

声阻抗测试的原理及临床应用

声阻抗测试的原理及临床应用

陈 新

前 言

声阻抗测试(acoustic impedance measurements)在现代听力学领域中占有重要地位。由于其客观特性,可以证实或补充其他测听方法的不足。对一般行为测听不能配合的患者,可用阻抗测听来进一步检查。原始的声阻抗测试主要用于中耳传音功能检查方面。随着镫骨肌声反射的深入研究,阻抗测听在临床的应用更加广泛。不仅可以检查中耳传音结构的情况;还可了解脑干听觉通路的功能。鉴别耳聋的性质,确定病变的部位。实践证明,声反射各项指标对耳蜗和蜗后病变的鉴别是既适用又方便的检查方法。此外,对咽鼓管功能和面神经病变的研究,亦是很有意义的;用声反射预估听敏度对幼儿听力筛选和不能配合的受检查听力鉴定,尤具有特殊意义。因此,声阻抗测听已成为临床整套测听方法的重要组成部分。现就声阻抗的基本物理概念及其临床应用介绍于下:

一、声阻抗的物理概念

阻抗是介质对能量传递的阻尼和抵抗作用。机械阻抗(Z_m)是作用力(F)与所产生速度(V)之比。即

$$Z_m = \frac{F}{V} \quad (1)$$

声阻抗(Z_A)是声压(P)与介质容积位移速度(V)之比。即

$$Z_A = \frac{P}{V}$$

其单位是声欧姆(acoustic ohm)。1达因的力使空气产生1cc/秒的位移,其声阻抗是1声欧姆。

中耳的功能主要是克服声波从空气介质到内耳液体介质间传导的阻抗。影响中耳传导的因素有三:即质量(惯性成分)、劲度(弹性成分)和摩擦(阻力成分)。在中耳系统中,质量主要是鼓膜与听骨链的重量。摩擦产生阻力,使部分声能转换为热能而被消耗。在中耳内,听骨链被肌肉韧带所悬挂,阻力是比较小的。劲度在中耳系统中起主要作用。中耳的劲度主要取决于鼓膜、鼓室气垫、听骨链和镫骨底板以及内耳淋巴液的弹性。必须克服了这些弹性成分的强大抵抗之后,才能使听骨链移位,依次引起内耳淋巴液振动。

当声波作用于鼓膜时,一部分声能经中耳传入耳蜗;一部分被反射回到外耳道。传导和反射的多少取决于传音系统的劲度、质量和摩擦诸因素。劲度与弹性有关,受声压压缩而产生抗力,使声能变为势能,暂时贮存于中耳,当声压周期从0向最大值运动时,则声能被贮存;当声压周期从最大值向0运动时,则贮存的声能又被释放出去。质量因素受惯性制约,

对声能产生另一种形式的抗力，恰与劲度产生的抗力相位相反。二者和声压的时相各相差 90° 。劲度与质量所占的比例随频率而改变。摩擦产生的阻力对各种频率比较稳定，与声压的时相是一致的。质量与劲度作用的结果形成声抗(reactance)，摩擦产生声阻(resistance)，三者相互作用形成声阻抗(acoustic impedance)。现进一步说明声阻抗的矢量关系⁽¹⁾⁽²⁾。

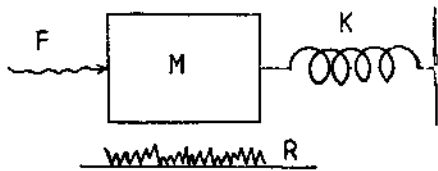


图1 影响声波传导的因素

从图1可看到，当一个系统受外力(F)作用后，产生加速度(a)，它与质量(M)的关系是

$$F = Ma$$

弹簧受压缩或牵拉后，产生的位移(X)，与弹力方向相反，大小成正比，它与弹力系数(K)的关系是

$$F = -KX$$

作用力克服了摩擦阻力之后，产生速度(V)，它与阻力(R)的关系是

$$F = RV$$

作为一个整体，该系统各部分相互作用的总效应为

$$F = Ma - KX + RV \quad (2)$$

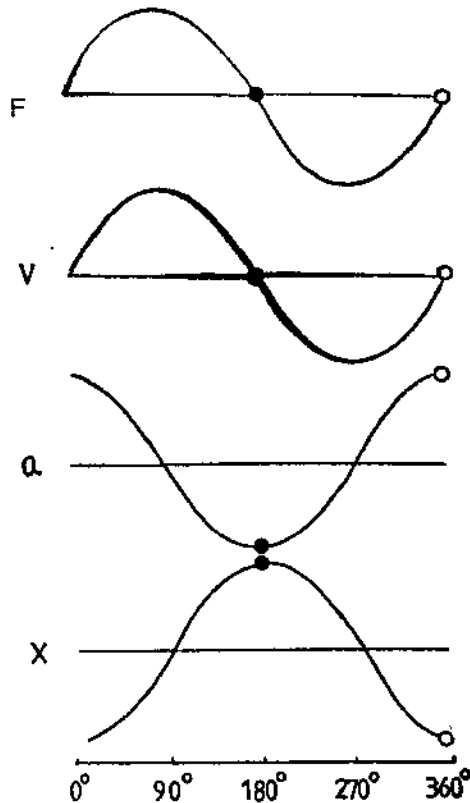


图2 速度、加速度、位移与作用力的相位关系

图2表示速度、加速度、位移三者与作用力的相位关系。当弹簧被完全压缩时，位移达到最大正值，此时速度为0，于是弹簧开始回跳，其加速度为最大负值(如图2中黑点所表示的)。当弹簧展开到最大限度时，位移达到最大负值，速度又成为0，于是弹簧开始收缩，其加速度又成为最大正值(如图2中圆圈所表示)。由此可见速度与作用力的相位一致；加速度比作用力时相提前 90° ($1/4$ 周期)；位移比作用力时相落后 90° 。两者的时相恰好相反，互为 180° 。各矢量以坐标表示如图3。

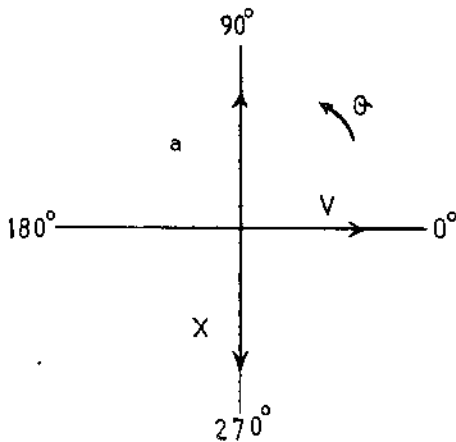


图3 速度、加速度和位移的矢量关系

因为声波是简谐振动，位移(X)和加速度(a)可以下式表示之。

$$X = \frac{V}{\omega} \quad a = \omega V$$

代入(2)式 $F = Ma - Kx + RV = \left(\omega M - \frac{K}{\omega} + R \right) V$ ($\omega = 2\pi f$ 为角频率)

由式(1) $Z = \frac{F}{V}$

可得出 $Z = j \left(\omega M - \frac{K}{\omega} \right) + R$

上式为声阻抗(Z)各成分的矢量关系, 以坐标表示如图 4。

声阻抗(Z)亦可按勾股定律求得(图 5)

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega M - \frac{K}{\omega} \right)^2}$$

