

## 人听觉辨别阈和听阈的加龄变化

罗维之 梁之安

(中国科学院上海生理研究所 上海 200031)

1996 年 9 月 2 日收到

1996 年 12 月 23 日定稿

**摘要** 测定了不同年龄无耳病史受试者对重复短声的频率辨别阈 ( $\Delta f$ )、相位辨别阈 ( $\Delta\phi$ )、强度辨别阈 ( $\Delta I$ ) 及对不同频率纯音的听阈 ( $HT$ )，分析了  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$ 、 $\Delta I$  及  $HT$  与年龄的关系。所选受试者年龄范围为 17—67 岁，重复短声的基准频率为 500 pps，听阈测试纯音的频率范围为 500—8000 Hz。40 岁以后  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$ 、 $\Delta I$  及  $HT$  的加龄变化甚为明显；40 岁以前则只  $\Delta\phi$ 、 $\Delta I$  及 8 kHz 的  $HT$  经统计处理后可看出随年龄而增大的变化。以实验结果 ( $N = 190$ ) 中 50 百分率的函数曲线为基础计算得各种辨别阈的加龄变化方程分别为： $\Delta f = 0.0024X^2 - 0.116X + 2.116$  (pps)， $\Delta\phi = 0.0010X^2 - 0.050X + 1.343$  (度) 及  $\Delta I = 0.0004X^2 - 0.0163X + 0.455$  (dB)。听阈 (8 kHz) 的为  $HT = 0.0424X^2 - 2.15X + 34.94$  (dB nHL)。

PACS 数 43.63

Aging changes in human auditory discriminating thresholds  
and hearing thresholds

LUO Weizhi LIANG Zhi'an

(Shanghai Institute of Physiology Chinese Academy of Sciences Shanghai 200031)

Received September 2, 1996

Revised December 23, 1996

**Abstract** Measurements of auditory discriminating thresholds of frequency ( $\Delta f$ ), phase ( $\Delta\phi$ ) and intensity ( $\Delta I$ ) of repetitive clicks and hearing thresholds ( $HT$ ) of pure tones were performed in human subjects with no history of ear pathology, the range of age being 17—67 years. The reference repetition rate of the clicks used was 500 pps and the frequencies for pure tone audiometry were 500—8000 Hz in octave steps. Aging changes of  $\Delta f$ ,  $\Delta\phi$ ,  $\Delta I$  and  $HT$  are obvious after the age of 40, while before 40, only  $\Delta\phi$ ,  $\Delta I$  and  $HT$  of 8 kHz show mild but statistically significant increase with age. Calculated on the basis of the 50 percentile curves from the experimental results ( $N = 190$ ), formulae of these aging changes can be expressed as:  $\Delta f = 0.0024X^2 - 0.116X + 2.116$  (pps),  $\Delta\phi = 0.0010X^2 - 0.050X + 1.343$  (degrees),  $\Delta I = 0.0004X^2 - 0.016X + 0.455$  (dB) and,

for 8000 Hz pure tone,  $HT = 0.0424X^2 - 2.15X + 34.94$  (dB nHL)。

引言

生理功能的加龄 ( aging ) 变化是个有广泛兴趣的研究课题。对不同的人, 不同功能的加龄变化表现不一。听觉较能反映此种变化, 只是已有的资料偏重于听力测量方面<sup>[1-3]</sup>, 听觉辨别功能的研究却较缺乏, 主要原因在于测定听觉辨别功能的方法远不如测定听力的那么现成。而就提取和处理有用信息而言, 听觉的辨别功能比感受功能 ( 听力 ) 更为重要, 其加龄变化因而也应有它的特点和意义。我们建立了在人可方便准确地测定听觉的频率辨别阈、相位辨别阈和强度辨别阈的整套技术及相应设备, 本文报导我们在不同年龄组受试者测得的上述几种辨别阈和各频率的纯音听阈及对其加龄变化的分析结果。

