

胃超声在功能性消化不良患者中的应用价值

银春楠¹, 房秀霞^{2*}

¹内蒙古医科大学第一临床医学院, 内蒙古 呼和浩特

²内蒙古医科大学附属医院超声医学科, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月29日

摘 要

消化不良在全球范围内极为常见, 对患者生活质量产生显著影响。功能性消化不良(FD)指患者存在消化不良症状, 但无可解释该症状的结构性异常。超声检查(US)作为一种无创性成像手段, 可用于评估胃功能。本文旨在探讨超声检查在消化不良患者分类以及功能性消化不良诊断方面的作用。

关键词

超声, 胃超声, 胃, 消化不良, 功能性消化不良

The Application Value of Gastric Ultrasonography in Patients with Functional Dyspepsia

Chunnan Yin¹, Xiuxia Fang^{2*}

¹First Clinical Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

²Department of Ultrasound Diagnostic, The Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Apr. 28th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 29th, 2025

Abstract

Dyspepsia is an extremely common condition worldwide, significantly impacting patients' quality of life. Functional dyspepsia (FD) is defined as the presence of dyspeptic symptoms in the absence of any structural abnormalities that can explain these symptoms. Ultrasonography (US), as a non-

*通讯作者。

文章引用: 银春楠, 房秀霞. 胃超声在功能性消化不良患者中的应用价值[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 2283-2290.
DOI: 10.12677/acm.2025.1551620

invasive imaging modality, can be utilized to assess gastric function. This review aims to explore the role of ultrasonography in the classification of dyspeptic patients and the diagnosis of functional dyspepsia.

Keywords

Ultrasonography, Gastric Ultrasonography, Stomach, Dyspepsia, Functional Dyspepsia

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

消化不良是指消化功能异常,主要表现为上腹部不适的一系列症状,包括饱腹感、早饱、餐后腹胀、嗝气、恶心、呕吐及疼痛等[1]。最初,消化不良症状主要在西半球较为普遍,近几年随着研究的深入和认识的提高,该病症现已被视为一个全球性的健康问题,影响约 15%~20%的总人口[2] [3]。由于其高发病率及多样化的临床表现,消化不良已成为全球范围内临床实践中常见的疾病之一。

消化不良的病因可分为器质性消化不良和功能性消化不良(Functional Dyspepsia, FD)两大类。器质性消化不良是指存在能够解释症状的潜在器质性疾病,如消化性溃疡、恶性肿瘤、乳糜泻、胰腺炎、胃食管反流病及胆囊疾病等。若患者在无器质性疾病的情况下出现消化不良症状,则称为 FD [1]。临床上,大多数消化不良患者属于 FD [1]。在诊断 FD 时,排除器质性疾病因至关重要,通常需通过临床检查、实验室检查及上消化道内镜检查等手段进行鉴别,若内镜检查结果呈阴性,往往提示 FD 的可能性。

根据罗马标准[4],满足以下条件可以诊断为 FD: ①有下述一种或多种主要症状:餐后饱胀感、早饱感、上腹部疼痛、上腹部烧灼感;②这些症状需在诊断前至少 6 个月出现,并在最近 3 个月内持续存在;③内镜检查结果为阴性;④排除导致这些症状的结构性疾病。罗马 IV 标准进一步将 FD 分为两个亚型:餐后不适综合征(Postprandial Distress Syndrome, PDS)和上腹痛综合征(Epigastriac Pain Syndrome, EPS),其分类依据为患者的主要症状表现[5] [6]。

2. FD 的病理生理机制

FD 的病理生理机制较为复杂,涉及多种因素,其中最重要的是胃容受功能受损、胃排空延迟以及内脏高敏感性,此外,压力对胃运动也有显著影响,研究证实焦虑和抑郁与 FD 之间存在强烈的关联[7]。研究显示,约 40%的 FD 患者存在胃容受性受损[5],表现为进食后近端胃扩张不足,进而导致胃内压升高,引发消化不良症状。内脏高敏感性也是一个重要病理生理机制[8],是指机体对内脏刺激的感知出现异常增强的现象,约 33%的 FD 患者存在这一情况[5]。目前,有多种假说将内脏高敏感性解释为脑-肠轴功能缺陷的结果。

