

# 談教室響音問題對聽力損失孩童的影響 與解決之道

李明洋

## 摘要

本文旨在說明教室響音問題對聽力損失孩童聽取聲音訊息的影響，並提出教室響音問題的若干改進方法，供政府當局、學校行政單位、聽語專業人員及教育工作者做為參考。

中文關鍵字：教室響音、聽力損失孩童

英文關鍵字：Classroom acoustics, Children with hearing impairment

## 壹、前言

近年來，隨著融合教育理念的倡導以及早期療育的實施，許多國小階段的聽力損失孩童（以下簡稱聽損孩童）已不再就讀於啟聰學校或是普通學校的自足式啟聰班。根據教育部特殊教育通報網（民 93）的資料顯示，截至 93 年 10 月以前，全國就讀小學的聽損孩童總人數為 1547 人，其中安置於普通學校及特殊學校啟聰班的有 395 人，僅佔全體聽損孩童的 25.53%。由此可知，有將近七成五的國小聽損孩童安置於不分類特殊班、資源班接受特殊教育的服務，或在普通班進行全時段的學習。

然而，由於聽力上的損失，聽損孩童在聽覺環境上的要求勢必要比聽常孩童來得高。不幸的是，許多研究（林怡君，民

82；林聰德，民 74；黃乾全、董貞吟、趙克平、殷蘊文，民 88；Crandell & Smaldino, 1995，引自 Crandell & Smaldino, 2000, p363; Berg, 1987，引自 Pakulski & Kaderavek, 2002, p98）顯示，多數學校普通班教室的聽覺環境並不理想，例如噪音過大、混響時間過長…等，而使得聽損孩童在上課時，必須花費更多的心力接收聲音訊號。

## 貳、噪音的問題

噪音（Noise）是影響訊號接收的主要障礙之一。舉凡來自校內或校外足以影響課堂活動的聲音都可稱為教室噪音。教室噪音對訊號聽取最直接的影響就是使訊噪比（Signal-to-Noise Ratio，簡稱 SNR）變得很差。所謂的訊噪比係指聲音訊號（比如教師的說話聲）與背景噪音（比如孩童

私底下的竊竊私語聲)之間的關係,訊噪比的數值愈大,表示聽取條件愈佳,反之則愈差。比如聲音訊號為 65 dB,背景噪音為 50 dB,則訊噪比為 +15 dB;若背景噪音提升至 70 dB,則訊噪比降為 -5 dB。由於聽覺系統的限制,聽損孩童所需要的訊噪比會較聽常孩童還要高,一般係以 +15 dB 為聽損孩童的最小訊噪比(ASHA, 1995; Boothroyd, 2004, Crandell & Smaldino, 1995, 2001, 2002; Kennedy, 2002; Ross, 1992)。一旦教室裡的訊噪比少於此數值,則聽損孩童將無法有效接收教師的說話內容。

除了降低訊噪比,噪音尚會使聲音訊號的清晰度變差。當我們說話時,語音中

包含了聲母(如ㄅ、ㄆ、ㄇ...等)及韻母(如ㄚ、ㄨ、一...等),其中,聲母是決定聲音訊號清晰與否的關鍵。由於聲母的聲音能量主要座落於較高頻率的位置,因此,一旦教室噪音過大,噪音中低頻率的聲音能量將會把聲母的語音遮蓋,致使清晰度受到影響。比如教師在噪音很大的教室裡對學生說:「補課。」學生很可能會誤聽成:「五二」。有關噪音與語音接收的研究,國外學者 Finitzo-Hieber 和 Tillman (1978)曾以聽力正常及雙耳輕度到中度聽力損失的孩童為對象,比較兩者在噪音環境中的語音辨識正確率,結果如表一所示:

**表一 聽常孩童與聽損孩童的語音辨識正確率與訊噪比之關係\***

訊 噪 比	噪 音 環 境 中 的 語 音 辨 識 正 確 率 (%)	
	聽 力 正 常 組	聽 力 損 失 組 (有 助 聽)
+12	82.8	60.2
+6	71.3	52.2
0	47.7	27.8

\*混響時間為 0.4 秒 (資料來源: Finitzo-Hieber & Tillman, 1978)

