

人的听觉调谐曲线¹⁾

方 至 杨玉芳 金凌娟

中国科学院心理研究所,北京

摘 要

听觉系统的频率选择性可以用调谐曲线及其Q值表征。本研究用同时掩蔽法测定了10名正常听者和5名听力衰退者的心理物理调谐曲线和生理调谐曲线。为便于两种曲线的比较,实验用了相同的声刺激,即频率为500Hz和4000Hz的感觉级相同的短音。测定生理调谐曲线所用的电生理指标为脑干反应的 P_0-SN_{10} 复合波的幅值。

实验结果表明:(1)两种调谐曲线的锐度Q没有显著的差异,(2)听力衰退者4000Hz的两种调谐曲线的锐度Q都显著地小于正常听力者相应曲线的锐度Q。本文说明用适当的声刺激和电生理指标,生理调谐曲线能够和心理物理调谐曲线近似等值地、同样灵敏地、具有频率特殊性地反映听系统的频率选择性及其变化。

前 言

测量听觉频率选择性有多种方法,Florentine等人^[1]的工作表明,调谐曲线是较可取的一种方法。自Chistovich和Small以来,通过掩蔽法,不仅可以用行为作指标确定心理物理调谐曲线,而且可以用电生理指标确定生理调谐曲线。这就为听觉频率选择性的心理和生理的相关研究提供了条件。

Klein和Mills^[2]曾对几名正常人的4000Hz短音的心理物理调谐曲线和用脑干电位第一、第五波确定的生理调谐曲线作过比较。由于实验方法的影响,他们的结果虽然显出两种曲线之间有明显的相关,却只能有定性的比较。

本研究的目的是,除了在确定两种调谐曲线锐度Q的基础上对频率选择性的心理和生理的相关作进一步的定量分析外,还要考察在听系统的频率选择性出现变化时,两种曲线反应的灵敏度。

方 法

根据上述两个目的,在实验设计上作了相应的考虑。为了获得可作定量比较的两种调谐曲线的数据,首先,两者所用的声刺激不但应具有相同的感觉级,而且此声级必须适

1) 本文于1986年10月14日收到。

中,既要能诱发出确定生理调谐曲线所需要的电反应,又不致使心理物理调谐曲线出现失真。其次,在确定曲线的调谐点时,信号和掩蔽声的频率相同,此时频率须调得准确,以防拍声的出现,保证Q值能够确定。这是以往实验不能进行定量的关键所在。

为了检验所测调谐曲线对频率选择性的变化是否反应灵敏,实验安排了两组听者:正常组和听力衰退组,两种信号:500Hz和4000Hz。两组听者500Hz的听力相近,而4000Hz的听力则有很大差别。实验将考察Q值是否有相应的差别。

1. 实验装置和声刺激

500Hz和4000Hz的短音信号由电反应测听器Danac—7E的刺激器产生。对电反应测听说,按 Gabor^[3]指出的时间和频率在精确上的替换关系,声信号愈短,它的频谱将愈宽,即愈少频率特殊性。因此,短音波形在时间上的结构对听觉电反应是否具有频率特殊性是很重要的因素。Davis,Suzuki^[4,5]等人的工作表明,对脑干电位说,声刺激波形的起落时间和它的平直部分时间的关系很重要,对500Hz以下的低频更是这样。Davis的研究认为,诱发P₀—SN₁₀波的短音的最佳波形,其起落时间和平直部分时间为2—1—2的关系,即起落时间为2个周期,平直部分为一个周期。本实验由Danac—7E产生的500Hz和4kHz短音的电信号波形如图2a、b所示,接近这一要求。短音的重复周期为55ms,即重复率为18次/秒。短音的声级,正常组为感觉级20dB,听力衰退组为感觉级10dB。掩蔽声由B&K正弦无规发生器1027产生。在确定心理物理调谐曲线时,为防止出现拍声,掩蔽500Hz短音的连续声选择了215,390,460,500,540,615和740Hz,掩蔽4kHz短音的掩蔽声频率为1270,1720,3120,4000,4320,4920和5920Hz。短音和掩蔽声输到双道测听器NA—301B加以混合。混合前,它们的声强可由两个互相独立的衰减器控制。听者用右耳作单耳接收声音。

