

助聽器的選配公式

江源泉 教授

新竹教育大學特殊教育學系

內容

- 選配程序
 - 目標值
 - 以聽力閾值為基礎的選配公式
 - 以響度(MCL、UCL等)為基礎的選配公式

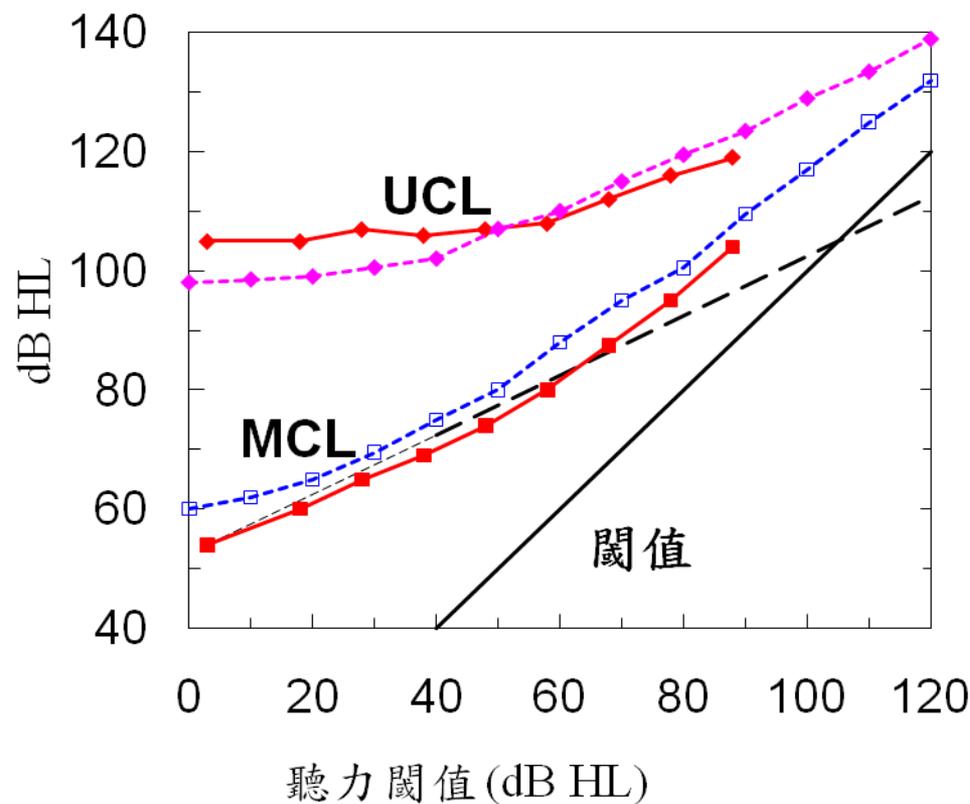
為何需要選配公式？

- 在客戶的聽力損失與助聽器的放大特性中找尋一些規律的參數，可使助聽器的輸出達到最佳化，產生最好的溝通效果，這些參數就組成了選配公式。

選配公式的歷史

- 鏡子反射的聽力圖
 - 1935年，Knudsen & Jones認為每個頻率所需的增益值相等於同頻率的聽損閾值減掉一個常數。
- 最舒適閾值(MCL)
 - 1940年，Watson & Knudsen建議語音應被放大足夠才能使語音能被聽見且較舒適。
- $\frac{1}{2}$ 增益值規則(Half-gain rule)
 - 1944年，Lybarger建議需要的總增益值應為聽損閾值的一半。

選配公式的歷史



輕度到中度SNHL病人在500、1k、2k、4k Hz的UCL與MCL平均值，紅方塊與粉紅方塊是Schwartz et al. (1988)，而白方塊是Pascoe (1988)的研究。虛線為0.5的斜率，顯示MCL與1/2增益值規則之間的關係。

以響度(MCL、UCL)為基礎的選配公式

- Shapiro: 1976
- CID (Central Institute for the Deaf): 1978 & 1982
- LGOB (Loudness Growth in half Octave Bands): 1989 & 1990
- IHAFF/Contour (Independent Hearing Aid Fitting Forum): 1995 & 1997
- ScalAdapt: 1996
- DSL [i/o] (Desired Sensation Level Input-Output, curvilinear compression version, 1995)

以聽力閾值為基礎的選配公式

- NAL (National Acoustic Laboratories, 1976)
- NAL-R (Revised): 1986
- NAL-RP (Revised-Profound): 1991
- Berger: 1977
- POGO (Prescription of Gain and Output): 1983
- POGO II: 1988
- FIG 6: 1993
- CAMREST: 2000
- CAMEQ: 1999
- CAM2: 2010
- NAL-NL1 (NAL nonlinear): 1999
- NAL-NL2: 2010

完全以聽力閾值或以聽力閾值與不舒適閾值(UCL)結合為基礎的選配公式

- MSU (Memphis State University): 1988
- DSL [i/o] (linear compression version): 1995
- DSLm[i/o]: 2005

線性放大的選配公式

- 線性助聽器對所有的輸入音都有相同的增益值，直到輸出音強太大聲而導致助聽器抑制。
- 三個選配公式
 - POGO
 - NAL
 - DSL

POGO & POGO II

- 直接應用1/2增益值規則，但多了低頻音削減，因為要消除低頻環境噪音導致的upward spread of masking。
- 每個頻率的塞入式增益值 = 1/2聽損閾值 + 常數
- 最多只能用到聽損80 dB HL
- POGO II
 - 聽損65分貝以下給予與POGO相同增益值
 - 聽損大於65分貝則聽損多1分貝，增益值就增加1分貝。

POGO formula

$$IG_i = 0.5 * H_i + k_i$$

Freq	250	500	1k	2k	4k
k_i (dB)	-10	-5	0	0	0

POGO II formula

$$IG_i = 0.5 * H_i + k_i, \quad \text{for } H_i < 65$$

$$IG_i = 0.5 * H_i + k_i + 0.5 * (H_i - 65), \quad \text{for } H_i > 65$$

IG_i ：第*i*個頻率的塞入式增益值

K_i ：相同頻率的外加的常數

H_i ：相同頻率的聽力閾值

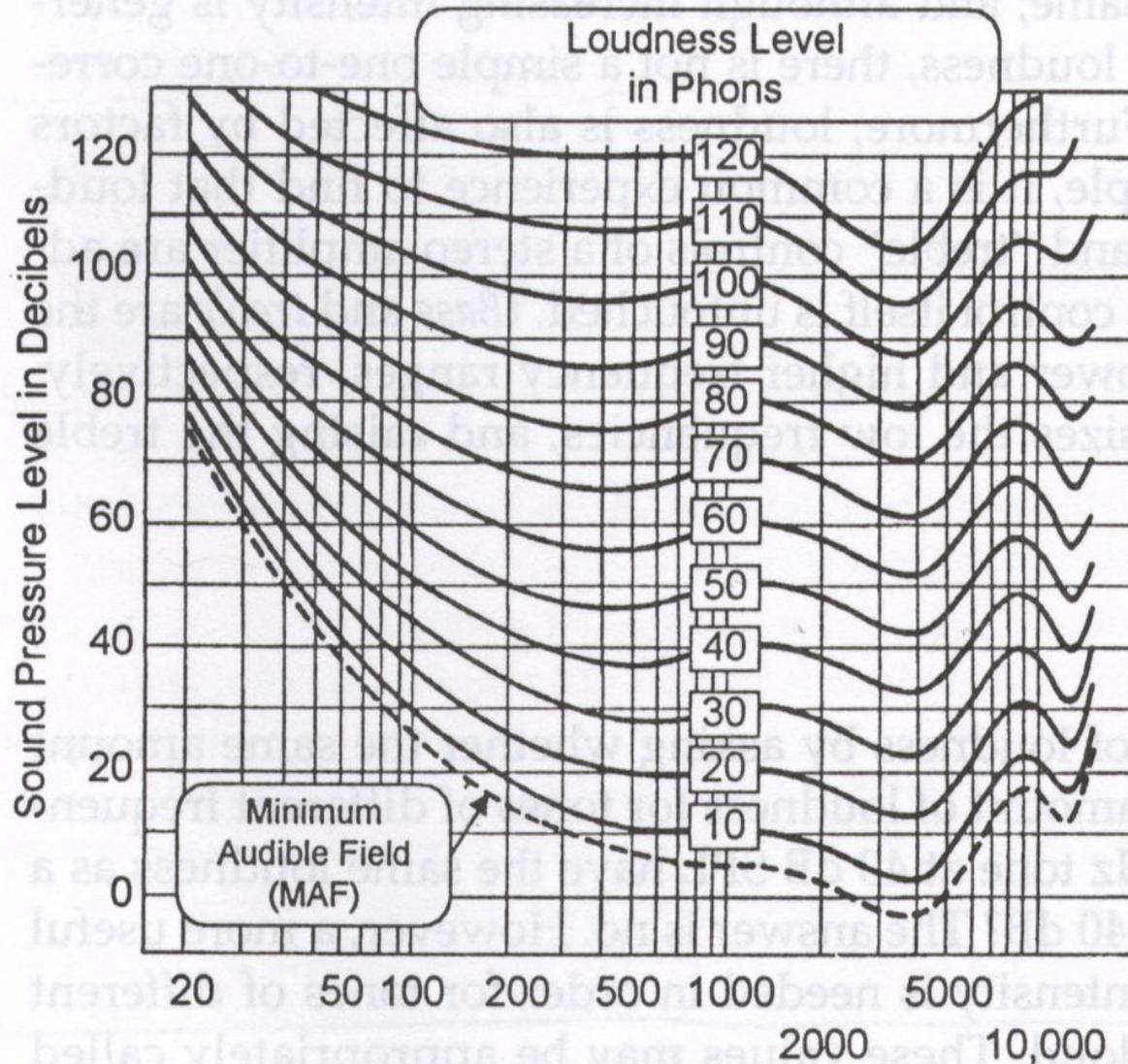
NAL, NAL-R, & NAL-RP

- 澳洲國家聲學實驗室所發展
 - 目的：有最好的語音理解力
- 1976
 - 根據1/2增益值規則，提出了NAL。
- 1986
 - 為使不同的聽力圖型都可以達到等響度而做修正，稱為NAL-R。
 - 適合於輕度至中度聽損
- NAL-RP：1990
 - 增加低頻增益值
 - 減少高頻增益值(耳蝸死區)
 - 適用於重度至極重度聽損

NAL, NAL-R, & NAL-RP

- 等響度聽知覺(loudness equalization)
 - 當所有頻率的語音都能達到相同響度時，就可以擁有最好的語音清晰度。
- 聽力正常者的等響度曲線(equal loudness curve)
- 根據長時間平均語音頻譜圖(LTASS)來調整每個頻率的增益值
- 所有頻率所需的增益值為0.46倍的聽力閾值
 - 1976年，觀察到病人1K Hz喜愛的塞入式增益值(insertion gain)為1K Hz聽力閾值的0.46倍。
 - 每個頻率聽損多1分貝，增益值就需要多0.46分貝。

聽力正常者的等響度曲線



NAL formulae

NAL-R formula

$$H_{3FA} = (H_{500} + H_{1k} + H_{2k}) / 3$$

$$X = 0.15 * H_{3FA}$$

$$IG_i = X + 0.31 * H_i + k_i$$

Freq (Hz)	250	500	1k	2k	3k	4k	6k
k_i (dB)	-17	-8	1	-1	-2	-2	-2

NAL-RP formula

$$X = 0.15 * H_{3FA} \quad \text{for } H_{3FA} < 60$$

$$X = 0.15 * H_{3FA} + 0.2 * (H_{3FA} - 60) \quad \text{for } H_{3FA} > 60$$

$$IG_i = X + 0.31 * H_i + k_i + PC$$

Values of PC (in dB) to use in the above formula, as a function of frequency and hearing threshold at 2 kHz.

