

• 技术与方法 •

一种新的频率降低技术——声频移转

黄运甜¹△ 段吉茸¹

DOI:10.3969/j.issn.1006-7299.2015.045.021

网络出版时间:2015-3-3 14:40

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/42.1391.R.20150303.1440.037.html>

【中图分类号】R764.5 【文献标识码】A 【文章编号】1006-7299(2015)05-0534-03

助听器高频信号的放大存在一定局限性,原因如下:①由于响度过大和/或音质失真造成患者的不舒适;②即使可听度有一定程度的提升,患者的频率分辨率依然无法恢复;③增益不足;④声反馈。这些局限会导致高频增益补偿无效,甚至在某些情况下还有害^[1,2]。其实,在助听器带宽与频谱信息方面,无论是传统的高频放大还是频率降低(frequency lowering, FL)技术都存在局限性;此外,频率降低技术需要助听器佩戴者适应新的频谱特征^[3~6]。为了降低 FL 技术带来的副作用,一种新的频率压缩方法,即声频移转诞生了,该方法是结合目标增益与幅度压缩策略而提供给助听器放大,在一定程度上能恢复患者听力损失前的频谱特征。必须仔细权衡频率降低策略的优势与劣势之后才能为助听器用户寻求到最大获益度。过弱的频率压缩并不会给言语识别带来任何真正的益处,而过强的频率压缩会导致言语可懂度(speech intelligibility, SI)和音质的衰减。全新的声频移转的候选人群与最佳参数的确定充分考虑了多种因素。

1 声频移转的工作原理

声频移转属于一种新的非线性频率压缩策略,该算法不影响频谱的低频部分,因为 1 500 Hz 以下的低频言语信息(如基频)对言语理解非常重要,改变这类信息将大幅降低患者的言语可懂度与音质。

用来描述声频移转的三个参数分别是:① $F_{小}$:代表需要被压缩的目标高频区域的最低频率与压缩后的最低频率;② $F_{大}$:压缩区域的最高频率,实际上 $F_{大}$ 会落入或接近患者最高的可听频率;③ $F_{终}$:助听器信号带宽的最高频率(图 1)。 $F_{小}$ 最低可至 1 500 Hz; $F_{小}$ 至 $F_{终}$ 之间的频谱被非线性压缩至更窄的频率范围内;固定 $F_{小}$,向 $F_{小}$ 方向降低 $F_{大}$ (远离 $F_{终}$)将会增加频率压缩的力度。

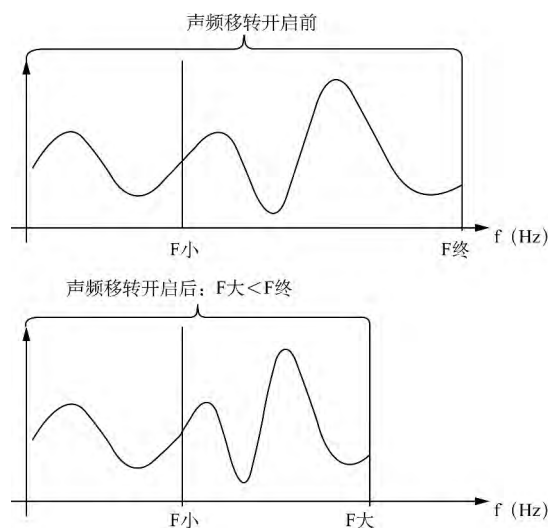


图 1 非线性频率压缩简化策略 上图: $F_{小}$ 至 $F_{终}$:被压缩的高频区域;下图:频率压缩区域; $F_{终}$ 已挪至 $F_{大}$

研究显示,参数的正确选择与实施^[3,6,7]很大程度上决定了频率压缩的 SI 获益度。但验配师准确选择最适合的参数有一定困难,所以,一个简单有效的办法是选择强度最弱的频率压缩策略,即最轻的参数设置。这种方法虽然限制了助听器的高频输出,却可以降低声反馈与声失真,弥补传统助听器信号带宽降低的缺点。这是以前频率压缩的默认方法。

