

纯音听阈测试

纯音听阈测试

顾 瑞

纯音听阈是受检耳对不同频率的纯音恰能听到的最轻声。纯音听阈测试的目的是了解受检耳对不同频率纯音的听敏度。

一、纯音气导测听

测纯音气导听阈是临床听力学最基本的操作。将测得的纯音听阈和“正常听力标准”比较,可提供对听力减退的诊断和处理的依据。

(一)影响测试听阈的一些因素:

1. 两台经过定标符合要求的听力计同时测同一受试者,结果可不相同。因为定标允许有一定的差距(虽250~3000赫有 $\pm 3\text{dB}$ 、4000赫有 $\pm 4\text{dB}$ 、或250赫以下、4000赫以上有 $\pm 5\text{dB}$ 的差距,仍符合标准要求),所以两台听力计测得的结果就有可能相差5~10dB。

2. 用上升法(从听不到渐加至能听到)和用下降法(从听到大声渐降到听不到)测试听阈也会有不同的结果。特别是用连续的强声作下降法检查时,由于疲劳现象可比上升法测得的听阈差12dB。

3. 听力计的最大输出和最小输出都受到设计的限制,一般气导输出在 $-10\text{dB} \sim 110\text{dB}$ 间(低频和高频最大输出在 $80 \sim 90\text{dB}$)。最大骨导输出在60dB左右。儿童的听力可比最小输出的还好,有些聋耳只能感觉比最大输出还强的声音。作纯音听阈测试应了解听力计这方面的限度。

4. 气导耳机的膜片应对准外耳道口,否则听阈可比应有的差(甚至差15dB)。在少数人气导耳机可把外耳道压瘪,而使言语频率听阈差15~20dB。如没有传音系统病变的临床表现,却有气骨间差距,或气导听阈比预期的差时,就应改用手持气导耳机,让耳机对准外耳道口但不压住耳廓,这样复测听阈,如听阈比前次查的好,就表明原先有外耳道压瘪现象存在。

5. 对被试者讲明测听的目的和应如何配合,是很重要的。应该让受试者对他听到的具有纯音性质的声响作出反应,而不是对不同于静寂的任何现象作出反应。

6. 测试环境的本底噪声不应超过如表1所示的“最大可允许声压级”:

表1 最大可允许声压级

倍 频 程	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
声 压 级	40	40	40	40	40	42	47	52	57	62	67

测试环境太热或通风不好,使病人不舒服,甚至嗜睡,可影响听阈测试。

(二)测试前的准备

接通电源。如为晶体管听力计接电源时应注意火线和零线。如为电子管听力计就必须预

热 10~15 分钟。

测试者应很熟悉自己的听阈，每天开始工作前先通过气导耳机、骨导耳机和扬声器，试听不同频率不同声级的信号(包括噪声)，了解听力计是否工作正常，定标是否基本正常。如不正常，可先检查耳机插头是否松脱，摇拽和扭转电线有无电线断裂，拧紧耳机外壳看是否松动。

检查音量控制盘是否松动错位，如松动错位，应即对正并重新定标。

从耳机中听在转动键盘或按键钮时有无机械性卡嗒声；在 50dB HL 和听阈处有无电卡嗒声，在给声和不给声时有无交流声。以及听有无窜音(cross-talk)，(纯音信号从测试耳漏至非测试耳称为窜音)。如果在测试时发现一原先较差的耳现在突然对一个或两个频率的听阈有明显“改善”，就应想到有窜音的可能。因为漏出的信号强度是不变的，(一般在 15 到 20 dB HL 间)，所以不受音量控制键盘调控的影响，在“最小输出”时也还能听到。这只要用 40 dB 左右的轻噪声掩蔽非测试耳，就可消除。

还应通过耳机从最大输出到最小输出逐档减小音量，听纯音和噪声衰减是否为线性的(每减一档都有相应的响度减弱)，有没有在某一档时不再减弱或不再有声输出的现象。

(三)纯音测听时受检者应怎样配合

被检查的病人在年龄、智力、文化程度和是否配合等方面有很大的差异。在检查成人与儿童，聪明的和痴呆的，乐于接受检查的和疑虑不安的等不同对象时，也很不相同。应根据病人的具体情况，用言语、笔写或手势、示范等方法来使受检者了解检查的目的，和怎样配合。要使受检者懂得他刚好能听到的就是要测的听阈，两耳要分别测试，只要听到测试信号就应作出反应。

受检者的反应。有的听力工作者让受检者在听到时举手，听不到时把手放下；有的用右手表示右耳听到，左手表示左耳听到。在接近听阈时受检者举手反应迟疑，不像在能清晰地听到时那样敏捷。但有时受检者在听不见时会忘了把手放下来或只停在中途。也有用伸屈食指来表示听到或听不到的。在两室测试时，可能看不清食指，较常用按指示灯的电钮、但这不像举手法那样能观察到在接近听阈时的反应迟疑现象，而且在儿童也往往不适用。在儿童常用“有声音”，“没有”，“听到了”，“没听到”来表示。

测听时往往会遇到假阴性反应或假阳性反应，假阴性反应是由于病人不懂或忘了该怎样配合，而在听到声音时不作出反应。在不给声时病人作出反应是假阳性反应。在长时间无声时，多数受检者会作出反应。如果假阳性反应影响检查结果的准确性，就应把检查放慢，观察受检者，这往往会有更多的假阳性反应。应向受检者再次说明怎样配合。然而有时就是这样做也不能完全消除假阳性反应。

(四)被测者的位置

在检查时很重要的一点是不能让受检者看到检查者。因为检查者一些细微的动作，如眼、臂、手的运动，都可暗示受检者，使受检者知道已发出信号。在单室测听中，受检者坐在检查者的前方，二者成 90°。这样检查者可观察到受检者的面部表情，而受检者却看不见检查者。在双室测听中，应确实做到受检者不可能看到检查者。有些听力学者认为纯音听阈测试以在单室中进行较好。

(五)测试步骤

戴耳机时先请受检者尽可能取掉眼镜，耳环和头饰必须取掉。将耳机架的双轭拉至最伸

展的位置，把头带放在头顶，不要考虑对受检者发型的影响，拨开所有影响戴耳机的头发，把耳机的膜片对准外耳道口，收紧耳机架的双轮，使耳机和耳部密合。注意将红色标志的(或其它标明为右的)耳机戴在右耳，兰色标志的(或标明为左的)耳机戴在左耳)。