H_{2kHz}	Frequency (Hz)						
	250	500	1k	2k	3k	4k	6k
≤ 90	0	0	0	0	0	0	0
95	4	3	0	-2	-2	-2	-2
100	6	4	0	-3	-3	-3	-3
105	8	5	0	-5	-5	-5	-5
110	11	7	0	-6	-6	-6	-6
115	13	8	0	-8	-8	-8	-8
120	15	9	0	-9	-9	-9	-9

NAL-R針對平坦型聽損

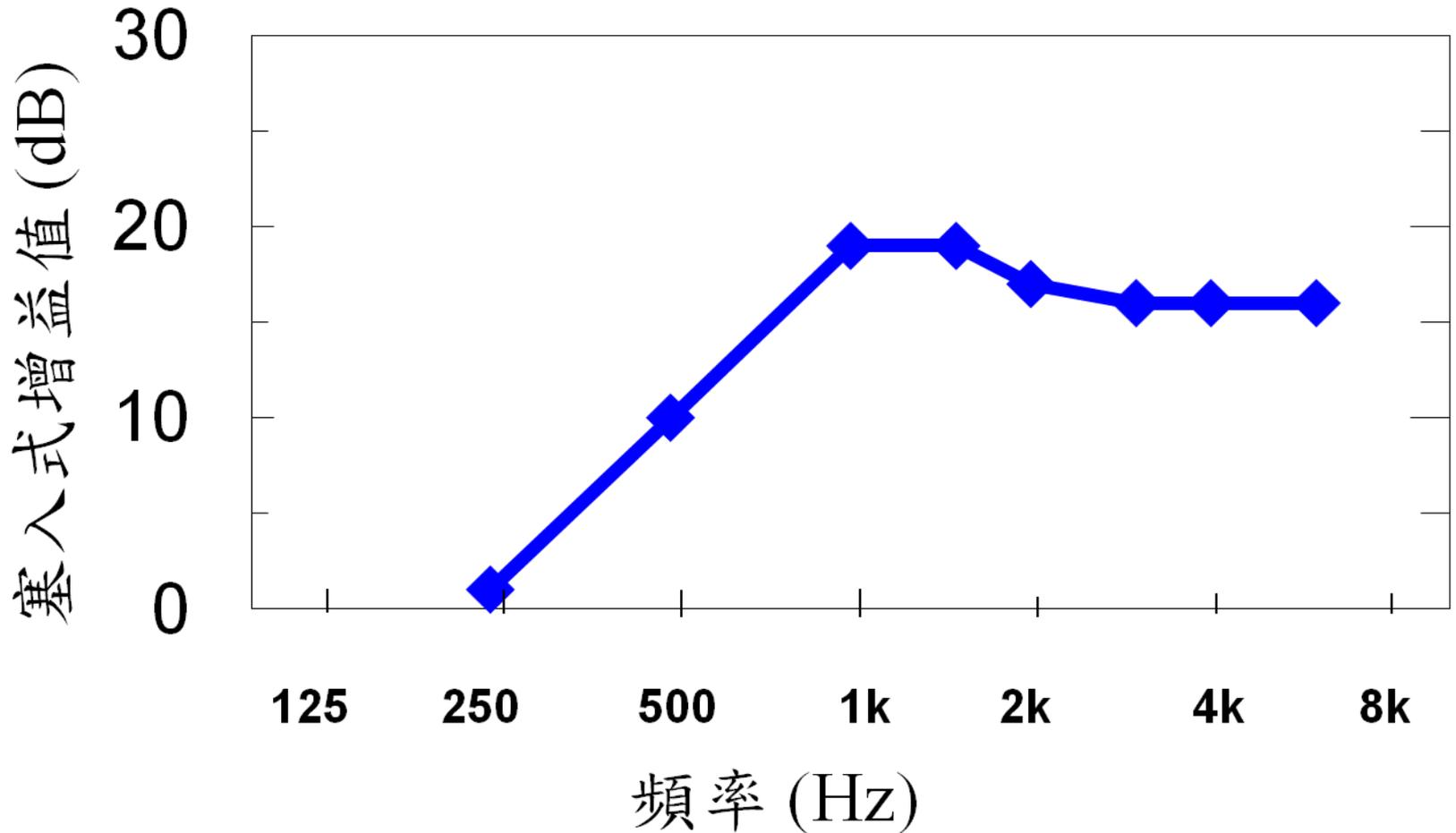
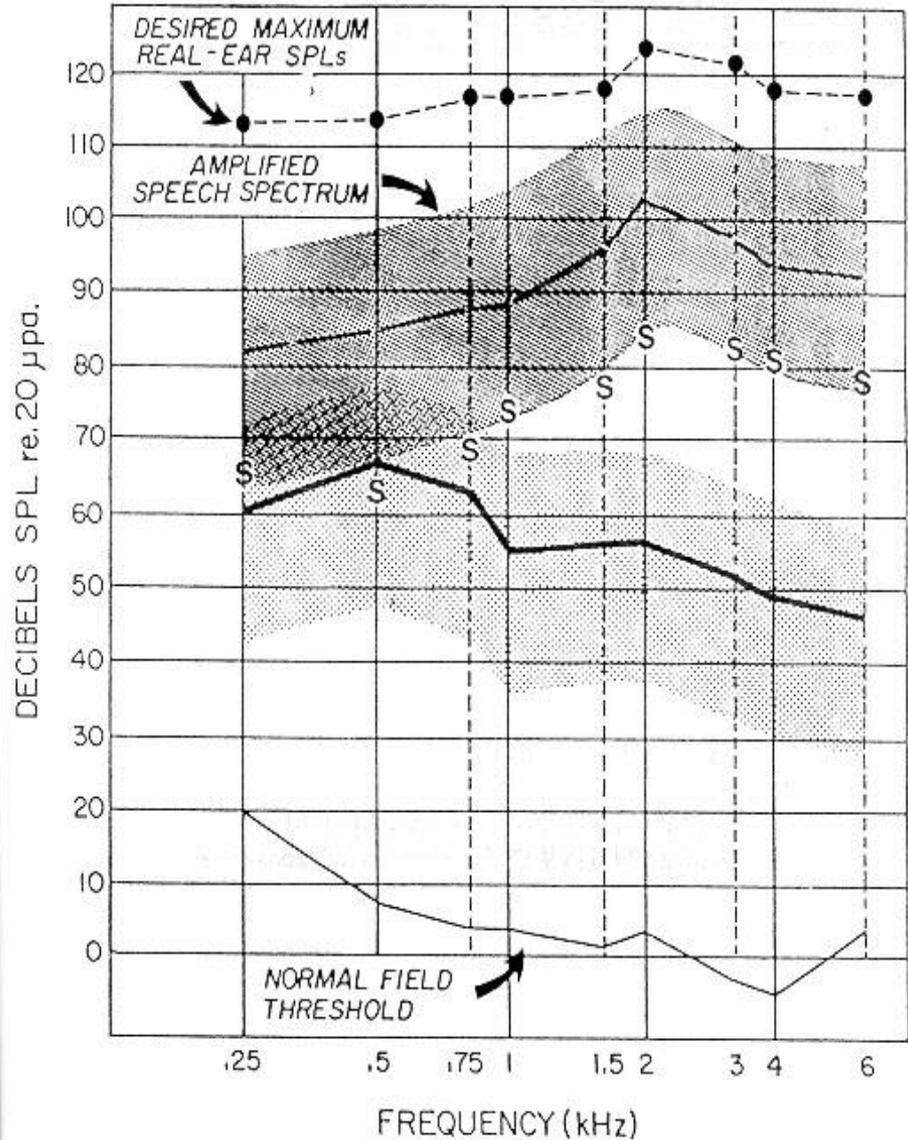
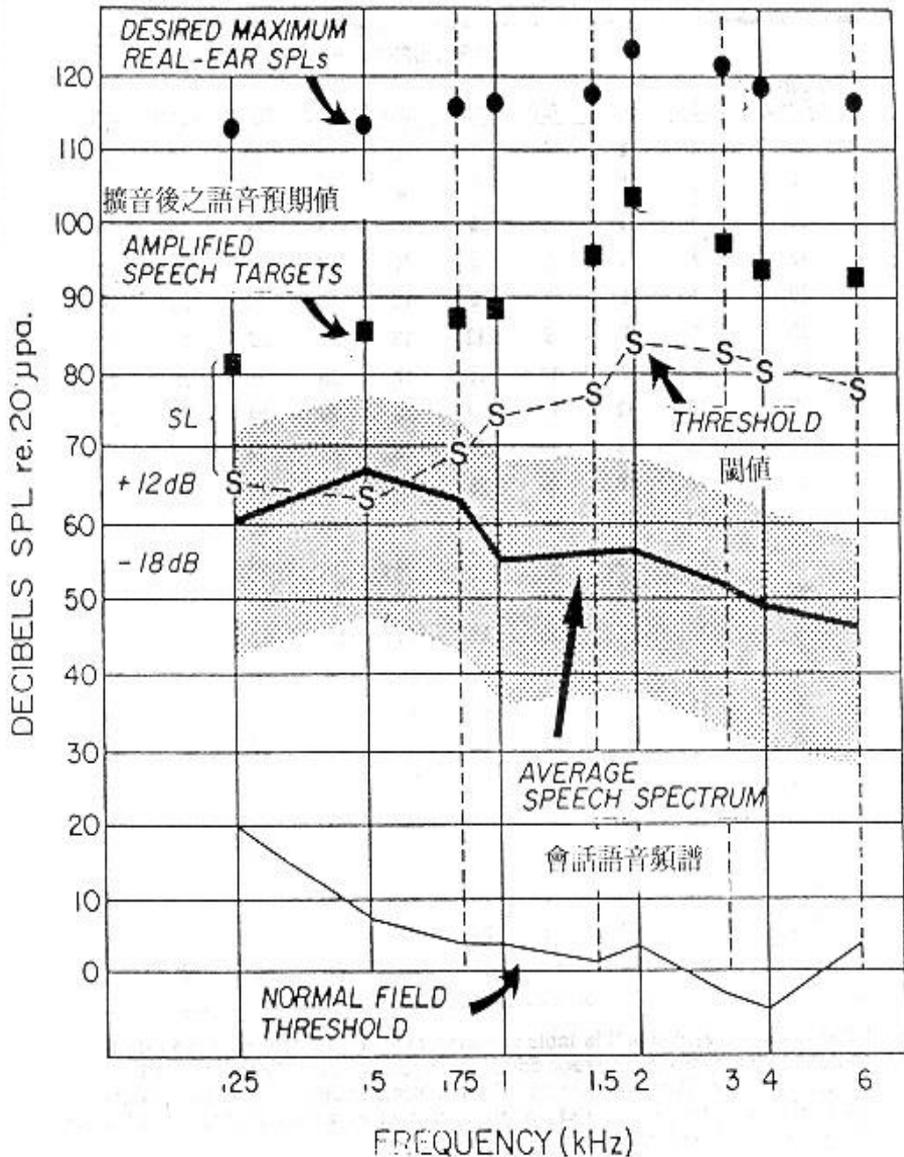


Figure 9.2 NAL-R針對40分貝平坦型聽損的塞入式增益值響應曲線

DSL

- 提供助聽器使用者在每個頻率區域都有聽得見且舒適的訊號
- DSL使用desired sensation levels來計算真耳擴音增益值(real-ear aided gain)之目標值
- 特別針對嬰幼兒與孩童
- 把語音擴音至舒適的大音量(確保所有語音的可聽度)
- 將擴音的語音頻譜圖介於聽力閾值可聽度與不舒適閾值(響度)之間，接近最舒適的聆聽閾值曲線。