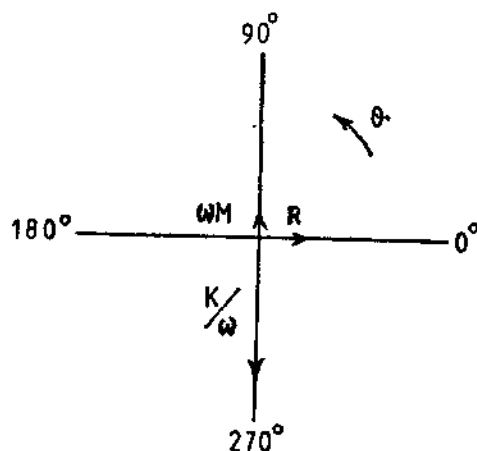


图 4 声阻抗各成分的矢量关系

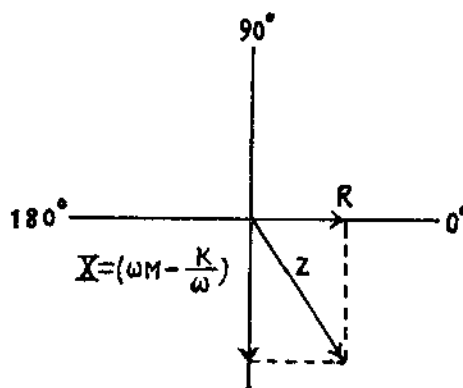


图 5 声阻抗的矢量关系

从上式及图 4、5 可看出, 质量产生正的声抗效应(ωM); 劲度产生负的声抗效应($-\frac{K}{\omega}$)。真正声抗(X_A)是两者的代数和。劲度和质量所起的作用受频率影响。如果频率改变, 会使其中一个数值增大, 一个减小。到某一频率时, 两者相互抵消, 使声抗接近于 0, 于是达到共振效应, 传导效果最好。在低频时, 克服劲度比使质量运动所用的力要多, 此时运动系统中, 劲度占主导地位, 得出负的声抗效应; 在高频时, 使质量运动比克服劲度所用的力要多, 质量又占主导地位, 得出正的声抗效应。

声阻抗亦可用声顺(Compliance)来表示。声顺(C_A)是劲度的倒数, 代表中耳的活动度。当用低频探测音时, 在中耳系统中劲度占主导地位, 声阻(R)和质量声抗(ωM)因素都很小, 可略而不计。这样测出的声阻抗(Z)主要是劲度声抗($-\frac{K}{\omega}$)部分, 是声顺的倒数。所以用低频探测音测试声阻抗时, 大体上说, 可以用声顺来表示。从仪器设计方面考虑, 声顺测试比较方便。因此, 临床上采用的声阻抗计多用低频探测音测量声顺。声顺的单位是当量毫升。

声阻抗与声导纳的关系

声波在介质中传播有阻尼和抵抗的一面, 即声阻抗; 也有传导和接纳的一面, 即声导纳(acoustic admittance)。声导纳是在单位时间内进入和通过传音系统的全部声能流(acoustic energy flow)。从声阻抗的概念可知声阻抗 $Z_A = \frac{\text{声压级}}{\text{声能流速}}$ 。所以当声压级恒定时, 声阻抗

(Z_A)与声导纳(Y_A)互为倒数关系,即 $Y_A = \frac{1}{Z_A}$ 。

声导纳以毫姆欧(mmho)为单位。声导纳又可分为声导(conductance)和声纳(susceptance)。声导(G_A)与声阻(R_A)互为倒数,是克服了摩擦阻力之后通过中耳的声能。它反应声能通过中耳的难易程度。声纳(B_A)与声抗(X_A)互为倒数,是克服了声抗因素之后进入并贮存于中耳的声能。它代表中耳的活动度。声纳又可分为正负两种矢量,正声纳($+B_A$)即声顺,与劲度有关;负声纳($-B_A$)与质量有关。声阻抗与声导纳各矢量的关系如表1。

表1 声阻抗与声导纳各成分的相互关系

声 阻 抗 (Z_A)	机 械 特 性	声 导 纳 (Y_A)
声阻(R_A)	摩 擦	声导(G_A)
正声抗($+X_A$)	质 量	负声纳($-B_A$)
负声抗($-X_A$)	劲 度	正声纳($+B_A$) (即声顺 C_A)

二、声阻抗桥的设计原理

Schuster 于 1934 年设计出简易的机械声桥。Metz 于 1946 年发表了用机械声桥测量正常耳和病变耳的声阻抗结果,开创了声阻抗临床应用的先声⁽³⁾。Schuster 声桥(图6)是由两个主管组成,其长度和内径都相等,端对端地装在与振荡器相连的声膜两侧。主管 A、B 两端分别与测试耳和可变容积相接。当声膜振动时,声波向主管 A、B 两端传播,反射回来的声波可在中间听管中听到。调节可变容积,使两主管中声阻抗相等,从两管末端反射回来的声波在声桥中点相遇,其频率和幅度相同,而相位相反,恰成 180° ,声能互相抵消,在中间听管中原来能听到的声音逐渐变小而消失,表示声桥两端达到 0 点平衡。从可变容积的刻度能够得出测试耳的静态声阻抗值。这种声桥由于机械性能不稳定和耳塞放置深浅不同与鼓膜间的容积不易控制,影响静态声阻抗值测量的准确性。

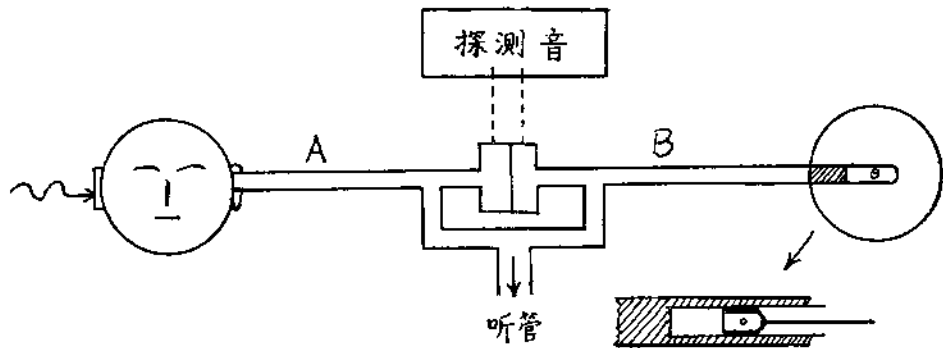


图6 Schuster 机械声桥

Zwislocki(1957)在机械声桥基础上改进为电机械声桥⁽⁴⁾。其调节平衡部分与显示部分均改为电子仪器控制,并在调节平衡端增加一个可调气腔,以代偿耳塞与鼓膜之间的容积,消除了简易声桥的不稳定因素,可以精确测量静态声阻抗值。但操作比较复杂,临床未能广泛应用,主要用于中耳功能的实验研究方面。

Terkildsen 等(1960)将电子学和声学的成就相结合,设计出电声阻抗桥,这就是临床应用的声阻抗计的雏形^[9]。接着就有 Madsen ZO61 型声阻抗桥问世。以后又逐渐改进为各种型号的多功能的电声阻抗桥和声导纳计。

