

利用虚拟教学听力计测量人耳听阈曲线

冀敏, 姚红英, 苏卫锋

(复旦大学物理系, 上海 200433)

摘要:为检验虚拟教学听力计的性能及测试效果,利用示波器测量了各纯音信号的频率和电压峰峰值,通过耳机测试听阈曲线表明:各纯音信号频率的相对误差小于0.3%,界面显示的分贝值与计算得出测试点纯音分贝值的相对误差小于5%,被测试者的听阈曲线与参考曲线基本一致。由此可知,所用虚拟教学听力计与实际听力计性能基本相同。

关键词:听阈曲线; Adobe Audition 3.0; 虚拟听力计; 纯音; 频率

中图分类号: R312

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2017)04-0019-04

在针对医学生的医学物理实验教学中,听觉听阈实验有着重要的教学和临床意义,不仅加深了学生对声学知识的理解,还使学生对听觉物理和听觉功能诊断有了一定的掌握。跨入21世纪之后,国内高校相继对医学生开设了听觉听阈测量实验,且有较好的实验效果,但普遍就以下问题:仪器少学生多,缺少教学预习环节,常常因对纯音的识别不足,导致实验时间过长引起耳朵不适。为解决学生预习及相关问题,有兄弟院校曾尝试编写听力软件,例如利用Cool Edit软件产生音频信号进行听阈曲线测量^[1]等。我们先后组织编写了3款虚拟听力软件,但是这些软件是否达到与真实仪器相同的测试效果、其性能指标是否合乎教学实验要求,还需要通过实验进行检验。作者曾经采用仪器和实验模拟,对不同虚拟听力测试软件进行过检验,其中不乏与真实仪器媲美的实验效果。以下介绍我校曾用于实验预习的听力测试软件Adobe Audition 3.0的检测和实验结果。

1 实验原理

1.1 人耳生理结构

人耳器官由外耳、中耳、内耳组成。声波在外耳以气体传导,外耳会对一定频率的声音产生较明显的共振,使得声强得到增益。外耳道内端的尽头就是鼓膜,声振动在此从气体传入固体。中

耳是一个不规则的腔体,称为鼓室。声波在中耳是以固体传导,通过3根听小骨使声压增大,以利于声波在内耳的液体传导。

1.2 声强与声强级

能够在听觉器官引起声音感觉的机械波称为声波,其频率范围为20 Hz~20 kHz。描述声波能量的大小常用声强和声强级2个物理量。声强是单位时间内通过垂直于声波传播方向的单位面积的声波能量,用符号 I 表示,其单位为 W/m^2 。而声强级是声强的对数标度,它是根据人耳对声音强弱变化的分辨能力来定义的,用符号 L 表示,其单位为dB, L 与 I 的关系为

$$L=10\lg\frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

式中, I_0 为基准声强^[2],其频率为1 kHz,声强为 $10^{12} W/m^2$ 。

1.3 纯音

在声学中,纯音指声压的时间波形为正弦函数的声音。纯音的主要参量为频率、声强级,可用示波器测量纯音信号频率以及比对虚拟听力计与标准信号发生器所产生的正弦同频率波形(也可通过频谱分析判断纯音质量);用示波器测量纯音信号电压峰峰值,相对分贝值为

$$L=20\lg\frac{U}{U_0}, \quad (2)$$

式中, U_0 为1 kHz声音听阈对应的电压峰峰值。

“第9届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期:2016-05-30

作者简介:冀敏(1956—),女,河南洛阳人,复旦大学物理系副教授,从事医学物理教学及研究工作。



1.4 听阈曲线

人耳所能听到的最小声强值或声强级值称为听阈,人耳对不同频率的声音的听阈不同.听阈与频率的关系曲线即听阈曲线.不同频率的声音与 1 kHz 的标准声音等响时(声音的响度级等于 1 kHz 声音的声强级),其声强级与频率的关系曲线称为等响曲线.听阈曲线是响度级为 0 昉(phon)的等响曲线^[3].