有些听力学者主张先查较佳耳，因为这样便于了解需否加掩蔽。一般从1000赫开始测试，因为1000赫在言语频率范围内，受检者易于了解需要他听的是什么。如从250赫开始，受检者有时不能肯定要听的是什么。只有在高频损失极重时，才从250赫开始测试。从1000赫开始依次测试1000，2000，4000，8000赫，而后复查1000赫再测500，250赫。测另一耳可接着从250赫开始，不必从1000赫开始。有的听力学者认为125赫的听阈可提供有价值的材料，有人则认为可以从250赫推断出125赫的听阈。有人认为测试6000赫比测8000赫更有价值，因为在较高频率定标有时较困难。有些听力学者还主张测试包括750，1500，3000和6000赫在内的半倍频程听阈。我们知道人的听觉范围在20~20,000赫左右。这包含19,980个不同频率。要每个频率都测试是不现实的。临床工作中只测不到10个频率就足以了解受检耳的听功能状态了。我们常规测试的是250，500，1000，2000，4000和8000赫六个频率，如果在2000赫以上相邻的两个频率的听阈相差悬殊或8000赫最大输出未引起听觉时，就加测3000及/或6000赫。

有的听力学者用自动脉冲音，有的用手控脉冲音，最初应既给持续时间短，又给持续时间长的测试者。让受检者在听到声音时伸食指(或作其他反应)，听不到了就立刻放下。如果反应迟钝就再次向受检者说明。测试过程中，测试者一手控制衰减键盘，一手控制阻断器。在转动衰减键盘时不应给声，否则会有键盘摩擦声引起混淆。

姓名_____ 性别_____ 年龄_____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	12000	初步诊断: _____
-10													附记:
0													
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													
80													
90													
100													
110													

dB

听力计型号_____ 测听者_____

气导

右: ○ △

左: × □

骨导

右: < [

左: >]

图1 听力表

有的听力工作者用渐降法，有的用渐升法，有的用分档升降法。Carhart 及 Jerger 的分档升降法的操作步骤如下：

从 40dB HL 开始，如听不到，就加 30dB，如仍听不到就再加 15dB，这样 10 至 15dB 一档地增加，直至听到纯音，或达到听力计最大输出。如能听到，就降 15—5dB。降至听不到时又 5dB 一档地增加。这样加 10dB 降 5dB 地，从上下两侧向听阈逼近。最后能对测试音作出 50% 的正确反应（即给 6 次声，至少能正确作出反应 3 次）的一档即为听阈。

每次给声音的时间持续 1 至 2 秒。给声之间的间隔时间应时长时短，避免有节奏地给声而引起发报样刺激。测得听阈后，可给长一点的纯音刺激，观察有无异常听衰减现象（听衰减测试参阅阈上功能检查）。

测得听阈应记录在测听表上。有人用表格式记录各测试频率的 dB 值。一般记录成听力图（audiogram），任何形式的测听记录都应包括以下项目：病人姓名，性别，年龄，检查日期，所用仪器的型号，测试者签名，并应注明估计测试的可靠程度（图 1）。

听力图的格式和其它图表不同，0dB 不在底部而靠近顶部。记录纯音听阈的常用符号是红○代表右耳气导听阈，兰×代表左耳气导听阈。在非测试耳加了掩蔽的情况下测得的气导听阈，右耳用红△表示，左耳用蓝□表示。如对听力计的最大输出也听不到，就在最大输出的 dB 值处用↓加相应的听阈符号来表示（图 2）。

		听阈符号				“无反应”符号			
		气导		骨导		气导		骨导	
右耳	未掩蔽	○	○	◁	◁	○	○	◁	◁
	掩蔽	△	△	□	□	△	△	□	□
左耳	未掩蔽	×	×	▷	▷	×	×	▷	▷
	掩蔽	□	□	△	△	□	□	△	△

图 2 气导、骨导听阈符号

测得各个频率的听阈后，用红线将右耳各频率听阈和用兰线将左耳各频率听阈，联成听力图。如果最大输出也听不到，则这个（或这几个）听不到的频率不联线。

（六）测试结果分析

单项气导听阈只能提供判断听力的好坏的根据，不能为诊断和处理提供充分的材料。

言语频率指 500，1000 及 2000 赫。这三个频率听阈的平均 dB 值可较好地反映受试者听懂言语的阈值。一般对听力损失程度的分级也根据言语频率平均听阈来划分（表 2）。

在分析听力图时，应对“窜音”的可能有所警惕，图 3 示左耳听阈曲线在 2000 赫处有“窜音”现象。

表2 听力减退分级

150—1864(dB)	听 力 损 失 分 级	困 难 程 度
-10~26	正 常	
27~40	轻度听力减退	听轻声或远处说话困难
41~55	中度听力减退	在1~1.5米以外, 交谈困难
56~70	中重度听力减退	大声说话才能听懂
71~90	重度听力减退	距耳近处可听到大声说话
91以上	极度听力减退	不能听懂大声喊话

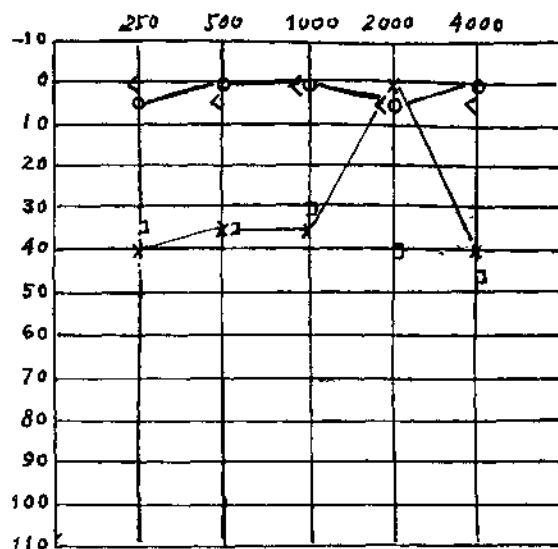


图3 左耳2000 赫听力异常好, 为噪音所致

在儿童和有些听力本来很好的成人, 虽有 20~30dB 的听力损失, 但从听力图来看却仍在正常范围内。

Green 认为观察受试者的伸指反应有助于诊断。他将“有用的手指观察”(useful finger observation, UFO)分为六型:

