

可听声与耳科疾病¹⁾

吕如榆

(中国科学院声学研究所)

声音分为可听声和非可听声两类。人耳可以听到的叫可听声；超声和次声等人耳无法感觉的叫非可听声。

就目前科学发展的水平来看，可听声在两个方面与耳科疾病有关：一是长期工作在强噪声的环境中，将引起耳部器质性损伤，造成噪声性耳聋；另一是利用听力图和耳道声阻抗的变化来诊断耳科疾病。

描述声音强弱的量有声压 p 和声强 I 。 p 是声波引起的单位面积上的压力(单位为 Pa)； I 是单位面积上单位时间内通过的声能(单位 W/m^2)。声压可用仪器精确测量，所以规定声压是声场的基本量，声强是导出量， $I = p^2/\rho c$ ，其中 ρc 是空气的特性阻抗。在标准大气压和室温条件下， ρ 约为 $1.18(kg/m^3)$ ， $c = 340(m/s)$ ，所以 ρc 约为 $400(kg/m^2 \cdot s)$ 。

声压和声强常用声压级 L_p 和声强级 L_I 表示(单位均用 dB)， L_p 和 L_I 的定义是

$$\left. \begin{aligned} L_p &= 20 \lg(p/p_0), \\ L_I &= 10 \lg(I/I_0). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

按国际标准化组织(ISO)的规定， $p_0 = 20\mu Pa$ ， $I_0 = 10^{-16}(W/m^2)$ 。在标准大气压和室温条件下，声压级和声强级的分贝值相等。

描述声场，除用声压和声强外，还可用空气质点的振速 $u(m/s)$ 。 u 乘以面积 S 称为空气的体积速度 $U(m^3/s)$ 。 p 与 U 之比就定义为声阻抗 Z_a 。声阻抗与 p 和 U 无关，只取决于传播空间的特性。对自由空间， $Z_a = \rho c S$ 是实数。但对约束空间，例如耳道口， Z_a 是复数。

$$Z_a = R_a + jX_a = R_a + j\omega m_a + \frac{1}{j\omega C_a}, \quad (2)$$

式中 R_a 和 X_a 分别为声阻和声抗(单位为 Ω)， m_a 为声质量(kg/m^4)， C_a 为声顺(m^3/N)。传声

空间中小孔、细管和窄缝等效于声质量 m_a ；封闭腔和弹性体等效于声顺 C_a 。

一、听野和听阈

1. 听野

正常青年人(18~25岁)能听到的声音范围称为听野，如图1所示。听野有两个界限围成：一是频率，它规定了图1中左右的边界；另一是声强级，规定图1中的上下限。人们能听到的声音频率，限于 20Hz—20kHz。

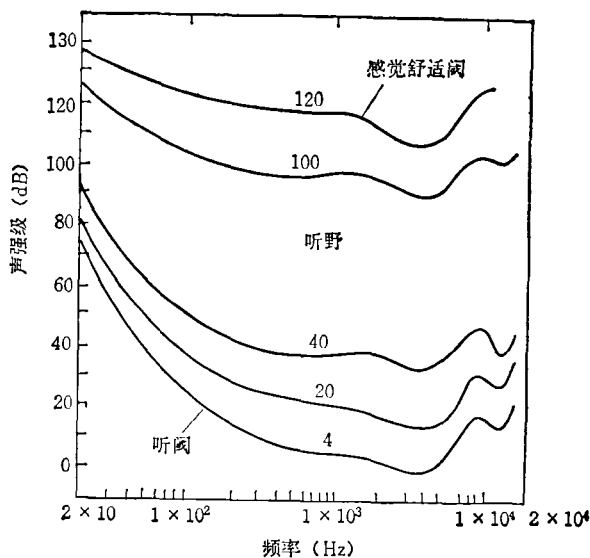


图1 人耳的听野

2. 听阈

人们刚能听到的阈限，称为听阈。人耳听

1) 本文根据 1984 年中国物理学会举办的“物理学在医学上的应用”讲习班讲稿改写而成。

觉在1—3kHz间最敏感,听阈最低.当声音的频率低于1kHz或高于3kHz时,敏感度均下降,听阈相应有所升高.声强级是个客观量,人们感觉声音强弱,即声音轻响程度的量称为响度级(单位方).按定义,纯音的响度级等于1kHz纯音的声强级.听阈相当于4方.人们感觉到不舒适的响度级是120方,所以听野位于响度4—120方的范围内.

