像的多模式联合诊断将应用越来越多,不仅提供互补的信息,同时大大提高对引起淋巴结肿大的良恶性鉴别。未来,还需要进行技术的标准化,以便对研究之间的价值进行比较,并针对当前的技术局限性和混杂因素找到新的解决方案。相信随着临床技术的不断进步,UE 将具有巨大的临床应用价值。

参考文献

- [1] Wang B, Guo Q, Wang JY, et al. Ultrasound elastography for the evaluation of lymph nodes[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 714660.
- [2] Xu JM, Chen YJ, Dang YY, et al. Association between preoperative US, elastography features and prognostic factors of papillary thyroid cancer with BRAF^{V600E} mutation[J]. *Front Endocrinol*, 2019, 10: 902.
- [3] Zhao N, Chen J, Yao M, et al. The diagnostic value of the different ARFI (acoustic radiation force impulse)-technique for solid thyroid nodules with different diameters: a case-control study[J]. *Asian J Surg*, 2022, 45(11): 2246-2252.
- [4] Ng WL, Omar N, Mumin NA, et al. Diagnostic accuracy of shear wave elastography as an adjunct tool in detecting axillary lymph nodes metastasis[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(Suppl 1): S69-S78.
- [5] Teufel-Schäfer U, Flechtenmacher C, Fichtner A, et al. Transient elastography correlated to four different histological fibrosis scores in children with liver disease[J]. *Eur J Pediatr*, 2021, 180(7): 2237-2244.
- [6] Kim SJ, Ko KH, Jung HK, et al. Shear wave elastography: is it a valuable additive method to conventional ultrasound for the diagnosis of small (≤ 2 cm) breast cancer?[J]. *Medicine*, 2015, 94(42): e1540.
- [7] Lerchbaumer MH, Wakonig KM, Arens P, et al. Quantitative multi-parametric ultrasound (mpUS) in the assessment of inconclusive cervical lymph nodes[J]. *Cancers*, 2022, 14(7): 1597.

