超声在气道管理中的应用进展

吴庆达 郑镇伟 刘彬 杜瑞明

【摘要】 超声在气道管理领域的研究不断取得的进展,为临床上将超声应用于气道管理提供了理论依据和新思路,拓宽了超声在气道管理方面的应用范围。超声能够实时显影和测量全气道的几乎所有组织结构,保证气道解剖结构的准确定位及测量,为气道评估提供客观的理论支持。超声可实时成像的特点有助于引导气管插管、确定气管导管及喉罩位置、评估胃内容物等。人工智能提高了超声识别解剖结构的准确率和效率,促进超声在气道管理的拓展应用。本文简述超声在实时引导气管插管、确定气管插管位置、确认喉罩准确对位、预测成功拔管、预测困难气道、定位气道解剖结构、评估胃内容物误吸风险等方面的应用进展,并讨论超声结合人工智能在气道管理领域的应用。

【关键词】 超声;气道管理;胃内容物;气道解剖结构;人工智能

Progress on the application of ultrasound in airway management WU Qingda, ZHENG Zhenwei, LIU Bin, DU Ruiming. Department of Anesthesiology, the Second Affiliated Hospital of Shantou University Medical College, Shantou 515041, China

Corresponding author: ZHENG Zhenwei, Email: wind_8228@163.com

【Abstract】 Research on application of ultrasound has made continuous progress in airway management, providing theoretical basis and new ideas for clinical use of ultrasound in airway management, and expanding the application range of ultrasound in airway management. Ultrasound can develop real-time imaging and measure almost all the tissue structures of the whole airway, ensuring the accurate locating and measurement of airway anatomical structure, which offers objective theoretical support for airway evaluation. Its characteristic of real-time imaging also helps to guide endotracheal intubation, determine the position of endotracheal tube and laryngeal mask airway, and assess gastric contents. Artificial intelligence improves the accuracy and efficiency of ultrasonic identification of anatomical structure, which promotes the expanded application of ultrasound in airway management. This article briefly outlines the recent advance in the application of ultrasound in guiding endotracheal intubation, confirming endotracheal intubation, detecting laryngeal mask airway position, predicting successful tracheal extubation, predicting difficult airway, locating airway anatomical structure, and assessing the risk of gastric aspiration, and discusses the application of ultrasound combined with artificial intelligence in airway management.

【Key words】 Ultrasound; Airway management; Gastric contents; Airway anatomy; Artificial intelligence

超声在临床麻醉、重症监护及急诊医学等学科中的应用范围不断拓展,具有无辐射、便携、可实时成像等优点,应用于气道管理具有独特优势。气道管理是事关患者生命安全的重要内容,包括气道评估、维持呼吸道通畅、防止通气失败和防止胃内容物误吸等内容。超声适用于引导气管插管、确定气管插管位置、确认喉罩准确对位、预测气管拔管、预测困难气道、定位及测量气道解剖结构、评估胃内容物误吸风险等方面。近年来,人工智能学科也开

始应用于气道管理领域。因此,本文将重点介绍超声在气道管理领域的应用进展,并讨论超声结合人工智能在气道管理领域的应用。

围术期气道管理的辅助应用

气管导管型号的选择 临床上用于小儿气管插管的导管型号可根据年龄或身高公式计算得到,但由于小儿生长发育存在较大的个体差异,根据公式得到的导管型号常有误差。Gunjan 等^[1]比较了根据超声测量最小气道直径与根据年龄公式计算结果选用的导管型号,结果表明前者更为准确。Ye 等^[2]以电子游标卡尺测得的气管直径为标准,验证了超声测量气管直径的准确性。

DOI: 10.12089/jca.2023.12.014

基金项目:广东省医学科研基金(B2020050)

作者单位:515041 广东省汕头市,汕头大学医学院第二附属医院麻醉科

通信作者:郑镇伟,Email: wind_8228@163.com

在确定双腔管型号方面, Zhang 等^[3]比较超声与 CT 测量环状软骨横径的准确性, 结果表明两者的准确性相似, 均可用于双腔管型号的预测。Liu 等^[4]研究也得出以上结论, 并提出超声可用于确定亚洲女性使用的双腔管型号。

