

doi:10.3969/j.issn.1672-4933.2013.03.009

# 助听器验配公式的研发进展\*

Research Progress in the Hearing Aid-Prescriptive Formula

■桑晋秋 综述 于丽玫\*\* 审核

SANG Jin-qiu, YU Li-mei

在过去的30年里,随着助听器技术的不断更新换代,越来越多的研究开始致力于增强听障人士的语音感知效果。由于听障患者在听力损失性质、类型和听力曲线特征等多方面存在差异,如何就不同声强、不同频率点设置目标增益是助听器验配公式要解决的一个问题。助听器验配通常包括根据验配公式预选目标增益和由验配师微调增益。若做到对证选择验配公式,可以直接减少微调工作量,提高验配效率。现阶段,我国的助听器验配公式均从国外引进,种类较多且差别较大。这给助听器验配师选择验配公式增加了难度。目前我国很多验配师在验配时常选择助听器产品默认的验配公式,对各种助听器验配公式知其名而不知其意。本文将介绍助听器验配公式的基本分类、设计理念、研发历程、效果评估及其对我国听障人士的意义,以期为助听器验配人员提供借鉴和参考。

## 1 助听器验配公式的基本分类

助听器验配公式可分为线性和非线性验配公式。线性验配公式是指在输入声压饱和前增益值固定,平均增益和频响曲线不随输入级的变化而变化。非线性验配公式可以看成是对几个输入级的特定增益-频率响应,平均增益和频响曲线两者均随输入级的不同而变化。目前最新的助听器都采用非线性验配公式,以适应助听器宽动态范围压缩技术的要求,但是这并不代表线性验配公式被完全摒弃。有研究认为线性验配公式适用于平均言语声压级(60 dB SPL左右),非线性验配公式可以作为线性公式的扩展,即在平均言语声压级时采用线性验配公式的增益,在其他声压级时适当调整目标增益<sup>[1]</sup>。

非线性验配公式有两类。一类是由助听器厂家根据产品的特点设计的验配公式。这类公式大都凭经验设计,缺乏严谨的理论指导,助听器验配师难

以了解这些验配公式的设计理念或特点,很可能会因为使用了产品的默认公式而无法达到助听效果最大化。另一类广泛应用于各类助听器产品的验配公式是听力学研究人员基于听觉感知理论和科学实验研发的。他们大都是通过听障者感知实验推出理论模型,根据听障者的助听需求设计验配公式,再通过科学实验或临床验配检验并修正验配公式。

## 2 设计理念

响度补偿一直是助听器验配公式研究的热点。而目前关于“响度正常化”和“响度均衡”学界存在争议。响度正常化指听障者配戴助听器时对各频段语音响度的感知与正常听力人士一致。这里就涉及到对听障者、正常听力人士的等响曲线和响度随声强增长曲线的研究。在响度正常化理念指导下设计的验配公式有LGOB公式<sup>[2]</sup>、IHAF公式<sup>[3]</sup>、RAB公式<sup>[4]</sup>、ScalAdapt公式<sup>[5]</sup>、FIG6公式<sup>[6]</sup>。但有研究认为窄带声音信号的响度正常化并不一定能使宽频带言语声响度合适,听障人士感知宽频带言语声的响度必须从整体上进行考虑,而不是单频带响度的线性叠加。响度均衡是指听障人士配戴助听器后感知的宽频带言语声的整体响度接近听力正常人士感知的响度。响度均衡原则下设计的验配公式有NAL-NL1公式<sup>[1]</sup>、NAL-NL2公式<sup>[7]</sup>和剑桥的Brian Moore教授提出的公式<sup>[8]</sup>。

澳大利亚NAL实验室指出,优化言语可懂度是助听器验配公式需要考虑的目标。他们在NAL-NL1和NAL-NL2公式中分别引入改进言语可懂度的客观计算模型。这两个公式都是在优化响度的基础上进一步提高言语可懂度。

