

0128211

医学专题丛书

听力学概论

何永照主编

上海科学技术出版社

医学专题丛书

听 力 学 概 论

何永照 主编

陈廷礼 胡名亨 程锦元 编著

(笔划力序)

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是介绍有关听觉各个重要方面的专题著作。全书分二篇,共十章。第一篇四章,主要内容包括音的基本知识、听觉生理以及传导和感音机构各部病理中的听力变化。第二篇六章,主要内容包括各种听力测验的方法、机制理论和临床价值。

本书可供耳鼻喉科医师临床参考之用。

医学专题丛书

听 力 学 概 论

何永照 主编 陈廷礼 胡名亨 程锦元 编著

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可证出 063 号

上海市印刷六厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印张 4 8/32 排版字数 111,000

1984 年 3 月第 1 版 1984 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—6,500

统一书号 14119·347 定价(十二) 0.60 元

前 言

听力学是耳科学中的一門重要科学。它关系到听觉生理、病理中的听力变化，耳聾病理的定位，以及听力測驗等方面的問題。近四十年来，自从近代学者对听觉机制重新进行深入研究，特別随着耳蜗电位变化的发现和电測听机的問世，这项科学有了很大进展。它不仅解决了临床耳科学中許多过去未能解决的問題，并且促进了整个耳科学的发展。

全国解放以后，象整个医学科学一样，我国的耳科学也有了很大的发展，耳科学的专业书籍已相继問世，但有关听力学的专门书籍尙付缺如。这一情况足以給无外文基础的青年专科工作者的参考工作造成一定的困难，在某种程度上也足以影响我国听力学的繼續发展。近年来由于广泛开展了各种傳导性耳聾的手术治疗，这方面的知識显得尤为重要。作者等有鉴于此，早在 1959 年准备共同編写《听力学概論》一书，但因忙于一般业务未能如愿以偿。最近在党組織的支持和鼓励下终于斗胆执笔，将原有片断的讲稿进行整理充实，写成此书。

听力学是一門較新而迅速发展的科学，其中許多机制理論已成为众所公认的学說，其他許多則还只是初步的設想。在听力的測驗上，方法和种类几乎与日俱增，其中許多的临床价值已无可置疑，但亦有部分其实际价值有待于更多的临床实践来証明。本书专为初学者而編写，因此我們认为，它的内容应力求簡單扼要而不应包罗万象。并且为了理論尽量联系实际，在材料的选择上也应力求符合我国的具体条件和需要。本书即在这种原則的指导下編写而成。

由于作者們的水平有限、經驗不足，本书的缺点必然很多，尚希同道們提出批評和指正，使之日后得以充实提高，漸臻完善。

本书编写中承蒙上海第二医学院医疗系耳鼻喉科教研组同志们协助收集资料，最后在出版方面又蒙上海科学技术出版社予以大力协作，特此表示衷心感谢。

何 永 照

上海第二医学院附属仁济医院耳鼻喉科

1963年3月23日

目 录

前 言

第一篇 听觉生理及病理提要1

第一章 声的性质1

一、频率2

二、强度3

三、位相5

第二章 听觉生理：空气传导和骨传导7

一、空气传导7

二、鼓室扩音作用8

三、骨传导 11

四、耳的感音作用 14

五、听觉神经冲动的产生 17

第三章 病理性听觉变化 18

一、传导性耳聋 19

外耳道病变(19) 中耳病变(19) 鼓室病理中的骨传导变化(28)

二、感音性耳聋 32

耳蜗性耳聋(33) 神经性耳聋(39) 中樞性耳聋(40)

第四章 感音性耳聋的一些特殊现象 43

一、复聪 43

二、听觉适应与疲劳 48

关于疲劳和适应的某些生理现象(48) 疲劳和适应的产生部位和
机制(53) 疲劳和适应的临床意义(54)

