

噪音對人體聽覺影響之實驗研究

教育學院 衛教系

王老得

緒 言

有關噪音性聽力損失 (noise-induced hearing loss) 的研究，自十九世紀就有許多學者發表他們的臨床經驗或做動物實驗的結果。尤其對其病理變化由 Wittmaack (1907) (註一) 報告之後，世界各國的學者陸續利用各種動物與各種實驗條件做了許多研究報告，其數不勝枚舉。

過去所報告的實驗結果可以歸納為：在90分貝以下的噪音環境下經過短時間的暴露之後，其內耳器官尚不致於產生不可復原的變化，但是長時間暴露於90分貝以上的噪音之後，就會產生代謝物質消耗之累積 (Vosteen, 1958) (註二) 並且隨着刺激音壓水準 (dB SPL) 的升高，內耳組織的機械性傷害 (mechanical damage) 亦會出現。倘若音壓水準升高到130 dB SPL以上的噪音，其暴露後果則以內耳組織的機械性傷害為主，並且縱使短時間內暴露在這一種噪音也會發生內耳組織的破壞現象。Nakai 等 (1976) (註三) 曾做動物實驗結果證明了未成熟的內耳比成熟的內耳，對噪音的感受性或受害性較小。

我國近年來工業發展及人口集中於都市所帶來的「噪音污染」，不但增加所謂工業性職業病 (註四、五)，連社會性噪音所導致學生的聽力障礙率也增高 (註六)，並且一般國民的生活上也帶來了不少身心的危害現象 (註七)。

著者 (1965) (註八) 曾經調查小學生 (高年級) 之聽力障礙時，於屏東市發現飛機場附近的小學生，患有高頻率聽力損失者比其他寧靜地區的學生較多。一般而言，暴露噪音之後發生聽力損失者有二類，其中一類為「暫時性聽力損失」 (noise-induced temporary threshold shift, 簡稱為NITTS)，另一類為「永久性聽力損失」 (noise-induced permanent threshold shift, 簡稱為NIPTS)。其中TTS可分為 (→) ultrashort-term TTS (→) short-term TTS, 以及 (→) ordinary TTS (註九)。ordinary TTS是指停止噪音二分鐘之後尚未能恢復到噪音暴露前的聽力水準者而言，通常停止噪音二分鐘後所測量的聽力損失現象以 TTS_2 表示之。

據Ward (1973) (註十) 的報告， TTS_2 的聽力損失值在30 dB 以下者是屬

於生理性聽覺疲勞所致，而 30 dB 以上者被認為是由病理性內耳傷害所導致，也就是可能為 NIPTS 的初期階段。關於 NITTS 的成因有許多學說，最近德國學者們尤其是 Jansen (1970) (註十一) 的實驗報告顯示，T T S 的產生與自主神經系統的失調有密切關係，並且其個人感受性有明顯的差異。因此，他主張設定暴露噪音的允許限制時若僅以 T T S 的聽力損失為指標，還不如依據自主神經系統的反應作為指標較準確。

著者鑑於設定我國噪音管制標準需要，利用正常聽力青年男女學生為實驗對象，以不同響度的廣帶噪音及不同中心頻率的狹帶噪音為刺激音，除觀察刺激 50 秒鐘的實驗後 TTS₂ 以外，同時觀察實驗前中及實驗前後的血壓、心跳、呼吸變化等自主神經系統之反應，結果獲得頗有價值的指標。茲將噪音對人體各種生理反應，尤其對聽力損失 (TTS₂) 的影響加以分析討論，藉以供我國將來「噪音管制法」之立法，及立法後設定管制標準之參考，並祈先進同道不吝指正。

研究對象及研究方法

一、研究對象

為了避免內耳感音器官不夠成熟或已退化，選擇聽力正常的青年男女為實驗對象。所謂聽力正常者，據中華民國耳鼻喉科醫學會之界定，其 500Hz, 1KHz, 2KHz 三頻率的聽力水準平均值未達到 25 dB 者稱之；但是本研究對象特別選擇其平均值在 15 dB 以下者，以免群中差距太大而影響實驗效果。

所有受試者以國立台灣師範大學衛生教育學系之學生為主，並且經過聽力檢查 (聽力檢查儀器為 Rion 牌 AA39 型聽力計) 採用符合上述條件者，其人數為男女學生各 30 名。平均年齡為男性學生 21.28 歲 (17 至 34 足歲)，女性學生 21.8 歲 (19 至 30 足歲)，而其平均聽力水準為男性學生 9.55 dB, 女性學生 9.83 dB。

聽力檢查場所為國立台灣師範大學健康中心聽力檢查室，隔音室內之環境噪音為 30 至 40 dBA，此環境噪音的音壓水準對受試者的聽力測驗效果之正確性並不致於造成影響。

二、研究方法

(一)、實驗場所：國立台灣師範大學衛生教育研究所噪音實驗室 (室內環境噪音音壓水準為 40 dBA)。

(二)、實驗儀器：(1) 噪音產生機 (Noise Generator, Rion SF-02 型)
(2) 聽力計 (Rion AA39 Audiometer)
(3) 血壓計 (N300 型標準水銀血壓計)
(4) 心電圖記錄器 (日本光電 MC-12 型)

(三)、實驗步驟：

(1)實驗開始前，先讓受試者平臥於實驗台休息約 10 至 20 分鐘，使其血壓、呼吸、心跳等恢復常態之後，再度測量 4KHz 及 6KHz 的聽力水準及測量當時的血壓、呼吸數、心跳數為基本資料。

