

舌癌术后智能语音功能康复训练系统的开发与应用

沈利凤¹, 刘丽丽², 朱慧¹, 钱雅芬¹, 孙美蓉¹, 郭海巍¹, 陈杰³, 周亮⁴, 金艾香¹

摘要:目的 探讨基于体感控制的智能语音功能康复训练系统在舌癌术后患者语音康复中的应用效果。方法 将 78 例舌癌术后语音功能障碍的患者按照时间段分为对照组与观察组各 39 例;对照组实施常规康复训练,观察组开发基于体感控制的智能语音功能康复训练系统,用于患者训练。干预 6 个月后评价效果。结果 观察组语音清晰度评分及癌症患者生活质量各功能维度评分显著高于对照组(均 $P < 0.05$)。结论 该智能训练系统的应用有助于提高舌癌术后患者语音训练效果,从而提升生活质量。

关键词:舌癌; 手术; 语音功能; 体感控制; 训练系统; 康复护理

中图分类号:R473.78;R493 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2023.12.093

Design and application of intelligent speech rehabilitation training system after tongue cancer surgery Shen Lifeng, Liu Lili, Zhu Hui, Qian Yafen, Sun Meirong, Guo Haiwei, Chen Jie, Zhou Liang, Jin Aixiang. *Otolaryngology, Head and Neck Surgery Center, Zhejiang Provincial People's Hospital, Hangzhou 310000, China*

Abstract: **Objective** To investigate the effect of somatosensory-controlled speech rehabilitation training system on speech rehabilitation in tongue cancer patients after surgery. **Methods** Seventy-eight tongue cancer patients with speech dysfunction after surgery were chronologically assigned to two groups, with 39 in each group. The control group was given usual rehabilitation training, while the observation group received speech rehabilitation training using a somatosensory-controlled system. **Results** Six months after the intervention, the scores of speech intelligibility and quality of life in the observation group were significantly higher than those in the control group (all $P < 0.05$). **Conclusion** Application of intelligent speech rehabilitation training system can improve rehabilitation effect and quality of life in patients after tongue cancer surgery.

Key words: tongue cancer; surgery; voice function; somatosensory control; training system; rehabilitation nursing

舌癌是口腔颌面最常见的恶性肿瘤之一,其发病率居口腔癌之首^[1]。该疾病以手术治疗为主,术后行组织瓣修复缺损或者非修复都会对患者产生语音功能障碍^[2-3]。语音功能障碍不仅影响社会交流能力,同时引起患者心理、行为上的障碍,严重影响生活和工作^[4-5]。有研究者提出语言功能训练在患者术后有较好的康复效果^[6],且训练开始时间越早,舌体功能及语音康复效果越好^[7]。传统训练模式训练过程费时费力,训练内容固定且无法更改,单一重复的训练使患者产生倦怠乃至抵触心理^[8-9]。体感控制技术以人为中心,再由机器通过特殊方式对用户的动作进行识别、解析,在机器端做出反馈的计算机人机交互技术^[10-12]。本研究开发“智能语音功能康复训练系统”(下称训练系统)用于舌癌术后患者语音康复,探索语音康复数据精准采集—有效训练—智能评估的新方法,提高舌癌术后患者语音清晰度,从而提高生活质量。具体方法与结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2020 年 5 月至 2022 年 2 月于

作者单位:浙江省人民医院 1.耳鼻咽喉—头颈外科中心头颈外科 3.信息中心 4.康复医学科(浙江 杭州,310000);2.上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔颌面头颈肿瘤科

沈利凤;女,本科,主管护师

通信作者:金艾香,jinaixiang77@163.com

科研项目:2023 年浙江省医药卫生科技计划一般项目(2023KY010)

