

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2025.01.015

儿童噪声下言语感知能力评估研究进展

Research Advance of Children's Speech Perception Ability under Noise

邱黄玲 孔令志

QIU Huang-ling, KONG Ling-zhi

【摘要】现代社会噪声污染越来越严重,对儿童来说,即使在教室中也充斥着噪声,严重影响其言语感知能力及学习与健康。因此,了解并评估儿童在噪声下言语感知能力的发展水平非常重要,可以及时发现并诊断儿童的听觉感知缺陷。现有的评估方法和结果不一,给临床工作人员带来极大不便。故本文以听觉感知发展理论为基础,对儿童噪声下言语感知能力评估常用的目标材料、噪声材料和评估方法进行综述,以期儿童噪声下言语感知能力提供完善、合适的评估。

【关键词】 听力测试; 噪声; 儿童; 言语感知

【中图分类号】 G762 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-4933(2025)01-0061-05

【Abstract】 The noise pollution in modern society is becoming more and more serious. There are all kinds of noises in the classroom which will seriously affect their speech perception, learning and health for children. Therefore, it is very important to understand and evaluate the development of children's speech-in-noise perception, which can help us identify and diagnose lesions of the auditory system in a timely manner. However, the hearing tests and results reported in the existing literature are different, which cause great inconvenience to clinical audiologists. Therefore, based on the theory of auditory development, this paper summarizes the target materials, noise materials, and evaluation methods commonly used in the evaluation of children's speech perception ability under noise.

【Key words】 Hearing tests; Noise; Children; Speech perception

1 引言

不论是婴幼儿还是学龄期儿童,他们处在含有竞争声源环境中的时间均超过安静环境。这些竞争声源不仅影响其识别目标语音的能力,还会对其健康、感知和学习产生影响^[1]。因此,心理学家、听力学家和语言病理学家对各年龄段儿童都进行了噪声下言语感知能力评估,但由于不同年龄段儿童的认知水平不同,个体差异较大,影响因素较多,评估面临极大挑战。本文以儿童听觉感知发育理论为基础,对不同年龄段儿童噪声下言语感知能力发展评估现状进行综述,以期对听障儿童的噪声言语感知能力提供完善的评估。

2 儿童听觉感知发育理论基础

Carney^[2]将儿童的听觉感知发育分为3个阶段,阶段一为声音觉醒(sound awareness),指能够对声音产生意识或注意。该阶段能力在出生后即具备,可通过基本的听

力测试或家长报告进行检测;阶段二为音位区分(phonetic discrimination),指能够在神经水平上对刺激进行复杂编码,即对跨音位范畴的语音进行区分。该阶段能力通常在3个月时形成,可通过区分2个独立音位或仅某个音位不同的2个音节进行检测;阶段三为单词识别(word recognition),指由于音素、词汇、运动性言语技能和利用上下文信息(词汇、句法、语义和社会情景等)的能力增强,从而能够进入单词识别领域。通常6个月的婴儿能够区分名字,并逐渐开始理解熟悉的名词,到18个月时平均能表达50个词。然而,由于其有限的注意力和对任务的理解力,2~3岁后才能进行该阶段能力测试,测试可通过指认和复述独立单词或语流中的单词进行。本文将噪声下言语感知能力发展评估界定在阶段三范围内,根据该阶段可以使用的目标材料总结了10种常见的儿童评估工具(见表1),并介绍了与目标材料搭配的噪声材料和评估方法。

基金项目:北京市社会科学基金项目(19YYC020)

