doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.06.018

言语处理器升级对学龄期人工耳蜗植入儿童的客观获益研究

Benefits of Speech Processor Upgrade for School-Age CI Children with Cochlear Implants

姜耀锋[1] 高珺岩[1] 张海[1] 杨烨[2]

JIANG Yao-feng, GAO Jun-yan, ZHANG Hai, YANG Ye

【摘要】目的 评估学龄期人工耳蜗植入(CI)儿童在言语处理器(sound processor,SP)升级前后的客观获益,探究仅通过升级能否有效缩短其与健听儿童听觉效果的差距。**方法** 以噪声环境下言语识别阈和数字广度测试结果作为主要分析指标,本研究所用升级设备型号为N7,共招募学龄期CI儿童受试者(CI组)49例,分析其在SP升级前后两项指标的变化,并纳入20例同龄健听儿童作为对照组进行听效比较。**结果** 使用原SP时,CI组儿童在安静环境下言语识别率(84% VS 100%)、噪声环境言语识别阈(1.89±2.72 dB VS −8.71±0.74 dB)以及数字广度测试得分(顺序7.96±1.79 分VS 9.20±0.77分;逆序4.22±1.10 分VS 5.25±1.59分)均显著落后于对照组儿童(P<0.001)。SP升级后,CI儿童噪声下言语识别阈显著改善(−2.95±2.41 dB VS 1.89±2.72 dB,P<0.001),且效果的提升在升级后即刻显现;多元线性回归分析显示,原SP的型号(即技术代际差异)对升级后该指标影响显著(F=4.123,P<0.05),可解释N7言语识别阈测试约16.3%的变异;而数字广度测试结果虽有提高,但无统计学意义(P>0.05),升级对于听觉记忆能力的改善效果尚需更长的观察期。**结论** 具备熟练聆听经验的学龄期CI儿童在听效表现与听觉工作记忆能力上仍落后于同龄健听儿童。SP升级可提升其现有听效表现,且阶段性升级有望持续优化该表现,进而助力其更好地融入复杂和挑战性的学习与生活。

【关键词】 人工耳蜗植入;学龄期听障儿童;言语处理器升级;听觉表现;听觉工作记忆

【中图分类号】 R764.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672−4933(2026)06−0660−07

【Abstract】 ***Objective*** To evaluate the benefits sound processor (SP) in school-age children with cochlear implantation (CI) before and after and to explore whether SP upgrade alone can effectively narrow the hearing performance gap between these children and normal-hearing children. ***Methods*** Speech recognition threshold in noise and digit span test results were adopted as primary outcome measures. The upgraded processor used in this study was Nucleus N7. A total of 49 school-age children with CI (CI group) were recruited. Changes in the two indicators before and after SP upgrade were analyzed. Meanwhile, 20 age-matched normal-hearing children were enrolled as the control group for comparison of hearing performance. ***Results*** When using the original SP, children in the CI group exhibited significantly poorer performance than the control group (P<0.001), including speech recognition score in quiet (84% vs. 100%), speech recognition threshold in noise (1.89±2.72 dB vs. -8.71±0.74 dB), digit span forward score (7.96±1.79 vs. 9.20±0.77) and digit span backward score (4.22±1.10 vs. 5.25±1.59). After SP upgrade, the speech recognition threshold in noise of CI children improved significantly (−2.95±2.41 dB vs. 1.89±2.72 dB, P<0.001), with benefits observed immediately after the upgrade. Multiple linear regression analysis revealed that the model of original SP (i. e., generational differences in technology) exerted a significant effect on post-upgrade speech recognition threshold (F=4.123, P<0.05), explaining approximately 16.3% of the variance of N7 speech recognition threshold. Although digit span test scores increased after upgrade, the difference was not statistically significant (P>0.05), suggesting that a longer follow-up period is required to verify improvements in auditory memory following SP upgrade. ***Conclusion*** School-age children with CI with well-established listening experience still lag behind normal-hearing children in hearing performance and auditory working memory. SP upgrade may be an effective strategy to improve their hearing performance. Periodic processor upgrades may continuously optimize auditory outcomes, helping them better adapt to complex and challenging academic and daily environments.

【Key words】 Cochlear implant; School-age children; Sound processor upgrade; Hearing performance; Auditory working memory

基金项目:南京鼓楼医院临床研究专项基金“基于EEG监测CI儿童听觉加工过程中的认知负荷及神经机制研究”(2024−LCYJ−PY−46)

