

· 综述 ·

吞咽功能评估技术研究进展

姚晓明 徐秀林

吞咽障碍的病因包括脑卒中、脑外伤、吞咽通道及其邻近器官炎症、损伤、肿瘤以及放射治疗、食管动力性病变等,其中脑卒中是最常见病因之一^[1]。据国外文献报道,51%~57%的脑卒中患者会发生不同程度吞咽障碍^[2]。吞咽障碍可导致多种严重并发症,如营养不良、吸入性肺炎等,甚至出现窒息而危及生命^[1-3],严重影响患者生活质量。客观、全面的吞咽功能评估不仅是对患者进行有效治疗的前提,同时也是对治疗效果的客观评价,通过不同评估检查手段可明确吞咽障碍病因,并快速、精确评估患者吞咽困难程度,为临床医师科学选择治疗方法提供参考依据,从而有效降低脑卒中患者致残率及病死率。本文就吞咽功能评估技术作一简要综述。

吞咽功能评估方法

吞咽功能评估包括床旁(临床)评估和仪器评估。前者包括吞咽困难初步筛查和吞咽困难程度评定,后者包括吞咽造影检查(video fluoroscopic swallowing study, VFSS)、表面肌电检查(surface electromyography, sEMG)、计算机断层成像(computed tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和咽腔高精度测压(high resolution manometry, HRM)等^[4-5],不同评估技术可从不同方面评定患者吞咽功能情况^[6]。

一、吞咽造影检查

美国西北大学 Logemann 教授于 1975 年首次将改良钡餐胃肠透视用于吞咽障碍评估^[5],此后吞咽造影检查逐渐成为吞咽障碍患者的首选检查方法,同时也是目前咽期吞咽功能评估的“金标准”^[7]。吞咽造影检查可提供吞咽过程中食团在咽部转运、咽部收缩、松弛及气道保护等重要信息,但该技术不能提供环咽肌收缩力和上食管括约肌开放的定量参数,并且对软组织检测也存在局限性,因此在康复治疗评估中具有一定局限性。

中山大学窦祖林等^[8]开发出吞咽功能影像数字化采集与分析系统,以每秒 30 帧的速度记录吞咽过程,随后逐帧回放,通过观察靶器官(如舌骨、上食管括约肌或喉部等)运动,选择吞咽启动点、舌骨最大位移等 6 个关键点的图像作为目标图像,使用 ImageJ 软件进行测量与计算。可测量数据包括:①食团在口咽食道通过时间,该指标反映吞咽相关肌肉驱动、控制食团的能力;②侧位下咽区放松及最大收缩时面积,其比值反映咽部收缩功能;③舌骨、喉放松时位置及吞咽时最大位移,该指标间接反映舌骨-喉复合体牵拉上食管括约肌开放的程度及气道保护能力;④上食管括约肌开放时的前、后径长度,该指标反映上食管括约肌开放程度。该动态造影分析系统能明确咽部吞咽过程和生物力学相关信息,可准确掌握食团通过时各吞

咽器官运动关系,使吞咽功能量化评估成为现实。相关研究证明,该系统量化评定结果准确可靠^[8];但目前还没有规范的评价标准,仍需进一步临床验证。

二、表面肌电图检查

大量研究表明,sEMG 是吞咽生理和病理评估中的重要工具之一,其结果能反映下颌舌骨肌、颏舌骨肌、二腹肌等吞咽相关肌肉收缩情况^[9-11]。

Hsu 等^[12]通过无创性喉结传声器及表面肌电图(sEMG)获取吞咽时声音信号及咽下缩肌、环甲肌等咽部肌肉肌电信号,采用小波变换、均值滤波和模糊计算等技术提取信号特征,并以此评估患者吞咽困难程度,非常适用于重症肌无力患者。该系统包含两个重要模块,分别是咽下阶段分析器(swallow phase analyzer)和严重程度识别器(severity discriminator)。咽下阶段分析器采用均值滤波、小波变换、基线校正和低通滤波技术采集吞咽过程中咽部肌电特征并进行分析;而严重程度识别器能综合分析吞咽时间、紧张程度和分形维数(fractal dimension)等特点,使用模糊计算方法来评估吞咽困难严重程度,可为临床医师诊断提供特征参数;但该系统不能精确区分肌肉损伤和神经损伤,如测量部位存在创伤,则测量结果存在较大误差。

