

噪音特性、年齡與暫時性聽力損失關係 之實驗研究

董貞吟* 黃乾全* 曾馨儀**

摘 要

本研究目的在探討不同噪音特性及年齡在不同噪音位準暴露下，所引起之暫時性聽力損失效應。研究採立意取樣選擇二個年齡層，分別為 20、40（±5）歲之自願者、無耳朵疾病史且無特殊噪音暴露經驗，並經檢查聽力正常者各為 15 及 14 人為研究對象，使其重複暴露在交通噪音及 4k 純音之 85、90、95dB SPL 等不同位準噪音下 30 分鐘，於實驗前及暴露後 2 分鐘測其聽力（TTS₂），並在 95dB 的交通噪音暴露後，測其不同時間（暴露 2 分、20 分、40 分、60 分）的聽力，以了解其暫時性聽力損失的恢復情形。此外，The Reed-Muench 也被應用於噪音暴露 ED₅₀ 之計算。結果發現暴露音源為純音者較交通噪音更能預測 TTS，且有較典型之劑量反應。TTS₂ 恢復時間以 6KHz 最慢，而 ED₅₀ 以 40 歲組純音暴露最低，在 6KHz 僅 82.8dB。

關鍵詞：年齡、噪音、噪音性暫時性聽力損失

* 國立台灣師範大學衛生教育學系教授

** 國立台灣師範大學衛生教育學系碩士班學生

壹、前言

噪音暴露會誘發聽力損失已是不爭的事實，在美國約有二千八百萬人遭受聽力損失之苦，其中約有一千萬人可部分歸因於噪音暴露所引起的傷害。噪音性聽力損失最常見的原因是職業性噪音暴露，如工廠、卡車司機、消防人員等。然而對於非職業性噪音暴露，如現場演唱、PUB、隨身聽等所引起的聽力危害，亦日漸受到重視 (Bahadori & Bohne, 1993)。當有過度的噪音產生時，除了造成談話干擾與令人煩惱外。最直接的是造成人耳聽力的傷害。在生理上，過度的噪音會造成內分泌異常、頭痛、易疲倦與高血壓，對於突發性的噪音也會令人過度緊張導致心臟疾病，令人不專心，妨礙學習、思考，降低工作效率，甚至妨礙個人的睡眠 (陳興，1997)。

由於人類的耳朵對於持續性噪音之刺激，剛開始可能會產生適應，但隨著時間之增長，會使得暫時性之聽閾值提高 (temporary threshold shift)，此時產生之聽力損失為可逆性，可經適當休息及避開噪音一段時間而恢復正常，但久之會造成永久性的聽閾值上升 (permanent threshold shift)，也就是永久性之聽力喪失。噪音引起的聽力損失為漸進的、無痛的、且初期自高頻開始，不會對語言溝通造成影響，剛開始時並不易察覺，等到察覺時，多半已有嚴重且不可恢復的聽力損失 (Bethesda, 1990; Dobie, 1995; 王建楠、吳宗穎，2001)。因此進一步評估人體對噪音性聽力損失反應特性之相關研究，以加強利用既有的知識去預防噪音性的聽力損失，不僅是目前職業衛生主要工作，亦是環境醫學領域重要課題之一。

暴露於噪音環境下活動，而引發暫時性聽力損失，經長時間下來而發生的永久性聽力損失，其實際的侵害決定於噪音之音壓強度 (SPL)、暴露時間之長短、防音防護具使用及個人體質。典型的噪音性聽力損失，其聽力檢查圖在 4kHz 會先出現一明顯凹陷值，且通常是左右對稱，或是在 3kHz-6kHz 處聽力閾值呈現上升。至於語音頻率範圍 (20-2000Hz)，剛開始並未受波及 (黃久玲，1999; 王建楠、吳宗穎，2001)。以往有關噪音暴露與聽力損失相關性之研究，在動物實驗中多以反覆地暴露於足夠強度的短暫性聲音能量，評估耳朵結構，特別是內耳 (耳蝸) 聽覺部分的柯蒂氏器 (corti organ) 的傷害導致嚴重性永久的聽力損失。

如 Hamernik, & Qiu (2000) 以灰鼠 (chinchilla) 暴露於 109, 115, 121, 127dB SPL 五天或二十天; Barbara, and Gary (2002) 以 1-3 歲的灰鼠暴露於 OBN (octave band of noise) 0.5kHz 或 4kHz 的頻率，57-95dB 二天或 36 天; Lei, Ahroon & Hamernik (1994)

使灰鼠暴露 100dB SPL 之五種合成 broadband 噪音;Heanderson, Spongr, Subramaniam, & Campo (1994) 則以 119-137dB 的衝擊性噪音 (impact noise) 使灰鼠暴露 24 小時或 30 天; Dunn, Davis, Merry, & Franks (1991) 比較衝擊性與連續性噪音對灰鼠的聽力損失效應; Chen, McWilliams, & Fechter (1997) 則探討噪音暴露與一氧化碳對聽覺系統的協同作用。在這些類型的聽覺傷害實驗中, 可能損及耳蝸血流、傷害實體纖毛 (Stereocillia)、毛細胞的退化, 神經纖維甚至中樞神經系統的相當程度退化。

在以上的動物實驗中, 聲音暴露能被謹慎地控制, 且有關噪音性聽力損失的解剖學與生理學知識能精準地操縱與定義。但在人體研究上, 則有相當的限制與困難。大多數噪音暴露與聽力損失間相關性的人體研究仍是回溯性地測量一群人的聽力, 再求與其噪音暴露之相關或觀察所選擇之勞工在一段長時間的聽力閾值, 同時監測其噪音暴露情形。如黃久玲 (1999) 以 19 位音樂系一年級學生為研究對象, 平均年齡為 19.4 歲, 另外以 20 位幼教系二年級學生為對照組, 做問卷調查及純音聽力測驗, 結果發現, 任一側耳朵的單一頻率聽力閾值大於或等於 20dB 的比率為 14.3%, 聽力損失主要是分佈在較低頻率的部分。但音樂系與幼教系學生間沒有顯著上的差異, 其可能的推論為音樂系學生沒有受到音樂表演時高分貝音量的影響。而於劉秀丹、陳小娟 (2000) 對 69 名鋼鐵工廠的典型噪音聽力損失男性勞工及 85 名高頻下降型的噪音聽力損失勞工, 其平均年齡分別為 44.17 及 46.6 歲, 進行聽力分析, 發現典型噪音聽力損失者的聽力閾值最低處是在 4kHz 處, 而高頻下降型者最低處卻是在 8kHz, 其次才為 4kHz; Mostafapour, Lahargoue, & Gates (1998) 為了解成年人其聽力損失及娛樂噪音之關係, 以 50 位 18-30 歲的研究對象來測試其聽力, 並以回顧其暴露史來了解過往的暴露噪音經驗, 結果發現所有的研究對象之聽力閾值雖皆正常, 但其中有 11 位其 3-6kHz 之閾值較其他頻率明顯上升, 且有 14 位有明顯的凹谷出現。