作者单位:1 江苏省儿童康复研究中心 南京 210004

2 南京大学医学院附属鼓楼医院耳鼻咽喉头颈外科/南京鼓楼医院耳鼻咽喉研究所 南京 210008

作者简介:姜耀锋 本科;研究方向:听能管理

通讯作者:杨烨,E−mail:dryangye1980@sina.com

人工耳蜗植入(CI)是目前医学界公认的帮助重度及以上感音神经性听障儿童重建听力的关键治疗手段[1~3]。对于早期接受CI的儿童,在噪声环境下的言语感知能力及声音定位能力均有显著改善[4]。随着各类听觉干预救助政策的落实,早期接受CI可显著提升儿童的语言发展水平[1,5,6]。尽管CI儿童整体表现良好,但也存在不足。学龄期CI儿童语法能力不如健听儿童[7],言语识别能力是影响CI儿童学业发展的主要因素[8],其听能与同龄健听儿童仍有差距,在学业上面临压力[9]。听觉工作记忆(auditory working memory,AWM)作为短期存储与处理语音信息的认知机制,在言语理解中扮演关键角色。对于CI者而言,听觉输入信号的质量差异,如噪声环境下的言语识别困难会显著增加认知资源消耗,导致汉语普通话CI者的AWM能力弱于健听者,进而影响学习效率与语言发展[4]。为CI者的康复效果评估提供了新视角,即不仅需要评估言语识别能力,更需关注认知资源分配对聆听效率的影响。

声音处理器(sound processor, SP)技术的升级与言语识别能力的提升密切相关。使用SmartSound iQ后,在空间分离噪声环境下,言语识别阈可提升4.0 dB[10]。在固定声强测试条件下,Forward Focus技术能平均提升5.1 dB[11],2个技术均显著优化了CI使用者在嘈杂环境下的言语聆听效果。目前,涉及声音处理器升级技术对噪声下言语识别提升的研究多聚焦于成人语后聋群体[12~15]或混合年龄组[16,17],针对学龄期儿童群体的系统性研究较少[18]。基于以上情况,本研究聚焦已具备熟练聆听经验的CI儿童,从听效和听觉工作记忆能力角度,量化学龄期CI儿童与健听儿童的客观能力差距,验证单纯依靠SP升级对客观指标的改善效果,为康复策略的选择与优化提供科学指导。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2023年8月至2024年8月于江苏省儿童康复研究中心招募受试者。CI组纳入标准:①先天性感音神经性耳聋,双耳听力损失均达重度以上;②使用相同的人工耳蜗品牌,仅单耳植入,SP为Freedom、N5、N6三个型号,对侧耳可配戴或未配戴大功率助听器;③完成听觉言语康复训练超过1年,具备听觉言语交流能力,已就读普小至初中;④助听听阈测试0.5～4 kHz各频率听阈<35 dB HL。排除标准:①植入体工作状态异常导致部分电极关闭;②伴有认知发育障碍。选取健听同龄儿童为对照组。

CI组共招募50例受试者,1例退出,49例纳入研究。平均年龄11.24±1.81岁,手术年龄2.99±1.88岁,其中男23例、女26例;13例左侧植入,36例右侧植入;41例为单侧CI干预,8例为双模干预,平均助听听阈16.25±3.62 dB HL。对照组共20例,平均年龄10.74±1.18岁,男9例、女11例,平均听阈≤20 dB HL。两组受试者年龄无显著差异(P=0.201＞0.05)。CI组和健听组基本信息见表1。本研究已通过南京大学医学院附属鼓楼医院医学伦理委员会审查(2023-250-01),并在评估前获得患儿监护人知情同意。

表1 被试基本信息

基本信息		CI组	健听组
测试年龄(岁)($\bar{x}$±s)		11.24±1.81	10.74±1.18
平均助听听阈(dB HL)	0.5 kHz～4 kHz	16.25±3.62	NA
平均听阈(dB HL)	0.5 kHz～4 kHz	NA	≤20
植入年龄(岁)($\bar{x}$±s)		2.99±1.88	NA
原SP平均使用时长(年)	所有SP	7.78±2.15	NA
	Freedom SP	8.33±2.01	NA
	N5 SP	7.04±2.05	NA
	N6 SP	6.57±2.17	NA

注:NA(not applicable),表示不适用,相应指标无对应数据

1.2 方法

1.2.1 测试流程 对符合纳排标准的CI组受试者安排2次访视,间隔时间1个月。第1次访视中受试者配戴原SP完成安静环境下双音节词言语识别率测试(disyllabic word recognition rate,DWRR)、噪声环境下言语识别阈测试(speech recognition threshold, SRT)及数字广度测验(digit span test,DST)。上述测试结束后,升级更换为新一代N7 SP,将原SP中的程序通过Custom Sound 6.3调机软件自动升级为适应N7 SP程序,以减少程序变化的影响,配戴N7 SP再次完成噪声环境下SRT测试后结束访视。经过1个月N7 SP试用进行第2次访视,受试者配戴N7 SP完成噪声环境下SRT、DST测试,并在收集N7 SP中记录的数据日志(datalogging)后恢复使用原SP结束访视。健听组只进行1次访视,受试儿童完成听阈测试、安静环境下的DWRR测试、噪声环境下SRT和DST测试。

1.2.2 测试环境 在本底噪声<30 dB(A)的隔声室中进行,采用GSI公司的Audio Star Pro听力计。测试前,专业人员对声场测试设备进行响度校准。

1.2.3 测试方法

1.2.3.1 安静环境下双音节词识别率测试 采用“心爱飞扬”言语测试材料,每套词表包含25个双音节词。测试过程中,目标言语声扬声器位于受试者0°方向1 m处,以65 dB SPL声强播放,受试者重复目标词语,由测试人员判断其复述是否正确,并在测试结束后计算言语识别正确率。言语识别率=正确复述词的数量/测试词总数(25)×100%。言语识别率评判标准:90%～100%为优秀,80%～89%为良好,70%～79%为一般,<70%为差。