进食时,近端胃(胃底和胃体区域)主要发挥储存食物的作用,这一过程分为容受性舒张和适应性舒张两个阶段。容受性舒张是指食物在通过咽、食管时,近端胃会提前发生扩张反应,为接纳食物做好准备;适应性舒张则是指食物进入胃腔之后,近端胃肌肉舒张,做出适应性调节,这一机制使胃容积增大而胃内压保持不变,防止食物过早排空,保证食物在胃内充分混合、研磨和初步消化。远端胃(胃窦和幽门区域)承担着食物的混合、研磨与排空功能,胃窦和幽门区域约每分钟发生三次节律性收缩,收缩起始于胃中部,向幽门区逐渐推进。上述任一环节出现异常,都可能引发 FD。

3. FD 的检查方法

目前,用于评估 FD 患者胃功能的方法有多种,包括闪烁成像、单光子发射计算机断层扫描[6](Single-photon Emission Computed Tomography, SPECT)、气压计检测、磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)、超声检查(Ultrasound, US)以及饮水试验等。每种方法均有其独特的优势与局限性,且能够从不同角度对胃的生理功能以及非器质性病理生理改变进行评估。

闪烁成像通过摄入放射性标记食物来评估胃排空及胃内食物分布,是胃功能检查的金标准[1],然而,该方法图像分辨率较低,有放射性暴露且成本较高,这些因素限制了其在临床实践中的广泛应用。

腔内恒压计高度适用于评估胃容受性受损[5],然而,该检查具有侵入性,需通过口腔插管将聚乙烯球囊置入胃底部。由于其操作复杂、侵入性强且可能引起患者不适,恒压器的应用受到限制,并可能导致对胃张力及感觉测量的偏差。此外,该检查耗时较长且需要较高的专业技术支持,因此仅在少数高等医疗中心能够开展。

SPECT 是一种非侵入性技术,已被用于评估胃容受功能[6]。该检查过程需要静脉注射锝-99 (Tc-99) 锝高酸盐,并借助 SPECT 伽马相机进行成像。但这种方法会使患者受到辐射暴露,设备普及率低且成本较高。此外,SPECT 检查时要求患者保持仰卧位,这与实际进食时的体位不符,可能影响结果的准确性。

MRI 检查无创、无辐射,并且它可以三维重建胃总容积来评估胃容受功能[7],其优势在于无辐射危害、安全性高,且能够有效区分气体和固体食物。不过,MRI 检查存在耗时久、费用高昂的问题,并且和 SPECT 一样,需要患者在检查时保持仰卧位,与实际进食时的体位不符,可能影响结果的准确性。另外,该检查还需要使用含有钆标记的特定测试餐,这在一定程度上限制了其临床应用的普及性。

对于 FD 的诊治仍面临诸多挑战,其发病机制还没有完全明确,临床表现也具有显著异质性,目前缺乏一种能够在单次检查中全面评估多种胃运动功能的理想方法。鉴于 FD 在人群中的高患病率以及给患者造成的沉重负担,开发更为有效的成像诊断方法显得尤为重要。

US 近年来广泛应用于临床各个领域,发挥了重要作用[9],尤其胃肠超声的发展更是十分迅速,不少研究报道过其在消化不良及 FD 患者中的应用,但在全球范围内,US 在这一领域的使用情况并不理想。本文聚焦于系统评估 US 在消化不良患者分类以及 FD 诊断方面的应用价值,以期为临床实践提供参考。

4. US 在 FD 中的应用

胃功能主要取决于近端胃的容受功能和远端胃的运动功能,US 具备同时评估多种胃运动参数的能力,是目前唯一能够全面评估胃运动功能的成像技术[10]。通过超声检查,可在单次检查中评估胃排空、胃内食物分布、胃壁张力、胃容受性、胃窦运动等多种病理生理指标。这种综合性评估减少了对多种检查手段的需求,从而降低了医疗成本,减轻了患者的负担。

4.1. 胃近端评估

US 可用于评估近端胃功能,其主要目的是识别 FD 患者中常见的胃容受性受损。原则上,US 评估胃容受性可通过两种方法实现:一是通过计算近端胃面积(Proximal Gastric Area, PGA)或最大近端胃直径(Maximal Proximal Gastric Diameter, MPGD)的变化,为间接测量;二是通过测量近端胃容积(Proximal Gastric Volume, PGV)的变化,为直接测量,临床上以前者常见。通过测量餐后 PGA 和 MPGD 的变化,可间接反映近端胃容积的变化,从而反映胃容受性。测量时,先将探头纵向置于剑突下,后向左上腹斜切,调整探头角度,获得近端胃矢状面图像,毗邻解剖标志包括左肾、肝左叶及胰腺尾部[5]。在矢状面上,沿着胃壁黏膜面进行描记可测得 PGA。MPGD 则是在获取 PGA 的位置基础上,将探头顺时针旋转 90°,稍向头侧倾斜,获得近端胃横断面图像,然后测量其横径,即胃左缘至右缘的最大水平距离,此切面需

