

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.04.013

· 综述 ·

功能磁共振成像技术在口腔功能研究中的应用

秦媛¹, 彭伟² 综述; 陈松龄³ 审校

1. 军事口腔医学国家重点实验室, 口腔疾病国家临床医学研究中心, 陕西省口腔疾病国际联合研究中心, 第四军医大学口腔医院急诊与综合临床科, 陕西 西安(710032); 2. 中山大学附属第一医院口腔正畸科, 广东 广州(510080); 3. 中山大学附属第一医院口腔颌面外科, 广东 广州(510080)

【摘要】 功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是一种新的磁共振影像检查方法,它能够反映人体做各种功能运动时大脑皮层的影像改变。口腔的功能运动如咀嚼、味觉及吞咽等与大脑皮层变化密切相关,近年来国内外学者通过fMRI进行了多项口腔功能研究,这些研究的结果对临床工作和研究均有很大的指导意义,也提示有更多的临床疾病可以通过fMRI技术进行研究和探索。本文就fMRI在口腔功能研究中的应用进行综述。

【关键词】 功能磁共振成像; 口腔; 功能运动; 脑功能; 磁共振成像技术

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)04-0261-05

【引用著录格式】 秦媛, 彭伟, 陈松龄. 功能磁共振成像技术在口腔功能研究中的应用[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(4): 261-265.

The application of functional magnetic resonance imaging technology in oral function research QIN Yuan¹, PENG Wei², CHEN Song-ling³. 1. State Key Laboratory of Military Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Shaanxi Key Laboratory of Stomatology, Department of General Dentistry & Emergency, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi-an 710032, China; 2. Department of Orthodontics, The First Affiliated Hospital of Sun yat-sen University, Guangzhou 510080, China; 3. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, The First Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China

Corresponding author: CHENG Song-ling, Email: chunhuijiao@163.com, Tel: 0086-22-15289376713

【Abstract】 Functional magnetic resonance imaging is a new magnetic resonance imaging inspection method, which can reflect the imageological change of cerebral cortex when human body is doing various functional movements. The functional movements of the oral cavity such as chewing, gustation, swallowing which is closely related to the changes in the cerebral cortex. Recent years, scholars home and abroad had done many oral researches by fMRI. The results of these studies have great guiding significance to the clinical work and research. It indicates that we can explore more clinical diseases through fMRI technology. This article summarizes the application of fMRI in oral functional research.

【Key words】 Functional magnetic resonance imaging; Oral; Functional movement; Brain function; Magnetic resonance imaging

功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是近10余年来在常规磁共振成像基础上迅速发展起来的一种新的成像技术。以反映器官功能状态为成像目的的磁共振成像技术称

之为功能磁共振成像。功能磁共振成像技术,将解剖、影像和功能相结合,使临床磁共振诊断从单一的解剖形态学研究到与功能相关联的系统研究成为可能。该技术具有无放射、无创伤、可重复等特点,且有较高的时间和空间分辨率。可准确定位脑功能区,因而被广泛地应用于大脑功能运动的研究中。对清醒状态下的人脑活动反复拍摄大脑解剖图片,并可得到三维立体功能图像的技术。fMRI可形象地反映人类大脑在处理与加工各

【收稿日期】 2016-09-08; **【修回日期】** 2016-09-27

【基金项目】 国家自然科学基金(81371111)

【作者简介】 秦媛, 医师, 硕士, Email: 464780779@qq.com

【通讯作者】 陈松龄, 教授, 博士, Email: chunhuijiao@163.com

类信息的活动情况,使研究者能够在无创伤的条件下直接观察脑的复杂功能。使得研究者深入探讨人类的行为与脑活动之间的关系,认识大脑在人类认知、活动及发展中的作用,成为可能。该技术是研究大脑区域内代谢及影像改变的有效方法。口腔各种功能诸如咀嚼、语言、吞咽、味觉^[1]的正常行使均受到中枢神经系统大脑的控制和调节。同时在行使口腔各种功能时也促进了大脑功能的运作^[2]。口腔的功能运动如咀嚼运动、味觉及感觉,在行使过程中会引起大脑特定功能区域发生血流的影像及代谢的改变。可以通过对大脑区域内的代谢及影像的改变来对口腔功能与大脑调控功能的密切联系进行探索与研究。功能磁共振成像技术为研究口腔功能运作中的大脑功能变化提供了有利手段^[3]。