作者单位:北京语言大学语言康复学院 北京 100083

作者简介:邱黄玲 硕士 初级康复治疗师;研究方向:儿童言语语言康复

通讯作者:孔令志, E-mail: konglingzhi@blcu.edu.cn

表1 常见儿童噪声下言语识别评估工具

名称	年龄范围(岁)	目标材料	噪声材料	应答方式	评估方法	信效度	优缺点
CRISP-Jr	2.5~3	单音节词+双音节词	1人讲话句子	听话指图	自适应变化目标声	×	未同质化,无信度,适用年龄范围窄,但可小龄使用,电脑化
ATT	2~6	玩具类单词	粉红噪声	听声指玩具	自适应变化噪声	√	在成人中进行的同质化,信度相对低;可选语音噪声(但信效度只在听障儿童中验证),易被孩子接受,适用人群广
PSI	3~7	单音节词+句子	1人讲话句子	听话指图	固定信噪比	√	实施相对复杂,可能存在“天花板”/“地板”效应,适用年龄范围窄;但CD记录,简单便宜,有普通话版
DIN	>4	3位数的数字	长时语谱噪声 4人讲话句子	复述/点击数字	自适应变化目标声	√	临床更多用于成人,但对于儿童既可在自由场也可在耳机下进行,多设备使用,使用人群广,有普通话版
MAPID-A	4~6	双音节词	长时语谱噪声	听话指图	自适应变化目标声	√	只能在自由场中进行,不能评估语音干扰;但电脑化,用时短,可分析空间分离效益,普通话
修改版PINT	3~6	指令形式短语	教室混合噪声	听到表演动作/复述	修改版自适应	√	只能在自由场中进行,只能使用混合噪声;但更能模拟真实学习场景,应答方式灵活
标准版CRISP	>4	扬扬格词	1人/2人讲话句子 长时语谱噪声	听话指图	自适应变化目标声	×	未同质化,无信度;但可搭配噪声类型广,研究中常用,电脑化
BKB-SIN	>5	句子	4人讲话句子	复述	修改版自适应	√	可能存在“天花板”/“地板”效应;但使用年龄范围广,CD记录,实施简单,有普通话版
LISN-S	5~11	句子	1人讲话句子	复述	自适应变化目标声	√	只能使用耳机呈现,仅被设计评估中枢听觉障碍;但电脑化,可同时评估讲话者性别影响
HINT-C	6~12	句子	长时语谱噪声	复述	自适应变化目标声	√	原版信度数据来自成人,对语言能力要求高;但电脑化,多语言版本,有普通话版

3 目标材料

3.1 幼儿目标材料(2~3岁)

对于3岁以下的幼儿,由于其不成熟的言语能力,目前临床应用工具较少,其目标材料主要有以下两种。

3.1.1 小龄版儿童真实言语感知指数测试(children's realistic index for speech perception-junior, CRISP-Jr)适用于2.5~3岁幼儿。目标材料在该年龄段儿童接受性词汇范围内(12个单音节词和4个双音节词),采用听话指图的方法,儿童在4张图片中指出听到的单词。Hess等^[3]应用该材料检测出28~36个月健听幼儿与双侧人工耳蜗植入幼儿言语的识别能力差异,表明具有同期效度,但无信度研究。该材料主要用于实验研究,包括空间配置影响研究、听神经谱系障碍或人工耳蜗植入儿童的言语识别能力等,临床应用较少。

3.1.2 McCormick 自动化玩具辨别测试(automated toy discrimination test, ATT)适用于2~6岁儿童,目标材料为14个婴幼儿熟悉的玩具类单词,采用听声指物的方法,儿童在听到单词后指向对应的玩具。Lovett等^[4]对其进行了信效度检验,在不同空间条件下,被试内标准差分别为2.5~3.2 dB,相关系数为0.04~0.69,并能检测出6岁以内儿童和成人的表现差异。使用ATT可检测出健听

儿童配戴与不配戴骨导耳机时的表现差异,表明其具有很高的同期效度^[5]。该材料对儿童来说接受度较高,在英国应用广泛,一项研究中使用该材料评估接受双侧植入人工耳蜗儿童在6岁前的噪声下言语感知能力改善程度,6岁后则使用其他材料。结果发现其感知能力在接受对侧人工耳蜗植入后1年得到显著改善,且植入间隔时间会显著影响改善的程度^[6]。

3.2 学龄前儿童目标材料(3~5岁)

根据儿童语言发展里程碑,3~4岁儿童词汇激增,积累了更多的词汇和语法技能^[7]。因此,这个阶段目标材料逐渐丰富,但几乎是通过指认进行的闭锁性材料,主要有如下几种。

3.2.1 儿童言语清晰度测试(pediatric speech intelligibility, PSI)适用于3~7岁儿童,目标材料为20个单音节词和10个有意义句子(句子分为格式I和格式II,格式I的句子适用于接受性言语较弱的儿童,格式II的句子适用于接受性言语较强的儿童)。采用听话指图的方法,儿童在5张图片中指出听到的单词或句子。Jerger等^[8]在开发此测试的同时提出,利用该测试能有效识别中枢听觉障碍儿童,具有同期效度,且单词和句子重测信度0.85~0.95。该材料被广泛应用于临床,Portnuff等^[9]在其诊