图1中还示出了一些不同响度级的等响曲线,因为在这些曲线上人们判别的响度相等.从图1可看出响度级低的等响曲线很弯曲,响度级高的较平直.声强级按40方等响曲线计权后的级称为A计权声级,简称A声级(dB).这是目前评价噪声影响最重要的一个量.

听阈对测量人们的听力非常重要,因为听力就是根据听阈改变来计量的.

二、听力测试和听力图

听力测试就是利用测听器测定人们听阈的改变.基准听阈规定为正常年青人的平均听阈,即4方等响曲线.测出的听阈比基准听阈增加的分贝数称为听力损失.对各个频率可画出听力损失曲线(如图2所示),称为听力图.基准听阈在听力图上相当于零分贝的直线.

图2还画出了不同年龄平均听力损失的曲

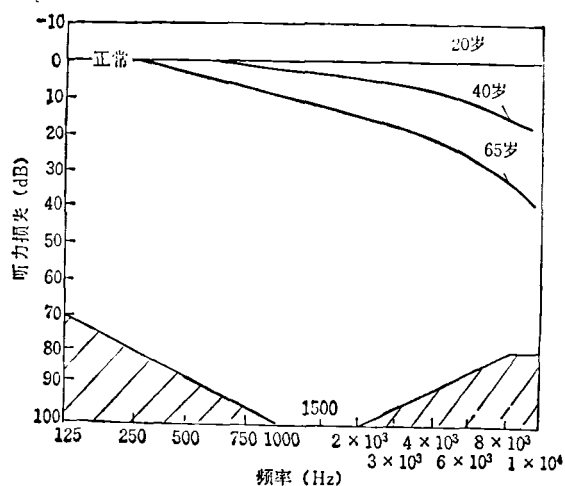


图2 听力图

线.听力随着年龄增大而下降是自然规律,年龄引起的听力损失称老年性听力损失.

测听器是按基准听阈作为听力损失零分贝标准好的纯音发声器.它可由按钮发出不同频率的纯音.常用频率为125Hz,250Hz,500Hz,(750Hz),1kHz,(1.5 kHz),2kHz,(3kHz),4kHz,(6kHz)和8kHz(有些测听器无括号内的频率).对每一频率,有连续调节声强的电位计,可由弱到强或由强到弱改变.测听时应向受试者交待清楚,让他刚听到声音时立即把按钮按下,到听不见声音时放开.这样,测听人员就可以逐个频率测出受试者的听力.为了保证测听正确,测听器应定期按厂家要求校准.

听力测试应该在不受外界噪声干扰的测听室内进行.测听室内背景噪声的要求已有国际标准规定.

声音传入内耳有两个传导路径.一是空气传导,即通过外耳道、鼓膜和中耳听骨链传入内耳,这个路径称为气导.另一个路径是通过乳突部的振动或头颅的振动传入的,这个路径称为骨导.测听器一般备有两个发声器,耳机是为测气导听力用的,激振器(放在耳廓后的乳突骨上)是作为测试骨导听力用的.因此,测出的听力损失分为气导听力损失和骨导听力损失.

三、利用听力图诊断耳科疾病

不同病因,可以引起不同的各具特点的听力图.根据听力图上听力下降的特点,就可以在临床上作为诊断各种耳科疾病的依据.在这里举出几种典型的耳科疾病以及相应的听力图.

1. 老年性听力损失

老年性听力损失又称为老年性耳聋,它的听力图如图2所示.随着年龄的增加,听力会逐渐衰退,并且频率越高,听力下降的程度越大,这点是老年性听力损失的特点.老年性耳聋是由于内耳螺旋器内听神经器质性损伤和萎缩,所以气导听力和骨导听力有相同数量级的下降.