理想最大真耳聲壓值



DSL

The target real-ear aided gain values (in dB) used in DSL 4.0 as a function of threshold and frequency. From Seewald (private communication, by permission).

dB HL	Frequency								
	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
0	0	2	3	3	5	12	16	14	8
5	3	4	5	5	8	15	18	17	11
10	5	6	7	8	10	17	20	19	14
15	7	8	10	10	13	19	23	21	17
20	9	11	12	13	15	22	25	24	20
25	12	13	14	15	18	24	28	27	23
30	14	15	17	18	20	27	30	29	26
35	17	18	19	21	23	30	33	32	29
40	20	20	22	24	26	33	36	35	32
45	22	23	25	27	29	36	39	38	36
50	25	26	28	30	32	39	42	41	39
55	29	29	31	33	35	42	45	45	43
60	32	32	34	36	38	46	48	48	46
65	36	35	37	40	42	49	52	51	50
70	39	38	40	43	45	52	55	55	54
75	43	42	43	46	48	56	59	58	58
80	47	45	47	50	52	59	62	62	61
85	51	48	50	53	55	63	66	65	65
90	55	52	54	57	59	66	69	69	69
95	59	55	57	60	62	70	73	73	
100	62	59	61	64	66	73	76	76	
105		62	64	68	70	77	80	80	
110		66	68	71	73	80	83	84	

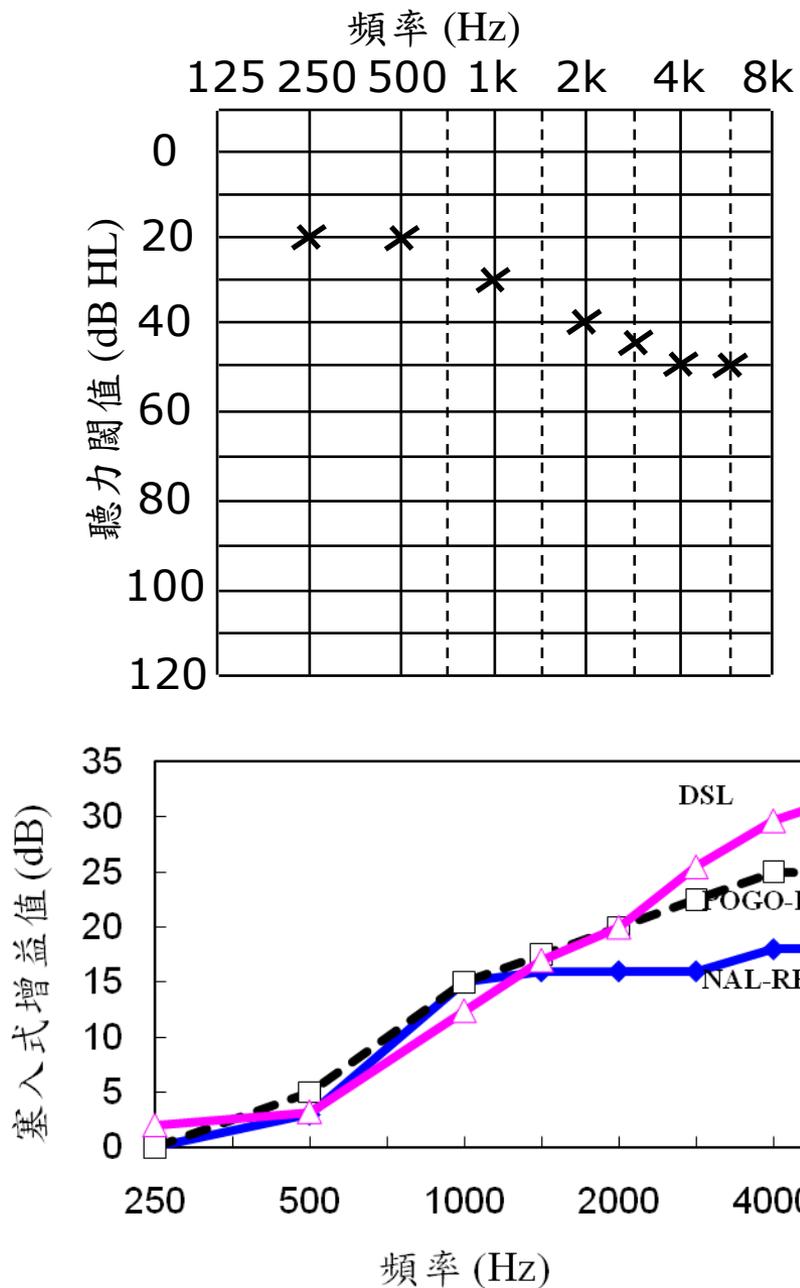


Figure 9.4

輕度、微陡降型的感音神經性聽損，以下是根據DSL (三角形)、POGO-II (正方形)與NAL-RP (鑽石)選配公式所計算出來的塞入式增益值。

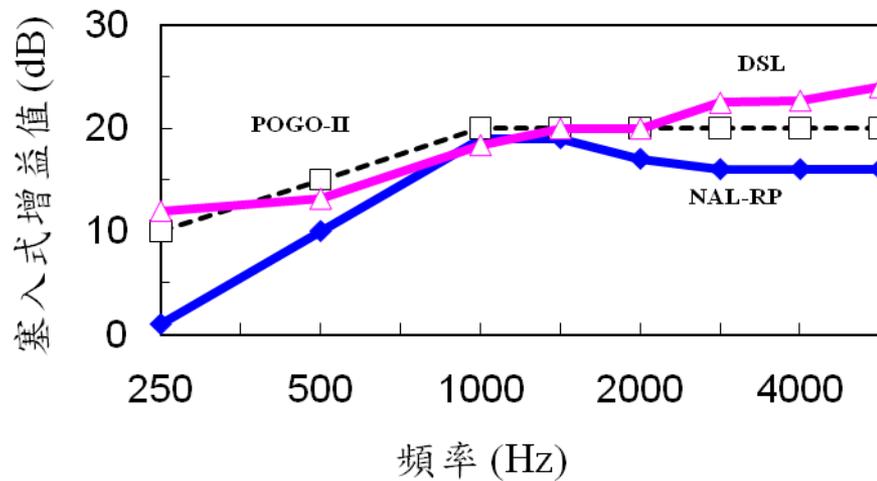
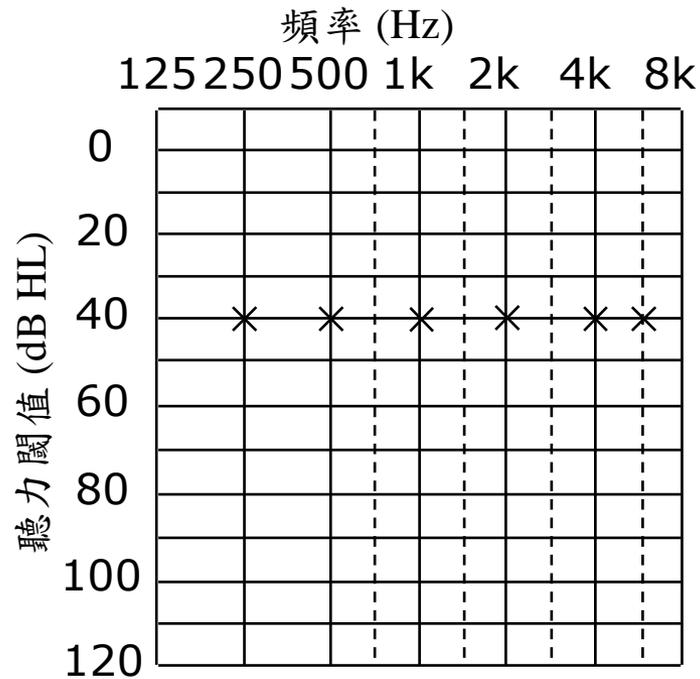