1.2.3.2 噪声环境下言语识别阈测试 使用汉普通话版言语识别测试材料(bamford-kowal-bench speech in noise, BKB-SIN),包含20余张句表,每套词表含20个由6～8个单词组成的句子,以男性说话者65 dB SPL固定水平播放;噪声为4人同时说话的背景噪声(4-talker babbles)。测试过程中信噪比根据受试者反馈的准确度进行自适应调整。目标言语声的扬声器位于受试者0°方向1 m处,3个噪声扬声器分别位于120°、180°和240°距离1 m位置。受试者听取并重复句子,测试者评估并记录每个句子的正确单词。每种条件下SRT测试均进行2次,选取平均值计为测试结果。

噪声下SRT测试结果为50%正确率下的信噪比,结果越小表示受试者抗噪声干扰能力越强,信噪比为0表示噪声和目标言语声强度一致,负值表示噪声声强高于目标言语声。

1.2.3.3 数字广度测验 DST常被用于评估听觉工作记忆能力,测验包括顺序和逆序数字广度测验2部分,分别测量受试者按正确顺序回忆数字的能力(顺序)和按相反顺序回忆数字的能力(逆序)。测试材料由0～9的数字串组成,初始序列包含3个数字,若复述正确,数字序列的长度增加1位,如相同长度数字串连续2次回忆错误,则测试停止,以前级别数字序列串长度作为得分(数字串在10位以内不包含重复数字,如超过10位可出现重复但不连续的数字)[19,20]。为排除CI儿童因听觉能力不足导致数字识别困难,测试前先检测其对单个数字的识别能力,选择能够听清每个数字的受试者进行测试。

1.3 声音处理与记录

SmartSound iQ通过全自动化场景识别与多维度降噪策略含定向麦克风、信噪比降噪技术(signal-to-noise ratio noise redaction, SNR-NR)、风噪声降噪技术(wind noise reduction, WNR)覆盖日常复杂环境,Forward Focus则强化特定空间方向的降噪效果。两者均基于双麦克风阵列的空间滤波技术,在降噪逻辑上形成互补,共同为CI者在噪声环境中的言语感知提供技术支持。

1.3.1 SmartSound iQ技术 是Cochlear公司开发的智能声音处理技术,自N6后的处理器均含有此功能,其核心在于通过自动场景分类系统(spectral channel allocation network, SCAN)实现对聆听环境的实时分析与自适应调节[21]。该技术利用双麦克风阵列同步捕捉声音信号,通过硬件层面的波束成形技术(如zoom定向麦克风)衰减来自侧面和后方的噪声,提升前方语音的信噪比[21]。SCAN技术可将环境划分为安静、语音、噪声、音乐、风声等6类场景,基于场景类型自动激活相应处理策略,数据可通过嵌入式系统数据日志进行记录[21,22]。

1.3.2 Forward Focus技术 是针对复杂声学环境设计的定向降噪技术,自N7后的处理器均含有此功能,其核心原理是通过麦克风阵列的信号处理,选择性衰减来自后方的噪声信号,同时保留前方的语音输入,从而在噪声源位于后方的场景(如“鸡尾酒会效应”情境)中显著提升目标语音的可懂度[23]。

1.4 统计学分析

采用SPSS 27.0软件和Excel进行统计学分析。采用Shapiro-Wilk检验数据是否服从正态分布,并用Levene's方差齐性检验数据方差是否齐性。采用Welch方差分析比较CI组SP升级前后和健听组在噪声下SRT测试结果差异,检验水平α=0.05,P<0.05为差异有统计学意义。对CI组的N7 SRT影响因素进行多元回归线性分析;采用LSD多重比较法比较使用不同原SP的组间均值差异。采用Kruskal-Wallis H检验方法比较CI组更换N7前后的DST结果分布差异,并使用Bonferroni法比较各组之间的差异,调整α水平=原α水平÷比较次数。本研究共比较3次,调整α水平=0.05÷3=0.017,P<0.017为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CI组配戴原SP与健听组安静环境下DWRR比较

20例健听组受试者儿童在安静环境下的DWRR均为100%,CI组受试者配戴原SP在安静环境下的DWRR平均为84%(57%～100%)。两组有显著差异(U=10.00,P=0.00<0.05),37/49例(75.5%)CI组受试者的双音节词识别率≥80%;20/49例(40.8%)CI组受试者的双音节词识别率≥90%;仅有1例CI组受试者双音节词识别率为100%,见图1。

2.2 CI组和健听组在噪声环境下的SRT比较

CI组包含3次SRT测试结果,分别为第1次访视中配戴原SP和升级N7 SP后进行的SRT测试,以及经过1个月聆听适应后第2次访视中的SRT测试结果。不同组间噪声下SRT有显著差异(F=272.725,P=0.000<0.05)。健听组噪声下SRT平均值均显著低于CI组(P=0.000<0.05);CI组升级为N7 SP后第1次访视和第2次访视中SRT结果均显著低于配戴原SP(P=0.000<0.05),而配戴N7 SP时第2次访视结果略低于第1次,但差异无统计学意义(P=0.934>0.05),见图2。