三、计算机断层成像

1993 年电子束 CT 被首次应用于吞咽功能研究^[13],然而受试者在 CT 扫描过程中只能仰卧,且仅能获取轴向图像。多层 CT(multislice computed tomography, MSCT)通过螺旋扫描可获得目标区域容积数据,具有扫描层薄、扫描速度快、时间及空间分辨率高等优点;但螺旋扫描获得的容积数据并不同相,此外 MSCT 还没有足够高的时间分辨率来捕捉快速吞咽动作,因此该技术在临床上尚未广泛推广、应用^[14]。

随着 320 排多层 CT(320-detector-row multislice computed tomography, 320-MSCT)诞生,使 CT 技术广泛应用于研究吞咽过程成为可能^[15-16]。该设备在机体轴线上配备 320 排 0.5 mm X 线探测器,可获取最大 16 cm 范围内容积数据,其最小分辨率为 0.5 mm,摄录速度可达每秒 10 帧。通过连续拍摄可获得吞咽过程中动态影像数据,从而以全新视角揭示吞咽有关解剖结构在不同吞咽阶段的活动规律^[17]。

Fujii 等^[14]使用 320-MSCT 分别对 3 例患者及 1 例健康志愿者进行单相和多相容积扫描,并重建 3D 和 4D 图像,同时对吞咽过程中的形态学及运动学参数进行分析。结果表明 3D 图像不仅能精确显示目标结构,还可从任意角度观察任何截面的图像,4D 图像可清晰显示舌骨、咽、喉和造影剂位移情况,增强研究者对 3D 图像的理解。另外该设备软件系统还可在三维方向测量组织器官长度、面积及体积,而不会受断层图像限制。然而 320-MSCT 也存在一定局限性,如不能在小于 0.1 s 的时间内捕获运动图像^[14];存在 X 射线辐射危险;在一次检查中不能重复进行多相容积扫描,尤其是孕妇及儿童等特殊人群。

四、磁共振成像

MRI 可获取软腭、咽、喉、舌骨、会厌、环咽肌等器官或组织矢状面、冠状面及水平面影像,通过分析相关器官或组织运动幅度及对称性来评估吞咽困难程度^[18]。MRI 对头颈部软组织具有极好的对比分辨率,能避免 X 射线辐射危害,并且 MRI 观察软组织运动具有实时分辨能力,已广泛应用于吞咽障碍评估^[19]。

Anagnostara 等^[20]研究表明高速动态 MRI 可对软组织直接成像,其实时分辨能力接近吞咽造影检查。Hartl 等^[21]发现单发快速自旋回波(single-shot fast spin echo)动态 MRI 可提供口腔咽部表面及组织内部结构清晰图像。Ohkubo 等^[22]研究表明,联合使用 cine-MR 成像和高质量静态 MR 影像系统可为吞咽障碍临床评估提供新的途径。

Vijay 等^[18]采用美国 GE Signa HDxt 1.5T MRI 扫描设备对 10 例正常人及 3 例脑干损伤患者进行检查,采用稳态获取序列快速成像技术获取咽喉、软腭、舌骨、会厌、环咽肌等部位矢状面、冠状面及水平面影像信息,对评估受试者口腔部及喉部肌肉组织运动功能具有重要作用。需要指出的是,动态 MRI 检查时间和空间分辨率均不及吞咽造影检查,其对吞咽障碍临床评估的有效性还需更多临床研究验证^[23]。

五、高精度固态压力测量

Gyawali 等^[24]于上世纪 90 年代发明了高精度压力测量(HRM)系统。HRM 技术使用足够多的压力传感器监测整个食管不同部位、不同时间的管腔压力,并将管腔压力数据转换成光谱图,同色区域表示压力相同^[25]。HRM 采用固态压力测量导管来采集数据,该导管配备高达 36 个圆周压力传感器,采用专有的环绕触知微压力测量技术,可直接感受咽壁及食管壁收缩压力变化,并将压力变化信息传至计算机进行分析处理。该系统具有反应速度快、分辨率高、可精确记录咽部压力及变化频率等优点,计算机通过分析吞咽过程中压力曲线变化,不仅可以计算舌根部收缩峰值压力、咽收缩峰值压力、上食管括约肌开放负压和收缩峰值压力,还可计算出咽部收缩持续时间、上食管括约肌松弛时间和恢复时间等重要参数,为吞咽障碍临床评估提供量化参考数据^[26-27]。