1. **半抬指**。受试者不能肯定是否有声音, 但半抬指反应是正确的, 再加 5dB 就会完全抬起食指。在听阈上下测几次后, 被测者可有烦躁, 出汗等紧张的表现。这是正常或传音性聋者认真听并想弄清究竟自己是否听见最轻声的表现。

2. **过敏指**。耳蜗病变时反应异常活跃。

3. **体指**。老年性聋, 抬指时整个肢体都动。

4. **诈指**。包括 a) 延迟反应——只在给声时间比一般持续久的时候才作出反应。b) 扩张反应——只对越来越大的刺激作出反应, 如:

40dB; (+), 30dB; (-), 35dB; (-), 40dB; (-), 45dB; (+), 35dB; (-);
40dB; (-), 45dB; (-), 50dB; (+)。

诈指常伴手过度动作, 为非器质性聋或夸大性听力损失的表现。

5. 反诈指。手指在没有信号时也举着,为手术前后精神紧张或伴有耳鸣的表现。这种病人测试困难。

6. 疲劳指。反复说明后仍在停止给音前(即还有声刺激时)放下手指,可为脑瘤或其它蜗后病变的首发体征。

对耳鸣的患者难以测试者可用啭音(warble tone)或脉冲音代替纯音测试。对婴儿也可用啭音或容带噪声测试。

二、纯音骨导测试法

(一)骨导耳机或称为骨导振动器(vibrator)。听力计的骨导输出是使信号到达一小的塑料外壳。这外壳有一与颅骨面相适合的浅凹面。骨导耳机发出信号的是被振动的外壳,而不是像气导耳机那样振动一层薄膜。骨导耳机要振动塑料外壳并使颅骨振动,所以要有较大的能量,否则就不足以引起正常的听觉。

按国际电工委员会(IEC)和美国国立标准研究院提出的仿真乳突的机械阻抗特征标准,相应的骨导耳机应该是具有1.75平方厘米的圆形接触面和与颅骨耦合静力为5.4N的(1N=102克)。现有的骨导耳机的接触面多不符合上述要求,而固定骨导耳机于颅骨的头带的平均静力也在3.4N以下。骨导耳机在乳突部的静力太小或太大都会影响听阈。

现在听力计的骨导耳机多为助听器式的,这比老式的骨导耳机谐波失真大,特别是低频更明显。助听器式骨导耳机是整体都会振动的,放在乳突处时可因接触耳廓而将声波传至外耳道。同时它不像老式助听器外面包了橡皮之类的外壳,所以它不仅可通过凹面振动乳突骨质(颅骨),而且可振动周围的空气,难以避免声波经空气传至外耳道(经气放射)。特别是在4000赫(以及2000赫)可因经气放射而得出假性骨气间差距。

夹持骨导耳机的轭又是夹在它的振动的外壳上,这就更有可能影响骨导耳机的频率响应特征。

通常将骨导耳机放在乳突处测骨导听阈。这是因为:1)在正常听力者于乳突处测骨导最响,2)所测的位置离耳最近。振动物放在颅骨上任一点,对双侧内耳起到的刺激是大致相同的。骨导的耳间衰减很小。

放在额部测骨导有三个优点:1)复查时准确性大,2)个体差异小,3)受中耳影响小(中耳病变者从额部比从乳突处测得的听阈好)。放在额部测骨导的主要缺点是平均要增加10dB左右才能达到听阈(表3)。

骨导耳机在乳突上的位置不同,对听阈的影响可相当大,甚至可相差20dB。当测得的骨导听阈比气导听阈差时,应考虑和骨导耳机的位置有关。

应注意一般听力计的骨导最大输出不超过60dB(或70dB),应熟悉所用的听力计的气导和骨导最大输出。在250~1000赫接近最大输出时,极度聋者可能会对振动感作出反应。有时只有用阻抗测听来作进一步检查才能判断究竟患者是对听觉还是对触觉作出的反应。

通常只测试250~4000赫五个倍频程频率的骨导听阈。从TDH-39型耳机等听力计常用耳机送出的噪声对8000赫纯音的掩蔽效应极差。

(二)骨导听阈测试法。

用乳突区查骨导时,所有的头发都应拨开,骨导耳机的凹面面向颅骨。在经骨导耳机给40dB HL信号的同时,移动骨导耳机,寻找听得最好的部位。用头带(发卡式)使骨导耳机紧贴乳突。

表3 从额部和从乳突部测得骨导听阈之差
(4种助听器式骨导耳机, 6个实验室的数据)

作 者	耳 机	250	500	1000	2000	4000
1 Studebaker (1962)	Sonotone B-9	15.2	16.0	10.0	12.9	9.7
2 Dirks (1964)	Sontone B-9	10.0	9.4	6.1	8.7	5.2
3 Wittle (1965)	BV 11	14.5	17.1	11.9	5.1	-3.0
4 Weston 等 (1967)	Radio ear B70-A	16.7	15.2	3.9	7.0	6.9
5 Studebaker (1967)	Radio ear B70-A	13.4	16.6	12.0	10.0	8.6
6 Dirks 等 (1968)	Radio ear B70-A	14.9	13.4	10.6	13.5	7.7
平 均		14.6	14.3	9.2	9.5	5.5
标 准 差		2.2	2.8	3.3	3.2	4.5

在常规骨导检查时, 两耳都不加掩蔽。有些国家(欧洲)查骨导听阈时, 将耳机罩在双耳上, 美国不主张这样做。当正常耳和感音神经性听力减退耳罩上耳机测骨导时, 可能由于堵耳引起骨鼓传导的改变, 而使 1000 赫以下频率的骨导听阈改善。这叫堵耳效应(occlusion effect)(表4)。在传音性聋的病人罕有堵耳效应者。由于堵耳效应的个体差异相当大, 很难定标, 所以很多听力学者都不在堵耳的状态下测试骨导听阈。

