

言语失用的诊疗进展*

李思奇¹ 张玉梅^{2,3}

言语失用(apraxia of speech, AOS)是一种运动性言语障碍,临床上常伴有构音障碍、失语症等其他言语障碍,也可单独存在。由于临床工作者往往无法准确在不同言语障碍类型中区分出言语失用患者,使得患者的预后及生存质量受到不同程度的影响。因此,本文旨在通过对言语失用的语言学及影像学表现进行阐述,主要介绍近年来国内外针对言语失用诊断与治疗的进展,提高言语失用的判别准确率,有利于帮助患者制定康复方案。

1 言语失用概述

言语失用(apraxia of speech, AOS)是一种由于发音动作的计划及言语运动编程障碍引起的运动性言语障碍^[1],最早于60年代后期提出。其包括以下几种主要类型:由遗传或发育过程异常引起的儿童型言语失用(childhood apraxia of speech, CAS)、表现为孤立性言语失用的神经退行性疾病:原发性进行性言语失用(primary progressive apraxia of speech, PPAOS)、由脑损伤引起的获得型言语失用(acquired apraxia of speech, AOS),其中脑血管病是获得型言语失用最常见的病因。患者主要表现为言语速度减慢及发音时间延长、音调韵律异常、语音歪曲及替代。

2 言语失用的语言特征

2.1 语言表现及机制

言语运动控制系统(speech motor control, SMC)^[2]被认为是与语言产生相关的领域,而言语失用则是在语言产生的途中,即语言形成与语言输出之间出现障碍。有研究以人工语音合成系统模型(directions into velocities of articulators, DIVA)为基础^[3],通过描述语音获取与生成相关的处理过程,涉及前馈和反馈控制回路。这些回路被认为与早期语音开发和成熟语音生成有关。其中反馈控制包括将实际与预期的听觉和躯体感觉信号进行比较,并在发现不匹配(错误)时向运动皮层发出纠正运动指令。前馈控制通过整合反馈系

统的纠正指令,包括从语音产生区域到运动皮层的预测运动指令。在充分实践的情况下,前馈命令生成的误差很小。研究发现言语失用(AOS)反映了前馈控制的中断,而反馈控制则幸免于难。

言语失用患者的表现主要是发音时存在元音与辅音的发音方式及发音位置的改变,且随着音位的增加其发音错误增多^[4]。有研究考察了群与单音节、音节位置、音节数和发音语音特征在言语失用患者中的表现^[5],发现这些发音差异主要体现在音节的位置、音节的数量、发音的方式和发音上,提示AOS患者中存在较高比例的失真和替代错误。

这些发现有助于进一步提高对AOS的理解和评估。在AOS患者中主要表现为:①发音错误:言语启动困难、摩擦音错误增多、音位替代、歪曲、遗漏、重复、错误位置不恒定;②韵律异常:缺乏音调、响度、节奏的变化;③可意识到发音错误,出现大量口面动作搜寻及尝试,但无法纠正。

此外,有研究发现行为数据语言(lidcombe behavioural data language, LBDL)^[6]侧重于使用声音和音节作为语言分析的基本单位。LBDL所描述的语言障碍强调了不连贯的语言动作,可以对AOS患者言语中的不流畅性提供有用的量化和描述。这种不连贯主要体现在:①固定的姿势;②重复的动作;③多余的行为。

还有研究通过对言语失用患者进行元音共振峰(第一共振峰F1、第二共振峰F2)及语音开始时间(voice onset time, VOT)的离散度进行分析^[7],发现F1、F2和VOT的离散度对AOS的存在和严重程度的预测最为一致,也证实了AOS对发音的影响是全面的。

2.2 神经影像学特征

神经系统是一个相互连接的区域网络,这意味着一个颅内解剖区域的病变会影响结构和功能上的联系。目前针对患者颅脑功能和结构的影像测量序列主要利用静息态、功能态磁共振成像、弥散张量成像等。有研究学者发现在患有急性脑卒中的患者中,使用非参数映射和MRIcron软件进行基

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.02.021

*基金项目:国家自然科学基金面上项目(81972144, 31872785, 81972148);国家重点研发项目(2018YFC2002300, 2018YFC2002302);北京市医院管理重点医学专业发展“扬帆计划”项目(ZYLX201836);广东省重点领域研发计划项目(2018B030332001);北京市自然科学基金面上项目(7182088)