## 3 验配公式的研发历程

### 3.1 早期的验配公式

最早的验配公式由Knudsen和Jones于1935年

\*基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAI34B03)

作者单位:中国聋儿康复研究中心 北京 100029

作者简介:桑晋秋 博士,研究方向:听力学中信号处理策略技术研发,助听技术及设备的言语感知效果评估

\*\*通讯作者:于丽玫, E-mail:limeiyu@vip.sina.com

提出,被称为“镜像公式”<sup>[9]</sup>。不少听障者尤其是感音神经性聋患者无法忍受经该公式验配后的强声输入。不久Watson和Knudsen于1940年提出了“选择性放大”的理念<sup>[10]</sup>。该理念建议在各语音频段设置的增益要与听障者最舒适的等响曲线匹配,在临床实验中没有表现出显著的言语识别优势。

Lybarger于1944年提出“半增益规则”<sup>[11]</sup>。“半增益规则”建议各频率点增益的补偿值设为各频率点听阈的一半。采用半增益规则配戴助听器后听障患者在听觉响度方面的感受比用镜像公式更为舒适,而且半增益规则被作为很多新的验配公式的基础。目前的临床验配中,验配师有时在半增益规则和目标增益的基础上进行调试。

1946~1976年之间,助听器验配公式处于被忽视的状态,验配师更注重经验调节方法。

但是在1976年之后,又兴起了新的助听器验配公式研究热潮。这与数字助听器的自适应技术不断改进和测试助听器特性的新技术的出现有关(比如Zwisloci声学耦合腔和Knowles公司的人工头)。助听器验配公式开始不断更新,出现了NAL系列验配公式和DSL验配公式等。

### 3.2 NAL系列验配公式

该系列公式是由澳大利亚国家声学实验室(National Acoustic Laboratory)经过几十年的研究验证不断改进的系列公式,先后有NAL<sup>[12]</sup>、NAL-R<sup>[13]</sup>、NAL-RP<sup>[14]</sup>、NAL-NL1<sup>[11]</sup>、NAL-NL2<sup>[7]</sup>等公式。NAL系列公式的目标是在满足听障者聆听舒适度的同时提高言语可懂度。NAL、NAL-R、NAL-RP是线性验配公式。NAL-NL1和NAL-NL2是非线性验配公式。NAL系列公式均遵循响度均衡原则。

NAL-NL1设计的目标是使听障者感知的响度接近听力正常人士感知的响度,同时言语可懂度尽可能优化。NAL-NL1的另一特色是在提高言语可懂度时采用可输入听力损失参数的言语可懂度计算模型。NAL-NL1被推广应用后,通过大量实验检验,给公式的进一步修正提供了依据,由此推出了NAL-NL2非线性验配公式<sup>[7]</sup>。与NAL-NL1相比,NAL-NL2改进了言语可懂度模型,以进一步提高言语可懂度。该公式还提出了提高粤语言语可懂度的方案,但还没有提高汉语普通话可懂度的方案。目前还没有人对NAL-NL2用于声调语言使用者的效果进行过主观评估,这方面的研究值得深入展开。

### 3.3 DSL公式

DSL公式是由加拿大国家听力学中心推出的系列验配公式,包括DSL v3.0、v4.0、v4.1、v5.0等不同版本<sup>[15]</sup>。在设计初期就紧密结合聆听舒适度和听障儿童的言语识别能力进行研发。DSL方法广泛应用于儿童。听障新生儿由于难以与人交流,需要有效客观的验配方式来适应其放大言语声的需要。这对验配公式提出了较高要求,也使验配公式不断接受着临床实践的检验和修正。DSL公式主要遵循响度正常化的原则。最新的DSL算法不仅应用于儿童,也可应用于成人。

### 3.4 POGO公式

POGO公式由McCandless和Lyregaard于1983年研发<sup>[16]</sup>。它是在半增益规则的基础上进一步减少低频段的增益,提高高频段的增益。这样有利于增强高频段对言语可懂度的贡献,并减小低频段高输出的“向上掩蔽扩展(upward spread of masking)”效应。POGO仅用于感音神经性聋患者的助听器验配,并没有针对传导性聋的补偿策略。