2. 噪声性听力损失

长期在噪声很强的环境中工作而产生的听力损失，称为噪声性听力损失。噪声引起的听力损失常常是刚开始暴露在噪声环境中时，先表现出暂时性听力移动（TTS），这种暂时性听力移动脱离噪声环境1~2小时后，听力即可复原。但如果长期地、反复地暴露在噪声环境，例如5年，10年或20年，就会产生永久性听力损失（PTS）。大量的调查实验数据证明，噪声的A声级越高，引起暂时性听力移动也越大，并在一定的暴露年限内产生的永久性听力损失也越强。现在已通过大量数据建立起了TTS和PTS之间的函数关系。这就可以为建立预防噪声致聋的标准提供实验依据。

永久性的噪声听力损失，在图3示出的初期听力图上，将在4kHz左右出现一个约有20~30dB的听力下降，常称为“4kHz谷”。“4kHz谷”是初期噪声性听力损失的特点，可用来鉴别是噪声还是其它病变引起听力下降。初期噪声性听力损失的病人一般自己感觉不出，要作听力测量才能查出。随着噪声环境中暴露年限的增加，听力损失就向高频段发展，并且下降程度也在加深。图3所示的中期听力图往往在4kHz上还能看出下降谷。患有中期噪声性听力损失的一般病人，能自己感觉出听力迟钝，对轻声耳语、音乐中弱音部分不易听清，但生活上

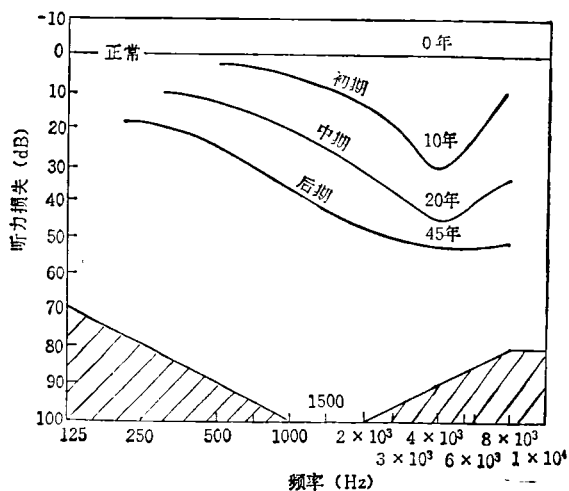


图3 噪声性听力损失的典型听力图

还不至于发生语言交谈的障碍。在噪声性耳聋的后期(图3)，听力损失将向整个频段延伸，下降的程度也进一步加深，直接影响语言频段，这时就会在生活中表现出耳聋的症状。图3中的曲线已扣除了老年性耳聋的影响。

噪声性听力损失是属于听神经的器质性损伤，所以气导和骨导的听力都有下降。

3. 传导性病变产生的听力损失

传导性病变是指声波从耳道、鼓膜到中耳听骨和中耳腔直至镫骨底板和卵形窗传导过程中各环节出现的病变。这类的典型病例是鼓膜破裂、中耳听骨链出现病变、中耳炎患者以及某些患有耳硬化症的病人。传导性病变在听力图上出现的听力损失，往往是低频部分（250Hz）听力损失同高频部分一样下降，甚至低频比高频下降得还多，这是传导性听力图的特点。由于传导性病变只出现在声波传导过程各环节上，内耳是完好的，所以虽然气导听力有明显下降，但骨导听力基本正常。

4. 内耳病变产生的听力损失

如果内耳螺旋器的基部出现病变，则听力将在高频部分下降；若病变出现在螺旋器的顶部，则听力下降主要在低频部分。当整个螺旋器出现病变时，听力将在所有频率范围都有下降。内耳病变将使气导和骨导同时下降。

有一种所谓“响度重振”的现象，可用来诊断内耳病变。这个现象表现在低声强时两耳分别判定同一声强的响度相差很大，例如差20方，但声强增加后，两耳的差别就逐渐消失了。响度重振是内耳螺旋器出现病变所特有的症状，中耳病变、老年性和噪声性耳聋均无此种现象。

四、噪声性耳聋及其防治

噪声会引起耳聋，已在上世纪就发现了。噪声对听力损伤的研究也已有上百年的历史，但一直停留在少数病例的分析上，没有得到大量数据，因而无法从统计上总结出噪声同听力损失关系的规律。这种状况一直持续到本世纪五十年代才开始有了眉目。首先是美国标准协会