识别的解剖标志为左膈、胃底上缘和肝实质。

分别测量餐前、餐后的 PGA 与 MPGD 值, 通过其变化量可计算胃容受性舒张指数[11]。这种方法由 Gilja 等人首次开发, 已在全球范围内推广应用[7][12]。其他研究则通过将 PGA 和 MPGD 相乘估算 PGV, 并利用 PGV 进一步计算近端胃排空率, 即描述餐后胃容积每分钟下降的速度[12], 该方法也被用作评估胃排空功能的指标。

不同研究在技术细节上可能存在差异, 但其检查程序基本相似。患者通常需在检查前禁食 8~12 小时, 于空腹状态下测量 PGA 与 MPGD 值后, 再服用测试餐, 随即测量餐后 PGA 与 MPGD 值, 体位可取坐位并稍向后倾斜, 日本研究通常让患者取仰卧位, 以获得近端胃的最佳横断面图像。在机器、探头频率及测试餐选择上也有所差异, 例如, 挪威研究采用低热量肉汤(500 mL, 20 kcal)作为测试餐, 日本研究使用水(400 mL 或 800 mL), 其他研究也会使用不同种类的液体测试餐。日本研究所采用的近端胃测量方法与上述有所不同[13][14], 其通常将探头置于腹部左侧第 10 肋间隙, 以脾脏作声窗, 获得近端胃的横断面图像。

在现有研究中, 关于 FD 患者 MPGD 的测量结果存在差异。Gilja 等人的研究表明, FD 患者的 MPGD 数值更小[11], Fan 等人的研究却并未发现 FD 患者与健康人群在 MPGD 上存在显著差异。Fan 等人认为, 在对胃这类形状不规则的器官进行大小估算时, 面积测量比直径测量更为可靠[4]。PGA 受操作人员技术水平的影响较小, 测量过程简单易行, 与利用气压计测量的胃容积之间也具有良好的相关性。总体而言, PGA 在评估 FD 患者胃容受功能方面具有较高的有效性, 众多研究结果的一致性也验证了这一点。PGV 可以用于测量近端胃的排空率, 结果显示 FD 患者的近端胃排空率高于健康对照组[11][12]。这表明 FD 患者餐后的胃内容物不会滞留在近端胃, 而是迅速转移至胃窦, 导致胃窦扩张及相关症状。这些发现也证实, 胃容受性受损是 FD 患者临床症状的重要病理生理机制。

4.2. 胃远端评估

胃的远端即胃窦及幽门区域, 研究表明 FD 患者在该区域存在多种功能紊乱, 如胃排空延迟和胃窦十二指肠运动障碍, 临床上常用胃窦横截面积的变化来评估胃远端功能。测量时, 将探头垂直置于上腹部, 以肠系膜上静脉和腹主动脉作为解剖标志获取矢状面图像, 在此投影下可得到胃窦的横断面图像[15][16], 在胃窦横截面积的描记方法上存在地理差异。挪威的研究通过描记胃窦壁的固有肌层获得胃窦面积[17], 而日本研究则追踪胃窦粘膜表面[15][16]。Bolondi 等人通过测量胃窦壁外部轮廓的纵径和前后径, 并应用专用公式计算胃窦横截面积[18]。胃窦横截面积的计算可以用于评估胃窦扩张、胃排空延迟及胃窦运动障碍[12]。

胃排空延迟是 FD 患者中最常见的病理生理机制之一。评估胃排空的方法主要有计算胃排空率(Gastric Emptying Rate, GER)或胃排空时间(Gastric Emptying Time, GET)两种。大多数研究通过评估餐后一定时间内胃窦面积的减少率来计算 GER [12][15][16], 这种方法在日本和挪威的研究中尤为突出。Ahluwalia 等人则通过测量放松状态下胃窦周长的减少率来计算 GER [19]。GET 的评估在意大利和德国的研究中较为常见, 通过计算胃窦面积恢复至空腹基础值所需的时间来确定[20]。Bolondi 等人还尝试通过 US 测量, 再利用专用公式计算胃窦幽门区域容积的变化来评估 GET [18]。研究表明, FD 患者的胃排空延迟表现为 GER 降低及 GET 延长[21], 依据胃窦测量值计算的 GET 与闪烁扫描法测量值之间存在良好的相关性[22]。