1 方法

测试对象共 95 名, 均为大专院校师生和家属, 身体健康, 无耳病史, 无噪声接触史, 无耳病家族史, 17 岁至 67 岁, 年龄分组及性别如表 1。每受试者两耳分别测试 ( 共 190 耳 )。

表 1 受试者的年龄分组

年龄	男	女	合计 ( 耳 )
< 20	24	12	36
20 ~ 29	34	6	40
30 ~ 39	18	16	34
40 ~ 49	26	28	54
50 ~ 59	10	4	14
> 59	6	6	12
合计	118	72	190

辨别阈的测定用本实验室自行设计和装制的调频调幅调相声刺激器。该仪器产生基准频率为 500 pps 连续的重复短声 ( 电信号为 0.1 ms 的矩形波脉冲串 ), 它可被调频或调幅。此脉冲 (  $P_1$  ) 串可经一定延迟 (  $T$  ) 后触发另一参数相同的脉冲 (  $P_2$  ) 串, 二者相加后即组成每秒 500 对 (  $P_1 + P_2$  ) 脉冲,  $P_1$  的时间位置固定不变, 改变  $T$  即改变  $P_1$  与  $P_2$  的间隔, 在时域上便是调相<sup>[4,5]</sup>。基准的  $T$  为 0.33 ms, 约相当于基准相位差 60°。调制信号为每秒 1 次的梯形波, 时程 200 ms, 上升下降时间各 10 ms, 调制信号到达时, 重复短声便被调频、调幅或调相。调频范围 0 ~ ± 40 pps, 调节精度 0.1 pps, 调幅范围 0 ~ ± 5 dB, 调节精度 0.1 dB, 调相范围 0 ~ ± 40°, 调节精度 0.1° 均由梯形波的振幅和极性控制。

实验在安静隔声室内进行。由耳机单侧给声, 声强用受试者阈上 50—60 dB ( 舒适强度 )。测试用受试者自动调节法<sup>[6,7]</sup>: 先由主试者给一较大的调制深度, 让受试者清楚地听到连续声中有每秒 1 次的周期性波动, 然后受试者自己反复转动在其手中的调节器, 至认为周期性波动刚消失为止。此时调频调幅或调相的变化量便可作为一次测试所得的辨别阈。在受试者已熟练掌握测试方法后开始正式实验, 每一项测定一般重复 3 次, 若波动不大, 则取 3 次结果的中位数为最后测得的辨别阈 (  $\Delta f$ ,  $\Delta \phi$  或  $\Delta I$  ), 若波动较大, 则增加测定次数或重测后取中位数。

气导纯音听阈用听力计按常规极限法测定。频率为 500、1000、2000、4000 及 8000 Hz。

2 结果

2.1 各种辨别阈与年龄的关系

受试者中男性与女性的平均年龄无显著性差异 ( $t = 0.1153, p > 0.05$ )，男女两组各辨别阈均值左右耳间的差异也无显著性 ( $t = 0.229, p > 0.05$ )，因此在下面的数据分析中，男女和左右耳的结果便不再区分，归为一组。表 2 示各年龄组  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$  和  $\Delta I$  的均值及标准差。表中数据表明，3 种辨别阈都有随年龄而增大的趋势，40 岁以后尤为明显。统计学检验显示，虽然各相邻的年龄组间 3 种辨别阈的差异并非都有统计显著性，但跨过一组间比较（例如 30 ~ 岁组与 50 ~ 岁组及与 < 20 岁组），统计差异都属非常明显，大多数情况下  $p < 0.001$ 。

表 2 各年龄组  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$  及  $\Delta I$  的平均值和标准差  
(95 名正常受试者，190 耳)