1.5 虚拟教学听力计软件描述

该软件由 Adobe Audition 3.0 生成不同频率、强度渐变的单声道纯音.信号频率从 100 Hz 至 17 kHz 几何级数变化,信号声强级从 0 dB 变化至 -80 dB(此处的 0 dB 为软件默认,不是标准 0 dB,并且随声卡音量的变化而变化).

软件编排顺序为:播放音频—音频从无到有播放—听者听到声音时给出信号—软件记录时间并转换成声强级值.其主要功能:1)根据精度要求,自主选择所要测量的频率取值范围及频率变化幅度;2)实验者可以重复测量不同频率的听阈值;3)根据声强级与时间成对数关系,软件自动记录并换算被测者的听阈值,测量结束后直接导出记载数据的 Excel 文件.

2 实验仪器及对象

实验所需的实验仪器为:自制虚拟教学听力计、XJ4318 示波器、信号发生器、台式电脑和 sumsungEP380 型耳机.利用虚拟教学听力计对 8 名 20 岁左右男女青年和 1 名 59 岁女教师进行听阈检测,被测耳朵统一为左耳.

3 实验步骤

3.1 安装虚拟教学听力计软件

点击软件图标可见电脑荧光屏显示虚拟听力计操作界面,如图 1 所示.

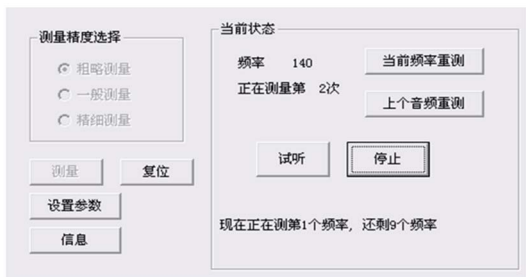


图 1 虚拟教学听力计软件界面

利用 EasyVol 软件^[2]调节主机声卡分贝值,使得软件自带频率为 1 kHz 的音频和 3~4 kHz 的音频的强度从无到有变化,记录 EasyVol 的参量值,并且保持之后的这一组数值不变化.

3.2 虚拟教学听力计输出纯音检测

把导线一端接电脑耳机插孔,另一端接示波器,观察和测量 0.1~10 kHz 按倍频递增的纯音信号的波形和频率;测量 1 kHz 纯音在界面上分别显示 -70, -60, -50, -40, -30, -20 dB 时的电压峰峰值,并用(2)式检验.需要说明的是,该软件系统将 -60 dB 作为 1 kHz 纯音的听阈值,式中 U_0 此时应为 -60 dB 的 1 kHz 纯音信号的电压峰峰值.

3.3 用虚拟教学听力计测量听阈曲线

1)带上专用耳机,点击试听按钮,试听各个频率音频,确认被测的耳朵为左耳.

2)图 1 中选择测量精度(粗略测量、一般测量、精细测量分别为 10, 16, 30 个数据点).

3)正式开始测量,每个音频测量 3 次,音频响度从无到有,被测者在突然听见信号的瞬间点“停止”按钮,软件记录数据.测量过程中点“试听”按钮可试听不同频率对应的音频,点“当前频率重测”按钮可重测这一频率对应的 3 个数据点,点“上个音频重测”按钮可重测之前测完的数据点.

4)完成测量后,被测者输入个人信息(姓名和年龄),软件记录信息并输出 Excel 文件.

5)将 Excel 文件中的数据导出,得到频率 f 与 3 次测量的相对声强级值 L_i . 令 $\tau = \frac{1}{3}(L_1 + L_2 + L_3)$, 并求出平均值.做频率 f 关于相对声强级 τ 的听阈曲线图.

4 实验结果及分析

4.1 纯音信号检测结果及分析

0.1~10 kHz 按倍频递增的纯音信号的各个频率的相对误差均小于 0.3%,波形与信号发生器等频率信号正弦波形吻合得较好;1 kHz 纯音在界面上分别显示 -70, -60, -50, -40, -30, -20 dB 时,利用(2)式计算可得其相对误差小于 2.5%.