收稿:2023-01-05;修回:2023-02-22

我院头颈外科住院手术治疗的舌癌患者为研究对象,报请医院伦理委员会审查获得批准(QT2022434)。纳入标准:①病理诊断为原发舌癌,为舌体癌,不累及舌根、未侵犯下颌骨,无远处转移;②年龄 18~70 岁,会说普通话,理解能力正常;③行舌颌颈联合根治术+游离皮瓣转移修复术;④术后创面无感染,皮瓣存活良好,能发声(已拔除气切套管或气切套管已堵管无明显不适);⑤术前未接受过靶向治疗及化疗;⑥对本研究知情,自愿加入并同意配合。排除标准:①并存中枢神经系统疾病且生活无法自理;②存在张口发声等功能障碍;③伴有其他部位肿瘤,或伴其他严重急性或慢性疾病。按入院时间段分组,将 2020 年 5 月至 2021 年 3 月入院 41 例设为对照组,2021 年 4 月至 2022 年 2 月入院的 43 例设为观察组。研究期间观察组脱落 2 例(1 例失访,1 例训练中断)、对照组脱落 4 例(1 例失访,2 例训练中断,1 例切口愈合不良)。两组完成全程研究均为 39 例。两组一般资料比较,见表 1。

1.2 语音康复方法

对照组采取常规语音康复训练,包括舌训练、唇训练、下颌及张口训练、发声训练。出院后将语音康复训练方法做成图片和文字形式的小卡片,并将科室录制的正确发声音频和发声嘴型及唇、舌、齿运动位置的视频发放给患者,由家属陪伴及监督练习。出院后每月第 1 天召集患者返回病区示教室,进行集体语音康复训练,对于不能前来参加集体训练的患者由责任护士

每月进行电话回访。通过集体训练和电话回访了解患者语音康复训练进展,对语音训练中出现的问

题,予以调整。对于能够坚持训练并取得进步的患者给予鼓励与奖励。观察组采取训练系统实施干预,具体如下。

表 1 两组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	肿瘤部位(例)			肿瘤病理分期(例)		皮瓣类型(例)			
		男	女		舌尖	舌缘	舌体	T1~T2	T3~T4	胸大肌皮瓣	股前外侧皮瓣	腓骨肌皮瓣	前臂皮瓣
对照组	39	30	9	59.37±6.48	6	10	23	23	16	5	4	9	21
观察组	39	28	11	60.38±6.46	9	9	21	19	20	3	3	13	20
χ^2/t		0.269		0.687	0.744			0.825		—			
<i>P</i>		0.604		0.822	0.690			0.364		0.759			

1.2.1 成立语音障碍康复协同管理团队

管理团队由护士长 1 名,责任护士 3 名、主治医生 1 名、康复师 1 名、系统管理员 1 名共 7 名成员组成。主要任务:负责康复方案制定与实施,依据患者舌切除的范围、部位、重建手术方式、心理状态、社会文化背景及其训练的效果进行个体化干预,监督康复方案的落实情况,患者数据收集、康复指导、咨询答疑,系统运行维护与技术指导等,全程采用目标式、阶梯式管理。

1.2.2 开发训练系统 由管理团队根据研究的目的、意义、现状、外部环境,提出需求及软件具备的功能;软件开发团队根据现实环境、经济、技术做出可行性方案。管理团队中的责任护士访谈 10 例舌癌术后患者及其家属,纳入访谈结果与软件开发团队进行数轮讨论后构建训练系统初始版。遴选 5 名副高及以上职称护理和康复专家,以电子邮件的形式函询,经过 3 轮专家函询与管理团队讨论,形成语音康复训练系统测试版。头颈外科诊室 PC 机安装该软件系统、体感控制器;选取 12 例舌癌术后出院患者出院后 1 周、2 周、4 周来院复查时使用训练系统,体验结束后评价系统性能,给出意见及建议。软件研发者观看患者体验全过程,根据研究者在测试过程中观察到的不足与测试后患者反馈,综合修改调试系统。在患者体验、专家评定、安全可行的基础上对训练程序进行调整与更新,优化升级为训练系统改良版。训练系统改良版包含信息管理、人机交互、数据输入与输出、综合评价 4 个板块。①信息管理。包括患者基本情况、治疗信息 2 个模块。基本情况模块包括患者一般资料、既往病史和心理社会支持系统等;治疗信息模块包括舌肿瘤部位与大小、手术方式、切除范围、皮瓣移植类型、伤口恢复情况等。②虚拟环境下的人机交互。通过三维技术建立患者三维人物面部头像模型,实时显示患者面部动画的面部表情、唇部动作、舌头运动状态的面部三维动画效果,跟随虚拟护士按照康复训练方案进行训练。③康复训练数据的输入与输出。从运动学和声学两方面来分析患者的发声特点,将传感器用牙科粘剂粘在舌体上。在声音录制的同时采集发声器官运动型态,利用电磁发声动作记录仪收集舌部、嘴唇和下颌的运动情况,特别是对于舌的升降运动,通过高精度的传感器将口腔内外发声器官的三维运动信息收集到配套的计算机中。④综合评价。传感器将数据通过网络传到服务器,并模拟对比患者