2 声频移转的激活原则

在判断助听器选配者是否是声频移转的适用人群时要考虑患者的听力损失与处方公式的目标增益,二者共同决定患者的最高可听频率。助听器调试软件会根据最高可听频率与所选的声学耦合参数(助听器的声管、耳塞、通气孔等)确定最终是否激活该功能。所以,声频移转的激活与否取决于患者的听力图、选配公式以及声学耦合效果。声频移转激活情况如下:①对于可以从传统高频放大中获益的患者,软件默认关闭声频移转功能,为患者提供完整的听觉刺激并保留真实生活声音间的细微差别;②对于声频移转更有效的患者,软件默认激活声频移转功能,最大程度保证患者听到中高频的辅音以

1 西万拓听力技术(苏州)有限公司(苏州 215021)

通讯作者:黄运甜(Email:alps85918@sina.com)

△现在在尔听美医疗器械(上海)有限公司工作

及环境声音,为其提供最佳言语理解度。

3 确定最佳的声频移转参数

确定声频移转的最佳参数前需了解以下几点:

3.1 $F_{小}$ 的选择 ① $F_{小}$ 规定了要压缩的目标高频区域的低频边界(高频边界由 $F_{大}$ 确定)。尽可能保留未受影响的低频信号,可最大程度地保留低频言语特征,而低频决定音色及音质,且包含大部分音节的第一共振峰,可保留自然声重要的韵律学特征。所以,如果 $F_{小}$ 设置过低,就会过多压缩重要的言语特征,从而严重影响音质。② $F_{小}$ 还规定了压缩后区域的低频边界,如果 $F_{小}$ 设置过高,易出现压缩信号仍无法听到和/或中高频辅音分辨率下降的可能。

3.2 $F_{大}$ 的选择 $F_{大}$ 规定了压缩区域的高频边界,即最高可听频率。若 $F_{大}$ 设置过高,存在压缩信息落入高频区域后仍不可听的可能,该区域可能存在耳蜗死区,目标增益过高导致声音失真;若 $F_{大}$ 设置过低(固定 $F_{小}$),压缩可能太强,也会出现中高频辅音分辨率下降的可能。

3.3 压缩强度的设置 压缩强度取决于 $F_{小}$ 与 $F_{大}$ 的频率差,二者差值越小压缩越强。对于相同的 $F_{小}$, $F_{大}$ 越低,压缩强度越强; $F_{大}$ 越高,压缩强度越弱。若压缩过弱,可能导致处理后的中高频信号仍未落入听障人士的可听区域,SI 获益度为零;若压缩过强,由于原始信号受到损坏,频谱信息大幅衰减导致音质下降,SI 获益度依然为零。

3.4 声频移转的参数设置 声频移转策略是为了获得 SI 与音质间的最佳平衡。其设置如下:①依据听力损失与增益公式计算出最高可听频率;②根据听力图算出耳蜗死区的可能性;③根据助听器通道数确定言语线索的位置:对于给定输入信号,应保留/s/与/sh/的最小可听差别^[8]及元音/i/与/e/的平均第二共振峰与第三共振峰。

4 声频移转特点与临床助听器选配验证

为了评估声频移转技术是否可以帮助高频听力损失患者重新获得言语可懂度与音质间的最佳平衡,德国一项研究比较了 17 例受试者使用三种不同的声频移转选配方案即设置 1、设置 2 和设置 3 的效果。

设置 1:首先选择 NAL-NL2 为验配公式,计算得出各声强的频响曲线;然后进行均衡噪声阈值(threshold equalizing noise, TEN)测试^[8],确定是否存在耳蜗死区,若存在耳蜗死区,激活声频移转功能;若耳蜗死区的最高可听频率(边缘频率)小于 $F_{大}$,将 $F_{大}$ 调整为最高可听频率;调整 $F_{大}$ 与 $F_{小}$,确保/s/与/sh/、/i/与/e/的高频共振峰的分配分别处于不同的通道;设置 1 旨在最大程度提升言语的可

听度;设置 2:将设置 1 中 $F_{大}$ 与 $F_{小}$ 分别调高一个倍频程,设置 2 保留了更多原始的低频信号,旨在提高音质;设置 3:关闭声频移转功能。