### 3.5 FIG6公式

FIG6公式的原理与DSL公式类似,采用响度正常化原则,针对不同频率、不同输入声压级,使助听器的输出在配戴者中产生的响度尽可能与听力正常者一致<sup>[6]</sup>。它不是以个体的响度测试为基础,而是以一个大量样本且具有相近听力损失人群的平均响度数据作为依据,根据听阈来计算增益。对于低、中、高强度的声音均有不同的目标增益。

## 4 助听器验配公式的效果评估

助听器验配公式的效果主要通过主观测试来评估。目前国际上对助听器验配公式的评估主要针对舒适度、言语可懂度以及配戴助听器后生活质量改善等方面。国内目前对助听器验配公式效果评估的研究较少,少数文章对验配公式的增益做过系统比较<sup>[17~18]</sup>。我国很多验配师在选择验配公式时缺乏理论指导,造成了助听器验配的盲目性。

### 4.1 声品质

声品质包括很多维度,比如响度(loudness)、舒适度(comfort)、愉悦度(pleasantness)、清晰度(clarity)等。在测试中一般采用成对对比法(paired comparison)。评估时给受试者使用不同的公式,并请受试者评价哪种公式补偿后的声音更舒适或更愉悦。选择的声音主要是安静环境下的言语声和噪声背景下的言语声。

Byrne和Cotton<sup>[14]</sup>通过主观测试发现对于大多数听障者,采用NAL-NL1公式进行助听器验配后比其他公式有更好的舒适度,尽管对于个别听障者NAL-NL1公式仍需要调整。

由于声品质评价的主观性很强,因此,即使受试者倾向于某种验配公式的声品质也要慎重分析是否有其它因素的干扰。在助听器验配时,声品质的偏好往往受先入为主的影响。比如,Mueller等人做过一个实验,验配采用整体音量可调的助听器<sup>[19]</sup>,对两组被试都采用NAL-NL1公式,但初始验配时对A组人的整体音量提高6 dB,对B组人的整体音量降低6 dB。各组都配戴助听器两周,并自我调节音量以达到自我认可的最舒适度。试验完成后,两组人都参与了问卷调查。测试结果表明,两组人对音量的偏好都明显不同于NAL-NL1设置的音量,而且A组对音量的偏好比B组要高约9 dB。这就说明听障者对声品质的适应性很强。问卷调查结果表明,初始音量偏低的B组对响度有更恰当的评价和更高的满意度。这说明为满足听障患者感受声音的舒适度,公式验配的整体响度不需要太高。

#### 4.2 言语的可懂度

言语可懂度是指能听懂多少言语,即言语的正确识别率。本文中言语可懂度与清晰度不同,清晰度是受试者对言语的感受,可懂度是受试者参与言语测试时实际正确判断言语的百分比。很多助听器使用者在嘈杂声环境下不能听懂言语,不能正常交流,于是放弃使用助听器。言语可懂度成为助听器效果评估的重要维度。但是在评估助听器验配公式对言语可懂度的影响时,选择的测试条件值得注意。先进的助听器目前都包含降噪模块,验配公式本身不需要处理极大的噪声,因而在评估验配公式对言语可懂度的影响时不需要用噪声干扰过大的言语,只需用相对安静环境下的言语。

Keidser和Grant<sup>[20]</sup>通过对22名听障者进行测试比较了IHAF和NAL-NL1对言语可懂度的影响。研究发现NAL-NL1在低频噪声背景下比IHAF的可懂度明显要高。但是这样的研究并不说明NAL-NL1在可懂度方面完胜IHAF。因为NAL-NL1在低频的增益较小,因而放大低频噪声的可能性相对低,减少了低频噪声的干扰。全面评估验配公式对噪声环境下言语可懂度的影响,就需要用多种形式的噪声来评估,比如言语谱噪声、白噪声、粉红噪声、多人说话噪声等。Rankovic研究发现针对不同的噪声环境需要用不同的验配公式