气管插管的实时引导 超声实时引导气管插管是超声在气管插管领域的另一应用形式。Fiadjoe 等^[5]在首个超声引导下直接气管插管病例上说明了实践流程: 一操作者横放超声探头在患者甲状舌骨膜水平以实时观察声门及咽喉部, 另一操作者经口气管插管, 在气管导管保持正中矢状位沿舌面进入声门时, 超声下见声门扩张则提示插管成功。Moustafa 等^[6]在 266 例颈椎位置固定的患者中比较超声和纤维支气管镜引导气管插管的成功率, 结果表明两者成功率和耗时均相近。但 Wang 等^[7]研究表明, 此对照试验可能因操作人员技术精通程度不同而存在偏倚。

气管插管位置的确定 与听诊和监测 $P_{ET}CO_2$ 图形比较, 超声可更准确判断气管导管是否进入气管, 在肥胖或胸部病变的患者中更是如此^[8]。目前三种常用方法为: (1) 将超声探头放在环甲膜位置实时扫查, 在导管进入气管时可观察到牵及甲状软骨的轻微震颤; (2) 把超声探头置于胸骨上切迹上方行横断面检查, 导管进入气管时可在气管声影内见导管声影, 使用此方法较听诊耗时更短^[8]; (3) 将超声探头置于胸部腋中线位置观察双侧“肺滑动征”以判断肺通气状态, 由于“肺滑动征”可因肺脏病理状态消失, 此方法仅为导管位置的确定提供辅助依据。

Farrokhi 等^[9] Meta 分析研究得出超声可用于确定成年患者气管插管位置的结论 (敏感性 98%, 特异性 94%), 同时验证了超声作为确定气管插管位置辅助检查的有效性。Chandnani 等^[10]在 92 例患儿中比较超声与胸部 X 线片确定气管导管位置的能力, 结果表明超声确认气管导管位置的敏感性为 97.7%, 与胸部 X 线片确认的结果比较, 其一致性达到 91.3%, 因此, 超声可用于确定患儿气管插管的位置。

喉罩准确对位的确认 临床上常用纤维支气管镜确认喉罩是否准确对位, 但检查过程中需停止通气, 而使用超声检查也可用于确定喉罩是否准确对位, 且无需停止通气^[11]。

喉罩准确对位时, 可通过超声获取以下 3 个标准影像平面: (1) 探头横置于甲状腺和舌骨间的横

断面, 可见两边缘光滑且充盈的套囊阴影对称分布在正中线两侧, 难以识别此影像时可通过充放套囊气体辅助确认; (2) 探头横置于胸骨上切迹外横断面, 可见食管上端和气管影像; 当探头沿正中线向头部移动时, 食管上端影像被套囊末端影像替代, 转变为一边缘清晰的近似圆形阴影; (3) 探头横置于胸骨上切迹外横断面后旋转 90°, 获取咽喉部旁矢状面的影像, 可观察到边缘清晰的“蛇头状”套囊阴影和相邻的食管影像。根据以上 3 个影像平面确定超声评分系统评估喉罩位置的标准: (1) 在甲状腺和舌骨间的横断面, a. 两套囊阴影分布不对称, b. 套囊边缘不充盈; (2) 在胸骨上切迹外横断面, c. 沿正中线移动探头时未见食管影像转变为套囊影像, d. 套囊成像模糊或边缘扭曲; (3) 在咽喉部旁矢状面, e. 同一平面内无法观察到套囊尖端和食管, f. 套囊成像模糊或边缘扭曲。根据超声影像符合以上 a—f 标准的数量计分, 1 个标准代表 1 分, 总分为 6 分, 0 分提示喉罩对位准确, 6 分提示喉罩位置错误。Song 等^[12]结合气体泄漏测试对超声评分系统的结果进行分级: 0 分, 喉罩对位准确, 无气体泄漏; 1~2 分, 少量气体泄漏, 但通气量充足; 3~4 分, 严重气体泄漏, 通气量不足; 5~6 分, 喉罩位置错误, 无法通气。

Arican 等^[13]使用上述超声评分及分级系统对 82 例患儿研究后提出超声是确认喉罩准确对位的无创性检查。Aichhorn 等^[14]研究表明, 在处于新生儿期和非新生儿期的患儿中, 喉罩准确对位时的超声影像相同, 这提示超声或许能够在新生儿患者中应用确认喉罩位置方面。因此, 超声有望成为适用于不同年龄患者确定喉罩准确对位的工具。

气管拔管成功的预测 长时间机械通气的患者易出现喉水肿和黏膜溃疡, 导致气管拔管后喘鸣事件, 超声可预测此类事件的发生^[11]。El Amrousy 等^[15]一项对 400 例患儿的研究表明, 在气管导管气囊进气和放气过程中, 通过声带的气柱宽度的差值小于 0.8 mm 可用于预测拔管后喘鸣 (敏感性 93%, 特异性 86%, 准确率 91%)。Dres 等^[16]研究表明, 拔管后 2 h 内的呼吸肌超声检查可用于预测拔管成功率。

