

利用超声观察术中心腔内栓子及血流动力学改变：现状与未来展望

户嘉祺¹, 胡文静¹, 韩彬^{2*}

¹西安医学院研工部, 陕西 西安

²西安医学院第一附属医院麻醉科, 陕西 西安

收稿日期: 2024年6月17日; 录用日期: 2024年7月11日; 发布日期: 2024年7月19日

摘要

随着超声技术的不断发展, 且由于其便捷方便的特点, 手术室对超声技术的使用率逐渐提高。异位栓塞于部分手术中具有一定的发病率, 病死率高。超声可以通过观察血流动力学改变及心腔内结构与情况, 实时的观察术中栓子的存在与影响。本文对通过超声监测心腔内栓子及血流动力学改变的方法及进展情况进行简单概述, 说明其使用方法及使用条件、优点与局限性, 对目前进展进行概括。通过本文以期对其临床应用提供一些参考, 对部分手术提供一种监测方法。

关键词

麻醉, 超声心动图, 栓塞

Using Ultrasound to Observe Intraluminal Emboli and Hemodynamic Changes during Surgery: Current Situation and Future Prospects

Jiaqi Hu¹, Wenjing Hu¹, Bin Han^{2*}

¹Department of Graduate Studies, Xi'an Medical College, Xi'an Shaanxi

²Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Xi'an Medical College, Xi'an Shaanxi

Received: Jun. 17th, 2024; accepted: Jul. 11th, 2024; published: Jul. 19th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 户嘉祺, 胡文静, 韩彬. 利用超声观察术中心腔内栓子及血流动力学改变: 现状与未来展望[J]. 临床医学进展, 2024, 14(7): 756-763. DOI: 10.12677/acm.2024.1472077

Abstract

With the continuous development of ultrasound technology and its convenient characteristics, the utilization rate of ultrasound technology in operating rooms is gradually increasing. Ectopic embolization in some operations has a certain incidence rate and high mortality. Ultrasound can observe changes in hemodynamics and the structure and condition of the heart cavity, allowing for real-time observation of the presence and impact of emboli during surgery. This article provides a brief overview of the methods and progress of monitoring intracardiac emboli and hemodynamic changes through ultrasound, explaining their usage methods and conditions, advantages and limitations, and summarizing the current progress. This article aims to provide some reference for its clinical application and a monitoring method for some surgeries.

Keywords

Anaesthesiology, Echocardiography, Embolism

Copyright © 2024 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

在临床工作中, 超声(US)已经成为常用成像技术之一。超声技术近年来发展迅速, 并具有无痛、无辐射、经济实用、实时成像等优点[1]; 超声心动图是诊断心脏疾病的主要影像学方法[2], 有助于诊断和管理慢性心力衰竭。其可以测量心肌运动速度, 从而评估整体或局部的心肌功能[3], 还可用于评估左心室结构和功能。超声心动图在未来不仅应被视为心血管疾病的诊断依据, 还应被视为预测风险和靶向治疗的方法[4]。超声心动图的应用方法有很多, 例如经食管超声心动图、经胸超声心动图、造影剂增强的超声心动图以及手持式超声心动图[5]-[8]。本文说明当前利用超声心动图在手术中观察心腔内栓子及血流动力学改变的现状, 以期为未来术中血流动力学监测及探究其变化原因提供一种新的思路与临床依据。

2. 经食管超声心动图(TEE)

2.1. 经食管超声心动图

经食管超声心动图(TEE)可以为心脏、血管以及纵隔等部位提供新的超声检查声窗, 并可提供其解剖学和血流动力学相关信息。对于左心耳、胸主动脉、房间隔、二尖瓣亦可以进行高质量可视化[9]。TEE换能器放置位置位于心脏周围, 可以生成结构清晰的心腔内空间图像。术中 TEE 的地位已经从一种诊断工具演变为较为常规的监测和辅助手段[10]。