(2)預先安置受試者及噪音產生機於固定地點，然後調整噪音產生機所發出刺激音，使受試者的被測耳能收聽 65、70、75、80、85、90 dB SPL 的廣帶噪音 (white noise)，以及 70 dB SPL 的 250 Hz、1KHz、4KHz 為中心頻率的狹帶噪音 (octave band noise)。

(3)實驗順序，由 70 分貝的低頻率狹帶噪音開始，接著中頻率及高頻率狹帶噪音；然後才做廣帶噪音由 65 分貝逐步做到 90 分貝，共有 9 次不同刺激音的實驗。每次刺激時間均為 50 秒鐘。

(4)實驗中必須測量刺激中 (前期) 之血壓 (包括收縮血壓及舒張血壓)、心跳及呼吸數的變化。

(5)刺激停止後，立刻測量血壓、心跳、呼吸數，以及停止刺激後二分鐘亦再度測定 4KHz 及 6KHz 的聽力水準 (即 TTS_2)。

(6)每次實驗前必須測量聽力水準 (4KHz 及 6KHz)，以及血壓、心跳數、呼吸數，均已恢復與基本資料相同時，才能開始做下一實驗。

(四)陽性反應之判斷及其統計處理

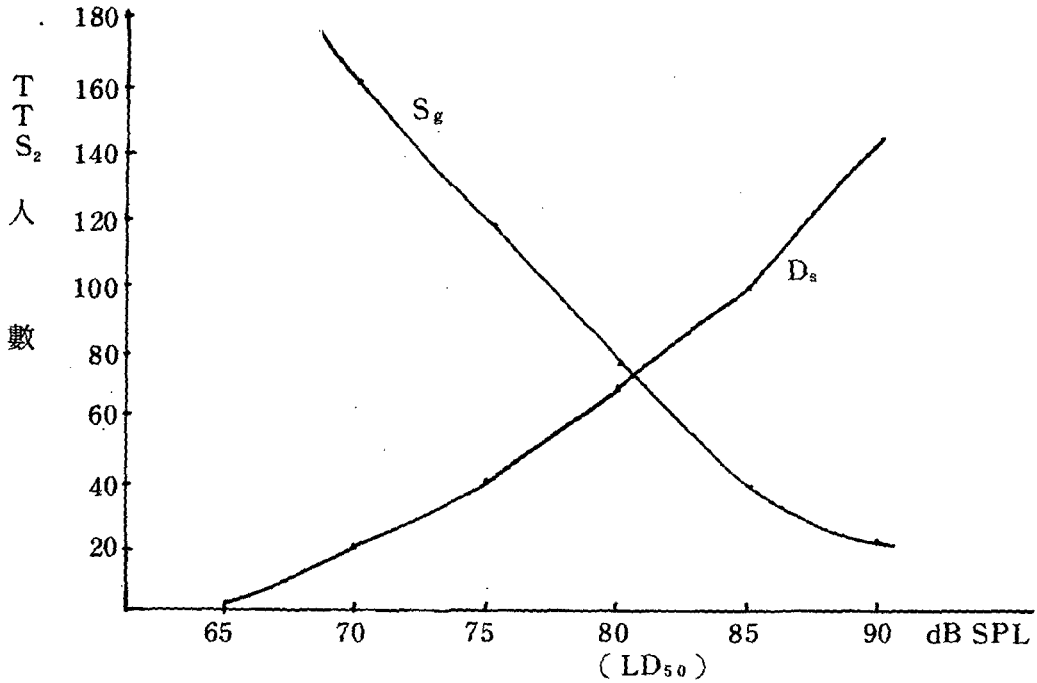
(1) TTS_2 的反應是以實驗前後之 4KHz 及 6KHz 聽力水準值相差 5 dB 以上者，判定為陽性反應。

(2)本研究係噪音對人體生理反應的實驗，並須統計對每一刺激的反應量 (quantal responses to a stimulus)；因此，著者應用 Reed-Muench (1937) (註十二) 之量的反應分析法 (quantal response assay)，以求耐力分配之中數值 (median of the tolerance distribution)，即算出 50 percent lethal dose (LD_{50})，也就是暴露在噪音受試人數之半數顯示陽性反應之限閾值，作為噪音對本受試群的危害標準之下限。

表五、表六及表七中所使用的簡寫字：D (dead) 為代表呈現某一噪音響度後顯示 TTS_2 陽性反應的人數；S (survived) 為表示 TTS_2 陰性反應人數； S_2 為表示呈現某一噪音響度或更大響度後之陰性反應人數； D_2 為表示呈現某一噪音響度或更小響度後之陽性反應人數。

據 Reed-Muench method 計算 LD_{50} 值應該以對數求之，但是噪音的音壓水準 ($SPL = 20 \log P / 2 \times 10^{-5}$ pascal) 本來就以音壓之對數值為單位，所以本實驗之 LD_{50} 值則如各表下面的計算方式直接求之。

倘若要以圖表式計算法求 LD_{50} 值亦可 (如圖一)，不過圖表式計算法不如上述之方法簡單正確。



(圖一) 圖表式計算法，圖中虛線與橫軸交叉點為 LD_{50} 值，($LD_{50} = 80.99$)

