

汉语失语症患者话语产出的词汇网络建模研究*

上海交通大学/国家语言与健康研究中心 陈居强 常辉

提要: 话语产出能够全面反映失语症患者的语言产出能力,是失语症诊断评估的重要依据。本研究对汉语命名性失语症患者话语产出中的词汇网络进行建模。结果表明,与健康人群相比,失语症患者宏观层面的语言网络规模更小,小世界指数更低,中观层面的集群度更低,微观层面的实词核心节点丰富度更低。尽管如此,命名性失语症语言网络依旧保留了人类语言系统的复杂网络特征:词汇节点之间保持着系统性关联,网络集群特征高于随机网络,网络中的功能词相对稳定,表明人类语言系统在受损后依然保有维持系统稳定的韧性。

关键词: 汉语失语症;话语产出;词汇网络;语言网络模型

[中图分类号] G762

[文献标识码] A

[文章编号] 1003-6105(2025)05-0609-11

Modelling Lexical Networks in Chinese Aphasia Patients' Discourse Production

CHEN Juqiang CHANG Hui

Shanghai Jiao Tong University / National Research Centre for Language and Well-Being

Abstract: As a comprehensive reflection of aphasia patients' language production abilities, discourse production constitutes an important source for the diagnosis and assessment of aphasia. This study compared the lexical networks between anomic aphasia patients and healthy people by modeling their Chinese lexical networks in discourse production. It was found that aphasia patients' lexical networks were smaller in size with less small-world characteristics at the macro level, lower in the modularity measure at the meso level, and poor in core lexical nodes at the micro level. Yet anomic aphasia language networks still retain complex network characteristics typical of the human language system, i.e., systematic associations among lexical nodes, stronger community structure than random networks, and relatively stable functional word nodes, thereby revealing the resilience of the human language system in maintaining stability when subjected to impairment.

Keywords: Chinese aphasia; discourse production; lexical network; language network models

1. 研究背景

语言是一个复杂系统,其组成单位的意义取决于它们之间的相互关系。语言系统作为一个整体,具有其组成单位个体所不具备的特征。现代网络科学为

*本文为教育部人文社科基金项目“汉语中风失语症语言产出特征提取及智能评估研究”(23YJC740002)的研究成果。

语言复杂系统的研究提供了合适的数理模型(陈衡、刘海涛 2023)。目前,语言网络建模研究在语言类型学(Liu & Li 2010)、语言习得(Freeborn et al. 2022; 韩笑等 2021; 冯学芳、刘洁 2023)等方面取得了丰硕成果。建模对象涵盖了语音(Siew & Vitevitch 2019; Luef 2022)、语义(Hills et al. 2009; Beckage et al. 2011)、语法(Liu et al. 2021)等诸多方面,形成了相对成熟的技术路线。语言网络建模与网络特征提取,为语言学提供了新的研究方法和证据来源。

失语症指优势大脑半球的语言功能区受损而引起的获得性语言障碍(张通等 2022)。失语症患者通常在词汇提取、句子和话语产出等方面存在不同程度的困难,影响其人际交流。Castro et al. (2020)构建了语音语义多层词汇网络来分析失语症患者在�同词汇命名任务中的准确率差异。发现处于网络中心的词汇激活程度和命名准确度更高,词汇在语音或语义网络中的位置和相互关系可以解释命名错误词和目标词之间的关系,说明词汇网络特征对失语症患者词汇提取加工具有影响。然而,词汇命名任务所涉词汇类别和数量有限,且其较为简单,交际真实性不强。

话语产出是句子以上层面的语言产出。目前,失语症患者话语产出研究侧重于比较失语症患者与健康人群在词汇(如词汇类型、词汇丰富度等)或者句子层面(如句子长度等)的语言学特征差异(Deng et al. 2024a, b),尚缺乏基于失语症患者话语产出语料构建网络模型并提取网络特征的研究。