所中3~4岁儿童定期使用PSI来进行人工耳蜗植入后效果评估。

3.2.2 噪声下数字测试(digits in noise test, DIN)最初是为给疑似听力问题的受众进行听力筛查而研发,目标材料为多个3位数的数字,又称三连音测试,要求在听到三连数字后重复或在回答框中选择相应的数字,应用于4岁以上儿童^[10~12]。DIN的信度很高,不同噪声和装置下标准误1~3 dB。此外,该材料可以区分儿童在不同噪声下的言语识别表现,具有很好的同期效度。该材料可进行全年龄范围内的有效比较,受语言认知能力影响较小。

3.2.3 普通话口语词汇图片指认自适应测试(mandarin spoken word-picture identification test in noise-adaptive, MAPID-A)适用于4~6岁儿童,目标材料包括3个测试集,最初每个测试集中有8个单词,但测试材料在进行难度同质化后排除了5个测试项目。采用听话指图的方法,儿童在听到单词后从所属测试集的8张图片中指出该词。Yuen等^[13]在开发此测试时进行了项目间同质化,被试内重测信度为90.6%,临界差为3.22 dB,并表明其能区分3~6岁儿童的言语识别表现,具有同期效度。该材料专为普通话儿童设计,同时使用了空间分离带来的识别能力改善作为结果指标,能更好评估听觉中枢在言语感知中的贡献。

3.2.4 修改版噪声下短语测试(phrases in noise test, PINT)适用于3~6岁儿童,最初是为植入人工耳蜗的小龄儿童开发,为了使其适用年龄更小,新版PINT目标材料为12个指令形式的简单短语,每个短语难度相当。短语形成12个伪随机列表(列表内每个短语重复2次,共24个短语)。要求儿童听到指令后使用相应物品表演或复述出来。Schafer等^[14]在开发该测试时对3~6岁儿童进行了信效度检验,此测试具有很强的同期效度和聚合效度,且在不同条件下的重测信度分别为0.76和0.70。该材料应答方式灵活,可避免儿童不愿讲话或言语障碍的影响,已被证明有助于改善FM调频系统的后续调试程序^[15]。

3.2.5 标准版本CRISP适用于4岁以上儿童。该材料最初是为实验研究开发,后被应用于临床,目标材料为25个4~5岁儿童易识别出的扬扬格词,评估方法同CRISP-Jr。尽管CRISP被广泛应用于学龄前儿童的组间差异研究,具有很好的同期效度,但未有研究专门对CRISP进行信度测试。CRISP相关临床和研究使用与CRISP-Jr类似,但多用于评估大龄儿童的言语感知能力。

3.3 学龄儿童目标材料(5岁以上)

根据儿童语言发展里程碑,5岁以上儿童已经能够表达成熟的结构^[7],因此,这个阶段开始出现以复述为应答

方式的开放性测试。常见的目标材料如下几种。

3.3.1 BKB噪声下言语测试(bamford-kowal-bench speech-in-noise, BKB-SIN)适用于5岁以上儿童,目标材料选自BKB句子(代表一年级儿童阅读水平),并最终形成了18组成对的等价句子列表,每个列表对含16或20个句子,应答方式为复述,对每句复述正确的关键词个数进行计分。BKB-SIN用户手册显示了该测试在5~6岁、7~9岁、10~14岁3组健听儿童的组间差异,表明其有很好的同期效度,并提供了重测信度,该信度随着使用的句子列表增多和年龄增大而增强,临界差为1.1~5.4 dB^[16]。该材料也可应用至全年龄范围,具有普通话版本,此外,也被广泛应用到探索混响、工作记忆、语言能力等对儿童噪声下言语识别能力影响的研究中。

3.3.2 空间噪声下句子聆听测试(listening in spatialized noise-sentences test, LISN-S)适用于5~11岁儿童,目标材料为120个按照BKB原则书写的等价句子,应答方式为复述,根据每句复述正确的关键词比例判定该句是否复述正确。Cameron等^[17]考察该测试的信效度,表明其在不同年龄组儿童间具有组间差异,有很好的同期效度,根据测试结果指标的不同,其信度系数为0.3~0.8,临界差为2.5 dB~4.4 dB。该材料使用空间分离效益作为结果指标,主要检测中枢听觉障碍。

