

鼻咽癌放疗后构音障碍患者舌尖音的舌尖上抬幅度和速度研究*

陈兆聪¹ 曹君妍² 喻勇¹ 冯小欢¹ 李明^{3,4} 丘卫红^{1,4}

摘要

目的:分析鼻咽癌放疗后构音障碍患者舌尖音的舌尖上抬幅度和速度,探讨肌肉纤维化影响舌构音运动的机制。

方法:鼻咽癌放疗后构音障碍患者和正常对照受试者读出汉语构音障碍评估的单词检查表,利用麦克风和电磁发音仪(EMA)同步记录受试者的语音信号和舌尖运动数据。根据检查表中四个包含舌尖辅音词语的音频信号,截取发音前舌尖上抬的动作数据,计算得到舌尖运动的幅度和平均速度,采用重复性方差分析比较两组受试者间,以及不同辅音—元音组合间的舌运动特征。

结果:构音障碍患者组和对照组舌尖音的舌尖上抬幅度没有显著性差异;不送气舌尖音/d/后接舌位较高的复元音/ian/时,舌尖上抬的幅度大于舌位较低的复元音/ai/。患者组舌尖上抬的平均速度明显小于对照组;送气舌尖音/t/舌尖上抬的平均速度显著高于不送气音/d/;后续元音为/ian/时平均速度大于元音为/ai/时。

结论:鼻咽癌放疗后构音障碍患者舌的运动速度先于运动幅度受到肌肉纤维化的影响,送气与不送气舌尖音后续不同舌位元音时具有特异性的发音机制。

关键词 构音障碍;舌;鼻咽癌;电磁发音仪

中图分类号:R739.6, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2019)-09-1043-06

The lingual elevating amplitude and velocity of alveolar consonants in dysarthric patients of nasopharyngeal carcinoma following radiation therapy/CHEN Zhaocong, CAO Junyan, YU Yong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(9): 1043—1048

Abstract

Objective: To explore the lingual elevating amplitude and velocity of alveolar consonants produced by the dysarthric patients with nasopharyngeal carcinoma(NPC) following radiation therapy and illuminate the underlying mechanisms of lingual movement influenced by the muscle fibrosis.

Method: The audio signal and the coordinates of lingual movement were recorded simultaneously by microphone and electromagnetic articulography(EMA) while the NPC patients of dysarthria and control subjects were reading the word list of Chinese dysarthria assessment. The coordinates of lingual movements while reading the words containing alveolar consonants were extracted according to the time window defined by the audio signal. The amplitudes and averaged velocities of apex linguae were calculated and repeated analysis of variance(RM-ANOVA) was conducted to compare the difference between subject groups and consonant-vowel combinations.

Result: There was a lack of significant difference of lingual elevation amplitudes between patients and controls,however,the amplitude of voiceless consonant combined with vowel of high tongue place was greater than that of vowel of low tongue place. Significant main effects of groups, consonant and vowel categories were re-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.09.007

*基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(81401869);广东省医学科学技术研究基金项目(A2017006);广东省自然科学基金项目(2016A030313327)

1 中山大学附属第三医院康复医学科,广州,510630; 2 中山大学附属第三医院超声科; 3 昆山杜克大学; 4 通讯作者

作者简介:陈兆聪,男,博士,主治医师; 收稿日期:2018-04-10

vealed by three way RM-ANOVAs performed on the velocity of lingual elevation. Slower movements were showed in the patient groups,with the voiceless consonants and the vowels with low tongue place,respectively.

Conclusion: The velocity of lingual movement was influenced by the muscle fibrosis earlier than the amplitude. Specific kinetic mechanisms were adopted to improve the differentiation of varied combinations of consonant and vowel categories.