基于话语产出语料构建网络模型的研究,目前主要聚焦于语言发育迟缓儿童和阿尔兹海默症老人等人群。基于儿童话语语料的网络模型研究发现,语言正常发展儿童和语言发育迟缓儿童习得词汇数量差别不大,但正常发展儿童的词汇语义网络在宏观层面的连接密度和通达性方面更好(Beckage et al. 2011)。基于老人话语语料的网络模型发现,汉语阿尔兹海默症患者句法网络中的平均依存距离低于健康人群对照组,微观层面核心句法功能词的连接也存在损伤(Liu et al. 2021)。这些研究说明,语言网络特征能够揭示传统语言学指标(如词汇数量、句子长度等)无法揭示的差异。然而,国内外均缺乏失语症话语产出中的词汇网络特征研究。失语症作为一种语言损伤综合症,必然导致语言网络宏观(网络结构)、中观(集群结构)和微观(节点特征)层面的变化。因此,有必要借助现代网络方法,对其进行整体建模,从而更全面、深入地揭示失语症患者语言系统受损的整体情况,为语言障碍评估提供新角度。

鉴于此,本研究基于汉语失语症患者在�同话语产出任务中的语料构建词汇网络,并与健康人群进行比较,分析失语症语言网络特征。具体回答以下问题:与健康人群相比,汉语失语症患者话语产出中的词汇网络,1)宏观结构有何特点? 2)中观集群结构有何特点? 3)微观核心词汇节点及连接模式有何特点?

2. 研究方法

2.1 语料来源

本研究使用国际失语症语料库平台 (AphasiaBank, MacWhinney et al. 2011) 中的汉语普通话失语症数据集¹进行语言网络构建。该数据集参照国际失语症语料库收集标准,并根据中文语言文化对部分话语产出任务进行了相应调整,相关任务获得国际失语库认可与采纳(陈珍珍等 2018)。

在该数据集中,失语症患者以命名性失语为主,布洛卡失语、威尼克失语和传导性失语各 1 例,经皮质运动性失语 2 例(诊断依据为西方失语症量表, Kertesz 2006)。布洛卡失语症患者话语产出少且不流利、威尼克失语症产出话语大多无意义,因而被本研究排除。命名性失语症患者则能够理解任务并进行一些有意义的话语产出。为保证失语症组内部的相对同质性和样本量,本实验选取了 15 名命名性失语症患者。同时,我们从该语料库 81 名健康人群对照组中,筛选数据完整、年龄段和教育程度与 15 名命名性失语症患者相匹配的 15 名被试作为对照组(见表 1)。统计分析显示,失语症和健康对照组的失语商存在显著差异($t=7.49, p=.000$),而年龄($t=1.7, p=.099$)和教育年限($t=-0.06, p=.955$)均无显著差异。

表 1 失语症组和健康对照组信息

组别	人数	年龄		教育年限		失语商	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
失语症组	15	42.7	13.7	13.8	6.5	81.6	9.0
健康组	15	51.1	13.0	13.7	2.0	99.1	1.2

失语症数据集包含五种不同类型的话语产出任务:寒暄问答、图片描述、故事叙述、过程讲述和自由说话。我们选取了可比性较强、个体差异相对较小的图片描述、故事叙述和过程讲述三个任务。其中,图片描述任务是对“打破窗户”组图的描述,故事叙述任务则让被试讲述“狼来了”的故事,过程讲述任务要求被试描述蛋炒饭的制作过程。具体任务信息见 <http://talkbank.org/manuals/Clin-CLAN-zho.pdf>。

2.2 语料提取与加工

汉语普通话失语症数据集中的话语产出已用 CLAN 软件 (MacWhinney et al. 2010) 进行了人工转写,并进行了发音错误、重复、打断等现象的编码和校验。我们在预处理阶段去掉了错误和不流利部分以提高机器分词效率和精度。随后,采用国际上失语症话语研究领域使用最广泛的 CLAN 系统自带算法对语料

¹ <http://aphasia.talkbank.org/access/Mandarin/Aphasia/JiangLin.html>

进行了分词和词频提取。由于话语产出本身句子较短,且内容较为简单,基于现有汉语失语症研究文献(Deng et al. 2024a, b),机器分词错误率在可接受范围内。

本研究以话语产出语料中的词汇为网络节点,以词汇在预训练词向量模型(fastText, Grave et al. 2018)空间的余弦相似度为连接。所用模型包含200万词的词向量,每个词向量有300维。我们使用词向量对两组被试每个任务中的词汇进行表征,计算余弦相似度,构建相关矩阵,以此作为词汇间的连接进行词汇网络建模。为提高网络计算建模效率,我们选取了余弦相似度大于0.5的词汇对来构建网络。

2.3 词汇网络建模与分析

我们使用R语言中的igraph包对词汇关系矩阵进行网络建模,并绘制可视化网络图。本研究提取宏观、中观和微观三个层面的网络建模参数来比较汉语失语症患者与健康对照组在话语产出中词汇网络的结构差异。