Z24-X-2 委员会,而后是英国卫生协会和物理学会,联邦德国的标准协会,分别对各工业部分作了大量的调查研究,包括噪声引起暂时性听力移动(TTS)同噪声级的关系,TTS同永久性听力损失(PTS)的关系,噪声级对耳聋发病率的关系等等。现在已经得出了一些关于噪声级(A声级)同听力损失的定量规律。

噪声按其性质分为两大类:一类是稳态的连续噪声,如各类机器运转发出的噪声,它的特点是噪声级虽有起伏,但基本上是连续的,噪声持续地对人产生作用;另一类是脉冲性噪声,如枪炮声、爆炸声等,它的特点是只在某一短暂时间内对人产生作用,但往往峰值强度很大。由于这两类噪声及其导致的听力损失各有特点,所以必须分别加以讨论。

1. 稳态噪声的危害及其评价标准

根据近一、二十年的研究,已经发现稳态噪声引起听力损失的原因和规律。噪声作用引起的听力损失,主要是由于暴露在噪声下累积的声能量决定的。换句话说,噪声性听力损失遵守等能量规律。按照这个规律,暴露于噪声环境中累积的声能达到一定数量后,就将会造成永久性听力损失。累积的声能越多,听力损失就越大。

国际标准化协会(ISO)已正式颁布了关于A声级(dB)同噪声性耳聋发病率(%)的数据。根据ISO的规定,500Hz,1000Hz和2000Hz三个频率听力损失的算术平均值超过25dB者,定义为患有“噪声性耳聋”。它的发病率同A声级的关系如表1所示。表1列出的数据是对八小时工作制而言的,并且对老年性听力损失的影响已经扣除。

当然,要预防噪声性耳聋,就应该把各种噪声,特别是工业噪声降低到80dB以下,但这往往是不可能的。就目前技术发展的水平看,要预防噪声性耳聋首先应制定出一个各工矿企业和各类车间经过努力能够达到的允许标准,并能真正贯彻执行。在制定噪声允许标准时,表1列出的数据是很有参考价值的。

从表1可以看出,评价标准定在85dB是比

表1 ISO公布的噪声性耳聋发病率同A声级的关系

噪声性耳聋发病率(%) A声级(dB)	暴露年限(年)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
80	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	1.0	2.6	4.0	5.0	6.1	6.5	8.0
90	0	3.0	6.6	10.0	11.9	13.4	15.6	17.5
95	0	5.7	12.3	18.2	21.4	24.1	26.7	28.3
100	0	9.0	20.7	30.0	35.9	38.1	40.8	41.5
105	0	13.2	31.7	44.0	49.9	54.1	57.8	57.5
110	0	19.0	46.2	61.0	68.4	73.1	73.8	71.5
115	0	26.0	61.2	79.0	83.9	86.1	84.3	89.5

较合理的,因为工龄长达20年出现噪声性耳聋的百分率只有5%。但考虑到目前工业水平和经济条件,选择90dB作为允许标准也勉强可以,因为暴露在90dB噪声下20年发病率只有10%多一点。目前一般工业发达的国家,如美、苏、日等国都定在90dB,只有少数西欧生活水平较高的国家如瑞士、瑞典、丹麦等,才定成85dB。

我国在八十年代曾颁发过一个试行标准草案,规定老厂90dB,新建厂85dB。但从最近几年实施的过程中发现,85dB对很多厂是不太现实的或者是不很经济的。就目前我国经济现状看,90dB比较合适。

对于某些噪声级很大、目前技术又无法降低的噪声,例如某些金属结构厂的铆钉、平板等,可适当安排工人的工种,适当缩短工人在强噪声下操作的时间来预防噪声性耳聋。我们知道,表1是对每天八小时在噪声下工作的工人而言的,如果每天暴露在噪声下的时间不足八小时,则可按表2列出的数据对允许A声级作相应的提高。表2中第一行列出的允许A声级是按等能量规律制订的;第二行是根据若干调查数据制订的。我国目前规定按第一行的允许值执行。

