

◁腹部影像学▷

实时剪切波超声弹性成像技术评估健康
女性肛门括约肌复合体的初步研究

黎 婷, 陆永萍, 杨寒凝, 李淑敏, 黄 森

(云南大学附属医院超声科, 云南 昆明 650021)

【摘要】目的:通过实时剪切波弹性成像(SWE)技术定量分析不同年龄阶段健康成人女性的肛门括约肌复合体(ASC)的硬度,为今后评估 ASC 的病变奠定基础。**方法:**选取 2022 年 10 月—2023 年 9 月于云南大学附属医院行盆底及经阴道超声检查的健康女性 124 例,根据年龄分为 4 组。采用二维超声测量 ASC 的厚度,SWE 测量 ASC 的弹性模量平均值;比较不同年龄 ASC 的厚度及弹性模量值的差异,分析二者之间的差异。**结果:**肛门内括约肌近端平面 9 点、12 点、3 点、6 点厚度;中部平面 9 点、12 点、3 点、6 点厚度;远端平面 9 点、3 点、6 点厚度与年龄呈微弱正相关($r_p=0.279, 0.298, 0.251, 0.321, 0.247, 0.294, 0.311, 0.399, 0.193, 0.218, 0.251, P<0.01$)。肛门外括约肌远端平面 9 点、3 点、6 点厚度与年龄呈微弱正相关($r_p=0.202, 0.232, 0.305, P<0.05$)。肛门内括约肌近端平面 9 点、12 点、3 点、6 点弹性值;中部平面 9 点、12 点、3 点、6 点弹性值;远端平面 9 点、12 点、3 点、6 点弹性值与年龄呈负相关($r_p=-0.339, -0.157, -0.466, -0.554, -0.413, -0.183, -0.438, -0.548, -0.403, -0.291, -0.465, -0.509, P<0.01$)。肛门外括约肌远端平面 9 点、12 点、3 点、6 点弹性值与年龄呈负相关($r_p=-0.422, -0.317, -0.450, -0.540, P<0.01$)。双侧耻骨直肠肌弹性值与年龄呈负相关($r_p=-0.397, -0.450, P<0.01$)。**结论:**经会阴高频超声能清晰显示 ACS 的结构,SWE 技术可以定量评估 ACS 的硬度,为临床提供重要参考依据。

【关键词】 肛管;超声检查,多普勒,彩色

【中图分类号】 R337;R445.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1008-1062(2024)07-0484-06

DOI:10.12117/jccmi.2024.07.007

**A preliminary study of real-time shear wave ultrasonic elastography to
evaluate the anal sphincter complex in healthy women**

LI Ting, LU Yong-ping, YANG Han-ning, LI Shu-min, HUANG Miao

(Department of Ultrasound, the Affiliated Hospital of Yunnan University, Kunming 650021, China)

Abstract: Objective: To quantitatively analyze the hardness of anal sphincter complex (ASC) in healthy adult women of different ages by real-time shear wave elastography (SWE), and to lay a foundation for future evaluation of ASC lesions. **Methods:** A total of 124 healthy women who underwent pelvic floor and transvaginal ultrasonography in the Affiliated Hospital of Yunnan University from October 2022 to September 2023 were selected and divided into 4 groups according to age. The thickness of ASC was measured by two-dimensional ultrasound, and the average elastic modulus of ASC was measured by SWE. The thickness and elastic modulus of ASC at different ages were compared and the differences between them were analyzed. **Results:** The internal anal sphincter thicknesses of the proximal plane at 9, 12, 3, 6 points, central plane at 9, 12, 3, 6 points and distal plane at 9, 3, 6 points were positively correlated with age ($r_p=0.279, 0.298, 0.251, 0.321, 0.247, 0.294, 0.311, 0.399, 0.193, 0.218, 0.251, P<0.01$). The thicknesses of the distal plane of the external anal sphincter at 9, 3 and 6 points were positively correlated with age ($r_p=0.202, 0.232, 0.305, P<0.05$). The elastic values of the internal anal sphincter of proximal plane at 9, 12, 3, 6 points, central plane at 9, 12, 3, 6 points and distal plane at 9, 12, 3 points were negatively correlated with age($r_p=-0.339, -0.157, -0.466, -0.554, -0.413, -0.183, -0.438, -0.548, -0.403, -0.291, -0.465, -0.509, P<0.01$). The elastic values at 9, 12, 3 and 6 points of the distal plane of the external anal sphincter were negatively correlated with age($r_p=-0.422, -0.317, -0.450, -0.540, P<0.01$). The elasticity of bilateral puborectal muscle was negatively correlated with age($r_p=-0.397, -0.450, P<0.01$). **Conclusion:** Perineal high frequency ultrasound can clearly show the structure of ASC, and SWE technique can quantitatively evaluate the hardness of ASC, which provides an important reference for clinical.