結果與討論

一、NITTS₂ 之出現率

(一) 廣帶噪音刺激後之 TTS₂

以廣帶噪音 (white noise) 在不同音壓水準 (dB SPL) 暴露 50 秒鐘，而停止 2 分鐘後測定 4KHz 及 6KHz 的 TTS₂ 出現狀態，其結果如表一所示：60 名受試者中有 39 名 (65%) 出現 TTS₂ 的反應，亦即男性 30 名之中有 21 名 (70%)，而女性 30 名之中有 18 名 (60%) 出現 TTS₂ 的反應。雖然男性群的出現率高於女性，但統計上並無顯著差異 ($P > 0.05$)。

表一 廣帶噪音暴露後 TTS₂ 的出現率

Sex	Noise Level	White Noise Level (dB SPL)					Total (%)
		65	70	75	80	85	
Male (N=30)		1	5	2	5	4	21 (70)
Female (N=30)		2	4	8	1	3	18 (60)
Total (N=60)		3	9	10	6	7	39 (65)

($\chi^2 = 10.68$ $p > .05$)

國外的實驗研究，例如Kylin (1960) (註十三)，Pell & Diskerson (1966) (註十四)，Morimitu (1970) (註十五) 等都認為噪音暴露後暫時性聽力損失的出現率，男性比女性高。

本實驗所使用噪音暴露時間僅有50秒鐘，與國外的實驗條件有所不同，並且受試人數不多，所以統計上顯出無意義的差異。

不過，倘若在TTS₂陰性反應群裡，有些受試者是因刺激時間過短而TTS 出現時間不到2分鐘的所謂 short-term TTS者，則將暴露時間延長，其TTS₂的出現率可能會增高，不過有待進一步的實驗才能證實。

(二)狹帶噪音刺激後之TTS₂

本研究以250Hz、1KHz、4KHz為中心頻率的 octave band noise，代表低、中、高頻率三種狹帶噪音，並在70 dB SPL的響度下暴露50秒鐘後，測定4KHz及6KHz的TTS₂出現率；結果如表二所示，60名受試在低、中、高頻率帶之NITTS₂陽性反應者，各為2名(3.3%)、10名(16.7%)以及18名(30%)

表二 狹帶噪音暴露後TTS₂的出現率

Sex \ Noise Level	Octave Band Noise (70 dB SPL)		
	250 Hz	1 KHz	4 KHz
Male (N=30)	0	1	8
Female (N=30)	2	9	10
Total (N=60)	2 (3.3%)	10 (16.7%)	18 (30.0%)

($\chi^2 = 4.55$ $p > .05$)

根據上述狹帶噪音的影響而言，高頻率比中頻率大，中頻率又比低頻率大，亦即陽性TTS₂出現率是由低頻率至高頻率有逐漸增加的傾向；尤其對4KHz為中心的高頻率狹帶噪音，本受試群的陽性TTS₂反應者竟佔18名(30%)，比對廣帶噪音在65 dB SPL和70 dB SPL的陽性TTS₂反應總人數12名(20%)高出10%之多。由此可見，高頻率狹帶噪音比廣帶噪音，對人體聽覺的傷害性大。

狹帶噪音比廣帶噪音對人體聽覺傷害力較大的事實，早就被重視，例如Gravendeel(1960) (註十六)曾經發表2KHz以上之狹帶噪音或純音，自70dB SPL 就會對聽覺有傷害的可能性，他稱之為「微噪音外傷 (micro-noise trauma)」。Davis等人(1964)也強調說，1KHz的純音在70 dB SPL 可能引起所謂「噪音反應(N-response)」，即對自主神經所支配心臟血管系統及內分泌系統之各種反應，尤其血壓、心跳及呼吸數等有顯著的影響。

(三) 4KHz 與 6KHz 之 TTS₂ 出現率的比較

廣帶噪音暴露後 TTS₂ 出現於 4KHz 及 6KHz 之比率，如表三所示，出現於 4KHz 之 TTS₂ 為 16 例，6KHz 之 TTS₂ 為 23 例；而狹帶噪音暴露後 TTS₂ 出現率，如表四所示，出現於 4KHz 之 TTS₂ 為 12 例，6KHz 之 TTS₂ 為 16 例；4KHz 及 6KHz 同時出現 TTS₂ 者僅有 2 例。不論廣帶或狹帶噪音之暴露，出現於 6KHz 的 TTS₂ 案例較出現於 4KHz 者為多。

表三 廣帶 TTS₂ 出現頻率的分布

Sex	TTS ₂ (Hz)	White Noise Level (dB SPL)						Total
		65	70	75	80	85	90	
Male (N=30)	4K		2	1	1	2	3	9
	6K	1	3	1	4	2	1	12
Female (N=30)	4K	2	1	4				7
	6K		3	4	1	3		11
Total (N=60)	4K	2	3	5	1	2	3	16
	6K	1	6	5	5	5	1	23

表四 狹帶 TTS₂ 出現頻率的分布

Sex	TTS ₂ (Hz)	Octave Band Noise (70 dB SPL)			Total
		250Hz	1KHz	4KHz	
Male (N=30)	4K			1	8
	6K		1	7	
Female (N=30)	4K+6K				
	4K		6	5	11
Total (N=60)	6K	2	2	4	8
	4K+6K		1	1	2
Total (N=60)	4K		6	6	12
	6K	2	3	11	16
	4K+6K		1	1	2

一般而言，噪音性聽力損失出現於 4KHz 者早就有 C^s dip 聽力障礙之稱。王昌洋(1967)(註十八)曾經調查本省國小學生的高頻率聽力障礙時，發現 dip 型的最大聽力損失在 3KHz 者 20%，4KHz 者 16.6%，而 6KHz 者佔 81.4% 之多。著者(1968)(註十九)分析台北市國小學生 dip 型聽力障礙者，亦發現其最大聽力損失在 3KHz 者 4.09%，4KHz 者 14.87%，而 6KHz 者佔 81.04% 之多。換言之，我國 dip 型聽力損失在 6KHz 者，所佔比率最大。