困难气道的预测指标

困难气道可导致患者牙齿损伤、气道创伤、心跳骤停、脑损伤和死亡等不良事件^[17]。

颈前软组织厚度 超声测得的颈前软组织厚

度增加与困难气道高度相关^[18-19]。颈前软组织厚度的测量方法存在一定的差异,分别为会厌水平的皮肤到会厌的距离、舌骨水平的皮肤到舌骨的距离、声带水平的皮肤到声带前联合的距离。Carsetti 等^[18]研究表明,颈前软组织厚度增加常预示困难喉镜显露,其在会厌水平较在舌骨水平和声带水平的预测效能更高(敏感性 82%,特异性 79%)。Srinivasarangan 等^[19]研究表明,颈前软组织厚度增加与困难喉镜显露高度相关,并得出其在会厌水平的颈前软组织厚度增加预测困难喉镜显露的界值为 1.83 cm。但目前不同研究关于颈前软组织厚度对困难气道的预测界值存在较大差异,这可能与不同种族间脂肪分布的差异有关^[20]。Chan 等^[21]研究表明,中国健康成年人的颈前软组织厚度较其他人种小,且与 BMI 呈正相关。可见,超声测量的颈前软组织厚度可作为困难气道预测指标,但其预测界值尚未确定。

舌体积、舌纵截面积和皮舌厚度 舌体积、舌纵截面积和皮舌厚度是预测困难气道的常用指标。Parameswari 等^[22]研究表明,舌体积小于 100 cm³ 可作为初步排除困难气道的依据,准确率达 94.6%。Ohri 等^[23]比较不同舌体积计算方式对预测困难喉镜显露的影响,3 种计算方式为:(1)正中矢状面舌截面积与横断面舌宽度乘积;(2)冠状面舌截面积与横断面舌长度乘积;(3)舌长度、舌宽度与舌高度的乘积。这三种计算方式对预测困难喉镜显露同样有效的结论。Zheng 等^[24]研究表明,超声测得的舌纵截面积可较好地预测困难气道,并发现舌纵截面积大于 18.7 cm² 与舌体积大于 82.1 cm³ 对困难喉镜显露的预测效能相近。皮舌厚度指的是颏下皮肤到舌背面的最大垂直距离^[25]。Yao 等^[26]对 2 254 例患者分析结果表明,皮舌厚度大于 6.1 cm 可作为困难气管插管的独立预测指标(敏感性 75%,特异性 72%),皮舌厚度/甲颏间距比值大于 0.87 同时也是预测困难气管插管的重要指标(敏感性 84%,特异性 87%)。

舌骨的可见度 舌骨的可见度是气道评估的重要指标。Hui 等^[27]研究表明,舌下超声平面内未见舌骨可作为预测困难气管插管的指标(敏感性 70%,特异性 97%, $P < 0.01$)。

舌骨-会厌距离 陈旭等^[28]将 72 例患者分为困难喉镜显露组(Cormack-Lehane III 或 IV 级)和非困难喉镜显露组(Cormack-Lehane I 或 II 级),比较两组患者超声下的舌骨-会厌距离,结果表明舌骨-

会厌距离可作为预测困难喉镜显露的指标($P < 0.05$, AUC = 0.84)。Abraham 等^[29]研究表明, Cormack-Lehane II 级提示有轻度困难喉镜显露,因此,将 Cormack-Lehane II—IV 级均视为困难喉镜显露,将 Cormack-Lehane I 级视为非困难喉镜显露,并据此将 137 例患者分为困难喉镜显露和非困难喉镜显露两组,比较两组患者超声下的舌骨-会厌距离,并得出两者无明显差异的结论。这两个研究得到的结论不同,考虑可能与分组标准不同有关。

颏舌骨肌长度 颏舌骨肌的起止点分别为下颌骨颏棘和舌骨,其长度可间接反映下颌长度。刘春红等^[30]研究表明,颏舌骨肌长度缩短对患有阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的困难喉镜显露的预测效能较好,其界值为 4.09 cm。郑镇伟等^[31]研究表明,超声测得颏舌骨肌长度缩短提示患儿有困难喉镜显露风险,在 5~8 岁和 9~12 岁患儿中,颏舌骨肌长度分别小于 3.85 cm 和 4.19 cm 时,提示患儿可能存在困难喉镜显露。