Author's address Dept. of Rehabilitation Medicine, The Third Affiliated Hospital Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510630

Key word dysarthria; lingual; nasopharyngeal carcinoma; electromagnetic articulography

鼻咽癌患者接受放射性治疗后出现进行性加重的构音障碍,严重影响了患者与他人的正常言语交流,是鼻咽癌患者生存质量下降的一个重要原因^[1]。正常的构音过程除了需要声带振动和呼吸系统的配合,更需要口、鼻、咽腔构音器官精确而协调的运动。在所有与构音有关的结构中舌是最重要的构音器官之一,发音时舌在口腔里的运动及它与硬腭、牙齿等结构的相对位置,是产生不同辅音种类的决定因素^[2]。

音节是人类言语的基本组成单位,大部分汉语音节属于辅音—元音结构,即一个辅音和一个元音组成一个音节。其中辅音是区分不同音节的主要特征。放射性治疗导致鼻咽癌患者的舌肌萎缩、纤维化,出现以辅音失准等表现为特点的构音障碍^[3]。以往构音障碍在临床诊疗工作中以量表评估为主,缺少定量分析构音器官运动学特征的检测手段。近年来,电磁发音仪(electromagnetic articulography, EMA)的出现解决了以上问题。该仪器的发射器可产生多个不同强度的磁场,用作记录的微型传感器可粘贴于构音器官上,通过磁场引起的感应电压的变化来指示传感器在空间中的三维坐标^[4],并可经数据分析得到包括运动幅度、速度、时长、最大加速度和最大减速度等运动学参数^[5]。

鼻咽癌放疗后患者的肌肉纤维化可引起构音器官的运动幅度降低、速度减慢。但目前鼻咽癌放疗后构音障碍的发生和发展机制尚不明确,对于是否需要在病程的不同阶段对构音器官运动幅度或速度的治疗有所侧重仍未有定论。本研究拟采用EMA记录鼻咽癌放疗后构音障碍患者和正常对照组发音时的舌运动数据,比较舌尖辅音发音时运动幅度和平均速度的组间差异,并分析不同舌尖辅音及后续元音的发音特征,探讨肌肉纤维化影响舌构音运动

的作用机制,为鼻咽癌放疗后构音障碍患者的临床治疗提供理论依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

患者组纳入标准:①确诊为鼻咽癌并行放射治疗,经超声检查证实放疗区域存在纤维化改变,具体方法参见文献^[6];②采用中国康复研究中心版汉语构音障碍检查法评估,具有舌尖音构音障碍表现;③无口咽腔结构异常等器质性病变;④年龄18—60岁;⑤母语为普通话或已学习并掌握普通话标准发音;⑥意识清楚,能配合相关检查,对本研究知情同意。

患者组排除标准:①最大张口幅度<2cm,舌伸出超过切牙长度<2.5cm;②肿瘤复发或转移;③有严重感染或呼吸循环等系统疾病者;④有严重精神行为异常、不能配合检查者。

对照组纳入标准:①无视力、听力障碍,无唇齿及口咽腔结构异常;②测试前2周内无呼吸道感染、鼻炎、咽喉炎及声带疾病等;③年龄18—60岁;④母语为普通话或已学习并掌握普通话标准发音;⑤对本研究知情同意。