宏观层面的参数主要提供网络结构的整体信息。参考前人研究,本研究选取了网络规模、网络密度、网络直径、平均最短路径长度、全局聚类系数和小世界指数(small world index)等6个宏观网络参数。其中,网络密度指实际连接边数与可能存在的最大连接边数之间的比例。网络密度越高,网络节点之间的连接越紧密。网络直径指整个网络中两个节点之间最短路径的最大值,反映网络中信息传递的最远距离。平均路径长度指网络中所有节点之间最短路径的平均值,表示网络中信息传递的平均距离。平均路径长度越短,不同单词节点的联系越紧密,词汇网络中信息传递也越高效。全局聚类系数衡量网络中节点之间的整体连接水平。小世界网络是网络科学的专用术语,此类网络相对同等规模的随机网络平均路径长度更短,但平均聚集系数更高。我们采用igraph自带的算法计算小世界指数。

中观层面的网络参数主要描述网络中的集群结构。集群是指由连接密度较高节点形成的集群。集群内部节点之间的连接高于集群外部。模块度(modularity)是衡量网络集群程度的指标。模块度值越接近1,网络集群性越强,组织性越好。

微观层面的分析聚焦于网络节点的中心性。本研究使用中心度指标量化节点的中心性。中心度指一个节点所包含的连接数,中心度越高,节点所代表的词汇在话语产出中的重要性越强。