Key words: Anal Canal; Ultrasonography, Doppler, Color

肛门括约肌复合体 (Anal sphincter complex, ASC) 由 4 部分组成,包括肛门内括约肌 (Internal anal sphincter, IAS)、肛门外括约肌 (External anal sphincter, EAS)、耻骨直肠肌 (Puborectal muscle, PRM) 以及纵向肌肉。当 ACS 受损时,会引起继发性大便失禁等症状^[1]。

【收稿日期】 2023-11-09; **【修回日期】** 2023-11-30

【作者简介】 黎婷(1997-),女,湖南永州人,在读硕士研究生。E-mail: 1210367480@qq.com

【通信作者】 陆永萍,云南大学附属医院超声科,650021。E-mail: luyongp@163.com

实时剪切波弹性成像 (Shear wave elastography, SWE) 是一种评估组织功能的新方法, 该技术已广泛应用于甲状腺、乳腺、肝脏及肾脏等多个领域^[2], 但对 ASC 的探究鲜有报道。本研究拟应用 SWE 技术定量分析不同年龄阶段健康成人女性的 ASC 的硬度, 为今后评估 ASC 的病变奠定基础。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 10 月—2023 年 9 月于云南大学附属医院行盆底及经阴道超声检查的健康女性 124 例, 年龄 21~73 岁, 平均 (36.11±11.24) 岁。根据年龄分为 4 组, N1 组: 20~<30 岁, 34 例; N2 组: 30~<40 岁, 34 例; N3 组: 40~<50 岁, 32 例; N4 组: ≥50 岁, 24 例。

纳入标准: 被检者身体健康; 既往无盆腔脏器脱垂、压力性尿失禁、粪失禁等盆腔功能障碍性疾病病史; 年龄>18 岁。排除标准: 慢性咳嗽史; 长期便秘史; 患有影响肌肉神经的代谢性疾病者; 严重精神疾病或认知障碍者; 既往盆腔手术者。

本研究经我院医学伦理学委员会批准 (伦理审查编号: 2023190), 所有研究对象均知情同意。

1.2 仪器设备

采用 Mindray Resona R9T 彩色多普勒超声诊断仪, 配备高频线阵探头 L20-5U, 频率为 3.8~13 MHz, 具备 Shear Waver TM 实时剪切波超声工作站。

1.3 研究方法

受检者检查前排空大小便, 取截石位。充分暴露受检者会阴部, 将探头外覆盖保护膜, 均匀涂抹耦合剂后放置在阴阜和肛门之间的会阴部。

肛门括约肌: ①二维超声成像: 将横向探头向下向后倾斜, 使声束与肛管长轴垂直, 略微调整探头, 从肛管的远端向近端扫查, 至肛管与直肠的连接部, 连续性观察不同平面的肛管横断面 (近端、中部及远端平面)。近端平面为近肛直角的 IAS 平面 (图 1a); 中部平面为 PRM 围绕 IAS 后方, PRM 显示最清晰

的平面 (图 1b); 远端平面为 IAS 和 EAS 可同时清晰显示的平面 (图 1c)。在上述三个平面上测量 IAS 的厚度 (取 9、12、3、6 点钟方向)。在远端平面上测量 EAS 的厚度 (方向同 IAS)。②SWE 成像: 在二维超声的基础上启动 SWE 模式, 将取样框覆盖 IAS, 图像稳定后冻结, 将 IAS、EAS 作为感兴趣区, 直径设为 1 mm 的圆形, 量程均设置为 0~200 kPa。在上述三个平面上测量 IAS (取 9、12、3、6 点钟方向), 见图 2a, 2b; 在远端平面上测量 EAS (方向同 IAS), 见图 2c。