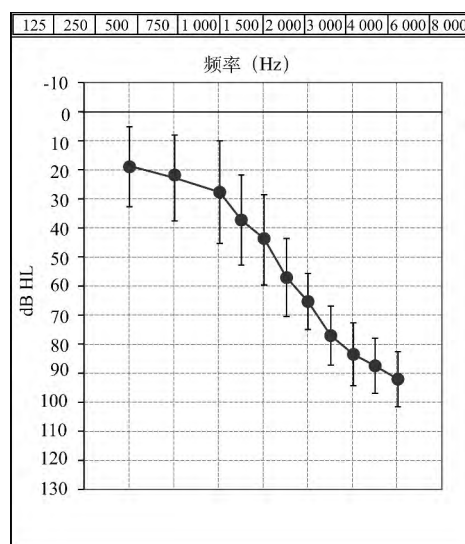


图 2 平均听力损失曲线

17 例受试者平均年龄 69 岁,均为助听器配戴者,平均听力损失曲线如图 2 所示;全部受试者依次进行了 TEN 测试、言语训练、使用三种设置的声音接受度调查问卷、安静环境下言语测试以及噪声环境下言语测试^[9]。结果显示,最高可听频率($F_{大}$)是最关键的参数,与患者听力图和处方公式增益值有关; $F_{小}$ 决定了未压缩的言语低频成分的保留程度。

噪声下言语测试可以反映声频移转对成年听障患者的 SI 获益度,而 FL 技术最大的困惑之一就是在噪声环境下的言语理解力^[10,11]。从图 3 可见,噪声下言语理解获益度的测试显示了 SI 获益度的趋势:听力损失程度越轻(最高可听频率越高)的受试者从设置 2 中得到的 SI 获益度越多,说明听力损失程度轻的患者需要更多的音质,应调大 $F_{小}$ 和 $F_{大}$;反之,听力损失程度越重(最高可听频率越低)的受试者从设置 1 中得到的 SI 获益度越多,说明听力损失程度重的患者需要更多的言语可听度,应调小 $F_{小}$ 和 $F_{大}$ 。此外,设置 1 与设置 2 的 SI 获益度均随着听力损失程度的加重(最高可听频率降低)而增加,说明无论 $F_{小}$ 和 $F_{大}$ 如何调节,听力损失程度越重(最高可听频率越低)的受试者从声频移转中的 SI 获益度越大,提示了声频移转的适用听力损失程度,即听力损失程度越重的患者越适宜用声频移转功能。安静环境下无意义音节测试也得出同样的结果和关系。17 例受试者分别使用设置 1、设置 2 助听器的主观音质调查问卷如图 4 所示(误差线为 95% 的置信区间)。该问卷共有三类问题,每类有 7 个问题,分别为安静下言语测试、自声和录音对话。1 分为非常不

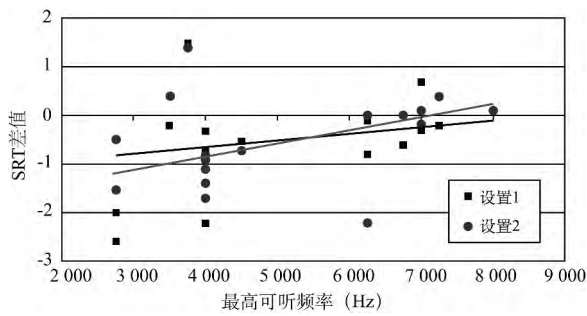


图3 声频移转开和关时噪声下言语理解获益度比较

“SRT 差值”为使用设置 1、设置 2 分别与使用设置 3(声频移转功能关闭)助听器患者的言语接受阈的差值(SRT 值越低提示声频移转的获益度越高)。灰线(下)与黑线(上)分别代表设置 1 与设置 2 的线性回归分析,作为趋势预估

满意,2 分为不满意,3 分为满意,4 分为非常满意。结果显示,除了受试者自声外,设置 2 的安静下言语测试和录音对话两类得分均高于设置 1,说明较高的 $F_{小}$ 和 $F_{大}$ 有利于受试者提升 SI 获益度与音质。