年龄	$\Delta f$ (pps)	$\Delta\phi$ (degrees)	$\Delta I$ (dB)
< 20	0.99 ± 0.73	0.59 ± 0.29	0.23 ± 0.10
20 ~ 29	1.14 ± 0.84	0.83 ± 0.39	0.29 ± 0.13
30 ~ 39	1.19 ± 0.73	0.85 ± 0.37	0.44 ± 0.29
40 ~ 49	1.54 ± 0.99	1.10 ± 0.70	0.52 ± 0.41
50 ~ 59	3.76 ± 3.23	1.60 ± 1.44	1.00 ± 1.36
> 59	4.36 ± 2.75	2.46 ± 1.62	1.55 ± 1.40

图 1 示在所有 190 耳测得数值的具体分布，每一数据点为一耳的结果，横坐标为年龄，纵坐标分别为 (a)  $\Delta f$ ，(b)  $\Delta\phi$  和 (c)  $\Delta I$ ，从图中数据点的分布大体上也可看出在 40 岁以后辨别阈明显的加龄变化。图 2 是在图 1 基础上经计算后所得的各组百分率曲线 (percentile curves，定义为分布在该曲线下方数据点占总体的百分数)，百分率自上而下依次为 90、75、50、25 和 10。百分率曲线可较好地定量反映年龄与辨别阈的关系，它们基本上可用二次方程曲线来拟合。我们以 50 百分率曲线为基准，求出  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$  和  $\Delta I$  与年龄 (岁数  $X$ ) 间关系的二次方程如下：

$$\Delta f = 0.0024X^2 - 0.1155X + 2.1164 \text{ (pps)};$$
$$\Delta\phi = 0.0010X^2 - 0.0503X + 1.3433 \text{ (度)};$$
$$\Delta I = 0.0004X^2 - 0.0163X + 0.4545 \text{ (dB)}.$$

若以这些方程来计算不同年龄受试者各辨别阈的理论值，则它们与实际测得的结果总体上说是较为符合的，相关系数  $r$  分别为 0.63 ( $\Delta f$ )、0.56 ( $\Delta\phi$ ) 和 0.59 ( $\Delta I$ )。

30 ~ 39 岁组和 50 ~ 59 岁组相比， $\Delta f$  的均值从 1.19 增至 3.76(pps)，增加两倍多， $\Delta\phi$  的从 0.85 增至 1.60°， $\Delta I$  的从 0.44 增至 1.00 (dB)，都只增加 1 倍左右。这倾向于说明，3 种

辨别阈间  $\Delta f$  的加龄变化尤为明显。

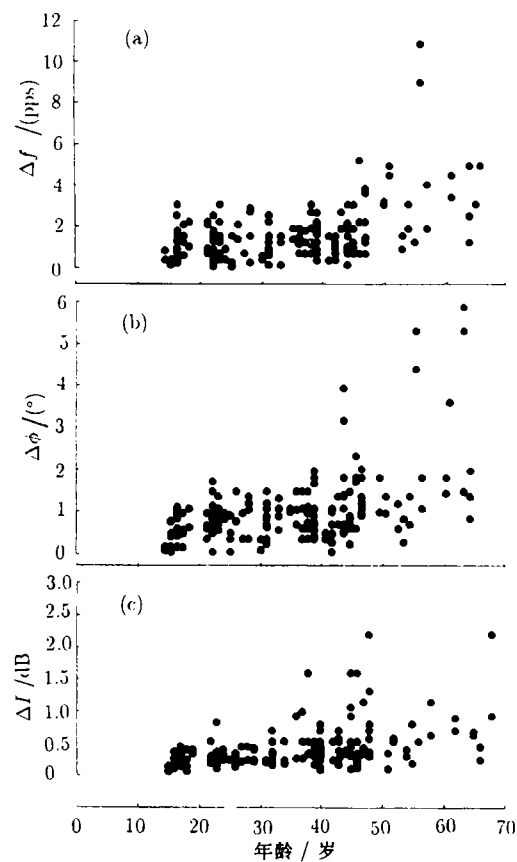


图 1  $\Delta f$ 、 $\Delta \phi$ 、 $\Delta I$  与年龄关系数据点的分布 (a)  $\Delta f$ , (b)  $\Delta \phi$ , (c)  $\Delta I$ . 纵坐标: 辨别阈; 横坐标: 年龄. 详细说明见正文