2.2. 经食管超声心动图(TEE)术中应用

对 TEE 的概念给予解释可以追溯到 1976 年[11]。术中经食管超声心动图是一种标准化的辅助诊断与监测的工具, 适用范围非常广泛, 不仅仅局限于管理和准备进行心胸外科手术的, 此外还适用于冠状动脉血运重建、复杂的心脏瓣膜修复、器官移植手术等等[12]。手术中, TEE 可用于管理接受二尖瓣修复的患者以及监测接受神经外科手术或髋关节置换术的患者的空气和脂肪栓塞情况[13]。

2.2.1. TEE 在术中的应用

经食管超声心动图(TEE)可以在术中监测节段性室壁运动异常(SWMA)的发生,SWMA 可以较为敏感的反应心肌缺血的情况。一项涉及 156 例患者对比经食管超声心动图与心电图变化关系的研究中,大约 40%的患者产生了新发经食管超声心动图的变化,但没有发生与之相应的临床事件或者显著的血流动力学变化[14]。该研究表明术中使用 TEE 可以观察到常规手段无法监测的血流动力学变化,进一步对术中发生血流动力学变化的原因做出探究及解释。

2.2.2. TEE 在术中对血流动力学监测的应用

该研究表明术中使用 TEE 可以观察到常规手段无法监测的血流动力学变化,进一步对术中发生血流动力学变化的原因做出探究及解释。尽管对于肺栓塞的及时诊断与治疗使其相关死亡率降低,但急性肺栓塞仍然是一种潜在的危及生命的疾病,目前死亡率约为 5%~7% [15] [16]。对于肺栓塞的首选检查是螺旋计算机断层扫描(CT),但对于手术中不方便行 CT 检查的情况下,经食管超声心动图有助于帮助临床医生在术中做出诊断,采取相应措施以保护患者生命[17]。

在使用骨水泥行髋关节置换术中对心腔内栓子的观察:

在 1997 年, Noëlle D. Lafont 等人在利用骨水泥行髋关节置换术中使用经食管超声心动图观察术中心腔内栓子,经食管超声心动图监测显示,除了 1 例患者没有发现心腔内回声,其他患者均有回声影穿过右心房和右心室[18]。2008 年, Giovanni Bisignani 等人在该类术中观察到右心腔内出现雪花样变化,其为大小不同的强回声可移动栓子[19]。有报道说明,这些栓子的组成成分可能是脂肪、空气或骨髓[20] [21]。M Hayakawa 等人对栓子的组成成分做出了研究,该研究利用经食管超声心动图在术中出现“雪花样栓子”时抽吸栓子,并对其进行病理分析,随后推测“雪花样栓子”是具有纤维蛋白附着的微小骨碎片[22]。

结论:在明确栓子组成成分以及栓子引起的血流动力学变化的研究过程中,经食管超声心动图不仅仅可以观察术中产生的栓子,还可以对栓子进行抽吸后进行病理分析,明确栓子的成分。该方法提供了一种术中观察栓子,并且明确栓子组成成分的一种新方法,避免了术后产生栓子相关并发症后采取更为复杂且昂贵的检查项目。术中应用经食管超声心动图监测栓子与血流动力学改变是一种便捷简易的新方法。

对术中发生空气栓塞的监测:

1983 年的一项临床评估中,6 名患者中有 5 名通过经食管超声心动图清楚地显示空气。其研究结果表明,相较于其他方法,经食管超声心动图可能是一种检测静脉空气栓塞更灵敏、更准确的方法,当时适用于以坐姿接受神经外科手术的患者。该方法还能够监测在手术期间因心内或肺内分流而出现的反常空气栓塞[23]。2017 年,一项名为经食管超声心动图确诊肝部分切除术空气栓塞的一例病例报道中,经 TEE 检查发现大量连续气泡进入右心,确诊发生空气栓塞[24]。

2014 年,一项研究使用经食管超声心动图监测在宫腔镜术中患者心腔内气体栓塞状况,探究心腔内气体栓子的发生率、发生的时间和程度及其对循环呼吸的影响。在选择的 40 例患者中,有 38 例患者在静脉全麻下行宫腔镜手术,其 38 例患者术中 TEE 均出现心腔内见气体栓子,术中 24 例(63.2%)患者出现了与空气栓塞级别呈正相关的室壁运动异常(SWMAs),5 例(13.1%)出现了心率增快最高达 120 次/min,15 例(39.5%)患者伴有持续时间 2 分钟,SpO₂ 数值为 93%~94%的一过性指脉氧饱和度下降[25]。常规术中生命体征监测无法观察到室壁运动异常,可能导致恶性心律失常或心肌缺血事件的发生。