髁突的活动度 髁突活动受限与困难气道有关。Yao 等^[32]研究表明,髁突活动度 ≤ 1 cm 可作为困难喉镜显露的预测标准(敏感性 81%,特异性 91%)。Bindu 等^[33]研究表明,髁突活动度减少可作为困难喉镜显露的独立预测因子。

上述多个超声指标可有效用于困难气道的预测,为临床上困难气道的评估提供了更多备选方案,并且结合不同的超声指标进行气道评估可以提高预测困难气道的敏感性和特异性。

气道解剖结构的定位

环甲膜是处理困难气道的重要解剖位置。英国困难气道学会提出建立颈前外科气道是处理紧急气道的最终方案,包括环甲膜的定位、环甲膜切开术、气管切开术,并选择超声为确定环甲膜位置的工具^[34]。

超声识别环甲膜有两种策略,分别是颈前正中横断面扫描策略和颈前正中矢状面扫描策略。颈前正中横断面扫描策略常被使用,具体为:(1)使用超声探头找到“倒 V”状的甲状软骨;(2)向下滑动探头找到一高亮白线以确认环甲膜的位置;(3)继续下滑探头找到低回声马蹄状的环状软骨;(4)返回探头确认环甲膜。Price 等^[35]指出采用此策略检查短颈患者耗时更短,更有效;采用颈前正中矢状面扫描策略可以探测到大血管和其他结构,例如环状软骨-气管膜和气管间隙,这对年龄较小的患儿

和肿瘤覆盖于环甲膜上的患者尤其重要。

超声检查为经皮气管切开术提供引导和安全保证。它可引导术者寻找正确的穿刺部位,确定皮肤到目标部位的距离,避免损伤周围血管和软组织,并可用于确定气管造口管大小,其在气道解剖结构异常病例的准确定位上具备更加明显的优势^[11]。

胃内容物误吸风险的评估

超声可为评估胃内容物误吸风险提供直观的数据支持,这对无法明确进食时间、重度肥胖、急诊手术的患者尤为重要^[36]。Delamarre 等^[37]研究表明,床旁超声适用于需紧急评估全胃状态的外伤患者,是优先级较高的评估手段。

胃内容物性质可根据超声下显影判断:空腹状态的胃窦、充满清亮液体的胃窦,超声下可见“牛眼征”或“靶征”;胃窦内有空气和清亮液体混合物时,超声下可见点状高回声影,呈“满天星征”,此征象随内容物消化而消失;胃内容物为固体时,超声下见高回声和混合回声影,呈“磨砂玻璃征”。

根据超声下胃窦横截面面积将胃窦分为 3 级:0 级,仰卧位或右侧卧位均未见胃内容物;1 级,只在右侧卧位可观察到少量液体,提示胃内容物体积不超过 1.5 ml/kg;2 级,采取仰卧位和右侧卧位均可见液体,提示胃内容物量多,超过 1.5 ml/kg。2 级胃窦患者和胃内容物为固体的患者在围术期均有较高反流误吸风险;而 1 级胃窦通常提示反流误吸风险低^[36]。

人工智能模型的构建

在人工智能应用于气道管理方面,Biro 等^[38]研制了可自动识别声门的可视喉镜,并成功使用此设备在人体模型上完成气管插管操作。宋琳琳等^[39]提出人工智能在无法配合气道检查的患儿中有良好的应用前景。Matava 等^[40]开发了可实时标记声带和气道结构的机器学习模型(敏感性 87%,特异性 99%),为临床检查、处理困难气道提供更多依据。在人工智能应用于超声检查方面,Pesteie 等^[41]根据神经网络模型和特征增强技术,开发了可自动定位硬膜外腔解剖标志及硬膜外针超声影像的学习系统,辅助操作者使用超声识别解剖结构。

超声具有提供客观数据和可实时成像的能力,可为人工智能在鉴别困难气道、指导气管插管方面提供影像及参数数据。人工智能的超强学习能力和数据分析能力,可明显提高超声的识别效率及准

确率,从而辅助超声更快、更准确地识别气道解剖结构和气道相关指标的影像,促进超声在气道管理多个方面的拓展应用。

小 结

超声在气道管理领域应用广泛,是不可或缺的“视觉听诊器”。超声在引导气管插管、确认气管导管位置、确认喉罩准确对位、预测困难气道、定位环甲膜、评估胃内容物误吸风险、开发人工智能模型等方面的应用持续进展。但是,超声缺少 CT 和 MRI 那样评估气道内空间变化的能力,且成像质量和测量的准确度易受到操作者技术水平的影响,因此,超声在气道管理领域的拓展应用离不开操作人员技能水平的提高和超声仪器显影的不断进步。随着超声设备的更新迭代,超声的应用方式及范围也将不断更新,在气道管理领域发挥更加重要的作用。