耻骨直肠肌: ①二维超声成像: 在 IAS 中部平面的基础上测量 PRM 的厚度 (取 4、8 点钟方向), 见图 1b。②SWE 成像: 将探头置于肛门正上方的会阴正中矢状面, 清晰显示肛直肠角后, 将探头分别按顺时针方向、逆时针方向分别旋转 10°~20°对 R-PRM、L-PRM 进行定位, 清晰显示附着于耻骨下支呈平行走行的高回声肌束, 见图 1d。启动 SWE 模式, 将取样框覆盖 PRM, 图像稳定后冻结, 将 PRM 作为感兴趣区, 为设置直径为 5 mm 的圆形, 量程均设置为 0~200 kPa, 测量 R-PRM、L-PRM 前部、中部及远端的弹性模量值, 见图 2d。

每例重复测量 3 次, 取平均值。以上操作均由同一超声医师完成。

1.4 统计学方法

采用统计学分析软件 SPSS 26.0 对所有数据进行统计学分析, 所有计量资料进行 Shapiro-Wilk 正态性检验, 正态分布的以均数±标准差 ($\bar{x}\pm s$) 表示。计量资料多组间比较采用单因素方差分析, 多组间比较有意义后任意两组间比较采用 LSD 检验。ASC 的厚度及弹性值与年龄的相关性采用 Pearson 相关性分析。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同年龄组肛门括约肌复合体各方向厚度测量值比较

肛门内括约肌近端平面 12 点、6 点以及中部平面 12 点、3 点和 6 点的厚度值总体比较差异有统计

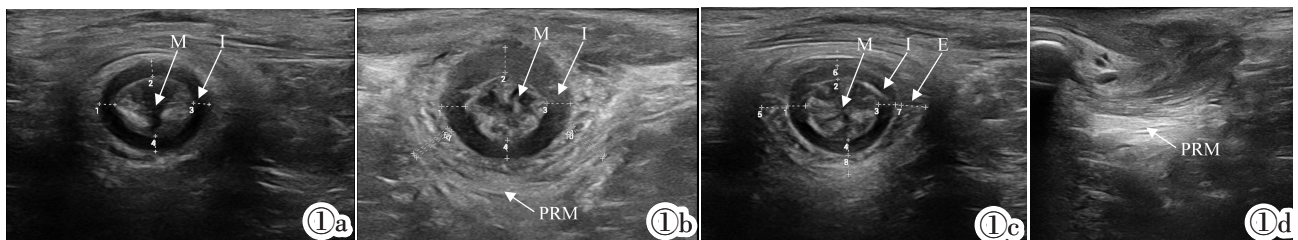


图 1 正常肛门括约肌复合体的高频超声图像 (M: 肛管黏膜; I: 肛门内括约肌; E: 肛门外括约肌; PRM: 耻骨直肠肌)。图 1a: 近端平面肛管横断面; 图 1b: 中部平面肛管横断面; 图 1c: 远端平面肛管横断面; 图 1d: 耻骨直肠肌。

Figure 1. High-frequency ultrasound images of the normal anal sphincter complex (M: anal canal mucosa; I: internal anal sphincter; E: external anal sphincter; P: puborectalis muscle). Figure 1a: Transverse section of proximal planar anal canal; Figure 1b: Transverse section of the middle planar anal canal; Figure 1c: Transverse section of distal planar anal canal; Figure 1d: Puborectalis muscle.