4.2 所有测试者左耳听阈曲线

图 2 是所有 9 位测试者左耳听阈曲线,除频率为 1.2 kHz 听阈出现小峰值外,其余的曲线走

势与参考曲线相比基本吻合。在低频区,人耳听阈的相对分贝值较大,随着频率的增加,该值逐渐减小;在 3~4 kHz 的范围内,听阈的相对分贝值出现低谷,即人耳听阈最灵敏处在 3~4 kHz 之间;随着频率的增大,听阈陡然上升,在 14 kHz 左右,部分被测者出现无法听见的现象。

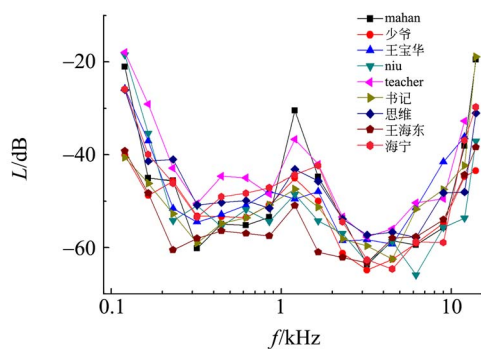


图 2 个体左耳听阈曲线

根据人耳的结构可以发现,人耳的外耳道如同一端封闭的管状共振腔,会对通过的一定频率的声波进行放大。根据驻波原理,其共振频率为

$$f = v(2n - 1) / 4l, \quad (3)$$

v 为声波在空气中传播的速度, l 是外耳道的长度。据统计,中国人耳外耳道平均长度^[4]为 2.5 cm,代入(3)式计算出共振频率为 3.44 kHz,与实验结果相符合。

所有测试者在 1.2 kHz 听阈的小峰值,可能是声卡转换失真或者耳机频响特性所致。

4.3 男女听阈对比及分析

图 3 是年龄 20 岁左右的男性和女性听阈曲线,数据点由 4 男 4 女的实验数据做平均值所得。纵观全图,男性听力普遍比女性好;但在高频段,女性的听力好于男性,这与男女性耳朵生理结构差异有关,特别是女性发声的频率要高于男生,导致女性 in 高频阶段其听阈好于男性。

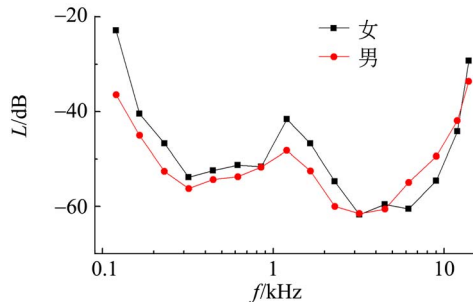


图 3 年龄 20 岁左右的男性和女性听阈曲线

观察人耳听阈听力最灵敏处,发现女性最灵敏的频率略高于男性。分析原因是女性外耳道平均长为 24.1 mm,而男性外耳道平均长为 25.6 mm^[5],分别代入式(3)可得,男性平均共振频率值为 3.359 kHz,女性为 3.568 kHz,实验结果基本符合理论值。

4.4 年龄与听阈关系

图 4 是年龄分别为 20 岁和 59 岁女性的听阈曲线。年龄较大的女性听阈相对分贝值普遍高于年龄较小的女性,特别是在 10 kHz 以上的高频区域,年龄较大的女性开始出现无法听见的现象,且与较为年轻女性的相对分贝的差值随着频率的增大而逐渐增大。研究表明^[6],人耳老化是渐进过程,随年龄增高,听阈升高,频率越高影响越明显,较高频测听能更敏感地反映老年听力减退^[7]。实验的结果与人耳生理功能老化现象相符合。