结论:使用 TEE 在手术中进行实时监测,可以及时观察到患者心腔内空气栓塞的情况,为麻醉医生提前采取相应措施,保障患者手术中生命安全创造了条件。

对术中心腔内栓子的监测:

对一项对于肾细胞癌(RCC)伴肿瘤血栓(TT)患者的研究中,研究人员术中使用连续 TEE 监测肿瘤血

栓。研究过程中,TEE 显示肿瘤血栓在下腔静脉(IVC)和右心房内是可移动的,肿瘤血栓与下腔静脉以及右肾的一部分一起被整体切除,连续 TEE 不单发现了心脏内栓子,在移除过程中也确保肿瘤血栓在过程中没有脱落[26]。

2023 年,一项病例报道中,2 例患者在 IV 期肿瘤血栓 RCC 的手术治疗中发现了术后残留的肿瘤血栓。TEE 有助于排查手术后残余的肿瘤血栓,并能较早的发现不良时间比如心力衰竭或肿瘤血栓栓塞[27]。

2.3. 应用经食管超声心动图(TEE)的局限性

超声心动图长期以来经常用于评估心源性栓塞的患者。但经食管超声心动图(TEE)在以下情况下会受到限制:胸部畸形、慢性阻塞性肺疾病(COPD)或肥胖患者的影像效果不佳。原因可能是组织结构或气体对超声产生影响。导致左心不能清晰地成像。在人工二尖瓣置换术后的患者中,左心房显示不充分或不完整(由于人工二尖瓣材料对超声束的衰减);此外,房间隔通常不能充分显示,对卵圆孔未闭的诊断也有所影响[28]。

经食管超声心动图(TEE)产生伪影导致错误诊断的情况很常见。对超声心动图伪影的误判可能会产生意外的后果,如导致不当的手术操作、增加体外循环时间或额外的介入手术。当怀疑存在伪影时,应评估多个视图,以便正确解释图像,做出正确诊断[29]。

3. 经胸超声心动图(Transthoracic Echocardiography, TTE)

3.1. 经胸超声心动图(TTE)

经胸超声心动图是初始筛查工具(I 类),可为瓣膜的血流动力学评估提供影像依据[30]。在评估中国人与欧美人心肺结构/功能差异的研究中,使用了经胸超声心动图评估差异[31]。经胸超声心动图虽然较经食管超声心动图来说存在误差的几率更大,但其无创、便捷和易于学习的特点仍值得在部分手术中使用,例如术中监测危重病人的血流动力学变化,心腔内变化或栓子。

3.2. 经胸超声心动图(TTE)在急诊手术中的应用

在例如主动脉夹层、心包积液等急诊病例中,术中应用经胸超声心动图的目的包括但不限于明确临床诊断,了解疾病相关并发症的发生、发展进程以及严重程度,并且对于产生血流动力学变化的病因(如异常室壁运动、心包积液、主动脉夹层)做出诊断。对于患有感染性心内膜炎而进行急诊手术的患者,不仅仅应仔细评估瓣膜病变,还应谨慎评估可能由于疾病发展迅速而产生的并发症。若观察到主动脉根部脓肿、假性动脉瘤、心脏纤维化、心肌脓肿、冠状动脉心内瘘以及瓣膜假体裂开等情况时,可能会显著对手术决策及计划产生影响[32]。

3.3. 应用经胸超声心动图(TTE)观察或诊断栓子

研究表明经胸超声心动图能够对心脏潜在栓子进行观察,并且具有无创性,安全性高的优点[33]。2024 年 1 月 Rukmini Roy 在研究中,试图明确右心室血栓出现情况下的超声心动图特点和临床特征。大约 50% 的右心室血栓(RVT)是于非标准成像平面中发现的,这表明右心室血栓的发生率在临床中可能被低估[34]。TTE 对导致栓塞性卒中的心源性栓子的检出有一定价值,能及时明确患者的心源性栓塞特点,且对患者预后具有预测价值[35]。