三、复听 56

第二篇 听力测验 58

第五章 一般听力测验 58

一、语言声测验 58

二、音叉測驗	59
第六章 听閾測驗	67
一、純音电測听机檢查	67
气导測驗 (69) 骨导測驗 (70) 掩蔽法 (72) 听力曲綫图記 录法 (73) Békésy 电測听机 (74) 快速电測听机測驗法 (75)	
第七章 超听閾听力測驗	76
一、語言电測听机測驗	76
二、复聰測驗	78
三、听觉疲劳和病理性适应測驗	85
四、音强最低差异的敏感度及其測驗	88
五、音强耐量測驗	92
第八章 特殊听力測驗	93
一、皮肤电阻条件反射听力測驗	93
二、脑电波听力測驗	95
三、儿童听力檢查	96
四、詐聾鉴别法	101
五、精神性耳聾及其測驗	106
第九章 助听器	108
一、电助听器	110
二、电子管助听器	110
三、半导体助听器	114
四、耳塞	118
五、拾式助听器	119
第十章 隔音室	125

第一篇 听觉生理及病理提要

第一章 声 的 性 质

声音是物质振动所产生。在振动时四周空气发生一系列稠密和稀疏的变化。这种空气的变化不断向外周扩展,从而产生声波。声波在传播时如遇障碍,就发生三种遭遇,即其一部分被折射,一部分被反射,其余被传导而进入障碍物中。因折射而产生音影(Sound shadow),因反射而产生回声。折射和反射的程度与障碍物的体积大小成正比。至于传导的程度则全视障碍物及空气间的比重(或重量)、弹力(或僵硬程度)和阻力(导体或介质在振动时内部分子相互磨擦时发生的阻力)的差异程度而定。这种差异构成传导中的声音阻抗。阻抗愈小,传导愈佳。例如空气中的声波几乎全部被传导到邻近的空气中,因为它们性质是完全一致的,但只有0.1%能被传入液体中。障碍物是固体时其传导更差,而绝大部分被反射。由于液体和固体在上述三个基本性质上和空气相差悬殊,故空气中的声波如无鼓室的扩音作用而全赖颞骨传入内耳,则听觉将遭受困难。

三种物理性质对各种音频传导上的影响各有不同。每种导体在音响的传导中,它本身必须产生振动,而它的振动则又取决于传入的音频和它的上述三个基本物理性质。在一定的强度下,低频率的音调所引起的导体振动的幅度比高频率的大。弹力或僵硬程度愈低,愈有利于大振幅的振动,亦即愈有利于低频率音调的传导。若导体的僵硬度高,则它的振幅受到限制,所以低频率音调的传导将受到比较明显的影响。临床上纤维性变化使听骨链的僵硬程度增加后所引起的以低音为主的听力减退即是这种具体例子。

物质的振动必须首先克服它的惰性,振动的频率愈高,它所需

要克服的惰性愈大。此外惰性也和物质的比重或重量成正比。因此导体的重量愈小,愈有利于高频率的振动,也就是愈有利于高频率音调的传导。反之,则高频率音调的传导将受到比较明显的影响。临床上中耳积液所引起的高音听力减退,就是这方面的具体例子。

至于导体的阻力则和它内部分子相互之间在振动中所产生的磨擦成正比。它在传音上对各种频率的影响并无选择性。换言之,即阻力增加,所有音调的传导将同样受到影响。

声波传播的速度因导体的密度不同而各异。在空气中它的速度为每秒 1129 呎(或 344 公尺),在水液中为每秒 4714 呎(或 1437 公尺),在和颞骨相仿的象牙中为每秒 9886 呎(或 3013 公尺)。