Funasaka 等 (1976) 以貓為實驗結果，發現 4KHz - dip 以外在 3KHz 及 6 KHz 亦有可能產生 TTS 現象，但其比率並不高。因此，著者特別於本研究設計在刺激音停止後 2 分鐘測定 4KHz 及 6KHz 的 TTS，是國人對噪音的聽覺性反應與外國人有不同的緣故。嚴格比較 6KHz 之 TTS 測定時間，比 4KHz 遲 30 至 60 秒，即大約在刺激停止後 2 分 30 秒至 3 分之間。

二、出現 TTS₂ 之噪音強度

著者以本研究的受試者對 6 種廣帶噪音的耐力分布 (tolerance distribution)，應用生物分析法 Reed-Muench method 來考驗本資料的“ 50 percent lethal dose (簡稱為 LD₅₀) ”，而求引發國人青年男女 TTS₂ 的噪音強度之危害標準限度 (risk-criterion limit)。

據表五所示，30 名男性受試者之 LD₅₀ 值是 81.62，另據表六所示，30 名女性受試者之 LD₅₀ 值是 80.32，而全部受試者 60 名之 LD₅₀ 值 (如表七所示) 為 80.99。以上三種 LD₅₀ 值乃表示，男性受試者在 81.62 dB SPL，女性受試者在 80.32 dB SPL，而全部受試者則在 80.99 dB SPL 之噪音環境下，暴露 50 秒鐘後其半數受試者會出現 TTS₂，也就是會產生噪音所引起之暫時性聽力損失。

表五 出現 TTS₂ 的廣帶噪音強度水準 (男性 LD₅₀ 值)

dB SPL	TTS ₂ (No)	D	S	S _g	D _s	D _s /S _g + D _s (%)
65	1	1	29	114	1	1/115 (0.89)
70	5	6	24	85	7	7/92 (7.61)
75	2	8	22	61	15	15/76 (19.74)
80	5	13	17	39	28	28/67 (41.79)
85	4	17	13	22	45	45/67 (67.16)
90	4	21	9	9	66	66/75 (88.00)

$$LD_{50} = 80 + 5 \times \frac{50 - 41.79}{67.16 - 41.79} = 81.62(\text{dB SPL})$$

TTS 的產生，雖然與噪音的音量及音質有關，同時其他因素，例如個體的感受性 (susceptibility to noise) 或者易受害性 (vulnerability)，以及其他身心健康狀態等，先天性或後天性各種因素也會影響噪音對人體之生理反應。不過，無論如何對國人青年男女而言，廣帶噪音強度水準 81 dB SPL 是一種傷害聽覺的指標。換言之，在 81 dB SPL 以上的廣帶噪音暴露下，至少有 50 % 的青年會顯出短暫性聽力損失。至於是否會轉移為永久性聽力損失，就有待進一步實驗才能得到結論。

美國於 Washington, D.C. 舉行有關“ 噪音對公眾健康之危害討論會 ”時，

Ward (1969) (註二十) 曾提過 Baughn (1966) (註二十一) 分析 6835 案例聽力圖之統計報告，發現在 80 dB SPL 噪音環境下的工作者，與相同年齡層及相同社經狀態的無噪音暴露民衆相比，其聽力損失程度並無兩樣。另外 Botsford (1969) (註二十二) 收集數所工廠從業人員之聽力圖分析結果，認為(一)工廠噪音在 80 dBA 以下環境工作者其聽力不受影響。(二)在 90 dBA 之環境工作者大約有 50%，而(三)在 105 dBA 之環境工作者，幾乎全部人員會顯出聽力損失。

表六 出現 TTS₂ 的廣帶噪音強度水準 (女性 LD₅₀ 值)

dB SPL	TTS ₂ (No)	D	S	S _g	D _s	D _s /S _g + D _s (%)
65	2	2	28	107	2	2/109 (1.83)
70	4	6	24	79	8	8/87 (9.20)
75	8	14	16	55	22	22/77 (28.57)
80	1	15	15	39	37	37/76 (48.68)
85	3	18	12	24	55	55/79 (69.62)
90	0	18	12	12	73	73/85 (85.88)

$$LD_{50} = 80 + 5 \times \frac{50 - 48.68}{69.62 - 48.68} = 80.32 \text{ (dB SPL)}$$

表七 出現 TTS₂ 的廣帶噪音強度水準 (男女性 LD₅₀ 值)

dB SPL	TTS ₂ (No)	D	S	S _g	D _s	D _s /S _g + D _s (%)
65	3	3	57	221	3	3/224 (1.34)
70	9	12	48	164	15	15/179 (8.38)
75	10	22	38	116	37	37/153 (24.18)
80	6	28	32	78	65	65/143 (45.45)
85	7	35	25	46	100	100/146 (68.49)
90	4	39	21	21	139	139/160 (86.88)

$$LD_{50} = 80 + 5 \times \frac{50 - 45.45}{68.49 - 45.45} = 80.99 \text{ (dB SPL)}$$