3.4. 应用经胸超声心动图(TTE)在术中观察栓子及血流动力学改变

紧急超声心动图非常适合评估和指导胸痛、疑似心脏病因的呼吸衰竭和确诊或疑似急性肺栓塞伴血流动力学不稳定患者的治疗[36]。

3.5. 经胸超声心动图(TTE)的局限性

对于 TEE (经食管超声心动图)与 TTE (经胸超声心动图), TEE 应该是 TTE 的补充技术, 而不应取代 TTE。比如 TEE 在评估新生儿、婴儿和儿童先天性心脏病方面的作用有限, 因为 TTE 几乎可以提供此类患者所有的必要信息[11]。它的主要缺点是依赖于操作人员的超声技术, 且需要额外培训才能准确的完成成像。成像不清晰和诊断错误可以通过对该技术的培训、准确定位来克服[37]。

4. 手持式超声心动图(Handheld Echocardiography)的展望

第一台手持式超声设备 Acuson P10 (西门子)于 2007 年推出, 并作为医生和护士的诊断和筛查工具进行商业化。接下来的几年里, 手持式超声设备的成本和尺寸都在下降。与此同时, 图像质量、可用成像模式和测量精度方面的性能持续稳定提升[38]。

4.1. 测量一致性与结果一致性

2022 年一项纳入了 108 例受试者的研究中, 在超声技术经验丰富的人员使用中, HH 与大多数超声心动图指标(例如心室大小和功能评估以及狭窄瓣膜病变分析)表现出良好的相关性。HH 产生的报告与 STD 超声仪器相比, 室壁运动异常具有良好的一致性。左室肥厚、二尖瓣和主动脉瓣反流的一致性为中度, 三尖瓣和肺动脉瓣反流的一致性较低[39]。

2023 年一项纳入了 42 例受试者, 对比手持式超声心动图与高端超声仪器(STD 系列)测量一致性与结果一致性的研究中, HH 获得的测量值通常高于 STD 获得的测量值, 最高平均差异为 0.4 mm, 但没有显著差异[40]。

上述研究说明手持式超声心动图具有与 STD 超声仪器测量一样可靠的性能。可以使用手持式超声心动图测量心腔血流动力学参数, 并生成可信度高的图像与数据。

4.2. 对于术中观察心腔内栓子及血流动力学变化

2016 年, 对于术中应用手持式超声心动图的可行性做出研究。其基本方法是两名麻醉医生随机使用手持式声系统, 另一位使用高端超声系统。与标准超声系统比较其成像质量、诊断可靠性和变异性。所有 40 例患者均表现出可接受的成像质量, 成功率为 1.0 (97.5% CI 0.91~1, $p = 0.015$)。手持式超声心动图对每个视图的单独成像评分显著降低, 但仍显示出可接受的成像质量。应用手持式超声心动图仪进行术中 TTE 是可行的, 可用于手术室相关并发症的初步评估[41]。

4.3. 手持式超声心动图的局限性

对于广泛推广手持式超声心动图, 设备的成像质量及其可靠性是至关重要的。目前手术室等环境均具备成像效果更好的超声设备, 故限制了手持式超声心动图的应用。

5. 结语

综上所述, 应用超声技术观察术中心腔内栓子及血流动力学变化是可靠的。采用经胸超声、经食管超声以及手持式超声心动图, 都能取得较为满意的成像质量以及效果。对于预见及评估术中并发症并提前采用相应措施提供依据。为术中明确血流动力学变化原因以及观察术中心腔内栓子提供了一种新型无创的监测手段。

参考文献

- [1] 刘盛锋, 王毅, 杨鑫, 等. 深度学习在医学超声图像分析中的应用综述[J]. 工程, 2019, 5(2): 261-275+291-307.