1 功能性磁共振成像技术的概述、原理及优点

20世纪70年代,磁共振成像技术(magnetic resonance image, MRI)被应用于临床诊断,并得到了广泛推广和迅速发展。20世纪90年代,在磁共振成像技术的基础上,脑fMRI技术开始出现。它将神经活动和高分辨率磁共振技术结合,被应用于人脑高级功能的研究。脑fMRI将解剖、影像和功能相结合,使临床磁共振诊断从单一的形态学研究到与功能相关联的系统研究成为可能^[4]。

狭义的fMRI技术是指血氧水平依赖磁共振成像技术,即BOLD(blood oxygen level dependent, BOLD);广义的fMRI,除BOLD之外,还包括灌注加权成像(PWI),弥散加权成像(DTI)和弥散张量成像(DWI),以及磁共波谱分析(MRS)和磁共振波谱分析成像(MRSI)。因BOLD成像具有实用性、无侵入性等特点,目前使用最为广泛。也就是通常意义上所指的fMRI。

BOLD fMRI的原理是基于神经元活动对局部耗氧量和脑血流影响程度不匹配所导致的局部磁场性质变化。BOLD fMRI信号与局部脑血流、氧合血红蛋白(HbO₂)和脱氧血红蛋白(dHb)含量密切相关。当大脑收到特定的任务刺激后(如听觉、运动等),相应的脑功能皮质区被激活,从而引起局部脑血流量和氧交换量的增加,氧的供量大于氧的消耗量,其结果导致氧合血红蛋白含量增加,脱氧血红蛋白含量降低。脱氧血红蛋白是顺磁性物质,可使组织毛细血管内外出现非均匀性的磁场。脱氧血红蛋白含量的降低,使局部磁化率发

生改变,使局部的T2加权信号增强,表现为MR信号增强^[5]。得到相应激活大脑区域的功能成像图。

fMRI技术有以下优点:①在无创的条件下,对受试者拍摄。并且避免了由X射线或放射性核素对人体所致的射线伤害。可对受试者反复拍摄收集不同时期的资料。使收集健康受试者的资料,建立正常对照组成为可能。②对软组织有较高的分辨率。有较高的时间、空间分辨率。具有对任意层面进行切层的能力。通过进行三维切层,对病变部位进行立体精确定位,无死角。可对任何平面,切面进行实时重建,利于解剖位置的立体跟踪研究。③fMRI技术拍摄的三维解剖结构图像与标准模版脑配准后,进行功能区的定位。该技术使得学者对大脑的研究从解剖学拓展至功能学的研究领域。现阶段的fMRI技术使生成的脑功能区域可视化,利于直视下观察研究。

2 功能性磁共振成像在口腔功能研究的应用

fMRI可用于功能区的定位,疾病的诊断和治疗,特殊的感受功能如视听觉的研究以及人脑高级功能如语言、认知、记忆的研究。现阶段应用于口腔功能的研究多与咀嚼运动、语言、味觉、感觉^[6-8]以及口腔疾病的诊治^[9]有关。

2.1 口腔运动大脑调控区域的定位

口腔内的机械运动受到大脑的支配,利用fMRI技术可以清晰直观地观察支配这些运动的大脑区域^[10]。

咀嚼是由下颌、舌、咀嚼肌共同参与的半自主的节律性运动,其大脑控制区域包括:大脑皮层咀嚼区、第I躯体运动皮质、第I躯体感觉皮质、前运动皮质和辅助运动区、杏仁体等。周青等^[11]的研究表明人的双侧脑半球的激活区域不同,对于偏侧咀嚼患者,则表现出初级躯体运动感觉皮质对侧半球优势^[12]。青年人与老年人的脑激活部位及面积也存在差异。Sasaguri等^[13]将fMRI技术应用于咀嚼运动的研究中。设计的实验包含两个组:青年人和老年组人。通过fMRI评估咀嚼与衰老的相关性。结果显示咀嚼可以使两组年龄的人的双侧的感觉运动皮质,辅助运动区,脑岛,丘脑,杏仁核,小脑脑血流量增加。但是在前三个区域的增幅较小,而在老龄组的丘脑区增幅较大。老龄组人的海马区在咀嚼中有明显的脑血流量增加。结果表明老年人通过咀嚼对海马区形成的刺激对阻止年龄相关的海马区破坏有着重要作用。

