

肌骨超声技术在阻塞性睡眠呼吸暂停综合征 评估中的应用进展

The application and research progress of musculoskeletal ultrasound technology in the observation of upper airway anatomy in obstructive sleep apnea syndrome

康瑞石^{1,2a}, 李卓伟^{1,2a}, 高昊天^{1,2a}, 张毅博^{1,2a}, 张 文^{2a,3}, 阳 洁^{2a,4}, 樊建刚^{2a},
李 彬^{2a}, 唐 晶^{2b}, 王 磊^{2b}, 赵小龙^{2a△}

KANG Rui-shi, LI Zhuo-wei, GAO Hao-tian, ZHANG Yi-bo, ZHANG Wen, YANG Jie, FAN Jian-gang,

LI Bin, TANG Jing, WANG Lei, ZHAO Xiao-long

1. 川北医学院临床医学系, 四川 南充 637000; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院) a. 耳鼻喉头颈外科, b. 超声科, 四川 成都 610072; 3. 成都中医药大学临床医学系, 四川 成都 610075; 4. 电子科技大学临床医学系, 四川 成都 610054

【摘要】 多导睡眠监测是诊断阻塞性睡眠呼吸暂停的金标准,可评估呼吸暂停低通气指数和睡眠分期,但对气道塌陷的动态解剖学解析不足。现代超声技术,尤其是肌骨超声,凭借实时动态成像、无辐射、操作简便和经济等优势,在上气道软组织动态评估中展现出潜力。本研究评述超声成像技术在阻塞性睡眠呼吸暂停患者上气道解剖结构动态评估中进展,重点探讨其在提升诊断准确性、优化个体化治疗方案以及预测治疗效果等潜在应用价值。

【关键词】 阻塞性睡眠呼吸暂停综合征;上气道解剖结构;肌骨超声;剪切波弹性成像

【中图分类号】 R762

【文献标志码】 B

【文章编号】 1672-6170(2026)04-0208-04

阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)在中年男性群体发病率约为4%,主要病理机制是夜间上气道反复塌陷^[1]。OSA患者上气道反复塌陷并非单一因素导致,而是解剖结构异常与神经肌肉调控失代偿共同作用的结果。部分病人源于冗余软组织堆积(如咽侧壁脂肪浸润)、骨性空间限制(如下颌后缩)等引起解剖结构异常,为气道塌陷提供了结构基础;除此之外,在正常生理状态下,神经系统可通过调控咽扩张肌,产生吸气相增强的相位性收缩与维持基础张力的张力性

收缩,协同对抗气道负压,维持气道开放;而OSA患者因中枢驱动延迟或肌纤维功能退化,导致神经肌肉调控失代偿,直接体现为上气道临界闭合压显著升高,最终导致睡眠期间气道抗塌陷能力下降^[1~3]。

当前临床评估上气道塌陷的常规方法包含影像学检查和药物诱导睡眠内镜(DISE)检查,均存在明显局限性。传统影像学技术存在辐射暴露风险,软组织分辨率不及缺乏动态评估等局限性。DISE的优势的是可在模拟睡眠状态下,动态评估

- [30] 樊瑛. 探讨宫腔镜下清宫术与常规清宫术治疗人工流产不全的临床效果[J]. 名医, 2020, 10(9): 22-23.
- [31] Rein T, Schmidt T, Hess A, et al. Hysteroscopic management of residual trophoblastic tissue is superior to ultrasound-guided curettage [J]. J Minim Invas Gyn, 2011, 18(6): 774-778.
- [32] 赵圣蕊, 曲慧灵, 许鑫鑫, 等. 体外受精-胚胎移植后稽留流产采用药物流产和清宫术效果比较 [J]. 山东大学学报(医学版), 2024, 62(02): 69-74.
- [33] Bord I, Gdalevich M, Nahum R, et al. Misoprostol treatment for early pregnancy failure does not impair future fertility [J]. Gynecological Endocrinology, 2014, 30(4): 316-319.
- [34] Bachar G, Abboud Y, Farago N, et al. Interpregnancy interval following missed abortion and the risk for preterm birth [J]. Eur J Obstet Gynecol, 2024, 300(2): 202-205.
- [35] Xiao S, Wan Y, Xue M, et al. Etiology, treatment, and reproductive prognosis of women with moderate-to-severe intrauterine adhesions [J]. Int J Gynecol Obstet, 2014, 125(2): 121-124.
- [36] Karavani G, Alexandroni H, Sheinin D, et al. Endometrial thickness