1 首都医科大学附属北京天坛医院神经病学中心,北京市,100050; 2 首都医科大学附属北京天坛医院康复医学科; 3 通讯作者
第一作者简介:李思奇,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-02-21

于体素的损伤—症状映射(voxel-based lesion-symptom mapping, VLSM)分析^[8],提示与AOS相关的大脑区域集中在左侧中央前回。在对7例右利手AOS患者进行卒中影像学分析时发现,左侧前运动皮层和辅助运动区是涉及损伤最多的部位^[9]。无论是发生急性卒中或慢性卒中的AOS^[10],研究结果都提示言语失用与Broca区、中央前回、中央后回的损伤有关。通过对原发性进行性言语失用患者使用[F]AV-1451(一种PET成像剂)进行正电子发射断层扫描(positron emission tomography, PET)显像时发现其在言语失用相关感兴趣区摄取增加^[11],这些感兴趣区为中央前回、苍白球和额中上回。此外,还有研究认为AOS患者颅内损伤涉及基底节、外囊、内囊、上纵束纤维等区域。

3 言语失用的诊断

据文献报道^[12],言语失用(apraxia of speech, AOS)的诊断分类最早由Darley在70年代后期提出。他认为AOS是由于言语规划的过程出现问题所导致的,因此建议将言语失用与失语症及构音障碍区分开来。

在国外,常用运动性言语评价法(motor speech evaluation, MSE)^[13]对言语失用患者进行诊断,结果发现言语失用患者在进行复杂发音如交替轮替、多遍重复等项目上的表现具有显著偏差,为言语失用患者提供了较为特异的评定方法。

在我国较为常用的言语失用评价方法主要为中国康复研究中心版言语失用评价法^[14],该量表针对原因顺序设定了子项目。在检查中研究学者发现AOS患者在词序及短语等复杂语言的模仿上出现了更多的错误以及大量的纠正行为,提示通过该量表可以帮助临床工作者进行AOS的确诊。

目前针对言语失用患者评定量表的应用,主要可见以下

进展(表1)。

3.1 人工评估量表

为了更具体地对AOS进行临床诊断并评价严重程度,研究试图开发一种临床评定量表,即言语失用评定量表(apraxia of speech rating scale, ASRS)^[15],它包括语音连接、单词和句子的重复、语音交替、言语顺序等动作任务。通过对16个语音行为进行0—4分的评级,涉及观察行为的频率和严重程度,发现评分>8分可以预测AOS的存在,且研究结果具有良好的信度和效度。结果表明,ASRS是一种诊断评价AOS潜在的有用工具,并且对于AOS的严重程度具有较强的相关性。

3.2 客观声学测评量表

目前针对言语失用的诊断与评价多依靠人工感知进行评价,增加了AOS诊断的主观性,且由于AOS常与失语症和构音障碍同时发生,因此AOS的诊断具有挑战性。

研究通过对患者14个相关语音特征进行评分^[16],使用逐步回归分析确定了两种语音特征(发音摸索和随着长度/复杂度的增加而增加的错误)对AOS诊断的预测,它强调了AOS的客观临床表征,且预测结果具有高度可信性。

此外有研究检验了几种客观的声学测量方法^[17],主要包括两两变异指数、失真误差比、语音起始时间变异性和音律振幅调制频谱变量,并判断它们对AOS鉴别诊断的分类准确性。结果发现这些测量指标均可对AOS患者的言语和运动表现特征进行识别,其中音律振幅调制频谱变量的影响最大。针对两两变异指数(pairwise variability index, PVI),有研究分析了四种PVI的声学测量指标^[18],包括强—弱单词中元音的相对持续时间、弱—强单词中元音的相对持续时间、强—弱单词中元音的相对强度、弱—强单词中元音的相对强