由表一可知,兩群受試者的語音辨識正確率均隨著訊噪比的減少而降低,其中,又以聽損孩童所受的影響最大。當訊噪比為 +12 dB 時,聽損孩童即便配戴助聽器,其語音辨識正確率仍只有六成左右,且低於聽常孩童在 +6 dB 時的表現。當訊噪比降至 0 dB 時,聽常孩童的語音辨識正確率降至五成左右,然而,聽損孩童卻已降至不及三成。此外, Crandell (1993)亦曾以聽常及聽閾介於 15 dB HL 至 30 dB

HL 的輕微聽損孩童 (Minimal Sensorineural Hearing Loss, 簡稱 MSHL) 為對象,測量兩者在噪音環境中的語音辨識能力,結果也有類似的現象。在訊噪比為 +6 dB 時,聽常孩童的語句辨識正確率為 96.2%,聽損孩童為 83.5%;當訊噪比減為 -6 dB 時,前者的語句辨識正確率降為 70.7%,後者則僅剩下 38.1%。由上述的研究結果可知,聽損孩童的語音聽取能力會隨著背景噪音的提升,而愈加落後聽常孩童。噪

音影響聽損孩童語音聽取的嚴重性，由此可見一斑。

為改善教室噪音干擾聲音訊號的問題，以保障聽損孩童的權益，美國聽力語言學會（American Speech-Language-Hearing Association，簡稱 ASHA）曾在 1995 年時建議，學校空教室裡的噪音不宜超過 30 dB(A)（ASHA, 1995）。然而，根據歷年針對學校教室噪音所進行的測量結果（請見表二）可知，多數學校教室的噪音量均顯著高於此標準甚多（林怡君，民 82；林聰德，民 74；黃乾全等人，民 88；Crandell &

Smaldino, 1995 引自 Crandell & Smaldino, 2000; Berg, 1987, 引自 Pakulski & Kaderavek, 2002, p98)。由表 2 所呈現的數據可知，美國普通教室的噪音乃介於 51 至 60 dB(A)之間，比標準值高出 15 至 25 dB(A)，至於國內的情況則更為嚴重，約介於 55 至 73 dB(A)之間，足足高出標準值 20 至 38 dB(A)，由此我們不難推測，當聽損孩童在訊噪比如此不良的環境下聽講時，其聽覺管道勢必大受阻礙，進而使其學習成效大打折扣。

表二 國內外學校教室噪音的測量結果

研 究 者	時 間	室 內 噪 音
林聰德	民 74	55-70 dB(A)
林怡君	民 82	63 dB(A)
黃乾全等人	民 88	72.8 dB(A)
Berg	1987	60 dB(A)
Crandell & Smaldino	1995	51 dB(A)

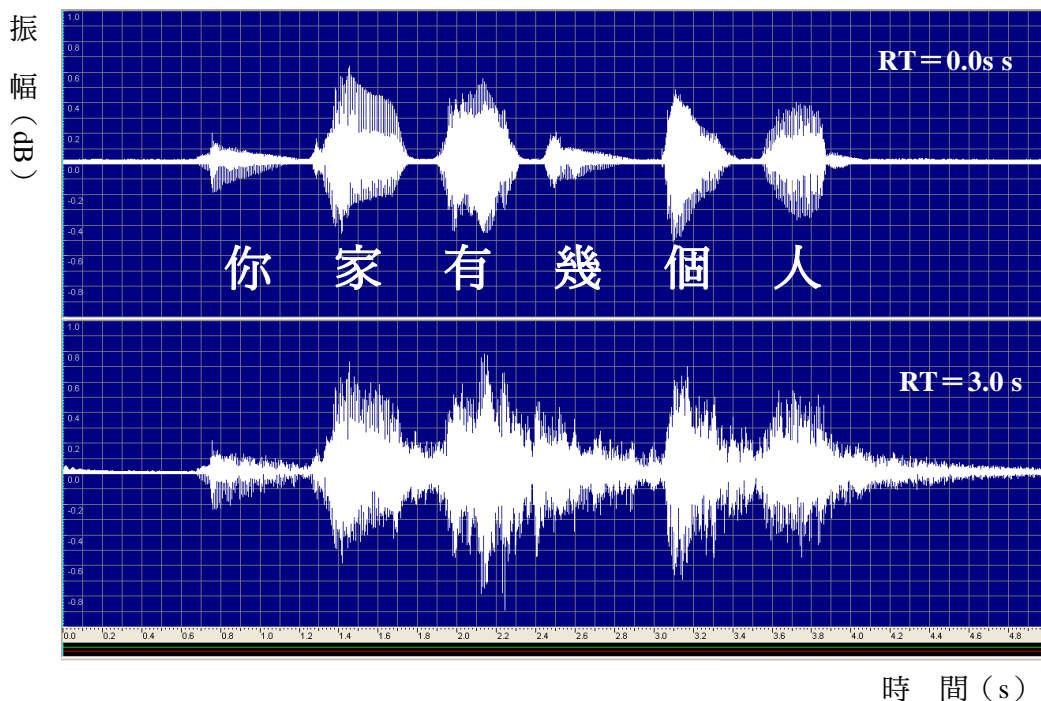
（資料來源：林怡君，民 82；林聰德，民 74；黃乾全等，民 88；Crandell & Smaldino, 2000; Pakulski & Kaderavek, 2002）