following early miscarriage in IVF patients is there a preferred management approach [J]. Reproductive Biology And Endocrinology, 2021, 19(1): 93.

- [37] 高国芳, 陈炜丽. 不同负压吸引术治疗稽留流产清宫术的疗效差异比较 [J]. 浙江创伤外科, 2024, 29(5): 899-901.
- [38] Cohen A, Karavani G, Zamir A, et al. Does ultrasound guidance during dilation and curettage for first trimester missed abortion reduce complication rates? [J]. Minerva Obstetrics and Gynecology, 2024, 76(3): 238-243.
- [39] 钱欢欢, 尹婷婷. 宫腔直视吸引系统与超声可视人工流产仪用于稽留流产患者负压吸引术的临床效果 [J]. 江苏医药, 2025, 51(4): 395-398.
- [40] Matthieu D, Claire B, Jadoul P, et al. Hysteroscopic resection for missed abortion: feasibility, operative technique and potential benefit compared to curettage [J]. Frontiers In Surgery, 2020, 7(5): 64.

(收稿日期: 2025-11-07; 修回日期: 2025-12-10)

(本文编辑: 彭 羽)

上气道的塌陷部位,为阻塞定位提供一定参考;但该方法的局限性在于,仅能观察气道塌陷的部位,无法显示导致气道塌陷的相关解剖结构(如咽扩张肌形态、脂肪堆积情况等),难以明确塌陷的根本病因。超声技术依靠其无创性、无辐射性及实时动态成像,且能清晰显示软组织,还可捕捉解剖结构的相对运动与功能变化等优势,目前已成为多种头颈部疾病诊断的标准方法^[4,5]。超声技术通过气道的静态与动态测量指标,不仅能精准定位阻塞部位,还具备评估持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)及气道外科手术术后疗效的潜力。本文系统回顾了超声技术在 OSA 患者上气道解剖结构研究中的应用,并着重探讨肌骨超声观测上气道相关形态及功能变化方面的应用^[2]。

1 使用肌骨超声观察上气道软组织成分

1.1 超声评估上气道解剖结构及 OSA 的病理机制 超声能够可视化上气道的解剖结构,并可区分脂肪组织、肌肉群和黏膜层。如图 1 所示(舌正中矢状面超声解剖图解),超声扫描深度足以覆盖口底肌群,包括下颌舌骨肌与颏舌骨肌。舌根背侧的黏膜因气-黏膜界面形成弧形强回声带;但其深部的干扰声波传导,导致深层结构显示受限。上气道软组织形态结构的变化是驱动 OSA 发生发展的关键病理基础之一。既往 MRI 研究咽外侧壁增厚被确定为 OSA 的主要解剖学病因^[6]。与 MRI 测量相比,超声获取的咽外侧壁厚度数据重复性更好,且与 OSA 严重程度显著相关^[7]。OSA 患者腭后咽部横径常呈减小趋势,提示腭后区气道狭窄是 OSA 的关键解剖特征^[3]。早期研究发现,通过颏下冠状面多普勒超声测量的舌动脉间距(作为舌根宽度的替代指标)与 OSA 的发生率及严重程度相关^[4]。也有研究更深入地探讨了 OSA 患者在不同状态下的解剖形态学变化差异。例如,OSA 患者的舌体厚度在 Miller 状态下的测量值,及其与自然状态下的厚度差值均显著大于健康对照组,且该差异与年龄、性别、体重指数、颈围及高脂血症等因素无关^[8]。OSA 患者除存在上气道形态改变外,通常还伴有肌肉功能障碍^[5],应用超声新技术对上气道功能进行评估的研究,仍需深入探索。