表1 AOS不同诊断指标及相关研究

评估量表	发表时间	研究学者	诊断指标	结果及发现
人工评估量表	2014	Strand EA, et al ^[15]	言语失用评定量表(apraxia of speech rating scale, ASRS),对16个语音行为进行0—4分的评级	评分>8分可以预测AOS的存在,且研究结果显示ASRS评分与AOS严重程度的独立临床判断有很强的相关性
客观声学测评量表	2014	Ballard KJ, et al ^[18]	对两两变异指数的四种声学测量指标评估	该声学测量指标可将AOS患者与其他类型预言障碍患者区分开,具有较高一致性
	2016	Ballard KJ, et al ^[19]	对长音节中的错误语音、弱—强单词前两个音节相对元音时长两两变异性指数进行评估	可将AOS患者与其他类型预言障碍患者区分开,具有较高一致性
	2017	Basilakos A, et al ^[17]	对两两变异指数、失真误差比、语音起始时间变异性和音律振幅调制频谱变量四个声学特征进行评估	每个客观指标对诊断分类均具有中至高度的敏感性、特异性;音律振幅调制频谱变量对诊断分类的影响最大
	2020	Duncan ES, et al ^[16]	根据AOS的存在和严重程度以及14个相关的言语特征进行独立评估	AOS的语音特征(发音摸索和随着长度/复杂度的增加而增加的错误)可作为诊断AOS的临床预测因子

度,以量化AOS患者的发音错误率及发音韵律,发现PVI是AOS存在的重要预测因子。

在一项评估左半球卒中后AOS的预测变量模型中^[19],研究学者探究了两种言语测量方法预测左脑卒中后AOS的存在,这两种预测因子分别为长音节中的错误语音和弱—强单词前两个音节相对元音时长的两两变异性指数。它们涵盖了AOS的两个主要特征:语音动作错误和韵律错误。该预测模型对是否患AOS具有较高的判别能力。

4 言语失用的治疗

言语失用患者在发音动作的计划及语言运动编程方面出现损伤,因此,治疗应着重于帮助患者识别异常发音,并通过听觉、视觉的辅助纠正错误音节。现阶段在临床中针对言语失用患者进行治疗时,较为成熟并且广泛使用的为Rosenbek八步治疗法^[14],通过视听刺激,帮助患者构建正确、有效

的发音。

针对言语失用患者语言功能恢复,目前已不仅仅限于传统的言语恢复治疗手段(表2)。

4.1 音乐疗法

有研究试图探讨音乐治疗在成人言语失用中治疗的效果^[20]。发现患者经采用音乐疗法结合经典康复训练治疗后,复述、数数、唱音阶等评分均高于仅采用传统语言康复训练组。结果显示结合音乐疗法可以达到改善患者发音频率、强度、清晰度、节奏感等语言功能的目的,对于患者的言语功能恢复可能具有更为积极的意义。

4.2 运动贴扎技术

国内一项研究探究了不同形式的运动贴扎技术结合传统言语康复训练治疗卒中后言语失用的临床效果^[21]。发现相较于仅采用传统语言康复方案组,结合“O”型或“Y”型运动贴扎技术可为患者单音节和系列数字的输出提供更高准