3. 研究结果

我们分别对两组被试3个产出任务的语料进行了词汇网络建模。共得到6个词汇网络(见图1)。下面分别从宏观、中观和微观对词汇网络模型进行报告。

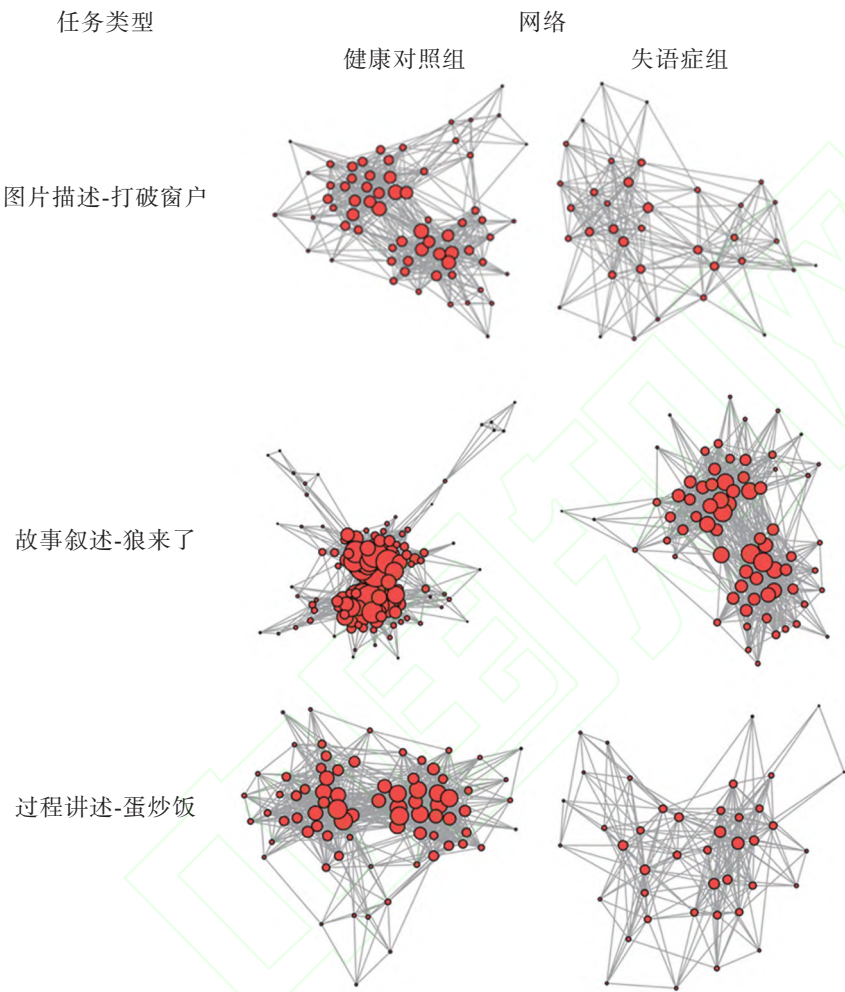


图1 失语症患者与健康对照组话语产出词汇网络图

3.1 宏观特征

表2列出了两组被试在3个话语产出任务中词汇网络的宏观指标。结果显示,失语症患者词汇网络节点数规模在各个任务中均小于健康对照组。两组被试整体配对样本 t 检验呈边缘显著 ($t=3.84, p=.06$)。此外,失语症患者组的词汇网络平均最短路径长度和直径与健康对照组没有显著差异,但失语症患者组的网络密度大于健康对照组 ($t=-5.63, p=.03$)。说明失语症患者所保留的词汇有限,且语义相近,不能像健康人那样自由灵活地运用较为广泛的词汇资源,完成话语产出任务。

两组被试的话语词汇网络小世界指数均大于1,说明网络均具有小世界特征。小世界网络具有高度的局部聚类性,节点的邻居之间也相互连接。同时,网

络中存在一定数量的捷径,大大减少了节点间的整体路径长度。这说明命名性失语症患者话语产出具有其内在的语言学结构,不是随机的词汇堆砌。但失语症患者网络的小世界特征在各个任务中都更弱,组间差异显著($t=9.71, p=.01$)。上述结果说明,大脑语言功能受损会降低失语症患者话语产出词汇网络整体的通达性和组织效率。

表 2 失语症患者与健康对照组话语产出词汇网络宏观指标

任务	组别	规模	ASPL	密度	直径	全局聚类	SWI
过程讲述	对照组	112	2.167	0.131	6	0.582	4.061
	失语症组	60	2.145	0.166	5	0.585	3.065
图片描述	对照组	107	2.169	0.114	5	0.598	5.653
	失语症组	63	2.239	0.136	5	0.594	4.862
故事叙述	对照组	208	2.758	0.094	9	0.613	5.042
	失语症组	110	2.305	0.136	6	0.686	4.334

注:ASPL=平均最短路径长度;SWI=小世界指数。

3.2 中观特征

在中观特征层面,我们使用模块度来衡量网络的集群化特征。在集群识别上,我们使用了 edge betweenness 算法,并计算得到集群化特征值(见图 2)。通过统计检验,健康对照组词汇网络的模块度显著高于失语症组($t=11.09, p=.008$)。

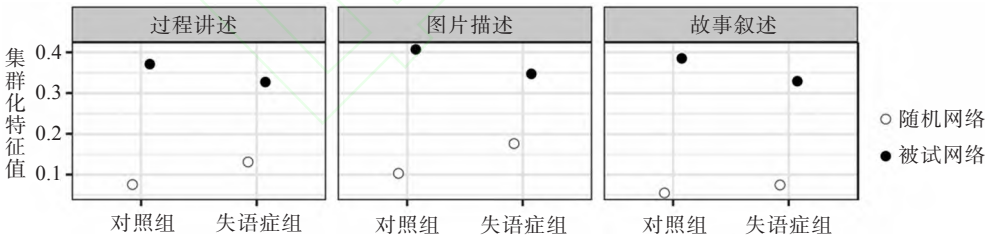


图 2 失语症患者与健康对照组话语产出词汇网络中观集群指标与随机网络对比

为了控制网络规模差异对集群化值的影响,我们分别为失语症组和健康对照组的每个话语产出任务建立了 100 个同等规模的随机网络,并计算其平均模块度。结果发现,两组被试词汇网络的模块度在三个任务中均显著高于随机网络。这表明虽然失语症患者语言系统受损,其话语产出中的词汇不能像健康对照组一样形成良好的集群结构,但其集群性仍然高于随机词汇网络。

3.3 微观特征

微观层面的网络分析主要针对节点词汇特征。我们首先提取了两组被试在

三个任务中节点中心度较高的词(见表3)。结果显示,两组被试的核心节点词相似性很高。在大部分任务中,功能词在两组被试词汇网络中都处于核心位置。随后,按照节点中心度,选取排序靠前的核心实词进行进一步比较(见表4)。结果显示,两组被试核心实词也有重合,但失语症患者的实词多样性相对较小。失语症组无法产出图片中“沙发”、“台灯”等具体词汇。无法在蛋炒饭过程描述任务中产出“搅拌”、“煸炒”等具体动词,而倾向使用比较笼统的动词,如“用”、“做”等。