胃窦横截面积还可用于评估胃窦运动障碍。研究中常用的一种方法是通过胃窦收缩频率(Antrum Contraction Frequency, ACF)和胃窦收缩幅度(Antrum Contraction Amplitude, ACA)来计算运动指数(Motility Index, MI), MI 的计算公式为: $MI = ACF \times ACA$, 其中, ACF 表示胃窦两分钟内收缩的次数, ACA 表示

胃窦最大舒张面积与最小收缩面积的差值。研究结果显示 FD 患者的 MI 较低, 提示胃窦运动功能减退[16] [23]。Haruma 等人和 Kusunoki 等人进一步指出, 胃窦运动功能减退在餐后早期更为显著[15] [16]。Berstad 等人发现, 与健康志愿者相比, FD 患者的空腹及餐后胃窦更宽, 这一结果在其他研究中也得到证实[24]。然而, Ahluwalia 等人的研究表明, FD 患者的胃窦宽度存在个体差异, 并非所有 FD 患者均表现为胃窦增宽[19]。

为更精确评估胃窦运动功能, 研究者们还开发了一种基于超声应变率成像的检测方法, 即通过超声多普勒技术评估胃窦壁在收缩过程中的变形, 该方法能够清晰区分胃壁的外纵平滑肌层和内环平滑肌层, 并显示其不同的运动模式[17]。

综上所述, US 在评估 FD 患者胃窦功能方面具有重要价值, 能够有效识别胃排空延迟、胃窦运动障碍及相关病理生理变化。

4.3. 三维超声的应用

上述用于胃近端和远端成像的方法均基于二维超声技术, 其在识别 FD 相关病理方面已展现出一定能力, 近几年随着三维超声技术的快速发展, 在胃肠道疾病的应用中有了多种创新方法, 与传统的二维超声或其他胃肠道检查方法相比, 三维超声能够提供更立体、全面的图像信息[25], 现已广泛应用于 FD 患者的胃容积评估中。我国的陈晓康等认为, 三维容积超声技术测定的体积与实际容积相关性更好[26]。

传统的三维超声技术通常是用电动探头装置将换能器固定在一个位置进行图像采集[27]。但是由于传感器位置固定, 该方法仅适用于有限区域(如胃窦)的容积估算, 难以用于胃总容积(Total Gastric Volume, TGV)评估。现在已开发了更为先进的基于磁定位系统的三维超声技术, 具有更高的灵活性[28], 可以实现一次完成整个胃腔的扫描。探头从胃底至幽门进行连续扫描后, 获取多个连续矢状面的二维图像, 随后应用三维重建软件将这些切面整合成三维模型并计算 TGV [16] [28] [29]。

在后处理中, 根据分割面在胃中的位置, 可采用两种方法计算不同区域的胃容积: Mundt 等人[29]将 TGV 分为 PGV 和远端胃容积。PGV 定义为横膈膜向下 10 cm 处垂直于胃纵轴的分割面, 远端胃容积则由垂直于胃窦轴的平面确定, 该平面同时显示肝脏、肠系膜上静脉和主动脉。通过从 TGV 中减去 PGV 和胃窦容积, 还可计算出胃体容积。此外, Mundt 等人通过计算 TGV 与 PGV 的比率来评估胃容受性。Gilja 等人[30]则根据解剖结构, 在胃角切迹处垂直创建分割面, 分别计算 PGV 和远端胃容积。Gilja 等人还通过将 PGV 与远端胃容积的比值评估胃内食物分布, 结果显示 FD 患者胃内食物分布不均匀, 即食物内容物从胃近端快速向远端转移。Berstad 等人和 Mundt 等人在其研究中发现 FD 患者的胃窦容积更大, 而 Gilja 等人未发现显著差异。此外, Mundt 等人报道称 FD 患者与正常人群的胃总体积无差异[29]。