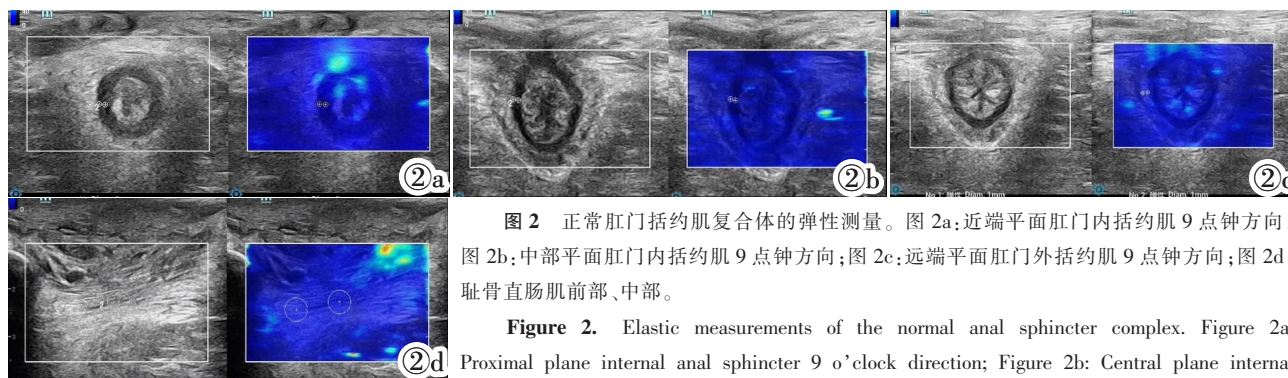


图 2 正常肛门括约肌复合体的弹性测量。图 2a:近端平面肛门内括约肌 9 点钟方向;图 2b:中部平面肛门内括约肌 9 点钟方向;图 2c:远端平面肛门外括约肌 9 点钟方向;图 2d:耻骨直肠肌前部、中部。

Figure 2. Elastic measurements of the normal anal sphincter complex. Figure 2a: Proximal plane internal anal sphincter 9 o'clock direction; Figure 2b: Central plane internal anal sphincter 9 o'clock direction; Figure 2c: Distal plane external anal sphincter 9 o'clock direction; Figure 2d: Anterior and middle muscles of puborectalis.

学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性肛门内括约肌的厚度不同。

肛门括约肌近端平面 9 点、3 点、中部平面 9 点以及远端平面 9 点、12 点、3 点、6 点厚度值无明显差异, 无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 1。

肛门外括约肌远端平面 3 点、6 点厚度值总体比较差异有统计学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性肛门外括约肌的厚度不同。

肛门外括约肌远端平面 9 点、12 点厚度值比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

耻骨直肠肌中部平面 4 点、8 点厚度值比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 2。

2.2 不同年龄肛门括约肌复合体不同平面各方向弹性杨氏模量值比较

肛门内括约肌近端平面 9 点、3 点、6 点的弹性

模量值总体比较差异有统计学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性肛门内括约肌的硬度不同。

肛门内括约肌近端平面 12 点的弹性模量值比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

肛门内括约肌中部平面各方向的弹性模量值总体比较差异有统计学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性肛门内括约肌的硬度不同。

肛门内括约肌远端平面各方向的弹性模量值总体比较差异有统计学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性肛门内括约肌的硬度不同, 见表 3。

左右侧耻骨直肠肌的弹性模量值总体比较差异有统计学意义 ($P<0.05$), 进一步各组间两两比较差异有统计学意义, 说明不同年龄段女性耻骨直肠肌的硬度不同。

表 1 不同年龄肛门内括约肌不同平面各方向弹性厚度测值比较 (mm)

	近端平面				中部平面				远端平面			
	9 点	12 点	3 点	6 点	9 点	12 点	3 点	6 点	9 点	12 点	3 点	6 点
N1	2.57±0.38	2.33±0.36 ^{1,2}	2.52±0.40	2.34±0.36 ^{1,2}	2.53±0.39	2.35±0.30 ²	2.47±0.36 ^{1,2}	2.31±0.33 ^{1,2}	2.54±0.40	2.37±0.35	2.54±0.38	2.38±0.33
N2	2.58±0.34	2.34±0.30 ²	2.56±0.37	2.35±0.33 ^{1,2}	2.53±0.38	2.39±0.30 ²	2.54±0.39 ^{1,2}	2.37±0.31 ²	2.56±0.40	2.37±0.42	2.60±0.40	2.44±0.40
N3	2.71±0.40	2.51±0.41	2.68±0.43	2.54±0.40 ³	2.67±0.43	2.51±0.43	2.69±0.40 ³	2.50±0.41 ²	2.63±0.47	2.49±0.42	2.63±0.42	2.45±0.41
N4	2.80±0.28	2.58±0.23 ³	2.73±0.27	2.63±0.06 ³	2.74±0.28	2.59±0.27 ³	2.72±0.29	2.67±0.24 ^{1,3}	2.72±0.33	2.51±0.37	2.75±0.32	2.62±0.36
F	2.624	3.760	1.952	4.862	2.255	3.136	3.240	6.463	1.148	0.942	1.498	2.131
P	0.054	0.013	0.125	0.003	0.085	0.028	0.025	<0.001	0.333	0.423	0.219	0.100