Figure 9.5

同於上圖，但為中度、平坦型感音性聽損。

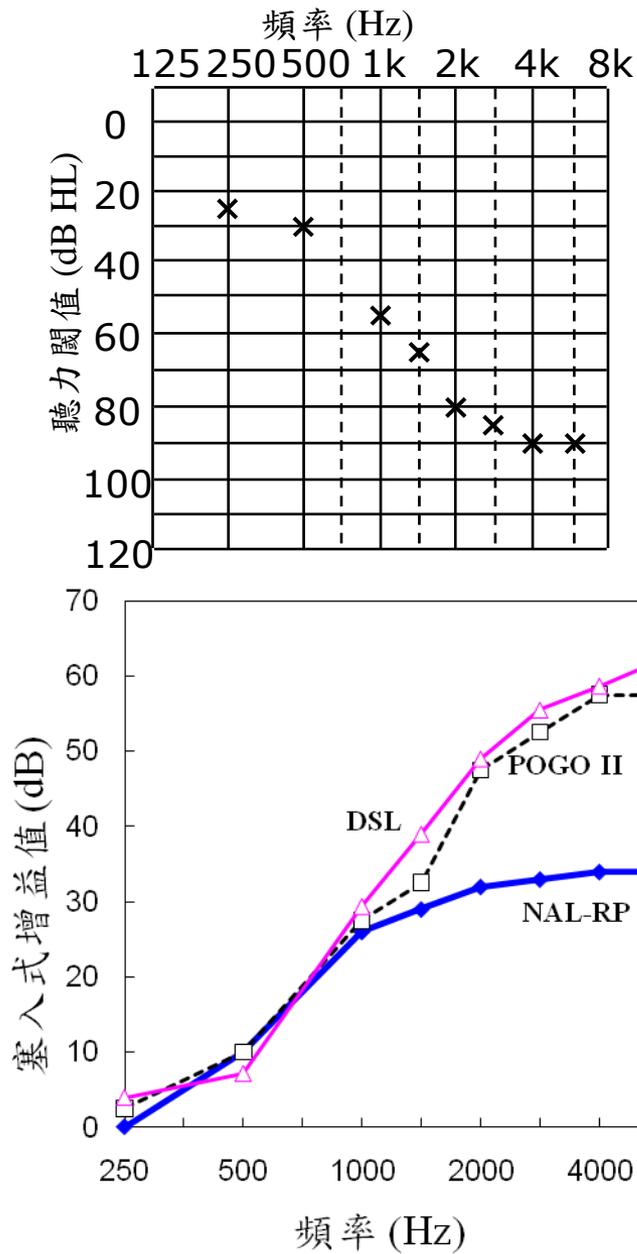


Figure 9.6

同於上圖，但為中度、陡降型感音性聽損。

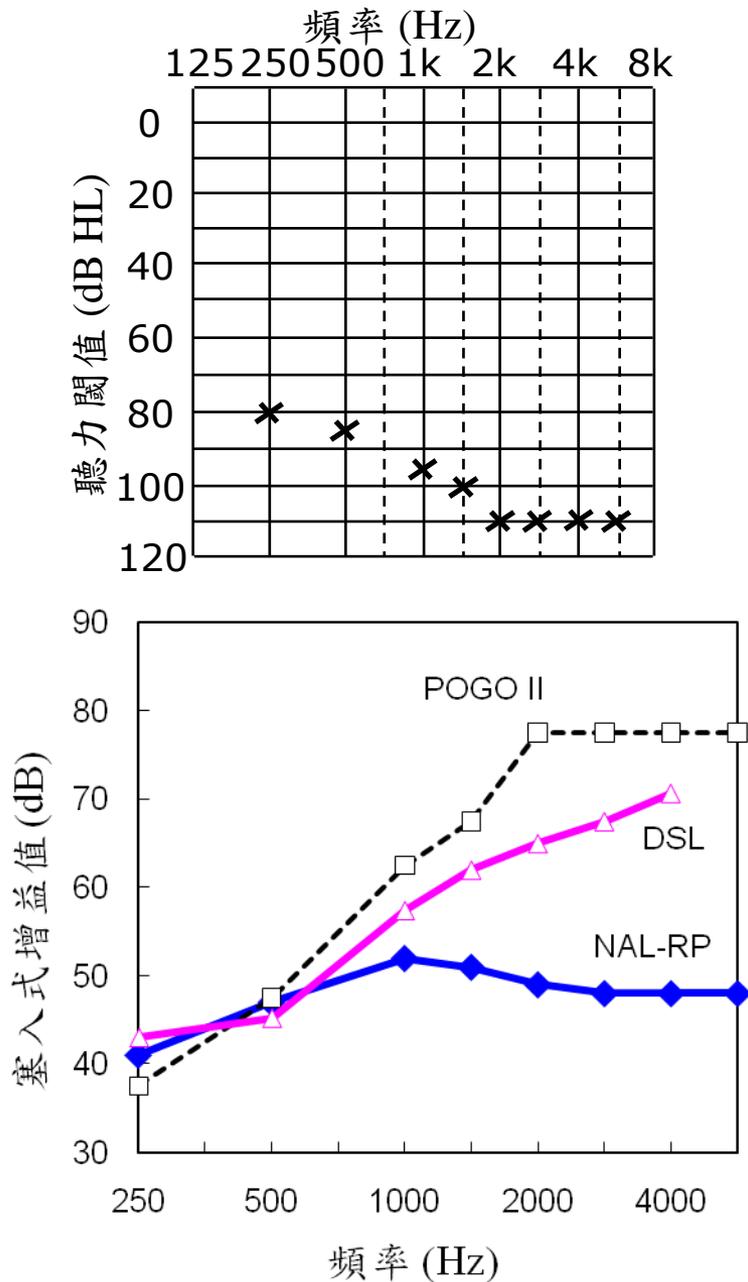


Figure 9.7

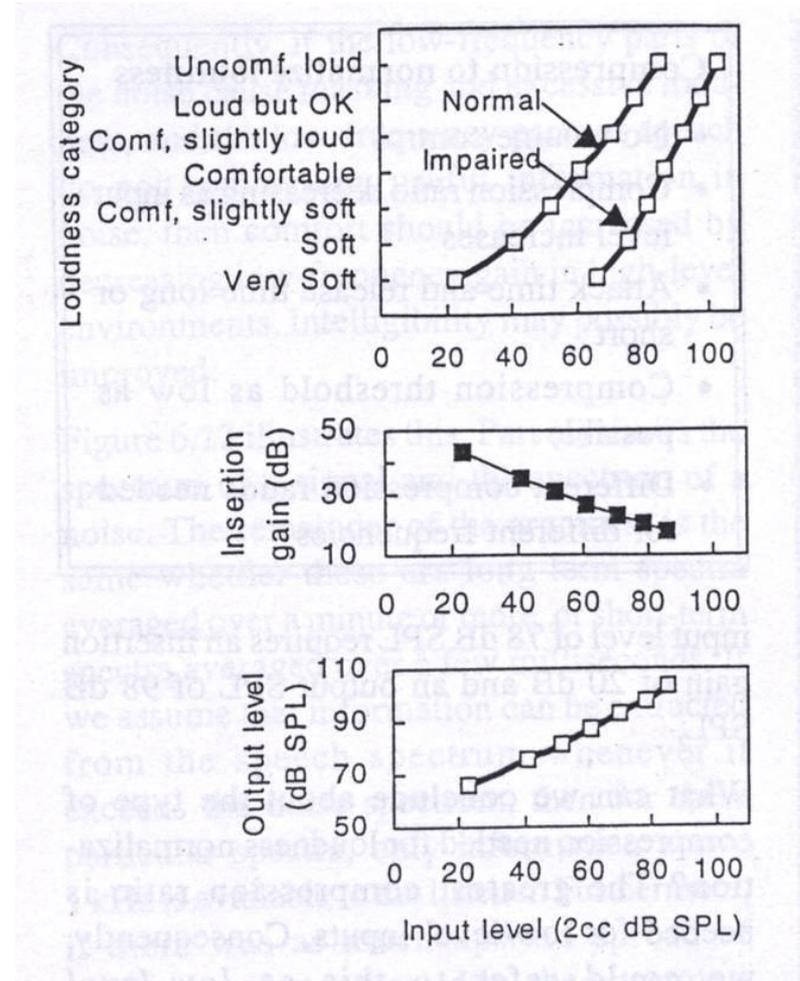
同於上圖，但為極重
度、為陡降型感音性
聽損。

非線性放大的選配公式

- 非線性放大即為針對不同的輸入音強會產生不同的增益值－頻率響應曲線
- 有八種選配公式
 - LGBO
 - IHAF/Contour
 - Madsen Aurical method
 - ScalAdapt
 - FIG6
 - DSL [i/o]
 - NAL-NL1
 - NAL-NL2

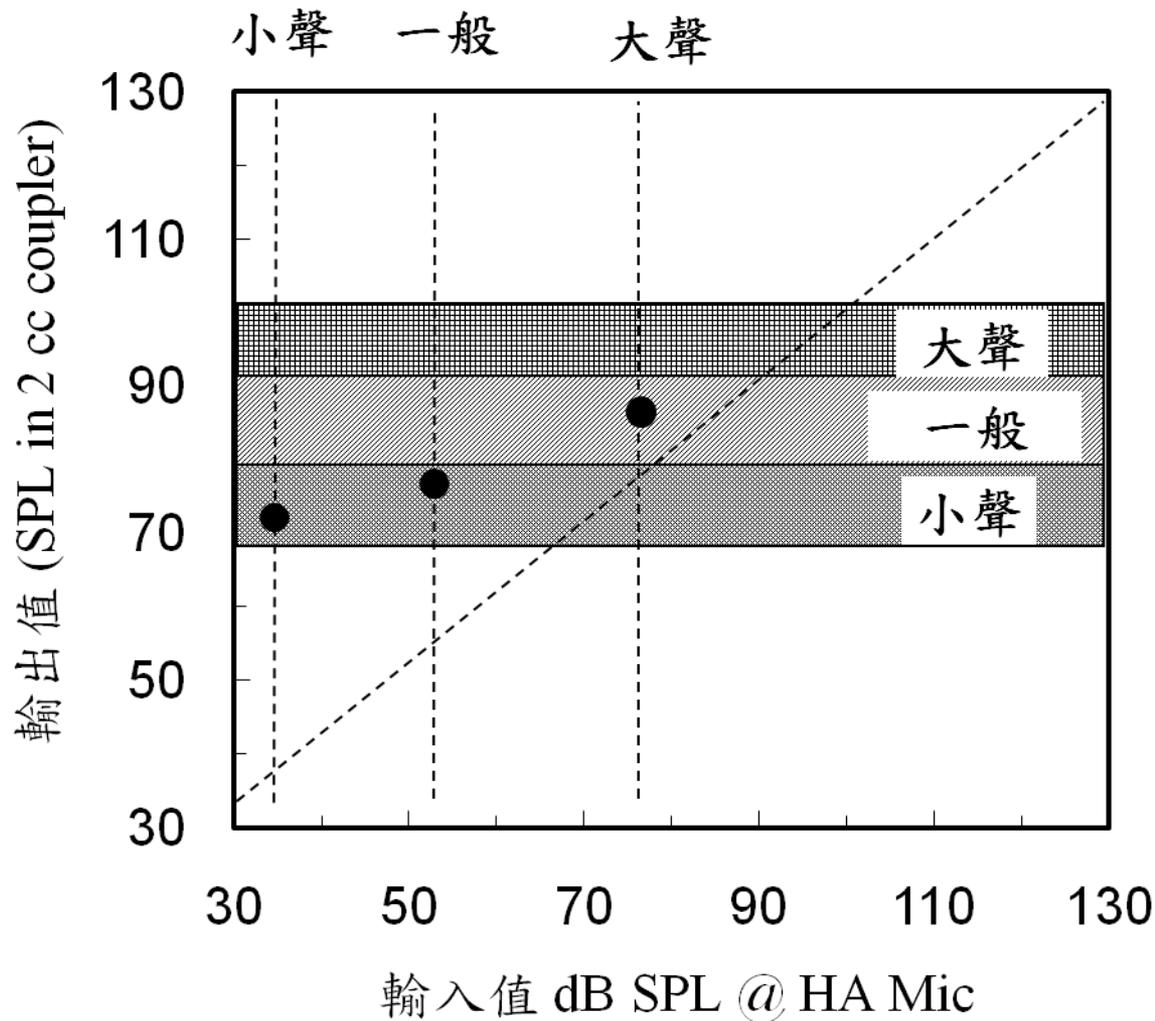
LGOB

- 響度正規化
- 第一個應用於臨床的以響度為基礎的選配公式
- 7個等級響度+窄頻噪音做測試
 - 太大聲、很大聲、大聲、還好、小聲、很小聲、太小聲
- 以正常者與聽損者對7種響度的差異值做為塞入式增益值
- 每一個輸入音量都可以產生正常響度的增益值



IHAFF/Contour

- 語言響度正規化
 - 使正常者聽起來覺得小聲的、舒適的與大聲的語音，經過助聽器放大後，使聽損者聽起來也是小聲的、一般的與大聲的語音。
- Contour測試
 - 至少需要兩個頻率
 - 測試音：震顫音
 - 獲得的資料輸入VIOLA計算軟體，計算每個頻率的三個點之響度正規化結果。
 - 正常者與聽損者三點之間的差異值即為每個頻率的塞入式增益值，同時也獲得不同輸入音量的目標增益值。



IHAFF 選配公式

Figure 9.8

三個點的輸入—輸出曲線，頻率為2k Hz，使用以IHAFF選配公式的VIOLA計算軟體。

Madsen Aurical method與ScalAdapt

- Madsen Aurical method
 - 聽力檢查儀廠商
 - 七種響度+窄頻噪音
 - 太大聲、很大聲、大聲、舒適、小聲、很小聲、聽不見
 - 正常者與聽損者之間的差異值即為每個頻率的塞入式增益值
- ScalAdapt
 - 測試病人的響度等級
 - 需在每個音量計算出與正常者差異之增益值
 - 調整助聽器來達到目標增益值
 - 低頻率會比正常者小聲一些

FIG 6

- 針對不同頻率、不同輸入音量，使助聽器輸出值在配戴者的耳中產生盡可能與正常者相同的響度，即達到響度正規化。
- 以一群具有相同聽損程度的人們的平均響度做為標準，根據聽力閾值來計算所需的增益值。

FIG6 formula

For 40 dB SPL input levels:

$$IG_i = 0 \quad \text{for} \quad H_i < 20 \text{ dB HL}$$

$$IG_i = H_i - 20 \quad \text{for} \quad 20 \leq H_i \leq 60 \text{ dB HL}$$

$$IG_i = 0.5 H_i + 10 \quad \text{for} \quad H_i > 60 \text{ dB HL}$$

For 65 dB SPL input levels:

$$IG_i = 0 \quad \text{for} \quad H_i < 20 \text{ dB HL}$$

$$IG_i = 0.6 (H_i - 20) \quad \text{for} \quad 20 \leq H_i \leq 60 \text{ dB HL}$$

$$IG_i = 0.8 H_i - 23 \quad \text{for} \quad H_i > 60 \text{ dB HL}$$

For 95 dB SPL input levels:

$$IG_i = 0 \quad \text{for} \quad H_i < 40 \text{ dB HL}$$

$$IG_i = 0.1 (H_i - 40)^{1.4} \quad \text{for} \quad H_i \geq 40 \text{ dB HL}$$

Note that the data upon which these formulae were derived extended only to 80 dB HL, so application of the formulae to greater losses should be done with caution.