通过PET和Xe-CT来研究与咀嚼相关的脑功能运动均存在一些弊端。如PET存在分辨率低、成像速度慢,并且需在人体静脉内注射示踪物的缺点。Xe-CT则具有放射性。与前两者相比较,fMRI技术应用于咀嚼运动的脑功能研究具有无创、安全、分辨率高的优势。但咀嚼运动的同时可引起头部运动,会在fMRI数据采集过程中产生伪影。可以通过采用交大像素成像来避免头部轻微运动中产生的伪影,但是如何彻底排除头部运动所产生的伪影以及咀嚼肌运动所引起的血流改变对脑功能的影响,仍待进一步的解决。

有学者对舌运动的大脑功能支配区域进行了相关研究。Watanabe等^[14]通过fMRI技术研究舌运动的大脑支配区域。实验收集了24例正常人的周期舌运动资料,每个舌运动周期包括三个组块:舌静止,舌运动即用舌尖抵住牙齿的舌侧,舌回缩。结果显示上颌底小叶和下颌底小叶在人类舌运动中起着明确作用。左侧颌底区显示出的兴奋性明显高于右侧颌底区。

这些fMRI技术的应用对更全面的了解口腔各种运动时的大脑控制区域提供了强有力的依据。也为更全面地了解口腔颌面运动系统与大脑的联系提供了可能。

2.2 语言的研究

随着fMRI技术在语言脑功能区研究中的应用,经典的语言功能区得到了进一步的补充。并且对语义、音韵、拼字的研究使得语言功能区产生了更细致的划分。双语的脑功能研究表明包括英语、法语、西班牙语为语料的印欧语对应得语言脑功能区域不同^[15]。大脑的左侧半球通常是语言的优势半球,且不因年龄、语种、种族而存在差异。但也有研究表明右侧半球在第二语言及第三语言的使用中发挥着重要作用^[16-17]。给予三种语言刺激时,部分经典的语言脑功能区具有激活,同时不同的语言也各自特异的脑激活区^[18]。研究表明静息态的fMRI与任务态下的激活的语言区基本一致^[19-20]。现已有将静息态的fMRI技术应用于脑肿瘤患者感觉与运动皮层的术前定位^[21-22],任务态的fMRI也较广泛的应用于临床脑肿瘤患者语言区的定位^[23]。但任务态的fMRI需要患者配合完成特定任务方能得到有效数据,对于意识不清或功能缺陷的患者则不适用。静息态的fMRI具有不需要病人配合^[24],以及高稳定性和可重复性的优势。应用前景较广阔,但是其可行性及有效性仍待进一

步检验。目前仍无将静息态的fMRI应用于脑肿瘤患者语言区的定位的报道。

2.3 味觉的研究

味觉是口腔所特有的功能之一,可利用fMRI技术的高时空分辨率、可视直观特点对味觉进行探索研究。人类基本的味觉有咸、酸、苦、甜、鲜等,可引起一定的情绪反应。主要分为令人愉悦的味觉和令人不快的味觉^[25],其中甜味是令人愉悦的味觉的重要代表。Frank等^[26]通过fMRI对味觉刺激引起的脑活动进行了评估。方法:给予五位健康女性糖溶液或者人工唾液,于相同规格的MR扫描器内拍fMRI。使用实验控制的注射器泵,并应用E-Prime software协调味觉刺激与MR扫描。数据经NIS分析,结果显示味觉刺激可引起高级大脑中枢兴奋。这个实验为利用fMRI研究味觉刺激产生的脑活动的研究及电脑处理提供了很好的范例。进一步的研究显示味觉引起的大脑兴奋与给予的具体刺激的不同和性别的不同而有所差异。Haase等^[27]对21位健康的年轻成年人(12名女性和9名男性)进行两个功能性磁共振成像扫描。分别在饥饿和饱腹感两个生理状态下给予4个不同的纯味觉刺激(咸、酸、苦、甜)。从饥饿状态转变为饱腹状态后,男性比女性在额中回(BA 10)、脑岛、小脑、背侧纹状体、杏仁核、海马旁回在fMRI结果中显示出了更明显的改变。男性和女性从饥饿状态转变为饱腹状态对柠檬酸均有明显的改变。这表明除了性别和生理状态,不同的味觉刺激也是影响fMRI结果的一个重要因素。甜味引起的脑功能区有前额皮质(9/10区)、脑岛、丘脑腹后核(甜味觉的脑功能磁共振成像研究)。咸味觉具有明显的左侧半球优势,可引起初级味觉中枢的脑岛及岛盖区域的兴奋^[28]。味觉刺激同时会引起一些边缘结构的兴奋,反映出味觉对应的脑功能兴奋区的复杂性。fMRI是研究味觉刺激及不同味觉刺激引起的情绪反应的有效手段。在实验设计方面多选应采用事件相关结构设计,以避免采用组块结构设计导致预期对试验结果的干扰^[29]。