表4 堵耳效应(戴 TDH-39 耳机 MX/41AR 垫测骨导的堵耳效应)

频 率 (Hz)	250	500	1000	2000	4000
堵 耳 效 应 (dB)	30	20	10	0	0

英国 Huizing(1960)认为堵耳测骨导听阈可排除环境噪声的掩蔽而测得绝对骨导听阈。但后来的研究表明堵耳效应并不是由于排除了环境噪声的掩蔽所致。Tonndorf(1966)认为堵耳效应可能是由于在堵耳时排除了外耳道敞开时的高通效应的结果。

在乳突处测骨导, 用气导耳机罩耳很难避免不触及骨导耳机。这样气导耳机加在耳部的力量不同, 而可影响堵耳效应的大小, 因此测得的骨导听阈会有差异。

先测试哪侧耳的骨导听阈并不重要, 因为实际上并不真能知道是在测哪只耳。

按测试气导听阈的步骤测试骨导听阈。将结果按以下符号记录在表上(表5)

表5 气导、骨听阈符号

	气 导 听 阈			骨 导 听 阈		
	未 掩 蔽	掩 蔽	无 反 应	未 掩 蔽	掩 蔽	无 反 应
右	○	△	♂ ♀	<	□	↗ ↘
左	×	□	↙ ↘	>	□	↙ ↘

三、掩蔽法

在临床测听技术中，可能最不易懂和最难于正确应用的是掩蔽。

测试单耳听力减退者或两耳听力损失不对称者，当给较差耳以测试音时，测试音可经颅骨传至对侧较佳耳。如果不对较佳耳加掩蔽，就有可能得出影子曲线。

(一)气导测听和骨导测听中的越边听力(cross-hearing)——从气导耳机送出的声音可经过骨传导的途径传至对侧耳蜗。从头的两侧的气导耳机发出的声音传到另一侧的耳蜗的过程中，会丢失一些声的能量。这种能量的丢失称为耳间衰减(interaural attenuation IA)。耳间衰减在不同频率和不同个体均有差异。用标准的听力计耳机(TDH-39及MX-41/AR 垫)的耳间衰减在40~80dB之间(表6)。

表6 耳间衰减值(dB)

	250	500	1000	2000	4000
A Coles 及 Priede, 1968	61 (50~80)	63 (45~80)	63 (45~85)	63 (45~75)	68 (54~85)
B Zwisch, 1953	45	50	55	60	65
C Synder 等, 1973	35~70	45~75	45~75	40~80	40~80
D 陈新等, 1982	59 (40~70)	62.5 (50~75)	63 (45~80)	64 (45~80)	61.5 (45~80)

骨导的耳间衰减一般不明显，有时还可为负值(聋耳从乳突测得的骨导听阈比有听力耳从乳突测得的好)。

0 什么情况下要加掩蔽?

(1) 受测试耳的气导听阈比非测试耳骨导听阈差40dB以上时，测气导听阈应在非测试耳加噪声掩蔽。

(2) 受测试耳有气骨间差距时，测骨导听阈应加掩蔽。

(二)掩蔽噪声。

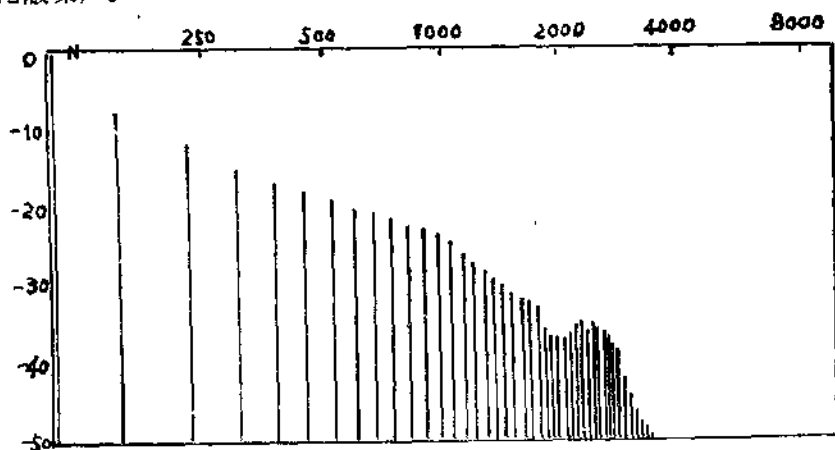


图4 复合噪声从PDR-8耳机输出的声谱

1. 复合噪声(complex noise)是以低频为基础加上低频的共振声组成的。共振声的频率越高强度就越小(图4),因此只对低频掩蔽效果较好。较便宜,手携式听力计多用这种噪声,不为听力学者所接受。

2. 白噪声(white noise)也称为热(thermal)或 Gaussian噪声。从听力计耳机(TDH-39型耳机)发出的白噪声在6,000赫以下的频谱范围内各频率的能量相等,6,000赫以上的强度迅速减弱(图5)多数听力计有白噪声。准确地说,这种从耳机发出的白噪声应称为宽带噪声。

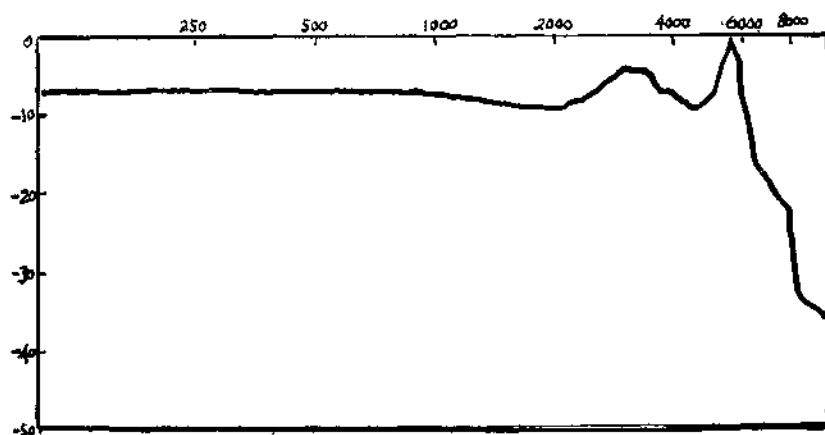


图5 白噪声经 TDH-39 耳机输出的声谱

一种较少用于听力计的频谱较宽的,在2,000赫以下各倍频程的能量相等的噪声为粉红噪声(Pink noise)。经过滤波后250~1,000赫间为等能量的,1,000~6,000赫每倍频程递减12dB的白噪声,适于在言语测听时作掩蔽用,称为言语噪声(speech noise)。