3.3.3 儿童噪声下言语听力测试(hearing in noise test for children, HINT-C)适用于6~12岁儿童,目标材料为10个等价的句子列表,每个列表10个句子,选自成人版HINT,均是5岁以上儿童在安静环境下能正确重复的句子,应答方式为复述,整句均正确复述视为正确,但允许单词变体错误(如is/was)。虽然原始英文版HINT-C未提供信度,但粤语版本HINT-C表明该测试有很好的表间信度和重测信度,其表内变异性在2.5 dB内,重测标准差在2.4 dB内^[18]。该材料应用范围广,可用以评估人工耳蜗、助听器、FM系统的益处,具有普通话版本。

4 噪声类型

不同噪声类型对儿童的言语识别能力影响程度不同。现有的噪声评估工具中使用的噪声类型不是固定的,有时会出于实验或治疗目的有所改变。

4.1 非言语噪声

常用的非言语噪声包括白噪声(white noise)、粉红噪声(pink noise)、稳态语谱噪声(steady speech-shaped noise, SSN)、调制噪声。白噪声和粉红噪声制作简单,但只在早期测试中使用,目前只有ATT选择粉红噪声。SSN使用范围相对较广,是白噪声经过数字滤波处理后与所有目标材料(或很多句子组成的一段长对话)的长时

平均言语谱(long-term average speech spectrum, LTASS)相匹配而形成的噪声。在语谱噪声下得到的测试结果通常更加稳定和有效,因此,许多评估工具采用此种噪声,包括MAPID-A、HINT-C和DIN。调制噪声一般指波动噪声或间断噪声,包括振幅随时间波动和振幅在不同频率下波动的噪声,调制后的噪声更接近日常言语声的频谱变化,少有测试工具使用,但以实验研究为目的的研究也会改用此种噪声。尽管大部分DIN中使用SSN,但Koopmans等^[11]为了考察连续噪声和间断噪声对儿童识别能力的影响,使用调制噪声作为DIN的噪声材料。

非言语噪声会对言语感知造成影响,因为产生了能量掩蔽(energetic masking, EM),即在听觉外周水平上,由于频谱范围的重叠,使得基底膜兴奋模式重叠,导致一个声音被另一个声音掩蔽。稳态语谱噪声产生的EM最大,因为其频谱与目标声音基本重叠,缺少了时间或频率振幅上升或下降产生的间隙(glimpse)。而调制噪声存在波动性,因此,如果恰巧目标声出现在波谷时,就会形成聆听间隙,相对于稳态噪声会使听者产生去掩蔽(masking release)效应,即识别能力增强。大多数儿童在稳态语谱噪声中达到成人的表现大约在10岁^[19],但在调制噪声中会有更长更大的年龄效应^[11],表明儿童中枢听觉系统利用波谷间隙的能力尚未发育成熟。

4.2 言语噪声

常用的言语噪声包括单人言语噪声和多人嘈杂言语噪声(babble noise),都是通过发音标准的真人录制。相对非言语噪声,言语噪声更加接近日常生活场景,PSI使用单人男性言语噪声,BKB-SIN使用4人嘈杂言语噪声。

言语噪声对言语感知造成影响可分为两方面。一是EM,言语噪声的EM比稳态噪声小,因为真实讲话声音会有瞬时振幅的显著变化,产生的间隙使得言语噪声和调制波动噪声一样会出现去掩蔽效应,使言语噪声下的评估结果不稳定,因此,如果想提高结果的信度,建议选择SSN或增加说话者的数量。当说话者的数量逐渐增多,其振幅和短时语谱会变得相对平缓,产生的间隙逐渐变少。此外,言语噪声还会提供语义差异、音质差异等高级认知层面上的信息,产生信息掩蔽(information masking, IM),在语义、性别不同时同样会产生去掩蔽效应,有评估为了同时研究去掩蔽能力,测试儿童在不同性别言语噪声种的表现,如LISN-S。CRISP为了对比言语噪声和非言语噪声的掩蔽大小差异,同时使用两种噪声。儿童在言语噪声下的言语识别成熟时期比非言语噪声更长,10岁后仍存在发展陡峰^[19]。