由上述國內外的實驗結果顯示，國人對噪音的感受性或易受害性並不亞於美國人，或許有更易受害的傾向。

Ward 引用 Lehnhardt (1967) (註二十三) 的實驗報告指出；(一) 1KHz 至 4KHz 的音響最容易透過中耳而傷害內耳的聽力功能。(二) 強大噪音大多數會傷害 4 KHz 的感音功能。國人尤其是女性對於 70 dB SPL 的 4KHz 狹帶噪音特別敏感，因此對於含有 1KHz 至 4KHz 之狹帶噪音的暴露，應該要特別避免長期接觸才能保

護聽覺。

三、噪音感受性之個別差異

噪音對人體聽覺影響之實驗研究

過去有些人體及動物實驗顯示，噪音所引起永久性聽力損失（NIPTS）之成因，可能與TTS₂陽性反應及一般的健康因素有關，但是TTS₂的陰性反應也不能肯定與NIPTS之形成無關。

本研究的受試者對65至90 dB SPL，6種不同響度之white noise暴露後TTS₂之出現率未達到百分之百的原因，不外乎所使用刺激噪音響度較低，且與刺激時間太短等實驗條件有關；此外，個人身體之內外因素的影響也不能忽略。不過經低響度之噪音暴露後，TTS₂之出現乃是表示對噪音特別有感受性或易受害性。

Rosen(1970)(註二十四)強調說，暴露在90 dB SPL以上的噪音一次或數次還不會傷害聽覺，但是暴露數年者其內耳可能會被破壞而引起聽力障礙。尤其已有血管硬化症或心臟冠狀動脈異常者，暴露於更小的噪音或更短的時間，也會比正常人較容易引起聽力損失的後遺症。

Glorig等(1961)(註二十五)曾報告，在暴露噪音前之聽力水準較高者，比聽力水準較低者其TTS之出現率低。Sataloff等(1962)(註二十六)也曾調查患有NIPTS中的人群中發現同樣的事實。著者將本研究對象中，對4KHz為中心頻率之狹帶噪音有TTS₂反應者18名，計算其暴露前4KHz之聽力水準平均值為3.3 dB，而陰性反應者42名之平均聽力水準為3.8 dB。兩群之間聽力水準平均值差異僅有0.5 dB，因例數不多不便以統計處理來判斷其差數的意義。

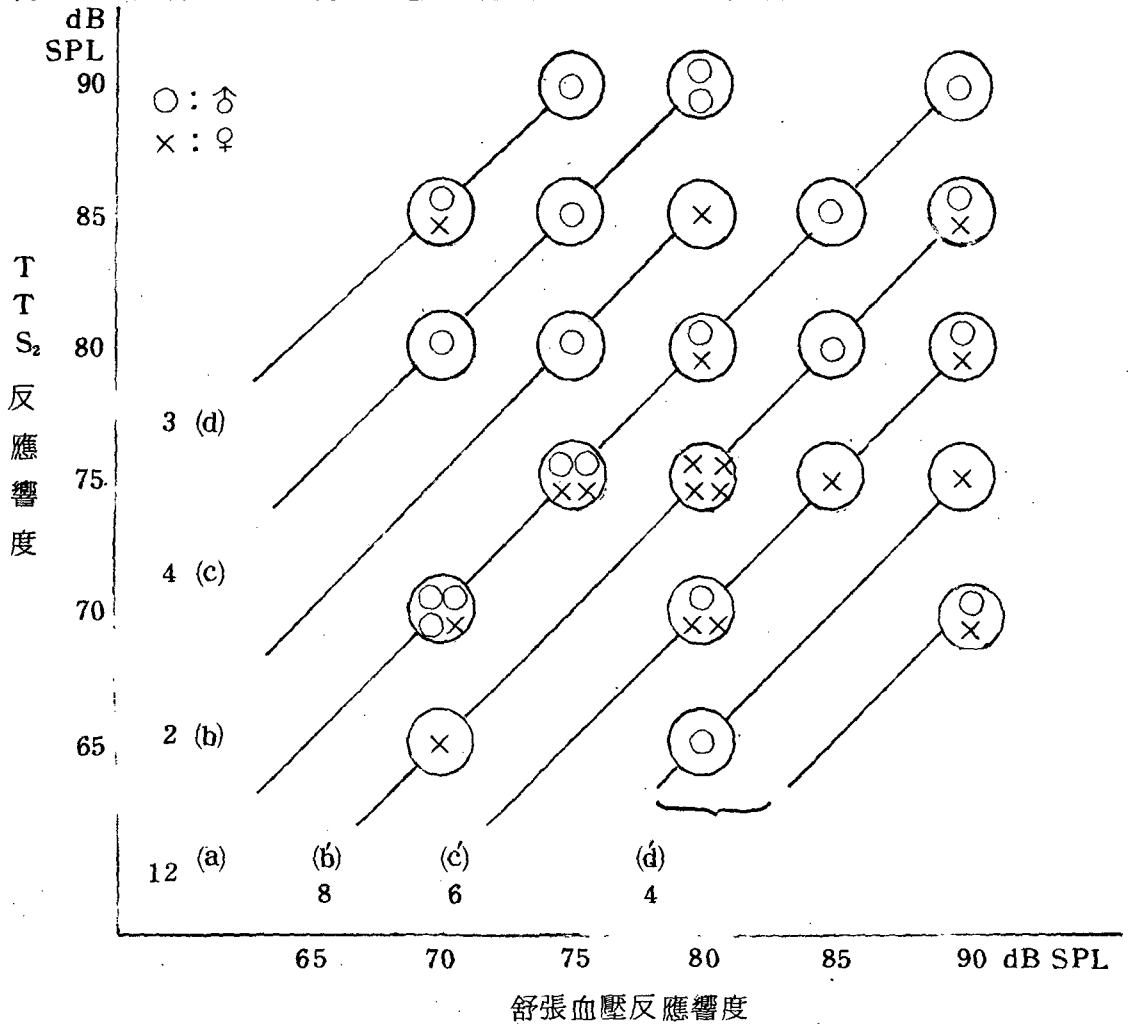
有關NITTS或NIPTS之出現率的性別差異，據Corso(1959)(註二十七)分析無噪音暴露者18歲至49歲男女500名聽力圖結果，發現男性比女性其聽力損失較大，並且隨着年齡增加其男女差亦隨之增加。Kylin(1960)，Dieroff(1961)(註二十八)等亦曾經研究噪音對聽力之影響，結果都是顯示女性比男性對噪音的傷害較有抵抗力。