3. 窄带(narrow band)噪声。经带通滤波后,宽带噪声可成为不同频段的窄带噪声。窄带噪声的带宽是从能量不低于峰值3dB的频率范围来决定的(图6)。窄带噪声的特征包括:1)它的中心频率,2)它的带宽,3)它的排斥率(频带上下两侧一个倍频程的强度减少量)。

对纯音掩蔽,最有效的是以纯音为中心的邻近一定宽度范围内的噪声带。一宽带噪声,只有其中有限的一段频带起着掩蔽作用,其余频段则是多余的累赘,只对受试者以额外的声压和响度,并不能增加掩蔽效应。

由于一台听力计发出的窄带噪声都是由同一白噪声滤波而成的,所以各窄带的强度基本一致。

(三) 相对掩蔽效率

噪声的掩蔽效率,是它的全面强度级和它引起多少阈移之间的关系。全面强度级相等的复合噪声、白噪声及窄带噪声,对同一耳引起的阈移并不相等。其中引起阈移最大的一种,可被认为是效率最大者。

1. 临界带(critical band)。当用一宽带噪声掩蔽一纯音时,只有宽带噪声中的以该纯音为中心的有限的一段频谱带有掩蔽效应。例如白噪声为~6000赫的宽带噪声,其中只有从968赫到1032赫的一段频带,对1000赫起到掩蔽效应。在噪声掩蔽下恰能听到的纯音的声能量,和这一有限宽度的噪声带的声能量相等(表7)。

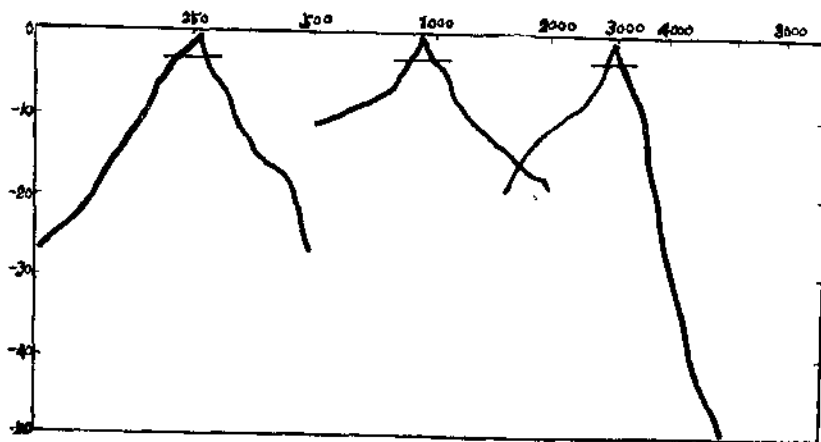


图6 经耳塞型耳机输出的三个窄带噪声的声谱

250 赫窄带

带宽: 55 赫

排斥率:

125~250Hz 19.0dB/倍频程

250—500Hz 23.8dB/倍频程

3000 赫窄带

带宽 300 赫

排斥率:

1500—3000 16.4dB/倍频程

3000—6000 48.4dB/倍频程

1000 赫窄带

带宽: 190 赫

排斥率:

500~1000Hz

7.6dB/倍频程

1000—2000Hz

16.2dB/倍频程

表7 11个测试频率的临介带宽

中 心 频 率	临 介 带 宽	
	以 Hz 为 单 位	10 log 临 介 带 宽
125	70.8	18.5
250	50	17
500	50	17
750	56.2	17.5
1000	64	18
1500	79.4	19
2000	100	20
3000	158	22
4000	200	23
6000	376	25.75
8000	501	27

根据 Hawkins 及 Stevens(1950)

对各纯音起掩蔽效应的噪声频带宽度是临介带宽。即不能比这一临介带宽窄，也不应比它

宽。如果噪声频带比临界带宽窄,就只有增加这一频带范围内的能量才能获得相同的掩蔽效应。如果噪声频带宽于临界带,则虽然全面强度级增加了,也不会增加掩蔽效应。也就是以临界带宽的噪声,可用最小的全面强度级达到最大的掩蔽效应。

例如对 1000 赫纯音,掩蔽噪声的临界带宽为 64 赫,如用白噪声掩蔽,则低于 968 赫和高于 1032 赫的声能,从掩蔽效应角度来说,都是无效的。决定噪声的掩蔽效率的不是它的全面强度级,而是临界带内的全面强度级。

掩蔽效率可从噪声的每周声级(level per cycle)来分析。80 dB 白噪声的每周声级(LPC)和 80 dB 窄带噪声的每周声级不同。这可通过以下计算证实:

$$\text{每周声级} = \text{全面强度级} - 10 \log \text{带宽}$$

现在白噪声的全面强度级为 80dB,带宽为 6000 赫;窄带噪声的全面强度级也是 80dB,但带宽为 200 赫,则

$$\begin{aligned}\text{白噪声的 LPC} &= 80 - 10 \log 6000 \\ &= 80 - 37.8 \\ &= 42.2(\text{dB})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{窄带噪声的 LPC} &= 80 - 10 \log 200 \\ &= 80 - 23 \\ &= 57(\text{dB})\end{aligned}$$

窄带噪声的 LPC 比白噪声的大 14.8dB。因此全面强度级相等的窄带噪声比白噪声引起的阈移可大 15dB。只要不窄于临界宽度,窄带噪声的宽度越小,掩蔽效率就越大。带宽决定于噪声发生器的滤波性能,不同发生器的窄带掩蔽效率不同。

2. 最小有效掩蔽级 (minimal effective masking level) 或称最小掩蔽级,是恰好足以对被测耳中的测试信号起到掩蔽效果的噪声强度。最小掩蔽级是在临床进行掩蔽时最少应加的噪声级。最大掩蔽级是恰好大到不足以传至被测耳掩蔽被测耳的测试信号的噪声强度级。