2.4 在颞下颌关节中的研究

颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)是人体最精细、最复杂的关节之一,它与语言、咀嚼等功能密切相关。主要由关节盘、关节囊、关节结节组成。Hamada等^[30]通过fMRI研究探讨颞下颌关节在感觉隔绝后紧咬时对脑活动的影响。选取由没有颞下颌关节紊乱病的4名健康志愿者组成受

试组。首先,收集无麻醉期间受试者紧咬时的fMRI资料。接下来,利多卡因(2 mL)注入到左颞下颌关节上腔以使感觉消失,并获得fMRI资料。然后,同样的方法使右侧颞下颌关节感觉消失,并获得fMRI资料。结果显示没有局部麻醉颞下颌关节紧咬时可激活大脑双边感觉、运动和运动前区区域、感官联合皮质区和前额叶皮层、边缘系统以及左顶叶联合皮质层。双边顶叶联合皮质层在颞下颌关节感觉消失时仍是兴奋的。双侧边缘系统在颞下颌关节仅左侧感觉消失以及双侧感觉消失时均无活动。这些结果表明,颞下颌关节腔在紧咬时的感觉输入与大脑的活动密切相关。

2.5 咬合关系的研究

fMRI技术可观察患者咬合治疗前后的中枢激活情况,同时可与健康组形成对照,为咬合治疗的研究提供了新方法。Kimoto等^[31]通过fMRI探讨无牙颌患者从接受下颌全口义齿治疗变为接受种植体支持的覆盖义齿治疗后咀嚼口香糖时的大脑活动的变化。选取四位无牙颌患者(3位男性和1位女性,年龄在64到79岁)参与了这项研究。给予这四位患者一套新的上颌全口义齿和下颌全口义齿(CD),紧接着给予一套上颌全口义齿和种植体支持的下颌全口覆盖义齿(IOD)。收集患者分别戴用CD和IOD在咀嚼口香糖时的fMRI资料。分析表明,IOD治疗显著地抑制了由咀嚼引起的大脑前额叶皮层的活动。主要感觉运动皮层、小脑的活动趋于减少,然而它们没有达到显著性水平。前额叶皮层的神经活动与CD治疗相比显著减少。尽管受到样本规模小的限制,但这些结果表明,老年无牙颌患者接受CD和IOD治疗后嚼口香糖引起了前额叶皮质中的不同区域的神经兴奋,这与Kamiya等^[32]的研究结果一致。同理,可以利用fMRI研究各种状态下的咬合关系。

现阶段fMRI技术除了在以上口腔功能中得到应用外,同时应用于情绪面部表情刺激、口内三叉神经痛的定位^[33]、磨牙症^[34-36]、颞下颌关节紊乱病^[37]、吞咽^[38-39]以及阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征^[40]、口颌面疼痛^[41]等领域的相关研究中。

3 结语

口腔功能受到脑功能的控制,在一定程度上,口腔功能又影响着脑功能。口腔功能与脑功能的关系的研究值得深入的思考和探究。fMRI直观的显示了在口腔各种功能运动中大脑的相关兴奋

区域的部位、大小和范围,为部分相关疾病的诊治提供了新的指导。同时也拓展了研究口腔疾病与脑部具体区域的关联性的思路。如何将fMRI更多的与口腔临床疾病的诊治相结合是需要努力的方向。有望将来通过对口腔功能与脑功能的关系的研究为一些疾病的病因的探索及治疗提供帮助。