## 參、混響的問題

除了噪音外，混響（Reverberation）亦是干擾聽損孩童聽取訊號的主要因素。當我們在空教室裡發出一個聲音，有時候我們會覺得這個聲音好像會重複，就像回音一樣，這種現象就是混響。混響主要是因為聲音訊號碰撞到物體的表面，然後產生折射（reflection），使得該聲音訊號在空間中持續一段時間後才逐漸消失。通常，探討空間中混響問題的嚴重與否，係以混響時間（Reverberation Time, 簡稱 RT）的

長短來衡量。所謂的混響時間係指聲音訊號出現後，一直到降低 60 dB 所需的時間。比如教師發出一個 65 dB 的聲音訊號，經過 0.6 秒後，該聲音訊號降至 5 dB，則其混響時間為 0.6 秒。

正因為聲音訊號在空間中會持續一段時間才逐漸消失，因此，較早出現的訊號將會與較晚出現的訊號重疊，致使整體訊號變得模糊不清。由此可見，混響時間愈長，愈不利於語音的接收。於此，筆者以 GoldWave 聲音編輯軟體將「你家有幾個人」這句話加以處理，結果如圖一所示：



圖一 混響時間愈長，愈不利語音的接收

由圖一的上方面圖示可知，在混響時間為 0 秒時，該句話裡的每個字均清楚的呈現出來。然而，在下方圖示中，由於混響時間增加為 3.0 秒，因此句子的中間及後面幾個字，均與之前的字重疊，導致整句

話的清晰度變差。

根據 Finitzo-Hieber 和 Tillman (1978) 針對聽常及聽損孩童所做的研究顯示，混響時間愈長，語音辨識的正確率將愈低(請見表三)。

表三 聽常孩童與聽損孩童的語音辨識表現與混響之關係\*

混 響 時 間	語 音 辨 識 正 確 率 (%)	
	聽 力 正 常 組	聽 力 損 失 組 (有 助 聽)
0.0	89.2	70.0
0.4	82.8	60.2
1.2	68.8	41.2

\*訊噪比為 +12 dB (資料來源：Finitzo-Hieber & Tillman, 1978)

由表三可知，即便在沒有混響的教室內，聽損孩童的語音辨識仍不理想，僅與聽常孩童在混響時間為 1.2 秒的表現相

近。當混響時間增加至 1.2 秒時，聽常孩童仍有近七成的辨識率，然而，聽損孩童卻只剩下四成左右的辨識率。由此可知，

即使在訊噪比相當理想的環境裡，一旦加上混響的影響，將使得聽損孩童的語音辨識變得相當不理想。不幸的是，由於學校教室的牆壁、天花板及地板大多是由光滑的水泥牆所組成，使得聲音折射的情形非常嚴重，這樣的結果，對於聽損孩童而言，無疑是雪上加霜。

## 肆、距離的問題

除了噪音及混響，與教師的距離也是決定聽損孩童聽得清楚與否的關鍵。一般而言，音量與距離係遵循著平方反比定律（inverse square law）的關係，亦即當聽話

者與說話者的距離加倍時，所聽到的音量會減低 6 dB。比如坐在距離教師 1 公尺的孩童如果聽到的音量是 60 dB，則坐在距離教師 2 公尺的孩童所聽到的音量會降至 54 dB，而坐在距離教師 4 公尺的孩童則只能聽到 48 dB 的音量。