声音因频率、强度及位相而各异。

一、频率

声音是物质振动所产生,已如上述。因振动的速度不同而产生频率不同的声音。俗称声音的高低或音调即指频率。它以每秒的周期数(周/秒)或赫兹(hertz)来表达。一个周期即为振动中的一个来回的动作,亦即包含空气中的一个压缩期和稀疏期。音调的波长可从声波的速度除该音的频率计算而得。例如 1100 赫兹的波长即为 $1129/1100=1.02$ 呎。频率愈大波长愈短。人类正常听觉器官所能察觉的音调,最低始自 10 赫兹,最高达 24,000 赫兹(Shambaugh, Jr., 1959)。音乐的音调一般在 50~5000 赫兹之间。言语一般在 300~5000 赫兹之间,其中最主要的是 500, 1000 和 2000 赫兹。

当各种频率的音调经过鼓室到达内耳时,人们所听得并非原来频率的纯粹音调,因为除原来的纯音外,尚有其他各种不同的音调存在。前者称为基音,后者称为泛音。泛音是以简单的倍数(1, 2, 3, 4……)关系高于基音的音频。例如基音为 128 赫兹,则泛音为 256, 512, 1024 等等赫兹。因泛音的强度弱于基音而往往为

基音所掩蔽，故不易听得。它们的产生和基音的强度及频率直接有关，即基音频率愈低或强度愈高，泛音愈为丰富。

每种基音因有强度不同数目不等的泛音混和故有不同的音质（或称音色）。不同的乐器或不同的人所发的声音即使在音调和强度上完全一致但因音质各有不同，故易被识别。一般音叉的音调可视为纯音，因其基音很强而泛音很弱故也。

纯音是最简单的音响，因其只含一种频率的音调。语音和音乐包含许多频率的音调，故比较复杂，并由于许多频率都具有一定的周期性和节奏性，故很悦耳。最复杂的音响是噪音，因其所包含的无数音响并无一定的周期性和节奏性，故易不悦耳。

频率俗称音调已如上述。但严格的说来，这二个名字有所区别。频率是声音的物理性质。音调是听觉器官受到某种频率的声音刺激后所产生的感觉。频率不受音响强度的影响，即如音叉被击动后，虽声音的强度逐渐降低，但其频率始终保持不变。音调可因强度不同而略异：当声音在一般强度之下它的频率与音调互相一致，但强度增加时，低频率的音调显得更低而高频率的音调显得更高（Saltzman, 1949）。例如 8192 赫兹的声音在 100 分贝强度下所产生的音调，要比在 80 分贝时高，而 128 赫兹的声音在 100 分贝时所产生的音调，要比在 70 分贝时低。强度对于 500~4000 赫兹间的音调影响最小。此外听觉疲劳也能影响音调的高低（Best 和 Taylor, 1950; Békésy, 1960）。

二、强度

声音的强度取决于振动的振幅，即振幅愈大，强度愈高。它在物理学上以瓦特（声能）或达因（声压）来表达。但在生理学及耳科学中则用一种相对的而不是绝对的单位来表达。这种单位仅是一个强度和同频率音调的某种标准强度的比值，即如 J/J_0 ，其中 J = 该音调的实际强度， J_0 = 该音调的标准强度。所谓标准强度可随人选择。耳科学家及生理学家则以隔音室内正常听阈的强度

(即正常人所能听得的最低强度)作为标准。如以 1000 赫兹为例并以物理单位表达,这标准则为 10^{-16} 瓦特(watt)或 0.0002 达因(dyne)。为方便起见一般不用此值本身的实际数字而用它的常用对数来表达,即 N (生理强度单位) = $\text{Log}_{10} J/J_0$ 。用这方式计算出来的单位,称为贝耳。但贝耳的数值在实用上太大,所以普通用分贝耳(简称分贝)来表达这种强度。10 分贝 = 1 贝耳。如声音的实际强度相等于上述标准强度,则其数值是 0 分贝,亦即一般正常人的平均听阈。