Kwiatek 等^[28]应用计算机大量数据实时传输新技术开发出“三维压力地形图”,该系统采用新型固态测压导管进行环咽肌测压,测压导管包含 3D 精度传感器阵列及“传统”圆周传感器阵列,集成高达 128 个传感器,通过 3D 高精度传感器阵列和“传统”圆周传感器阵列获取咽腔压力数据,并采用 ManoView™ 软件和 MATLAB 软件处理咽腔压力数据,以三维压力地形图形式显示,不仅精度高,而且很直观,提高了诊断识别速度。此外该软件包还可对压力数据进行准确分析、评估。

由于 HRM 应用了先进的导管及传感器技术,同时还具有强大的软件数据分析处理能力,与传统水灌注式测压^[29-30]比较,HRM 压力测量精确性及完整性显著提高。此外 HRM 检查对食物形状及受试者头部姿势无特殊要求,还可分析咽及上食管括约肌生物力学机制,特别适用于因口咽部或上食管括约肌病变导致的吞咽障碍检查。HRM 是一种新型测压技术,应用于吞咽相关领域才刚刚起步,对吞咽功能评估是否具有临床价值仍有待进一步验证^[31-33]。

六、超声检查

超声检查作为一种便携、无创、无辐射检查技术,被应用于吞咽功能评估已有数十年历史。由于超声检查仪器便携性较好,可应用于床旁评估,其无创、无辐射特性,也可让其作为高危人群快速筛查和后续评估的重要工具,是对吞咽造影检查的有益补充^[34]。台湾大学医学院 Hsiao 等^[34]研究人员将超声检查技术应用于研究舌、咽及舌骨运动,将超声换能器放置于颌下,换能器后缘覆盖在舌骨上,并选择以下颌骨为参考点计算舌骨位移。该研究结果表明,超声检查是评估口咽期吞咽过程的简单易行方法;超声检查可提供额外信息帮助临床医师全面了解患者吞咽功能情况。Morinière 等^[35]通过对 25 例健康志愿者进行前瞻性研究发现,超声检查可能是评估因上食管括约肌病变诱发吞咽障碍的有效方法。然而超声检查应用于吞咽功能评估仍需要更多高质量、大规模临床研究来提供诊断截断值(diagnostic cut-off value)、功能相关性及预后数据进行综合分析^[34-35]。

结语

随着计算机软硬件、传感器等技术高速发展,吞咽功能评估手段将会更加精确、快速、多样化和智能化,主要表现在以下方面:①视频透视吞咽数字化及评估标准规范化使吞咽功能精确量化评估成为现实,软件技术进步将使吞咽功能评估朝智能化方向发展。②MSCT 技术发展可进一步提高 CT 时间和空间分辨率,提高扫描、成像速度及成像质量,清晰捕捉完整吞咽动作过程。新的算法和软件技术发展,使图像重建更加快速,不仅能细致观察咽喉器官解剖结构,还可进行精确运动学分析。③随着更加强大大磁场和新算法应用,MRI 空间分辨率将显著改善,在吞咽功能检查评估中将更加广泛应用。④软件技术进步可实现 sEMG 信号自动识别与分析,将使吞咽功能评估更加快速和智能化。⑤传感器微型化和计算机技术发展使咽腔测压更加精确,三维压力地形图使吞咽功能评估更加直观;模式识别及软件技术开发、应用将使测压结果分析更加高效。