不同噪声的掩蔽效率不同,对所用的掩蔽噪声的掩蔽效率必须有充分的了解。听力计的噪声级键盘的 dB 值,是声压级。噪声的频带宽度不一定完全符合临界带宽。因此应了解每台听力计的有效掩蔽级。有效掩蔽级为临界带范围内的全面声能超过其中心频率的纯音阈值声能的 dB 值,也可以说有效掩蔽级是一已知声级的噪声在掩蔽耳中引起的阈移 dB 值。

有效掩蔽级 = 临界带内的能量 - 寂静时的阈值。

$$\text{临界带内的能量} = \text{LPC} + 10 \log \text{临界带宽。}$$

例如由 TDH-39 耳机加 80dB SPL 1000 赫白噪声。这里 $\text{LPC} = 80 - 10 \log 6000 = 42.2$ (dB),临界带宽为 64,寂静时的阈值按 ISO1964 听力计零级标准 1000 赫为 7dB,则其有效掩蔽级为:

$$\begin{aligned}\text{EM} &= \text{LPC} + 10 \log \text{CBW} - \text{静时阈值} \\ &= 42.2\text{dB} + 10 \log 64 - 7\text{dB} \\ &= 42.2\text{dB} + 18\text{dB} - 7\text{dB} \\ &= 53.2\text{dB}\end{aligned}$$

也就是对 1000 赫纯音听力为 0dB 的正常耳,80dB 的白噪声只能掩蔽 53.2dB 的 1000 赫纯音。

一般认为用耳上型耳机超过 40dB 即有传至对侧的可能。而用耳塞型耳机则可至 90dB 才传至对侧，用耳周型耳机要 60dB 才传至对侧。然而耳塞型和耳周型耳机较难定标，所以加掩蔽仍多用耳上型耳机。

(四) 纯音掩蔽噪声的定标

对听力计的掩蔽噪声的定标要求，是掩蔽级的键盘的线性准确，和清楚所用的强度参考(基准级)。

关于键盘线性的定标，最好是用电子电压表，测试耳机发出信号，从 -10 至 110dB 每 5dB 一档地校准每档是否相差 5dB。如果不是线性的，就应在键盘上标明校正值。

有些听力工作者以 SPL 或 HTL 作为掩蔽噪声的 dB 参考(基准级)。近年来通用“有效掩蔽”(effective masking, EM)。如前节所述，EM 的含义是：为一已知噪声级所引起的阈移的量。因此在 1000 赫，20dB 的有效掩蔽是恰足以使 1000 赫的 20dB HL 的纯音听不到的噪声级。50dB EM 足以使 50dB 纯音听不到，而可听到 55dB 的纯音。

如果对临界带的概念有透彻的理解，就可用心理声学的方法进行有效掩蔽定标。具体方法是在 12 名正常听力者按以下步骤进行：

1. 给一耳一个 1000 赫 30dB HL 的间断音，
2. 给同耳一噪声(以窄带为好)，
3. 每 5dB 一档地增加噪声，直至不再听到 30dB HL 的纯音，但再加 5dB 又能听到(即能听到 35dB 的纯音)。复核几次，得出准确结果。

4. 取能掩蔽 30dB 纯音的掩蔽级键盘所指部位的中值，这就是 30dB EM。可加 5~10 dB 作为保险系数。

5. 在掩蔽键盘上于比 30dB EM 少 30dB 的刻度处作出标志，即为 0dB EM(可加±保险系数)，或用一校正卡片标明要加多少 dB 于 0HTL 才能达到 0dB EM。

6. 上面步骤只得出 1000 赫的 0dB EM。还需按以上步骤对听力计所有频率进行测试，得出各个频率的 0dB EM。

得出有效掩蔽级后，只要用一个和要被掩蔽的纯音(HL)相等的 EM 级，就可以把这一纯音掩蔽掉。例如，如果 0dB EM 相当于 25dB HTL，则要掩蔽 40dB HL 的纯音时，就可用 0dB EM + 40dB(即 25dB HTL + 40dB HTL)的噪声来掩蔽，即掩蔽级键盘应指于 65dB HTL。听力计最大掩蔽输出减 EM 校正值，即为其最大有效掩蔽限度。

有效掩蔽级也可通过计算来得出。即按前面述及的公式来计算：

有效掩蔽级 = 每周声级 + $10 \log$ 临界带宽 - 静处阈值

例如白噪声最大输出为 110dB SPL，则 500 赫的有效掩蔽级可按以下步骤算出：

1. 每周声级 = $110\text{dB} - 10 \times \log 6000 = 110 - 37.8 = 72.2\text{dB}$

2. 有效掩蔽级 = $72.2 + 10 \log 50 - 11.5 = 77.7\text{dB}$

而 2000 赫 110dB SPL 的有效掩蔽级为：

$72.2 + 10 \log 20 - 9.0 = 76.2\text{dB}$

有效掩蔽级表。不论是那种方法得出 EM 后，将有效掩蔽级和纯音的关系列成有效掩蔽表，例如表 8。

(五) 中枢掩蔽(central masking)是在非测试耳给一不足以传至对侧的噪声时可使受试耳的听阈上升。中枢掩蔽引起的阈移平均为 5dB 左右。中枢掩蔽可能是从大脑听中枢经传出

表8 有效掩蔽级表
每台听力计应测得各自的掩蔽噪声的EM

键 盘 值	250	500	1000	2000	4000
20					5
30		5	10	10	15
40		15	20	20	25
50	10	25	30	30	35
60	20	35	40	40	45
70	30	45	50	50	55
80	40	55	60	60	65
90	50	65	70	70	75
100	60	75	80	80	85

径路向下发出的。中枢掩蔽应与过度掩蔽区别。

(六) 气导掩蔽法 当可能有越边听力时, 就应加掩蔽, 但怎样加掩蔽却是个值得重视的问题。有人用“碰或猜”的方法, 用一个固定的或主观专断的噪声级来掩蔽。虽然这在不复杂的病例可得出满意的效果, 但他并不能肯定自己的测试结果是否可靠。然而由于习惯了, 而且又并不知道曾得出过错误的结果, 所以现在还有人在继续保持“用 70dB 的噪声作掩蔽”的错误观点。有人并不了解自己所用的听力计的噪声的性质, 不注意键盘刻度是否线性的, 噪声谱是否符合要求, 噪声最大输出和有效掩蔽等。