表3 失语症患者与健康对照组话语产出核心节点词

中心度 排序	打破窗户		狼来了		蛋炒饭	
	对照组	失语症组	对照组	失语症组	对照组	失语症组
1	就	就是	他们	他们	就	就
2	就是	了	因为	没有	就是	了
3	应该	就	就	就	应该	就是
4	这样	这	还	了	这样	这个
5	这	是	就是	这	还	这

表4 失语症患者与健康对照组话语产出核心节点实词

图片描述				故事叙述				过程讲述			
对照组		失语症组		对照组		失语症组		对照组		失语症组	
小孩	小区	看	砸	大人们	村民们	男孩	乡亲们	锅	生抽	用	锅
爸爸	台灯	男孩	足球	一起	羊	说谎	喊	葱花	葱	做	炒炒
沙发	踢	人	踢	欺骗	后悔	骗	羊	剩饭	切成	进去	煎
电视机	玻璃	外面	窗户	回去	吃掉	狼	野狼	炉子	搅拌	米饭	碗
砸	足球	出去	玻璃	孩子	吓	一次	赶	香肠	煸炒	炒饭	鸡蛋

4. 讨论

下面从词汇网络的宏观整体结构、中观集群程度和微观核心节点特征三个方面,探讨本研究的理论意义和应用价值。

4.1 宏观特征

首先,语言系统存在组合关系和聚合关系(Saussure 1959)。组合关系是词汇或短语在句法结构中的横向关系,反映语言单位在话语中如何通过语法规则组合成有意义的句子。聚合关系是指在一定语境下,语言单位之间的选择关系。它关注的是在相同语法位置上,能够用来替换彼此的不同语言单位。现有研究发现,基于大数据的预训练词向量既可以表征词汇之间的组合关系(句法关系),

又可以表征它们之间的聚合关系(分布式语义关系)(Manning et al. 2020)。本研究基于预训练词向量构建的网络在一定程度上可以综合反映语言的这两种关系。

在宏观层面,失语症患者在各个任务中的网络规模较小,这一点与传统失语症话语量化分析结论一致(Deng et al. 2024a, b)。本研究的新发现在于失语症患者话语产出中的词汇网络具有小世界特征,但与对照组相比,小世界特征值较低。话语产出的词汇系统具有小世界特征说明,在词汇网络中既存在语义相关联的局部集聚,也存在捷径将相距较远的词汇节点相连,从而提高整个网络的信息加工效率。儿童语言习得发现,语言正常发展儿童在15个月时的语言系统就具有小世界属性,而年龄相同的语迟儿童也具有小世界属性,但相对较弱(Beckage et al. 2011)。失语症患者语言系统受损后,虽然保持了一些小世界特征,但与健康对照组相比,其小世界特征减弱,这势必导致语言信息传输效率降低。脑科学研究发现,健康大脑中无论是微观神经网络,还是宏观脑区功能连接网络,都具有小世界特性(Stam 2014)。这说明词汇网络的小世界属性,具有一定的语言发展和神经基础。小世界特征可以作为失语症话语评估的一个维度。

4.2 中观特征

在语言网络的中观层面,集群度反映了网络内部小群体之间的关联性(Cosgrove et al. 2021)。在话语产出中,相互关联的词汇构成若干子话题,丰富了话语的内涵。失语症患者的集群度低于健康对照组,但两组被试的集群度均显著大于随机网络。说明失语症话语中的词汇存在联系,但较为松散,没有形成较好的词汇集群。

失语症患者语言网络集群度低有多种原因。首先,语言网络中的集群至少有一部分受到横向句法关系的影响。失语症患者句法能力受到一定的破坏,使得他们难以在语言产出中建立紧密的横向关系连接,导致网络集群度降低。前人研究也发现,失语症患者难以构建复杂的句子和语篇(Deng et al. 2024a, b; 崔刚 1999),本研究从语言网络的角度支持这种发现。

其次,语言网络的集群度降低可能反映了失语症患者词汇(概念)之间的聚合关系受到影响。词汇节点的连接在一定程度上反映了语义聚合关系。失语症患者语义组织能力受损,从而影响了网络集群度。此外,在话语产出过程中,失语症患者比健康对照组认知负荷更重,导致他们有限的认知资源无法充分激活概念群组,从而使其产出话语中的词汇集群度下降。这一点与宏观特征中失语症网络规模普遍偏小相一致。基于词汇产出的网络分析发现,年轻人的词汇网络集群度大于老年人(Cosgrove et al. 2021),这说明集群度能够反映语言网络的动态变化。