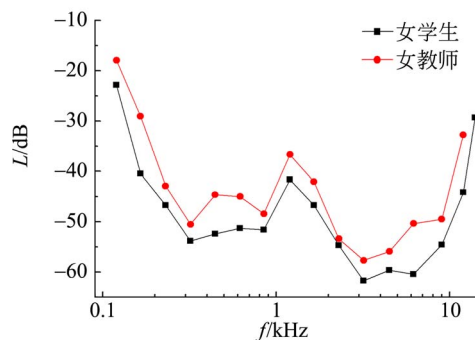


图 4 20 岁和 59 岁女性的听阈曲线

4.5 实验结论

根据 4.1 可知,该虚拟听力计的频率误差及所显示声强级分贝值误差均达到真实听力计要求;根据 4.2~4.4 可知,所测试人耳的听阈曲线走形与参考曲线基本一致,男性和女性的听阈差别及年老与年少的听阈差别符合临床表现。综上所述,本试验所用虚拟听力计的性能可以满足教学预习的要求,可用于学生的听觉、听阈曲线实验的教学预习。

5 结束语

该虚拟听力计可方便快捷地进行纯音试听练习及听阈曲线测试,具有教学预习功能。但尚有需要加以改进的方面:1) 基准频率“0 dB”的确定可通过本校众多青年人的基准频率听阈的统计结果给出,这样可加深学生对 0 dB 定义的理解;2)

听阈曲线中的小峰尚需通过检测耳机的频响特性判断误差所在;3)操作界面偏小且不够醒目.若以上问题解决后,该虚拟听力计与真实仪器的功能将更加接近.

参考文献:

- [1] 郝乃澜,王双维,李光,等. 基于 Cool Edit Pro 2.0 的人耳听阈曲线测定实验[J]. 物理实验,2007,27(12):11-12.
- [2] 王磊,冀敏. 医学物理学[M]. 北京:人民卫生出版社,2013:64-66.
- [3] 冀敏,陆申龙. 医学物理学实验[M]. 北京:人民卫生出版社,2009:61-64.
- [4] 谢鼎华,杨伟炎. 耳聋的基础与临床[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2004:8-12.
- [5] 郝昕,张微,邹玲,等. 中国幼儿外耳道声学共振特性的真耳测量[J]. 声学学报,2003(5):453-456.
- [6] Reuter W, Schonfeld U, Mansmann U, et al. Extended high-frequency audiometry in pre-school children [J]. Audiology, 1998,37(5):285-294.
- [7] 仇春燕,顾瑞. 高频测听临床应用初步报告[J]. 中华耳鼻咽喉科杂志,1992,27(5):271-273.

Measuring the hearing threshold curve using virtual educational audiometer

JI Min, YAO Hong-ying, SU Wei-feng

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: To test the performance of a virtual audiometer for teaching, an oscilloscope was used to measure the frequency and peak voltage of a series of pure tone signals. With a headset, the hearing threshold curves of eight students and a 50-year-old female teacher were recorded. The results showed that the relative error of the frequency of each pure tone signal was less than 0.3%, the disagreement between the displayed intensity in decibels and the calculated one of each pure tone was less than 5% for all the test points, and the hearing threshold curves of all nine tested persons were in consistent with the reference curve. The performance of the virtual audiometer for teaching was basically the same as that of the audiometers used in practice.

Key words: hearing threshold curve; Adobe Audition 3.0; virtual audiometer; pure tone

[责任编辑:尹冬梅]

(上接第 18 页)

Improving the string vibration instrument with LabVIEW

QU Wen-ge, WANG Ben-yang, WANG Xin-shun

(Physical Experiment Center, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264200, China)

Abstract: LabVIEW and data acquisition (DAQ) card were used to improve the string vibration instrument. Owing to the advantages of GUI design and function calls of DAQ, the time-domain signal of string vibration and its FFT frequency analysis result were displayed on a computer.

Key words: string vibration; LabVIEW; frequency analysis; DAQ card

[责任编辑:尹冬梅]