2.3 CI组N7 SRT影响因素的多元线性回归分析

原SP型号是影响CI组N7 SRT的显著因素(β=−0.398,t=−2.976,P=0.005<0.01),手术年龄(P=0.113)和干预方式(P=0.117)的影响无统计学意义。该模型整体显著(F=4.123,P=0.011<0.05),调整R^2为0.163,表明原SP型号可解释N7 SRT约16.3%的变异,见表2。

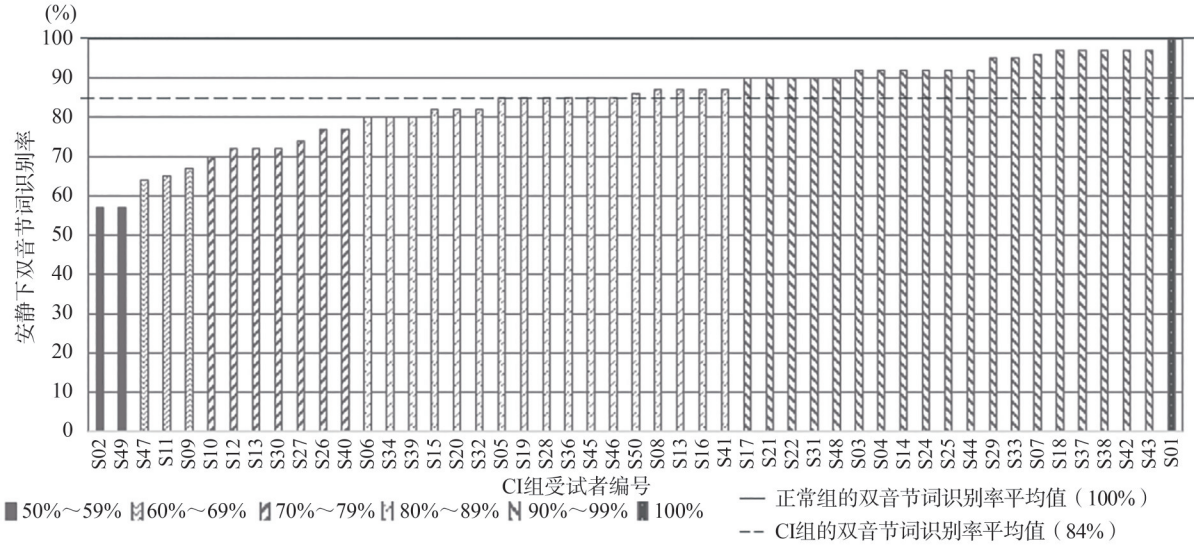

图1 CI组使用原SP的双音节词识别率

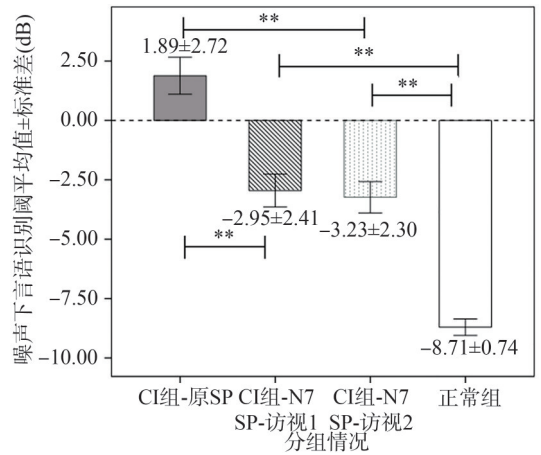

图2 CI组配戴原SP和N7 SP与健听组在噪声下SRT比较
注：*P<0.05，**P<0.01，下同

表2 CI组N7 SRT影响因素的多元线性回归分析

项目	非标准化系数		标准化系数	t	P	VIF	R^2	调整R^2
	B	标准误	Beta					
常数	0.296	1.53	-	0.194	0.847	-		
原SP型号	−1.498	0.503	−0.398	−2.976	0.005**	1.027		
手术	0.373	0.231	0.238	1.617	0.113	1.242	0.216	0.163
年龄								
干预方式	−1.454	0.909	−0.236	−1.599	0.117	1.253		
F		4.123		P		0.011*		

注：*P<0.05，**P<0.01，下同

2.4 CI组使用不同型号的原SP升级N7后的SRT比较

原SP-N6组与原SP-Freedom组的平均值差值为1.91，且差异有统计学意义（P=0.03<0.05）；原SP-N6组与原SP-N5组的平均值差值为3.00，且差异有统计学意义（P=0.00<0.01）；原SP-Freedom组和原SP-N5组的平均差异为1.08，差异无统计学意义（P=0.17>0.05），说明新的功能需要适应期，具有SmartSound iQ技术聆听经验的N6组在升级后SRT效果更显著，见图3。