最后,从听者角度,集群度高意味着语言网络中的重点突出,组织有序,这有

助于信息的传递和交流。集群度降低可能导致失语症患者语言交流中的信息流畅性下降,整体交流效率降低。

4.3 微观特征

在微观核心节点词层面,我们发现功能词在核心节点词中排位靠前,且在两组之间相对稳定,而失语症患者多使用简单概括性实词。

我们认为核心节点词在语言网络中具有重要地位,它们在句子构建和意义传递中发挥关键作用。语言中的功能词在语法和语篇结构中扮演着重要角色,它们连接实词,赋予句子和语篇逻辑关系。因此,功能词在核心节点词中排位靠前,体现了它们在语言网络中的重要性。功能词受到语法规则限制,其使用频率和方式在不同语境中相对稳定。命名性失语症患者和健康对照组在功能词使用上差异不大。然而,与健康对照组相比,失语症患者的实词更为简单,这反映了他们在表达具体信息和语义内容时,词汇提取和加工存在困难。他们不能像健康人群一样自如使用实词来准确传达思想和意义。这一点与现有失语症研究一致 (MacWhinney et al. 2010)。语言网络微观层面分析揭示了两组人群话语核心词汇特征的差异,有助于开发高效的语言康复方案。

5. 结语

失语症患者的语言系统受损。与健康人群相比,其词汇网络宏观层面的网络规模较小,小世界性指数较低;中观层面的集群度明显降低;微观层面的核心节点实词的丰富度不足。但失语症患者的词汇网络依旧保有人类语言系统的复杂网络特征。宏观上失语症词汇网络具有小世界属性,词汇节点之间依旧保持系统性关联。这一宏观特征在中观和微观层面体现为网络集群结构和网络中功能词的稳定性,也反映了人类语言系统受损时仍可维持系统稳定的韧性。失语症患者在话语产出中的词汇量虽有减少,但还保持一定数量的词汇集群和功能词,也能达到一定的交流沟通效果。本研究加深了我们对汉语失语症语言系统的认识,为语言健康检测、失语症智能评估诊断、语言康复治疗提供参考,与“健康中国”和“数字中国”等国家战略规划也密切相关。但基于汉语失语症话语产出的网络建模研究尚处于探索阶段,本研究选取的患者属于命名性失语症,且失语商较高,语言受损较轻,而失语症患者群体的语言能力具有较大的异质性。因此,未来可以基于不同类型失语症患者的话语产出,构建不同语言网络,开展更加深入的研究。

References [参考文献]

- Beckage, N., L. Smith & T. Hills. 2011. Small worlds and semantic network growth in typical and late talkers. *PLoS ONE* 6(5): e19348.