以优化言语可懂度<sup>[21]</sup>。智能的验配公式必须能自动及时判断环境噪声以自动切换目标增益。当然目前还没有这样的智能验配公式。

#### 4.3 生活质量调查

听力障碍对听障者及其家属的生活质量有较大影响。因此助听器验配不能局限于补偿听力障碍,还要关注其是否能改善生活质量。生活质量的评估主要通过问卷调查进行。目前采用的问卷主要有听力相关生活质量调查和健康相关生活质量调查等。Stark和Hickson<sup>[22]</sup>对93位听障患者和78位听障患者家属在患者验配助听器前和使用助听器3个月后进行问卷调查,发现配戴助听器能够显著改善他们的生活质量。但是目前关于何种验配公式指导下的助听器验配能更好改善生活质量的研究还很少。值得注意的是,让听障者在每一次康复疗程中接受同一个听力康复师的治疗是保持持续听力关怀的好方法。当然这就涉及到听力康复专业服务队伍的壮大和服务质量的改善。

#### 4.4 助听器验配师的微调工作量

有研究分析验配公式与实际临床验配的误差,即验配师调试的工作量,以便对验配公式进一步修正,减轻验配师的调试工作量。Keidser和Dillon于2006年<sup>[23]</sup>对NAL-NL1验配公式与实际临床验配的增益误差做了统计分析,发现在使用NAL-NL1公式为重度耳聋患者验配助听器时与实际验配的误差最小。实际临床验配是采用NAL-NL1公式后再由经验丰富、技术规范的验配师进行微调。由于目前我国助听器验配师平均水平较低,该类评估目前很难在我国开展。

### 5 助听器验配公式研究对我国听障人士的意义

助听器在我国需求量大,普及程度低。据第二次全国残疾人抽样调查数据推算,我国已有2780万听力障碍者,而听力障碍者中的助听器配戴率很低,很多人使用助听器时觉得吵、不舒服,不愿意配戴助听器。实际上,助听器的使用效果不仅取决于助听器的质量,更取决于验配技术。我国的助听器验配技术还处于经验型、专家型的阶段,但是专家服务的覆盖面毕竟有限。我国听力学专业人员数量少,助听器验配师大都只经过短期培训,验配技术水平低。这也造成了目前我国发达城市助听器验配服务水平较高,而基层尤其是很多偏远地区助听器验配服务水平很低的局面。“十二五”期间,我国拟投入7500万经费开展助听器的免费发放项目,预计

免费发放5万台助听器。如果基层验配服务水平不能提高,助听器即使发放面扩大也会出现配而不戴的情况。在这样的形势下,如何规范提高基层验配服务水平至关重要。但是目前很难在短时间内快速提高助听器验配师的技术水平,助听器验配公式的合理选择有利于提高基层助听器验配师的服务水平。如何把专家的经验 and 言语听觉感知模型浓缩成规律性的适合汉语语言的助听器验配公式值得深入研究。

目前我国广泛应用的助听器验配公式均起源于西方国家,适合西方国家非声调语言的验配公式并不一定适合普通话这一声调语言。如果我国听力学人能够从被动地使用国外助听器验配公式转为主动开发并不断修正适合普通话言语的助听器验配公式,将有利于提高助听器使用者的普通话言语可懂度,改善其日常言语交流能力,提高我国听障者的生活质量。在开发评估适合汉语的验配公式时需要进行合适的汉语言语测试材料、汉语可懂度模型研究和适合我国听障者的听觉感知模型研究,需要将听力学、信号处理技术、语言学、康复医学等多学科知识技能结合起来。■