实验在一间控制室和一间隔声屏蔽室中进行。隔声室的背景噪声约20dB(A)。听者静卧于隔声室,他的心理物理反应通过测听器反应键和指示灯与控制室中的主试联系。听者的电反应信号由电极拾取,经前置放大器输到控制室中的RFT的KF103滤波器滤波后,由电反应测听器Danac—7E作平均处理。从荧光屏上可实时地读到处理后的波形及其幅值和潜伏期,并可由打印机记录。

2. 受试者

正常组10人,男女各半,年龄18—25岁,身体健康,听力正常,听阈的听力级都小于

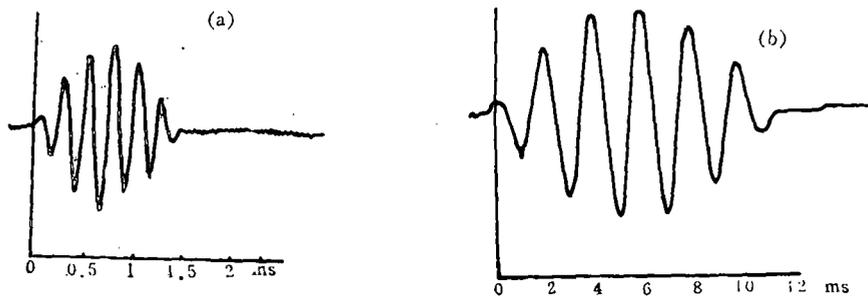


图 1 短音电信号的波形:(a) 4kHz (b) 500Hz

15dB。听力衰退组 5 人,男性 4 人,女性 1 人。其中 4 人为老年性听力下降,4kHz 听阈的听力级都超过 40dB,年龄 62—76 岁,另一名一侧耳药物致聋,4kHz 听阈的听力级大于 40dB,年龄 24 岁。

3. 心理物理调谐曲线的测定

先用上行法确定短音的阈值,听者可以由此熟悉要听的信号,短音呈现的感觉级也可由此确定。将信号维持恒定的感觉级,同时呈现掩蔽的连续纯音。由于掩蔽声频率离信号频率愈近时,掩蔽效力愈高,反之愈远则愈低,所以掩蔽声呈现的次序先从中心频率开始,而后频率逐渐增加(或降低),以减少听觉疲劳。例如作用于 500Hz 短音的 7 个连续纯音的呈现次序为 500, 400, 290, 215, 540, 615, 740Hz。主试以 5dB 一档逐渐增加掩蔽声的声级,直到听者刚刚感到听不见短音时,立即按键反应。此时的掩蔽声声级即测定为掩蔽阈。7 个掩蔽声所测定的掩蔽阈作为频率函数所描出的曲线就是短音的心理物理调谐曲线。曲线的锐度 Q 通常用短音的中心频率除以它的掩蔽阈之上 10dB 处的带宽来计算,所以也称 Q_{10dB} 。频率选择性愈高。曲线愈锐, Q 值也愈大。

4. 生理调谐曲线的测定

心理物理调谐曲线实验之后,让听者稍作休息时,主试即进行生理调谐曲线实验的准备。这包括清洗听者置放引导电极处的皮肤和固定电极。正极置于前额发线下的正中处,参照极置于接收声音一耳的乳突上,地极放在对侧乳突。电极安放后,极间阻抗是否合适,由前置放大器上的信号显示,以便即时调整。准备就绪后,听者静卧下来,戴上耳机。让他放松肌肉,并尽可能入睡,防止干扰。