电声阻抗桥是根据声的等效容积原理设计的。将固定频率与标准强度的声音引入硬壁密闭腔中,所产生的声压级与腔的容积成反比。若与已知容积的标准腔内声压级相比,就可以推算出该密闭腔的容积,是谓声的等效容积(acoustic equivalent volume)。参看 图 7,以 220 赫 85 分贝的纯音引入大小不同的密闭腔中,假定腔 1 为已知容积的标准腔,其中声压级恰为 85 分贝。声压计指向 0 点平衡。腔 2 较标准腔大,声压指针偏负,表示腔内声压级低于 85 分贝。需要增加声音强度方能达到 0 点平衡。从增加声压的分贝数可以推算出腔 2 较标准腔大多少毫升。腔 3 较标准腔小,声压指针偏正,需要减低声音强度才能回到 0 点平衡。从减少声压的分贝数可以推算出腔 3 比标准腔小多少毫升。腔 4 与标准腔大小相同,但壁上留一洞,用薄膜复盖之,部分声能从这里漏去,声压指针同样会偏向负的方向,从声压计达到 0 点平衡需要增加声压的强度,同样可以推算出漏去声能的等效容积。壁洞上薄膜的顺应性越大,漏去的声能越多,要达到平衡所需要增加声能的等效容积就越大。这样求出的等效容积实际上可以代表薄膜的顺应性,即声顺(compliance)。

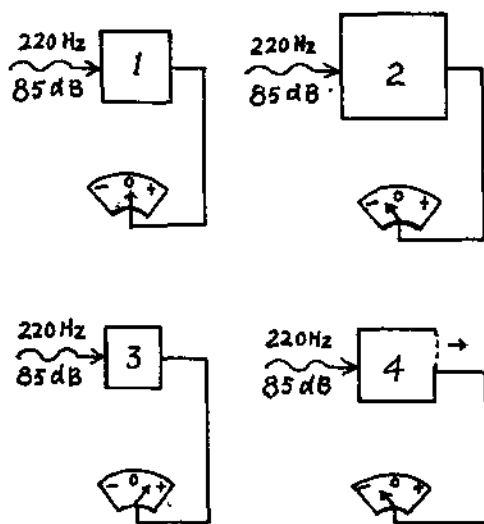


图 7 声的等效容积

在密闭的外耳道中,除鼓膜可以活动外,其余部位都是不能活动的骨壁,与腔 4 的情况很相似。经鼓膜和听骨链传导的声能同样可以用等效容积原理求出。如果中耳传音系统的劲度大,传导的声能少,声顺就低;反之,中耳传音系统的劲度小,传导的声能多,声顺就高。电声阻抗桥就是根据声的等效容积原理,将固定频率和标准强度的探测音(probe tone)引入密闭的外耳道中,通过平衡系统监视其中声压级的变化,从而测知中耳传音功能的特性。

声阻抗桥的耳塞探头中有三个小管(图 8):上管把振荡器发出的低频探测音经可控制输出的电位计和小型扬声器送入密闭的外耳道内。下管与拾音传声器(pickup microphone)相联,可以把被鼓膜反射回来的声能搜集起来,使之转换为电信号,通过放大和检波,输入桥式电路与标准电压对比后,在平衡计上显示出来。当外耳道中声压级确调为 85 分贝时,平衡计就指向 0 点平衡;当鼓膜听骨链传音功能发生变化时,被鼓膜反射回到外耳道中的声压级亦跟着变化,平衡指针随着摆动。第三个小管与小型气压泵和压力计相联,可以调节外耳道压力在 ± 400 毫米水柱范围内变动。通过压力对比,可以减少因耳塞探头放置深浅不同对测量结果的影响,还可观察动态声阻抗变化情况。这种电声仪器还附有刺激信号系统,经气导耳机发出可调强度的各种频率的纯音、白噪声和带通噪声,以便测试声反射用。通过 x-y 标绘器可自动画出各种曲线,提供多种客观资料。

声导纳计与声阻抗桥不同之处在于对外耳道合成波(由探测音与被鼓膜反射回来的声波

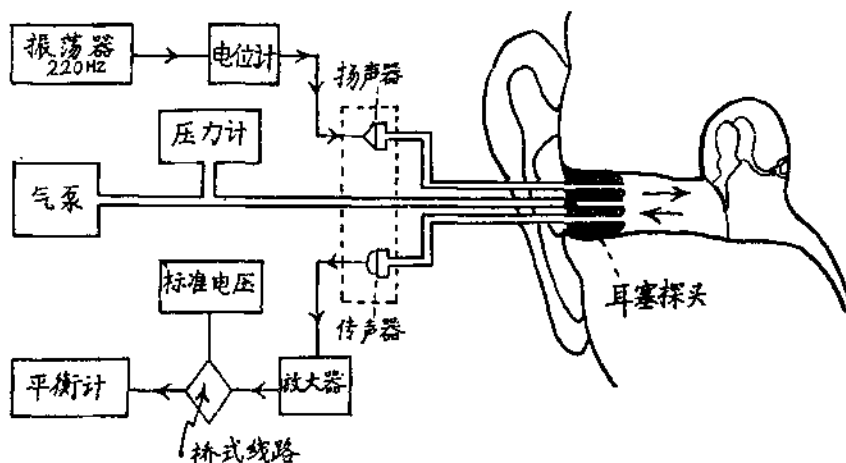


图8 电声阻抗桥模式图

合成)的处理方式不同。声阻抗桥是采用检波方式分析外耳道的合成波,经检波后相位被消除,所得结果主要是声阻抗中的负声抗成分($-X_A$),其倒数即声顺。声导纳计不通过检波,而是首先把外耳道中的合成波分为与原始探测音相位各相差 90° 的两部分进行对比,这样能分别测出声导纳的两种矢量成分,即声导和声纳。同时将外耳道中一部分声能馈入音量自控线路(AVC),可以自动调节向外耳道发放探测音的音量,使声压级保持在85分贝。由于声压级恒定,可以简化操作程序,自动把声导和声纳的毫姆欧数显示出来。声导纳计一般采用220赫和660赫两种探测音,后者与中耳共振频率相近而稍低,在中耳劲度减低的病变中可以观察对共振的影响。用220赫探测音时,劲度占主导地位,声顺值即正声纳($+B_A$)接近于全部声导纳(Y_A)。可用声顺的毫升数来表示声导纳。1毫姆欧相当于1毫升。用660赫探测音时,质量因素相对增加,就不能用声顺代表声导纳。

三、声阻抗检查的临床应用

声阻抗检查的基本测试项目有三:(1)静态声顺值;(2)鼓压声顺测量;(3)耳内肌反射。

一、静态声顺值(static compliance);

静态声顺值是根据鼓膜在两种不同压力情况下测量的等效容积毫升数计算的。当外耳道压力加至+200毫米水柱时,鼓膜被压紧,外耳道变成近似硬壁的腔,通过中耳的声能最少,此时测出的声顺毫升数(C_1)相当于外耳道的等效容积。当外耳道压力调至与鼓室压力相等时,鼓膜恢复自然松弛状态,通过中耳的声能最大,此时测出的声顺毫升数(C_2)相当于外耳道与鼓膜听骨链传导声能等效容积之和。从中减去外耳道的容积(即 $C_2 - C_1$),就是鼓膜平面的静态声顺值。这样可以避免耳塞探头放置深浅不同对声顺测试的影响。

静态声顺代表中耳传音系统的活动度,正常范围约在0.28~1.72毫升之间(Brooks)^[6]。中耳病变可影响声顺值,凡使中耳劲度增大的病变,如耳硬化症、粘连性中耳炎、听骨链纤维性或骨性固定、鼓室硬化、咽鼓管阻塞、中耳积液、胶耳或中耳肿瘤等均可使声顺减低,属于高阻抗型;反之,中耳传音系统活动性增大的病变,如鼓膜萎缩、松弛、较大的愈合性穿孔、听骨链中断或咽鼓管异常开放等均可使声顺增高,属于低阻抗型。

作者对正常耳(鼓膜外观正常, 纯音听阈在 20 分贝以内)和手术证实耳硬化症、听骨链中断以及分泌性中耳炎患者, 用 Madsen ZS 77 型声阻抗计测量静态声顺值结果如表 2。