採回溯或追蹤性監測一群高危險暴露者其聽力閾值的變化; 雖可能獲得聽力閾值變化與噪音暴露之相關資料, 但在研究進行中, 非但花錢且費時, 更有干擾因子不易控制且樣本流失等問題。在實驗研究方面, 則顧及道德與健康的原因, 大部分是以暫時性聽力損失 (TTS) 為指標進行研究。Zhu, Sakakibara, & Yamada (1997) 選擇 19 位平均 26 歲的健康人為對象, 測量暴露 30m/s^2 , 60Hz 手臂振動及 90dB 3 分鐘、休息一分鐘共重複 5 次噪音暴露的暫時性聽力損失, 發現單只振動並無法引起暫時性聽力損失, 但噪音暴露及噪音加上振動則有顯著的暫時性聽力損失反應。Barrenus, & Lindgren (1991) 選擇 68 名青年, 使其暴露在中心頻率 2kHz、105dB SPL 的噪音 10 分鐘, 發現藍眼較棕眼受試者顯著易發生暫時性聽力損失。Pirila (1991) 則以 28 名青年人為

對象評估 8 小時的噪音暴露在左右耳產生暫時性聽力損失效益之比較，發現優耳為右耳者似乎較左耳者不易產生暫時性聽力損失。

此外，噪音對聽力的影響，也可能與聽覺器官的老化有關。一般說來，人類的聽覺系統隨著年齡增長，會呈現退化的現象，暴露於噪音環境者，亦造成高頻率（3k，4kHz）感音性（Sensorineural）聽力損失，年齡愈大者，高頻率的聽覺靈敏度愈差。張淑如（1998）針對 641 位 15-65 歲的研究對象所做的聽力損失閾值之研究，發現在不同年齡層聽力損失，即 15 歲至 65 歲聽力的靈敏度隨著年齡漸長而逐漸退化且高頻影響較大。Toppila, Pyykko, & Starck（2001）評估噪音、年齡及吸菸習慣、膽固醇、血壓值對 NIHL（Noise Induce Hearing Loss）的影響，以 406 位暴露於 91-94dB 之紙類製造廠工人、124 位暴露於 96-99dB 森林工人及 176 位暴露於 95-97dB 之修船廠工人為研究對象，結果將研究對象以年齡、暴露狀況、血壓、膽固醇等配對後，發現年長者之 NIHL 較年輕者為敏感。

雖然暫時性聽力損失在人體實驗上有如此多樣之設計，在探討噪音與聽覺性傷害之相關資料，但在噪音特性與年齡之效應方面，則少有相關研究。在有些動物模式中，已有在出生不久後，噪音暴露會導致感受性增加的證據，Yanz, & Abbas（1982）曾以出生 18 天與 28 天的老鼠（mouse）為對象進行實驗，發現年齡在噪音引起聽力損失效應上與噪音強度有交互作用。因此本研究乃以噪音引起的暫時性聽力損失為指標，探討噪音特性與年齡之效應。具體研究目標為：

1. 探討不同音壓位準（Sound Pressure Level）在不同年齡層引起 TTS₂ 之差異。
2. 評估不同頻率特性之噪音暴露在不同年齡層造成 TTS₂ 效應之差異。
3. 比較不同音壓位準、不同頻率特性噪音及不同年齡層在 500、1000、2000、4000、6000、8000Hz 之 TTS₂ 之差異。
4. 分析不同年齡層在噪音暴露量與 Recovery TTS Time 及 TTS₂ 與 Recovery TTS Time 的相關。
5. 依據 Reed-Muench method 計算 ED₅₀（Effective dose）。
6. 建立 500、1000、2000、4000、6000、8000Hz 之 Recovery TTS Time 參考性資料。

貳、材料與方法

一、研究對象

本研究採立意取樣以二個年齡層，分別為 20、40（±5）歲兩組之自願者為研究對

象，(經自填式問卷了解其耳朵疾病史和特殊噪音暴露經驗)選擇無耳朵疾病史且無特殊噪音暴露經驗者，並經檢查聽力正常者各 15 人，但因研究期間，40 歲組中有一名研究對象因故無法繼續進行實驗，最後 40 歲組的研究對象共為 14 人。

二、研究工具

1. 音量計 (Rion NL-11 型 Sound Level Meter): 用於實驗現場之噪音位準的測定。
2. 防風罩 (Rion WS-03 型 Wind Screen): 罩於收音麥克風之上，以減少大氣流動對聲音接收之影響。
3. 錄音機 (Sony TC-D5 型 Stereo Cassette Recoder): 錄製交通噪音時使用。
4. 二氧化鉻錄音帶 (Magnax Grant Master-II Cassette Tape): 錄製實驗噪音用。
5. 資料錄音機 (Teac R-61D 型): 播放實驗噪音用。
6. 頻率分析器 (Rion NA29-CP-10 型 1/3 Octave Frequency Analyzer): 分析噪音之頻譜變化。
7. 擴音器 (Rion SS-02 型 load speaker): 播放實驗噪音用。
8. 變壓器 (Teac PA-2 型 AC Adapter)。
9. 噪音發生器 (Rion SF-05 型 Randon noise generator): 播放實驗噪音用。
10. 聽力檢查器 (Rion AA-61 型個人聽力檢查器): 聽力檢查用。
11. 噪音位準分析器 (Rion SV-73 型 Noise Level Analyzer): 用於噪音位準測試。

三、實驗步驟

1. 徵選研究對象，收集基本資料，如：姓名、性別、年齡、耳朵疾病史、特殊噪音暴露經驗。
2. 進行聽力檢查以確定研究樣本，採用純音 (pure tone)，氣導式 (air conduction)，在測量的步驟是採用標準聽力檢查方法，左右耳分別測量，測量的頻率及次序為左耳 1000、2000、4000、6000、8000、1000、500Hz，再進行右耳。在國立台灣師範大學健康中心聽力檢查室，使用個人聽力檢查器進行檢查，檢查室之背景噪音為 26dB，其頻譜分析如下所示：

聽力檢查室背景噪音頻譜分析

八分音階頻帶中心頻率 (Hz)	500	1000	2000	4000	8000
音壓位準 (dB)	24	26	20	18	17
(AP=26dB)					

3. 製作實驗噪音傳真錄音帶，為比較不同頻率特性噪音所造成之差異，本研究擬以日常生活最常暴露的道路交通噪音（其中心頻率約為 500~2000Hz）及環境噪音中可能較會暴露的高頻 4000Hz 之噪音二種音源作為暴露噪音。交通噪音方面，乃於交通繁忙之博愛路、漢口街口，以 TEAC 高精度錄放音器進行錄音，再委請音響公司於隔音室內重放，進行音量校正，將 SPL 特出之部分去除，使其變異範圍小於 5dB，以符合實驗需求。其頻率特性如下所示：