参考文献

- [1] 胡佑红,卫小梅,窦祖林.导管球囊扩张治疗环咽肌功能障碍的机制[J].中国脑科疾病与康复杂志,2011,33(1):82-88. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2011.01.017.
- [2] 孟宪忠.吞咽障碍的康复治疗方法探讨[J].神经病学与神经康复学杂志,2011,8(2):102-104. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2011.01.017.
- [3] Suda K, Takeuchi H, Seki H, et al. Cricopharyngeal myotomy for primary cricopharyngeal dysfunction caused by a structural abnormality localized in the cricopharyngeus muscle: report of a case[J]. Surg Today, 2011, 41(9): 1238-1242. DOI: 10.1007/s00595-010-4449-z.
- [4] Kuhn MA, Belafsky PC. Management of cricopharyngeus muscle dysfunction[J]. Otolaryngol Clin North Am, 2013, 46(6): 1087-1099. DOI: 10.1016/j.otc.2013.08.006.
- [5] 窦祖林,唐志明,兰月,等.吞咽障碍临床与研究进展-美国、日本吞咽障碍年会热点透视[J].中国康复医学杂志,2013,28(9):859-861. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2013.09.017.
- [6] Speyer R. Oropharyngeal dysphagia: screening and assessment[J]. Otolaryngol Clin N Am, 2013, 46(6): 989-1008. DOI: 10.1037/