有關距離和語音聽取的關係，Crandell 和 Bess（1986, 引自 Crandell & Smaldino, 2002, p611）曾以聽力正常的孩童為對象，測量其在普通教室裡的語音辨識表現和距離之間的關係，結果如表四所示：

表四 聽常孩童語音辨識表現與距離的關係\*

距 離 ( 英 尺 )	語 音 辨 識 正 確 率 ( % )
6	89
12	55
24	36

\*混響時間為 0.45 秒，訊噪比為 +6 dB（資料來源：Crandell & Smaldino, 2002）

從表四可知，當距離音源 6 英尺時，受試者的語音辨識正確率將近九成，然而，當距離增加到 24 英尺時，語音辨識正確率則不及四成。亦即當孩童距離教師愈遠（最在後面的位置或教師遠離），其所能接收到的聲音訊號將愈微弱。此外，Leavitt 和 Flexer（1991, 引自 Crandell & Smaldino, 1995, p229）亦以聽常孩童為對象，進行距離及訊號接收的研究。結果發現，即便坐在教室第一排中央位置的孩童，也只能接收到 83% 的訊號能量，至於坐在最後一排中央位置的孩童，所能接收到的聲音能量則降至 55% 左右。由此可知，即便坐在最

前排的聽常孩童，也無法接收到全部的語音能量，由此不難推想聽損孩童的處境，勢必更加不堪。

不幸的是，噪音、混響及距離的問題往往是並存於教室的聽覺環境中，而使得聽損孩童實際面臨的情況更行嚴重。比如：距離教師 1 公尺的位置若能接收到 60 dB 的聲音訊號，則坐在距離教師 2 公尺的聽損孩童，在平方反比定律的原則下，理應可以聽到 54 dB 的聲音訊號，但是因為背景噪音以及混響等因素的影響下，使其所能聽到的音量更為減少，且更為模糊。亦即聲音訊號的接收在各種有害因素的交

互作用下，其效果將比受到單一因素的影響更差（Finitzo-Hieber & Tillman, 1978; Ross, 1992）。

## 伍、教室響音問題的解決方法

由上述的說明可知，普通教室裡的響音環境不僅對聽常孩童的學習具有不良的影響，對於聽損孩童而言，影響更是嚴重。因此，如何改善教室的響音條件，以解決聽損孩童聽取訊號時所面臨的問題，乃是刻不容緩的工作。於此，筆者提出若干改善教室響音問題的方法，供教育當局、學校行政單位、聽語專業人員，以及教育工作者做為參考：

### 一、法令的訂定

即便國內普通學校的教室響音條件相當不理想，然而截至目前為止，我國政府並沒有針對該等問題制訂相關的法規予以規範。反觀美國，ASHA 與美國國家標準局（American National Standards Institute, 簡稱 ANSI）均訂有理想的教室響音條件，並建議學校當局予以採納。根據 ASHA（1995）的建議，教室內的背景噪音音量不宜超過 30 dB(A)，訊號噪音比至少保持在 +15 dB 或以上，混響時間則不宜超過 0.4 秒。至於 ANSI 則亦將訊噪比定在 +15 dB 或以上，背景噪音的音量則在 35 dB(A) 以下，至於混響時間則介於 0.6 至 0.7 秒之間（Boothroyd, 2004, Crandell & Smaldino, 2001, Kennedy, 2002）。唯有在如此的條件之下，方能使普通班裡的聽損孩童得到適宜的訊號接收管道。因此，我們不妨以美國為範本，訂定出標準並予以規範，使聽損孩童得以在較理想的響音環境中學習。

### 二、教室的位置

一般而言，學校的位置最好不要緊鄰鐵路、高流量的道路，或在飛機航道之下（Siebein, Gold, Siebein, & Ermann, 2000），教室的位置（尤其是班上有聽損孩童的班級）則不宜靠近諸如禮堂、體育館、操場等高活動量的建築物（Crandell, et al., 2000），以及電腦教室、音樂教室、廚房等較常有人潮進出的場所（Siebein, et al., 2000），以免干擾室內的課業活動。此外，教室與教室之間可安插較安靜的場所（比如倉庫），或是在教室與高噪音的場所之間種植樹木或疊設矮牆等（Crandell, et al., 2000）。