1.2 EMA及语音数据采集

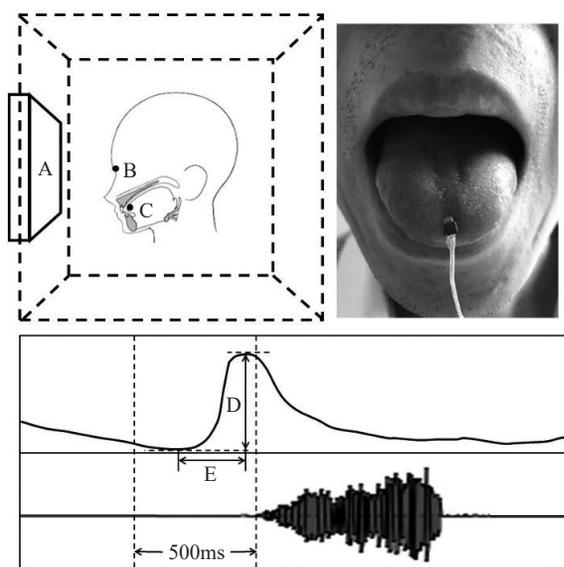
本研究使用Wave言语研究系统(Northern Digital Inc., Waterloo, Canada)采集受试者的发音动作数据,并利用Takstar头戴式无线麦克风(TS-8807A)同步记录受试者的语音信号。EMA的磁场范围设定为50×50×50cm,受试者取坐位,头部置于立体磁场范围中心。测试前将参考传感器固定于鼻根,受试者清洁口腔后,用纱布擦干舌面,使用Ketac口腔粘合剂(3M ESPE, Germany)将记录传感器粘贴于距舌尖3mm的舌面处。该传感器记录的是相对参考传感器的动作数据,以此消除发音过程中头部活

动的影响。受试者进行适应性训练并确保传感器固定后,以600—800ms/词的速度读出汉语构音障碍评估中单词检查部分的50个词语,重复进行2组,组间休息3min。音频信号记录使用16kHz采样、16bit量化的WAV格式,EMA数据采样率为100Hz。

1.3 EMA数据提取及统计分析

以舌尖辅音/d/和/t/的发音动作为研究目标,记录下单词检查中分别包含/tian/、/tai/、/dian/和/dai/四个音节的“天安门”、“太阳”、“电冰箱”和“皮带”四个词语发音前500ms和发音结束时的时刻点,截取出该时间窗内同步记录的受试者舌尖传感器垂直方向的动作数据。发舌尖音前舌尖需上抬至切牙齿龈构成阻碍,发音时气流冲破阻碍爆发成声。舌尖的上抬幅度为发音前500ms开始传感器空间运动参数中Y轴时间幅度曲线最低点至最高点的距离^[5](图1)。舌尖上抬的平均速度为上抬幅度与时间之比。本研究中,我们以舌尖音种类(送气音/t/,不送气音/d/)、后续元音种类(/ian/,/ai/)作为组内因素,以受试者组别(患者组,对照组)作为组间因素,对舌尖上抬的幅度和平均速度作2×2×2的三因素重复性方差分析。进行重复性方差分析前先对数据作正态性(Kolmogorov-Smirnov检验)和方差齐性(Levene检验)的检验,以判断是否符合方差分析的条件。

图1 电磁发音仪(EMA)检测与分析示意图



注:A:磁场发射器;B:参考传感器;C:记录传感器;
D:舌尖上抬幅度;E:舌尖上抬时长

2 结果

2.1 一般性资料

患者组男性11例,女性1例,平均年龄为(48.33±8.66)岁,平均病程为(4.92±1.68)年;对照组男性10例,女性2例,平均年龄为(46.92±7.96)岁,两组年龄($F=0.174, P=0.681$)、性别($P=0.5$)无显著性差异。经Kolmogorov-Smirnov检验和Levene检验显示受试者各组发音舌尖上抬的幅度和平均速度数据均符合正态性分布($P \geq 0.062$)及方差齐性($P \geq 0.066$)。