表 2 正常耳及三组鼓室病变患者静态声顺值

组 别	耳 数	静 态 声 顺 值 (当量毫升)			
		范 围	均 数	中 数	95% 位 数
正常组	130	0.3~1.6	0.67	0.6	1.5
耳硬化症组	130	0.1~0.8	0.36	0.3	0.7
听骨链中断组	19	0.8~2.0	1.4	1.3	1.95
分泌性中耳炎组	82	0.1~0.45	0.2	0.2	0.4

正常声顺值分布范围较广, 个体差异较大, 而且与各种中耳疾患重叠较多, 不宜单独用作诊断指标, 应结合镫骨肌反射和纯音测听来综合分析。耳硬化症组与听骨链中断组声顺分布差异比较明显。一般说来, 如听力正常镫骨肌反射可正常引出者, 声顺偏高或偏低, 临床上可能无重要意义; 而对传导性聋者来说, 声顺高低对鉴别听骨链中断或固定是有一定参考价值的。在鼓膜和听骨链传音系统中, 如有两种病变同时存在, 对声顺的影响以最外侧的病变为主(Chesnutt)^[7]。如镫骨固定合并鼓膜萎缩, 则声顺可能较正常为高; 如砧骨长突坏死并有锤骨头固定, 则声顺可能反较正常为低。鼓膜情况对声顺影响较大, 只有鼓膜正常时, 静态声顺值对中耳病变的诊断才有意义。静态声顺值亦受年龄和性别的影响, 在临床上应用有很大的局限性, 不如鼓室曲线和耳内肌反射用途广泛^{[8][9]}。

利用测量外耳道等效容积的方法可以鉴别鼓膜有无穿孔。Northern 称为物理容积试验法 (Physical volume test)^[1]。鼓膜如有穿孔, 探测音可进入中耳腔, 则测出的外耳道容积(C_1)异常增大, 往往超出 4~5 毫升, 实际上是外耳道与中耳容积之和。鼓膜正常时, 成人外耳道的容积(C_1)约为 1~1.5 毫升; 儿童约为 0.6~0.8 毫升。如果远远超出此范围, 是鼓膜穿孔的有力证据, 对判断难以辨别的鼓膜小穿孔很有意义。在分泌性中耳炎放置鼓室通气管时, 如果测试结果与正常外耳道容积相似, 表明通气管已经阻塞, 应即予以处理。

二、鼓压声顺测量(tympanometry):

鼓压声顺测量属于动态声阻抗检查范畴。是在外耳道压力变化过程中测量中耳系统的活动度或声顺的相应变化, 以曲线表示之, 是谓鼓室功能曲线(tympanogram)。在密闭的外耳道中, 当压力调至+200 毫米水柱时, 鼓膜被压紧, 劲度增大, 被反射回来的声能多, 外耳道中声压级增高, 在平衡计上可以看出声顺降至最低, 声顺曲线接近于基线 0 位。当外耳道压力逐渐减低时, 鼓膜渐移回原位而变松弛, 反射回到外耳道中的声压级降低, 声顺逐渐增大, 曲线亦随之上升, 直至外耳道压力与鼓室压相等时(正常在压力 0 附近), 鼓膜处于最顺应的自然状态, 声能传导最好(患者听到探测音最响), 声顺曲线达到峰顶。过了此点之后, 外耳道变或负压, 鼓膜被向外吸引而变紧张, 外耳道声压级又渐增高, 声顺又渐变小, 曲线随之下降, 当外耳道压力降至-200 毫米水柱或更低时, 鼓膜被吸引处于紧张状态, 劲度增大, 声压级增高, 声顺曲线又降到最低接近于基线 0 位。这样在外耳道压力变化过程中, 鼓膜连同听骨链对探测音的顺应性表现为声压级的变化, 可从声顺指针偏转刻度显示出来, 并可通过 x-y 标绘器画出一条峰形曲线——鼓室功能曲线, 实际上是外耳道压力与中耳声顺的函数

曲线(图 9)。x 轴表示外耳道压力, y 轴表示声顺大小。此曲线可客观地反映鼓室各种病变情况,并可显示鼓室压力,判断咽鼓管功能,是声阻抗检查中很有意义的测试项目。

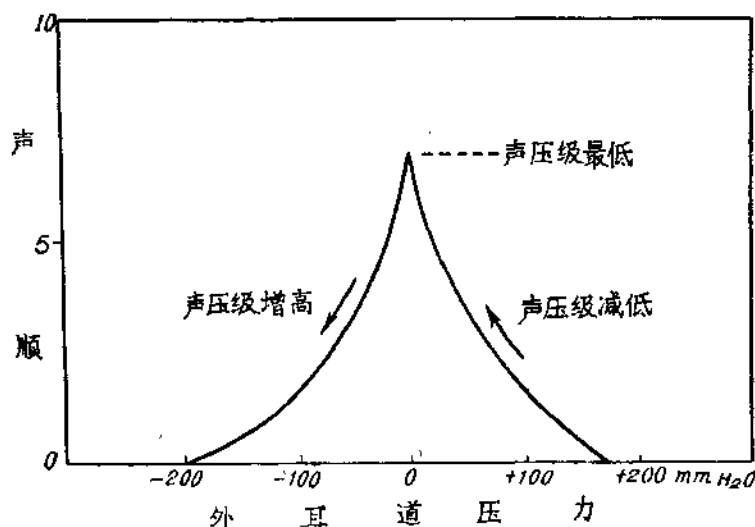


图 9 鼓室功能曲线

Jerger 把鼓室曲线分为五型(图10)⁽⁸⁾⁽⁹⁾:

A 型(正常型): 曲线呈高峰形, 最大声顺点在压力 0 附近。见于中耳功能正常者。

A_s 型(低峰型): 声顺峰较低, 最大声顺点仍在压力 0 附近。见于中耳系统活动度受限的病变, 如耳硬化症、听骨链固定等。

A_D 型(超限型): 声顺峰特高, 超越记录卡的极限仍未相交, 曲线呈开放型。见于中耳活动度增高的病变, 如听骨链中断、鼓膜萎缩及愈合性穿孔等。

B 型(平坦型): 外耳道压力改变时, 声顺变化很小, 声顺峰不明显, 曲线平坦。多见于鼓室积液、粘连性中耳炎等。如测试时耳眇阻塞探测管口, 亦可画出假的平坦型曲线, 操作时应予注意。

C 型(负压型): 最大声顺点移向负压侧, 超过 -100 毫米水柱。多见于咽鼓管功能障碍, 可显示鼓室负压的程度。

上述分型临床应用起来比较简便, 但鼓室病变错综复杂, 如果遇到鼓膜和听骨链的复合病变, 则简单分型就难以表达。在 Jerger 分型基础上, 横山俊彦等将鼓室曲线分为 9 型⁽¹⁰⁾; Feldman 将鼓室曲线分为 11 型⁽¹¹⁾。尽管分型增多, 仍难概括全面。再者这些分型还受测试仪器的限制, 只有低频探测音适用, 高频探测音画出的曲线形状与此不同。因此, Feldman 主张对鼓室曲线从峰压点、幅度和形状三方面进行分析:

1. 峰压点(peak pressure)位置:

外耳道与鼓室压力相等时声顺最大, 声顺峰与压力轴对应的位置就是峰压点。它可以显示鼓室压力, 正常在 0 附近或微偏负压侧。我们统计了听力正常的成人 65 名(130 耳)和分泌性中耳炎患者 82 耳的鼓室压力对比如图 11。正常人的鼓室压力约 95% 在 +20~-50 毫米水柱范围内; 分泌性中耳炎患者绝大多数在 -100 毫米水柱以下。Alberti(1970)报道正常成人