表2 AOS不同治疗方案及相关研究

发表时间	研究学者	受试者情况	任务类型	检测手段	结果及发现
2019	李晴晴 ^[20]	卒中后AOS患者	音乐疗法结合单纯言语康复训练	“汉语失语症心理语言评价与治疗系统”	试验组复述、数数、唱音阶等评分均高于对照组
2019	孙勇,等 ^[21]	AOS患者	‘O’型贴法、‘Y’型运动贴扎技术结合单纯言语康复	“汉语失语症心理语言评价与治疗系统”	试验组复述、数数、唱音阶等评分均高于对照组
2015	江玉娟 ^[22]	卒中后AOS患者	试验组采用头皮电针治疗配合单纯言语康复	“汉语失语症心理语言评价与治疗系统”	试验组复述、数数、唱音阶等评分均高于对照组
2016	Mauszycki SC, et al ^[23]	AOS患者	通过电子腭图与视觉生物反馈结合的发音器官运动治疗	对患者进行语音可懂度和单词产生准确性评估,在数据分析中使用保守双重标准法	接受该治疗方案的受试者的发音准确度观察到了积极变化
2016	任艳丽,等 ^[24]	卒中后AOS患者	磁刺激组采用常规药物+言语康复+低频重复经颅磁刺激治疗	采用中国康复研究中心听力语言科制定的言语失用评定标准进行评分	磁刺激组评分高于常规组,其言语失用改善优于常规组
2019	Shpiner DS, et al ^[25]	PPAOS患者	采用高频经颅磁刺激治疗	主要结果由言语失用评定量表、AOS严重程度评定	ASRS评分和AOS严重程度较治疗前有所改善
2019	Wang J, et al ^[26]	AOS患者	采用阳极经颅直流电刺激对电刺激组进行治疗	非线性脑电图检查经颅直流电刺激治疗后言语相关区域的激活变化	电刺激组均可激活言语相关区域,从而改善语言能力
2019	You L, et al ^[27]	卒中后AOS患者	采用镜像神经元康复训练系统中语言组治疗部分对患者进行动作观察疗法联合Rosenbek治疗	使用中国康复研究中心语言失用症评估方法对患者治疗前后的语言功能评估	试验组与对照组在训练后AOS评分相比改善明显,有效率明显高于对照组
2016	Varley R, et al ^[28]	AOS受试者;分为言语治疗优先组、伪干预优先组	言语治疗优先组治疗方案:首先使用计算机辅助训练系统治疗,后期采用伪干预	针对命名能力、复述能力进行分级评估	两组均显示经过计算机辅助训练系统治疗后的命名、复述能力有所改善
2019	Ballard KJ, et al ^[29]	卒中后AOS患者	使用基于电子平板的语音治疗应用程序,内涵自动语音识别软件	主要结果由言语失用评定量表评定	随着训练天数的增多,患者单词生成的准确率增高
2019	焦欢欢,等 ^[30]	AOS患者	基于虚拟现实的言语失用症康复训练系统,并用于学习模块。	采用系统针对患者语言能力进行评估	系统中的虚拟人发音过程通过模拟真实发音器官可提高患者的语言能力

确率,这为AOS患者言语康复提供了一种崭新的想法。

4.3 头皮电针治疗

在Rosenbek八步治疗法的基础上,有研究学者试图配合头皮电针治疗对患者进行康复^[22],并应用“汉语失语症心理语言评价与治疗系统”中的言语运动计划模块项目进行语言评价,发现试验组发音及多音节词汇的复述评分均优于对照组。结果说明经典治疗手段联合头皮电针治疗可在一定程度上更显著地提高AOS患者的语言能力。

4.4 电子腭图技术

在一项研究中,有学者使用电子腭图技术(electropalatography, EPG)^[23]结合视觉生物反馈(visual biofeedback, VBFB)的发音器官运动疗法对AOS患者进行治疗,发现大部分患者的言语准确性均得到提高。这表明AOS患者可能从EPG联合VBFB中获益,从而提高发音的准确性。

4.5 经颅磁刺激

低频重复经颅磁刺激也被用于AOS的治疗。研究对卒中后言语失用患者采取常规康复+低频重复经颅磁刺激方案^[24],发现低频经颅磁刺激后其言语失用得分显著增高。在对原发性进行性言语失用(primary progressive apraxia of speech, PPAOS)患者进行针对左侧背外侧前额叶皮层的高频经颅磁刺激治疗后^[25],发现高频经颅磁刺激可以通过刺激患者语言功能区及其邻近区域,改善患者的语言失用问题。

针对卒中后言语失用患者,采用阳极经颅直流电刺激(anodal transcranial direct current stimulation, A-tDCS)对初级运动皮质(M1)左侧唇区进行治疗^[26],并用脑电图检查治疗后言语相关区域的激活变化。发现A-tDCS在对M1区进行刺激时,除可激活刺激部位,还可激活左侧大脑半球背外侧前额叶皮质和Broca区,揭示对初级运动皮质的A-tDCS能改善卒中后AOS患者的言语功能,并能刺激和招募更多的运动性言语网络区域。