本研究群之性差，雖然統計上無顯著差異，但一般而言，本國男性青年對廣帶噪音暴露後之4KHz及6KHz的TTS₂出現率比女性青年高，而男性青年對狹帶噪音暴露後之4KHz及6KHz的TTS₂出現率，反而，要比女性青年低。有關本國人TTS₂出現率之性差，須要再進一步的研究才能證實是否與外國的研究結果一樣，男性比女性有較高的感受性。

四、TTS₂反應與血壓反應之關係

就噪音對人體之生理反應而言，TTS₂是屬於聽覺性影響，而血壓變化則屬於非聽覺性反應。近年來德國學者們，例如Plester(1953)(註二十九)，Taner(1955)(註三十)及Jansen(1970)等都認為TTS之成因及血壓之變化，均由於自主神經系統反應而導致血液循環發生變化所產生的結果。因此，著者針對本研究受試者之中，對廣帶噪音有TTS₂反應之39名青年男女，將其TTS₂之出

現響度與舒張血壓呈現上升反應之響度作成一分布圖(如圖二)。



(圖二) TTS_2 及舒張血壓反應同時出現響度之分布

本圖中以不同符號表示兩性之分布狀況(○代表男性, ×代表女性), 並加以檢討其間的關係。圖中(a)群表示兩種反應在同一響度出現者, 共12名(男性8名, 女性4名); (b)群表示血壓上升比 TTS_2 早 5 dB SPL 出現者, 共2名(男女性各1名); (b')群表示 TTS_2 比血壓上升早 5 dB SPL 出現者, 共8名(男性2名, 女性6名); (c)群表示血壓上升比 TTS_2 早 10 dB SPL 出現者, 共4名(均為男性); (c')群表示 TTS_2 比血壓上升早 10 dB SPL 出現者, 共6名(男性2名, 女性4名); (d)群表示血壓上升比 TTS_2 早 15 dB SPL 出現者, 共3名(男性2名, 女性1名); (d')群表示 TTS_2 比血壓上升早 15 dB SPL 以上者, 共4名(男性2名, 女性2名)。

由此分布狀況可見, (a)(b)(c)(d)四群乃表示血壓上升與 TTS_2 同時出現, 或血壓上升較早出現者, 共有 21 名, 其中男性比女性多(15 比 6); 似乎意味着男性比

女性較早出現血壓上升之反應。反之，(b')(c')(d')三群則表示TTS₂比血壓上升較早出現者，共18名，其中女性多於男性(12比6)；女性似乎比男性較早出現TTS₂之反應。

有關TTS之成因，Lawrence(1960)(註三十一)曾主張其不僅由單純之噪音刺激所引起，亦與噪音以外因素所導致神經系統之功能變化有關。後來Lawrence等(1967)(註三十二)又報告說，TTS之成因乃是內耳血管收縮導致聽覺細胞缺氧，以致構造變化所引起之聽力損失。不過Jansen等仍以實驗證實TTS與手指末梢血管之血壓上升反應，均為自主神經系統受噪音刺激所產生者，他們特稱之為「植物性反應(vegetative reactions簡寫為VR)。

根據本研究之協同主持人韓德行副教授之統計結果(尚未出版)顯示，本研究對象60名青年男女對廣帶噪音的收縮血壓及舒張血壓反應之LD₅₀值，各為75.31 dB SPL及82.44 dB SPL，與著者之統計結果NITTS₂之LD₅₀值80.99 dB SPL相比，NITTS₂與舒張血壓反應之響度較相似。

因此，著者認為在訂定噪音管制標準時，不僅應該考慮噪音之質與量，噪音以外之環境因素，包括道路之寬度、建築物之型式、人口之分布狀況等，均需要列為參考條件。但是，為了維護人體之身心健康，噪音暴露後之聽力損失(NITTS)及舒張血壓上升之出現率，是需要列為訂定噪音管制標準之指標。此外，有關噪音對國人非聽覺性影響或所謂植物性反應等之研究，仍有待將來繼續探討之重要課題。

結 語

本實驗之所以採用青年男女為研究對象，乃因其在實際暴露於噪音環境之人群中佔絕大多數，且該年齡群之內耳器官(尤其是耳蝸)正值最成熟而最靈敏之階段。

本研究之實驗結果簡單歸納如下：

(一)暴露於廣帶噪音(65至90 dB SPL)後出現TTS₂反應者共39名，佔全體受試者之65%。而暴露於70 dB SPL之狹帶噪音後呈現TTS₂反應者，高頻率(30%)比中頻率(16.7%)及低頻率(3.3%)之出現率較高。