- Castro, N., M. Stella & C. Siew. 2020. Quantifying the interplay of semantics and phonology during failures of word retrieval by people with aphasia using a multiplex lexical network. *Cognitive Science* 44(9): e12881.
- Chen, Heng (陈衡) & Liu, Haitao (刘海涛). 2023. Linguistic complex network research: Status and prospect. *Foreign Languages in China* (4): 54-60. [2023, 语言复杂网络研究——现状与前瞻.《中国外语》第4期.]
- Chen, Zhenzhen (陈珍珍), Lin, Feng (林枫), Deng, Baomei (邓宝梅), Zhang, Qin (张芹), Wu, Yaceng (吴亚岑), Zhou, Liang (周亮) & Jiang, Zhongli (江钟立). 2018. Construction of Chinese Mandarin corpus with anomic aphasia. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine* (6): 669-674. [2018, 命名性失语的汉语普通话语料库构建.《中国康复医学杂志》第6期.]
- Cui, Gang (崔刚). 1999. Syntactic disorders of Broca's and conduction aphasics. *Modern Foreign Languages* (3): 299-307. [1999, 布洛卡氏与传导性失语症患者的句法障碍.《现代外语》第3期.]
- Cosgrove, A. L., Y. N. Kenett, R. E. Beaty & M. T. Diaz. 2021. Quantifying flexibility in thought: The resiliency of semantic networks differs across the lifespan. *Cognition* 211: 104631.
- Deng, B. M., J. Gao, L. S. Liang, J. X. Zhao, F. Lin, M. Y. Yin, H. Q. Zheng & X. Q. Hu. 2024a. Discourse task type-specific linguistic characteristics in anomic aphasia and healthy controls: Evidence from Mandarin-Chinese aphasiabank. *American Journal of Speech-Language Pathology* 33(2): 937-951.
- Deng, B. M., L. S. Liang, J. X. Zhao, H. Q. Zheng & X. Q. Hu. 2024b. Correct information unit analysis in different discourse tasks among persons with anomic aphasia based on mandarin aphasiabank. *American Journal of Speech-Language Pathology* 33(2): 800-813.
- Feng, Xuefang (冯学芳) & Liu, Jie (刘洁). 2023. A comparative study of L2 lexical-semantic network structure of Chinese middle and high school English learners. *Foreign Language Teaching and Research* (3): 397-409. [2023, 中国初、高中英语学习者二语词汇语义网络结构比较研究.《外语教学与研究》第3期.]
- Freeborn, L., S. Andringa, G. Lunansky & J. Rispen. 2022. Network analysis for modeling complex systems in SLA research. *Studies in Second Language Acquisition* (aop): 1-32.
- Grave, E., P. Bojanowski, P. Gupta, A. Joulin & T. Mikolov. 2018. Learning word vectors for 157 languages. *Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation* (LREC 2018). Miyazaki, Japan, 3484-3487.
- Han, Xiao (韩笑), Zhang, Liang (张亮), Zhang, Hua (张华), Wu, Junjie (吴俊杰) & Feng, Liping (冯丽萍). 2021. Complex network approach to syntactic complexity development of spoken L2 Chinese. *Chinese Teaching in the World* (3): 377-391. [2021, 复杂网络视角的汉语二语口语句法复杂度发展研究.《世界汉语教学》第3期.]
- Hills, T. T., M. Maouene, J. Maouene, A. Sheya & L. Smith. 2009. Longitudinal analysis of early semantic networks. *Psychological Science* 20(6): 729-739.

- Kertesz, A. 2006. *Western Aphasia Battery-Revised*. London: Pearson.
- Liu, H. & W. Li. 2010. Language clusters based on linguistic complex networks. *Chinese Science Bulletin* 55(30): 3458-3465.
- Liu, J., J. Zhao & X. Bai. 2021. Syntactic impairments of Chinese Alzheimer's disease patients from a language dependency network perspective. *Journal of Quantitative Linguistics* 28(3): 253-281.
- Luef, E. M. 2022. Growth algorithms in the phonological networks of second language learners: A replication of Siew and Vitevitch (2020). *Journal of Experimental Psychology: General* 151(12): e26-e44.
- MacWhinney, B., D. Fromm, M. Forbes & A. Holland. 2011. AphasiaBank: Methods for studying discourse. *Aphasiology* 25(11): 1286-1307.
- MacWhinney, B., D. Fromm, A. Holland, M. Forbes & H. Wright. 2010. Automated analysis of the Cinderella story. *Aphasiology* 24(6-8): 856-868.
- Manning, C. D., K. Clark, J. Hewitt, U. Khandelwal & O. Levy. 2020. Emergent linguistic structure in artificial neural networks trained by self-supervision. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(48): 30046-30054.
- Saussure, F. de. 1959. *Course in General Linguistics* (W. Baskin, Trans.). New York: Philosophical Library.
- Siew, C. S. Q. & M. S. Vitevitch. 2019. The phonographic language network: Using network science to investigate the phonological and orthographic similarity structure of language. *Journal of Experimental Psychology: General* 148(3): 475-500.
- Stam, C. J. 2014. Modern network science of neurological disorders. *Nature Reviews Neuroscience* 15(10): 683-695.
- Zhang, Tong (张通), Li, Shengli (李胜利) & Bai, Yulong (白玉龙). 2022. Consensus on clinical management of post-stroke aphasia. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice* 28(1): 15-23. [2022, 卒中后失语临床管理专家共识.《中国康复理论与实践》第1期.]

收稿日期: 2023-12-24; 作者修改稿, 2025-01-06; 本刊修订, 2025-05-14

通讯作者: 常 辉 <jameschanghui@163.com>

200240 上海市 上海交通大学外国语学院/国家语言与健康研究中心

Corresponding author: Chang Hui, Faculty of School of Foreign Languages, Shanghai Jiao Tong University / National Research Centre for Language and Well-Being, Shanghai 200240, P. R. China