1.2 肌骨超声评估上气道舌肌形态与功能 肌骨超声通常需采用频率范围在 10~20 MHz 的线性探头,较高频率可提升分辨率,这对于深部结构的成

像至关重要。例如,肌肉组织在图像上通常呈现相对低回声,其内可见高回声肌间隔,外围由高回声肌束膜包绕,这使得其与周围深层组织相比更易显影^[9]。目前已用传统超声对颏舌肌进行形态及运动模式监测^[10,11],而肌骨超声高频探头应该可以更加清晰显示颏舌肌的扇形纤维分布,并支持实时动态评估呼吸周期中颏舌肌的收缩状态、运动轨迹及增厚率等功能指标。动态舌运动成像技术通过量化清醒与睡眠期间舌肌轮廓的变化,揭示 OSA 患者上气道通畅性相关的解剖结构异常与神经肌肉调控机制的关系^[2,12]。采用动态舌轮廓成像还发现,在正常呼吸向 Müller 动作转换过程中,健康人群与轻度 OSA 患者呈现舌体双向位移特征(吸气相前伸/呼气相后缩),中重度 OSA 患者存在整体神经驱动代偿性增强,其在平静呼吸与 Müller 期间的舌运动功能都明显受限,这一现象为 OSA 常伴肌肉及运动神经双重病变提供了功能性证据^[12]。

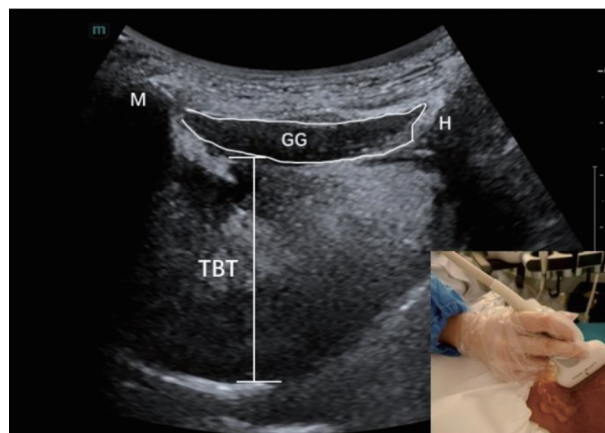


图1 舌正中矢状面超声解剖图解 M:下颌骨;H:舌骨;TBT:舌厚;GG:颏舌肌

1.3 肌骨超声评估舌下神经及颏舌肌功能 OSA 病理学研究证实重度 OSA 患者的周围神经纤维与轴突常发生局灶性变性^[13]。舌下神经作为调控 OSA 患者上气道通畅性的关键神经,其信号输出的主要效应器——颏舌肌可通过直接对抗吸气期气道阻力维持通气^[14]。在严格筛选的适用患者中,舌下神经刺激(HNS)通过增强颏舌肌肌张力,动态改善咽部扩张肌功能以提升气道通畅性,但约 18% 的植入治疗者仍无应答,这可能与舌下神经的刺激模式(如刺激时机、支配肌肉靶点选择)密切相关^[15]。当前临床大多颏舌肌肌电监测肌肉活性,但无法直接评估神经末梢功能异常节段。肌骨超声作为评估非骨性遮挡区周围神经损伤的首选技术,可清晰显示神经的束状结构:由低回声神经束及包绕的高回声神经外膜构成^[16]。目前已有研究表明在肌骨