(二)噪音性暫時性聽力損失(NITTS₂)出現於6KHz者比4KHz較多。因此，對國人NITTS₂之測定時必須考慮此一特性，而應以測量4KHz及6KHz為宜；倘若暴露時間較長者，也許再加測3KHz之TTS₂較為正確。

(三)使用LD₅₀分析法考驗本資料之結果：60名男女青年暴露於81 dB SPL之廣帶噪音50秒後，有半數受試者會呈現TTS₂反應。Botsford(1970)(註三十三)曾經依據“The equal temporary effect hypothesis”的理論，說明能

引起NITTS的噪音響度亦同樣會導致NIPTS。換言之，若長期暴露於某一能引起暫時性聽力損失之噪音環境中，必會導致永久性聽力損失。Burns (1971) (註三十四)亦以實驗證實：1KHz及2KHz之NITTS值與3KHz、4KHz及6KHz之NIPTS值之間有相關關係。

由此可見，以我國男女青年而言，81 dB SPL之廣帶噪音乃是暴露後會導致聽力損失之危害響度的下限，並且若其所暴露之噪音裡夾有4KHz以上之高頻率音響時，應考慮將危害響度之下限再降低，才能避免導致永久性聽力損失。

誌 謝

本論文為國家科學委員會研究專題(NSC-72-0412-B003-01)之部分報告，承國家科學委員會之補助，以及韓德行副教授、劉貴雲助教、丁志音助理研究員之協助，謹此一併致謝。

註 釋

- 註 一 : Wittmaack, S.K. "Über Schädigung des Gehörs durch Schallwirkung." *Zeitschr. Ohrenheit. usw.*, 54:37-80, 1907. Cited by Nakai, Y. et al., 1976 (Reference 3)。
- 註 二 : Vosteen, K.H. "Die Ershöpfung der Phonoreceptoren nach funktioneller Belastung." *Arch. Ohren Heilk. Z. Hals Heilk.* 172:489-512, 1958. Cited by Funasaka, S. and Abe, H., 1976 (Reference 9).
- 註 三 : Nakai, Y. et al. "Cochlear Pathology with Experimental Acoustic Trauma." *Audiology Japan*, 19:67-77, 1976.
- 註 四 : 王老得等「本省各種工廠的噪音及從業人員的聽力障礙」，健康教育通信，17期，6-16頁，1966.
- 註 五 : 王老得「職業性聽力障礙」，中華民國耳鼻喉科醫學會雜誌，2(1)：11-19，1967。
- 註 六 : 王老得「台北市國小階段聽力障礙學童之分析研究」，中華民國耳鼻喉科醫學會雜誌，14(2)：11-17，1979。
- 註 七 : 中華民國民意測驗協會台北市噪音管制民意測驗報告，中華民國民意測驗協會編印，1-38頁，1977。

- 註 八 : 王老得、林嫩英國民學校高年級學生聽力障礙調查報告，台灣省教育廳學校衛生委員會印，1-17 頁，1965。
- 註 九 : Funasaka, S. and Abe, H. "An Experimental Study on NIPTS Growth Curve and NIPTS Occurrence." *Audiology Japan*, 19:87-93, 1976.
- 註 十 : Ward, W.D. "Adaptation and fatigue." In *Modern Developments in Audiology*, ed. Jerger, J. Second Ed., N.Y.: Academic Press, pp. 301-344, 1973.
- 註 十一 : Jansen, G. "Relation between temporary threshold shift and peripheral circulatory effects of sound." In *Physiological Effects of Noise*, ed. Welch, B. L. and Welch, A. S. N.Y.: Plenum Press, pp. 67-74, 1970.
- 註 十二 : "Reed-Muench Method" *American J. of Hygiene*, 27: 493, 1938. Cited by Bancroft, H. *Introduction to Biostatistics*, N.Y.: Paul B. Hoeber, Inc., pp. 198-205, 1957.
- 註 十三 : Kylin, B. "TTS and Auditory Trauma Following Exposure to steadystate Noise." *Acta Otolaryng.* (Stockh.), Suppl. Vol. 152, 1960.
- 註 十四 : Pell, S. and Diskerson, T.H. "Changes in Hearing Acuity of Noise Exposed Women." *Arch. Otolaryng.* 33:207-212, 1966.
- 註 十五 : Morimitsu, T. "Sex Difference in Noise Susceptibility, especially in C³dip Formation." *Audiology Japan*, 13:191-196, 1970.
- 註 十六 : Gravendeel, D.W. "Micro-noise Trauma?" *Arch Otolaryng.* (Chic), 71: 656-663, 1960.
- 註 十七 : Davis, R. C. and Berry T. "Gastrointestinal Reactions to Response-contingent Stimulation." *Psychol. Rep.* 15: 95-113, 1964.
- 註 十八 : 王昌洋「本省國校學童高音階聽力障礙曲線圖之分析」，中華民國耳鼻喉科醫學會雜誌，2(2): 13-22, 1967.
- 註 十九 : 王老得「Dip 型聽力障礙之研究；II 國民小學生之 Dip 型聽力障礙」，中華民國耳鼻喉科醫學會雜誌，3(2): 23-43, 1968.
- 註 二十 : Ward, W.D. "Effects of Noise on Hearing Thresholds." In *Proceedings of the Conference*, ed. Ward, W.D. and Fricke, J. E. "Noise as a Public Health Hazard", The American Speech and Hearing Association, *ASHA Reports* 4, pp. 40-48, 1969.
- 註 二十一 : Baughn, W.L. "Noise control-present of population protected."