FIG 6 選配公式

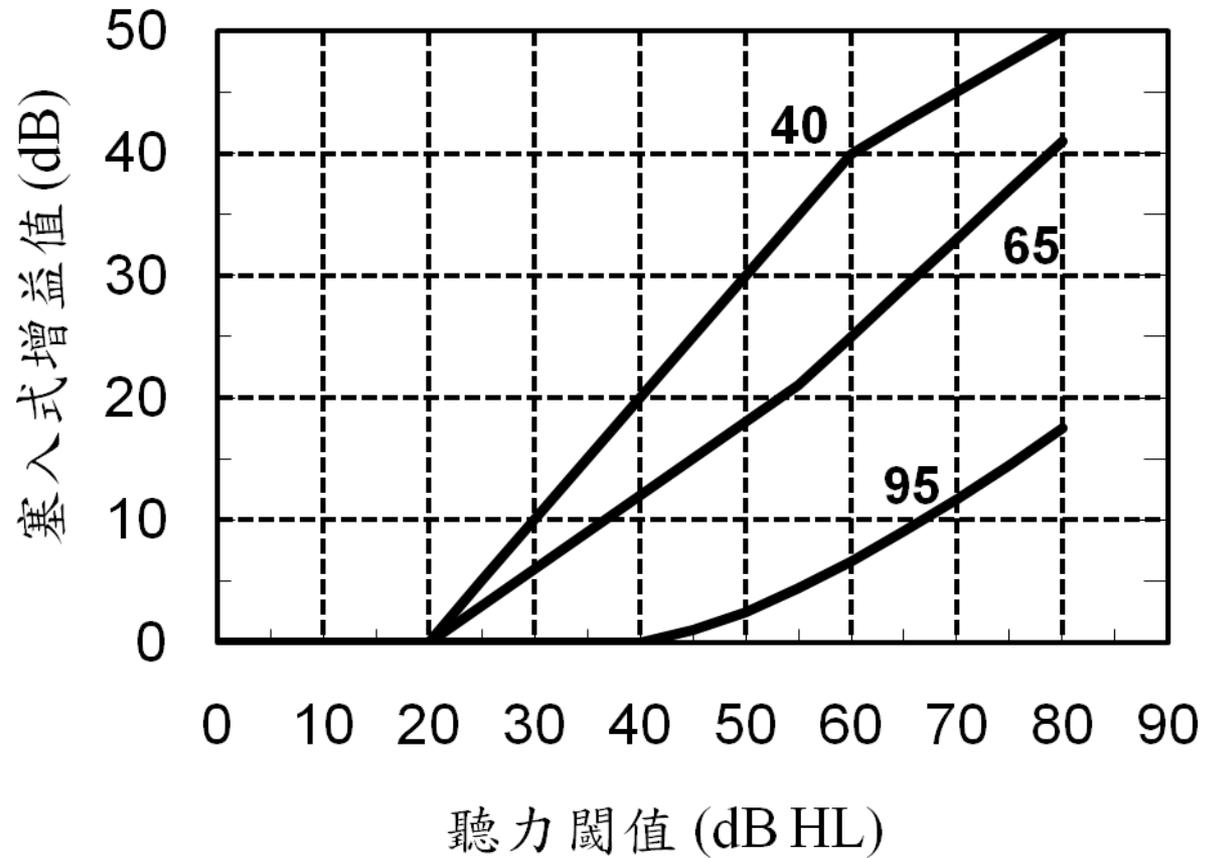


Figure 9.9

FIG6選配公式的塞入式增益值，是根據聽力閾值來計算任何頻率的三個輸入音量40、65與90 dB SPL所需的增益值。

DSL [i/o]

- 1995年提出DSL [i/o]
 - 目的：使助聽器的輸出控制在病人的動態範圍之間，始放大後的語音盡可能的被助聽器使用者接受。
- 壓縮類型不同，可分為：
 - DSL [i/o] linear (線性)：I/O曲線在寬廣的輸入音量範圍是筆直的(下圖)
 - DSL [i/o] curvilinear (曲線)：I/O曲線在壓縮區域可能是曲線

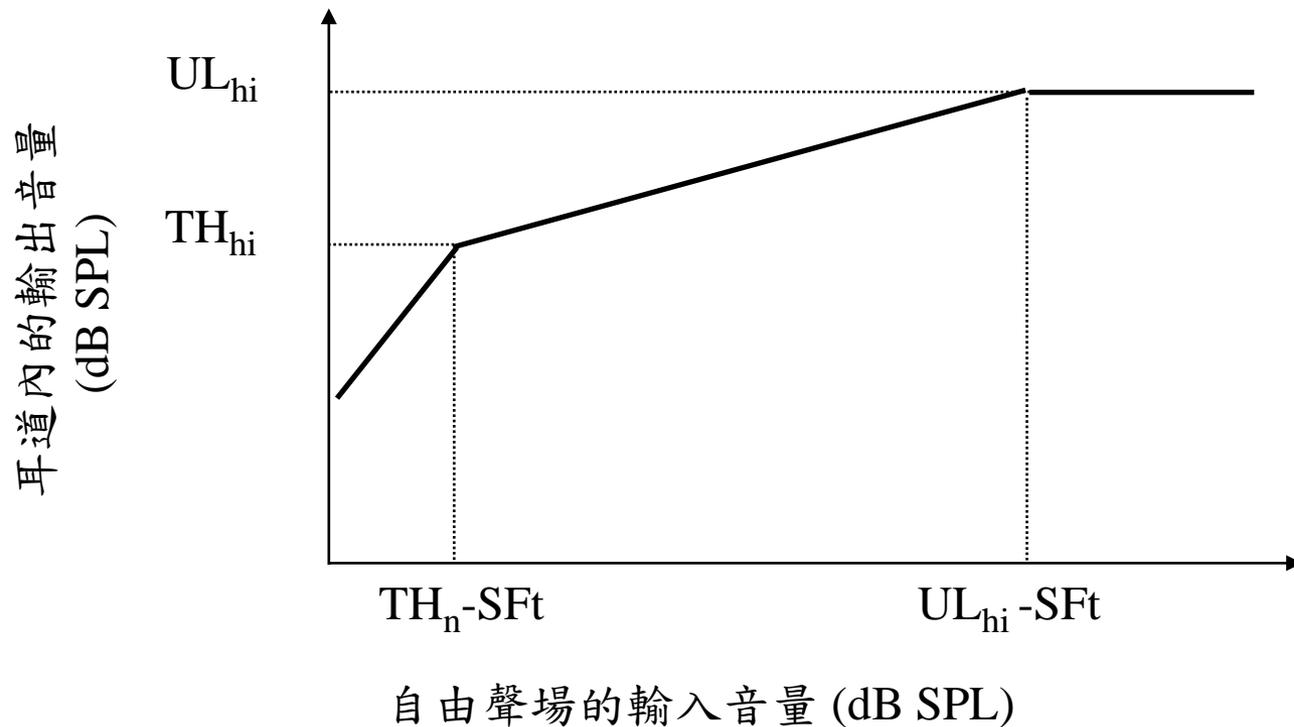
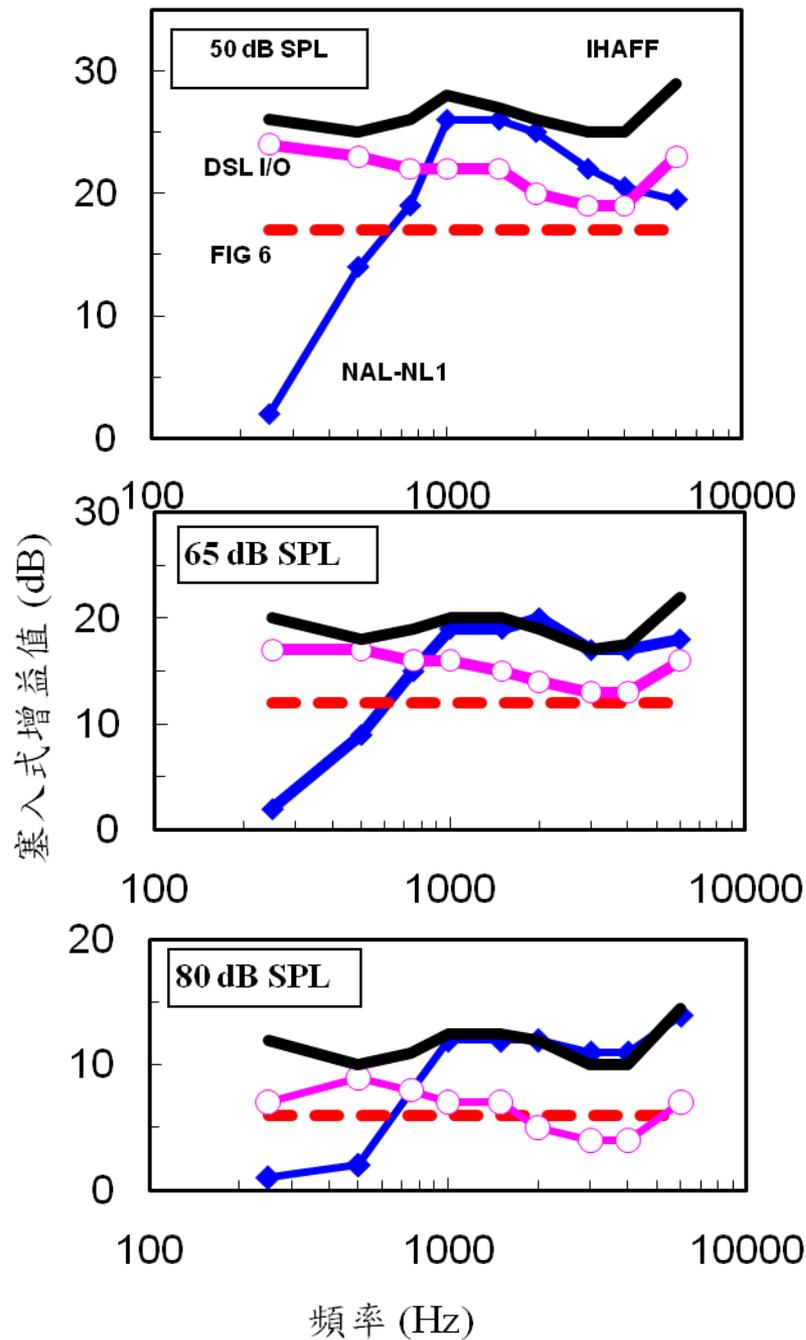


Figure 9.10

UL 是指舒適音量的上限， TH 是指聽力閾值，兩者都是耳道內的聲壓分貝值。 n 與 hi 代表正常人與聽損者， SFt 是從聲場轉換至耳道內的未擴音聲壓分貝值，即REUG。