超声引导下,可经皮精确定位并刺激舌下神经和颈前交感干^[17]。肌骨超声还具备区分周围神经损伤类型的能力^[18]。在急性损伤如神经外伤(如刀伤)时,超声可识别神经连续中断(神经断裂),而在慢性损伤中超声可可视化呈球茎状、边界清晰的低回声神经瘤病变,并识别潜在并发症(如血肿或异位骨化)。该技术同样对诊断肌肉失神经支配具有重要价值^[19],表现为肌肉萎缩、低回声肌纤维减少伴高回声结缔组织比例升高^[20],或高回声脂肪浸润^[21]。通过肌骨超声肌肉纹理变化能够鉴别神经或肌肉退行性病变^[22]。目前尚无足够证据明确 OSA 患者舌下神经的病理改变及与肌骨超声声像图特征的对应关系。

1.4 超声弹性成像评估上气道舌肌 软组织弹性变化可在某种程度上反映了局部病理变化。骨骼肌组成成分多样包含水分、脂肪、胶原纤维,肌纤维各向收缩产生的弹性变化可通过超声弹性成像进行定性与定量评估。评估组织弹性可应用超声弹性成像技术包含压缩超声弹性成像、瞬时弹性成像、张力弹性成像和剪切波弹性成像(SWE)^[23],但是目前弹性成像是假设组织密度恒定、线性且各向同性条件下评估组织硬度,而实际软组织却呈现非线性、异质性、各向异性及粘弹性等复杂特性^[24]。SWE 作为肌骨超声的关键技术之一,粘度与剪切波频散相关,可以直接量化组织的弹性度。通过超声 SWE 测量的电信号刺激状态下颏舌肌与舌骨舌肌硬度显著高于未刺激状态^[25]。另一篇研究冠状位超声舌肌硬度与 OSA 的严重程度呈负相关^[26]。观察冠状位舌肌硬度将有可能有助于对 HNNS 有效性的判断。

1.5 早期识别气道软组织成分 包括微血管化状态与脂肪沉积程度。多项研究表明,OSA 患者存在内皮功能障碍^[27];在病理组织学层面,所有严重 OSA 患者均表现出显著的血管及淋巴管扩张^[28]。肌骨超声常用通过在灰阶图像上叠加血流信号显示血流情况可提供血液动力学和定向血流信^[9]。相较于依靠红细胞数量与分布状态来显影的能量多普勒技术,肌骨超声的彩色多普勒技术在检测关节周围浅表小血管血流方面灵敏度更高^[9]。此外咽周软组织体积异常增大可能和咽周脂肪组织的过度沉积有关。有研究表明皮下脂肪厚度将对肌肉回声强度产生定关联^[29]。而肌骨超声通过低回声的脂肪小叶及其间高回声的纤维间隔得以识别脂肪层以此检查脂肪增厚及萎缩^[30]。当前肌骨超声研究课题聚焦于组织层病理改变较为缺乏,仍需进一步开展相关研究。

2 结合肌骨超声新技术对 OSA 患者个体化诊断与治疗

OSA 疾病是一种临床表型和发病机制异质性的疾病,除了上呼吸道解剖学损伤外,还发现了与呼吸觉醒阈值低和呼吸控制不稳定等有关。OSA 的治疗方案多样,包括减重、体位疗法(即鼓励侧卧位睡眠)、下颌前移矫治器、CPAP 及外科手术。然而治疗方案各有局限性,例如,减重目标往往难以实现,通常需持续数年方能见效;而体位疗法仅适用于特定亚组患者,可能引发不适感,且患者依从性普遍较差;下颌前移矫治器仅适用于轻中度 OSA 患者,且需由具备资质的口腔医师定制装置;CPAP 虽疗效显著,但患者耐受性普遍不佳。针对 OSA 者上气道塌陷的解剖结构异常与神经肌肉调控失代偿两大核心问题,结合当前肌骨超声的研究进展,可构建起上气道神经-肌肉-软组织协同功能指数。这一指标能精准量化上气道关键扩张肌(如颏舌肌)的功能状态、调控神经(如舌下神经)的驱动效率,以及支撑软组织(如咽侧壁、舌根)的解剖特征,通过评估三者间的协同缺陷程度,为鼾症的精准诊断、严重度分型及初始治疗方案选择,提供了全新的超声评估维度。例如当肌骨超声提示颏舌肌功能受损时,可考虑采用 HNS 联合肌功能康复以改善肌肉功能为主要方向;若 DISE 确诊腭咽特异性塌陷则可考虑下一步行靶向腭咽成形术改善气道通气;而多导睡眠监测显示重度低氧可辅以 CPAP。经过对 OSA 患者进行个性化的筛选,期望在将来能实现 OSA 疾病神经调控与解剖的协同优化治疗方案。