交通噪音頻譜分析

八分音階頻帶中心頻率(Hz)	500	1000	2000	4000	8000
音壓位準 (dB)	78	74	71	68	65

(AP=85dB)

而在純音暴露音源方面，則以 Rion SF05 型噪音發生器選擇以中心頻率為 4K 之純音，利用擴音器於實驗室播放。

4. 採用等音量噪音 85、90、95dB，30 分鐘連續性噪音暴露。
5. 以 29 人重複測量，在不同 SPL 暴露間隔為 2 天。
6. 於每次實驗暴露前先測聽力，在暴露噪音結束後 2 分鐘，依左、右耳之次序測其聽力，其瞬間下降的 dB 為 TTS₂。
7. 測量所有對象 95dB 暴露後，2 分、20 分、40 分、60 分、80 分之聽力變化。

四、資料處理與分析

以套裝軟體 SPSS10.0 For Windows 進行下列分析：

1. 計算暫時性聽力損失改變人數及百分比。
2. 計算暫時性聽力損失各頻率損失 dB 之平均值。
3. 以 Reed-Muench method 計算噪音暴露後之 ED₅₀。
4. 分析不同音壓位準及不同年齡層在 95dB 暴露之 TTS₂ 與 recovery TTS Time 的相關。

參、結果與討論

一、聽力閾值改變 (TTS₂) 人數及百分比

本研究依 Dickman (1981) 建議在 500Hz、1000Hz、3000Hz 或 4000Hz 的任何頻率下，聽力損失值接近或超過 10dB，則為達顯著聽力閾值改變，並認為未滿 5dB 的聽

力位準改變是不顯著的或可忽視的。因此本研究的指標是以 10dB 或 10dB 以上的 TTS₂ 值，視為聽力閾值變化。

結果在表一各年齡層單一頻率評估發現在暴露交通噪音 30 分鐘後，20 歲組有 TTS₂ 反應者，以 500~2kHz 及 8kHz 等頻率較明顯，而在 4k 及 6kHz 有 TTS₂ 改變者比率較少，且 TTS₂ 人數與暴露音量高低似無明顯關係。在 40 歲組中，則以 500、1k、6k 及 8kHz 等頻率帶之 TTS₂ 反應明顯，且在 1k 及 6kHz 之聽閾值變化人數隨暴露音量提高有增加趨勢。暴露結果方面，當暴露音量達 90dB，20 歲組中約有半數以上的人在 6k、8k 等高頻帶有 TTS₂ 反應，當暴露音量至 95dB 時，則 TTS₂ 比率更高達 70% 以上。在 40 歲組的純音暴露結果則有更明顯之 TTS₂ 效應，尤其在 6k、8kHz 高頻率部分較其他頻率帶明顯。當暴露音量達 85dB 以上，有 65%~85% 的人在 6kHz 有 TTS₂ 反應。整體說來，無論年齡於交通噪音暴露後，僅在 6kHz 之 TTS₂ 有隨著音壓位準強度的增加，閾值改變的人數也有增加的趨勢，而在純音暴露後，6k、8kHz 都有較明顯隨音量增加而 TTS₂ 人數增加情形。另在不同音源暴露下（交通噪音與純音），無論年齡組別純音暴露產生之聽力閾值改變的人數普遍多於交通噪音，尤以高頻率帶最為明顯。20 歲組及 40 歲組中暴露純音時，在 90 分貝以上有 50% 以上的研究對象於 6kHz 及 8kHz 都發生改變。

而在年齡方面無論暴露音源特性、音量高低，40 歲組在高頻帶的 TTS₂ 反應普遍較 20 歲組明顯。可見噪音之誘發 TTS₂ 之年齡效應在高頻帶比較明顯。

二、聽力閾值損失平均值之探討

受試者在 85、90、95dB 的交通噪音暴露後，其平均聽力損失情形如圖一所示，85dB 的噪音暴露，20 歲組以 1kHz 的頻率帶損失最多，40 歲組則在 8kHz 的損失值最高，皆達 20dB。另以 90、95dB 的噪音暴露結果，在 20 歲組中各頻率帶的損失值較為接近，約在 10~15dB 間，40 歲組中則以在 1k 及 6kHz 的頻率損失較明顯。

於暴露純音部分，由圖三及圖四可發現，在暴露純音 30 分鐘後，20 歲組及 40 歲組在左耳的聽力閾值的損失平均值，在 20 歲組中不同噪音位準暴露聽力損失的情況亦不盡相同，在 90dB 暴露後於 6kHz 處有較高的聽力損失，但在 95dB 之暴露除了 6kHz 外，低頻的 500Hz 及 1kHz 也出現約 20dB 的損失值。另在 40 歲組的聽力閾值改變方面雖也有類似的傾向，但整體說來，其在 6k、8kHz 的高頻損失較 20 歲組更明顯。此外，無論年齡，各頻率的聽力損失值大致都有隨著噪音暴露位準增加而增加的現象，與交通噪音相較，有更典型的劑量反應。尤其在 6k、8kHz 等高頻部分，4kHz 純音暴

露誘發之 TTS_2 值，似乎更明顯可見到年齡產生的效應。

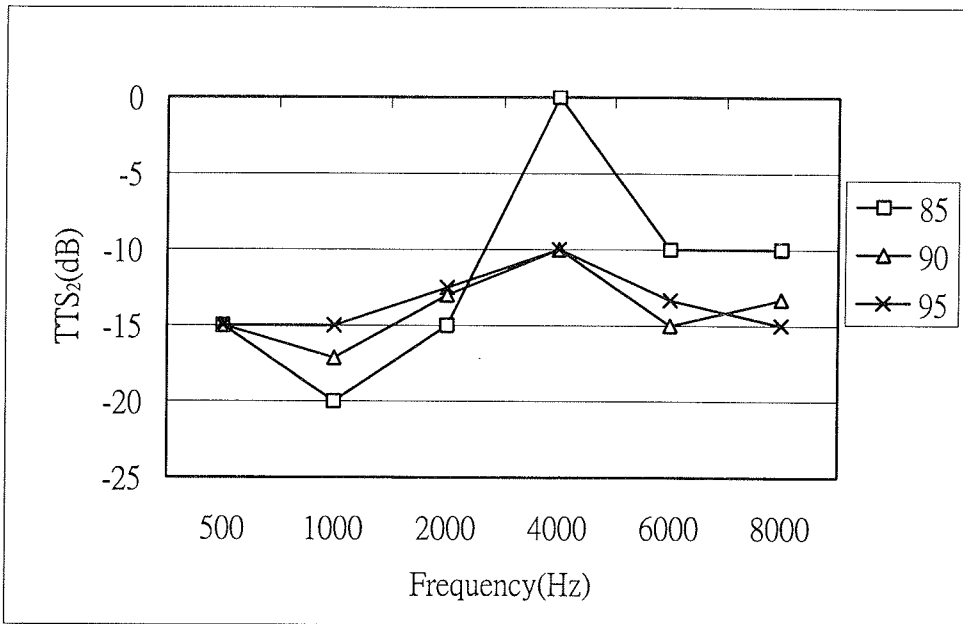
表一 二十歲組及四十歲組暴露交通噪音與純音之左耳聽力閾值改變（以 TTS_2 為指標）
人數及百分比