一般说来,普通言语的强度约相当于 50 分贝(距离 12 呎),响雷可达 120 分贝,普通飞机 110~120 分贝,喷气式飞机 140~150 分贝。声音强度超出 120 分贝时耳内产生疼痛,故这种强度称痛阈。更强音响则可在暂短的时间内引起耳部损伤。150 分贝的音响非但能使豚鼠的听神经毁坏,并能使它死亡(Berry, 1960)。一般以 100 分贝为安全强度的最高限度,因此普通电测听机中的最高音强应以此为度。但若作用时间太长,则这种或较低的强度对

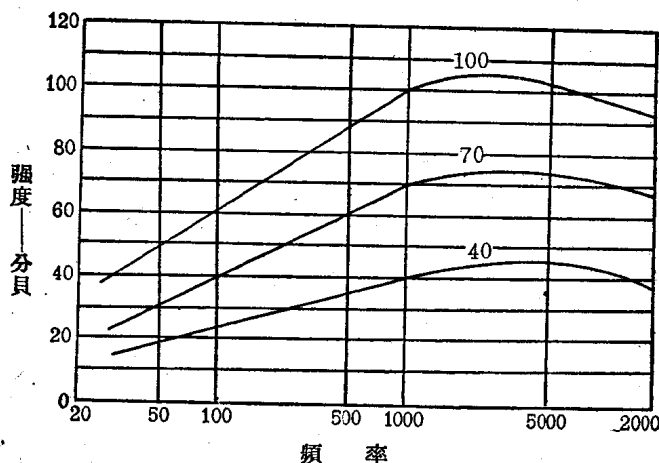


图 1 三种响度不同的曲线。每一曲线上的所有频率都有同等响度,但它们的强度则各有不同。以 100 分的曲线为例: 100 赫兹的音调只需 60 分贝的强度即可达到 100 分的响度, 500 赫兹则需要 90 分贝, 5000 赫兹需要 100 分贝。注意 1000 赫兹的强度和响度一致。

(取材 Saltzman, Clinical Audiology, 1949)

某些耳蜗也有危害作用。

这里应该指出貝尔或分貝的数值并不简单地表达某一声音强度的倍数。例如 20 分貝的强度并非較 0 分貝大 20 倍, 30 分貝的强度并非較 0 分貝大 30 倍, 而是 100 倍及 1000 倍, 这是因为它是用常用对数来表达的。

至于强度和响度并不是两个同义名称。前者是声音的物理性质, 在生理学和耳科学中以分貝为单位, 已如上述。后者是听觉器官对音强的感觉, 它以吩(phon)为单位。例如一个頻率极高的音调(超出人类正常听觉范围的音调或称超声波), 其强度虽很高, 但无响度。又如两个强度完全一致的声音, 可因其頻率不同而所引起的响度不同。当 1000 赫兹的音调作用于听觉器官时, 强度和响度完全一致, 其他一切音调则不然(图 1)。所以在比較各种純音的响度时每以 1000 赫兹的音调作为标准。

三、位 相

位相是声波在不同時間上的特种性质。两个頻率一致的音叉同时被击动后产生完全一致的振动。它們的声波也完全一致。如击动的時間有先后, 則它們每个振动的动作在時間上也有先后的不同, 它們所产生的声波也有差別。这种差別即为下面即将解釋的位相差別。至于音叉的振动, 亦即它所产生的声波是周期性的, 所以位相差別只在击动時間的差別长于或短于一个周期方始产生。如这時間的差別恰为一个周期或恰为周期的任何完整的倍数(如 1, 2, 3, 4 等倍), 則两个音叉的振动仍是一致的, 亦即在声波的位相上并无差別。如这時間的差別恰为半个周期則它們在位相上完全相反。

图 2 是两个 1000 赫兹的正弦波。每个正弦波在不同時間有不同的波形和声压, 亦即在不同时期有不同的位相。这二个正弦波在時間上的差別恰为 $1/4$ 周期。波甲比波乙先开始 0.25 毫秒。当波乙开始时, 波甲的振幅, 亦即它的声压, 已达最高峰。当波乙