- [2] Chamsi-Pasha, M.A., Sengupta, P.P. and Zoghbi, W.A. (2017) Handheld Echocardiography: Current State and Future Perspectives. *Circulation*, **136**, 2178-2188. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.026622>
- [3] Nakatani, S. (2006) [Echocardiography]. *Nihon Rinsho*, **64**, 867-873.
- [4] Steeds, R.P. (2011) Echocardiography: Frontier Imaging in Cardiology. *British Journal of Radiology*, **84**, S237-S245. <https://doi.org/10.1259/bjr/77730594>
- [5] Wang, C., Wang, Z., Zheng, Y., Wang, J. and Sun, L. (2024) Perioperative Echocardiography in Minimally Invasive Surgery for Hypertrophic Obstructive Cardiomyopathy. *Journal of Clinical Ultrasound*. <https://doi.org/10.1002/jcu.23732>
- [6] Besola, L., Falcetta, G., Ceravolo, G., Fiocco, A. and Colli, A. (2024) New Echocardiographic Screening Tool for Left Ventricular Tract Obstruction Risk Assessment in TMVR. *International Journal of Cardiology*, **408**, Article 132112. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2024.132112>
- [7] Katende, A., Oehri, J., Urrio, V.Z., Mahundi, E., Wilson, L., Myovela, V., Mlula, C., Chitimbwa, C., Mbawala, C., Faustine, F., Mteki, V., Gingo, W., Kitila, F., Mwasongwe, I., Bucher, C., Elzi, L., Okuma, J., Zoller, T., Paris, D.H., Weisser, M. and Rohacek, M. (2024) Use of a Handheld Ultrasonographic Device to Identify Heart Failure and Pulmonary Disease in Rural Africa. *JAMA Network Open*, **7**, e240577. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.0577>
- [8] Lanzzone, A.M., Castelluccio, E.V., Della, Pina, P., Boldi, E., Lussardi, G., Frati, G., Gaudio, C. and Biondi-Zoccai, G. (2024) Comparative Diagnostic Accuracy of Transcranial Doppler and Contrast-Enhanced Transthoracic Echocardiography for the Diagnosis of Patent Foramen Ovale and Atrial Septal Defect. *Panminerva Medica*, **66**, 124-130. <https://doi.org/10.23736/S0031-0808.24.05123-1>
- [9] Tee, E.A. and Shah, P.M. (1992) Transesophageal Echocardiography. *Journal of Intensive Care Medicine*, **7**, 113-126. <https://doi.org/10.1177/088506669200700301>
- [10] Mahmood, F., Christie, A. and Matyal, R. (2008) Transesophageal Echocardiography and Noncardiac Surgery. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **12**, 265-289. <https://doi.org/10.1177/1089253208328668>
- [11] Frazin, L., Talano, J.V., Stephanides, L., Loeb, H.S., Kopel, L. and Gunnar, R.M. (1976) Esophageal Echocardiography. *Circulation*, **54**, 102-108. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.54.1.102>
- [12] Thys, D.M., et al. (2010) Practice Guidelines for Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesthesiology*, **112**, 1084-1096. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181c51e90>
- [13] Khandheria, B.K., Seward, J.B. and Tajik, A.J. (1994) Transesophageal Echocardiography. *Mayo Clinic Proceedings*, **69**, 856-863. [https://doi.org/10.1016/S0025-6196\(12\)61788-1](https://doi.org/10.1016/S0025-6196(12)61788-1)
- [14] London, M.J., Tubau, J.F., Wong, M.G., Layug, E., Hollenberg, M., Krupski, W.C., Rapp, J.H., Browner, W.S. and Mangano, D.T. (1990) The "Natural History" of Segmental Wall Motion Abnormalities in Patients Undergoing Non-cardiac Surgery. *Anesthesiology*, **73**, 644-655. <https://doi.org/10.1097/00000542-199010000-00010>
- [15] Jimenez, D., de Miguel-Diez, J., Guijarro, R., et al. (2016) Trends in the Management and Outcomes of Acute Pulmonary Embolism: Analysis from the RIETE Registry. *Journal of the American College of Cardiology*, **67**, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.10.060>
- [16] Smith, S.B., Geske, J.B., Kathuria, P., et al. (2016) Analysis of National Trends in Admissions for Pulmonary Embolism. *Chest*, **150**, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.02.638>
- [17] Desciak, M.C. and Martin, D.E. (2011) Perioperative Pulmonary Embolism: Diagnosis and Anesthetic Management. *Journal of Clinical Anesthesia*, **23**, 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2010.06.011>
- [18] Lafont, N.D., Kalonji, M.K., Bane, J., et al. (1997) Clinical Features and Echocardiography of Embolism during Cemented Hip Arthroplasty. *Canadian Journal of Anesthesia*, **44**, 112-117. <https://doi.org/10.1007/BF03012997>
- [19] Bisignani, G., Bisignani, M., Pasquale, G.S. and Greco, F. (2008) Intraoperative Embolism and Hip Arthroplasty: Intraoperative Transesophageal Echocardiographic Study. *Journal of Cardiovascular Medicine*, **9**, 277-281. <https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e32807fb03a>
- [20] Christie, J., Burnett, R., Potts, H.R., et al. (1994) Echocardiography of Transatrial Embolism during Cemented and Uncemented Hemiarthroplasty of the Hip. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **76**, 409-412. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.76B3.8175843>
- [21] Pell, A.C., Christie, J., Keating, J.F., et al. (1993) The Detection of Fat Embolism by Transoesophageal Echocardiography during Reamed Intramedullary Nailing. A Study of 24 Patients with Femoral and Tibial Fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **75**, 921-925. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.75B6.8245083>
- [22] Hayakawa, M., Fujioka, Y., Morimoto, Y., Okamura, A. and Kemmotsu, O. (2001) Pathological Evaluation of Venous Emboli during Total Hip Arthroplasty. *Anaesthesia*, **56**, 571-575. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2044.2001.01913-2.x>