4.3 混合噪声

言语噪声和非言语噪声在儿童学习生活环境中较常

见,因此研究人员认为在以上两种噪声的混合下进行测试才能在贴近儿童所处自然环境的同时,又能对儿童噪声下言语感知进行有效评估。修改版PINT测试中采用这种噪声,是通过将儿童自习时间记录的一年级、二年级、三年级和四年级教室的噪音(包括孩子说话、椅子移动、翻书等声音)经过混合得到^[14]。混合噪声产生的掩蔽最强,既会产生大量能量掩蔽,也会产生大量信息掩蔽,因此,儿童即使到11~13岁,该噪声下识别能力也还在不断发展^[20]。

5 噪声下言语感知能力评估方法

噪声下言语感知能力评估方法主要分为两类,一类是固定信噪比(signal to noise ratio, SNR)求所有测试项的正确率,然后求出听者的识别分数-强度(performance-intensity, PI)曲线,如PSI用户手册推荐使用这种方法。然而求PI曲线的规则很难在所有儿童上得到一致的满意结果,因此,常直接使用正确率对比,改进的PSI是推荐在-10、0、+10 dB SNR条件下评估儿童的言语感知能力表现^[21]。另一类是每个测试项的SNR根据表现做自适应变化,一些测试选择改变噪声强度,如ATT;一些选择改变目标声强度,如HINT-C、MAPID-A。具体规则为正确则下一个测试项SNR增加,反之降低。每次给声强度由增加变为降低或降低变为增加称为一次反转(reversal),达到一定反转后测试结束。该方法与固定SNR相比,可以避免“天花板”和“地板”效应。然而,人工自适应调整SNR非常复杂,使用计算机设备相对昂贵,因此测试使用了修改版自适应方法。如修改版PINT,阈值测试方法为先将噪声以3 dB为步长连续降低12次,再以3 dB为步长连续增加12次。在降低侧取紧接2次错误响应的第1次正确响应对应SNR,在增加侧取紧接2次正确响应的第1次正确响应对应SNR,两个SNR的平均值为阈值。

6 总结与展望

上述评估工具除CRISP-Jr/CRISP外,均具有很好的信度,此外,所有工具都具有很好的效度。对于年龄较小的幼儿,ATT是很好的选择,尽管该材料是在成人基础上进行的同质化,但由于婴幼儿个体差异大,本就很难同质。对于3~5岁学龄前儿童,修改版PINT似乎更能代表日常生活,PSI是临床应用最广泛和易操作的,但可能产生“天花板”/“地板”效应,DIN似乎是该年龄段较优的选择,如果想判断该年龄段儿童是否有中枢听觉障碍,则可以选择MAPID-A。对于5岁以上儿童,当成本足够时,HINT-C是很好的选择,因为它具有成熟的多语言电脑版, BKB-SIN相对便宜,但要避免“天花板”/“地板”效应,

此外, LISN-S 是判断这个年龄段中枢听觉障碍的最佳方法。

本文集中讨论了单词识别阶段儿童的噪声下言语感知能力评估,未来的工作可从以下方面开展:①制作成套测试工具,针对听觉感知发育的3个阶段进行连续评估;②由于不同年龄段儿童的语言能力不一,应当制作层级测试,即针对不同年龄使用不同的评估工具,并校正跨工具评估结果间的差异;③由于评估工具繁多,临床使用应注重信度、效度和敏感度的均衡,对于缺失信效度的材料,应当审慎对待;④现有噪声下言语感知能力评估忽略了混响因素,但儿童日常所处的环境通常是封闭的室内环境。当噪声和混响同时存在时,即使是轻微的混响时间增加,言语识别任务的准确性也会显著下降^[22]。然而,目前尚无临床可用的工具评估噪声和混响的双重作用,因此应当考虑此类工具的制作。