口腔的开合运动与给出相应动作幅度标准图,在服务器端进一步分析处理,显示出患者的成绩及发声器官存在的问题,提供正确的、科学的训练方式实施语音康复训练。

1.2.3 制定患者语音功能康复训练方案 依据发声器官运动规律和生理控制机制^[13]与舌癌术后患者的言语构音方式、言语发声状况,本研究设计患者术后第 2 周开始唇的训练,术后第 4 周开始下颌及张口训练、发声训练。见样表 1。

1.2.4 实施语音康复训练 术前由责任护士指导患者及家属学习《训练系统使用指南》,并协助将系统软件安装在患者自备的笔记本计算机中。安装完成后责任护士采用回授法教导患者及家属熟悉及应用该系统,直到完全掌握使用方法。系统采用人脸识别模型和关键点检测器,得到患者人脸面部特征点,利用唇部特征点计算唇部区域的高度与宽度。出院时将体感控制器借予患者,术后第 2 周开始跟随虚拟护士进行唇的训练。首先由虚拟护士讲解动作要领与训练目的,然后从不同角度进行示范,患者可以清晰地看到虚拟护士唇部动作,发出的声音及呼出的气流。然后患者跟随虚拟护士进行练习,训练中屏幕上显示训练者的面部表情、唇部动作、舌头运动状态的面部三维动画效果,对于出现的动作偏差由虚拟护士提醒,实时更正。术后第 4 周开始跟随虚拟护士进行下颌及张口训练、舌体训练和发音训练,首先由系统播放虚拟护士的正确发音,然后患者跟随练习,显示器上出现跟读的字词,患者可以清晰地观察自身发音时舌部运动数据、面部运动数据,系统自动将训练者发声与标准发声进行匹配,实现发声效果评估和矫正。训练过程循序渐进,以不引起切口剧烈疼痛为宜。完成单次训练量的患者由系统赠送小礼物,以增强康复训练的信心。医护管理端接收康复训练数据,包括患者发声时舌、齿等运动位置,音节准确性,将患者运动数据及反馈意见协同头颈外科医生、康复治疗师进行商议与答疑,保证康复训练的有效性。语音录制时,患者自主控制整个录制过程,以正常的语速连贯地读出提词器上的词语和句子。Kinect 红外发射器与头部之间的距离在保持在 60 cm 左右,使用简易头托托住头部,避免采集时头部动作偏大而导致数据失真。当被采集者开始之后,Kinect 数据采集系统就开始捕捉被采集者的音频、彩色视频、深度图像及深度信息

