

doi:10.3969/j.issn.1672-4933.2010.02.017

内耳的非线性特点和助听器验配(一)

The nonlinearity of the inner ear and amplification strategies(I)

David JIANG(加拿大) 张勤修 顾晓燕

David JIANG(Canada), ZHANG Qin-xiu, GU Xiao-yan

【中图分类号】R764.5 【文献标识码】B 【文章编号】1672-4933(2010)02-0058-04

神经性听力损失能治疗吗? 这个看来像是科普性的问题,其实也是听力学家、医生以及大众最为关心的问题。从本质上看,如果患者提出这个问题,他们是希望能治疗自己的听力损失;如果是医生提出问题,便涉及对神经性听力损失的治疗和康复的认识。众所周知,就现有的医疗技术而言,至少80%以上的神经性听力损失是无法治愈的,惟有通过康复帮助患者构建或恢复交流的能力。而其中最有效的康复手段之一便是使用助听器。神经性听力损失患者能使用助听器吗?

美国著名听觉科学家Berlin早在14年前,便在其论著《毛细胞和助听器》一书里指出^[1]:“许多患者多年来被误诊为‘神经损伤’,从字面上看,这种误诊使患者无法成功地使用助听器。其实,我们现在已经能够区分毛细胞损失和主要的神经疾病的差别,并能因此为那些已经确诊为单独外毛细胞失调的患者,验配特殊的动态压缩助听器。相比之下,那些听神经病的患者却不是助听器候选者。”这段精辟论述提出的时间正好是数字助听器首次问世之际,简言之,即使传统的模拟助听器也能为神经性听力损失患者提供行之有效的康复途径。从内耳的角度来理解助听器的效应和使用,基于内耳毛细胞损伤机制来指导助听器的验配和康复。Berlin教授的著作自问世后,已经开始成为基础耳科学、助听器工程学以及康复医学汇聚的一个重要的理论框架,直接影响现代数字助听器技术的研发和临床助听器使用效果的评估,反过来,又更深刻地揭示出耳蜗生理学特征以及听觉理论的释义。

纵然听力损失有上百种原因,也可以在耳解剖和生理、组织形态、病理机制、各种耳科的实验研究结果以及不少听力损害的动物模型实验得到佐证,然而,最终却凸显出这样一个最基本也是最重要的事实:因内耳受损引起的听力损失占到80%以上,

其中100%属于感音神经性听力损失。无论是由于传染病、细菌性或病毒性感染,各种耳毒性药物,老年性退行病变,各种理化因素引起的内耳损害,还是因噪声的影响,只要损害了内耳,最终结果都是造成永久性不可逆转的听力损失。目前大量的科学研究和实验结果已经充分证明,大部分感音性神经听力损失无法通过药物或手术来恢复听力,这已是毋庸置疑的事实。大量实验研究表明,对已经发生感音神经性耳聋但仍保留一定残余听力的患者,最简单而有效的康复技术是使用助听器。正如《美国医学会杂志》^[2]研究表明,助听器的应用能给患者带来极大的好处,目前仍是80%听觉疾患的最佳康复手段。美国好听力研究所认为,使用助听器能有效康复90%~95%的听损患者^[3]。研究结果也已经证实,早期使用助听器对患者的言语、语言和学习发展均产生了决定性的影响。

因此,本期小词典将听力康复圈定在内耳范畴来介绍和讨论,这意味着笔者希望暂时将我们习惯的视窗从听力康复的大概念,转移到内耳这个小解剖位置来分析,进而关注以内耳疾病康复为主的助听器康复技术,尤其重点理解基于耳蜗毛细胞损伤机制而设计的助听器技术,比如现在广为使用的恢复受损耳蜗非正常响度增长的声音压缩放大处理策略等。而辅助中耳疾病的听觉康复技术,比如中耳助听器和骨导植入助听器等,将另文讨论。由于涉及的篇幅较长,本文主题将分成两期讨论。本期主要介绍内耳非线性特点和压缩技术的关系及其相互影响。

1 耳蜗的非线性特点

耳蜗既是人类听觉发生器官,也是听力损失易发的主要听觉部位。耳蜗对我们的最大贡献在于其自身的生理特点和处理声音的重要功能,因而成为听觉科学研究和创新的主要源泉之一。比如耳蜗对信号处理编码的方式催生出广泛应用于数字音乐播放器的MP3格式,在纳米大小之地,能储存和播