- e304502003-011.
- [7] Barbiera F, Seta FL, Berritto D, et al. Geriatric imaging [J]. New York: Springer, 2013; 713-740.
 - [8] 窦祖林, 兰月, 于帆, 等. 吞咽造影数字化分析在脑干卒中后吞咽障碍患者疗效评估中的应用 [J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(9): 799-805. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2013.09.003.
 - [9] Logemann JA. The evaluation and treatment of swallowing disorders [J]. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg, 1998, 20(6): 395-400. DOI: 10.1007/s12019-000-0010-0.
 - [10] Reyes A, Cruickshank T, Thompson J, et al. Surface electromyograph activity of submental muscles during swallowing and expiratory muscle training tasks in Huntington's disease patients [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2014, 24(1): 153-158. DOI: 10.1016/j.jelekin.2013.09.009.
 - [11] Bednar M, Vanaskova E, Vareka I. Surface polyelectromyography-Principle of the method and possible use in dysphagia [J]. Clin Neurophysiol, 2014, 125(5): e36. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.12.073.
 - [12] Hsu CC, Chen WH, Chiu HC. Using swallow sound and surface electromyography to determine the severity [J]. Biomed Sign Proc Cont, 2013, 8(3): 237-243. DOI: 10.1016/j.bspc.2012.10.002.
 - [13] Ergun GA, Kahrilas PJ, Lin S, et al. Shape, volume, and content of the deglutitive pharyngeal chamber imaged by ultrafast computerized tomography [J]. Gastroenterology, 1993, 105(5): 1396-1403. DOI: 10.1016/0016-5085(93)90144-2.
 - [14] Fujii N, Inamoto Y, Saitoh E, et al. Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part I: single- and multiphase volume scanning for three-dimensional morphological and kinematic analysis [J]. Dysphagia, 2010, 26(2): 99-107. DOI: 10.1007/s00455-009-9268-2.
 - [15] Kobayashi M, Koshida K, Suzuki S, et al. Evaluation of patient dose and operator dose in swallowing CT studies performed with a 320-detector-row multislice CT scanner [J]. Radiol Phys Technol, 2012, 5(2): 148-155. DOI: 10.1007/s12194-012-0148-3.
 - [16] Fukazawa K, Furuta K, Adachi K, et al. Continuous imaging of esophagogastric junction in patients with reflux esophagitis using 320-row area detector CT: a feasibility study [J]. J Gastroen Hepatol, 2013, 28(10): 1600-1607. DOI: 10.1111/jgh.12267.
 - [17] Inamoto Y, Saitoh E, Okada S, et al. The effect of bolus viscosity on laryngeal closure in swallowing: kinematic analysis using 320-row area detector CT [J]. Dysphagia, 2012, 28(1): 33-42. DOI: 10.1007/s00455-012-9410-4.
 - [18] Vijay Kumar KV, Shankar V, Santosham R. Assessment of swallowing and its disorders-a dynamic MRI study [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(2): 215-219. DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.09.010.
 - [19] Kulinna-Cosentini C, Schima W, Lenglinger J, et al. Is there a role for dynamic swallowing MRI in the assessment of gastroesophageal reflux disease and oesophageal motility disorders [J]. Eur Radiol, 2012, 22(2): 364-370. DOI: 10.1007/s00330-011-2258-4.
 - [20] Anagnostara A, Stoeckli S, Weber OM, et al. Evaluation of the anatomical and functional properties of deglutition with various kinetic high-speed MRI sequences [J]. J Magn Reson Imaging, 2001, 14(2): 194-199. DOI: 10.1002/jmri.1172.
 - [21] Hartl DM, Kolb F, Bretagne E, et al. Cine magnetic resonance imaging with single-shot fast spin echo for evaluation of dysphagia and aspiration [J]. Dysphagia, 2006, 21(3): 156-162. DOI: 10.1007/s00455-006-9026-7.
 - [22] Ohkubo M, Sano T, Ishida R, et al. Static MR images for diagnosis of swallowing [J]. Bull Tokyo Dent Coll, 2008, 49(3): 113-119. DOI: 10.2209/tdcpublish.49.113.
 - [23] Hartl DM, Kolb F, Bretagne E, et al. Cine-MRI swallowing evaluation after tongue reconstruction [J]. Eur J Radiol, 2010, 73(1): 108-113. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.10.005.
 - [24] Gyawali CP. High resolution manometry: the Ray Clouse legacy [J]. Neurogastroent Motil, 2012, 24(1): 2-4. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2011.01836.x.
 - [25] Carlson DA, Pandolfino JE. High-resolution manometry and esophageal pressure topography: filling the gaps of convention manometry [J]. Gastroenterol Clin N, 2013, 42(1): 1-15. DOI: 10.1016/j.gtc.2012.11.001.
 - [26] 兰月, 窦祖林, 于帆, 等. 高分辨率固态压力测量在吞咽功能评估中的应用 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(12): 941-944. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.12.006.
 - [27] Knigge MA, Thibeault S, McCulloch TM. Implementation of high-resolution manometry in the clinical practice of speech language pathology [J]. Dysphagia, 2014, 29(1): 2-16. DOI: 10.1007/s00455-013-9494-5.
 - [28] Kwiatek MA, Pandolfino JE, Kahrilas PJ. 3D-high resolution manometry of the esophagogastric junction [J]. Neurogastroent Motil, 2011, 23(11): 461-469. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2011.01733.x.
 - [29] 冯珍, 帅浪, 张纯, 等. 一种吞咽障碍压力测定治疗仪的设计与临床初步研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(8): 723-726. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2013.08.008.
 - [30] Silva LC, Herbella FA, Neves LR, et al. Anatomophysiology of the pharyngo-upper esophageal area in light of high-resolution manometry [J]. J Gastrointest Surg, 2013, 17(12): 2033-2038. DOI: 10.1007/s11605-013-2358-3.
 - [31] Bredenoord AJ, Hebbard GS. Technical aspects of clinical high-resolution manometry studies [J]. Neurogastroent Motil, 2012, 24(1): 5-10. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2011.01830.x.
 - [32] Vicentine F, Herbella F, Allaix M, et al. Comparison of idiopathic achalasia and Chagas' disease esophagopathy at the light of high-resolution manometry [J]. Dis Esophagus, 2014, 27(2): 128-133. DOI: 10.1111/dote.12098.
 - [33] Bolckhir A, Gyawali CP. Treatment implications of high-resolution manometry findings: options for patients with esophageal dysmotility [J]. Curr Treat Options Gastroenterol, 2014, 12(1): 34-48. DOI: 10.1007/s11938-013-0003-6.
 - [34] Hsiao MY, Wahyuni LK, Wang TG. Ultrasonography in assessing oropharyngeal dysphagia [J]. J Med Ultrasound, 2013, 21(4): 181-188. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2012.04.017.
 - [35] Morinière S, Hammoudi K, Marmouset F, et al. Ultrasound analysis of the upper esophageal sphincter during swallowing in the healthy subject [J]. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis, 2013, 130(6): 321-325. DOI: 10.1016/j.anorl.2012.01.008.

(修回日期: 2016-09-20)

(本文编辑: 易 浩)