等多模态数据存入内存中。音频、视频样本采集完成后,赋予其统一 ID 号。

样表 1 舌癌术后患者语音功能康复训练方案

时间与项目	目标	训练内容与方法	训练时间
术后第 2 周开始唇的训练	增加上下唇及口腔内压力,开始为发声训练准备	跟随虚拟护士做唇的训练:掀起嘴唇发“呜”,张开嘴唇发“啞”;双唇内缩发“吧”,鼓起两腮发“啪”,重复交替。训练时先深吸气,闭紧双唇,用上下齿轻咬嘴唇,待口腔内贮满空气,等气压达到最大时,从双唇爆发出最大气流	3 次/d, 30 min/次, 训练 2 周
术后第 4 周开始下颌及张口训练	缓解术后颞颌关节强直,改善张口受限导致的语言清晰度下降	跟随虚拟护士做下颌及张口训练:尽可能地张开嘴,使下颌慢慢下降,然后再闭合,确保达到上下颌最大运动幅度的前提下,由慢到快;下颌前伸,缓慢地由一侧移向对侧	3 次/d, 5~10 遍/次, 训练 2 周
术后第 4 周开始舌体功能训练	防止咽下肌群失用性萎缩,提高舌体灵活性,运动速度和力度,恢复语音功能	跟随虚拟护士做各种舌的活动训练 ^[14-16] :①伸缩舌训练。将舌伸出口腔,舌尖碰到上下唇、左右口角;将舌缩到口腔后部并卷起,行左右上下运动,以训练舌的灵活性。②弹舌训练。用舌尖顶住硬腭前部并发出“der-der”声音,重复练习,增加舌尖肌肉强度。③顶舌训练。舌尖碰触前牙内侧上下、双颊内侧,反复进行,增加舌尖的力量与感觉。④舔舌训练。按下唇中间、唇左右角、上唇正中、唇外侧、舔食食物的顺序,舌肌的运转能力及颜面部肌肉明显提升。⑤舌体协调性训练。将口形缩成圆形,舌在口腔内上下左右旋转或摆动。⑥卷舌训练。卷起舌体,使舌尖大幅度上翘,旨在增加舌体的灵活性	3 次/d, 30 min/次, 训练 9~10 周
术后第 4 周开始发声练习	多用普通话交流,创造沟通语境,加强交流能力	跟随虚拟护士按汉语腭裂语音字母表从简单发音到复杂发声训练有计划系统地进行发音训练。舌平音:包括 z、c、s,姿势、磁场、资助、私立、措手不及等;舌尖前伸,舌面平直;舌尖抵住上门齿背,软腭上升,气流积蓄起来,待舌尖微离上齿背,气流泄出,摩擦成声。舌尖中音:包括 d、t、n,得到、腾飞、你牛等;舌尖抵住上齿龈,软腭上升,气流积蓄,舌尖离开上齿龈,气流冲出爆发成声。舌尖后音:包括 sh、ch、zh、r,知道、吃饭、是非、仍然等;舌尖上翘与硬腭前部接触,使气流受阻而构成一种辅音。舌根音:包括 k、g、h,各个、合适、刻度、蝌蚪等;舌头后缩,舌根隆起顶住硬腭与软腭交界处,软腭上升,冲破舌根阻碍,爆发成声。k、g 属于后位音,发声时舌根上台且有一定力度。短句、短文、会话:①读绕口令、诗词等短句、短文练习,确保发声正确的基础上,逐步加快语速,直至接近正常。②与虚拟护士进行交流,增强口语训练	开始 2 次/d,以后可逐渐增加,4~6 次/d, 15~30 min/次, 训练至术后 6 个月
备注:患者安装系统软件后,每日康复训练任务有虚拟护士在线提醒,并在线监测体感语音康复训练过程,完成后系统自动打卡。责任护士通过电话回访、视频语音、家属监督等方式鼓励患者完成训练任务。			

1.3 评价方法 患者出院前 1 d 由责任护士告知测评表的填写方法及要求,当场填写并回收;术后第 1、3、6 个月最后 1 d,对患者语音清晰度、患者生命质量进行测评。为确保质量,所有数据收集由 1 名责任护士完成,数据的录入由 2 名责任护士核对完成。①汉语语音清晰度评分。采用王国民等^[17]设计的汉语语音清晰度测试字表,语音清晰度=念对字总数/字表字总数×100%^[18]。系统自动导入该测评量表,字表涵盖 100 个汉字,涉及所有的汉语常用音节,患者语速平缓朗读该字表,系统智能评估患者发音的清晰度、流利度、准确度及音位构音能力情况,测试完成在线生成语音清晰度报告。②生命质量评分。采用 EORTC-QLQ-C30 中文版^[19]评估患者生命质量,该量表包含角色功能、躯体功能、社会功能、认知功能、情绪功能 5 个功能维度,疲劳、疼痛等 3 个症状维度,食欲、经济困难等 6 个单一条目以及 1 个总体健康状况维度。本研究选取 5 个功能维度对患者进行评估,将得分换算为 0~100 分的标准分进行统计,各维度得分越高表示患者生活质量状况越好。该量表各维度 Cronbach's α 系数为 0.715~0.907,各维度重测信度为 0.816~0.990^[20]。

1.4 统计学方法 采用 SPSS25.0 软件对研究数据进行统计分析,行 t 检验、 χ^2 检验、Fisher 精确概率法、重复测量的方差分析,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组干预前后语音清晰度评分比较 见表 2。