作者单位:加拿大达尔豪斯大学

作者简介:David JIANG 博士 教授;研究方向:听力学

放超过其他格式上千倍的音乐。同样,听力学家继续从耳蜗研究中获取灵感,沿循仿生学原理,不断设计出有效的听力康复器械,这已被证明是现代助听器技术发展的重要理论框架。比如基于耳蜗对声音强度的非线性处理原则,我们研制出现代助听器最重要的声音处理策略:压缩技术。基本上,从助听器工程学到助听器配方方式,从数字助听器运行算法编写到助听器效果受益评估,压缩技术正成为数字助听器的一块不可缺少的基石。理解耳蜗能助特点有助于认识压缩技术,能更有效地为内耳听力损失和其他类型的听力损失患者,选择和验配合适的助听器,达到康复目的。

在理解耳蜗的非线性特点时,必须先解释一个非常重要的术语:等响曲线,英文是loudness contours,其英文释义是“loudness level curves representing the sound pressure levels required to produce a given loudness across the frequency range for normal hearing at various phon levels.”《听力学词典(英汉双解)》^[4]将其译成“响度级曲线代表正常听力者频率范围内,不同频率产生某一响度的声压级,不同方级有不同的响度级曲线。”等响曲线是从心理声学角度,来观察耳蜗对不同强度和频率刺激声的敏感度,一般讲,在中等强度下,人类耳蜗对低频声音的敏感度比高频差,但是,在高强度时,这种频率差异却变得并不明显。等响曲线这个概念可以解释人类对不同声音有不同反应的特点,比如在低强度下,我们常常不能正常地感受到低频的声音强度,但是对高频声音却非常敏感。在安静的房间里,空调的声音远不如远处鸟鸣的声音明显。等响曲线的概念用在对人类听力的保护上,便有不同的计权曲线,也称为计权网络,譬如我们常用A计权曲线来计量噪音对耳蜗的影响等^[5]。

显然,等响曲线揭示出内耳的非线性特点,众所周知,耳蜗的内、外两种毛细胞功能完全不同,外毛细胞能帮助我们感受弱声,但是更容易受到损伤,比如受噪音和耳毒性药物等影响。从声音处理功能来看,内、外毛细胞分别起到不同的作用。一般讲,外毛细胞将声音放大,而内毛细胞将声音刺激信号传送到听神经,然后再传入到中枢听觉系统。当外毛细胞受损,基底膜对弱声的振动幅度降低,同时频率分辨能力也受影响,能产生高达60 dB HL的听力损失,导致在噪音环境里理解言语的困难。这时,正常的动态听力范围可能会缩小60 dB,同时出现重振现象^[6]。

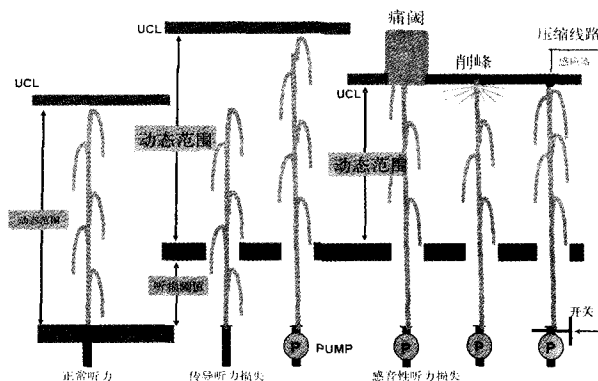


图1 不同听力状况和动态范围的关系

因此,为了让患者能舒适地感受声音响度变化,要求助听器须将跨度100 dB的声音缩小到40 dB之内,而不损失其中的信息,这个处理过程便是压缩线路。图1分别将正常听力、传导性听力损失和感音神经性听力损失的动态范围列出,其下限为个体的听阈,上限为最大不适阈。注意不同的技术如何处理超过上限的声音。

2 助听器压缩技术

压缩技术是目前使用最为广泛的术语,其英文是“compression”,有不同的英文释义,和本文相关的解释是“in hearing aid circuitry, nonlinear amplifier gain used either to limit maximum output (compression limiting) or to match amplifier gain to an individual's loudness growth (dynamic-range compression)”。根据《听力学词典(英汉双解)》,可译成“在助听器电路中,用限制最大输出(限幅压缩)或使放大器增益与个体响度增长相匹配(动态范围压缩)的非线性放大器增益。”

根据上述定义,笔者认为至少有3个要点需要理解:其一是按非线性增长原理来放大不同的输入声音,希望控制对输入声音的放大,可以将输入和输出比例调大,反之可以调小,这是压缩线路的物理特征;其二是压缩技术的应用的目的是为了满足患者不同听力损失的特点和放大的需求,这是压缩线路的听力学特征;其三是压缩线路主要用于调剂患者动态范围的响度增长,让患者感到轻声的清晰和强声的舒适,直接模仿了人类耳蜗对不同声音响度增长表现出的具有频率特性的处理,这是压缩线路的生理特征。图2表示正常和非正常响度增长的关系。