在进行掩蔽时, 应首先解决的问题是: 1) 需否掩蔽, 2) 最小有效掩蔽级和 3) 最大有效掩蔽级。

① 需否加掩蔽。当被测耳的测试音比非测试耳的骨导听阈大 40dB 以上时, 测气导听阈时就应加噪声掩蔽非测试耳。

② 最小有效掩蔽级。首先通过(四)节中掩蔽噪声定标得出听力计的有效掩蔽级“0dB EM”。非测试耳各频率的最小有效掩蔽级等于该耳对各频率的气导听阈加 0dB EM (听力计噪声级键盘的校正值)。如非测试耳 1000 赫的气导听阈为 10dB, 而 1000 赫的 0dB EM 的键盘刻度为 20dB, 则该耳 1000 赫的有效掩蔽级为键盘刻度上的 30dB (气导听阈 + 0dB EM)。

举例。一人非测试耳(NTE)的气导听阈为 20dB, 骨导听阈为 10dB, 耳间衰减为 40dB。当测试耳(TE)给 60dB 测试音时, 会有 20dB 传至非测试耳, 但NTE 所感到的声级为 10dB ($AC_{NTE} - BC_{NTE}$)。要掩蔽由测试耳传来的测试音, 非测试耳就必须加 30dB EM 的噪声, 即

$$0 \quad AC_{TE} - IA + (AC_{NTE} - BC_{NTE})$$

而 0dB EM 在键盘上为 20dB, 所以要加 50dB (听力计噪声键盘级) 的噪声。

③ 最大掩蔽和过度掩蔽(overmasking)。非测试耳所给的噪声超过最大掩蔽级时, 可对被测试耳起过度掩蔽的作用。由于耳间衰减有个体差异, 所以最好是按下法操作:

- 1) 测得非测试耳的纯音听阈(AC_{NTE}),
- 2) 在间断给非测试耳以 AC_{NTE} 的同时, 在测试耳给噪声, 并每 5dB 一档地渐加至不能再听到测试纯音, 得出最小交叉掩蔽级($EM_{min C}$),

3) 这一 $EM_{min}C$ 包括耳间衰减、非测试耳骨导听阈(和有效掩蔽级校正值——如按噪声听力计键盘读数),

4) 因此 $EM_{min}C$ 减非测试耳骨导听阈(和 EM_{0dB} 校正值)再减非测试耳的气导听阈, 就得出耳间衰减值。

5) 而非测试耳加噪声时, 同样要考虑 EM_{0dB} 校正值和该耳的气导听阈, 所以在实际操作中, 只要将 $EM_{min}C$ 中扣除非测试耳的骨导听阈, 即为掩蔽 $0dB$ HL 的最小有效掩蔽级, (B 1A)

6) 而最大掩蔽级则等于 $EM_{min}C - BC_{NTE} + BC_{TE} - 5dB$, 也就是被测耳骨导听阈加耳间衰减, 扣除 $5dB$ 。

被测试耳的气骨间差距越大, 最小掩蔽和最大掩蔽之间的差距就越小。对气骨间差距大的患耳测听时, 加掩蔽常会遇到进退维谷的局面。这时只有依靠其它测试方法来作出诊断。

例如一位病人的右耳气导听阈为 $60dB$, 骨听阈为 $10dB$, 左耳的骨导听阈是 $15dB$ 。在测左耳的气导听阈时, 如耳间衰减为 $40dB$, 右耳加最小有效掩蔽级的噪声 $60dB$ EM (因为右耳气导听阈为 $60dB$ HL), 这就有 $20dB$ 会传至右耳, 并使气导听阈增高 $5dB$ 。因此在这种情况下, 最小有效掩蔽级即已引起过度掩蔽。

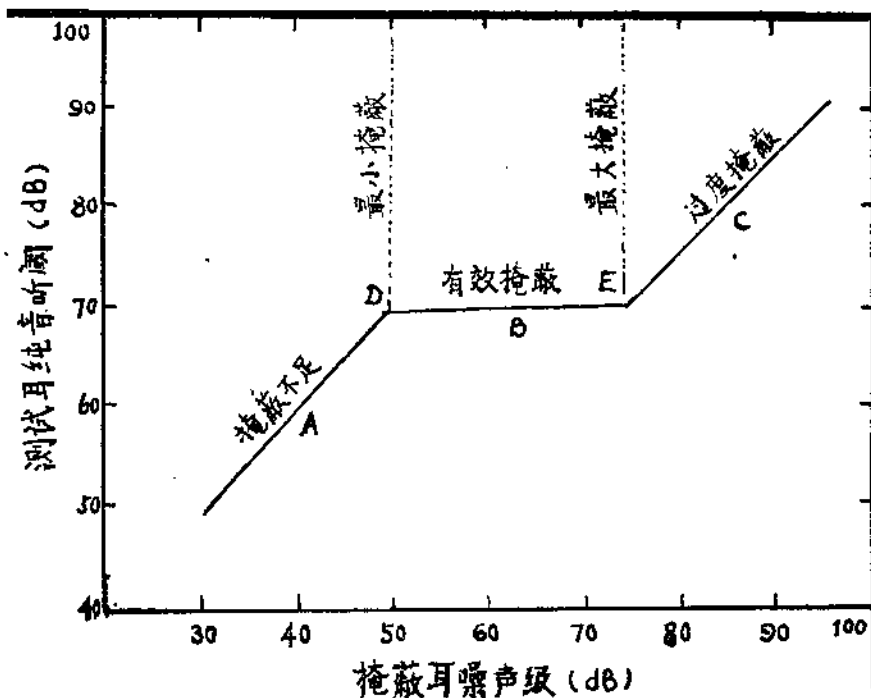


图7 掩蔽的平台法
从最小掩蔽至最大掩蔽间为有效掩蔽平台

★ 平台法 (plateau method) 或称听阈稳定法。Hood(1960)提出的掩蔽操作最为适用。
在最小有效掩蔽级和最大掩蔽级之间可有一差距, 加掩蔽噪声时, 噪声级小于最小有效掩蔽