参 考 文 献

- [1] Gunjan, Ankesh, Faseehullah MA. Is ultrasonography a better method of endotracheal tube size estimation in pediatric age group than the conventional physical indices-based formulae. *Anesth Essays Res*, 2020, 14(4): 561-565.
- [2] Ye R, Cai F, Guo C, et al. Assessing the accuracy of ultrasound measurements of tracheal diameter: an in vitro experimental study. *BMC Anesthesiol*, 2021, 21(1): 177.
- [3] Zhang C, Qin X, Zhou W, et al. Prediction of left double-lumen tube size by measurement of cricoid cartilage transverse diameter by ultrasound and CT multi-planar reconstruction. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 657612.
- [4] Liu S, Zhou J, Qi W, et al. Prediction of double-lumen tube size by ultrasonography for asian women: a prospective observational study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35(5): 1410-1415.
- [5] Fiadjoe JE, Stricker P, Gurnaney H, et al. Ultrasound-guided tracheal intubation: a novel intubation technique. *Anesthesiology*, 2012, 117(6): 1389-1391.
- [6] Moustafa MA, Arida EA, Zanaty OM, et al. Endotracheal intubation: ultrasound-guided versus fiberoptic in patients with cervical spine immobilization. *J Anesth*, 2017, 31(6): 846-851.
- [7] Wang SY, Xue FS, Liu YY. Comparing ultrasound-guided and fiberoptic-guided intubation. *J Anesth*, 2018, 32(1): 147.
- [8] Chowdhury AR, Punj J, Pandey R, et al. Ultrasound is a reliable and faster tool for confirmation of endotracheal intubation compared to chest auscultation and capnography when performed by novice anaesthesia residents-a prospective controlled clinical trial. *Saudi J Anaesth*, 2020, 14(1): 15-21.
- [9] Farrokhi M, Yarmohammadi B, Mangouri A, et al. Screening performance characteristics of ultrasonography in confirmation of endotracheal intubation, a systematic review and meta-analysis.