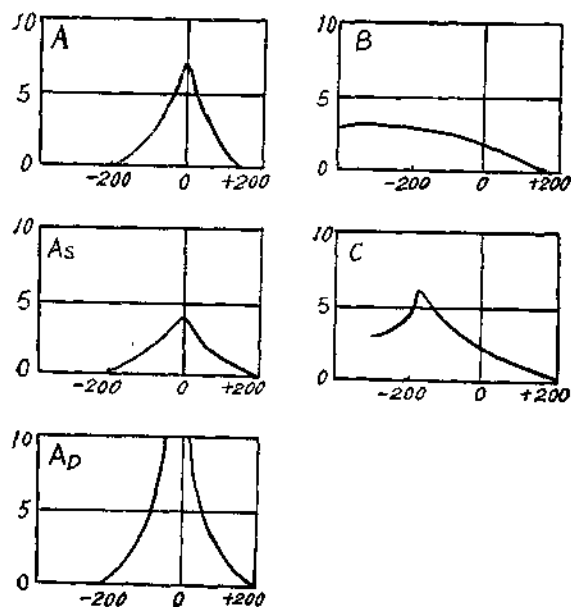


图 10 各种类型鼓室功能曲线

鼓室压力在 ± 50 毫米水柱范围内⁽¹²⁾。Jerger (1970) 认为鼓室负压超出 -100 毫米水柱就有病理意义⁽⁸⁾。Brooks(1969)发现儿童鼓室压力 95% 在 $0 \sim -170$ 毫米水柱之间, 由于儿童腺样体肥大, 鼓室压力偏负较多⁽⁶⁾。关于鼓室压力的正常标准应根据测试目的不同分别考虑。观察吞咽后鼓室压力变化情况更有意义。有些中耳病变不影响鼓室压力, 如耳硬化症、听骨链中断等, 只要咽鼓管功能无障碍, 鼓室压力多在正常范围。

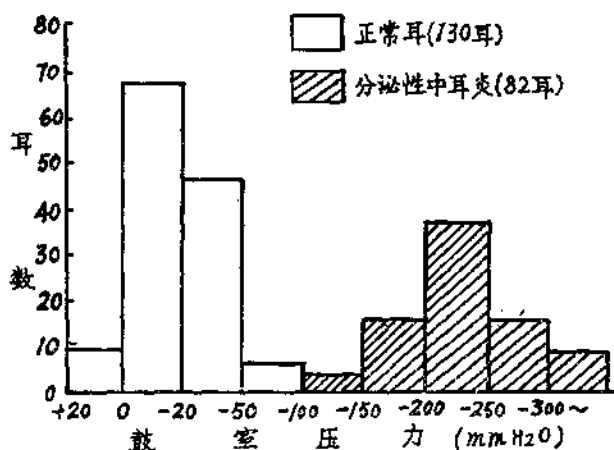


图 11 正常耳与分泌性中耳炎患耳鼓室压力对比

鼓室负压多由于咽鼓管功能不良所致, 在分泌性中耳炎的早期或消散期, 把负压调到一定程度时, 曲线就形成峰顶, 表示传音系统的活动度尚好, 鼓室内有一定气腔存在。如鼓室

被液体充填,甚至形成胶耳或严重粘连,则曲线呈平坦型,在测量限度内的任何压力都不会出现峰顶,意味着鼓室气腔消失,传音系统僵硬固定,外耳道压力变化不能改变传音功能。对鼓室曲线的动态观察,从鼓室负压的消长变化来判断分泌性中耳炎的预后和转归是很有意义的。Renvall 主张以鼓室压力-150 毫米水柱和 B 型鼓室曲线作为分泌性中耳炎的筛选标准,结合镫骨肌反射更能提高其正确率⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

病理性正压曲线比较少见,鼓室病变多表现为负压。急性中耳炎有时可出现正压型曲线。正常人打喷嚏或行咽鼓管吹张后立即测试,可能得出正压型曲线,但这种正压很易经咽鼓管排出,吞咽后很快即恢复平衡。

测试时压力改变方向可从正压向负压侧进行;亦可从负压向正压侧进行。统计对比时,操作方法应该统一。如果压力改变方向不一致,由于滞后(hysteresis)作用,可以影响峰压点的位置和曲线的幅度。由正压向负压测试时,由于正压滞留,可使峰压点微向正压侧偏移;由负压向正压测试时,由于负压滞留,又可使峰压点偏负。连续测试时,在两次测试之间,应先排除外耳道压力,使之恢复到自然状态。否则,压力滞留可以影响曲线的幅度。测试时应予注意。

2. 鼓室曲线的幅度:

由于电声仪器设计不同,鼓室曲线的幅度(即声顺峰高度)有两种表示方法,一是相对刻度;一是计量单位。按照对外耳道中探测音水平控制方法的不同,可把声阻抗仪分为两大类——声阻抗桥和声阻抗计。前者无音量自控(AVC)线路,需要用手操作声顺衰减器。鼓室曲线的幅度是用相对刻度表示的。如 Madsen ZO72 型;Peters AP61 型均属于声阻抗桥。声阻抗计是通过 AVC 线路自动调节向外耳道中发放探测音的量,维持在预定水平(85dB),可以简化操作程序。鼓室曲线的幅度是用计量单位表示的。从曲线上可直接读出声顺值。如

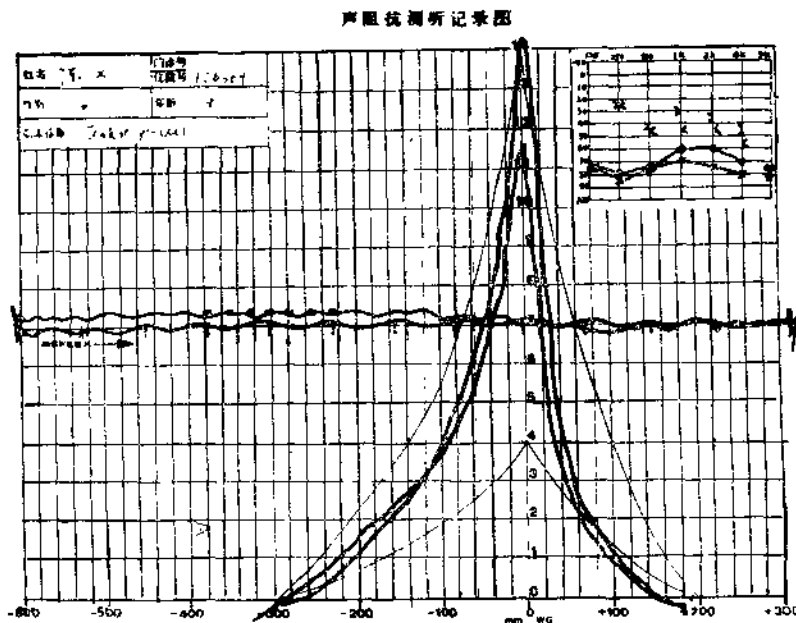


图 12 耳硬化症兼有鼓膜萎缩(双)
(声顺峰反较正常为高)