表 2 两组干预前后语音清晰度评分比较
分, $\bar{x} \pm s$

组别	例数	干预前	干预后 1 个月	干预后 3 个月	干预后 6 个月
对照组	39	33.21±5.03	36.21±4.59	57.36±5.13	72.23±3.43
观察组	39	32.26±4.50	38.56±4.64	64.08±3.77	92.28±4.43
t		0.878	2.258	6.595	22.350
P		0.383	0.027	<0.001	<0.001

注:两组比较, $F_{组间}=193.548, F_{时间}=2040.753, F_{交互}=82.913$, 均 $P<0.001$ 。

2.2 两组干预前后生命质量各功能维度得分比较 见表 3。

3 讨论

3.1 训练系统的应用可提高患者语言清晰度 舌癌患者术后发声器官位置变化,明显干扰发声系统,并直接影响术后语言交流和康复进程^[21-22]。本研究结果显示,干预后观察组语音清晰度评分显著优于对照

组(均 $P < 0.05$),与徐婧^[23]的研究结果一致。分析原因:①根据舌癌术后患者的发声特点和声学特征制定的体感控制个性化语音功能康复训练方案,加强了对唇、舌、颊、面部、颌骨、肌肉与其他组织的训练,使得残舌的灵活性、协调性、运动性得到更好的恢复,增加唇部力量与口腔内压力,更加有效地带动皮瓣运动,提高患者术后语音清晰度。②训练系统营造“沉浸式”游戏场景,还呈现详实的治疗数据,为语音康复提供客观、准确的治疗和评价参数,进而增强患者自我管理的信心,保证了康复训练的持续性和效果。③训练系统可通过可视化营造沉浸式虚拟现实环境激活大脑的镜像神经元,促使大脑发生可塑性改变和功能重组,挖掘和激活人体听说器官的代偿功能与潜能,提高患者语音康复效果。

表3 两组干预前后生命质量各功能维度得分比较
分, $\bar{x} \pm s$

维度	组别	例数	干预前	干预后 1个月	干预后 3个月	干预后 6个月
角色功能	对照组	39	55.13±7.71	56.77±6.93	62.97±6.78	68.26±6.20
	观察组	39	55.23±7.97	62.05±6.68	74.15±9.74	81.69±7.96
	<i>t</i>		0.058	3.426	5.884	8.315
	<i>P</i>		0.954	0.001	<0.001	<0.001
躯体功能	对照组	39	63.82±9.43	71.82±6.86	77.90±7.10	79.62±7.87
	观察组	39	66.59±7.60	73.92±8.13	80.15±8.80	87.46±9.19
	<i>t</i>		1.427	1.235	1.246	4.050
	<i>P</i>		0.158	0.221	0.217	<0.001
社会功能	对照组	39	62.64±6.90	64.74±8.77	70.21±6.37	75.62±8.48
	观察组	39	62.69±7.55	72.46±7.95	81.38±10.43	84.03±7.13
	<i>t</i>		0.031	4.070	5.715	4.741
	<i>P</i>		0.975	<0.001	<0.001	<0.001
认知功能	对照组	39	72.97±7.66	78.54±9.64	83.56±7.03	84.31±7.29
	观察组	39	74.41±9.74	82.00±7.91	86.15±7.73	90.46±7.03
	<i>t</i>		0.724	1.733	1.548	3.793
	<i>P</i>		0.471	0.087	0.126	<0.001
情绪功能	对照组	39	64.56±8.96	67.54±5.18	71.36±7.71	74.33±8.26
	观察组	39	63.77±8.57	72.05±8.36	75.95±8.61	86.31±6.97
	<i>t</i>		0.400	2.867	2.480	6.917
	<i>P</i>		0.690	0.005	0.015	<0.001

注:两组比较,角色功能, $F_{\text{组间}} = 76.576, F_{\text{时间}} = 108.456, F_{\text{交互}} = 12.299$,均 $P < 0.05$;躯体功能, $F_{\text{组间}} = 16.369, F_{\text{时间}} = 73.770$,均 $P < 0.05$; $F_{\text{交互}} = 2.208, P = 0.087$;社会功能, $F_{\text{组间}} = 56.475, F_{\text{时间}} = 69.979, F_{\text{交互}} = 6.856$,均 $P < 0.05$;认知功能, $F_{\text{组间}} = 13.933, F_{\text{时间}} = 43.279$,均 $P < 0.05$; $F_{\text{交互}} = 1.208, P = 0.307$;情绪功能, $F_{\text{组间}} = 32.032, F_{\text{时间}} = 57.390, F_{\text{交互}} = 8.577$,均 $P < 0.05$ 。