- Arch Acad Emerg Med, 2021, 9(1): e68.
- [10] Chandnani HK, Maxson IN, Mittal DK, et al. Endotracheal tube placement confirmation with bedside ultrasonography in the pediatric intensive care unit: a validation study. *J Pediatr Intensive Care*, 2021, 10(3): 180-187.
- [11] Jain K, Yadav M, Gupta N, et al. Ultrasonographic assessment of airway. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2020, 36(1): 5-12.
- [12] Song K, Yi J, Liu W, et al. Confirmation of laryngeal mask airway placement by ultrasound examination: a pilot study. *J Clin Anesth*, 2016, 34: 638-646.
- [13] Arican S, Pekcan S, Hacibeyoglu G, et al. The place of ultrasonography in confirming the position of the laryngeal mask airway in pediatric patients: an observational study. *Braz J Anesthesiol*, 2021, 71(5): 523-529.
- [14] Aichhorn L, Küng E, Habrina L, et al. The role of lung ultrasound in the management of the critically ill neonate—a narrative review and practical guide. *Children (Basel)*, 2021, 8(8): 628.
- [15] El Amrousy D, Elkashlan M, Elshmaa N, et al. Ultrasound-guided laryngeal air column width difference as a new predictor for postextubation stridor in children. *Crit Care Med*, 2018, 46(6): e496-e501.
- [16] Dres M, Similowski T, Goligher EC, et al. Dyspnoea and respiratory muscle ultrasound to predict extubation failure. *Eur Respir J*, 2021, 58(5): 2100002.
- [17] Apfelbaum JL, Hagberg CA, Connis RT, et al. 2022 American society of anesthesiologists practice guidelines for management of the difficult Airway. *anesthesiology*, 2022, 136(1): 31-81.
- [18] Carsetti A, Sorbello M, Adrario E, et al. Airway ultrasound as predictor of difficult direct laryngoscopy: a systematic review and meta-analysis. *Anesth Analg*, 2022, 134(4): 740-750.
- [19] Srinivasarangan M, Akkamahadevi P, Balkal VC, et al. Diagnostic accuracy of ultrasound measurements of anterior neck soft tissue in determining a difficult airway. *J Emerg Trauma Shock*, 2021, 14(1): 33-37.
- [20] Kajekar P, Mendonca C, Gaur V. Role of ultrasound in airway assessment and management. *Int J Ultrasound Appl Technol Perioperative Care*, 2010, 1(2): 97-100.
- [21] Chan WH, Sung CW, Chang HC, et al. Measurement of subglottic diameter and distance to pre-epiglottic space among Chinese adults. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0236364.
- [22] Parameswari A, Govind M, Vakamudi M. Correlation between preoperative ultrasonographic airway assessment and laryngoscopic view in adult patients: a prospective study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2017, 33(3): 353-358.
- [23] Ohri R, Malhotra K. Different 2D ultrasound calculation methods to evaluate tongue volume for prediction of difficult laryngoscopy. *Indian J Anaesth*, 2020, 64(Suppl 3): S193-S197.
- [24] Zheng Z, Ma W, Du R. Effectiveness and validity of midsagittal tongue cross-sectional area and width measured by ultrasound to predict difficult airways. *Minerva Anesthesiol*, 2021, 87(4): 403-413.
- [25] 郑镇伟, 王霞, 杜瑞明, 等. 超声测量皮舌厚度对小儿困难喉镜显露的预测作用. *中国超声医学杂志*, 2022, 38(7): 753-757.
- [26] Yao W, Wang B. Can tongue thickness measured by ultrasonography predict difficult tracheal intubation. *Br J Anaesth*, 2017, 118(4): 601-609.
- [27] Hui CM, Tsui BC. Sublingual ultrasound as an assessment method for predicting difficult intubation: a pilot study. *Anaesthesia*, 2014, 69(4): 314-319.
- [28] 陈旭, 章蔚, 夏敏, 等. 超声测量舌骨-会厌距离对喉镜显露困难的预测价值. *临床麻醉学杂志*, 2021, 37(6): 621-624.
- [29] Abraham S, Himarani J, Mary Nancy S, et al. Ultrasound as an assessment method in predicting difficult intubation: a prospective clinical study. *J Maxillofac Oral Surg*, 2018, 17(4): 563-569.
- [30] 刘春红, 陈序. 超声测量评估阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者困难气道的价值. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36(4): 334-337.
- [31] 郑镇伟, 马武华, 杜瑞明, 等. 超声测量不同气道指标预测患儿喉镜暴露困难的预测价值. *临床麻醉学杂志*, 2021, 37(4): 385-390.
- [32] Yao W, Zhou Y, Wang B, et al. Can mandibular condylar mobility sonography measurements predict difficult laryngoscopy. *Anesth Analg*, 2017, 124(3): 800-806.
- [33] Bindu HM, Dogra N, Makkar JK, et al. Limited condylar mobility by ultrasonography predicts difficult direct laryngoscopy in morbidly obese patients: an observational study. *Indian J Anaesth*, 2021, 65(8): 612-618.
- [34] Frerk C, Mitchell VS, McNarry AF, et al. Difficult airway society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults. *Br J Anaesth*, 2015, 115(6): 827-848.
- [35] Price TM, McCoy EP. Emergency front of neck access in airway management. *BJA Educ*, 2019, 19(8): 246-253.
- [36] Perlas A, Van de Putte P, Van Houwe P, et al. I-AIM framework for point-of-care gastric ultrasound. *Br J Anaesth*, 2016, 116(1): 7-11.
- [37] Delamarre L, Srairi M, Bouvet L, et al. Anaesthesiologists' clinical judgment accuracy regarding preoperative full stomach: diagnostic study in urgent surgical adult patients. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2021, 40(3): 100836.
- [38] Biro P, Hofmann P, Gage D, et al. Automated tracheal intubation in an airway manikin using a robotic endoscope: a proof of concept study. *Anaesthesia*, 2020, 75(7): 881-886.
- [39] 宋琳琳, 耿志宇, 王东信. 人工智能在小儿麻醉中的应用进展. *临床麻醉学杂志*, 2022, 38(9): 992-995.
- [40] Matava C, Pankiv E, Raisbeck S, et al. A convolutional neural network for real time classification, identification, and labelling of vocal cord and tracheal using laryngoscopy and bronchoscopy video. *J Med Syst*, 2020, 44(2): 44.
- [41] Pesteie M, Lessoway V, Abolmaesumi P, et al. Automatic localization of the needle target for ultrasound-guided epidural injections. *IEEE Trans Med Imaging*, 2018, 37(1): 81-92.

(收稿日期:2022-11-19)