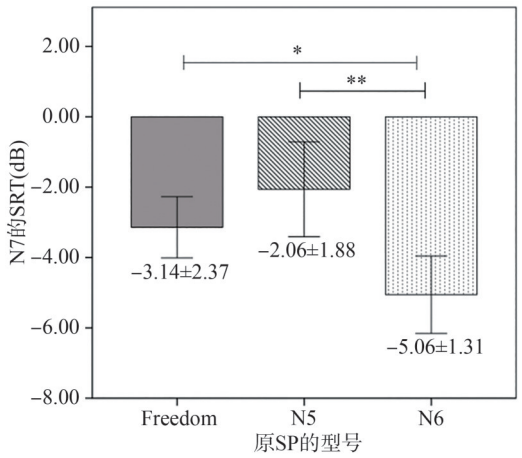

图3 使用不同型号的原SP升级N7后的SRT比较图

2.5 CI组和健听组DST结果比较

采用Kruskal-Wallis H检验方法比较CI组更换N7前后的DST结果分布差异，并使用Bonferroni法比较各组间的差异。第2次访视中1例退出测试，因此配戴N7 SP完成DST测试的CI受试者共48例。顺序DST比较中，CI组配戴原SP和N7 SP与健听组的结果分布不同，差异具有统计学意义（H=11.27，P=0.00<0.05）。CI组配戴原SP和N7 SP的顺序DST平均结果均显著低于健听组（H=−28.07，调整后P=0.00<0.05；H=−26.43，调整后P=0.01<0.05）；CI组配戴N7 SP的顺序DST平均结果略高于原SP，差异无统计学

意义(H=−1.64,调整后P=1.00>0.05)。健听组的顺序DST结果100%分布在≥8分区域,并相对集中在8～10分,其中40%的健听组受试者获得10分;CI组结果分散、跨度大且DST均值低于健听组,配戴原SP时有67.34%的受试者结果分布在≥8分区域内,14.28%受试者获得10分及以上,配戴N7 SP时70.84%的受试者结果分布在≥8分区域,16.67%受试者获得10分及以上,见图4。

逆序DST比较中,CI组配戴原SP和N7 SP与健听组的结果分布不同,差异具有统计学意义(H=6.28,P=0.04<0.05)。CI组配戴原SP时逆序DST结果显著低于健听组(H=−21.60,调整后P=0.04<0.05);配戴N7 SP时结果低于健听组,但差距无统计学意义(H=−17.44,调整后P=0.14>0.05)。健听组逆序DST结果95%分布在≥4分区域,25%受试者获得7分及以上。CI组配戴原SP时69.38%受试者结果分布在≥4分区域,4.08%受试者获得7分;配戴N7 SP时72.92%受试者结果分布在≥4分区域,8.33%受试者获得7分及以上,见图5。

2.6 CI组升级N7期间的数据日志

根据数据日志的显示,CI组在配戴N7期间每日平均开机总时长12.23小时,嘈杂环境场景(包括嘈杂环境中的言语和噪声)每日平均时长6.01小时,占全天聆听时长的49.14%;与言语相关的场景(包括嘈杂环境中的言语和言语)每日平均时长5.99小时,占全天聆听时长的48.98%,见图6。

3 讨论

CI是临床治疗重度及极重度耳聋的有效手段。对于听障儿童而言,早期接受CI干预能够尽早获得词汇表达与接收能力,为语言发展奠定坚实基础,从而尽早融入同龄健听儿童群体,开启正常的生活与学习[24]。随着CI术后听觉言语康复工作的持续推进,越来越多听障儿童获得进入普通学校学习的机会,CI儿童各方面能力逐渐向健听同龄人靠拢,这一现象使学者忽视了其与健听同龄人之间的差距。

本研究对比了CI儿童和健听同龄儿童安静环境下DWRR测试结果、噪声环境下SRT测试结果以及DST测试结果的差异。结果显示,CI组儿童在配戴原SP下虽助听补偿能达到健听范围且具备熟练的聆听交流经验,但与健听同龄儿童相比仍存在差距。在安静环境下进入优秀水平(DERR≥90%)的人数仅占40.8%(20/49例),仅1位受试者达到健听儿童水平(DWRR=100%);而噪声环境对聆听的影响更显著,在噪声环境且配戴原SP情况下,听障儿童完成相同言语识别任务需高于健听同龄人约10 dB信噪比。表明听障儿童即使在CI的助力下仍面临巨大的聆听困境。普校学习缺少小班化教育,在集体课堂环境中CI儿童面临不利的、复杂的聆听挑战,可能与本调查中仅12/49例(24.5%)CI儿童的学习成绩处于所在班级中上等以上相关。