生理调谐曲线实验所用的短音和掩蔽声,它们的呈现次序,和前面的实验相同。先描

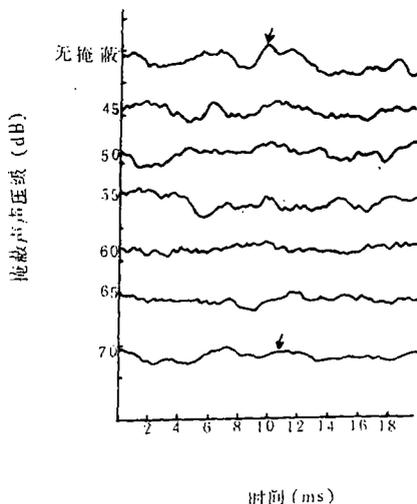


图 2 一名听者的 P_0-SN_{10} 波形。信号为 40dB、4kHz 短音,掩蔽声为 1270Hz 连续纯音。波的幅值随掩蔽声声级的增加而降低。最上面一条曲线是无掩蔽时 4kHz 短音诱发的波形。箭头处所指的幅值为 $-0.14\mu V$ 。最下一条曲线是掩蔽阈被确定为 70dB 时的波形,箭头指处的幅值为 $+0.01\mu V$ 。

记没有掩蔽时短音诱发的 P_0-SN_{10} 波。电极拾取的诱发电位经前置放大输到一个可调带通滤波器。通过予试,通带为 16—2kHz 时,诱发的波形较好。滤波器衰减率为 24dB/倍频程。滤波后的信号由电反应测听器 Danac-7E 累加平均 2000 次后, P_0-SN_{10} 波和它的幅值及潜伏期,都在萤光屏上可以读到,扫描时间为 20ms。以此为参照,便可开始掩蔽实验。短音和掩蔽声同时呈现,掩蔽声的起始声级可以根据心理物理调谐曲线实验中的数据确定。随着掩蔽声逐渐提高声级, P_0-SN_{10} 波的峰值也逐渐降低,直到它接近基线或幅值小于 $0.02\mu V$ 时,掩蔽的声声级即确定为掩蔽阈。这和确定心理物理调谐曲线的掩蔽阈采取了完全一致的标准。图 2 是 4kHz 短音被不同声级的 1270Hz 掩蔽声逐渐掩蔽 P_0-SN_{10} 波形幅值的变化。 SN_{10} 波不很稳定,一个掩蔽阈值往往需要 2—3 次的测量才能确定。同心理物理调谐曲线一

样,生理调谐曲线也是由7个掩蔽阈作为频率的函数描划的,其Q值的计算也相同。

实验结果

图3和图4是两组听者500Hz和4kHz的8根调谐曲线。从这些曲线直观地看,无论是正常听者还是听力衰退者,也不论是500Hz还是4kHz的短音,心理物理调谐曲线和生理调谐曲线都是接近于重叠的。而两组听者的曲线的差别,似乎不在500Hz曲线,而在4kHz曲线。为了作定量的比较,从每名听者的调谐曲线计算出Q值,并对它们进行了表1和表2的统计分析。