3 肌骨超声在 OSA 诊疗未来展望

尽管肌骨超声依靠其有的动态可视化在评估上气道结构和功能方面展现出巨大潜力,该领域仍存在若干关键问题有待商榷。超声领域目前在超声探头选择及放置方式、测量平面及参数定义方面尚未制定明确标准。肌肉硬度、脂肪浸润程度的判定仍需建立客观、量化的判别标准。此外,现有研究局限于小样本探索,缺乏大规模前瞻性验证以明确肌骨超声参数与 OSA 严重程度及预后的确切关联。为解决当前存在问题,期望统一影像采集流程与评估标准,明确颏舌肌、腭咽肌等关键肌群的标准化测量流程。积极开展多中心协作的大规模队列研究,纵向追踪肌骨超声参数在持续气道正压通气、口腔矫治器、神经刺激等不同治疗过程中的 OSA 患者长期治疗效果变化规律。在此基础上,肌骨超声有望为 OSA 的个体化治疗方案制定与疗效预测提供对应的影像学支持,推

动睡眠呼吸疾病诊疗向精准化与可视化方向迈进。

【参考文献】

- [1] Tolbert TM, Ayappa I, Rapoport DM. OSA pathophysiology: a contemporary update [J]. *Australian Dental Journal*, 2024, 69(s1): S68-S83.
- [2] Manlises CO, Chen J, Huang C. Dynamic tongue area measurements in ultrasound images for adults with obstructive sleep apnea [J]. *J Sleep Res*, 2020, 29(4): e13032.
- [3] Hussein SA, Kamel KM, Kaddah SZ, et al. Role of ultrasonography in assessment of anatomic upper airway changes in patients with obstructive sleep apnea [J]. *Adv Respir Med*, 2020, 88(6): 548-557.
- [4] Shafiee S, Kamangar F, Ghandehari LSH, et al. A multi-feature classification approach to detect sleep apnea in an ultrasonic upper airway occlusion detector system [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014, 2014: 254-257.
- [5] Perger E, Taranto-Montemurro L. Upper airway muscles: influence on obstructive sleep apnoea pathophysiology and pharmacological and technical treatment options [J]. *Curr Opin Pulm Med*, 2021, 27(6): 505-513.
- [6] Volner K, Chao S, Camacho M. Dynamic sleep MRI in obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur Arch Oto Rhino Laryngol*, 2022, 279(2): 595-607.
- [7] Nakamura T, Kubo N, Funayama H, et al. Plaque characteristics of the coronary segment proximal to the culprit lesion in stable and unstable patients [J]. *Clin Cardiol*, 2009, 32(8): 9-12.
- [8] Chien CY, Chen JW, Chang CH, et al. Tracking dynamic tongue motion in ultrasound images for obstructive sleep apnea [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2017, 43(12): 2791-2805.
- [9] Chew E, Lee Day A, Nazarian LN, et al. Basic musculoskeletal ultrasound [J]. *Med Clin North Am*, 2025, 109(1): 137-161.
- [10] Kwan BCH, Butler JE, Hudson AL, et al. A novel ultrasound technique to measure genioglossus movement in vivo [J]. *J Appl Physiol*, 2014, 117(5): 556-562.
- [11] Kwan BCH, McBain RA, Luu BL, et al. Influence of respiratory mechanics and drive on genioglossus movement under ultrasound imaging [J]. *PLoS One*, 2018, 13(4): e0195884.
- [12] Oksenberg A, Leppönen T. Duration of respiratory events in obstructive sleep apnea: factors influencing the duration of respiratory events [J]. *Sleep Med Rev*, 2023, 68: 101729.
- [13] Woodson BT, Toohill RJ, Garancis JC. Histopathologic changes in snoring and obstructive sleep apnea syndrome [J]. *Laryngoscope*, 1991, 101(12): 1318-1322.
- [14] Alrubasy WA, Abuawwad MT, Taha MJJ, et al. Hypoglossal nerve stimulation for obstructive sleep apnea in adults: an updated systematic review and meta-analysis [J]. *Respir Med*, 2024, 234: 107826.