組別	音源	Freq.	85 dB	90 dB	95 dB
20 歲	交通噪音	0.5kHz	4 (26.7)	6 (40)	1 (6.7)
		1k	5 (33.3)	5 (33.3)	4 (26.7)
		2k	2 (13.3)	5 (33.3)	4 (26.7)
		4k	0 (0)	1 (6.7)	1 (6.7)
		6k	1 (6.7)	1 (6.7)	3 (20)
		8k	4 (26.7)	3 (20)	2 (13.3)
40 歲	交通噪音	0.5kHz	3 (21.4)	2 (14.3)	7 (50)
		1k	4 (28.5)	5 (35.7)	6 (42.9)
		2k	1 (7.1)	3 (21.4)	3 (21.4)
		4k	1 (7.1)	1 (7.1)	2 (14.3)
		6k	3 (21.4)	5 (35.7)	5 (35.7)
		8k	2 (14.3)	3 (21.4)	2 (14.3)
20 歲	純音	0.5kHz	3 (20)	3 (20)	4 (26.7)
		1k	2 (13.3)	3 (20)	5 (33.3)
		2k	0 (0)	1 (6.7)	5 (33.3)
		4k	0 (0)	4 (26.7)	8 (53.3)
		6k	4 (26.7)	9 (60)	12 (80)
		8k	5 (33.3)	7 (46.7)	11 (73.3)
40 歲	純音	0.5kHz	4 (28.5)	3 (21.4)	3 (21.4)
		1k	6 (42.9)	3 (21.4)	5 (35.7)
		2k	2 (14.3)	3 (21.4)	3 (21.4)
		4k	3 (21.4)	5 (35.7)	5 (35.7)
		6k	10 (71.4)	9 (64.3)	12 (85.7)
		8k	4 (28.5)	8 (57.1)	9 (64.3)

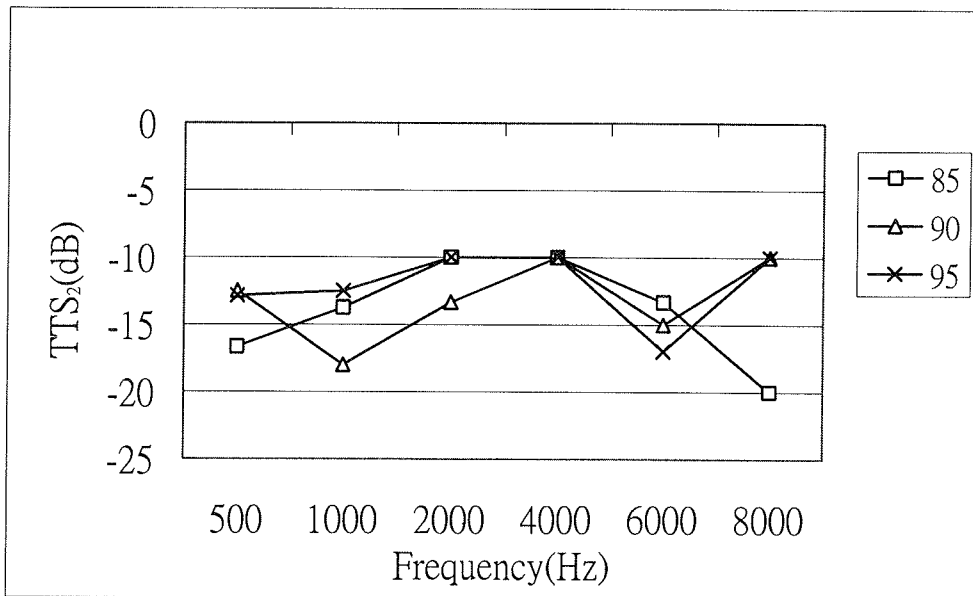
依據以往相關文獻，噪音暴露誘發之聽力損失首先多見於 4k 或 6kHz 等高頻帶，如黃乾全、吳聰能、董貞吟(1993)31 位 20-30 歲大學生為研究對象；Zhu et al., (1997) 以 19 位平均年齡為 25.7 歲的自願者為研究對象暴露於手臂振動及噪音，重複 5 次；Chaturved et al., (1991) 採用 131 位聽力正常的自願者，暴露於不同噪音頻譜 4 天，每天 30 分鐘，其結果皆發現噪音聽力損失在 4kHz 或 6kHz 可達最大閾值，而本研究結果在交通噪音暴露後 TTS 反應除了在 6k、8kHz 等高頻帶有較大聽力損失外，在 500、1kHz 中低頻率帶的 TTS 反應也很明顯，且都較 4kHz 的損失值高，是否由於噪音的頻譜特性不同或組內個別差異所致，仍待進一步探討。Chaturved et al., (1991) 曾研究噪音的頻譜對聽力的影響，採用 131 位聽力正常的自願者，隨機分派到不同噪音頻譜各組，給予每天 30 分鐘，連續 4 天的噪音暴露，亦同樣採用 TTS₂ 為指標，結果發現寬頻噪音 (broadband noise) 暴露所致 TTS 最大聽力損失量定在 4kHz，但在同樣能量、不同頻譜的噪音暴露對 TTS₂ 的影響亦不同，如 1/3 OB (Octave Band With) 暴露產生的 TTS₂ 是要高於 1 OB 噪音所產生的 TTS。噪音的能量若集中中頻時會較影響語音頻；噪音為單一頻 (如 2 或 4kHz) 和噪音為 1/3 OB (在 4kHz) 產生 TTS₂ 是要高於寬頻噪音所產生的 TTS₂ 的。依此理論，本研究所採用的暴露音源—交通噪音，其主要能量乃集中在 500~2kHz 之中頻帶，似乎也呼應了 Chaturved 等人所述較會影響語音頻的說法。而整體看來 4kHz 純音暴露產生的 TTS₂ 皆較交通噪音有更明顯的 TTS₂ 效應，也驗證了 1/3 OB 產生 TTS₂ 高於 Broadband noise 之研究結論。惟值得注意的是本研究採用重複量測實驗方法，因限於人力、時間考量，無法選取太多實驗樣本，因此組內個別差異的問題有可能存在。Mustain, & Shoeny (1980) 以 10 位自願者為對象，使其暴露 110dB SPL, 3 分鐘，重複實驗，發現每次實驗 TTS 的相關 R 值為 0.6，而 Lindgren (1990) 採用 16 位研究對象，重複 10 次使其暴露 105dB SPL (1/3 Octave band) 10 分鐘，結果發現不同次數的 TTS 之相關 R 值為 0.16-0.68。因此可知在同樣的研究對象，同樣噪音情境，每次實驗結果也不盡相同。更遑論不同噪音量、不同噪音頻譜、不同研究對象及各種干擾，其結果變異就更大。