非線性選配公式的比較



非線性的I/O曲線

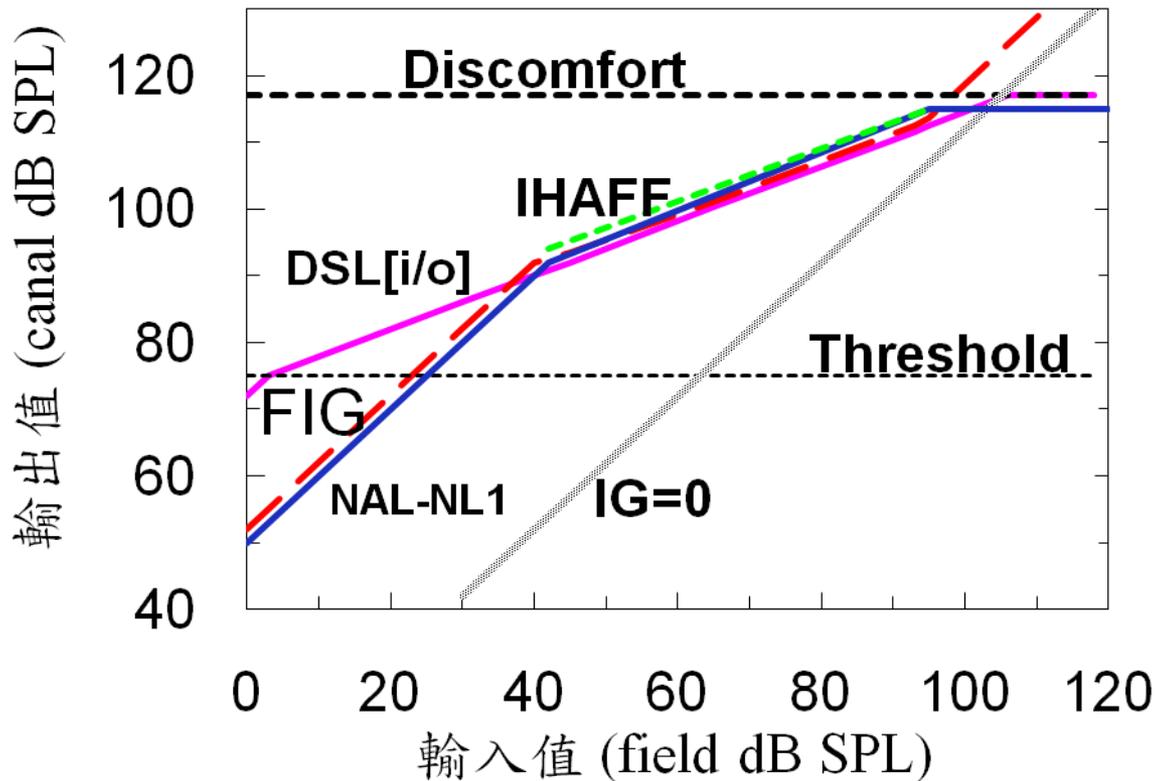
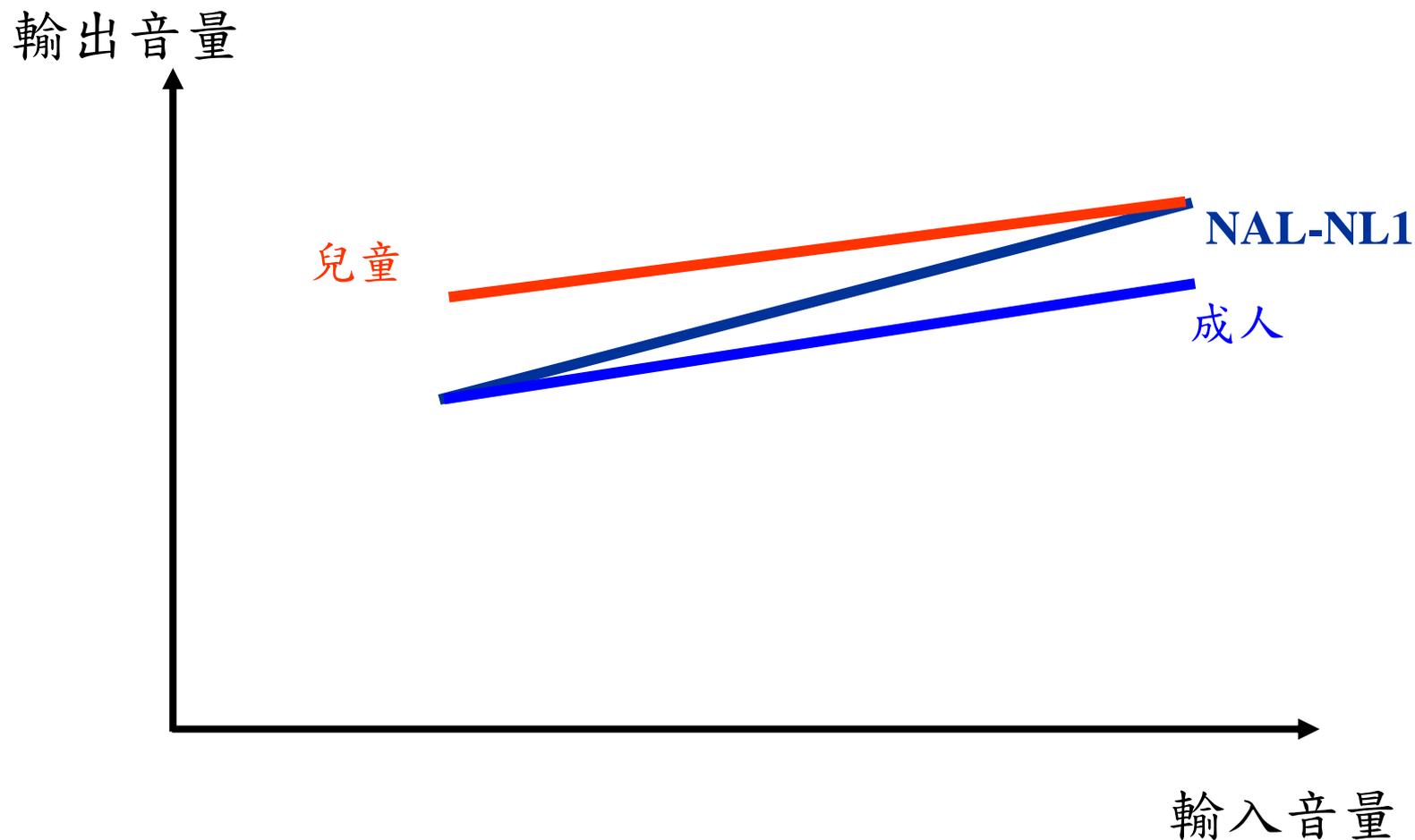


Figure 9.12.

I/O圖為2 kHz，顯示出下列選配公式的拐點：Fig 6、NAL-NL1、DSL [i/o] 與 IHAFF，圖為聽損60 dB HL平坦聽力圖形者，使用兩頻道的助聽器。