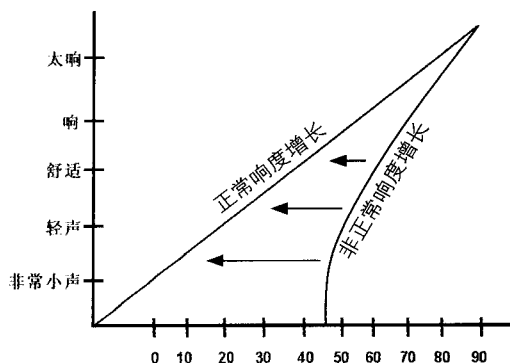


图2 正常和非正常响度增长的关系,注意非正常响度的陡增的曲线

压缩技术至少有50年的历史,广泛应用在助听器上也有15年之久,如果加上模拟助听器使用的K-amp 线路,其历史则更长。可以说,助听器压缩技术能从根本上解决感音神经性听力受损患者的重振问题,能让患者在不同噪音环境下,更舒适地使用助听器。通过压缩技术,人们可根据自己的喜好,调节不同强度的输入声音的放大,以使轻微细小的声音得到合适放大,保证使用者听清楚说话声,也可将那些突发强噪音调节到更小,避免听觉不舒适的发生。

另一点帮助我们理解耳蜗非线性压缩技术关系的是声音强度对言语理解能力的影响。正常人在噪音环境下,为了能听懂言语声,要求言语信号和噪音强度必须呈一定比例关系,这就是常说的信噪比(SNR)。当信噪比为0时,信号和噪音强度对等,听力正常人的言语可懂度能达到50%,即能听懂一半的信息,另一半被噪音掩盖掉。但是,感音神经性听力损失患者在同样情况下,由于耳蜗毛细胞的损害,使之往往需要增加5~7.5 dB的声音强度才能达到理解言语50%的水平。一般讲,每增加5~7.5 dB,患者在噪音下对言语的理解能力能提高10%左右,而耳蜗的损害大大缩小了患者的动态听觉范围,因此,需要压缩技术来帮助听障患者恢复受损的响度增长,使之能清楚听到和听懂微弱的言语声;同样,合理使用压缩线路减少强声的输入能使外毛细胞受损患者听声音感觉更舒适且不失真。

内耳听觉科学告诉我们,一旦听力损失超过70 dB HL,便会殃及内毛细胞。这时,机械振动转化成神经活动的效率降低,听觉的敏感度也降低,而在基底膜某些部位甚至无信息传递,出现所谓的耳蜗

坏死区域(cochlear dead region)。Killion用听力图生动地描述了耳蜗坏死区域和内毛细胞听觉敏感度和可懂度的关系^[1]。图3中的黑点表示如果放大能听到声音的区域,强度在60 dB,而白色的小圈则代表损坏的内毛细胞,已经超过60 dB,表明即使能听见声音,但是可能听不清楚,这是内毛细胞受损后表现出的重要临床听力学特征。

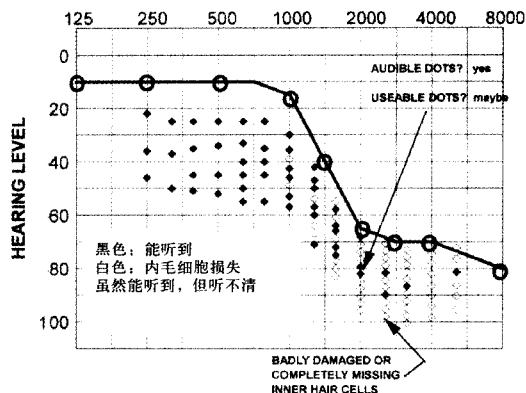


图3 耳蜗坏死区域和内毛细胞的损伤

压缩技术能够降低输入声音信号的动态范围,包括环境噪音,让目标信号能完整地放大到听障者的残余动态范围之内。同时,为了提高对言语的可听度,弱声的放大应比强声得到更多的补偿。压缩技术的核心是压缩器,即能根据输入的声音信号,自动调整其增益的放大器。目前压缩技术已经非常成熟,广泛用于数字助听器。只需根据不同压缩参数,便能有效地调整信号动态范围的增益,满足每一种助听器配方公式对不同输入处理的要求,达到更好地匹配听障患者的动态听力范围。压缩技术还可用于对某频率增益控制后,对环境噪音进行一定抑制、压缩和削减,这样可以提高信噪比和可懂度。而增益下降和削弱,又能保证聆听舒适度,还可把部分不需要的噪音去掉,使助听器发挥更大的作用。