- [15] Thaler E, Schwab R, Maurer J, et al. Results of the ADHERE upper airway stimulation registry and predictors of therapy efficacy [J]. *Laryngoscope*, 2020, 130(5): 1333-1338.
- [16] Dettori N, Choudur H, Chhabra A. Ultrasound-guided treatment of peripheral nerve pathology [J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2018, 22(3): 364-374.
- [17] Kent DT, Schwartz AR, Zeale D. Ultrasound localization and percutaneous electrical stimulation of the hypoglossal nerve and ansa cervicalis [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2021, 164(1): 219-225.
- [18] Fowler JR. The use of musculoskeletal ultrasound for diagnosis of peripheral nerve compression syndromes [J]. *J Hand Surg Am*, 2025, 50(4): 481-490.
- [19] Maurits NM, Bollen AE, Windhausen A, et al. Muscle ultrasound analysis: normal values and differentiation between myopathies and neuropathies [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2003, 29(2): 215-225.
- [20] Simon NG, Noto Y, Zaidman CM. Skeletal muscle imaging in neuromuscular disease [J]. *J Clin Neurosci*, 2016, 33: 1-10.
- [21] Sogawa K, Nodera H, Takamatsu N, et al. Neurogenic and myogenic diseases: quantitative texture analysis of muscle US data for differentiation [J]. *Radiology*, 2017, 283(2): 492-498.
- [22] Taljanovic MS, Gimber LH, Becker GW, et al. Shear-wave elastography: basic physics and musculoskeletal applications [J]. *Radiographics*, 2017, 37(3): 855-870.
- [23] Sigrist RMS, Liau J, Kaffas AE, et al. Ultrasound elastography: review of techniques and clinical applications [J]. *Theranostics*, 2017, 7(5): 1303-1329.
- [24] Arens P, Fischer T, Dommerich S, et al. Ultrasound shear wave elastography of the tongue during selective hypoglossal nerve stimulation in patients with obstructive sleep apnea syndrome [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(10): 2869-2879.
- [25] Chu CA, Chen YJ, Chang KV, et al. Reliability of sonoelastography measurement of tongue muscles and its application on obstructive sleep apnea [J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 654667.
- [26] McNicholas WT, Bonsignore MR. Sleep apnoea as an independent risk factor for cardiovascular disease: current evidence, basic mechanisms and research priorities [J]. *Eur Respir J*, 2007, 29(1): 156-178.
- [27] Kliewer MA, Lee LJ, Bagley AR. Measurement of the internal carotid artery cross-sectional area: systematic differences depending on grayscale, power Doppler, and color Doppler techniques [J]. *J Ultrasound Med*, 2021, 40(2): 299-303.
- [28] Walsh M, Jacobson JA, Kim SM, et al. Sonography of fat necrosis involving the extremity and torso with magnetic resonance imaging and histologic correlation [J]. *J Ultrasound Med*, 2008, 27(12): 1751-1757.
- [29] Ye L, Pien GW, Ratcliffe SJ, et al. The different clinical faces of obstructive sleep apnoea: a cluster analysis [J]. *Eur Respir J*, 2014, 44(6): 1600-1607.
- [30] Eckert DJ. Phenotypic approaches to obstructive sleep apnoea: new pathways for targeted therapy [J]. *Sleep Med Rev*, 2018, 37: 45-59.

(收稿日期:2025-09-16;修回日期:2026-06-10)

(本文编辑:侯晓林)