参考文献

- [1] Liguori G, Trenti A. Taste and health: new frontiers in oral physiology and rehabilitation[J]. *Journal of Health Science*, 2009, 55(2): 139-150.
- [2] Hirano Y, Onozuka M. Chewing and attention: a positive effect on sustained attention[J/OL]. *Biomed Research International*, 2015, 2015: 1-6[2016-09-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC46075234/>.
- [3] 陈琰, 刘洪臣. 功能性磁共振成像技术在口腔咀嚼功能研究中的应用[J]. *中华口腔医学杂志*, 2004, 39(4): 344-346.
- [4] 王君, 刘嘉. 功能性磁共振成像的应用和发展前景[J]. *现代仪器与医疗*, 2008, 14(1): 6-10.
- [5] 郭媛, 罗柏宁. 血氧水平依赖功能磁共振成像的临床应用[J]. *现代医学仪器与应用*, 2006, 23(4): 57-59.
- [6] 杨秀文, 刘洪臣. 口腔温度感觉的中枢传导通路[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2012, 13(5): 312-314.
- [7] 杨秀文, 刘洪臣, 李科, 等. 探索口腔内疼痛性冷水刺激时对眶额皮层激活的影响[J]. *中华老年口腔医学杂志*, 2013, 11(5): 262-264.
- [8] 杨秀文, 刘洪臣, 李科, 等. 疼痛性冷刺激和非痛温热刺激口腔时对大脑皮层反应强度的影响[J]. *华西口腔医学杂志*, 2014, 32(6): 552-555.
- [9] Shoi K, Fueki K, Usui N, et al. Influence of posterior dental arch length on brain activity during chewing in patients with mandibular distal extension removable partial dentures[J]. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2014, 41(7): 486-495.
- [10] Iida T, Overgaard A, Komiyama O, et al. Analysis of brain and muscle activity during low-level tooth clenching—a feasibility study with a novel biting device[J]. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2014, 41(2): 93-100.
- [11] 周青, 方马荣. 咀嚼时局部脑活动的功能性核磁共振成像[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2001, 19(2): 144-145.
- [12] 姜华, 刘洪臣, 刘刚, 等. 偏侧咀嚼患者紧咬牙运动的功能性磁共振成像研究[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2009, 10(5): 257-260.
- [13] Sasaguri K, Sato S, Hirano Y, et al. Involvement of chewing in memory processes in humans: an approach using fMRI[J]. *International Congress*, 2004, 1270(1): 111-116.
- [14] Watanabe J, Sugiura M, Miura N, et al. The human parietal cortex is involved in spatial processing of tongue movement - an fMRI study[J]. *Neuroimage*, 2004, 21(4): 1289-1299.
- [15] Rogalsky C, Hickok G. Selective attention to semantic and syntactic features modulates sentence processing networks in anterior temporal cortex[J]. *Cerebral Cortex*, 2009, 19(4): 786-796.