声阻抗测试记录图

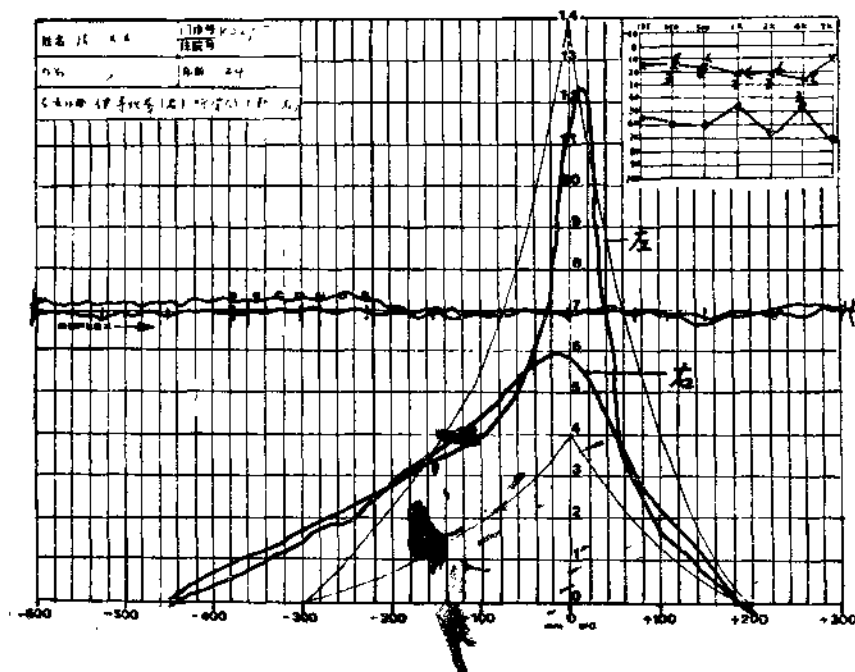


图 13 听骨链中断兼有粘连(右)
(声顺峰反较正常为低)

Madsen ZS77 型; Peters AP62 型属之。Grason-Stadler 中耳功能分析仪亦属于这一形式。

鼓室曲线的幅度代表声顺功能,幅度大表示传音系统顺应性好,属低阻抗型;幅度小表示传音系统劲度大,属高阻抗型。但必须指出,鼓室曲线也同静态声顺值一样,反映鼓膜活动度是第一位的,反映听骨链的活动度是第二位的。鼓膜如有异常就会把中耳和听骨链的病变掩蔽起来,甚至得出相反的结果。例如耳硬化症兼有鼓膜萎缩,则声顺峰不但不降低,反而会异常增高(图 12);听骨链中断合并粘连,则声顺峰反较正常为低(图 13)。所以不能单纯根据曲线的幅度作鉴别诊断,应结合鼓室压力和曲线形状作综合判断。

3. 鼓室曲线的形状,可从坡度和光滑度两方面来分析:

鼓室曲线的坡度(gradient)表示峰顶的陡峭程度,是指声顺峰两侧各 50 毫米水柱压力范围内所切割一段曲线的高度(图 14 中的 hp)与最大声顺峰高度之比的百分数⁽⁹⁾。即坡度 = $\frac{hp}{ht} \%$ 。传音系统劲度减低的病变可使坡度增高;劲度增大的病变可使坡度减低。正常鼓室曲线的坡度约为最大声顺的 40%;鼓室积液或粘连时,坡度可降至 15% 以下;听骨链中断或鼓膜萎缩,坡度可超过 80% 以上。我们统计正常耳及三组鼓室病变患者鼓室曲线的坡度如表 3 所示:正常耳坡度大部在 40% 以上;耳硬化症声顺峰虽较正常为低,但与整个曲线的形状相称,坡度仍与正常相近;听骨链中断曲线的坡度明显高耸,与分泌性中耳炎的平坦型曲线形成显明的对比。

鼓室曲线的光滑度亦可反映鼓室病变的情况,特别是高频探测音较为明显。一般说来,正常鼓室曲线是光滑的、对称的,下述情况可以影响曲线的光滑度:(1)听骨链中断;(2)鼓膜萎缩或愈合性穿孔;(3)传音系统的正常共振。前两种情况实际上亦与中耳共振点降低有

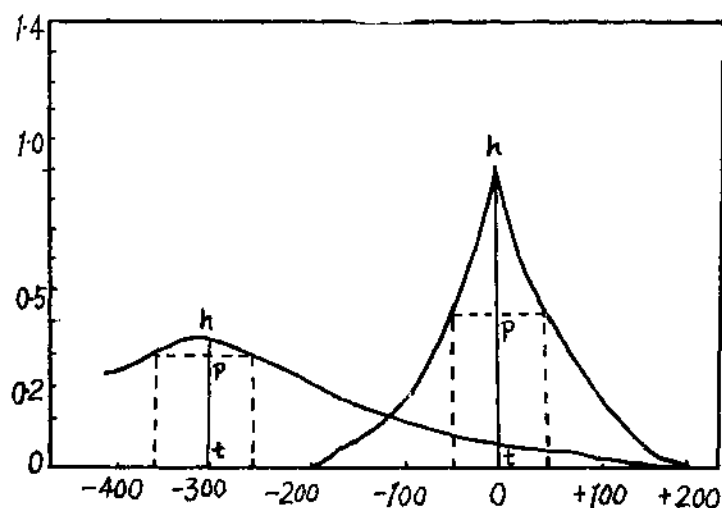


图 14 鼓室曲线的坡度

关。正常中耳共振频率约在 1000~1200 赫。中耳劲度减低的病变，质量因素相对增加，可使共振点降低，当用高频探测音测试时就会发生共振效应。Liden(1974)用 625 赫和 800 赫的探测音测试，发现听骨链中断和鼓膜萎缩患者的鼓室曲线呈双切迹的 W 型(图 15)，就是共振效应的表现⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。当对外耳道施加正压或负压时，鼓膜紧张，劲度增大，则负的声抗因素 ($-X_A$) 增加；当外耳道与鼓室压力相等时，鼓膜松弛，劲度减小，正的声抗因素 ($+X_A$) 又

表 3 正常耳及三组鼓室病变患者鼓室曲线坡度

坡度 (%)	耳数			
	正常耳	耳硬化症	听骨链中断	分泌性中耳炎
0				58
10		3		17
15	3	2		1
20	13	13		3
30	24	17		1
40	43	13	2	2
50	31	26	9	
60	14	38	2	
70	2	18	4	
80			2	
90				
合计	130	130	19	82

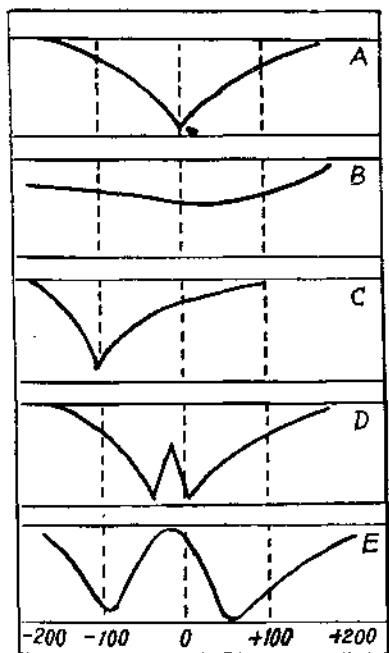


图 15 Liden 鼓室曲线分型

较钝的声顺峰出现。由于中鼓室与上鼓室两部分共同反应的结果，就会出现双峰型的鼓室曲线⁽¹⁷⁾。

占主导地位。在中耳劲度减低的病变中，因共振点降低，当外耳道压力接近最大声顺点时，正负声抗的相位发生剧烈转变，于是就出现W型曲线。波峰上下翻转，表示正负声抗相位的转变。这种现象多见于高频探测音；低频探测音距共振点较远，一般不出现这种共振现象，而表现为超限型曲线。Liden 主张用 625 赫和 800 赫的高频探测音，有助于鉴别听骨链和鼓膜的病变，鼓膜萎缩时W型曲线的切迹较浅且窄(图 15 D)；听骨链中断曲线的切迹较深且宽(图 15 E)。