至于那些噪声很大、又要求工人八小时连续操作而目前尚无法降低噪声的车间,如织布车间等,则可以暂时推广利用耳塞或耳罩加以保护,以免工人听力进一步下降。在低频段,耳

塞的减噪量优于耳罩,耳塞减噪量约10~15dB,

表2 每天在噪声下暴露时间与允许的A声级

允许A声级 (dB)	每天暴露时间(小时)					
	8	4	2	1	1/2	1/4
1	90	93	96	99	102	105
2	90	95	100	105	110	115

耳罩只有约10dB;但在高频区,耳罩的减噪效果要比耳塞好,耳罩可达40~45dB,耳塞只有30dB左右。

对于A声级在85—90dB的车间,以及A声级超过90dB并需佩戴护耳器的车间,保健部门对在这些车间内工作的人员,应定期作听力检查,发现听力有严重下降者,应及时予以调动工种或采取其它措施。

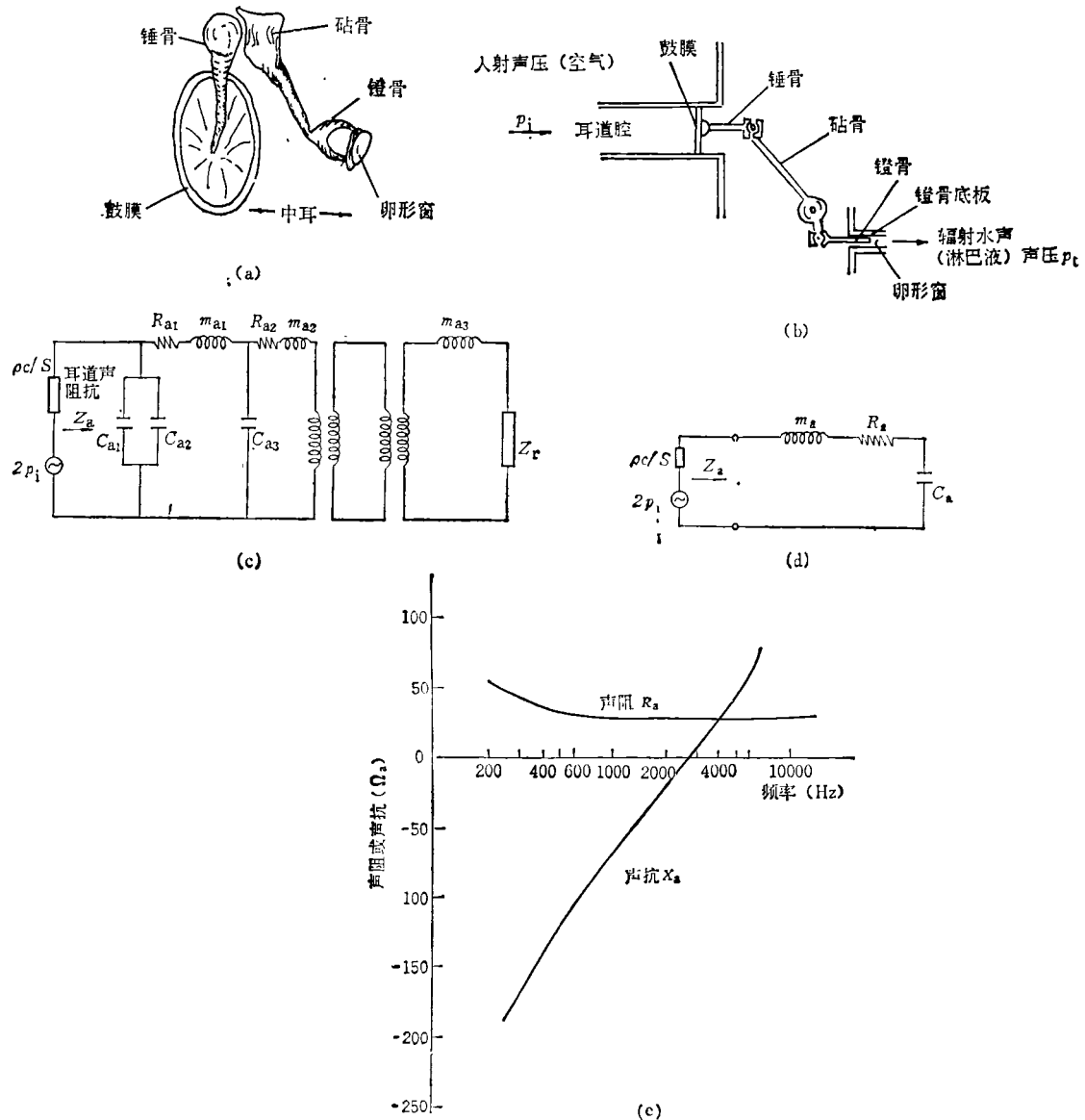


图4 外耳、中耳的构造和功能及其在耳道口上的声阻抗
(a) 解剖示意图; (b) 力学模拟图, 声压增量 $= p_t/p_i = 17$; (c) 声电类比线路; (d) 简化线路; (e) 耳道口上正常人的声阻抗曲线

2. 脉冲声引起的听力损伤及其评价标准

射击、爆炸等脉冲声对听力的危害,目前尚研究得不够充分,虽提出过若干建议,但都没有公认为正式标准。

美国听力和生物声学委员会(简称CHABA)曾在1963年提出脉冲峰值允许的最大声压级 $L_p(\text{dB})^{[1]}$

$$L_p = 173 - 6.6 \lg T - 5 \lg N, \quad (3)$$

式中 T 是脉冲的持续时间 (ms), 即峰值下降 20dB 时脉冲宽度的时间间隔。按 CHABA 规定, T 小于 $25 \mu\text{s}$ 时作 $25 \mu\text{s}$ 计; T 大于 200ms 则按 200ms 计。 N 是每天经受到的脉冲次数。

我国梁之安等人根据若干实测数据, 在 1982 年也提出一个相似的建议^[2]:

$$L_p = 177 - 6 \lg TN, \quad (4)$$

式中符号与(3)式同。按文献[2]规定, T 只适用于 1—100ms 范围, 小于 1ms 以 1ms 计; 大于 100ms 以 100ms 计。