注: 组间两两比较行 LSD 检验。1: 与 N3 组比较, $P<0.05$; 2: 与 N4 组比较, $P<0.05$; 3: 与 N2 组比较, $P<0.05$ 。

表 2 不同年龄肛门外括约肌及耻骨直肠肌平面厚度测值比较 (mm)

	耻骨直肠肌中部平面		肛门外括约肌远端平面			
	4 点 (左侧)	8 点 (右侧)	9 点	12 点	3 点	6 点
N1	7.01±0.30	6.93±0.32	3.43±0.36	2.97±0.34	3.41±0.33 ^{1,2}	2.94±0.29 ^{1,2}
N2	7.03±0.33	6.98±0.34	3.43±0.36	3.06±0.58	3.47±0.54 ²	3.12±0.55 ²
N3	7.04±0.59	6.92±0.53	3.59±0.54	3.17±0.67	3.64±0.41	3.20±0.61
N4	6.86±0.53	6.68±0.56	3.70±0.47	3.18±0.54	3.71±0.41 ³	3.39±0.50 ³
F	0.973	2.349	2.071	1.070	2.701	3.949
P	0.408	0.076	0.108	0.364	0.049	0.010

注: 1: 与 N3 组比较, $P<0.05$; 2: 与 N4 组比较, $P<0.05$; 3: 与 N2 组比较, $P<0.05$ 。

并在肛管的近端融合呈“U”形包绕肛管的后方和侧方,向前牵拉形成肛直角,维持肛管的开放和闭合,在维持肛门自控方面具有重要作用^[4]。静息状态时肛门外括约肌收缩,使肛门闭合。

二维超声图像上,肛管横断面中央区域呈“星状”的混合回声为黏膜褶皱,其外侧的环状低回声为 IAS,包绕 IAS 的混合回声为 EAS。在 EAS 的 12 点钟方向可见插入会阴的横肌纤维。纵向肌肉通常显示不清,PRM 以“U”形“条纹状”高回声向后围绕肛管^[5]。正中矢状面由腹侧到背侧依次为“长条状”高回声的 EAS、“长条状”低回声的 IAS、“管状”高回声的肛直肠黏膜肌、紧贴背侧 EAS 的 PRM。

经直肠肛门内超声和经会阴三维超声是 ASC 最常用的影像学检查方法^[6]。经会阴三维超声检查能完整显示肛管与周围的肌肉组织^[7],但三维容积探头频率较低,难以清晰显示 EAS 和 PRM 的边界。相较于核磁共振,超声具有经济、便捷、可重复性较高的优势;相较于经直肠超声,经会阴超声为非侵入性检查,更易被患者所接受。因此本研究采用经会阴高频超声检查,不仅可以清晰显示不同平面的肛门括约肌,并且在检查过程中不会对肛管直接造成挤压,减少了操作误差,是评估肛门括约肌完整性最佳的影像学方法^[8]。

本研究结果显示:随着年龄的增长 IAS 及 EAS 厚度呈逐渐上升的趋势,二者的厚度测量值差异具有统计学意义。可能是因为随着年龄的增长,肛门括约肌出现退化,而肛门括约肌长期反复的收缩和拉伸,造成的应力性肥厚。Starck 等^[9]研究结果显示随着女性年龄的增长,IAS 的厚度随着年龄的增长而增加,与本研究结果一致。Frudinger 等^[10]认为不同年龄的 IAS 和 EAS 具有显著差异,年龄越大,IAS 的厚度越厚,EAS 越薄。而本研究结果显示 EAS 同样随年龄增长逐渐变厚,造成这种差异可能是因为纳入研究对象的年龄不同以及测量技术的不同。有学者认为 IAS 右侧比左侧厚,这是因为正常女性的肛门括约肌复合体的解剖结构是不对称的^[11]。本研究结果显示,IAS 左、右侧厚度差异不显著,这可能是因为纳入的研究对象年龄、样本量不一致,后期还需加大样本量进一步深入研究。本研究结果显示 L-PRM 比 R-PRM 略厚,与 Meriwether 等^[11]和高阆等^[12]研究结果一致,这一生理现象的出现可能是因为盆腔左侧的乙状结肠长期反复储存粪便,排便时腹内压增高,左侧腹腔器官对盆底的压力大于右侧,引起 L-PRM 长期反复进行收缩及拉伸动作,造成应力性肥厚。