5. 超声在 FD 诊断中的应用前景

近年来, FD 的研究重点之一在于区分其两个亚型, 即 PDS 和 EPS, 两者发病机制存在重叠使得这一任务更具挑战性[31] [32]。Ahmed 等人[17]的一项研究应用应变率成像(Strain Rate Imaging, SRI)检测两组患者的胃窦壁扩张情况, 发现 EPS 患者在空腹和餐后的胃窦应变测量值均显著高于对照组和 PDS 患者。EPS 患者表现出胃窦高收缩性, PDS 患者则表现为胃窦低收缩性状态。通过对胃窦收缩的定量测量, SRI 可能成为区分 FD 亚型的有效工具[33]。

在挪威卑尔根的 Haukeland 大学医院, US 已被纳入 FD 患者的常规诊断流程, 称为超声膳食调节测试(Ultrasound Meal Accommodation Test, UMAT) [2]。UMAT 已在 Haukeland 大学医院应用超过 30 年, 至今仍广泛使用, 该测试能够排除器质性消化不良, 还可同时评估胃容受性、胃收缩性、胃排空功能及内脏高敏感性。通过结合 FD 患者的胃功能障碍信息与心理测量问卷, 可以为患者提供更全面和个性化

的诊断方案。

目前, 有很多新型超声对比剂应用于临床, 它们可以提高超声图像的清晰度以及诊断的准确性[34]。比如功能性超声造影剂(Ultrasound Contrast Agents, UCAs)在疾病诊断和治疗方面具有重要价值, 在 FD 的诊断中, UCAs 可用于增强胃壁和胃腔的对比度, 帮助更精确地评估胃容受性、胃排空及胃窦运动功能, 为实现更精准的 FD 诊断和个性化治疗提供助力。

近年来, 人工智能(Artificial Intelligence, AI)正迅速地渗透到医疗领域, 超声诊断也不例外, 相较于传统超声, AI 能够更敏感地捕捉到细微的异常变化, 尤其对于 FD 这种主要依靠患者主观症状而缺乏明确生物标志物的疾病, AI 超声展现出巨大的潜力[35]。通过深度学习等技术, AI 可以做到自动提取超声图像中与胃动力、胃排空等相关的特征, 如胃窦面积变化、胃壁厚度、蠕动频率等。同时, 利用机器学习算法, 将提取的超声特征与 FD 患者的临床数据相结合, 构建诊断预测模型, 这些模型可以区分 FD 患者与健康个体, 甚至可以区分不同亚型的 FD 患者。最近的一项研究展示了机器学习模型在预测胃轻瘫患者对药物治疗反应方面的应用[36], 类似的方法也可以用于预测 FD 患者对不同治疗方案的反应。

US 与其他诊断方法如内镜、胃排空扫描等结合还有待继续探索, 以提高 FD 的诊断准确率。内镜检查可以观察消化道黏膜的形态, 排除溃疡、炎症等器质性病变, 但对于胃肠动力和感觉功能的信息有限[37]。US 则可以评估胃的容受性、排空、蠕动等功能, 因此, 超声可以作为内镜检查的补充, 提供更全面的信息。同时, 在资源有限的地区, US 可以作为初步筛查手段, 减少不必要的内镜检查[38]。对于内镜检查结果阴性的患者, US 可以进一步评估是否存在胃动力障碍等功能性问题。

6. 讨论与总结

FD 是一种全球范围内常见的疾病, 但是目前却缺乏简便易行且准确性高的检查手段。US 可以通过对胃近端功能及远端功能的评估, 发现胃容受功能受损与胃动力障碍。研究结果显示, FD 患者在胃蠕动幅度、频率、运动指数、近端胃容量以及远端胃排空率等方面, 均低于健康对照组。三维超声以及 AI 的发展也为 US 提供了强大助力。将 US 纳入 FD 患者的诊断流程, 有助于构建更为稳固的诊疗策略, 进一步提升患者的管理效果。

值得注意的是, 现有各项研究中, 所采用的液体试餐在种类、饮入总量以及摄入速度等方面缺乏统一标准, 并且各项检查所涉及的指标及流程也不尽相同。这导致所获取的数据仅能表明 FD 患者的胃动力功能相较于正常人群有所降低, 但未能明确给出 FD 患者与健康人群在胃动力各项指标上的截断值。因此, 目前尚无法为临床诊断 FD 提供精准的定量依据。为推动该领域的研究进展, 后续亟需对试餐种类以及研究方法进行统一规范, 从而为开展大规模的前瞻性研究奠定基础。若能够成功确定 FD 动力障碍各项检查指标的诊断界值, 无疑将为 FD 的临床诊断与治疗开辟新的路径, 带来新的希望。