4.6 计算机辅助治疗

镜像神经元区域主要包括运动皮层、上颞叶皮层、顶下小叶、Broca区等,这些区域与言语及运动区在解剖结构上非常吻合。因此有学者试图基于镜像神经元的理论基础设计动作观察疗法(action observation therapy, AOT)对卒中后AOS患者进行视听刺激^[27],发现采用AOT疗法结合计算机辅助治疗后,其言语失用相关得分及西方失语症测验评分均有显著改善,说明该治疗方案对言语恢复具有积极作用,主要表现在患者的复述、命名、流畅度等方面。在计算机辅助治疗方面,还有研究试图探讨其对AOS患者言语功能的意义^[28]。软件辅助治疗包括两个阶段:①感知阶段,目的为巩固目标词汇的意义,促进言语的形成与记忆;②生产阶段,目的为将形成的言语按照运动计划准确输出。结果显示接受该软件辅助治疗的AOS患者言语功能均得到不同程度的改善。

基于平板电脑的语言治疗应用,可能以一种引人入胜的方式为患者带来治疗干预。有研究通过评估一款基于iPad的语音治疗应用程序^[29],该应用程序使用自动语音识别(automatic speech recognition, ASR)软件提供语音准确性的反馈。结果显示进行治疗后患者单词产生的准确性有所提高。

在传统言语失用康复训练中,患者的主动训练积极性会逐渐减弱。针对这一问题,有研究设计了基于虚拟现实(virtual reality, VR)的训练系统^[30]。该系统采用虚拟人嘴型动画模拟汉语26个音节的发音嘴型,结合训练以及场景模块来辅助患者,结果表明通过观看系统中的虚拟人发音过程,并跟随进行口型模仿动作,可提高AOS患者的语言能力。

5 小结

近年来,由于越来越多的学者在卒中后语言障碍方面开展研究,对于语言功能障碍的划分也越加细致。自言语失用这一概念被提出后,如何更准确地对AOS患者进行诊断及治疗成为了研究的重点。

本文介绍了近年来国内外针对言语失用的诊疗情况,意图更早判别言语失用患者以进行及时有效的治疗,改善患者的生存质量。在诊断方面,研究试图探寻更详尽、客观的人工评价量表,寻找更为客观的声学测评指标作为评估言语失用的预测因子和诊断方法。在治疗方面,研究试图在传统语言康复治疗的基础上,配合不同类型的客观手段,包括音乐、运动贴扎技术、头皮电针、腭电图、经颅磁刺激、计算机辅助、虚拟现实等技术,从心理辅助到仪器设备辅助、从人工辅助到计算机辅助,不断寻找更为高效、便捷的治疗方案以帮助患者进行语言功能恢复。

但由于目前关于言语失用的研究较少,纳入的样本量存在局限,且许多非专业医师很难将其与构音障碍及失语症鉴别,导致研究结果存在效度及可信度不高的状况,后期可以考虑进一步扩大研究样本量,完善三种语言功能障碍的鉴别未来可着重于如何更准确地评估言语失用,寻找更为客观、高效的治疗手段,这对于提高患者的生活质量、改善预后都将具有更为积极的指导作用。

参考文献

- [1] 杨海芳,王穗苹.言语失用的诊断及治疗进展[J].中国康复医学杂志,2014,29:893—897.
- [2] 袁永学.言语失用的言语特征、评价及机制探讨[J].中国康复理论与实践,2014,20(7):637—640.
- [3] Terband H, Rodd J, Maas E. Testing hypotheses about the underlying deficit of apraxia of speech through computational neural modelling with the DIVA model[J]. Int J Speech Lang Pathol, 2019, 10(20):1—12.
- [4] Haley KL, Jacks A, Richardson JD, et al. Perceptually sa-