级则不足以起掩蔽作用(掩蔽不足),而超过最大掩蔽级时则起到过度掩蔽的效果。在最小有效掩蔽级和最大掩蔽级之间,噪声级增大或减小,掩蔽效应不受影响,这就是加掩蔽过程中的一个平台(图7),气骨导间距越小,平台越宽。

具体操作如下:

- 1) 先不加掩蔽,测得受试耳听到纯音的 dB 值,
- 2) 于非测试耳加噪声,同时间断地于受试耳给纯音,直至不再能听到纯音,或噪声加至超过最小有效掩蔽级 10dB 时仍能听到纯音。这时听到的纯音 dB 值即为听阈。
- 3) 如在(2)中加噪声后不再能听到纯音,就每 5dB 一档地加纯音,直至重新听到纯音。
- 4) 纯音重新听到后,加 5dB 噪声,如听不到纯音则加 5dB 纯音。这样每加 5dB 纯音就加 5dB 噪声,直加到连续加三次 5dB 噪声,纯音级都不变。这一纯音级即为转换点,也就是真正的听阈。

5) 测试过程中应注意噪声不应加到超过最大掩蔽级。

事实上,有时会遇到掩蔽不足的现象,有时又会因掩蔽过度而无法加掩蔽的现象。

例如。一人右耳气导听阈为 20dB,骨导为 5dB,左耳骨导为 55dB,测左耳气导对 50 dB 有反应。

因为 50dB 减右耳骨导听阈 5dB 所得之值大于 40dB(1A),所以应该加掩蔽。

最小有效掩蔽级是 50dB-40dB+15dB,即 25dB EM。换算成噪声听力计级。从这一级开始给噪声:

右噪声(dB EM)	左纯音(dB HL)
25	50
25	55
30	60
35	65
40	65
45	65
50	65

右耳加 25dB EM 噪声,纯音不再能听到了。加 5dB 纯音又能听到,但噪声加至 30dB EM 时又听不到了。这样 5dB 一档地增加,直至纯音 65dB 时,连续将噪声增加 3 个 5dB,从 35 dB 加至 50dB,纯音仍能听到。这里 65dB 为转换点,也就是真正的听阈。

(七)骨导掩蔽法

查骨导时未戴气导耳机,加掩蔽噪声时也应注意不要将气导耳机罩住被测耳(戴骨导耳机侧耳)。但非测试耳必然要用气导耳机罩住。如非测试耳无传音性聋的成分,则会有堵耳现象。因此最小有效掩蔽级就必须按堵耳效应增加。如不加上堵耳效应就可能会掩蔽不足。

$$\text{骨导最小有效掩蔽} = AC_{NTE} + OE$$

由于增加了堵耳效应,所以过度掩蔽的机会也增加了。用耳塞型耳机加噪声掩蔽,耳间衰减较大,而可减少过度掩蔽的机会。

具体操作步骤可先测未堵耳的骨 把掩蔽耳机罩上(但不给噪声)测 250, 500 及 1000

赫的听阈，把堵耳时测得的听阈减去未堵时的听阈，即为这一频率这一病人的堵耳效应。把这个差数加在由气导得出的最小掩蔽级上，即可检查。

(八) 听力计 Weber 试验。

将骨导耳机放在颅骨正中线上，渐增声强，直至超过病人的听阈，250~4000 赫几个频率都测试。让病人说是左，是右还是中间听到的。有人用此法来判别测哪侧骨导时要加掩蔽，但这不可靠。

(九) 感音神经听敏级(sensori-neural acuity level, SAL)。Jerger 及 Tillman(1960)改良 Rainvilli 提出的方法，其步骤为：

1. 患者两耳戴气导耳机、骨导耳机置于额部，
2. 测每耳的各频率的气导听阈(A_1)，
3. 由骨导耳机给白噪声(骨导振动器的末端为 2 伏)，
4. 在给骨导噪声的同时测气导听阈，(A_2)，
5. 噪声时的气导听阈(A_2)减未加噪声时的气导听阈(A_1)，即为噪声所引起的阈移。
6. 从正常阈移减去受检者各频率的阈移，即为各频率的 SAL。(SAL = 正常阈移 - 受试耳阈移)。

四、纯音听阈测试结果的分析。外耳、中耳、内耳和听神经的病变都可导致纯音气导听阈改变。骨导听阈则反映耳蜗和听神经的功能状态。纯传音性聋，骨导听阈应属正常。因此气导和骨导间的差距，是传音性障碍的反映。

按听力计的设计，只要定标符合要求，骨导听阈就不应差于气导听阈。但当测试环境的环境噪声超过标准要求时，低频的骨导听阈就可受到影响。

过去对传音性聋的诊断，骨导听阈测试是极重要的方法。现在有了阻抗测听，对传音性聋的诊断有了另一有力的武器。骨导听阈测试在传音性聋的诊断地位方面也在起着变化。

对一张听力图，应看 1) 各频率的气导听力损失，2) 骨导的损失，3) 气导与骨导间的关系。纯音听力图可用以下四种类型来归纳。

气导 = 骨导 + 气骨间距

- | | | |
|----|---|-------|
| 1. | $5\text{dB} = 5\text{dB} + 0\text{dB}$ | 正常 |
| 2. | $45\text{dB} = 0\text{dB} + 45\text{dB}$ | 传音性 |
| 3. | $45\text{dB} = 45\text{dB} + 0\text{dB}$ | 感音神经性 |
| 4. | $65\text{dB} = 45\text{dB} + 20\text{dB}$ | 混合性 |

即气导与骨导一致的为听力正常或感音神经性聋，有气骨间距的即有传音性听力减退的成分，如同时骨导听阈差，则为混合性听力减退(图 8, 9, 10, 11)。

在测试纯音听阈时，应注意了解是哪一侧听到测试音。在小脑桥脑角病变等颅内疾患时有时会出现“听觉的异常偏侧现象”。它表现为测试较佳耳的听阈时，受试者感到是较差耳听到的。注意到这一现象有助于检出一些颅内疾患。

小 结

在纯音听阈测试中，应注意听力计工作是否正常 需否加掩蔽，掩蔽是否恰当。听力图
属正常还是属传音性、感音神经性或混合性听力减 气导和骨导损失的程度。