而在圖三及圖四為各組曝露於純音下，可以看出在 6kHz 其聽力損失平均比其他頻率有較大的損失，且將純音與交通噪音互相比較下，發現在純音之高頻的損失其趨勢更為明顯，與交通噪音相同的，在 2k 與 4kHz 頻率下，其聽力閾值的改變沒有其他頻率顯著，並在數據中發現，當二十歲組及四十歲組暴露於 95dB SPL, 30 分鐘時，在 6kHz 頻率下，其損失值分別可達到最大值 18.5dB 及 21.25dB。但在實驗結果也同時發現，屬於低、中頻部分 (0.5、1kHz) 其聽力閾值也出現了高峰，其可能的原因為何，尚待

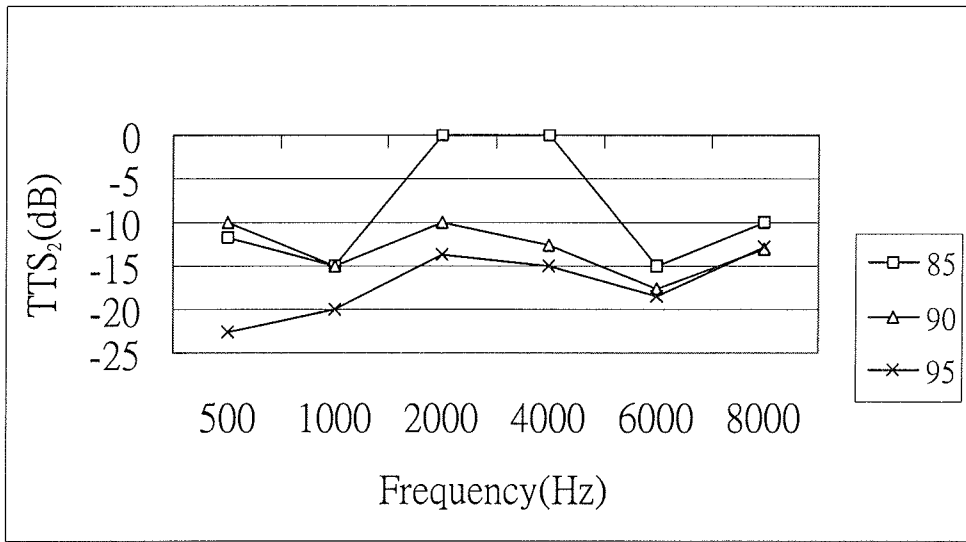
進一步探討。



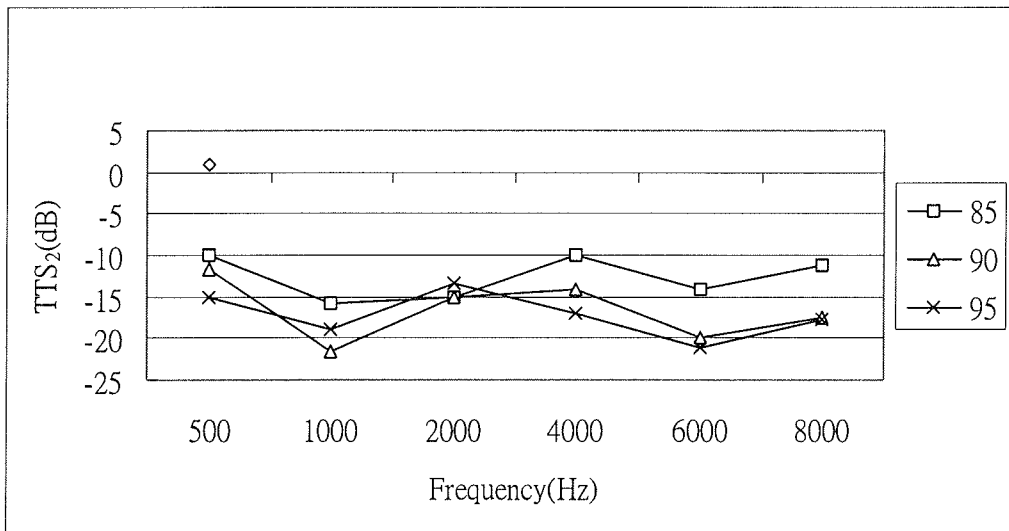
圖一、20 歲組交通噪音左耳聽力閾值改變之平均值



圖二、40 歲組交通噪音左耳聽力閾值改變之平均值



圖三、20 歲組純音左耳聽力閾值改變之平均值



圖四、40 歲組純音左耳聽力閾值改變之平均值

三、暫時性聽力損失恢復時間

表二為兩組暴露 95dB 交通噪音，30 分鐘，在暴露噪音後，2、20、40、60、80 分鐘測其聽力後，聽力恢復之人數及百分比。(聽力損失恢復至前測基準值或相差 5dB，則稱為聽力恢復)。

結果發現 20 歲組在暴露 2 分鐘後約有 8 成的受試者已恢復至基準值或沒有變化，20 分鐘後在 500、4kHz 部分，全部受試者已恢復，而恢復最慢者則在 6kHz 處，至暴露 60 分鐘後才全部恢復。在 40 歲組中，有 TTS 反應者較 20 歲組多，且恢復時間普遍較 20 歲組長。於暴露 2 分鐘後各頻率有 50%~80% 的人已恢復至基準值或沒有改變，至暴露後 20 分鐘，2k、4k、8kHz 已全部恢復，值得注意的是，除了與 20 歲組相同，在 6kHz 處遲至 60 分鐘才全部恢復外，低中頻帶的 500、1kHz 亦緩至 60 分鐘後才完全恢復，與 20 歲組相較，有明顯的恢復遲緩現象。

Chaturred, Rai, & Sharma (1991) 指出當 TTS 恢復沒有完全時，而噪音的曝露又持續，這將易導致永久性聽力損失 (PTS)，因此可見這些聽力恢復慢的人，可能是未來造成聽力損失的高危險群。

表三是暴露交通噪音後 2 分鐘、20 分鐘、40 分鐘、60 分鐘之聽力損失之平均值，由表中可看出兩組受試者在 6kHz 聽力損失值頗大，在 TTS₂ 平均值分別高達 13.3、15.8dB，在恢復情形來看，6kHz 恢復較慢，到了暴露後 40 分鐘兩組 6kHz 之聽力損失仍分別有 15 和 10dB 未恢復。若以個人來看有受試者曝露交通噪音後，左耳 (6kHz) TTS₂ 高達 30dB，直到 60 分鐘才完全恢復。回顧若干相關文獻指出，當暴露的噪音是高頻、高強度時，TTS₂ 恢復的時間會延長 (Melnick, 1991)，Laroche, Hetu, & Poirier (1989) 更指出暴露衝擊性噪音 30~50 分鐘，至少要 4 至 5 小時才能恢復完全，而 Wu, Liu, & Wang (1989) 以 20 名年輕人，暴露於 117-128dB 的航空噪音，20 分鐘後，在低頻和語音頻部分約 30 分鐘即完全恢復，而高頻部分則遲至 24 小時後仍未恢復完全。本研究則發現所有受試者最遲仍可於 60 分鐘恢復，可能與暴露的噪音特性為寬頻的生活噪音，再加上暴露位準僅達 95dB。在法定標準上可連續暴露量 4 小時，而本研究設計基於安全考量，僅使其暴露 30 分鐘，故導致不同之結果。但值得注意的是據 Clark (1991) 認為用 TTS 的恢復時間比 TTS 的人數百分比或損失 dB 數更能預測 PTS，因此對於這些恢復較慢的頻率，可能是未來產生永久性聽力損失的頻率，應特別於聽力檢查時加強追蹤。