- [23] Furuya, H., Suzuki, T., Okumura, F., Kishi, Y. and Uefuji, T. (1983) Detection of Air Embolism by Transesophageal Echocardiography. *Anesthesiology*, **58**, 124-129. <https://doi.org/10.1097/0000542-198302000-00004>
- [24] 孙树俊, 王晓龙, 王赞, 等. 经食管超声心动图确诊肝部分切除术空气栓塞一例[J]. 临床麻醉学杂志, 2017, 33(2): 205-206.
- [25] 洪飏, 古妙宁, 段律芳, 等. 经食管超声心动图在宫腔镜术中患者心腔内气体栓塞状况的监测[J]. 实用医学杂志, 2014, 30(12): 1946-1949.
- [26] Mata, M., Tabbara, M.M., Alvarez, A., González, J. and Ciancio, G. (2024) Renal Cell Carcinoma with an “Uncoiling” Tumor Thrombus: Intraoperative Shift from Level III to Level IV. *World Journal of Surgical Oncology*, **22**, Article No. 76. <https://doi.org/10.1186/s12957-024-03355-z>
- [27] Łukasz, Trzciniecki, M., Bursiewicz, W., Trzciniecka, M., Mączka, K., Legieć, M., Sobieraj, J. and Kowal, P. (2023) The Role of Intraoperative Transesophageal Echocardiography in the Management of Renal Cell Carcinoma with Atrial Thrombus-Case Report. *Journal of Ultrasonography*, **23**, 28-31. <https://doi.org/10.15557/JoU.2023.0005>
- [28] Pearson, A.C., Labovitz, A.J., Tatineni, S. and Gomez, C.R. (1991) Superiority of Transesophageal Echocardiography in Detecting Cardiac Source of Embolism in Patients with Cerebral Ischemia of Uncertain Etiology. *Journal of the American College of Cardiology*, **17**, 66-72. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90705-E](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90705-E)
- [29] Le, H.T., Hangiandreou, N., Timmerman, R., Rice, M.J., Smith, W.B., Deitte, L. and Janelle, G.M. (2016) Imaging Artifacts in Echocardiography. *Anesthesia & Analgesia*, **122**, 633-646. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001085>
- [30] Garg, J., Palaniswamy, C., Pinnamaneni, S., Sarungbam, J. and Jain, D. (2016) Prosthetic Valve Thrombosis: Diagnosis and Management. *American Journal of Therapeutics*, **23**, e252-e255. <https://doi.org/10.1097/MJT.0000000000000117>
- [31] Guo, M., Diaz-Canestro, C., Ng, M.Y., Yiu, K.H. and Montero, D. (2023) The Chinese Cardiorespiratory and Circulatory System at Work in Women and Men: A Case-Control Study. *The Lancet Regional Health-Western Pacific*, **43**, Article 100975. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100975>
- [32] Nicoara, A., Skubas, N., Ad, N., Finley, A., Hahn, R.T., Mahmood, F., Mankad, S., Nyman, C.B., Pagani, F., Porter, T.R., Rehfeldt, K., Stone, M., Taylor, B., Vegas, A., Zimmerman, K.G., Zoghbi, W.A. and Swaminathan, M. (2020) Guidelines for the Use of Transesophageal Echocardiography to Assist with Surgical Decision-Making in the Operating Room: A Surgery-Based Approach: From the American Society of Echocardiography in Collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists and the Society of Thoracic Surgeons. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **33**, 692-734. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.03.002>