- [16] Jones SE, Mahmoud SY, Phillips MD. A practical clinical method to quantify language lateralization in fMRI using whole-brain analysis[J]. *Neuroimage*, 2010, 54(4): 2937-2949.
- [17] 王云玲, 贾琳, 汤伟军, 等. 多语种者脑语言活动区的功能磁共振成像研究[J]. *临床放射学杂志*, 2012, 31(3): 321-325.
- [18] Suh S, Yoon H W, Lee S, et al. Effects of syntactic complexity in L1 and L2: An fMRI study of Korean-English bilinguals[J]. *Brain Research*, 2007, 1136(1): 178-189.
- [19] Cordes D, Haughton VM, Arfanakis K, et al. Mapping functionally related regions of brain with functional connectivity MR imaging [J]. *Ajnr American Journal of Neuroradiology*, 2000, 21(9): 1636-1644.
- [20] Lohmann G, Hoehl S, Brauer J, et al. Setting the frame: the human brain activates a basic low-frequency network for language processing[J]. *Cerebral Cortex*, 2010, 20(6): 1286-1292.
- [21] Zhang D, Johnston JM, Fox MD, et al. Preoperative sensorimotor mapping in brain tumor patients using spontaneous fluctuations in neuronal activity imaged with functional magnetic resonance imaging: initial experience[J]. *Neurosurgery*, 2009, 65(6 Suppl): 226-236.
- [22] Shimony JS, Zhang D, Johnston JM, et al. Resting-state spontaneous fluctuations in brain activity: a new paradigm for presurgical planning using fMRI[J]. *Academic Radiology*, 2009, 16(5): 578-583.
- [23] Giussani C, Roux FE, Ojemann J, et al. Is preoperative functional magnetic resonance imaging reliable for language areas mapping in brain tumor surgery? Review of language functional magnetic resonance imaging and direct cortical stimulation correlation studies[J]. *Neurosurgery*, 2010, 66(1): 113-120.
- [24] Vincent J L, Patel G H, Fox M D, et al. Intrinsic functional architecture in the anaesthetized monkey brain[J]. *Nature*, 2007, 447(7140): 83-86.
- [25] O'Doherty J, Rolls ES, Bowtell R, et al. Representation of pleasant and aversive taste in the human brain[J]. *Journal of Neurophysiology*, 2001, 85(3): 1315-1321.
- [26] Frank GK, Kaye WH, Carter CS, et al. The evaluation of brain activity in response to taste stimuli--a pilot study and method for central taste activation as assessed by event-related fMRI[J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2003, 131(131): 99-105.
- [27] Haase L, Green E, Murphy C. Males and females show differential brain activation to taste when hungry and sated in gustatory and reward areas[J]. *Appetite*, 2011, 57(2): 421-434.
- [28] 刘雪梅, 刘洪臣, 金真, 等. 咸味觉的磁共振脑功能成像研究[J]. *牙体牙髓牙周病学杂志*, 2005, 15(5): 241-245.
- [29] Toma K, Nakai T. Functional MRI in human motor control studies and clinical applications[J]. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, 2002, 1(2): 109-120.
- [30] Hamada M, Muroi Y, Kakudo K. Effects of temporomandibular joint sensory deprivation on cerebral activity during clenching[J]. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery Medicine & Pathology*, 2012, 24(3): 165-170.
- [31] Kimoto K, Ono Y, Tachibana A, et al. Chewing-induced regional brain activity in edentulous patients who received mandibular implant-supported overdentures: A preliminary report[J]. *J Prosthodont Res*, 2011, 55(2): 89-97.
- [32] Kamiya K, Narita N, Iwaki S. Improved prefrontal activity and chewing performance as function of wearing denture in partially edentulous elderly individuals: functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Plos One*, 2016, 11(6).
- [33] Moulton EA, Pendse G, Morris S, et al. Capsaicin-induced thermal hyperalgesia and sensitization in the human trigeminal nociceptive pathway: an fMRI study[J]. *Neuroimage*, 2007, 35(4): 1586-1600.
- [34] Kawakubo N, Miyamoto J J, Katsuyama N, et al. Effects of cortical activations on enhancement of handgrip force during teeth clenching: an fMRI study[J]. *Neuroscience Research*, 2013, 79(1): 67-75.
- [35] Yilmaz S. To see bruxism: a functional MRI study[J]. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2015, 44(7): 58-60.
- [36] Narita N, Funato M, Ishii T, et al. Effects of jaw clenching while wearing an occlusal splint on awareness of tiredness, bite force, and EEG power spectrum[J]. *Journal of Prosthodontic Research*, 2009, 53(3): 120-125.
- [37] Hamada M, Muroi Y, Kakudo K. Effects of temporomandibular joint sensory deprivation on cerebral activity during clenching[J]. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery Medicine & Pathology*, 2012, 24(3): 165-170.
- [38] Malandraki GA, Johnson S, Robbins JA. Functional MRI of swallowing: From neurophysiology to neuroplasticity[J]. *Head & Neck*, 2011, 33 (S1): 14-20.
- [39] 吴军发, 胡永善, 吴毅, 等. 健康成人吞咽口腔期的功能磁共振成像研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2013, 28(9): 789-793.
- [40] 张泉. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的静息态脑功能磁共振成像研究[D]. 天津医科大学, 2012.
- [41] 姜婷, 李健, 金真, 等. 咬合治疗后原因不明口颌面疼痛患者的功能性磁共振成像分析[J]. *中华口腔医学杂志*, 2006, 41(11): 670-673.

(编辑 全春天)