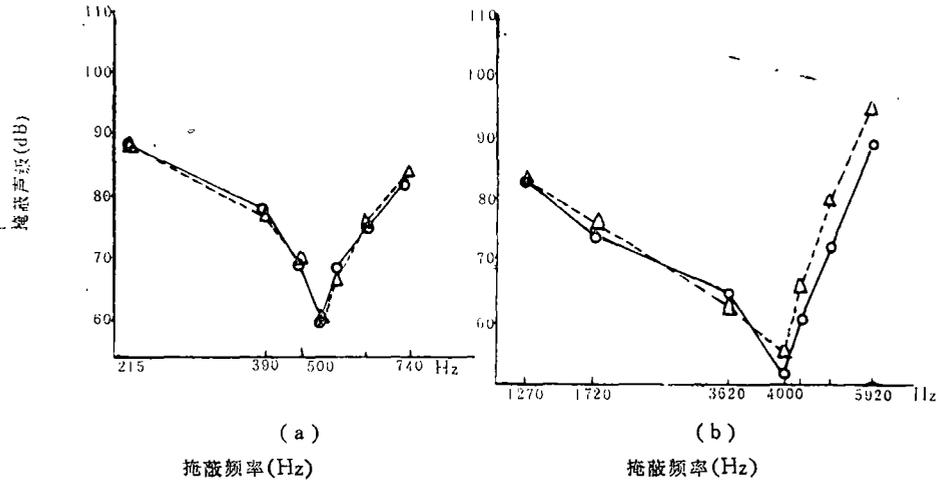


图3 正常听者的调谐曲线, (a) 500Hz, (b) 4kHz ○—○ 心理物理 △---△ 生理

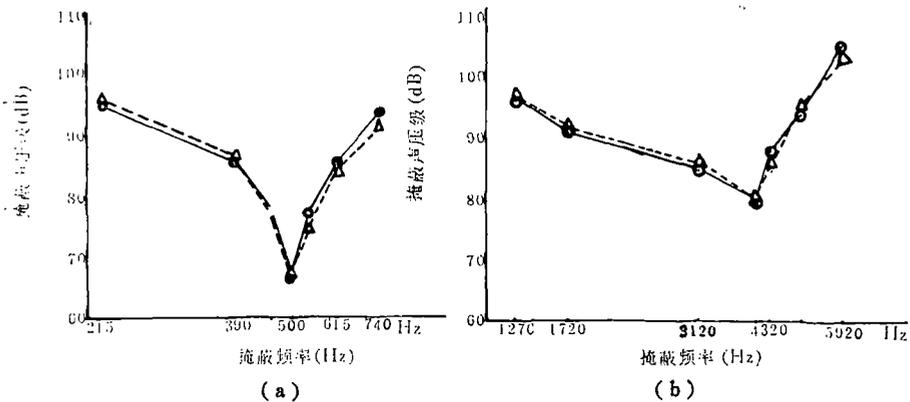


图4 听力衰退者的调谐曲线, (a) 500Hz (b)4kHz ○—○ 心理物理 △---△ 生理

表 1 两组听者500Hz调谐曲线的平均Q值

调 谐 曲 线	正常组(N=10)		衰退组(N=5)		t
	均 数	标准差	均 数	标准差	
心 物	4.2	2.4	5.9	2.2	0.107 不显著 $P>0.05$
生 理	4.7	1.8	4.2	1.2	0.779 不显著 $P>0.05$
t	0.5 不显著 $P>0.05$		1.636 不显著 $P>0.05$		

表 2 两组听者4KHZ调谐曲线的平均Q值

调 谐 曲 线	正常组(N=10)		衰退组(N=5)		t
	均 数	标准差	均 数	标准差	
心 物	4.2	1.4	1.5	0.4	4.903 显著 $P<0.01$
生 理	2.8	0.8	1.6	0.4	3.122 显著 $P<0.01$
t	1.8 不显著, $P>0.05$		0.333 不显著, $P>0.05$		

表 1、表 2 的分析说明, 两组听者的两种短音的心理物理调谐曲线和生理调谐的平均 Q 值之间的确没有显著差异 ($P>0.05$), 两者是近似等值的。表 1 的分析说明, 两组听者的 500Hz 短音调谐曲线的平均 Q 值之间的确也没有显著差异 ($P>0.05$)。但是表 2 说明, 两组听者的 4kHz 短音的调谐曲线的平均 Q 值之间则的确存在显著的差异 ($P<0.01$)。这正是我们预期的结果。

讨 论

上述心理物理和生理调谐曲线的相关实验结果表明, 只要两者所用的刺激适当, 即具有相同的感觉级和适当的刺激波形, 并且用适当的电生理指标和相同的阈值标准, 两种调谐曲线不但可以近似等值地反映听系统的频率选择性, 而且可以同样灵敏地和具有频率特殊性地反映这种选择性的变化。

就心理物理调谐曲线说, 本实验的结果和 Florentine 等人的工作是一致的, 心理物理调谐曲线能有效地反映听者耳蜗衰变所产生的选择性的变化。但是在锐度 Q 的数值上, 我们的结果都比较小。差异的原因可能在声刺激的不同。Florentine 的实验目的在比较测量频率选择性的不同方法, 且限于心理物理法, 所以声刺激时间参数可以大一些: 短音音长 600ms, 起落时间 30ms; 所用声级也较低: 感觉级 10dB, 本实验目的在两种调谐曲线。

的相关研究,声刺激的确定不能不考虑生理调谐曲线的要求,因而短音音长在4kHz仅1.5ms,500Hz为12ms。按前述Gabor的替换关系,这不能不在一定程度上影响刺激的频率特殊性,从而降低了听觉的选择性。至于声刺激的声级,也因考虑诱发电位的需要,不能不提高到感觉级20dB,这进一步降低了调谐曲线的锐度。Durrant和Walter^[6]的实验已证明了这一点。