- lient sound distortions and apraxia of speech: a performance continuum[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2017, 26(2S):631—640.
- [5] Bislick L, Hula WD. Perceptual characteristics of consonant production in apraxia of speech and aphasia[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2019, 28(4):1411—1431.
- [6] Bailey DJ, Blomgren M, DeLong C, et al. Quantification and systematic characterization of stuttering-like disfluencies in acquired apraxia of speech[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2017, 26(2S):641—648.
- [7] den Ouden DB, Galkina E, Basilakos A, et al. Vowel formant dispersion reflects severity of apraxia of speech[J]. *Aphasiology*, 2018, 32(8):902—921.
- [8] Itabashi R, Nishio Y, Kataoka Y, et al. Damage to the left precentral gyrus is associated with apraxia of speech in acute stroke[J]. *Stroke*, 2016, 47(1):31—36.
- [9] Graff-Radford J, Jones DT, Strand EA, et al. The neuroanatomy of pure apraxia of speech in stroke[J]. *Brain Lang*, 2014;129:43—46.
- [10] Basilakos A. Contemporary approaches to the management of post-stroke apraxia of speech[J]. *Semin Speech Lang*, 2018, 39(1):25—36.
- [11] Utianski RL, Martin PR, Botha H, et al. Longitudinal flortaucipir ([18 F]AV-1451) PET imaging in primary progressive apraxia of speech[J]. *Cortex*, 2020, 124:33—43.
- [12] Ziegler W, Aichert I, Staiger A. Apraxia of speech: concepts and controversies[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2012, 55(5):S1485—1501.
- [13] 王贞, 李胜利. 汉语言语失用患者的言语评定[J]. *中国康复理论与实践*, 2013, 19(1):70—71.
- [14] 张兰, 卢峰泽, 田新良, 等. 言语失用症的评定及语言训练方法[J]. *中国医师进修杂志*, 2012, 35:126—127.
- [15] Strand EA, Duffy JR, Clark HM, et al. The apraxia of speech rating scale: a tool for diagnosis and description of apraxia of speech[J]. *J Commun Disord*, 2014, 51: 43—50.
- [16] Duncan ES, Donovan NJ, Sajjadi SA. Clinical assessment of characteristics of apraxia of speech in primary progressive aphasia[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2020, 29(1S): 485—497.
- [17] Basilakos A, Yourganov G, den Ouden DB, et al. A multivariate analytic approach to the differential diagnosis of apraxia of speech[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2017, 60(12):3378—3392.
- [18] Ballard KJ, Savage S, Leyton CE, et al. Logopenic and nonfluent variants of primary progressive aphasia are differentiated by acoustic measures of speech production[J]. *PLoS One*, 2014, 9(2):e89864.
- [19] Ballard KJ, Azizi L, Duffy JR, et al. A predictive model for diagnosing stroke-related apraxia of speech[J]. *Neuropsychologia*, 2016, 81:129—139.
- [20] 李晴晴. 音乐疗法应用于成人言语失用患者康复治疗中的应用效果研究[J]. *中国疗养医学*, 2019, 28(11):1134—1136.
- [21] 孙勇, 陈柱, 朱燕. 肌内效贴疗法结合言语训练治疗脑卒中后言语失用伴口颜面失用的临床探究[J]. *家庭医药*, 2019, 0(1):55.
- [22] 江玉娟, 杨玉霞, 常娥, 等. 体表定位电头针结合 Rosenbek 八步训练法治疗脑卒中患者言语失用症的疗效观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(4):366—368.
- [23] Mauszycki SC, Wright S, Dingus N, et al. The use of electropalatography in the treatment of acquired apraxia of speech[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2016, 25(4S):S697—S715.
- [24] 任艳丽, 郭根明, 李千军. 低频重复经颅磁刺激对脑梗死后言语失用合并 Broca 失语的应用效果[J]. *临床医学*, 2016, 36(2):42—43.
- [25] Shpiner DS, McInerney KF, Miller M, et al. High frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for primary progressive apraxia of speech: a case series[J]. *Brain Stimul*, 2019, 12(6):1581—1582.
- [26] Wang J, Wu D, Cheng Y, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on apraxia of speech and cortical activation in patients with stroke: a randomized sham-controlled study[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2019, 28(4): 1625—1637.
- [27] You L, Wang Y, Chen W, et al. The effectiveness of action observation therapy based on mirror neuron theory in chinese patients with apraxia of speech after stroke[J]. *Eur Neurol*, 2019, 81(5—6):278—286.
- [28] Varley R, Cowell PE, Dyson L, et al. Self-administered computer therapy for apraxia of speech: two-period randomized control trial with crossover[J]. *Stroke*, 2016, 47(3): 822—828.
- [29] Ballard KJ, Etter NM, Shen S, et al. Feasibility of automatic speech recognition for providing feedback during tablet-based treatment for apraxia of speech plus aphasia[J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2019, 28(2S):818—834.
- [30] 焦欢欢, 潘志庚, 徐舒畅, 等. 基于 VR 的言语失用症康复训练系统[J]. *系统仿真学*, 2019, 31(11):2344—2349.