收稿日期 2013-03-24  
责任编辑 魏佩芳

#### 参考文献

- [1] Byrne D, Dillon H, Ching T, et al. NAL-NL1 procedure for fitting nonlinear hearing aids: Characteristics and comparisons with other procedures. *J Am Acad Audiol*, 2001, 12: 37-51.
- [2] Allen J, Hall J, Peng P. Loudness growth in 1/2 octave bands (LGOB)—a procedure for assessment of loudness. *J Acoust Soc Am*, 1990, 88: 745-753.
- [3] Cox R. Using loudness data for hearing aid selection: the IHAFF approach. *Hearing Journal*, 1995, 48: 10-44.
- [4] Ricketts T. Fitting hearing aids to individual loudness perception measures. *Ear & Hearing*, 1996, 17: 124-132.
- [5] Kiessling J, Schubert M, Archut A. Adaptive fitting of hearing instruments by category loudness scaling (ScalAdapt). *Scand Audiol*, 1996, 25: 153-160.
- [6] Killion M, Fikret-Pasa S. The 2 types of sensorineural hearing loss: loudness and intelligibility considerations. *Hearing Journal*, 1993, 46: 31-34.
- [7] Dillon H, Keidser G, Ching T, et al. The NAL-NL2 prescription procedure. *Phonak Focus*, 2009, 1-8.
- [8] Moore B. Development and evaluation of a procedure for fitting multichannel compression hearing aids. *British Journal of Audiology*, 1998, 32: 177-195.
- [9] Knudsen V, Jones I. Artificial aids to hearing. *Laryngoscope*, 1935, 45: 48-69.
- [10] Watson N, Knudsen V. Selective amplification in hearing aids. *J Acoust Soc Am*, 1940, 11: 406-419.
- [11] Lybarger. U.S. Patent Application SN 543,278. 1944.
- [12] Byrne D. Evaluation of hearing aid fittings for infants. *Brit J Audiol*, 1974, 8: 47-54.
- [13] Byrne D, Dillon H. The National Acoustic Laboratories' (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. *Ear & Hearing*, 1986, 7: 257-265.
- [14] Byrne D, Cotton S. Evaluation of the National Acoustic Laboratories' new hearing aid selection procedure. *J Speech Hear Res*, 1988, 31: 178-186.
- [15] Seewald R, Moodie S, Scollie S, et al. The DSL method for pediatric hearing instrument fitting: historical perspective and current issues. *Trends Amplif*, 2005, 9(4): 145-157.
- [16] McCandless G, Lyregaard P. Prescription of gain/output (POGO) for hearing aids. *Hear Instr*, 1983, 34: 16-21.
- [17] 李炬, 陈振声, 胡哥. 真耳介入增益法在聋儿助听器验配中的应用. *中华耳鼻咽喉头颈外科*, 2000, 7: 67-69.
- [18] 李炬, 胡哥, 陈振声. 三个预选公式在聋儿助听器验配中的效果评价. *听力学及言语疾病杂志*, 1999, 7: 92-94.
- [19] Mueller H. Fitting hearing aids to adults using prescriptive methods: an evidence-based review of effectiveness. *J Am Acad Audiol*, 2005, 16: 448-460.
- [20] Keidser G, Grant F. Comparing loudness normalization (IHAFF) with speech intelligibility maximization (NAL-NL1) when implemented in a two-channel device. *Ear & Hearing*, 2001, 22: 501-515.
- [21] Rankovic C. Derivation of frequency-gain characteristics for maximizing speech reception in noise. *Journal of Speech and Hearing Research*, 1995, 38: 913-929.
- [22] Stark P, Hickson L. Outcomes of hearing aid fitting for older people with hearing impairment and their significant others. *Int J Audiol*, 2004, 43: 390-398.
- [23] Keidser G, Dillon H. What's new in prescriptive fitting Down Under? Switzerland: Phonak AG, 2006.

#### 郑重声明

近来发现,有些网站发布代期刊组稿、帮助作者发表文章的信息,并借此套取审稿费、版面费,误导了许多作者及读者,导致部分作者的文章不能正常投稿及发表。因此,本刊郑重声明,本刊从未委托任何个人或机构代为组稿、征稿,敬请广大作者及读者谨防上当受骗。