达最高峰时,波甲达中和点。这种差别称为位相差别。位相一般以角度来表达。所以它们的位相差别是 90° 。由于每一波形在不同的位相所具有的声压不同,所以两个音调一致而位相不同的音响对听觉的作用有所不同。例如两个同一频率的音调在位相一致时所引起的响度,比个别音调所引起的大。在位相相反时它们所引起的响度要比个别音调所引起的小,因它们在耳内产生抵消作用。位相在许多单纯音波合成复音时有重大意义。在声音方向的判定上,位相也起重大作用。

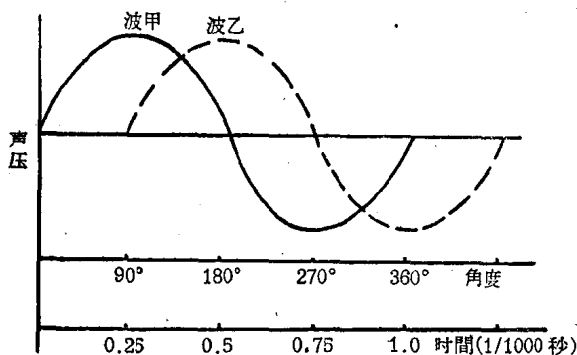


图 2 两个 1000 赫兹的正弦波在位相上的差别

参考文献

- [1] Békésy, G. V.: *Experiments in Hearing*. p. 367. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York and London, 1960.
- [2] Berry, G.: *Otolaryngology*. Edited by Coates, Schenk and Miller. Vol. 1, Chapter 12, p. 3. W. F. Prior Co., Hagerstown, Maryland, 1960.
- [3] Best, C. H. and Taylor, N. B.: *The Physiological Basis of Medical Practice*. p. 1175. Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1950.
- [4] Saltzman, Maurice: *Clinical Audiology*. p. 3. Grune & Stratton, New York, 1949.
- [5] Shambaugh, G. E. Jr.: *Surgery of The Ear*. p. 329. W. B. Saunders Co., Phila. and London, 1959.
- [6] Wever, Ernest G. and Lawrence, Merle: *Physiological Acoustics*. p. 16~34. Princeton Univ. Press, Princeton, 1954.

第二章 听觉生理：空气传导和骨传导

动物的感音器位于头顱的較深部位。外界声波必須导入內耳后方始产生作用而引起听觉的神經冲动。其传导的主要途徑是外耳和鼓室。这种传导方式习称空气传导。声波传导的次要途徑为顱骨,此种传导方式习称骨传导。

一、空气传导

空气中的声波經耳壳收集后由外耳道导至鼓室。再由具有扩音作用的鼓室机构将其导入內耳。

耳壳 动物的耳壳面积寬广,形似喇叭,且受肌肉的控制故能竖起并向四周轉动,借以判定声源的方向,同时将声音集中到外耳道。这对它們的生存起着一定的作用,因这样才能使它們容易察觉敌人来临或食物的所在。人类最初的耳壳可能也类似动物的耳壳。其后在进化过程中人类逐渐征服自然,生活中愈来愈少地受到外界因素的侵襲,因此对集音功能的要求愈来愈低,故耳壳逐渐退化。

外耳道 外耳道是空气传导途徑的一部分。它的寬度并非一重要因素。即使它的 $1/2$ 或甚至 $2/3$ 的寬度被阻塞时,对听觉并无显著影响。临床上的疳疔部分阻塞即可証实此点。如外耳道管腔完全被阻塞听觉减退可达 $30\sim40$ 分貝 (Wever 和 Lawrence, 1954A)。外耳道除传导声波外对某些音頻尚有扩音作用。这种作用对 3800 赫兹的音最为显著。根据物理学原理,一端封閉的管子能对波长比它的长度大四倍的声波产生最良好的共鳴作用 (Shambaugh, Jr., 1959)。外耳道的平均长度为 2.5 厘米,它的四倍即 10 厘米,亦即和 3800 赫兹的波长 (9.05 cm) 相近似。