把这两个建议相比较, 在 T 和 N 均适合的范围内, CHABA 建议约比文献 [2] 建议的低 3~5dB。

五、耳道声阻抗及其在耳病诊断上的应用

图 4 所示是外耳和中耳的构造及其等效声阻抗。图 4(a)是外耳和中耳的剖面示意图。图 4(b)是等效的力学装置。声压 p_i 入射到耳道口后, 沿耳道传入。耳道相当于体积为 1ml 的小腔, 等效于声顺 C_{a1} 。鼓膜是直径约为 1cm 的圆锥状弹性膜, 它的弹性部分等效于声顺 C_{a2} ; 它的惯性部分等效于声质量 m_{a1} 。中耳腔内锤骨和砧骨构成以锤骨头和砧骨体相连的关节为轴的第一组杠杆。第二组杠杆是由镫骨和卵形窗构成的, 以镫骨底板的后缘为转动轴。杠杆系统在力学上的作用是把作用在鼓膜上的力放大, 故两组杠杆系统在类比线路上相当于一组升压变压器。鼓膜与镫骨底板的面积比约为 10:1, 这也等效于一组升压变压器。由于这两组升压变压器的作用, 使作用于鼓膜上的压力同镫骨

底板作用于内耳淋巴液上的压力之比是 1:17, 即压力可放大 17 倍。

图 4(c)示出了外耳和中耳的类比线路。图上, C_{a1} 和 C_{a2} 的组合将使总声顺增加, 所以这两个声顺在类比图上是并联的。 C_{a3} 代表中耳腔的声顺, m_{a2} 等效于中耳听骨运动惯性的声质量。杠杆系统和面积比的压力增益由两组理想变压器表示。负载声阻抗相当于镫骨底板的声质量抗 $j\omega m_{a3}$ 和向内耳辐射声波的辐射声阻抗 Z_r 。

图 4(c)经过简化, 可用等效声质量 m_a 、等效声阻 R_a 和等效声顺 C_a 相串联的简化线路 4(d) 来表示。由此可见, 正常耳道口的声阻抗, 在低频时是负抗, 由声顺决定。随着频率升高, 声抗的绝对值减小, 到约 2500Hz 时, 声抗为零, 即达到共振。频率再升高, 抗值就趋于正值, 声质量起主导作用。正常人声阻和声抗的数值示于图 4(c) 中。如果中耳发生病变, 就会反映到声阻抗的数值上来。病耳声阻抗同正常人耳之间的差别, 可作为中耳病变的诊断依据。一般声阻 R_a 的变化不大, 但声抗 X_a 变化很大, 且对耳部出现的病变反应也很灵敏, 所以声抗具有很大的诊断价值。