在两种曲线的相关方面,本实验和Klein等人的研究虽然都肯定两者的关联,但在量的方面却不相同。他们的心理物理曲线的掩蔽阈值在曲线的低频一边都高于生理曲线,高频的一边由于改用调频法,没有能确定掩蔽阈,也就无法确定曲线的锐度Q。本实验的结果,无论是4kHz还是500Hz,也无论是正常听者还是听力衰退者,两种调谐曲线的Q值都是近似等值的。结果不一致的原因,显然在实验方法上。Klein等虽然注意到确定两种曲线的声刺激应该有一致的感觉级,但声强调节的步度大小,阈值确定的标准,甚至刺激变量都不一致,所以两种曲线的实验结果出现差异,甚至无法作严格的比较。

关于听觉频率选择性的神经机制,Dallos等^[7]曾认为中枢听系统加锐了这种选择性。本实验的结果虽不能说否定,至少也没有支持这个见解。从听力衰退组4kHz曲线Q值的变化,毋宁认为它们都在反映外周听系统的变化,即是说,频率选择性可能更多地是听外周部分的功能,频率选择性的锐化可能是所谓第二滤波器的作用。

结 论

1. 用同时掩蔽法所测定的心理物理调谐曲线和 P_0-SN_{10} 波生理调谐曲线,它们的锐度Q能近似等值地反映人的听觉系统的频率选择性。
2. 听力衰退者的频率选择性的变化,两种调谐曲线的Q值能同样灵敏的作出反应。
3. 对频率不同的两种短音刺激,两种调谐曲线具有相同的频率特殊反应。

参 考 文 献

- [1] Florentine, M. et al 1980, "Frequency selectivity in normally hearing and hearing-impaired observers". J. of Speech and Hearing Res., 23.
- [2] Klein, A. J. and Mills J. A., 1981, "physiological (Wave ladv) and psychological tuning curves in human subjects".
- [3] Gabor, D., 1947, "Acoustical quanta and theory of hearing" Nature, 159.
- [4] Davis, H., Hirsh, S.K., Popelka, G. R., Formby, C., 1984 "Frequency selectivity and threshold of brief stimuli suitable for electric response audiometry", Audiology 123.
- [5] Suzuki, T., Horiuchi, K., 1981, "Rise time of pure-tone stimuli in brain stress response audiometry" Audiology, 20.
- [6] Durrant, J. D. and Walter, M., 1979, "Psychological tuning functions: Influence of probe duration". J. A. S. A. Suppl. 1, 65.
- [7] Dallos, P. et al., 1977, "Cochlear frequency selectivity in the presence of hair cell damage" in Psychophysics and Physiology of Hearing, edited by E. F. Evans and J. P. Wilson.
- [8] Moore B. C. J., 1985, "Frequency selectivity and temporal resolution in normal and hearing-impaired listeners" British Journal of Audiology, (19)

AUDITORY TUNING CURVES OF HUMAN SUBJECTS

Fang Zhi Yang Yu-fang Jing Ling-juan

Institute of Psychology, Academia Sinica

Abstract

The frequency selectivity of the auditory system can be identified by the tuning curve and its Q value. The present study, using the paradigm of simultaneous masking, measured both the psychophysical and the physiological tuning curves in 10 subjects with normal hearing and 5 subjects with degenerative hearing loss. To facilitate comparison, the two kinds of tuning curves were obtained by using the same acoustic stimuli, i. e. 500Hz and 4000 Hz pip tone set at the same sensation level. The electrophysiological data adopted to determine the physiological tuning curve was the amplitude of P_6-SN_{10} complex of brainstem response.

Results showed that (1) there was no significant difference between the Q values of these two kinds of tuning curves, (2) at 4000Hz, the Q values of the two curves in the degenerative group were significantly less than those of the normal group. It may be concluded that with proper selection of acoustic stimuli and electrophysiological data, the physiological tuning curve can reflect the frequency selectivity and changes of the auditory system with approximately equal-value, the same sensitivity and the same frequency-specificity as the psychophysical tuning curve does.