SWE 技术可实时测量组织的杨氏模量值,反应

组织硬度,是评估组织功能的新方法。此外,SWE 技术可以对肌肉直接定量评估,是一种安全的非侵入性检查^[13]。SWE 在对肌肉的评估中具有更高的灵敏度^[14]和特异度^[15]以及足够的空间和时间分辨率。本研究对不同年龄组的 ASC 硬度分析发现,IAS 在不同平面、不同方向硬度均与年龄呈负相关,EAS 在远端平面不同方位硬度均与年龄呈负相关,PRM 硬度与年龄呈负相关。分析原因:女性雌激素水平随着年龄增长逐渐下降^[16],随着年龄增长,肌肉的状态变化可能与激素水平变化有关,低水平雌激素影响肌肉蛋白合成能力,随之肌纤维的体积和数量下降,肌肉的弹性也下降。

本研究采用经会阴高频探头测量厚度,采用 SWE 技术对 ASC 的硬度进行无创定量评估,对不同年龄女性 ASC 的变化特征进行分析。研究发现,随着年龄的增长 IAS 及 EAS 厚度呈逐渐上升的趋势,L-PRM 比 R-PRM 略厚,年龄与 ASC 的硬度具有相关性。提示应该关注老年女性 ASC 的变化,了解盆腔肌肉的功能情况,避免盆底支持结构变弱,进而出现粪失禁、盆底脏器脱垂等一系列女性盆底功能障碍性疾病。

本研究的局限性:首先,只采用了 SWE 技术检测了正常健康成人女性人群的 ASC,X 线排便造影是诊断盆底疾病的“金标准”,但无法实时动态的观察肌肉的运动情况,且该检查具有一定的辐射,考虑到正常健康人群并没有行 X 线排便造影检查,因此本研究没有将排便造影与 SWE 结合进行评估。其次,操作时被检者处于仰卧位静息状态,忽略了正常生理排便的瓦氏运动状态及缩肛状态下的 ASC 厚度及硬度变化。本研究旨在报告使用这种检查方法的初步经验。期望在未来的研究中增加对男性肛门括约肌的研究及对比不同生产方式肛门括约肌的变化情况。

本研究初步确定了所有受检者 ASC 厚度及弹性模量值的正常范围。

综上所述,经会阴高频超声能清晰显示 ASC 的结构,SWE 技术可以定量评估 ASC 的硬度,为临床提供重要参考依据。

【参考文献】

- [1]杜海雯,周敏知,应涛. 超声评估女性肛门括约肌复合体的研究进展[J]. 医学研究杂志, 2021, 50(1):149-152.
- [2]Sidhu PS, Cantisani V, Dietrich CF, et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound(CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017(Long Version)[J]. *Ultraschall Med*, 2018, 39(2): e2-e44.
- [3]张鑫,梁小波. 肛门括约肌的生理功能与神经分布[J]. 中国肛肠病