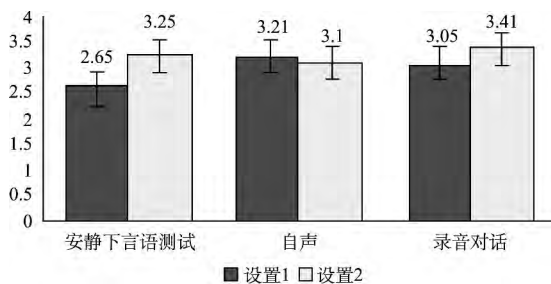


图4 使用设置 1 与设置 2 助听器患者的主观音质调查问卷结果比较

5 频率降低技术的几点建议

频率降低方法是现今唯一可以为难以从传统放大方法中获得听力补偿的高频极重度听力损失患者选择的可行助听器技术。因为高频增益对于成人言语理解、儿童言语理解与言语发展至关重要,所以该方法可以大大提高患者的助听器获益度与满意度。

低频信号对保证言语的自然感知和言语理解至关重要,而频率压缩技术可以在不损坏低频信号的前提下很好地利用听障人士的残余低频听力。频率降低技术能否成功用于助听器选配的影响因素有:①明确各种算法的原理,掌握其中异同;②根据患者听力损失程度、听力图、使用经验、年龄等因素把握好使用时机;③了解各助听器生产厂家频率降低技术的参数和调节范围,找到最佳的参数设置,

最大程度地平衡言语理解度和音质;④采取合理的测试方法和评估方法,如:测试耳蜗死区的 TEN、测试可听频率范围的探管麦克风测试等;⑤考虑患者的认知能力,适应一段时间后及时调整频率降低技术的参数^[5];⑥需要适应和一定的听觉训练,频率降低程度越高,越需要学习适应新的声音。

6 参考文献

- 1 Ching TY, Dillon H, Byrne D. Speech recognition of hearing-impaired listeners: predictions from audibility and the limited role of high-frequency amplification[J]. J Acoust Soc Am, 1998, 103:1128.
- 2 Hornsby BW, Ricketts TA. The effects of hearing loss on the contribution of high and low frequency speech information to speech understanding. II. Sloping hearing loss[J]. J Acoust Soc Am, 2006, 119:1752.
- 3 Smith MW, Faulkner A. Perceptual adaptation by normally hearing listeners to a simulated "hole" in hearing[J]. J Acoust Soc Am, 2006, 120:4019.
- 4 Kuk F, Keenan D, Auriemma J, et al. Interpreting the efficacy of frequency-lowering algorithms[J]. The Hearing J, 2010, 63:30.
- 5 Glista D, Scollie S, Suldres J. Perceptual acclimatization post nonlinear frequency compression hearing aid fitting in older children[J]. J Speech Lang Hear Res, 2012, 55:1765.
- 6 Simpson A, Hersbach AA, McDermott HJ. Frequency-compression outcomes in listeners with steeply sloping hearing audiograms[J]. Int J of Aud, 2006, 45:619.
- 7 Moore BCJ, Huss M, Vickers DA, et al. A test for the diagnosis of dead regions in the cochlea[J]. Br J Audiol, 2000, 34:205.
- 8 Hornsby BWY, Dundas JA. Factors affecting outcomes on the TEN(SPL) test in adults with hearing loss[J]. J Am Acad Audiol, 2009, 20:251.
- 9 Wagener K, Kuhnel V, Kollmeier B. Entwicklung und evaluation eines satztests für die deutsche sprache 1: design des oldenburger satztests[J]. Z Audiol, 1999, 38: 4.
- 10 Kuk F, Keenan D, Korhonen P, et al. Efficacy of linear frequency transposition on consonant identification in quiet and in noise[J]. Journal of the American Academy of Audiology, 2009, 20:465.
- 11 Glista D, Scollie S, Bagato M, et al. Evaluation of nonlinear frequency compression: clinical outcomes[J]. Int J of Aud, 2009, 48:632.

(2014-07-24 收稿)

(本文编辑 李翠娥)