人类学习的重要途径源自听觉感知信息的输入,认

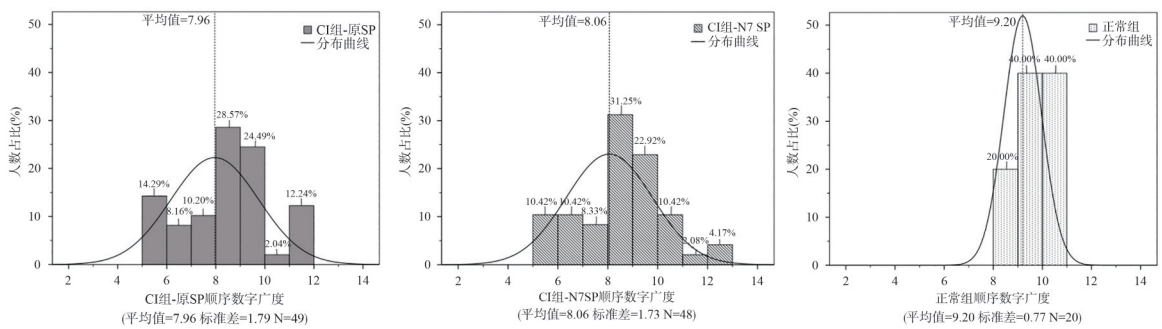

图4 CI组配戴原SP、N7SP和健听组顺序数字广度测验结果分布图

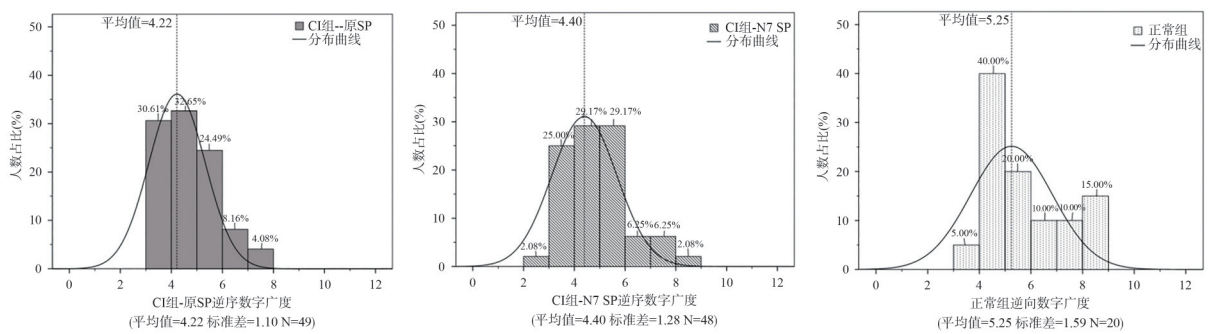

图5 CI组配戴原SP、N7SP和健听组逆序数字广度测验结果分布图

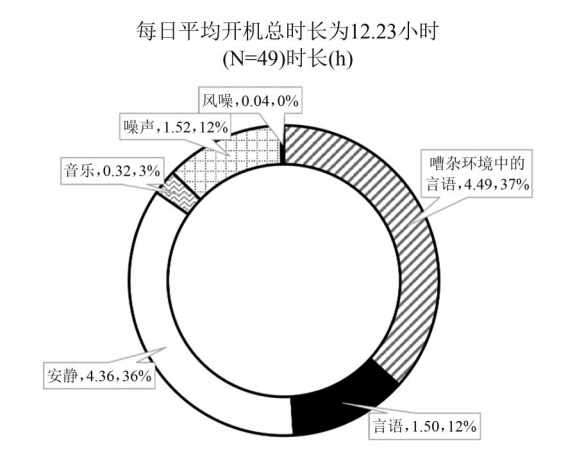

图6 CI组不同聆听场景的日均时长及占比图

知功能在对听觉言语信号的分析处理过程中发挥重要作用，多个认知维度均参与听觉任务。2007年听力认知学会提出听配能概念，2015年张敏首次将这一概念引入国内[25]，应用于认知听力学领域研究，描述聆听者从自身有限的认知资源中分配给听觉任务的精力和能量、评估在执行听觉任务过程中主观支配和调动的各种认知资源[26~28]，为评估助听干预效果提供了新视角。听觉工作记忆是其中核心部分，即对信息暂时加工和贮存且能量有限的记忆系统[29]。常用广度测试反映工作记忆能力，对于学龄期儿童而言，数字属于熟悉的高频词且受方言、词汇量影响较小，因此本研究选用数字广度测试，其操作简单易行，侧重于评估受试者短时记忆能力和注意力。结果显示，配戴原SP时CI儿童在正序和逆序测试中得分均不及健听儿童，并表现出较大的个体差异。这可能是因为虽然CI儿童对单个数字的识别没有表现出识别障碍，但由于听到的声信号冗余度不及健听儿童[30]，随着数字串难度增加，信号分析需动员更多认知资源，不仅导致记忆力强度下降，长时间聆听的疲劳感也会激增，可以解释其面临的学习压力。

随着CI领域的创新与发展，近年来，接受CI干预的儿童借助前沿技术与完善的康复体系可获得理想的临床效果。然而，早年间接受CI干预的儿童因植入体无法升级，难以享受植入体新技术带来的优势。本研究探究仅升级体外SP能否提升其言语识别与听觉工作记忆能力，旨在为临床工作者提供客观依据，助力听力康复咨询，同时为扶持政策的制定提供数据支持，改善CI儿童尤其是学龄期儿童的干预效果。本研究选择N7 SP能自动识别所处声音环境，根据环境声音特征自动匹配不同降噪收声算法与多种降噪声音处理技术。结果显示，听障儿童在仅依靠升级SP的情况下，在噪声环境下完成相同的言语识别任务较原SP即刻下降约5 dB信噪比，缩短了与健听同龄人间的差距。提示仅依靠升级体外设备可一定程度帮助CI儿童获得听效提升，升级SP可作为提高听能状态的有效途径。