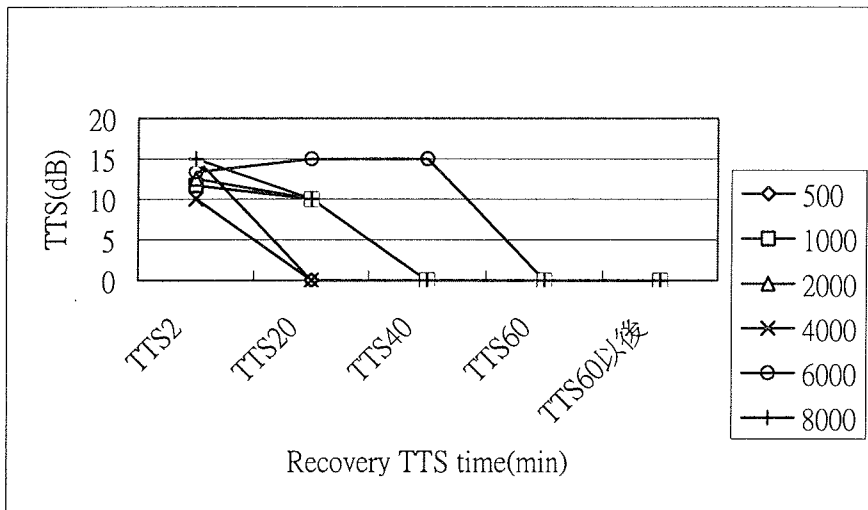
由圖五及圖六可得知，在高頻部分 6kHz 之恢復所需時間最長，在六十分鐘後，受試者才全部回復到基準值。

表二 暴露交通噪音 95dB，30 分鐘，左耳暫時性聽力損失恢復累計人數

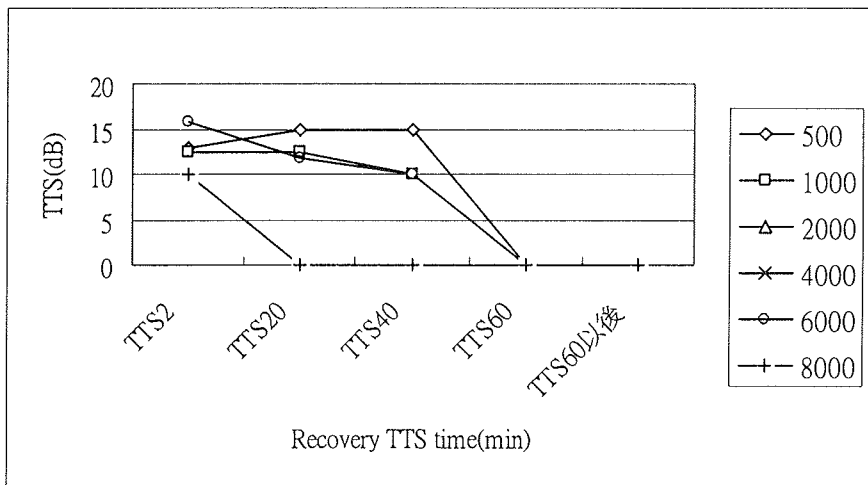
組別	Freq.	TTS ₂	TTS ₂₀	TTS ₄₀	TTS ₆₀	TTS ₆₀ 以後
20 歲	0.5kHz	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)
	1k	12 (80)	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)	15 (100)
	2k	11 (73.3)	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)	15 (100)
	4k	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)
	6k	12 (80)	14 (93.3)	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)
	8k	13 (86.7)	14 (93.3)	15 (100)	15 (100)	15 (100)
40 歲	0.5kHz	7 (50)	12 (85.7)	12 (85.7)	14 (100)	14 (100)
	1k	8 (57.1)	10 (71.4)	13 (92.9)	14 (100)	14 (100)
	2k	11 (78.6)	14 (100)	14 (100)	14 (100)	14 (100)
	4k	12 (85.7)	14 (100)	14 (100)	14 (100)	14 (100)
	6k	8 (57.1)	11 (78.6)	13 (92.9)	14 (100)	14 (100)
	8k	11 (78.6)	14 (100)	14 (100)	14 (100)	14 (100)

表三 暴露 95dB 交通噪音，30 分鐘左耳暫時性聽力損失之平均值
(研究人數分別為 15 人和 14 人)

組別	Freq.	TTS ₂	TTS ₂₀	TTS ₄₀	TTS ₆₀	TTS ₆₀ 以後
20 歲	0.5k	15	0	0	0	0
	1k	11.7	10	0	0	0
	2k	12.5	10	0	0	0
	4k	10	0	0	0	0
	6k	13.3	15	15	0	0
	8k	15	10	0	0	0
40 歲	0.5k	12.9	15	15	0	0
	1k	12.5	12.5	10	0	0
	2k	10	0	0	0	0
	4k	10	0	0	0	0
	6k	15.8	11.7	10	0	0
	8k	10	0	0	0	0



圖五、20 歲組暴露 95dB，30 分鐘，左耳 TTS 之恢復時間



圖六、40 歲組暴露 95dB，30 分鐘，左耳 TTS 之恢復時間

四、噪音劑量與暫時性聽力損失之 ED_{50}

依據 Reed-Muench method 計算不同音壓位準噪音暴露後 TTS_2 之 ED_{50} 值， ED_{50} 應以對數求之，而噪音之音壓位準本來就以音壓之對數值為單位，因此本實驗之 ED_{50} 值是以下列各數值代入計算公式而求之：

$$ED_{50} = \text{噪音位準}_1 \text{ (dB SPL)} + \text{組距} \times \frac{50 - (DS_1/S_{G1} + DS_1)}{(DS_2/S_{G2} + DS_2) - (DS_1/S_{G1} + DS_1)}$$

S_{g1} ：暴露在某一噪音位準或更大位準後之陰性反應人數。

D_{s1} ：暴露在某一噪音位準或更小位準後之陽性反應人數。

噪音位準₁：為其 $D_{s1}/S_{g1}+D_{s1}$ (%) 值介於 50 (%) 前之暴露音量。

噪音位準₂：為其 $D_{s1}/S_{g1}+D_{s1}$ (%) 值介於 50 (%) 後之暴露音量。

陽性反應人數是指暫時性聽力損失達到 10dB 或 10dB 以上。

表四是用 Reed-Muench method 計算兩組暴露於交通噪音及純音每次增加 5dB 的噪音量，即 85、90、95dB SPL 左耳各頻率之 ED_{50} 。