参考文献

- [1] Mazzawi, T., Bartsch, E., Benammi, S., Ferro, R., Nikitina, E., Nimer, N., et al. (2019) Gastric Emptying of Low- and High-Caloric Liquid Meals Measured Using Ultrasonography in Healthy Volunteers. *Ultrasound International Open*, 5, E27-E33. <https://doi.org/10.1055/a-0783-2170>
- [2] Steinsvik, E.K., Hausken, T. and Gilja, O.H. (2016) The Ultrasound Meal Accommodation Test in 509 Patients with Functional Gastrointestinal Disorders. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 51, 788-794. <https://doi.org/10.3109/00365521.2016.1153138>
- [3] Kugler, T. (2015) The Usefulness of Water-Drinking Ultrasonography Combined Test for Evaluating Patients with Functional Dyspepsia. *The Korean Journal of Gastroenterology*, 66, 92-97. <https://doi.org/10.4166/kjg.2015.66.2.92>
- [4] Fan, X. (2013) Sonographic Evaluation of Proximal Gastric Accommodation in Patients with Functional Dyspepsia. *World Journal of Gastroenterology*, 19, 4774-4780. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i29.4774>
- [5] Ahmed, I., Udawat, H.P., Ansari, M., Yadav, R., Vaishnav, S., Agrawal, D., et al. (2023) Impaired Gastric