- [33] Nanditha, S., Malik, V., Hasija, S., Malhotra, P., Sreenivas, V. and Chauhan, S. (2019) Comparison of Grading of Aortic Stenosis between Transthoracic and Transesophageal Echocardiography in Adult Patients Undergoing Elective Aortic Valve Replacement Surgeries: A Prospective Observational Study. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, **22**, 194-198. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_4_18
- [34] Roy, R., Guile, B., Sun, D., Szasz, T., Singulane, C.C., Nguyen, D., Abutaleb, A., Lang, R.M. and Addetia, K. (2024) Right Ventricular Thrombus on Echocardiography. *American Journal of Cardiology*, **211**, 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2023.10.080>
- [35] 谢文, 张纯, 刘金凤, 等. 经胸超声心动图对栓塞性卒中患者心源性栓子的诊断及预后评估[J]. 心肺血管病杂志, 2023, 42(10): 1056-1061.
- [36] Torbicki, A., Perrier, A., Konstantinides, S., Agnelli, G., Galiè, N., Pruszczyk, P., Bengel, F., Brady, A.J., Ferreira, D., Janssens, U., Klepetko, W., Mayer, E., Remy-Jardin, M. and Bassand, J.P. (2008) ESC Committee for Practice Guidelines (CPG). Guidelines on the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism: The Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, **29**, 2276-2315. [https://doi.org/10.1016/S1885-5857\(09\)60060-8](https://doi.org/10.1016/S1885-5857(09)60060-8)
- [37] Dennis, A., Arhangelschi, I., Simmons, S. and Royse, C. (2010) Prospective Observational Study of Serial Cardiac Output by Transthoracic Echocardiography in Healthy Pregnant Women Undergoing Elective Caesarean Delivery. *International Journal of Obstetric Anesthesia*, **19**, 142-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijoa.2009.06.007>
- [38] Wilkinson, J.N. and Saxhaug, L.M. (2021) Handheld Ultrasound in Training—The Future Is Getting Smaller! *Journal of the Intensive Care Society*, **22**, 220-229. <https://doi.org/10.1177/1751143720914216>
- [39] Blume, G.G., Lechinewski, L.D., Vieira, I.P., Clausell, N., Bertinato, G.P., Machado-Júnior, P.A.B., Berro, P.G., Moura, L.A.Z. and Tsang, T. (2022) Handheld Echocardiography in a Clinical Practice Scenario: Concordances Compared to Standard Echocardiographic Reports. *Journal of Cardiovascular Imaging*, **30**, 25-34. <https://doi.org/10.4250/jcvi.2020.0241>
- [40] Haji-Hassan, M., Duțu, B. and Bolboacă, S.D. (2023) Handheld Echocardiography Measurements Concordance and Findings Agreement: An Exploratory Study. *Diagnostics*, **13**, Article 853.

<https://doi.org/10.3390/diagnostics13050853>

- [41] Kratz, T., Exner, M., Campo, dell'Orto, M., Timmesfeld, N., Schüttler, K.F., Efe, T., Zoremba, M., Wulf, H. and Steinfeldt, T. (2016) A Pocket-Sized Hand Held Ultrasound System for Intraoperative Transthoracic Echocardiography by Anaesthesiologists: A Feasibility Study. *Technology and Health Care*, **24**, 309-315.
<https://doi.org/10.3233/THC-161131>