2.2 舌尖上抬幅度

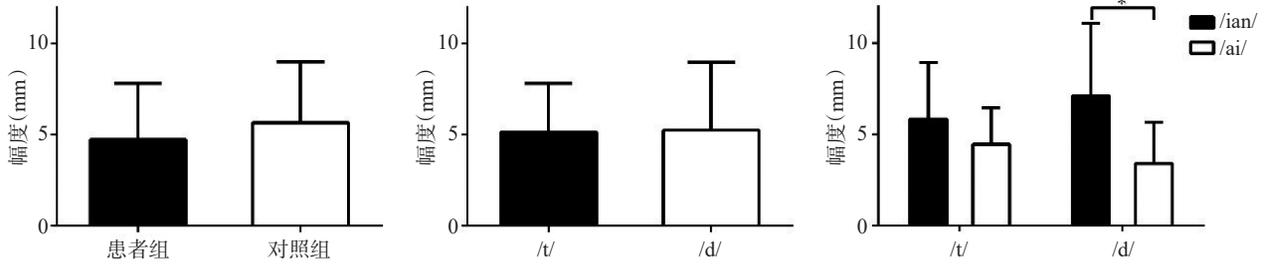
舌尖上抬幅度的三因素重复性方差分析发现,受试者组别($F(1,22)=1.117, P=0.302$)和舌尖音种类($F(1,22)=0.089, P=0.769$)的主效应不存在显著性差异。患者组(4.73±3.08)mm和对照组(5.67±3.33)mm舌尖上抬的幅度差异没有显著性。而后续元音种类的主效应差异具有显著性($F(1,22)=14.417, P=0.001$),并且后续元音种类与舌尖音种类存在显著的交互效应($F(1,22)=14.166, P=0.001$),因此,需要分别对每种舌尖音情况作后续元音种类的单因素方差分析。

结果提示,发送气舌尖音/t/时,舌尖上抬幅度不受后续元音种类影响($F(1,46)=3.376, P=0.073$);发不送气舌尖音/d/时,不同后续元音舌尖上抬幅度有显著性差异($F(1,46)=15.525, P<0.001$),发音节/dian/时(7.1±4.01)mm上抬的幅度大于发音节/dai/时(3.4±2.25)mm,见图2。

2.3 舌尖上抬平均速度

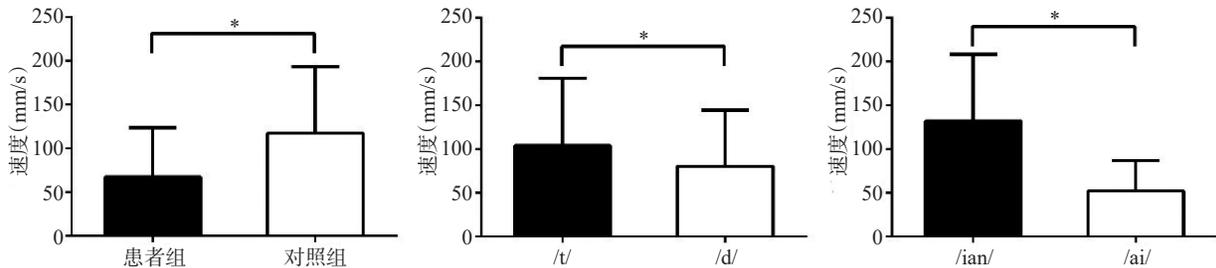
对舌尖上抬平均速度作三因素重复性方差分析发现,受试者组别($F(1,22)=9.973, P=0.005$)、舌尖音种类($F(1,22)=8.366, P=0.008$)和后续元音种类($F(1,22)=59.797, P<0.001$)的主效应均具有显著性差异,而各因素间没有显著的交互效应。患者组(67.37±56.30)mm/s舌尖上抬的平均速度明显小于对照组(117.35±76.00)mm/s;送气舌尖音/t/(104.14±76.51)mm/s的平均舌尖上抬速度显著高于不送气音/d/(80.58±63.96)mm/s;后续元音为/ian/时(132.23±75.96)mm/s舌尖上抬的平均速度大于元音为/ai/时(52.49±34.80)mm/s。见图3。