鼓室 人类在进化过程中的某一时期为水栖动物。这种动物的听觉器官构造簡單并和魚类的听器相似。这种器官是一种簡單

而内含液体的囊性构造(图3)。声波直接由水液导入这种組織。如前所述声波从一种导体导入另一种导体时,其傳导的难易取决于二者之間的比重、彈力和阻力的差別(音响阻抗)。水和組織在这三种基本性质上相差較小,声波的傳导尚佳。所以在这种环境中,这种听觉器官足以适合要求。后来这种动物离开池沼而开始陆上生活时,原有的听觉器官就不再适用,因为这时声波是从空气中导入組織。空气与組織的上述性质相差悬殊,声波傳导困难,因为它们大部分被反射。为了适应环境,所以听觉器官产生一系列的进化。这种变化即在已失去作用的鰓中进行。第一鰓裂发展而

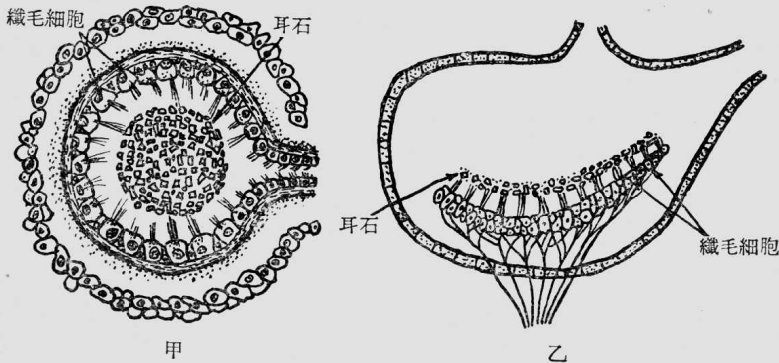


图3 图甲系軟盐动物的听觉器官。它是一种囊性构造,内含液体、纤毛細胞和耳石。这种器官的主要功能无疑是机体平衡而不是听觉。它和人类的前庭圓囊(图乙)构造相仿。(取材 Wever 和 Lawrence, Physiological Acoustics)

成外耳道,第一鰓沟发展而成为鼓室和鼓膜。第一鰓裂兩側的鰓弓发展而成为有杠杆作用的听骨鏈。結果乃产生具备克服或匹配空气和組織間声音阻抗功能的鼓室。它能使振幅較大而能力較小的空气中的声波轉化为振幅較小而能力較大的液体(淋巴)振动。換言之它有扩音作用。

二、鼓室扩音作用

鼓室的特殊构造能将傳入的声音扩大,使它成为一足量的刺

激。根据动物试验和临床实践这种扩音效能相当于 25~30 分贝 (Wever 和 Lawrence, 1954B; Wever, Lawrence 和 Smith, 1948; Walsh 和 Davis, 1950 等等)。鼓室的扩音机构即为鼓膜及听骨链。关于这种构造在声音传导上的作用, Helmholtz, 氏早在 1863 年已有详细记载。他认为鼓室的扩音作用有赖于三个因素: (1) 鼓膜的杠杆作用; (2) 从鼓膜和镫骨脚板在面积上的差别所产生的增压作用; (3) 听骨链的杠杆作用。以上因素中第一种已被后来许多学者所否定, 故不加讨论。第二和第三因素仍为近代所公认。兹将其扩音机制分述于后。