我们在少数分泌性中耳炎后期的患者中，用低频(220 赫)探测音测出的鼓室曲线有两个波峰(图 16)。耳镜检查见鼓膜松弛部较暗且内陷。Brooks 认为在分泌性中耳炎过程中，维持上鼓室交通的狭小通道——鼓室前峡和后峡被阻。当中鼓室炎症经治疗消退后，咽鼓管功能重建，中鼓室气压恢复平衡；而上鼓室仍处于负压状态，有时甚至还有分泌物残留。在这种情况下，测出的鼓室曲线由两部组成：中鼓室部分的曲线大致正常，最大声顺点接近正常大气压处；而上鼓室部分的曲线呈分泌性中耳炎型，在负压侧有另一个

声顺抗测听记录图

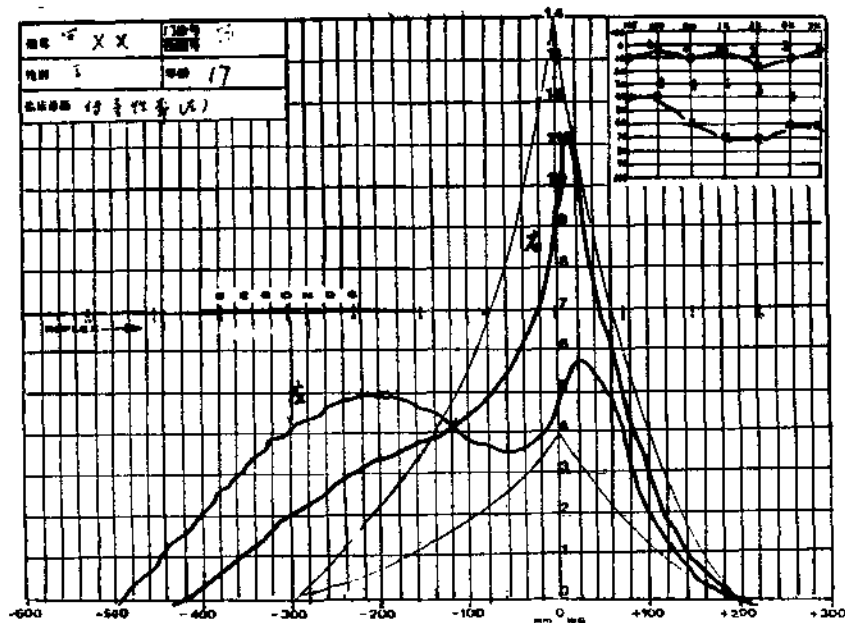


图 16 鼓膜松弛部内陷测出的双峰型鼓室曲线(左)

影响鼓室曲线光滑度改变的还有其他因素，鼓室血管异常搏动可表现在鼓室曲线上附加小的节律性波动。特别是曲线幅度降低或在平坦型曲线上附加小的节律性波动更应注意鼓室血管性肿物的可能。我们遇到颈静脉球体瘤和高位颈静脉球患者的鼓室曲线(图 17、18)是很有特征性的。如肿物尚小，当外耳道加压时方与鼓膜接触，则在曲线的负压侧波动不明显，只有在正压侧可看到波动(图 18)。如肿物较大已与鼓膜接触，则在声顺峰处波动较明显，压力增大后，鼓膜变僵硬，跳动即渐消失(图 17)。如果在标准敏感度下测试，压力超过 +300 毫米水柱，曲线波动仍较明显，应警惕高压系统来的病变！如异位颈动脉、畸形性动静脉瘘、

声阻抗测试记录图

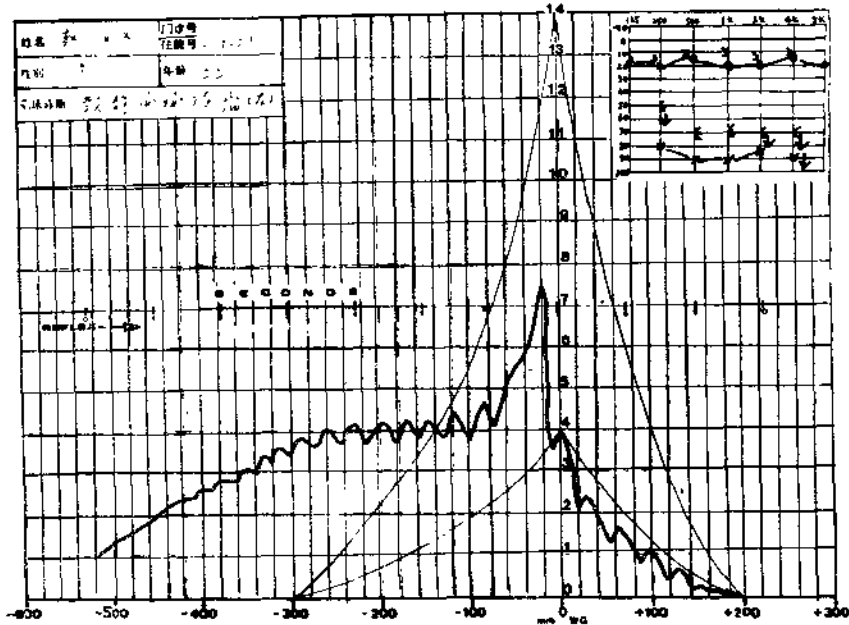


图 17 颈静脉球体瘤患者的鼓室曲线

血管成分丰富的血管瘤或带分流的颈静脉球体瘤等，处理时应特别慎重^[18]。有时外耳道表浅的扩张血管亦可测出波动性曲线，在负压侧比较明显。咽鼓管异常开放症的曲线可看到与呼吸同步的波动(图 19)。应结合临床所见，作具体分析。

波动性鼓室曲线还可用作振动性耳鸣的客观记录。血管性杂音引起的耳鸣可在鼓室曲线上看到与脉搏一致的波动，有时在颈部可听到收缩期或舒张期杂音。腭肌阵挛引起的耳鸣，鼓室曲线的波动与阵阵“卡嗒”声相伴随，同时可看到软腭挛缩或声带震颤。鼓室肌阵挛引起的耳鸣，除能听到微弱的响声外，一般查体很难有所发现。鼓室曲线结合非声刺激引起的鼓膜张肌反射，对鉴别诊断和疗效观察都可提供客观依据。我们曾遇到一例振动性耳鸣患儿，男性，7岁，左耳常发出“卡嗒”响声已半年余，检查者在耳旁亦可听到响声。鼓膜外观无异常，纯音听力曲线正常，耳鸣时软腭无挛缩，声带亦无震颤现象。双耳鼓室曲线都是A型，但左侧曲线上可看到与耳内响声一致的波动(图 20)。对眼吹气刺激可以暂时把阵挛性波动阻断，提示与鼓膜张肌收缩有关。给耳颞神经耳内支封闭后，耳鸣很快消失，鼓室曲线上的波动亦不再出现，经随访一年有余，未见复发。