图2 受试者组别、舌尖音种类和后续元音种类间舌尖上抬幅度的比较



注:*差异具有显著性意义

图3 受试者组别、舌尖音种类和后续元音种类间舌尖上抬平均速度的比较



注:*差异具有显著性意义

3 讨论

3.1 舌肌纤维化在舌运动幅度和速度上的反映

舌肌萎缩和舌运动障碍是鼻咽癌放疗患者一种常见的后遗症,随之引发的吞咽困难和构音障碍严重影响患者的生存质量^[7-8]。舌肌包括四对舌内肌和四对舌外肌。由于上述舌肌在解剖关系上与鼻咽腔毗邻,即使采用适形调强放疗,只能豁免唾液腺等部分组织和器官^[9],舌肌仍存在较大可能会受到照射。鼻咽癌患者接受放射性治疗后,照射野内正常的肌纤维细胞发生蛋白质的水解、肌丝断裂和细胞基质成分的改变。持续的炎症反应又会使血管受损,局部组织缺血进一步加速细胞坏死。最后,胶原纤维逐渐沉积,肌肉细胞被成纤维细胞代替,肌肉组织萎缩、纤维化^[10]。本研究结果提示,鼻咽癌放疗患者舌尖上抬的幅度与平均速度均小于正常对照组,尤其是上抬的平均速度,差异具有显著性意义。这说明鼻咽癌放疗患者舌肌的纤维化在构音器官的运动学数据中也得以反映。事实上,本研究采用的EMA设备配有多个记录传感器,可放置在舌尖、舌

面、舌根等部位,追踪整个舌体在构音过程中的形态与运动轨迹。但由于粘贴传感器时需要患者长时间保持伸舌动作,对患者舌肌的耐力和活动范围均有较高的要求,同时也可能影响后续实验时患者的构音表现;另外,有研究证明舌尖传感器足以提供区分不同舌尖音的运动数据^[11]。因此,本研究着眼于舌尖音/d/和/t/,只在受试者的舌尖粘贴一个记录传感器,保证了患者不会因为过长的准备时间和过高的配合要求使实验结果造成偏差。

鼻咽癌放疗患者的舌肌纤维化同时影响了构音和吞咽功能。但既往的研究更多地关注了吞咽功能方面^[7]。在吞咽的口腔准备期,舌参与将食物搅拌形成食团;在口腔期则与腭相互作用将食团后送。与吞咽时相对简单而重复的舌活动相比,构音发声需要舌肌更加精细而准确的协调运动^[12]。对于汉语这种声调语言来说,言语的辨识度一方面取决于音节中元音的声调,这是由声带的振动频率决定的;另一个更重要的方面取决于音节中辅音发音的准确程度。汉语辅音可按发音部位、发音方式、气流控制和

声带是否振动分为不同类型。以本研究选择的舌尖音为例,发音前舌尖需上抬至切牙后的牙槽嵴构成阻碍^[13],发音时气流冲破阻碍爆发成声。此外,舌尖音/t/发音时需送出较强的气流,属于送气音;而/d/的气流较弱,属于不送气音。可见,构音过程中舌肌需要在有限的时间内完成特定的动作,使口腔内结构形成一定的形状,并与控制声带振动和气流呼出的喉肌和呼吸系统严密配合,才能产生准确的发音。若上述程序一旦某一环节出现失误,就会发生构音失准,影响言语的辨识度和可理解度。

3.2 舌运动幅度和速度的不同步改变

鼻咽癌放疗后患者的构音障碍兼具有弛缓性与运动过小性的特征。发音时声带振动频率的可变范围缩窄、软腭抬升障碍、鼻腔封闭不全,导致了气息音、鼻音过重、声音嘶哑、音质粗糙和音调单一等表现^[14];另外,由于唇、舌、下颌的运动减弱,逐渐出现轻至重度的辅音失准^[15]。可见,此类患者构音障碍的主要机制是肌肉的纤维化、肌张力下降(“弛”)使构音器官的运动速度减慢(“缓”)、幅度降低(“小”)。与之吻合的是,本研究中患者组发舌尖音时舌尖上抬的平均速度明显低于对照组。另一方面,虽然舌尖上抬的幅度没有显示出两个受试组之间的差异,但并不说明鼻咽癌放疗后构音障碍患者舌运动的幅度不受影响,这可能是由于本实验传感器的放置需要患者保留一定的伸舌功能,所入组的患者舌运动障碍相对较轻。此结果也间接提示了鼻咽癌放疗后初期首先受影响的是肌肉的运动速度,而肌肉的运动幅度在病变发生到一定阶段才逐渐减小。