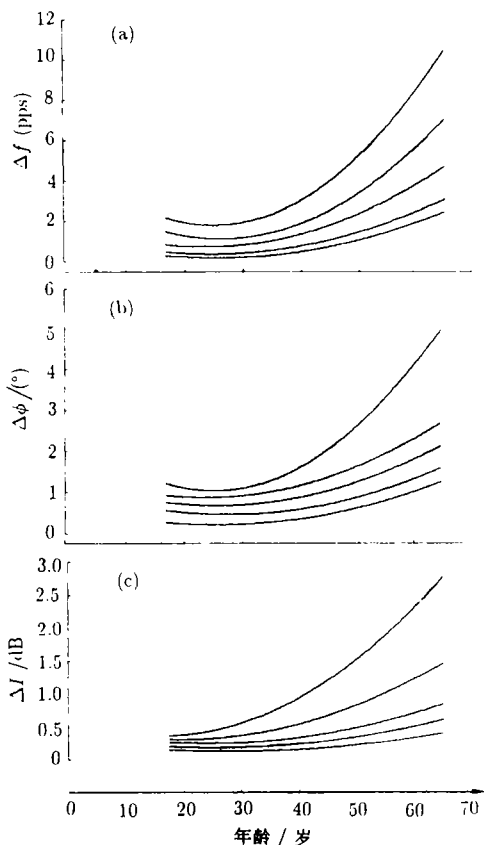


图 2 辨别阈与年龄关系的百分率曲线 (a)  $\Delta f$  的百分率曲线; (b)  $\Delta \phi$  的百分率曲线; (c)  $\Delta I$  的百分率曲线. 纵坐标: 辨别阈; 横坐标: 年龄. 详细说明见正文

2.2 听阈与年龄的关系

对 500、1000、2000 Hz 3 个语言频率, 听阈的加龄变化相差不大, 都较 4000 和 8000 Hz 的缓慢。在图 3 显示  $HT$  与年龄的关系的数据点分布时, 我们便把 3 个语言频率所得结果合并在一起 ( a ), 与 4000 Hz ( b ) 和 8000 Hz ( c ) 的进行比较。总的说来, 听阈的加龄变化在 40 岁以后才开始变得较为明显, 变化的幅度 8000 Hz 的最大, 4000 Hz 的其次, 语言频率的最小。8000 Hz 的  $HT$  在 30 岁以后及其它频率的  $HT$  在 40 岁以后, 各相邻年龄组间差异都有统计显著性, 多数情况下  $p < 0.001$ 。图 4 为相应的百分率曲线, 百分率自上而下依次为 90、75、50、25、10。从 50 百分率曲线计算得的听阈加龄变化方程分别为:

$$\begin{aligned} HT_{(0.5-2\text{kHz})} &= 0.0125X^2 - 0.514X + 15.26 \text{ (dB nHL)}; \\ HT_{(4\text{kHz})} &= 0.0232X^2 - 1.10X + 20.92; \\ HT_{(8\text{kHz})} &= 0.0424X^2 - 2.15X + 34.94. \end{aligned}$$

从上面方程计算得不同年龄的  $HT$  理论值与实测结果的相关, 8 kHz 的最好, 相关系数  $r$  为 0.73, 4 kHz 及语言频率的  $r$ , 略小, 为 0.56 和 0.57。