参考文献

- [1] Erickson LC, Newman RS. Influences of background noise on infants and children [J]. *Current Directions in Psychological Science*, 2017, 26(5): 451-457.
- [2] Carney A. Audition and the development of oral communication competency[M]. In: Bess FH, Gravel JS, Tharpe AM(eds.), *Amplification for children with auditory deficits*. Nashville: Bill Wilkerson Center Press, 1996:29-54.
- [3] Hess CL, Misurelli SM, Litovsky RY. Spatial release from masking in 2-year-olds with normal hearing and with bilateral cochlear implants [J]. *Trends in Hearing*, 2018, 22: 1-13.
- [4] Lovett RES, Kitterick PT, Huang S, et al. The developmental trajectory of spatial listening skills in normal-hearing children [J]. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 2012, 55(3): 865-878.
- [5] Holland BT, Marriage J, Salorio-Corbetto M. Speech discrimination and word identification with a consumer-level bone-conduction headset and remote microphone for children with normal hearing [J]. *International Journal of Audiology*, 2022, 64(2): 1-8.
- [6] Cullington HE, Bele D, Brinton JC, et al. United Kingdom national paediatric bilateral project: Demographics and results of localization and speech perception testing[J]. *Cochlear Implants International*, 2017, 18(1): 2-12.
- [7] Feldman HM. How young children learn language and speech[J]. *Pediatrics in Review*, 2019, 40(8): 398-411.
- [8] Jerger S, Jerger J, Abrams S. Speech audiometry in the young child[J]. *Ear and Hearing*, 1983, 4(1): 56-66.
- [9] Portnuff C, Bell B. Effective use of speech-in-noise testing in the clinic [J]. *The Hearing Journal*, 2019, 72(5): 40-43.
- [10] Moore DR, Whiston H, Lough M, et al. Freehear: a new sound-field speech-in-babble hearing assessment tool [J]. *Trends in Hearing*, 2019, 23: 1-12.
- [11] Koopmans WJA, Goverts ST, Smits C. Speech recognition abilities in normal-hearing children 4 to 12 years of age in stationary and interrupted noise [J]. *Ear and Hearing*, 2018, 39(6): 1091-1103.
- [12] Vroegop J, Rodenburg-Vlot M, Goedegebure A, et al. The feasibility and reliability of a digits-in-noise test in the clinical follow-up of children with mild to profound hearing loss[J]. *Ear and Hearing*, 2021, 42(4): 973-981.
- [13] Yuen KCP, Qiu XY, Mou HY, et al. The MANDarin spoken word-Picture IDentification test in noise-Adaptive (MAPID-A) measures subtle speech-recognition-in-noise changes and spatial release from masking in very young children [J]. *PLoS One*, 2019, 14(1): e0209768.
- [14] Schafer EC, Beeler S, Ramos H, et al. Developmental effects and spatial hearing in young children with normal-hearing sensitivity[J]. *Ear and Hearing*, 2012, 33(6): e32-e43.
- [15] Jacob RTds, Souza COE, Rosa BC, et al. Phrases in noise test (PINT) Brazil: effectiveness of the test in children with hearing loss [J]. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2021, 87(2): 164-170.
- [16] Research E. Bamford-Kowal-Bench Speech in Noise Test [M]. Elk Grove Village, IL: Etymotic Research, 2005. 12-13.
- [17] Cameron S, Dillon H. The listening in spatialized noise-sentences test (LISN-S): test-retest reliability study[J]. *International Journal of Audiology*, 2007, 46(3): 145-153.
- [18] Wong LLN, Chen Y, Leung KP. The cantonese hearing in noise test for children [J]. *Trends in Hearing*, 2019, 23: 2331216519837128.
- [19] Sobon KA, Taleb NM, Buss E, et al. Psychometric function slope for speech-in-noise and speech-in-speech: Effects of development and aging [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2019, 145(4): EL284-EL290.
- [20] Prodi N, Visentin C, Borella E, et al. Noise, Age, and Gender Effects on Speech Intelligibility and Sentence Comprehension for 11- to 13-Year-Old Children in Real Classrooms [J]. *Frontiers in psychology*, 2019, 10: 2166.
- [21] Sininger YS, Grimes A, Christensen E. Auditory development in early amplified children: factors influencing auditory-based communication outcomes in children with hearing loss [J]. *Ear and Hearing*, 2010, 31(2): 166-185.
- [22] Prodi N, Visentin C. A slight increase in reverberation time in the classroom affects performance and behavioral listening effort[J]. *Ear and Hearing*, 2021, 43(2): 460-476.

收稿日期 2022-11-23
责任编辑 赵倩