實驗證據：

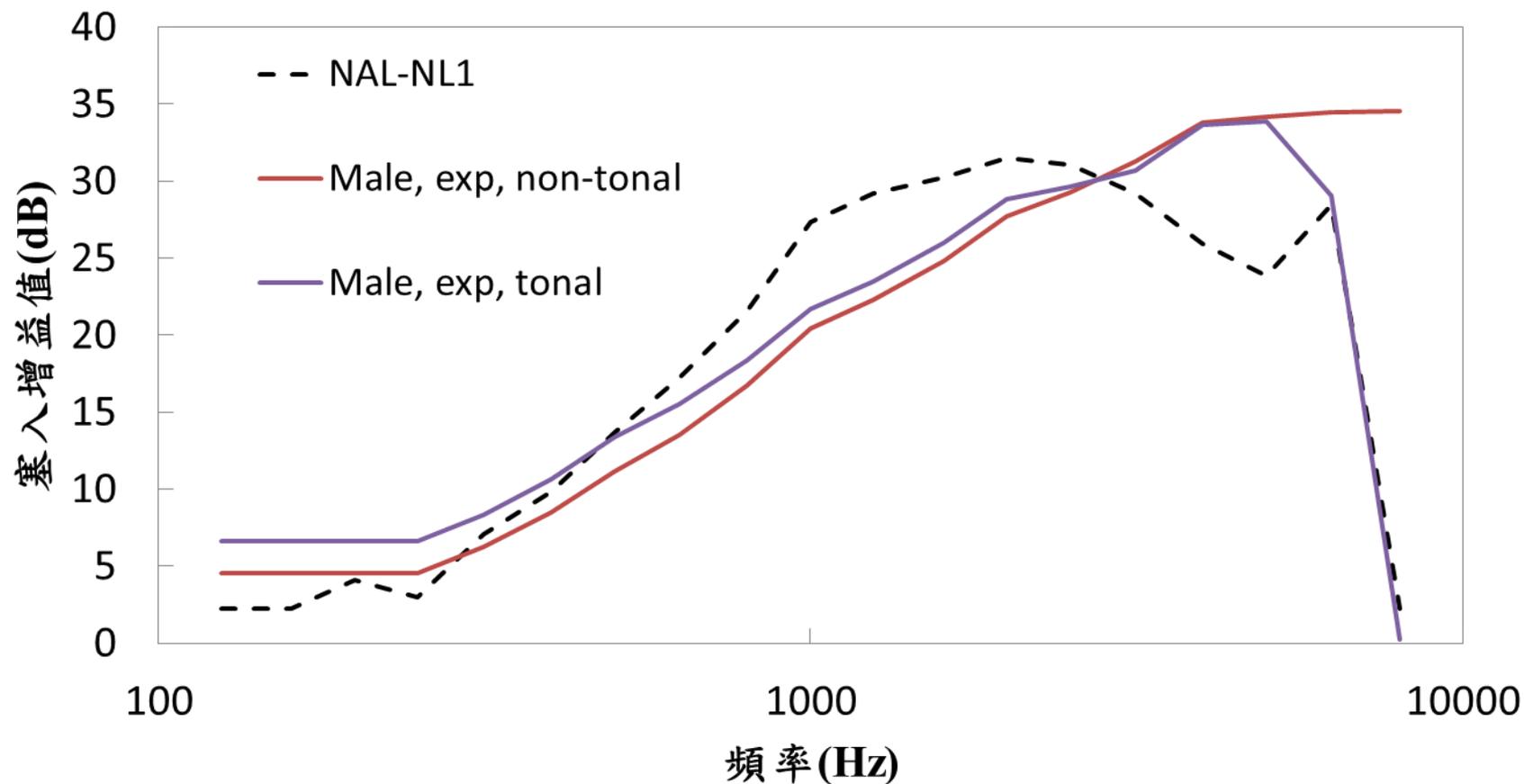
NAL-NL2與NAL-NL1的差異



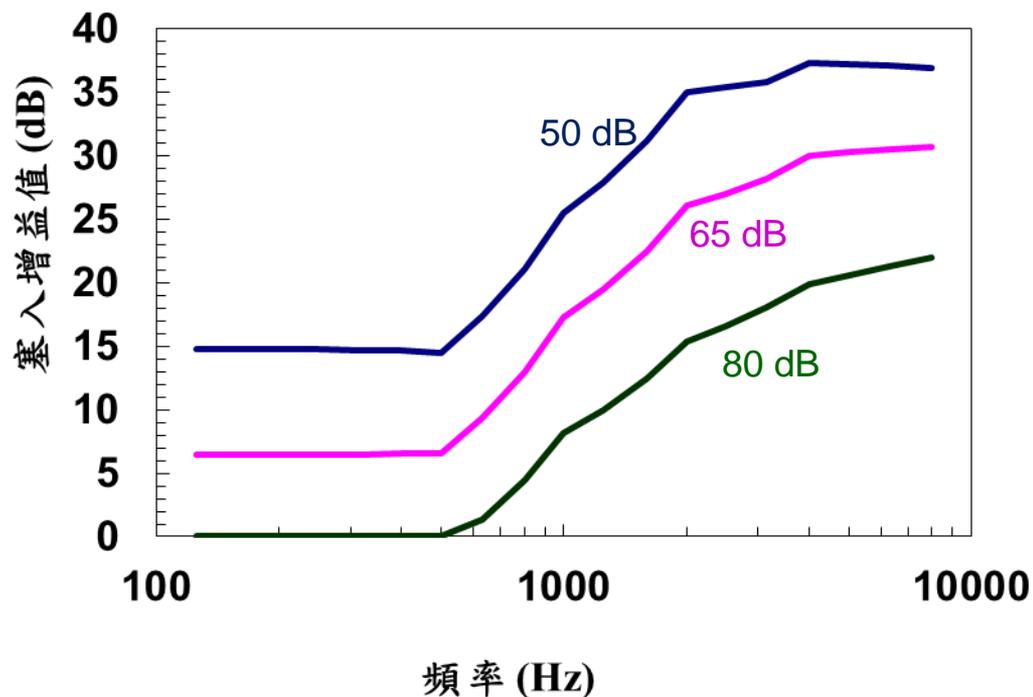
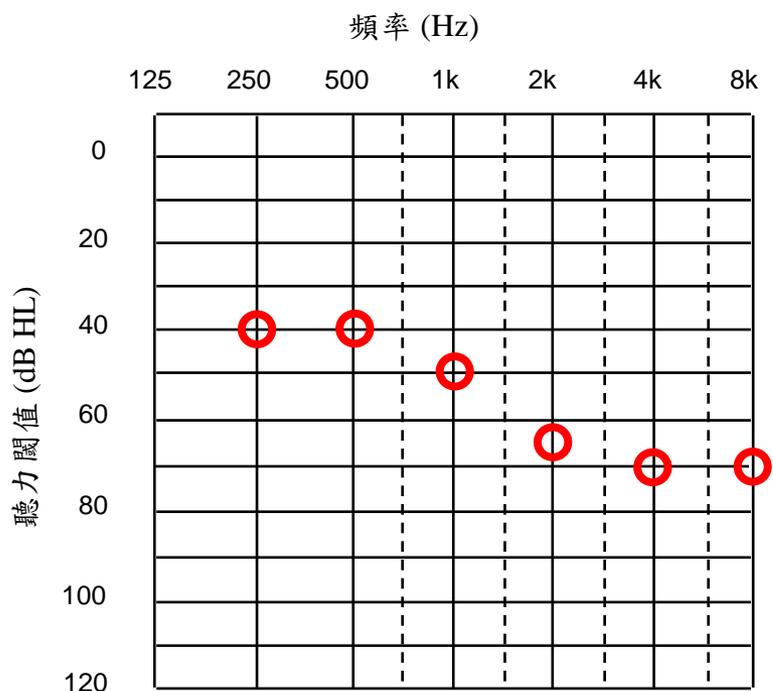
語言的影響

- 每個頻率的增益值依每個頻率的重要性而定
- 聲調語言的低頻率更為重要
- NAL-NL2的兩個版本
 - 聲調語言
 - 非聲調語言

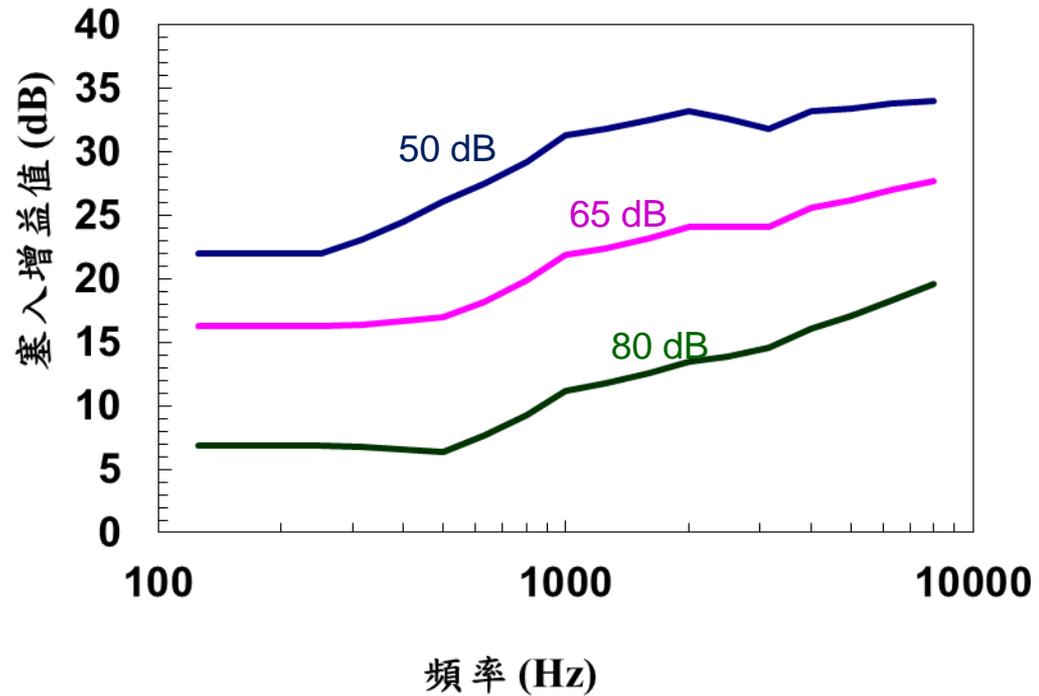
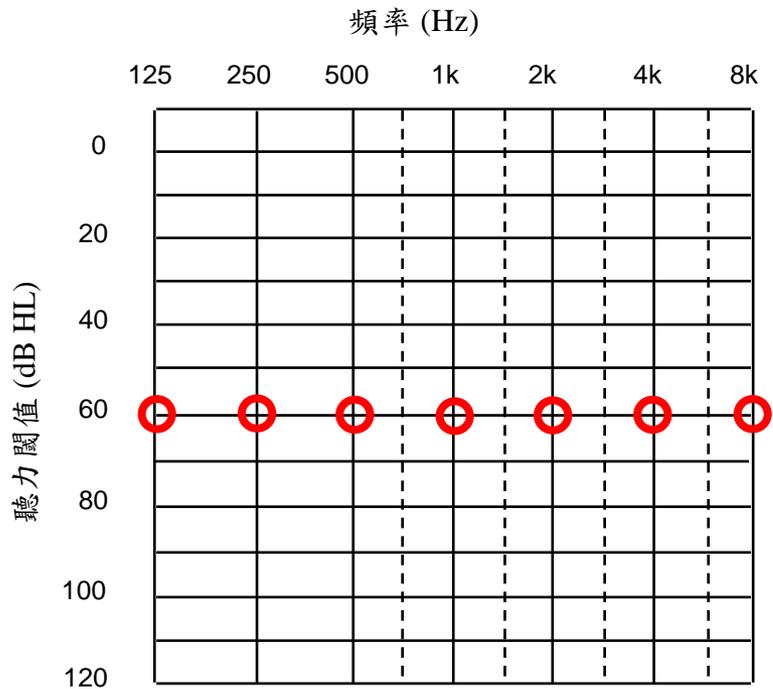
聲調語言 vs. 非聲調語言



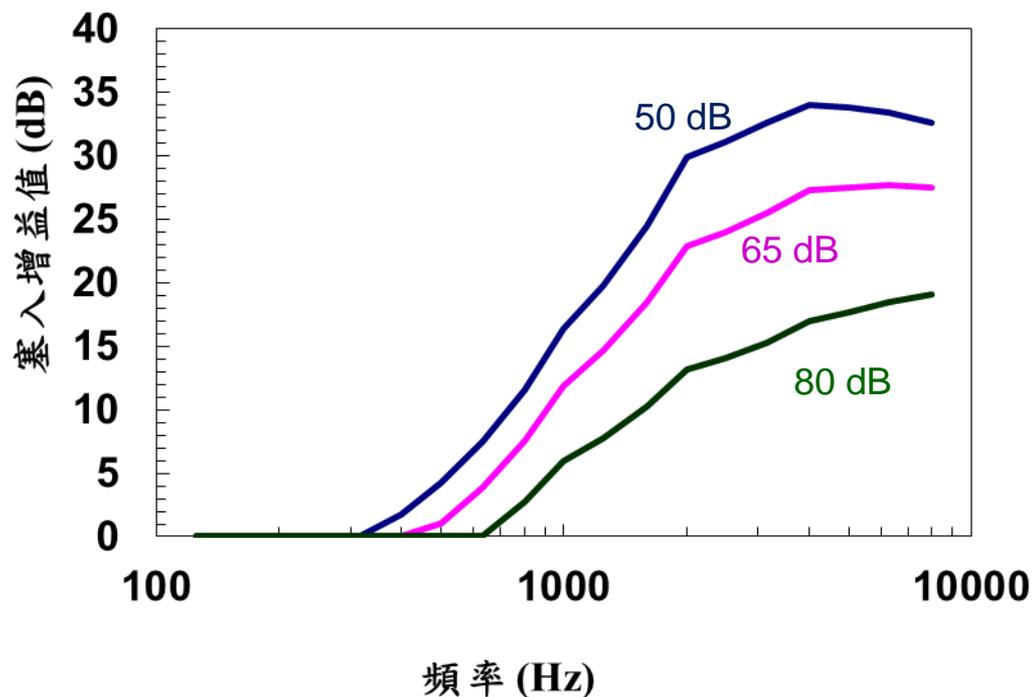
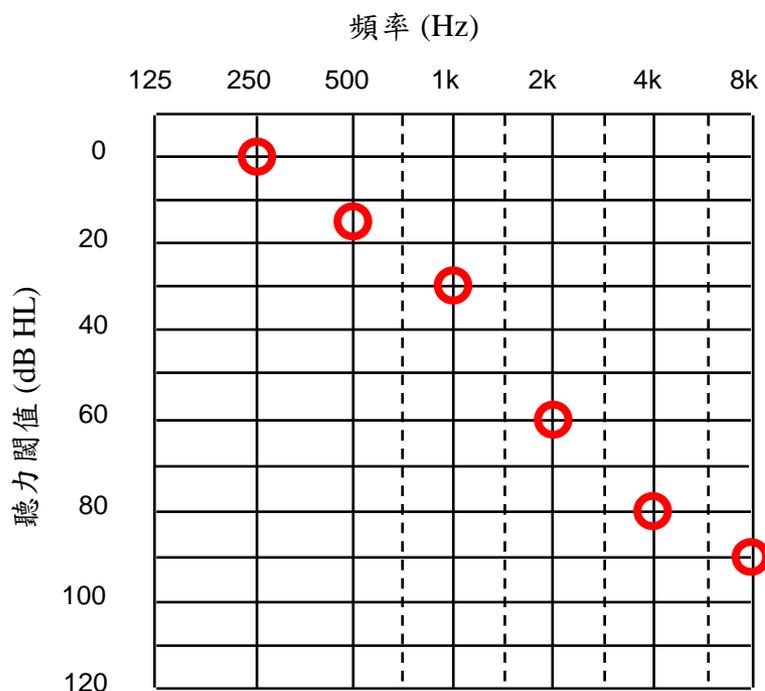
聽力圖範例：中度陡降型 (moderate sloping)