3.2 训练系统的应用有利于改善患者生活质量,改变护理结局 舌癌手术属于创伤性手术,术后舌体的破坏及其他发声器官形态的改变,导致不同程度的吞咽、咀嚼功能、语音障碍,严重影响患者的身心健康和生存质量^[24-25]。本研究结果显示,干预后观察组生活质量评分显著高于对照组(均 $P < 0.05$)。分析原因:①结合体感设备开发的语音训练系统形式新颖、趣味性高,患者可以与虚拟护士直接互动,减轻康复训练期间的心理压力。系统提供个体性、连续性、专业性的康复训练方案,保证训练的准确性,患者的治疗依

从性较好。②将患者置身于虚拟的游戏环境和可视的运动中,在轻松的音乐环境中跟随虚拟护士练习,使患者有身临其境的感受,增加了训练的依从性和趣味性。③通过系统化语音功能训练,患者的语音清晰度提高,能够顺畅与他人交流,积极面对社会及家庭,提高患者的自信心,提升生活质量。此外,通过唇、舌、下颌骨等器官的系统化训练,缓解了患者术后颞颌关节强直,患者张口度及吞咽功能明显改善,从而改善患者饮食状况,进一步提高生活质量。

4 小结

基于体感控制的训练系统的应用可提高舌癌术后患者的语音清晰度,提高舌癌术后患者的生存质量。语音功能的恢复是一个漫长的过程,需要长期的系统训练和康复指导,才能达到满意的效果。而本研究干预周期和时长偏短,未来尚需开展更长时间、更多样本和多中心的验证。

参考文献:

- [1] 王斌全,高伟,吴勇延. 头颈肿瘤多组学研究进展[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2017, 31(23): 1785-1788, 1792.
- [2] 吴春晓,鲍萍萍,黄哲宙,等. 2003—2012年上海市头颈部恶性肿瘤发病特征分析[J]. 中国癌症杂志, 2017, 27(6): 406-414.
- [3] Hong J S, Tian J. Prevalence of anxiety and depression and their risk factors in Chinese cancer patients[J]. Support Care Cancer, 2014, 22(2): 453-459.
- [4] 冯燕平,王焯华,李峰,等. 图文教育联合授权理论对舌癌术后患者语音功能及吞咽功能的影响[J]. 中华现代护理杂志, 2018, 24(30): 69-72.
- [5] 李帅,王晓萌,韦毅,等. 舌癌切除同期行股前外侧皮瓣解剖修复术对患者语音功能恢复的效果研究[J]. 中国临床新医学, 2020, 13(8): 782-786.
- [6] 翁雁秋,孙坚. 舌癌患者语言研究进展[J]. 国外医学(口腔医学分册), 2003, 30(4): 321-323.
- [7] 史炜琪. 舌癌术后患者的语音康复训练[J]. 护理学杂志, 2006, 21(22): 53-54.
- [8] 刘彦,李泓池,张昊男,等. 体感交互技术在医学领域中应用的前沿与趋势[J]. 中国数字医学, 2022, 17(1): 95-100.
- [9] 袁惠芳,方政,赵军方,等. 功能性构音障碍患者舌尖后音异常的语音特点及康复训练[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2019, 27(3): 270-275.
- [10] Tsekleves E, Paraskevopoulos I T, Warland A, et al. Development and preliminary evaluation of a novel low cost VR-based upper limb stroke rehabilitation platform using wii technology[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2016, 11(5): 413-422.
- [11] Gopaul U, van Vliet P, Callister R, et al. Combined physical and somatosensory training after stroke development and description of a novel intervention to improve upper limb function[J]. Physiother Res Int, 2019, 24(1): 1748-1752.
- [12] 徐涛,熊振芳,贺惠娟,等. 基于体感交互技术的3D中医护理虚拟实验室开发与应用[J]. 中医药导报, 2018, 24(15): 128-130.
- [13] 刘蝉,张少川,钱兆鹏,等. 普通话发音过程中的舌3维运