由表可知，交通噪音所引起暫時性聽力損失之 ED_{50} ，在二十歲組中最低 1kHz 的 90.60dB (SPL)，其次是 8kHz 的 92.3dB，而欲使半數以上的人在 4k 或 6kHz 處產生 TTS_2 則需 96dB 的噪音暴露 30 分鐘。四十歲組中最低者則是 6kHz 的 91.91dB (SPL)，有半數受試者顯示出 TTS_2 ，整體說來兩組中，不論頻率皆須暴露高於 90dB 的交通噪音才會有半數以上的人產生 TTS_2 。

此外，純音暴露所引起暫時性聽力損失之 ED_{50} ，在二十歲組中最低的是 6kHz 的 88.43dB (SPL)；噪音特性不同，產生 TTS_2 之 ED_{50} 值也不相同，於本研究中，四十歲組亦是發生在 6kHz 且噪音位準僅至 82.86dB (SPL)，即有半數受試者產生 TTS_2 。整體說來，暴露於純音下，研究對象之 ED_{50} 值皆較曝露於交通噪音為低，顯示純音造成研究對象較大的感受性，只要在 82.86dB (SPL) 左右即會有半數的人在 6kHz 產生 TTS_2 ，所以並不是高噪音才會產生影響。也顯示出，四十歲此年齡層的受試者對於噪音的影響感受較強，在較低分貝即有較多的人產生 TTS_2 。

Sullivan, & Conolly (1988) 的研究中，以老鼠曝露 85, 95, 100, 110dB SPL，並建立了劑量與反應的聽力損失 (Dose-response hearing loss)，發現噪音暴露會導致毛細胞損傷的 ED_{50} 量是 117dB SPL，而本研究的 ED_{50} 最大量於二十歲是右耳 4kHz 的 98.8 dB 及四十歲中是左耳 4kHz 的 98.1dB SPL，這可能因為研究對象的不同及反應指標不同 (本研究採用 TTS_2 ，而 Sullivan 等人採用的是毛細胞)。

以上之 ED_{50} 之計算是以一個人曝露在 85, 90, 95dB SPL 時其有聽力閾值變化的噪音位準計算，故與 3.1 中的計算方式不同，其聽力閾值變化人數也不同。

表四、暴露交通噪音與純音30分鐘後TTS₂之ED₅₀

年齡	Freq.	交通噪音暴露後之 ED ₅₀ (dB SPL)	純音暴露後之 ED ₅₀ (dB SPL)
20 歲組	0.5kHz	93.0	96.9
	1k	90.6	97.2
	2k	93.5	95.8
	4k	97.0	93.5
	6k	96.3	88.4
	8k	92.3	89.1
40 歲組	0.5kHz	95.3	95.8
	1k	93.1	91.7
	2k	96.5	95.1
	4k	98.1	93.6
	6k	91.9	82.9
	8k	97.8	88.3

四、結論與建議

一、結論

暴露交通噪音30分鐘後，20歲組有TTS₂反應者，以500~2kHz及8kHz等頻率較明顯，而在4k及6kHz有TTS₂改變者比率較少，且TTS₂人數與暴露音量高低似無明顯關係。在40歲組中，則以500、1k、6k及8kHz等頻率帶之TTS₂反應明顯，且在1k及6kHz之聽閾值變化人數隨暴露音量提高有增加趨勢。整體說來，無論年齡於交通噪音暴露後，僅在6kHz之TTS₂有隨著音壓位準強度的增加，閾值改變的人數也有增加的趨勢，而在純音暴露後，6k、8kHz都有較明顯隨音量增加而TTS₂人數增加情形。

無論年齡，於暴露純音時，各頻率的聽力損失值大致都有隨著噪音暴露位準增加而增加的現象，與交通噪音相較，有更典型的劑量反應。尤其在6k、8kHz等高頻部分，4kHz純音暴露誘發之TTS₂值，似乎更明顯可見到年齡產生的效應。研究結果在交通噪音暴露後TTS反應除了在6k、8kHz等高頻帶有較大聽力損失外，在500、1kHz中低頻率帶的TTS反應也很明顯，且都較4kHz的損失值高，是否由於噪音的頻譜特性不同或組內個別差異所致，仍待進一步探討。

在 TTS 的恢復時間方面，兩組在 6kHz 的 TTS 恢復較慢，在暴露後 40 分鐘兩組之聽力損失仍有 15 和 10dB 未恢復，直至 60 分鐘後才全部恢復。

依據 Reed-Muench method 計算 ED_{50} 值，做為暴露音量預測聽力損失系統所需之理論發展與實驗數據。本研究計算交通噪音所誘發暫時性聽力損失之 ED_{50} ，在二十歲組最低是 1kHz 的 90.60dB (SPL)；四十歲組最低是 6kHz 的 91.91dB (SPL) 有半數受試者產生 TTS₂。此外，純音暴露所引發暫時性聽力損失之 ED_{50} ，在二十歲組最低 6kHz 的 88.43dB (SPL)；四十歲組也是在 6kHz 且噪音位準僅至 82.86dB (SPL)，即有半數受試者產生 TTS₂。整體而言，四十歲組的受試者對於噪音影響的感受性較二十歲組強，暴露於純音下，研究對象之 ED_{50} 值皆較暴露於交通噪音為低，顯示純音造成研究對象較大的感受性。所以短期非高噪音的暴露也是不可忽視的影響。

二、建議

本研究發現暴露在短時間、高強度的噪音即對聽力造成暫時性的聽力損失，更何況是那些長時間暴露於高強度的噪音環境下工作者，噪音對其聽力的影響更是不可忽視。針對研究結果提出以下幾點建議：

1. 學生在入學前，應先做聽力檢查了解其聽力狀況，做為基線資料，提供老師授課時參考。在高危險群學生應定期聽力檢查，並加強宣導聽力保護計劃。
2. 83 分貝的短時間暴露噪音就可能使半數的人產生 TTS，故對高噪音作業勞工應宣導佩戴聽力防護具，保護聽力避免噪音的傷害，並定期聽力檢查及追蹤，而高頻區域（6k、8kHz）可做為語音頻聽力損失的早期指標，所以建議在聽力檢查時，也應檢查高頻區域。
3. 對於暴露噪音後，恢復較慢、損失較大者，顯示其對噪音感受性較為敏感，可能是為高危險群，應針對此一高危險群宣導盡量減少暴露於高噪音環境下活動，若是不能避免的話，應配戴防護具及定期檢查。
4. 在後續研究分面，由於本研究採用了不同噪音特性知音源，及不同強度之暴露，再加上不同年齡層之受試者，故可能由於樣本不夠多數，所導致個別差異，致實驗結果產生若干不一致性。建議後續研究可進行大樣本的實驗，以探討組內個人重複測量的相關性（信度）問題，或分析個人暴露前聽力與 TTS 之關係。