30 ~ 39 岁组和 50 ~ 59 岁组相比, 语言频率听阈的均值从 12.3 dB 增至 26.8 dB, 增幅较

小, 4 kHz 的从 11.6 dB 增至 27.9 dB, 8 kHz 的增幅最大, 从 17.8 dB 增至 39.3 dB。

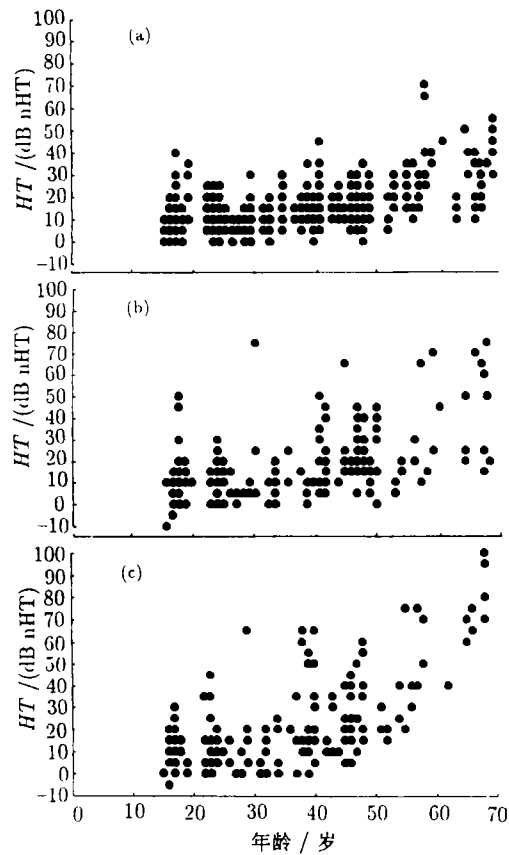


图 3 HT 与年龄关系数据点的分布 (a) 0.5 ~ 2 kHz 的 HT ; (b) 4 kHz 的 HT ; (c) 8 kHz 的 HT 。纵坐标: HT ; 横坐标: 年龄。详细说明见正文

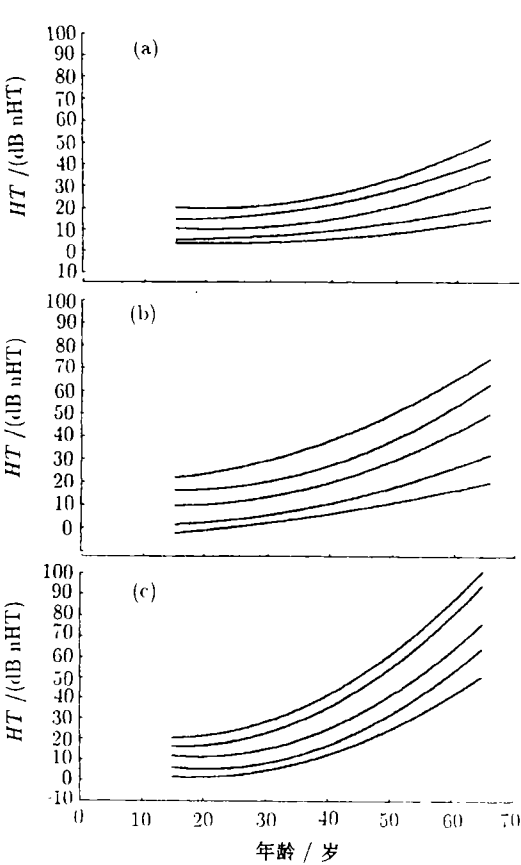


图 4 HT 与年龄关系的百分率曲线 (a) 0.5 ~ 2 kHz 的 HT ; (b) 4 kHz 的 HT ; (c) 8 kHz 的 HT 。纵坐标: HT ; 横坐标: 年龄。详细说明见正文