- Intn. Audiology*, 5:331-338, 1966. Cited by Ward, W.D., 1969 (Reference 20).
- 註二十二：Botsford, J. "Prevalence of Impaired Hearing Groups Exposed to Various Sound Levels at Work." *J. Acoust. Soc. Amer.* (in prese). Cited by Ward., W.D., 1969 (Reference 20).
- 註二十三：Lehnhardt, E. "The C³-dip; Its Interpretation in the Light of Generally Known Physiological Concepts." *Intn. Audiology*, 6 : 86-95, 1967. Cited by Ward, W.D., 1969 (Reference 20).
- 註二十四：Rosen, S. "Noise, Hearing and Cardiovascular Function." In *Physiological Effects of Noise*, ed, Welch, B.L. and Welch, A. S.N.Y.: Plenum Press, pp.57-66, 1970.
- 註二十五：Glorig, A. et al. "Damage-risk Criteria and Noise-induced Hearing Loss. *Arch. Otolaryng.*, 74:413-423, 1961.
- 註二十六：Satalof, J. et al. "Long-term Study Relating Temporary and Permanent Hearing Loss." *Arch. Environ. Health* (Chicago), 13:637-640. 1966.
- 註二十七：Corso, J.F. "Age and Sex Differences in Pure-Tone Thresholds." *J. Acoust. Soc. Amer.*, 31:498-507, 1959. Cited by Morimitsu T. 1970 (Reference 14).
- 註二十八：Dieroff, H.G. "Zur geschlechtunterschiedlichen Lärmfestigkeit." *Arch. Ohrenheilk.*, 177:282-289, 1961. Cited by Morimitsu, T., 1970 (Reference 14).
- 註二十九：Plester, D. "Der Einfluss vegetativ Wirksamer Pharmaka auf die Adaptation Bzw. Hörermüdung." *Archiv fur Ohren-Nasen- und Kehlkopf Heilkunde*, 162:473-478, 1953. Cited by Jansen, G., 1970 (Reference 11).
- 註三十：Tanner, K. "Über Hörermüdung und akustisches Trauma und deren Beeinflussung durch vegetativ Wirksame Pharmaka." *Acta Otolaryngologica*, 45:65-81, 1955. Cited by Jansen, G. 1970 (Reference 11).
- 註三十一：Lawrence, M. "Some Physiological Correlates of Noise Induced Hearing Loss." *Industrial Medicine and Surgery*, 29:445-452, 1960. Cited by Jansen, G. 1970 (Reference 11).
- 註三十二：Lawrence, M. et al. "Some Physiological Factors in Noise-induced Hearing Loss." *American Industrial Hygiene Association*

Journal, 28:425-430, 1967. Cited by Rosen, S. 1970 (Reference 24).

註三十三：Botsford, J.H. "Damage Risk in Transportation Noises: A Symposium on Acceptability Criteria," Chalupnik, J. D.(Ed.), University of Washington Press, Seattle, 1970. Cited by Crocker, M. J. and Price, A. J. (Eds.) *Noise and Noise Control*. Vol. 1, pp.66-67, Cleveland: CRC Press Inc., 1975.

註三十四：Burns, W. *The Relation of Temporary to Permanent Threshold in Individuals, in Occupational Hearing Loss*. Robinson, D.W.(ED.) London: Academic Press, p.63, 1971. Cited by Funasaka, S. and Abe, H. 1976 (Reference 9)。

An Experimental Study of Human Auditory Effect of Noise

Lao-teh Wang

Department of Health Education

College of Education

[Abstract]

An experimental study on the noise-induced hearing loss or noise-induced temporary threshold shift (NITTS) of the normal hearing college students (30 male and 30 female) was performed with three kinds of narrow band noise, including 250Hz, 1 KHz and 4KHz octave bands, and six different sound pressure levels of broad band noise, which were used white noise at sound pressure levels of 65, 70, 75, 80, 85 and 90 dB as stimulating tones.

The mean age of this study subjects was 21.28 years in male group and 21.8 years in female group. First of all, all subject were measured with their hearing levels by using Rion AA39 audiometer, and then the persons with less 15 dB in average hearing level of speech range (500Hz, 1KHz, and 2KHz) were selected as the normal hearing subjects. The actual mean values were 9.55 dB in male group and 9.83 dB in female group.

Two minutes after exposure to each stimulating noise ceased, the subject was retested with the hearing levels on 4KHz and 6KHz, and then compared with that of preexposure to the stimulating noise. If the difference of value between pre-and post-exposure hearing level on 4KHz or 6KHz shows 5 dB or greater, it is defined as a positive response of NITTS.

The incidence of positive TTS₂ shows 65% among 60 subjects after 50 seconds of exposure to the broad band noise; and 3.3%, 16.7%, 30% after 50 seconds of exposure at 70 dB SPL to the 250Hz, 1KHz, 4KHz octave-band noises respectively.

According to Reed-Muench bioassay method. LD₅₀ value shows 80.99 dB SPL for the white noise exposure. In other words, 50% of subjects in this study

group reveals positive TTS_2 after exposure for 50 seconds to white noise at 80.99 dB sound pressure level.

So the 81 dB SPL of the white noise may be referred to as the risk-criterion limit of "Noise Control Administration in Taiwan" for the broad band noise. If the environmental noise contains the 4KHz or higher pure-tone components and/or high octave bands, the risk-criterion limit must be decreased reasonably for the purpose of preventing noise-induced permanent threshold shift (NIPTS).