致 謝

本研究得以完成，首先感謝實驗施測及聽力檢查的44位研究對象、健康中心主任陳政友的行政支持、林若文護理師的協助以及國立台灣師範大學健康中心之鼎力協助，本研究承蒙行政院國家科學委員會補助經費，計畫編號為NSC90-2320-B-003-004，在此至上謝忱。

參考文獻

- 王建楠、吳宗穎（2001）：環境噪音污染-聽力的隱形殺手。中華職業醫學雜誌，8（1），11-20。
- 黃久玲（1999）：音樂系學生聽力損失的調查研究。嘉義師院學報，13，291-310。
- 黃乾全、吳聰能、董貞吟（1993）：噪音劑量與暫時性聽力損失之關係探討。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所八十二年度研究計畫。
- 張淑如（1998）：聽力損失閾值之研究。勞工行政，119，72-74。
- 陳興（1997）：人耳聽覺特性與聽力損失。量測資訊，56。
- 劉秀丹、陳小娟（2000）：噪音型聽力損失勞工之聽力分析。特殊教育研究學刊，19，175-194。
- Bahadori, R. S., & Bohne, B. A. (1993). Adverse effects of noise on hearing. *Am Fam Physician*, 47 (5), 1219-1229.
- Barrenus, M. L., & Lindgren, F. (1991). The influence of eye colour on susceptibility to TTS in humans. *Br J Audiol*, 25 (5), 303-307.
- Barbara, A. B., Gary, & W. H. (2002). Noise-induced hearing loss. <http://oto.wustl.edu/bbears/noise.htm>.
- Bethesda (1990). Noise and hearing loss. NIH consensus development conference consensus statement, 8 (1), 22-24.
- Chen, G. D., McWilliams, M. L., & Fechter, L. D. (1997). Intermittent noise-induced hearing loss and the influence of carbon monoxide. *Hear Res*, 138 (1-2), 181-191.
- Chaturved, R. C., Rai, R. M., & Sharma, R. K. (1991). Influence of noise spectra on auditory frequencies & degree of temporary threshold shift. *Indian J Med Res*, 94 : 107-114.
- Clark, W. W. (1991). Recent studies of temporary threshold shift (TTS) and permanent threshold shift (PTS) in animals. *J Acoust Soc of Am*, 90, 155-163.
- Dobie, R. A. (1995). Prevention of noise-induced hearing loss. *Arch. Otolaryngol. Head neck surg*, 121, 385-391.
- Dunn, D. E., Davis, R. P., Merry, C. J., & Franks, J. R. (1991). Hearing loss in the chinchilla from impact and continuous noise exposure. *J Acoust Soc Am*, 90 (4) : 1979-1985.
- Hamernik, R. P., & Qiu, W. (2000). Correlations among evoked potential thresholds, distortion product otoacoustic emissions and hair cell loss following various noise exposures in the chinchilla. *Hear Res*, 150 (1-2), 245-257.

- Henderson, D, Spngr, V., Subramaniam, M, & Campo, P.(1994). Anatomical effects of impact noise. *Hear Res*, 76 (1-2) , 110-117.
- Laroche, C. Hetu, R. & Poirier, S. (1989) . The Growth of and recovery from TTS in human subjects exposed to impact noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (4) , 1681-1690.
- Lei, S. F., Ahroon, W. A., & Hamernik, R. P.(1994). The application of frequency amd time domain kurtosis to the assessment of hazardous noise exposures. *J Acoust Soc Am*, 96 (3) , 1435-1444.
- Lindgren, F. (1990) . Human noise experiments using a temporary threshold. *Department of Audiology*, 313-320.
- Melnick, W. (1991) . Human temporary threshold shift (TTS) and damage risk. *J Acoust Soc Am*. 90, 147-154.
- Mustain, W. D., & Shoeny, Z. G. (1980) . Psychoacoustic correlate of susceptibility to auditory fatigue. *Ear Hear*, 10, 91.
- Mostafapour, S. P., Lahargoue, K., & Gates, G. A. (1998) . Noise-induced hearing loss in young adults:the role of personal listening devices and other sources of leisure noise. *Laryngoscope*, 108 (12) , 1832-1839.
- Pirila, T. (1991) .Left-right asymmetry in the human response to experimental noise exposure.II.Rre-exposure hearing threshould and temporary threshold shift at 4 kHz frequency. *Acta Otolaryngol*, 111 (5) , 861-866.
- Sullivan, M. J., & Conolly, R. B. (1988) . Dose-response hearing loss for white noise in the Sprague rat. *Funda & Applied Toxi*, 10 (1) , 109-113.
- Toppila, E., Pyykko, I., & Starck, J. (2001) . Age and noise-induced hearing loss. *Scandinavian Audiology*, 30 (4) , 236-244.
- Wu, Y. X., Liu X. L., Wang B. G., & Wang, X. Y. (1989) . Aircraft noise-induced temporary threshold shift. *Aviat Space Environ Med*, 60, 268-270.
- Yanz J. L., & Abbas, P. J. (1982) . Age effects in susceptibility to noise-induced hearing loss. *J Acoust Soc Am*, 72 (5) , 1450-1455.
- Zhu S., Sakaki bara, B. H., & Yamada, S. (1997) . Combined effects of hand-arm vibration and noise on temporary threshold shifts of hearing in healthy subjects. *Int Arch Occup Environ Health*, 69 (6) , 433-436.

投稿 92. 2. 26.

修正 92.11. 5.

接受 92.12.17.

The Experimental Study on the Relationship between Noise Character, Age and Noise-Induced Temporary Threshold Shift (NITTS)

Chen-Yin Tung, Chyan-Chyuan Huang, Xing-Yi Zeng

ABSTRACT

The main purpose of the study was to understand the relationship between noise character, age and noise-induced temporary threshold shift (NITTS). For this purpose, 15 healthy people who are 20 years old and 14 healthy people who are 40 (± 5) years old, were selected as the sample in the study. The subjects exposed to 30 mins traffic noise and 4kHz pure tone with 3 intensity levels of 85, 90, 95 dB SPL. Audiograms were taken before and after 2 min exposure to noise (TTS_2).

Recovery from noise-induced temporary threshold shift was also measured at various time (2, 20, 40, and 60 min, respectively) after a 30 min exposure to a traffic noise at 95 dB. The Reed-Muench method was used to calculate ED_{50} of noise exposure.

The results were that exposed to the pure tone could predict TTS more than exposed to the traffic noise, and had more typical dose-response effect. The TTS_2 recovery time at the 6 KHz is the slowest, and the 40 years old group exposed to the pure tone responded the lowest ED_{50} , at the 6 KHz only 82.8 dB.

Key words : age, noise, temporary threshold shift