3 讨论

听觉的 3 种辨别阈和纯音听阈都有明显的加龄变化, 本工作通过实验求出了它们加龄变化的表达方程。听阈加龄变化的结果与文献资料相近<sup>[1-3]</sup>, 辨别阈的加龄变化则是首次报导。各项指标的计算理论值与实测结果的相关系数  $r$  在 0.55 ~ 0.73 范围, 说明所推导的结果能较好地反映真实规律。 $r$  值不可能很大, 因为用任一功能指标表达的“生理年龄”, 不可能与实际年龄完全一致, 而且有较大的个体差异。正是由于这一原因, 用单一指标来研究加龄变化规律便有明显的局限。加龄变化的研究以用多指标为宜, 听阈和听觉辨别阈都有测定方便和准确的优点。本工作在听觉正常 (30 岁以前) 受试者测定的各频率的听阈, 均值约为 10 dB nHL, 标准误为 0.9 ~ 1.5 dB,  $\Delta f$ 、 $\Delta\phi$  和  $\Delta I$  依次为 1.1 pps、 $0.7^\circ$  和 0.26 dB 左右, 标准误均小于 10%, 表明测试是准确的, 而单耳 5 频率听阈的测定一般只需 10 分钟, 3 种辨别阈的测定一般也只需 10 分钟。

听阈反映听觉感受的灵敏度, 辨别阈则反映听觉分析的精确度, 二者分属听觉功能两个不同的基本方面。感受灵敏度较多地与周边感受器的功能状态相关, 分析的精确度则除此之外还要依

赖于中枢的整合功能。周边和中枢都会有加龄变化,但二者不一定平行。脑(中枢)功能的衰退,在人的老年化过程中占重要地位,听觉辨别阈除了和听觉功能有关外,还能在一定程度上反映人的总体包括脑功能的状态<sup>[8]</sup>,因而可以成为研究老年化多样性表现规律的有效指标。

生理年龄和实际年龄可以很不一致,生理功能加龄变化的表现又是多样的,加龄变化研究的目标之一,是找出几种方便准确的、有代表性的指标,对它们的综合比较能作为全面评估生理年龄的依据。在听阈的加龄变化中,8 kHz 的变幅最大,而且变化在 30 岁以后便开始,变化的理论值与实测结果的相关系数  $r$  也最大。在辨别阈的加龄变化中,变幅和  $r$  最大的是  $\Delta f$ 。可以认为,8 kHz 听阈和  $\Delta f$  是反映加龄变化较为灵敏的指标。比较听阈和  $\Delta f$  何者更好是不必要的,因为二者的生理或病理变化并不一致<sup>[9]</sup>。在本工作所检查的对象中 8 kHz 听阈较差的,有相当部分其  $\Delta f$  并不大,反之亦然。显然,对加龄变化的研究,排他性地评出一种指标,并不如选出几种可相互补充的指标更符合实际要求。

### 参 考 文 献

- 1 Corso J F. Age and sex differences in pure tone thresholds Survey of hearing level from 18 to 65 years. *Arch. Otolaryngol.*, 1963, **77**: 385—405
- 2 Robinson D W, Sutton G J. Age effect in hearing—A comparative analysis of published threshold data. *Audiology*, 1979, **18**: 320—334
- 3 International Organization for Standardization. Acoustics—Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons. *Draft International Standard*. ISO/DIS 7029. 1982
- 4 Shao Dianhua, Liang Zhi'an, Lin Huaying, Guo Yuanxing, Chen Lingyu. Changes in auditory differential sensitivity after impulse noise exposure. *14th ICA*, 1992, **H5-2**
- 5 Lu Jianzhong, Liang Zhi'an, Zhao Hongbo, Guo Yuanxing, Zhu Youli. An approach to investigation of monaural phase detection. *14th ICA*, 1992, **H 6-4**
- 6 杨琼华, 林华英, 梁之安. 正常人的调幅感受阈. *生理学报*, 1981, **33**: 57—65
- 7 杨琼华, 陈光地, 梁之安. 声音的调幅感受阈. *生理学报*, 1986, **38**: 515—521
- 8 冯俊明, 杨琼华, 梁之安. 强噪声等环境因素对人听觉功能的影响. *声学学报*, 1980, **5**: 183—191
- 9 Shao Dianhua, Zhang Weiping, Lin Xi, Liang Zhi'an. A reasonable evaluation of auditory function. *Proc. 1st Asian-Pacific Reg. Conf. on Deafness*, 1986, 366—370