这种肌肉的收缩效能和延展特性的非同步改变与以往的研究结果一致。Russell等^[16]手术暴露大鼠的颞舌肌,进行射线辐射后在第12周检测肌肉的组织形态和收缩效能。结果显示,颞舌肌单次收缩和强直收缩的峰值均显著减小,但肌肉横断面的纤维化比例没有增加,说明颞舌肌收缩效能的改变早于纤维化的发生。研究者比较了照射前后肌肉的张力—频率曲线,发现照射后张力—频率曲线左移至较低频率阈值处,提示肌肉里的慢肌纤维比例增多^[17]。发音时舌尖的运动并非匀速进行,而是一个包括了上抬开始时的加速和接近目标位置时的减速的变速过程。肌肉收缩效能的下降,导致了运动速

度的控制能力减弱,速度峰值降低,平均速度小于正常人群。类似的言语病理机制在脑外伤后的构音障碍患者中也有发现——患者进行重复音节发音任务时舌运动的速度—幅度比率较正常人明显降低^[18]。上述结果共同说明,构音障碍不仅受运动幅度的影响,它与构音器官的速度控制有着更为密切的关系。

3.3 不同辅音—元音组合的发音机制

本研究除了对比患者与正常对照之间的差异外,还分析了送气与不送气舌尖音后接不同复元音是否具有各自的运动学特点。结果提示发不送气舌尖音/d/时,如果后接舌位较高的复元音/ian/,舌尖上抬的幅度大于舌位较低的复元音/ai/时的幅度。这可能是由于在不送气的情况下,为了保证舌尖辅音后高舌位的元音也具有足够的辨识度^[19]。在/dian/发音前下颌需作小幅度的下移,相应增加了舌尖上抬的幅度。而送气辅音因为强气流呼出的作用,即使舌尖上抬的最高点到元音舌位的距离较小,仍然可使听者区分出不同的元音类别。另一方面,通过舌尖运动平均速度的分析发现,送气音/t/的舌尖上抬速度高于不送气音/d/。我们推测这是与发送气音时舌尖上抬后还存在气流呼出的步骤有关。舌尖需要在更短的时间内抬升相同的高度,因此运动的速度更快。虽然舌尖上抬幅度只在不送气音的情况下才会呈现复元音种类之间的区别,但任何一种舌尖音的运动速度在接高舌位元音的条件下均大于低舌位的元音,提示送气与不送气舌尖音为了增加后续不同舌位元音的辨识度可能具有特异性的发音机制。不送气舌尖音/d/后接高舌位元音/ian/时,由于舌尖需要完成较大幅度的抬升,因此需要更快的速度;而送气舌尖音/t/后接高舌位元音/ian/时,舌尖需要更迅速地到达牙槽嵴,形成阻碍,产生更长的气流阻塞时间、完成更充分的构音动作^[19],使高舌位的元音具有更高的辨识度。

综上所述,本研究采用EMA记录发音时的舌运动数据,揭示了鼻咽癌放疗后构音障碍患者的舌尖运动幅度和速度特征。放疗后肌肉收缩效能和延展特性的非同步改变,可能是构音器官的运动速度先于运动幅度受到肌肉纤维化影响的主要原因。本研究的结果有助于阐明鼻咽癌放疗后构音障碍的发生和发展机制,提示应根据患者的病程采取针对构音