- 杂志,2011,31(4):67-68.
- [4]Stuart A, Ignell C, Ornö AK. Comparison of transperineal and endoanal ultrasound in detecting residual obstetric anal sphincter injury[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2019, 98(12): 1624-1631.
- [5]Dietz HP. Exoanal Imaging of the Anal Sphincters [J]. *J Ultrasound Med*, 2018, 37(1): 263-280.
- [6]Kirss J Jr, Huhtinen H, Niskanen E, et al. Comparison of 3D endoanal ultrasound and external phased array magnetic resonance imaging in the diagnosis of obstetric anal sphincter injuries[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(10): 5717-5722.
- [7]Weinstein MM, Pretorius DH, Jung SA, et al. Transperineal three-dimensional ultrasound imaging for detection of anatomic defects in the anal sphincter complex muscles[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2009, 7(2): 205-211.
- [8]陈彬,杜海雯,黄丽莉,等. 高频超声评估女性肛门括约肌完整性的临床研究[J]. *临床超声医学杂志*,2022,24(2):85-88.
- [9]Starck M, Bohe M, Forling B, et al. Endosonography of the anal sphincter in women of different ages and parity [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2005, 25(2): 169-176.
- [10]Frudinger A, Halligan S, Bartram CI, et al. Female anal sphincter: age-related differences in asymptomatic volunteers with high-frequency endoanal US [J]. *Radiology*, 2002, 224(2): 417-423.
- [11]Meriwether KV, Hall RJ, Leeman LM, et al. Anal sphincter complex: 2D and 3D endoanal and translabial ultrasound measurement variation in normal postpartum measurements [J]. *Int Urogynecol J*, 2015, 26(4): 511-517.
- [12]高夙,李莉,张蕾,等. 盆腔器官脱垂患者肛提肌厚度的 MRI 研究[J]. *同济大学学报:医学版*,2008,29(6):60-62,70.
- [13]张瞳,逯雪峰,杨华睿,等. 剪切波弹性成像技术评估慢性心力衰竭患者骨骼肌硬度改变的初步研究 [J]. *中国临床医学影像学杂志*,2022,31(6):418-421.
- [14]Chan SS, Cheung RY, Yiu KW, et al. Effect of levator ani muscle injury on primiparous women during the first year after childbirth[J]. *Int Urogynecol J*, 2014, 25(10): 1381-1388.
- [15]Gennisson JL, Defieux T, Macé E, et al. Viscoelastic and anisotropic mechanical properties of in vivo muscle tissue assessed by supersonic shear imaging [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2010, 36(5): 789-801.
- [16]Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, et al. Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives[J]. *J Nutr Health Aging*, 2008, 12(7): 433-450.
- (上接 483 页)
- [13]van Oostrum NHM, de Vet CM, Clur SB, et al. Fetal myocardial deformation measured with two-dimensional speckle-tracking echocardiography: longitudinal prospective cohort study of 124 healthy fetuses[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2022, 59(5): 651-659.
- [14]Murata K, Ueyama T, Tanaka T, et al. Right ventricular dysfunction in patients with Brugada-like electrocardiography: a two dimensional strain imaging study[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2011, 9: 30.
- [15]Tian F, Zhang L, Xie Y, et al. 3-Dimensional Versus 2-Dimensional STE for Right Ventricular Myocardial Fibrosis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(7): 1309-1320.
- [16]Marra AM, Benjamin, Cittadini A, et al. When Pulmonary Hypertension Complicates Heart Failure [J]. *Heart Fail Clin*, 2020, 16(1): 53-60.
- [17]Agha HM, Ibrahim H, El Satar IA, et al. Forgotten Right Ventricle in Pediatric Dilated Cardiomyopathy [J]. *Pediatr Cardiol*, 2017, 38(4): 819-827.
- [18]Miranda JO, Cerqueira RJ, Ramalho C, et al. Fetal Cardiac Function in Maternal Diabetes: A Conventional and Speckle-Tracking Echocardiographic Study [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31(3): 333-341.
- [19]Gupta S, Ge Y, Singh A, et al. Multimodality Imaging Assessment of Myocardial Fibrosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(12): 2457-2469.
- [20]Paterek A, Okninska M, Maczewski M, et al. Right Ventricle Remodelling in Left-Sided Heart Failure in Rats: The Role of Calcium Signalling[J]. *Biomolecules*, 2022, 12(11): 1714.
- [21]Donker DW, Sallisalmi M, Broome M. Right-Left Ventricular Interaction in Left-Sided Heart Failure With and Without Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Support -A Simulation Study[J]. *ASAIO J*, 2021, 67(3): 297-305.
- [22]Vanhecke TE, Kim R, Raheem SZ, et al. Myocardial ischemia in patients with diastolic dysfunction and heart failure [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2010, 12(3): 216-222.
- [23]Schmitt W, Ruhs H, Burghaus R, et al. NT-proBNP Qualifies as a Surrogate for Clinical End Points in Heart Failure [J]. *Clin Pharmacol Ther*, 2021, 110(2): 498-507.