- Accommodation in Patients with Postprandial Distress Syndrome Type of Functional Dyspepsia Assessed by 2D Ultrasonography. *Indian Journal of Gastroenterology*, **42**, 824-832. <https://doi.org/10.1007/s12664-023-01436-7>
- [6] Febo-Rodriguez, L., Chumpitazi, B.P., Sher, A.C. and Shulman, R.J. (2021) Gastric Accommodation: Physiology, Diagnostic Modalities, Clinical Relevance, and Therapies. *Neurogastroenterology & Motility*, **33**, e14213. <https://doi.org/10.1111/nmo.14213>
 - [7] Wang, Q., Cheng, L., Wu, B., Xu, P., Qiu, H., Wang, B., *et al.* (2022) Short-Course Antidepressant Therapy Reduces Discontinuation Syndrome While Maintaining Treatment Efficacy in Patients with Refractory Functional Dyspepsia: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Psychiatry*, **13**, Article ID: 1063722. <https://doi.org/10.3389/fpsvt.2022.1063722>
 - [8] Steinsvik, E.K., Valeur, J., Hausken, T. and Gilja, O.H. (2020) Postprandial Symptoms in Patients with Functional Dyspepsia and Irritable Bowel Syndrome: Relations to Ultrasound Measurements and Psychological Factors. *Journal of Neurogastroenterology and Motility*, **26**, 96-105. <https://doi.org/10.5056/jnm19072>
 - [9] De Schepper, H.U., Cremonini, F., Chitkara, D. and Camilleri, M. (2004) Assessment of Gastric Accommodation: Overview and Evaluation of Current Methods. *Neurogastroenterology & Motility*, **16**, 275-285. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2004.00497.x>
 - [10] Gilja, O.H., Lunding, J., Hausken, T., *et al.* (2006) Gastric Accommodation Assessed by Ultrasonography. *World Journal of Gastroenterology*, **12**, 2825-2829. <https://doi.org/10.3748/wjg.v12.i18.2825>
 - [11] Gilja, O.H., Hausken, T., Wilhelmsen, I. and Berstad, A. (1996) Impaired Accommodation of Proximal Stomach to a Meal in Functional Dyspepsia. *Digestive Diseases and Sciences*, **41**, 689-696. <https://doi.org/10.1007/bf02213124>
 - [12] Berstad, A., Hausken, T., Gilja, O.H., Hveem, K., Nesje, L.B. and Ødegaard, S. (1996) Ultrasonography of the Human Stomach. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, **31**, 75-82. <https://doi.org/10.3109/00365529609094755>
 - [13] Hata, T., Kato, M., Kudo, T., Nishida, M., Nishida, U., Imai, A., *et al.* (2013) Comparison of Gastric Relaxation and Sensory Functions between Functional Dyspepsia and Healthy Subjects Using Novel Drinking-Ultrasonography Test. *Digestion*, **87**, 34-39. <https://doi.org/10.1159/000343935>
 - [14] Kato, M., Nishida, U., Nishida, M., Hata, T., Asaka, R., Haneda, M., *et al.* (2010) Pathophysiological Classification of Functional Dyspepsia Using a Novel Drinking-Ultrasonography Test. *Digestion*, **82**, 162-166. <https://doi.org/10.1159/000308363>
 - [15] Kusunoki, H., Haruma, K., Hata, J., Tani, H., Okamoto, E., Sumii, K., *et al.* (2000) Real-Time Ultrasonographic Assessment of Antroduodenal Motility after Ingestion of Solid and Liquid Meals by Patients with Functional Dyspepsia. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **15**, 1022-1027. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1746.2000.02251.x>
 - [16] Haruma, K., Kusunoki, H., Manabe, N., Kamada, T., Sato, M., Ishii, M., *et al.* (2008) Real-Time Assessment of Gastro-duodenal Motility by Ultrasonography. *Digestion*, **77**, 48-51. <https://doi.org/10.1159/000111488>
 - [17] Ahmed, A., Matre, K., Hausken, T., Gregersen, H. and Gilja, O. (2012) Rome III Subgroups of Functional Dyspepsia Exhibit Different Characteristics of Antral Contractions Measured by Strain Rate Imaging—A Pilot Study. *Ultraschall in der Medizin—European Journal of Ultrasound*, **33**, E233-E240. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1313073>
 - [18] Bolondi, L., Bortolotti, M., Santi, V., Calletti, T., Gaiani, S. and Labò, G. (1985) Measurement of Gastric Emptying Time by Real-Time Ultrasonography. *Gastroenterology*, **89**, 752-759. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(85\)90569-4](https://doi.org/10.1016/0016-5085(85)90569-4)
 - [19] Ahluwalia, N.K., Thompson, D.G., Mamtara, H. and Hindle, J. (1996) Evaluation of Gastric Antral Motor Performance in Patients with Dysmotility-Like Dyspepsia Using Real-Time High-Resolution Ultrasound. *Neurogastroenterology & Motility*, **8**, 333-338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.1996.tb00271.x>
 - [20] Bologheanu, R., Schaubmayr, W., Kimberger, O. and Duma, A. (2024) Ultrasound Evaluation of Gastric Emptying Time of Standardized High-Calorie Liquid Meals in Healthy Adults: A Double-Blind Cross-Over Randomized Study. *Clinical Nutrition ESPEN*, **59**, 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.12.020>
 - [21] Maconi, G., Hausken, T., Dietrich, C.F., Pallotta, N., Sporea, I., Nurnberg, D., *et al.* (2021) Gastrointestinal Ultrasound in Functional Disorders of the Gastrointestinal Tract—EFSUMB Consensus Statement. *Ultrasound International Open*, **7**, E14-E24. <https://doi.org/10.1055/a-1474-8013>
 - [22] Gentilecore, D., Hausken, T., Horowitz, M. and Jones, K.L. (2006) Measurements of Gastric Emptying of Low- and High-nutrient Liquids Using 3D Ultrasonography and Scintigraphy in Healthy Subjects. *Neurogastroenterology & Motility*, **18**, 1062-1068. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2006.00830.x>
 - [23] Liu, Y., Gao, Y., Yao, L. and Li, L. (2017) Modified B-Ultrasound Method for Measurement of Antral Section Only to Assess Gastric Function and Guide Enteral Nutrition in Critically Ill Patients. *World Journal of Gastroenterology*, **23**, 5229-5236. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i28.5229>
 - [24] Loreno, M., Bucci, A.M., Catalano, F., Muratore, L.A., Blasi, A. and Brogna, A. (2004) Pattern of Gastric Emptying in Functional Dyspepsia. An Ultrasonographic Study. *Digestive Diseases and Sciences*, **49**, 404-407. <https://doi.org/10.1023/b:ddas.0000020493.86898.b6>