本研究通过多元回归分析发现，原SP型号是影响升级后SRT的关键因素(β=-0.398，P=0.005)，而手术年龄和干预方式的影响未达显著水平。结果提示，CI儿童早期使用的SP技术代际差异直接累积为升级后的听效差距。在CI组使用不同型号原SP升级N7后的SRT比较中也得到验证，使用较新型号原SP(如N6)儿童在升级N7后，其噪声下SRT与健听儿童仅差3 dB，而使用旧型号(如Freedom)儿童仍存在较大差距。这与Moura JE等[31]提出的SP阶段性升级可持续优化听能的观点一致，表明听觉获益存在设备技术的累积效应。早期采用先进SP技术的儿童听神经系统对高效声信号处理模式的长期适应，可能使其在后续升级中获得更优的噪声下言语识别能力。数据日志显示，学龄期CI儿童每日49.14%的时间处于嘈杂环境，这种高强度的噪声暴露提示改善噪声环境聆听质量的必要性。此外，听觉工作记忆能力的提升未达显著水平，提示SP升级带来的听效增益可能需要更长时间的中枢适应，或需结合针对性认知训练才能充分显现[32]。Forward Focus技术对听配能的改善需结合长期认知训练[30]，提示SP升级的获益可能需通过设备优化+康复干预的双重策略实现。未来研究可延长随访周期，结合各种功能性脑成像技术[33,34]，进一步探索听觉中枢可塑性与SP升级效果的动态关联。

CI领域的新技术发展不仅体现在声音处理技术上，还有其他技术，如数据日志的记录功能。本研究CI儿童通过该功能记录，总结了学龄期CI儿童的聆听环境特点。学龄期儿童每日有近13个小时的聆听时间，且长时间处于校园环境中，每日在言语和噪音环境中暴露时长占比约60%，提示对于学龄期CI儿童，降噪技术和言语声处理技术至关重要。有效的降噪技术和声音处理技术能够帮助其在嘈杂环境中清晰地捕捉声音信号并针对性增强与优化[23]，从而提升CI儿童言语理解能力，助力其更好地适应校园环境。同时，数据日志反馈的其它信息可辅助临床专业人士进行故障排查、咨询辅导、程序优化和治疗干预规划。

本研究不足在于受限于1个月的随访周期，在1个月的SP升级体验中，可以观察到N7 SP的SRT和听觉记忆能力的轻微提高，但长期的听效和听觉记忆能力的提升是未知的，因此将在后续工作中持续跟踪升级后受试CI儿童的听效和听配能改善情况。

综上所述，本研究表明CI干预的听障儿童与健听儿童在言语识别、听觉工作记忆能力方面存在差距。升级

体外SP可提升CI儿童在噪声环境下的言语识别能力，尽早应用新技术有助于听效的积累与改善。对CI儿童的听能建设需持之以恒，应充分利用声音处理、数据日志等技术，精准、高效地提升其听效，助力其在学习、生活中更好地融入与发展。

参考文献

[1] Sharma SD, Cushing SL, Papsin BC, et al. Hearing and speech benefits of cochlear implantation in children: A review of the literature[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol,2020,133:109984.

[2] Moura JE, Martins JH, Alves M, et al. Children then, adults now: long-term outcomes-performance at 15, 20, and 25 years of cochlear implant use[J]. Front Rehabil Sci,2023,4:1275808.

[3] Malhotra PS, Densky J, Melachuri M, et al. The impact of cochlear implantation on speech and language outcomes in children with asymmetric sensorineural hearing loss[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2022,152:110979.

[4] Benchetrit L, Ronner EA, Anne S, et al. Cochlear Implantation in Children With Single-Sided Deafness: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg,2021,147(1):58-69.

[5] Ching TYC, Dillon H, Leigh G, et al. Learning from the Longitudinal Outcomes of Children with Hearing Impairment (LOCHI) study: summary of 5-year findings and implications[J]. Int J Audiol, 2018, 57 (sup2):S105-S111.

[6] Ching TYC, Dillon H, Button L, et al. Age at Intervention for Permanent Hearing Loss and 5-Year Language Outcomes[J]. Pediatrics, 2017,140(3):e20164274.

[7] Abdelhamid AA, Fahiem RA, Abdelmonem AA. Morphosyntactic profile of Egyptian children after 5 years of using unilateral cochlear implants[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2020,135:110134.

[8] Ha SC,Lee DK,Choi Y,et al.Long-Term Educational and Occupational Status of Prelingually Deaf Children Who Have Received a Cochlear Implant[J].Otolaryngology-Head & Neck Surgery,2024,170(1):245-251.

[9] 杨烨,高珺岩,姜耀锋,等.人工耳蜗植入儿童听觉效果的远期获益[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2023, 37(3):197-205.

[10] Mauger SJ, Warren CD, Knight MR, et al. Clinical evaluation of the Nucleus 6 cochlear implant system: performance improvements with SmartSound iQ[J].Int J Audiol,2014,53(8):564-576.