- [8] Kanagaraju V, Rakshith AVB, Devanand B, et al. Utility of ultrasound elastography to differentiate benign from malignant cervical lymph nodes[J]. *J Med Ultrasound*, 2020, 28(2): 92–98.
- [9] Jia ZH, Qu MJ, Sun LP, et al. Diagnostic performance of quantitative and qualitative elastography for the differentiation of benign and malignant cervical lymph nodes: a protocol for systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine*, 2021, 100(47): e27958.
- [10] Alam F, Naito K, Horiguchi J, et al. Accuracy of sonographic elastography in the differential diagnosis of enlarged cervical lymph nodes: comparison with conventional B-mode sonography[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 191(2): 604–610.
- [11] Vineela E, Sakalecha AK, Narayanrao Suresh T. Role of sonoelastography in differentiating benign from malignant cervical lymph nodes and correlating with pathology[J]. *Cureus*, 2022, 14(3): e22984.
- [12] Rajendra RA, Varatharajaperumal RK, Renganathan R, et al. Estimation of accuracy of B-mode sonography and elastography in differentiation of benign and malignant lymph nodes with cytology as reference standard: a prospective study[J]. *Cureus*, 2021, 13(3): e14147.
- [13] Huang CW, Yan WX, Zhang SM, et al. Real-time elastography: a web-based nomogram improves the preoperative prediction of central lymph node metastasis in cN₀ PTC[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 755273.
- [14] Sinha NK, Kohli PS, Nagarajan K, et al. A nomogram for predicting the risk of neck node metastasis in oral cavity carcinoma using acoustic radiation force impulse imaging (ARFI)[J]. *Oral Oncol*, 2021, 118: 105311.
- [15] Rohan K, Ramesh A, Nagarajan K, et al. Evaluation of acoustic radiation force impulse imaging in differentiating benign and malignant cervical lymphadenopathy[J]. *J Med Ultrasound*, 2022, 30(2): 87–93.
- [16] Elgendy A, Elhawary E, Shareef MM, et al. Ultrasound elastography in the diagnosis of malignant cervical lymphadenopathy in children: can it replace surgical biopsy?[J]. *Z Fur Kinderchirurgie*, 2022, 32(4): 321–326.
- [17] Lee JM, Hwang JY, Bae J, et al. Acoustic radiation force impulse imaging of biopsy-proven Kikuchi disease: initial experiences for evaluating feasibility in pediatric patients[J]. *Ultrasonography*, 2019, 38(1): 58–66.
- [18] Qin Q, Wang DD, Xu LL, et al. Evaluating lymph node stiffness to differentiate bacterial cervical lymphadenitis and lymph node-first presentation of Kawasaki disease by shear wave elastography[J]. *J Ultrasound Med*, 2021, 40(7): 1371–1380.
- [19] Öztürk VS, Ertekin E. Diagnostic performance of shear wave elastography and diffusion-weighted magnetic resonance imaging in cervical lymph nodes: a comparative study[J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(6): 2931–2942.
- [20] Wen X, Li B, Yu XW, et al. Does shear wave elastography for medullary thyroid carcinoma predict lateral cervical lymph node metastasis?[J]. *Eur J Radiol*, 2022, 146: 110079.
- [21] Favril S, Stock E, Broeckx BJG, et al. Shear wave elastography of lymph nodes in dogs with head and neck cancer: a pilot study[J]. *Vet Comp Oncol*, 2022, 20(2): 521–528.
- [22] Yang JR, Song Y, Jia YL, et al. Application of multimodal ultrasonography for differentiating benign and malignant cervical lymphadenopathy[J]. *Jpn J Radiol*, 2021, 39(10): 938–945.
- [23] Zhou J, Zhang QY, Zhang Q, et al. Evaluation of the property of axillary lymph nodes and analysis of lymph node metastasis factors in breast cancer by ultrasound elastography[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 8066289.
- [24] Kim K, Shim SR, Kim SJ. Diagnostic values of 8 different imaging modalities for preoperative detection of axillary lymph node metastasis of breast cancer: a Bayesian network meta-analysis[J]. *Am J Clin Oncol*, 2021, 44(7): 331–339.
- [25] Zhu YY, Lv WH, Wu H, et al. A preoperative nomogram for predicting the risk of sentinel lymph node metastasis in patients with T1–2N0 breast cancer[J]. *Jpn J Radiol*, 2022, 40(6): 595–606.
- [26] Wang RY, Zhang YW, Gao ZM, et al. Role of sonoelastography in assessment of axillary lymph nodes in breast cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Radiol*, 2020, 75(4): 320 e1–320320.
- [27] Pulappadi VP, Paul S, Hari S, et al. Role of shear wave elastography as an adjunct to axillary ultrasonography in predicting nodal metastasis in breast cancer patients with suspicious nodes[J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1134): 20220055.
- [28] Zhang HT, Dong YJ, Jia XH, et al. Comprehensive risk system based on shear wave elastography and BI–RADS categories in assessing axillary lymph node metastasis of invasive breast cancer—a multicenter study[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 830910.
- [29] Gregory A, Denis M, Bayat M, et al. Predictive value of comb-push ultrasound shear elastography for the differentiation of reactive and metastatic axillary lymph nodes: a preliminary investigation[J]. *PLoS One*, 2020, 15(1): e0226994.
- [30] Huang JX, Lin SY, Ou Y, et al. Combining conventional ultrasound and sonoelastography to predict axillary status after neoadjuvant chemotherapy for breast cancer[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(9): 5986–5996.
- [31] Romeo V, Stanzione A, D'Auria D, et al. COVID-19 vaccine-induced lymphadenopathies: incidence, course and imaging features from an ultrasound prospective study[J]. *J Ultrasound*, 2022, 25(4): 965–971.
- [32] Iyer H, Anand A, Sryma PB, et al. Mediastinal lymphadenopathy: a practical approach[J]. *Expert Rev Respir Med*, 2021, 15(10): 1317–1334.
- [33] Nosotti M, Ferrari M, Righi I, et al. The role of sonographic patterns during endobronchial ultrasound–transbronchial needle aspiration for lung cancer staging: a narrative review[J]. *Mediastinum*, 2021, 5: 8.
- [34] Wu JF, Sun Y, Wang YL, et al. Diagnostic value of endobronchial ultrasound elastography for differentiating benign and malignant hilar and mediastinal lymph nodes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Med Ultrason*, 2022, 24(1): 85–94.
- [35] Gompelmann D, Kontogianni K, Sarmand N, et al. Endobronchial ultrasound elastography for differentiating benign and malignant lymph nodes[J]. *Respiration*, 2020, 99(9): 779–783.
- [36] Fournier C, Dhalluin X, Wallyn F, et al. Performance of endobronchial ultrasound elastography in the differentiation of malignant and benign mediastinal lymph nodes: results in real-life practice[J]. *J Bronchology Interv Pulmonol*, 2019, 26(3): 193–198.
- [37] Uchimura K, Yamasaki K, Sasada S, et al. Quantitative analysis of endobronchial ultrasound elastography in computed tomography–negative mediastinal and hilar lymph nodes[J]. *Thorac Cancer*, 2020, 11(9): 2590–2599.
- [38] Sun JY, Zheng XX, Mao XW, et al. Endobronchial ultrasound elastography for evaluation of intrathoracic lymph nodes: a pilot study[J]. *Respiration*, 2017, 93(5): 327–338.
- [39] Zhi XX, Li J, Chen JX, et al. Automatic image selection model based on machine learning for endobronchial ultrasound strain elastography videos[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 673775.
- [40] Kawahara Y, Togawa Y, Yamamoto Y, et al. Usefulness of 2-D shear wave elastography for the diagnosis of inguinal lymph node metastasis of malignant melanoma and squamous cell carcinoma[J]. *J Dermatol*, 2020, 47(11): 1312–1316.
- [41] Lahtinen O, Pulkkinen M, Sironen R, et al. 2D–shear wave elastography in the evaluation of suspicious superficial inguinal lymph nodes: Reproducibility and region of interest selection[J]. *PLoS One*, 2022, 17(3): e0265802.

(责任编辑:李青颖)