声阻抗诊断之所以引起医学界的重视, 在于中耳病变是在中耳腔内。中耳腔完全被鼓膜封住, 无法用透视镜检查。如必须检查, 就只好作耳外科手术, 把鼓膜打开或从乳突骨处凿开, 有时还得摘除听骨。这就必然造成严重听力损失的后遗症。现在用声阻抗检查, 它只需在耳道口上测量, 不触及鼓膜和中耳腔, 对病人既无痛苦, 也无后遗症之忧。所以, 利用声阻抗测量外耳道阻抗以诊断中耳病变的方法公布后, 很快引起各国耳科医师们的重视。

现已有很多文献介绍声阻抗在诊断耳科疾病上的病例分析^[3], 这里只举几例。

耳硬化症或镫骨底板出现硬化病变, 将导致听骨链声质量的增加, 弹性减少。这在声阻抗上将表现出质量抗(正值抗)增加, 共振频率降低。相反, 如果听骨链间的关节脱落或由于中耳病变而松动, 则等效声质量将减少, 并使共

振频率向高频推移。如果在中耳腔内由于中耳炎而充满浓血,则鼓膜的弹性将明显下降,有效声质量有所增加。这将反应在低频部分的抗值要比正常人负得少一些,即在相同的频率范围内绝对值比正常人的抗值要低,且使共振频率向低频移动。声阻抗的测量还可以用来诊断中耳肌收缩功能是否正常。

对于气导听力测试出现单耳听力有明显下降的病人,可利用声阻抗测量来鉴别是器质性病变还是神经性病变,甚至是否“假病”。因为声阻抗测量是客观测量,不需通过被试者的主观反应来确定。

当然,声阻抗测量目前尚有若干问题需进一步研究,测量方法比较复杂有待改进,并且测量结果的精确性还取决于操作人员技术的熟练程度。但在国外,声阻抗诊断已开始应用于门诊和住院病人的耳病检查。可以相信,随着测量技术的发展,声阻抗诊断必将日臻完善。

参 考 文 献

- [1] R. R. A. Coles et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, **43** (1968), 336.
- [2] 梁之安等, *声学学报*, **7**(1982), 372—378.
- [3] A. S. Feldman, *J. Speech and Hearing Res.*, **6** (1963), 315.

(上接封三)

内外有影响的物理学期刊上的评述介绍性文章题目。动态栏还应组织有关国内申请科研基金的动态的稿件。

(6) 根据广大读者的迫切需要,选择比较受欢迎的专题,开展专题系列的组稿工作,力争每年出二至三期专刊。1986年拟出一期纪念尼尔斯·玻尔诞生100周年专刊和两期光电探测元件的性能、选择和使用专刊。

(7) 本次会议上,与会编委根据本专业领域和本地区、本单位的具体情况,提出了不少比较好的组稿选题。希望各位编委在会议结束后立即开展组稿的落实工作。

三、关于如何发挥北京地区以外编委(以下简称京外编委)的作用问题。会议认为,要发挥京外编委的作用,应该明确京外编委的职责。经讨论认为,京外编委的主要职责是:

(1) 与各省市物理学会建立联系,参加他们组织的学术活动,开展组稿工作。

(2) 审查编辑部委托审查的稿件和编委本人组织的稿件。

(3) 以最快的速度向编辑部反映本分支学科、本专业领域和本地区的最新发展信息和改进编委会和编辑部工作的建议。收集和反映读者意见。

(4) 接受编辑部的委托参加当地召开的有关学术会议,了解会议情况,组织有关稿件。

四、为了使各栏办出特色,每个栏目将由一至两位京区编委分管。会上确定了分管栏目的京区编委人选。同时建议编辑部也按栏目进行分工,以便配合分管栏目的编委开展组稿工作。

(本刊编辑部)