[11] Wagner TM, Wagner L, Plontke SK, et al. Enhancing Cochlear Implant Outcomes across Age Groups: The Interplay of Forward Focus and Advanced Combination Encoder Coding Strategies in Noisy Conditions [J].J Clin Med,2024,13(5):1399.

[12] Hey M, Böhnke B, Mewes A, et al. Speech comprehension across multiple CI processor generations: Scene dependent signal processing [J].Laryngoscope Investig Otolaryngol,2021,6(4):807-815.

[13] Warren ECD, Nel PJB. Controlled comparative clinical trial of hearing benefit outcomes for users of the cochlear™ nucleus(®) 7 sound processor with Mobile connectivity[J]. Cochlear Implants Int., 2019, 20 (3):116-126.

[14] Goffi-Gomez MVS, Muniz L, Wiemes G, et al. Contribution of noise reduction pre-processing and microphone directionality strategies in the speech recognition in noise in adult cochlear implant users[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol,2021,278(8):2823-2828.

[15] Mosnier I, Sterkers O, Nguyen Y, et al. Benefits in noise from sound processor upgrade in thirty-three cochlear implant users for more than 20 years[J].Eur Arch Otorhinolaryngol,2021,278(3):827-831.

[16] Shin C,Kim JY, Lee JY, et al. Speech Perception Ability and Subjective Satisfaction After Upgrade of Speech Processor in Cochlear Implantation[J].Ear Nose Throat J, 2024,9:1455613241272467.

[17] B Biever A, Gilden J, Zwolan T, et al. Upgrade to Nucleus® 6 in Previous Generation Cochlear™ Sound Processor Recipients[J]. J Am Acad Audiol,2018,29(9):802-813.

[18] Plasmans A, Rushbrooke E, Moran M, et al. A multicentre clinical evaluation of paediatric cochlear implant users upgrading to the Nucleus (®) 6 system[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol,2016,83:193-199.

[19] 薛翠萍,恽晓平,张黎明,等.工作记忆训练对脑损伤患者认知功能的迁移效应[J].中国康复医学杂志,2022,37(5):630-635.

[20] 严嘉健,王成栋,卢建亮,等.听觉识别功能对功能性构音障碍儿童词汇知识的影响[J].康复学报, 2023, 33(5):449-455.

[21] Mauger SJ, Warren CD, Knight MR, et al. Clinical evaluation of the Nucleus 6 cochlear implant system: performance improvements with SmartSound iQ[J].Int J Audiol,2014,53(8):564-576.

[22] Cristofari E, Cuda D, Martini A, et al. A Multicenter Clinical Evaluation of Data Logging in Cochlear Implant Recipients Using Automated Scene Classification Technologies[J]. Audiol Neurootol, 2017,22 (4-5):226-235.

[23] Wagner TM, Wagner L, Plontke SK, et al. Enhancing Cochlear Implant Outcomes across Age Groups: The Interplay of Forward Focus and Advanced Combination Encoder Coding Strategies in Noisy Conditions [J].J Clin Med,2024,13(5):1399-1399.

[24] Valencia DM, Rimell FL, Friedman BJ, et al. Cochlear implantation in infants less than 12 months of age [J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2008, 72 (6):767-773.

[25] 张敏,CatherineV.Palmer.听力康复中的新概念"Listening Effort"[J].中国听力语言康复科学杂志, 2015,13(6):3-3.

[26] Pichora-Fuller MK, Kramer SE, Eckert MA, et al. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL)[J].Ear Hear,2016,37 Suppl 1:5S-27S.

[27] 张敏,Catherine V.Palmer. 听配能 (listening effort) 调控研究与临床听觉康复 [J]. 中国听力语言康复科学杂志,2019, 17(1):1-8.

[28] 陈喆,刘玉和.听配能测量方法的研究现状[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2021, 19(1):39-44.

[29] Baddeley A.Working Memory: Theories, Models, and Controversies[J]. Annual Review of Psychology,2012, 63(1):1-29.

[30] Luo X,Fu QJ,Wei CG,et al.Speech recognition and temporal amplitude modulation processing by Mandarin-speaking cochlear implant users [J].Ear Hear,2008, 29(6):957-970.

[31] Moura JE, Martins JH, Alves M, et al. Children then, adults now: long-term outcomes-performance at 15, 20, and 25 years of cochlear implant use[J]. Front Rehabil Sci, 2023, 4:1275808.

[32] 杨静,何昊,张星星,等.不同工作记忆训练对认知功能及相关脑电特征的影响[J].中国心理卫生杂志,2021, 35(7):599-605.

[33] 张龙龙,陈兵.fNIRS技术用于人工耳蜗植入领域的研究进展[J].听力学及言语疾病杂志, 2024, 32(5):461-465.

[34] 宋雨,刘杨,高强,等.基于脑电多域特征融合的跨任务认知负荷研究[J].实验技术与管理, 2024, 41(2):73-80.

收稿日期 2025-04-10
修回日期 2025-07-15
录用日期 2025-07-18
责任编辑 薛　静