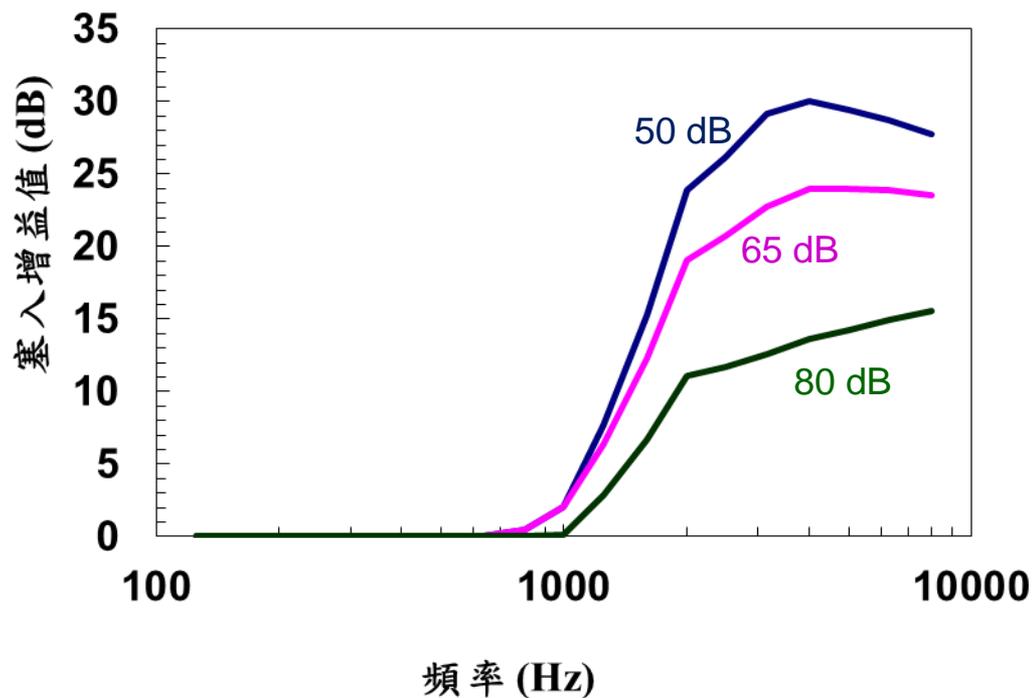
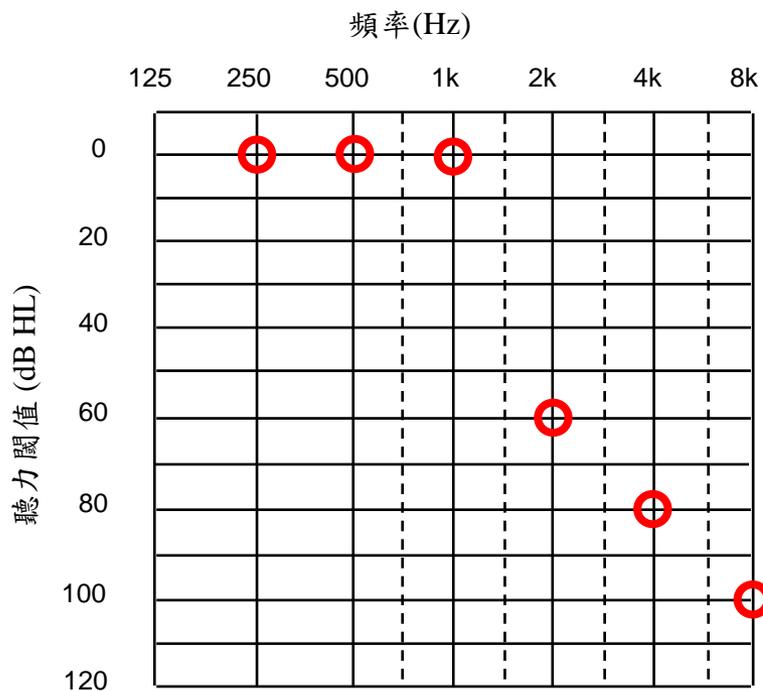
聽力圖範例：平坦型60



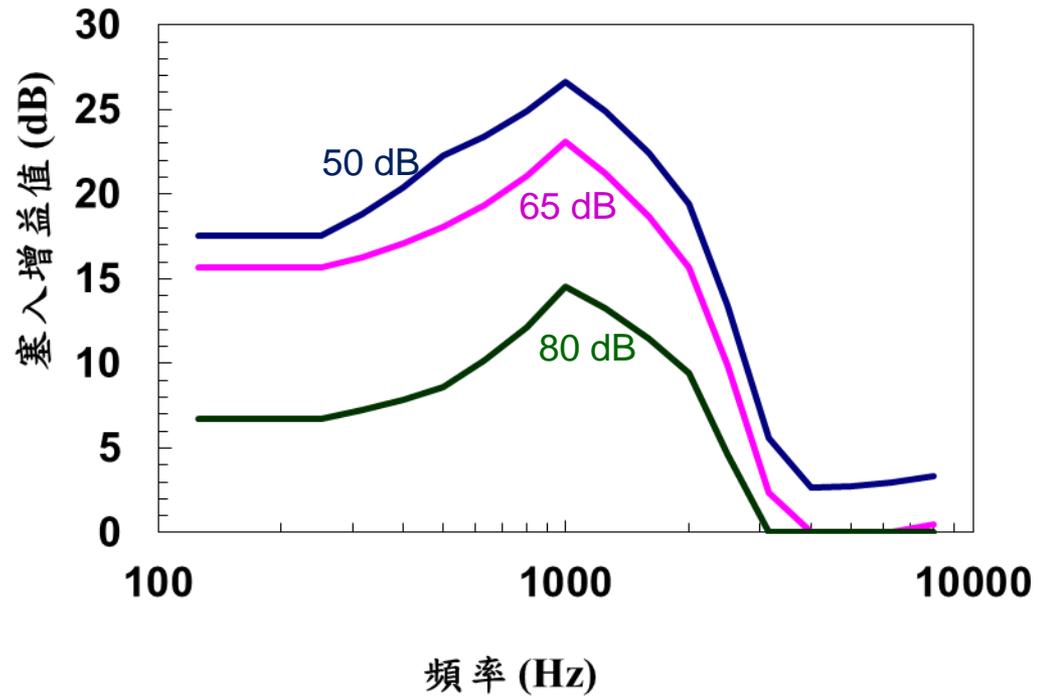
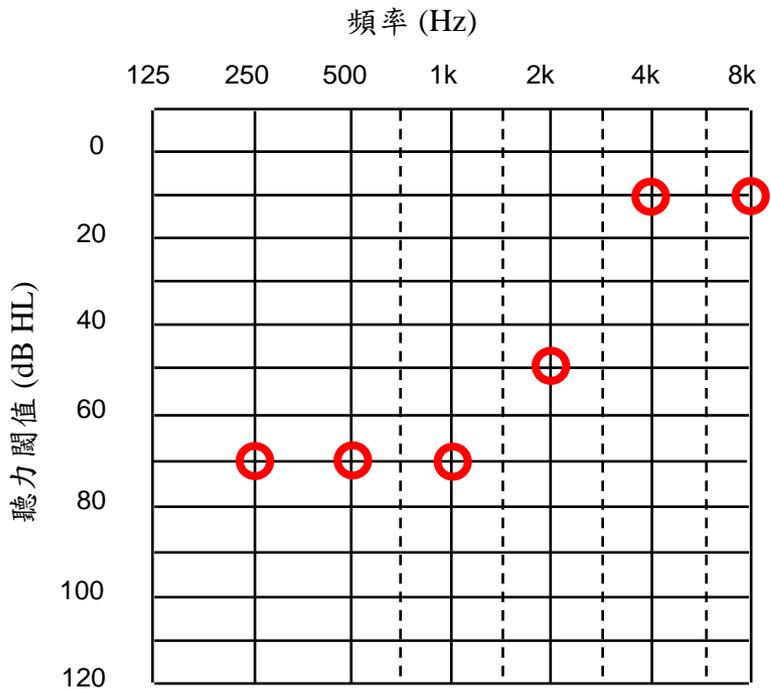
聽力圖範例：陡降斜坡型 (steeply sloping)



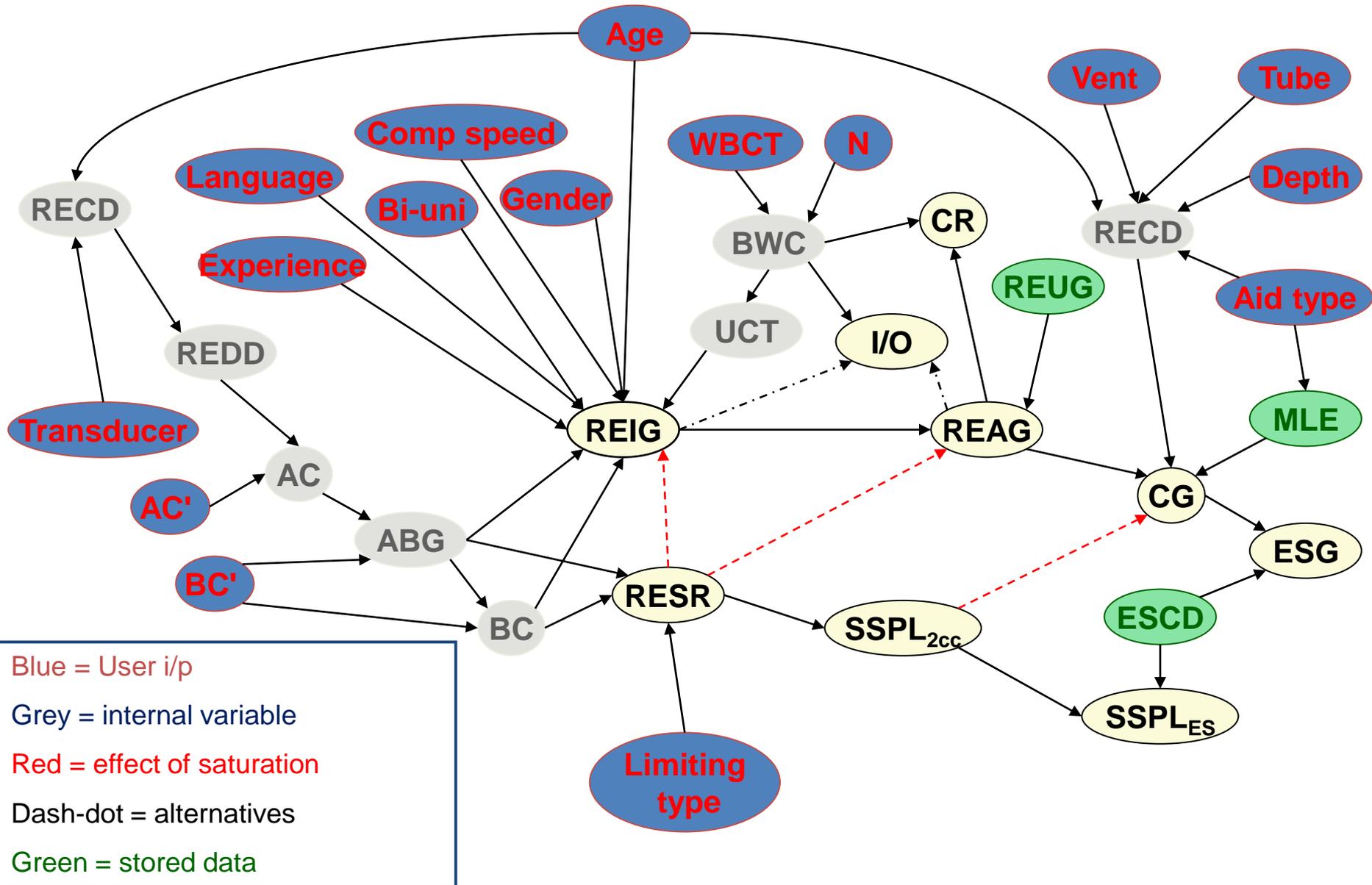
聽力圖範例：極端陡降型(extreme ski-slope)



聽力圖範例：反轉陡降型(reverse sloping)



NAL-NL2的可變參數



Thank You for Your Attention~