Killion根据基底膜的位移数据,从压缩线路的角度,比较了外毛细胞和宽频动态压缩线路的主要压缩特征(见表1)。有趣的是,耳蜗的非线性特点和助听器压缩线路具有惊人的相似之处,唯一不同的是耳蜗的耗电量比助听器压缩器节省近4.6倍,说明耳蜗作为“压缩器”的效率可能更高^[1]。

表1 外毛细胞的压缩特征

压缩特征	外毛细胞	宽频动态压缩
压缩拐点下限	35 dB	40 dB
压缩拐点上限	85 dB	90 dB
压缩比	2.3:1	2.1:1
轻声放大增益	20~50 dB	25 dB
耗电量	50 μ Watts	230 μ Watts

收稿日期 2010-01-30

责任编辑 李 原

的放大效果。■

综上所述,耳蜗的内、外毛细胞损失特点不同,对听力的影响也不同,同时决定了助听器放大策略不同,因此要求使用不同的压缩线路来放大声音,从内耳科学的角度来理解这个特点,正是成功验配助听器的关键之处。

下期听力学小词典将根据耳蜗非线性特点,进一步详细介绍压缩技术不同参数的应用,并将根据这些生理和技术特点,重点分析使用压缩技术来为不同类型的听力损失患者验配助听器,以达到最佳

参考文献

- [1] Berlin C. Hair Cells and Hearing Aids. San Diego: Singular Publishing, 1996. 99.
- [2] Davis J, Hardick EJ. Rehabilitative Audiology for Children and Adults. New York: John Wiley & Sons, 1981. 4.
- [3] 蒋涛. 国外听力康复现状和新进展. 听力学及言语疾病杂志, 2009, 17(4): 389-391.
- [4] 吴展元, 蒋涛, 杨强. 听力学英汉双解词典. 北京: 中国科学技术出版社, 2005. 75, 188.
- [5] 王坚, 蒋涛, 曾凡刚. 听觉科学概论. 北京: 中国科学技术出版, 2005.
- [6] 丁大连, 蒋涛, 等. 内耳科学. 北京: 中国科学技术出版社, 2010.

中国聋儿康复研究中心招聘启事

中国聋儿康复研究中心是中国残联直属事业单位,是一所集聋儿康复、医疗、科研为一体的国家级康复研究机构,是全国听力语言康复领域的技术资源中心和业务指导、行业管理部门。根据业务发展需要,2010年拟招聘以下人员:1、放射诊断大夫1人:医学影像专业,本科以上学历,一年以上工作经历,具有全国大型医疗设备上岗证书,具备全国放射技师资格。2、言语矫治人员1人:医学、言语科学及教育学专业;嗓音医学、艺术嗓音专业,硕士以上学历,具有执业医师证书。3、听力师1人(男性):听力学专业、耳鼻咽喉科专业,博士、硕士学历。4、病案管理、咨询导诊人员1人:护理专业,大专以上学历,具有执业护士证书。5、学前教育专业教师1-2人:学前教育专业,硕士以上学历,有扎实的理论基础,能进行日常教学外,还应具备教研能力。6、康复教师2-3人:听觉言语康复专业,大专、本科学历。7、教育培训处1人(男性):汉语言文学、听力康复、教育媒介专业,硕士以上学历,掌握课程设计理论知识。8、科研处实验室1人(男性):医疗、信息工程、医学工程专业,硕士以上学历,掌握言语感知特征及神经生理机制研究基本理论,熟悉ERP和眼动仪操作,有研究经验,熟悉本领域研究队伍及人员。有国际合作经验者优先。9、医务管理1人(男性):医学管理专业,本科以上学历,有医院医务处工作经验,较强责任心、良好沟通能力和组织能力。10、人力资源管理1人(男性):人力资源管理专业,党员,本科以上学历,学生干部优先,应届毕业生或有工作经历。11、财务处会计1人(男性):财会专业,本科以上学历,二年以上事业、企业财会工作经历,具备会计师资格。12、网络工程师1人(男性):计算机专业,本科以上学历,熟练掌握网站系统的技术维护与管理。13、综合维修岗1人(男性):掌握水、电、管线、泥瓦木工维修技术,2年以上工作经历,40岁以下,具有电工上岗证书。“中心”将根据国家有关规定执行工资待遇。应聘人员请通过电子邮件或邮寄方式将个人简历、学历、学位及相关职业资格证书复印件等材料提交到“中心”组织人事处。单位地址:北京市朝阳区惠新里甲8号,邮政编码:100029。联系人:赵蕾、付洪涛,联系电话:(010)84638505(传真), (010)84642981, 电子信箱:lezx_rsc@cdpf.org.cn。