声阻抗测试记录图

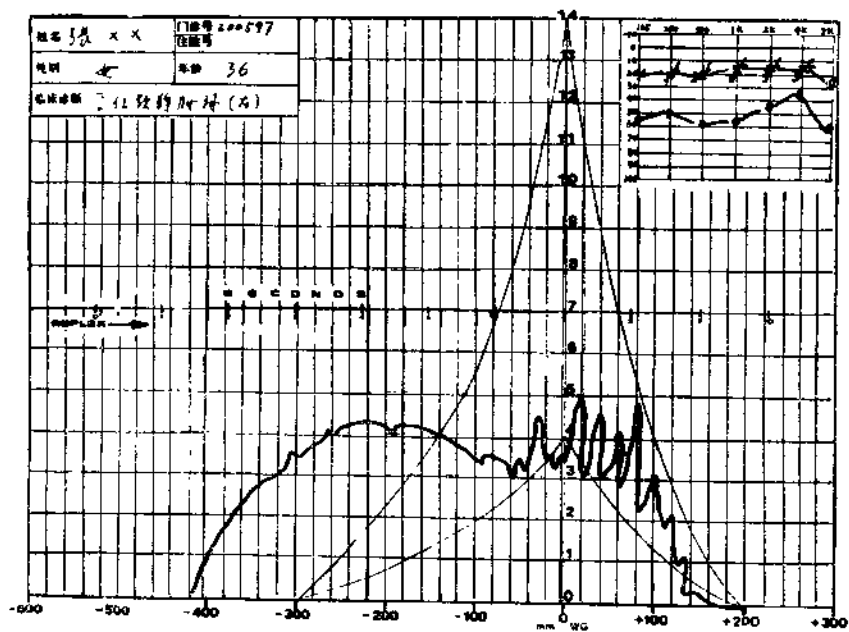


图 18 高位颈静脉球患者的鼓室曲线

声阻抗测试记录图

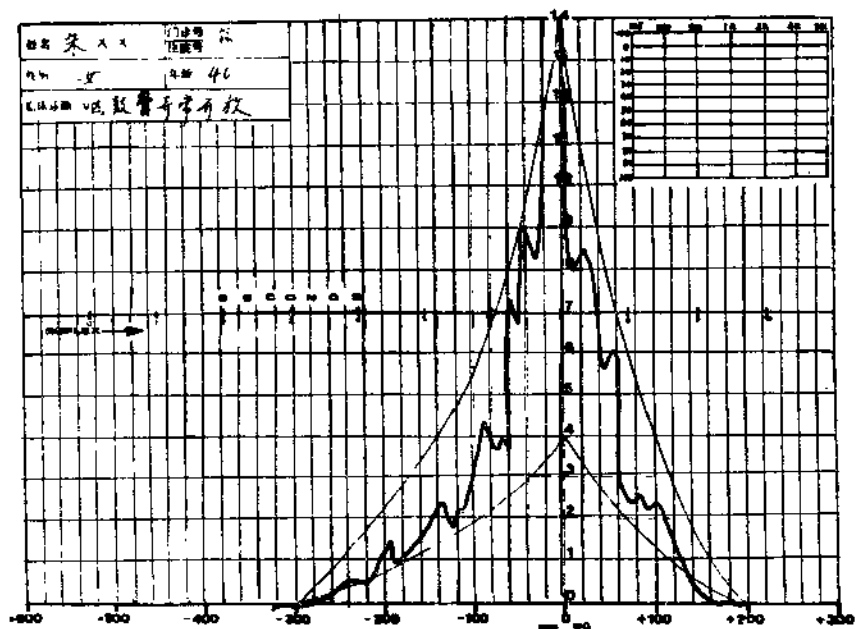


图 19 咽鼓管异常开放症患者的鼓室曲线

声阻抗型听记录图

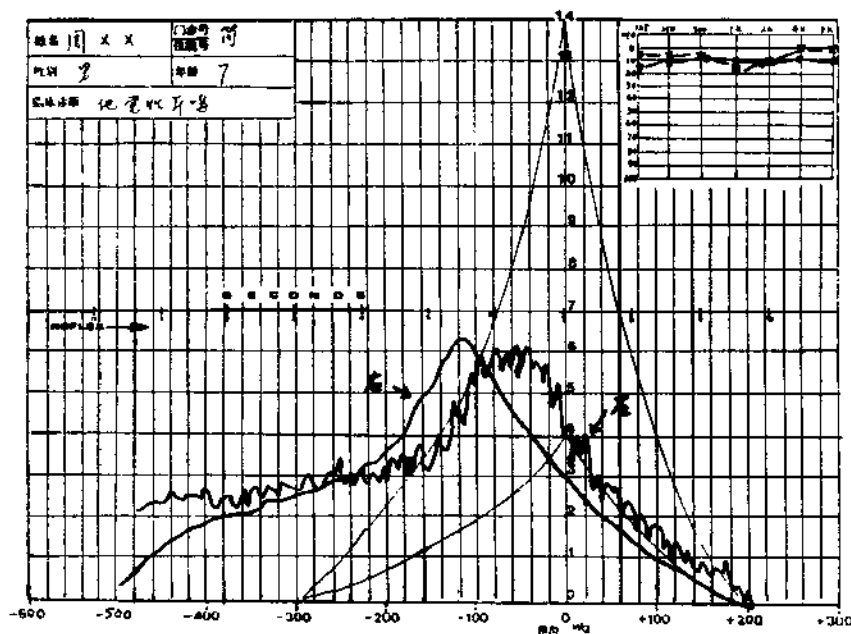


图 20 波动性耳鸣患者的鼓室曲线
(鼓膜张肌阵挛引起)

鼓室曲线对判断中耳病变是很有意义的, 已渐引起人们较多的注意, 广泛用于幼儿听力筛选。它比纯音测听优越之处, 不仅具有客观特性, 还能快速估价中耳功能, 便于及时提出治疗意见。关于筛选标准问题尚有待于进一步研究, 单靠鼓室曲线的某一项指标都难免片面性。Grason-Stadler 1722 型中耳检查仪(探测音是 220 赫)操作手册中的记录卡片, 按照鼓室压力和声顺峰的位置将鼓室曲线分为四个区域(图 21): (1)正常区: 合格; (2)高声顺区: 如镫骨肌反射存在可合格; (3)边缘区: 应在短期内复查; (4)异常区: 建议作医疗处置。此标准通盘考虑鼓室曲线的各个项目, 并结合镫骨肌反射综合分析, 更加强了判断的依据。应用起来比较简便, 对边缘区受检者作为复查对象, 既不放过临床下型的病例, 还可观察病情的发展和转归, 把高估和低估误差缩小到最低限度。

咽鼓管功能检查:

鼓室功能测量法还可用于咽鼓管功能检查方面。鼓室曲线所显示的鼓室压力如偏离正常范围, 提示咽鼓管功能异常。Holmquist 等认为咽鼓管功能正常者鼓室压力应在 ± 25 毫米水柱范围内⁽²⁹⁾。但这样只能表示在某一时刻的鼓室压力, 不能代表真正咽鼓管的机能状态。应结合吞咽动作, 观察峰压点变化情况, 以了解咽鼓管调节鼓室压力的机能。简便测试法是在画出鼓室曲线后, 让受检者作 Valsalva 吹张, 如果咽鼓管通畅, 中耳形成正压, 当可看到鼓室曲线峰压点向正压侧移动。接着让受检者作几次吞咽动作后再测鼓室曲线, 峰压点应很快回到原始压力处; 如压力不能复原, 表示咽鼓管机能不良。在一般病理情况下, 鼓室多为负压, 因此模拟负压测试比正压更有意义。在实际操作中, 有时很难用人工方法使鼓室形成负压, 一般认为 Toynbee 捏鼻吞咽操作可使鼓室形成负压, 但有时不能达到目的仍然是正压。