器官速度控制或运动幅度的治疗方法。

参考文献

- [1] Verdonck-de Leeuw IM, Buffart LM, Heymans MW, et al. The course of health-related quality of life in head and neck cancer patients treated with chemoradiation: a prospective cohort study[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 110(3):422—428.
- [2] 林焘,王理嘉. 语音学教程[M]. 北京:北京大学出版社,1992.
- [3] Jacobi I, van Rossum MA, van der Molen L, et al. Acoustic analysis of changes in articulation proficiency in patients with advanced head and neck cancer treated with chemoradiotherapy[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2013, 122(12):754—762.
- [4] Savariaux C, Badin P, Samson A, et al. A comparative study of the precision of carstens and northern digital instruments electromagnetic articulographs[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2017, 60(2):322—340.
- [5] Kuruvilla M, Murdoch B, Goozée J. Electromagnetic articulography assessment of articulatory function in adults with dysarthria following traumatic brain injury[J]. *Brain Inj*, 2007, 21(6):601—613.
- [6] 陈兆聪,曹君妍,喻勇,等. 鼻咽癌放疗后吞咽困难患者肌肉纤维化与舌骨位移的相关性研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2017,39(12):903—907.
- [7] Lazarus CL, Husaini H, Hu K, et al. Functional outcomes and quality of life after chemoradiotherapy: baseline and 3 and 6 months post-treatment[J]. *Dysphagia*, 2014, 29(3):365—375.
- [8] Hutcheson KA, Lewin JS, Holsinger FC, et al. Long-term functional and survival outcomes after induction chemotherapy and risk-based definitive therapy for locally advanced squamous cell carcinoma of the head and neck[J]. *Head Neck*, 2014, 36(4):474—480.
- [9] Christianen ME, van der Schaaf A, van der Laan HP, et al. Swallowing sparing intensity modulated radiotherapy (SW-IMRT) in head and neck cancer: Clinical validation according to the model-based approach[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 118(2):298—303.
- [10] King SN, Dunlap NE, Tennant PA, et al. Pathophysiology of radiation-induced dysphagia in head and neck cancer[J]. *Dysphagia*, 2016, 31(3):339—351.
- [11] Katz WF, Mehta S, Wood M, et al. Using electromagnetic articulography with a tongue lateral sensor to discriminate manner of articulation[J]. *J Acoust Soc Am*, 2017, 141(1):EL57.
- [12] Jacobi I, Navran A, van der Molen L, et al. Radiation dose to the tongue and velopharynx predicts acoustic-articulatory changes after chemo-IMRT treatment for advanced head and neck cancer[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016, 273(2):487—494.
- [13] Melo RM, Mota HB, Berti LC. The contrast between alveolar and velar stops with typical speech data: acoustic and articulatory analyses[J]. *Codas*, 2017, 29(3):e20160117.
- [14] Van der Graaff M, Kuiper T, Zwinderman A, et al. Clinical identification of dysarthria types among neurologists, residents in neurology and speech therapists[J]. *Eur Neurol*, 2009, 61(5):295—300.
- [15] Duffy JR. *Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis, and Management*[M]. 2nd ed. St. Louis, MO: Elsevier Mosby, 2005, 203.
- [16] Russell JA, Connor NP. Effects of age and radiation treatment on function of extrinsic tongue muscles[J]. *Radiat Oncol*, 2014, (9):254.
- [17] Kim JP, Khalmuratova R, Jeon SY, et al. Quantitative analysis of myosin heavy chain expression change in laryngeal muscle after irradiation in rats[J]. *Yonsei Med J*, 2011, 52(1):158—164.
- [18] Goozée JV, Murdoch BE, Theodoros DG, et al. Kinematic analysis of tongue movements in dysarthria following traumatic brain injury using electromagnetic articulography[J]. *Brain Inj*, 2000, 14(2):153—174.
- [19] Mefferd AS. Tongue- and Jaw-Specific Contributions to Acoustic Vowel Contrast Changes in the Diphthong /ai/ in Response to Slow, Loud, and Clear Speech[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2017, 60(11):3144—3158.
- [20] Zawadzki PA. Tongue apex activities during alveolar stops [J]. *Phonetica*, 1981, 38(4):227—235.