鼓膜 空气中的声波由鼓膜和听骨链导入耳蜗。当鼓膜面积所接受的能量到达椭圆窗时, 声压有所提高。这种增高主要系鼓膜和镫骨脚板间的面积差别所致。如以 21.0 为鼓膜和镫骨脚板之间的标准面积比率, 则因此而引起的声压增加应为 21 倍。但鼓膜由于周缘固定于鼓沟, 在接受声波时并非整个面积振动, 其振幅愈近边缘愈小。故在增压作用上不能以其全部面积计算。根据 Békésy 氏的观察, 鼓膜在振动时只有中央 $2/3$ 部分运动如一整体。故其有效部分只占全部面积的 $2/3$ 。因此实际上由于面积差别所产生的压力增加只有 $21 \times 2/3 = 14.0$ 倍 (Wever 和 Lawrence, 1954C)。

听骨链 各听骨因构造及互相连接的方式特殊, 在功能上成一弯形杠杆。锤骨的柄成为其长臂, 砧骨的长突成为其短臂。其支点或转轴相当于通过锤骨前韧带及砧骨短突的水平线。当鼓膜振动时听骨链依上述横轴振动。当振动传到砧骨长突时, 因杠杆作用, 振幅缩小而强度增加。锤骨柄及砧骨长突的长度比例即为声压增加的倍数。如以 1.31 为此标准比例, 听骨链可将声压强度增加 1.31 倍, 亦即相当于 2.5 分贝 (Wever, Lawrence 和 Smith, 1948)。

整个鼓室的扩音效能即为 $14.0 \times 1.31 = 18.3$ 倍。但因各有关专家所测得的面积大小不一, 并因计算的方法各有不同, 故鼓室的增压效能尚无标准数字。

根据以上数字听骨鏈在鼓室的扩音功能中所起的作用极微，并因这串鏈只在一般的强度声音刺激时行动一致。如音强增高，每个小骨的振幅可有不同，同时鐮骨的运动方式亦产生变化。在一般强度的声波刺激下，鐮骨脚板依后緣的垂直軸摆动。但当声音的强度到达痛阈时，它即依脚板的橫軸轉动。这样使外淋巴液只在椭圆窗附近移动，故能減輕强音对基底膜所起的作用。此外在强音刺激下，錘骨砧骨間的关节“暂时脱位”(Best 和 Taylor, 1950)。以上各种听骨运动上的变化可降低声能的傳入而避免內耳受伤。因此听骨鏈的主要功能可能在于保护作用。

鼓室其他机构在气导中的作用：

耳內肌 鐮骨肌和鼓膜張肌在某种强度的声音刺激下能产生反射性收縮。它們的收縮能更改听骨鏈的僵硬程度因而影响声波的傳导。影响的程度因頻率而各异。例如肌肉張力增加可使 60 赫兹音調的听阈提高 45 分貝，对近乎 1300 赫兹音調的听力反而略有增进，对于 2000 赫兹以上的音調則无影响 (Davis 和 Fowler, Jr., 1947A)。所以这种影响主要在于减少低頻率音响的傳导。

但耳內肌并非对各种弱小声波也起作用。反射性收縮只在声音强度增加到某一程度时方始产生，而它的程度和声音的强度成正比。在 250 赫兹到 4000 赫兹之間，一般听阈和肌肉的反射阈的差別相当于 80 分貝 (Jepson, 1951)。这一点和上述选择性的保护作用(即降低低頻率声音傳导)使鼓室的傳导机构更为精密。因此它既能保証对日常一般声音的听觉完整又能减少强有力低頻率声波的危害性。在声音刺激开始后，反射性收縮經短暫的潜伏期后才产生，并又需經一短暫的时期方达最高峰。因此耳內肌对突然而短暫的爆炸声并无保护作用。

鼓室腔 鼓室为一含气的空腔。前上方借咽鼓管与外界相通。后上方經鼓竇入口与乳突气房相連。这种构造在声波傳导上起着重要作用。第一，它能使听骨鏈及鼓膜悬挂在空間，并使鼓室內的气压借咽鼓管經常与大气压力保持平衡。这种条件均极有利于听骨鏈及鼓膜的自由振動。第二，鼓膜每次振動时，鼓室內当有