- [25] Etherton, D., Tee, L., Tillett, C., Wong, Y.H., Yeong, C.H. and Sun, Z. (2020) 3D Visualization and 3D Printing in Abnormal Gastrointestinal System Manifestations of Situs Ambiguus. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **10**, 1877-1883. <https://doi.org/10.21037/qims-20-661>
- [26] 陈晓康, 陈泽坤, 吕国荣. 三维超声 VOCAL 技术在小儿功能性消化不良中的应用[J]. 中国超声医学杂志. 2016, 32(4): 330-333.
- [27] Harindranath, A., Shah, K., Devadass, D., George, A., Banerjee Krishnan, K. and Arora, M. (2024) IMU-Assisted Manual 3D-Ultrasound Imaging Using Motion-Constrained Swept-Fan Scans. *Ultrasonic Imaging*, **46**, 164-177. <https://doi.org/10.1177/01617346241242718>
- [28] Kothapalli, S.V.V.N., Partanen, A., Zhu, L., Altman, M.B., Gach, H.M., Hallahan, D.E., et al. (2018) A Convenient, Reliable, and Fast Acoustic Pressure Field Measurement Method for Magnetic Resonance-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Systems with Phased Array Transducers. *Journal of Therapeutic Ultrasound*, **6**, Article No. 5. <https://doi.org/10.1186/s40349-018-0113-7>
- [29] Mundt, M.W. and Samsom, M. (2006) Fundal Dysaccommodation in Functional Dyspepsia: Head-to-Head Comparison between the Barostat and Three-Dimensional Ultrasonographic Technique. *Gut*, **55**, 1725-1730. <https://doi.org/10.1136/gut.2004.062836>
- [30] Gilja, O., Detmer, P., Jong, J., Leotta, D., Li, X., Beach, K., et al. (1997) Intra-gastric Distribution and Gastric Emptying Assessed by Three-Dimensional Ultrasonography. *Gastroenterology*, **113**, 38-49. [https://doi.org/10.1016/s0016-5085\(97\)70078-7](https://doi.org/10.1016/s0016-5085(97)70078-7)
- [31] Qi, R., Shi, Z., Weng, Y., Yang, Y., Zhou, Y., Surento, W., et al. (2019) Similarity and Diversity of Spontaneous Brain Activity in Functional Dyspepsia Subtypes. *Acta Radiologica*, **61**, 927-935. <https://doi.org/10.1177/0284185119883391>
- [32] Futagami, S., Yamawaki, H., Agawa, S., Higuchi, K., Ikeda, G., Noda, H., et al. (2018) New Classification Rome IV Functional Dyspepsia and Subtypes. *Translational Gastroenterology and Hepatology*, **3**, Article No. 70. <https://doi.org/10.21037/tgh.2018.09.12>
- [33] Huang, B., Cui, D., Ren, Y., Yan, F., Zhao, X., Yuan, W., et al. (2021) The Use of Ultrasonic Imaging Technology in the Diagnosis and Treatment of Functional Dyspepsia. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, **11**, 579-583. <https://doi.org/10.1166/jmihi.2021.3373>
- [34] Lin, Y., Chen, Z. and Yang, F. (2013) Ultrasound-Based Multimodal Molecular Imaging and Functional Ultrasound Contrast Agents. *Current Pharmaceutical Design*, **999**, 6-10. <https://doi.org/10.2174/13816128113198880008>
- [35] Cvetkovic, M., Jovanovic, I., Crevar-Marinovic, S., Brankovic, M., Mandic, O., Maksimovic, J., et al. (2024) The Role of Ultrasonography in the Diagnosis of Functional Dyspepsia. *Experimental and Applied Biomedical Research (EABR)*, **25**, 27-32. <https://doi.org/10.2478/sjecr-2021-0003>
- [36] Takakura, W., Surjanhata, B., Nguyen, L.A.B., Parkman, H.P., Rao, S.S.C., McCallum, R.W., et al. (2024) Predicting Response to Neuromodulators or Prokinetics in Patients with Suspected Gastroparesis Using Machine Learning: The “BMI, Infectious Prodrome, Delayed GES, and No Diabetes” Model. *Clinical and Translational Gastroenterology*, **15**, e1. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000743>
- [37] Lorraine-Francis, H., Newberry, E. and Aziz, I. (2022) Diagnostic Yield of Upper Gastrointestinal Endoscopy in Patients Attending a UK Centre with Symptoms Compatible with Rome IV Functional Dyspepsia. *Frontline Gastroenterology*, **14**, 306-311. <https://doi.org/10.1136/flgastro-2022-102268>
- [38] Ho, L., Chen, S., Ho, F.F., Wong, C.H.L., Ching, J.Y.L., Cheong, P.K., et al. (2022) Comparing Diagnostic Performance of Cantonese-Chinese Version of Rome IV Criteria and a Short Reference Standard for Functional Dyspepsia in China. *BMC Gastroenterology*, **22**, Article No. 432. <https://doi.org/10.1186/s12876-022-02520-6>