### 三、教室的規格

教室的佔地愈大，混響時間會愈長，不過，長方形的教室，其混響情形卻比正方形來得嚴重（Crandell & Smaldino, 1995）。其次，室內的高度愈高，混響的情況也會愈嚴重。通常，學者係以 9 至 12 或 13 英尺為教室內理想高度的標準（Crandell, et al., 2000; Siebein, et al., 2000）。現今，許多學校為採協同教學，因此教室係採用拉簾式的設計，亦即在數間教室之間以一片拉簾隔間，當協同教學時，即將拉簾拉開。然而，由於混響時間會隨著空間愈大而增長，所以此等設計將使混響時間加長。尤有甚者，因為協同上課時，孩童的人數相當多，且會拉長師生間的距離，如此一來，不僅噪音量相對提昇，且在距離及混響等因素的交相作用下，聽損孩童的語音聽取條件勢必益形惡化。

#### 四、教室的牆體

教室的牆體最好能夠採用聲音不易穿透的材質，例如採用實心磚牆、石牆，或者增加牆體厚度，均可大幅減低室外噪音進到教室內的音量。至於門或玻璃等穿透性頗高的建物，則不宜面臨高噪音的聲源位置。此外，室內若有吸音磚（acoustical tile）的設計，則可降低混響的干擾。至於具有特殊用途的教室或場所（如音樂教室、體育館等），設計時則應格外考量教室響音的問題（Siebein, et al., 2000）。

#### 五、教室的布置

教師往往可以透過教室布置適度的改善教室的響音條件，比如可在窗戶上加掛窗簾，或在布告欄及牆上張貼軟質的物品，亦可在地上鋪設地毯或軟墊等，以降低噪音及混響的危害（Berg, Blair, & Benson, 1996; Crandell, et al., 2000; Ross, 1992; Siebein, et al., 2000）。其次，教師可在桌椅的腳上包裹軟質物品，以減少桌椅搬動時的噪音量。此外，在室內穿著脫鞋亦是減少噪音的方法之一。值得注意的是，有些教室（尤其是幼稚園教室）的地面常會鋪設木板，並裝設空調系統，然而木板的吸音效果差，也容易造成過多的混響，而且空調系統的噪音量亦相當大（Ross, 1992），如此一來，反而會使室內響音狀況惡化。

#### 六、座位的安排

在座位的安排上，最好能讓聽損孩童遠離會發出噪音的電器用品（如影印機、電腦、電扇、冷氣等），或是坐在窗邊等易受室外噪音干擾的位置。其次，教師除了可讓聽損孩童坐在較前排的位置外，亦可

在桌椅的擺設上做調整（比如分組教學），或是利用某些時段（如說故事時間），讓全班孩童集中到某個地方聽課等（Siebein, et al., 2000），以縮短師生間的距離。

#### 七、調頻系統的使用

除了教室環境的改善，聽損孩童亦可藉由個人式調頻系統（Personal FM System，簡稱 FM）的輔助，有效改善訊號的接收。調頻系統係包括一組發射器（transmitter）與接收器（receiver），使用時，教師只要將聲音訊號傳入靠近嘴巴的發射器，接著經由電磁波傳入與孩子助聽器相連的接收器，然後再藉由助聽器將訊號放大，最後進入孩童的耳朵裡，使其聽到的聲音訊號不易受到背景噪音、混響，以及距離的干擾，就如同教師在耳邊講話一般。許多研究（Anderson & Goldstein, 2004; Blair, 1977; Hawkins, 1984; Laat & Bonnet, 2004; Lewis, Crandell, Valente, & Horn, 2004）均指出，在噪音環境中，調頻系統連接助聽器後可大幅提升訊噪比，使得孩童的語音接收情形獲得改善。有些研究更進一步指出，助聽器連接調頻系統的語音聽取效果，明顯優於只以助聽器聽取者（Anderson & Goldstein, 2004; Hawkins, 1984; Lewis, et al., 2004）。由此可見，調頻系統在改善聽損孩童聽覺管道的諸多項目中，乃具有舉足輕重的角色。

#### 陸、結語

普通教室是個以聲音為主要學習媒介的場所，是故，聽損孩童必須比聽常孩童花費更多的心力學習。然而，若聽覺環境無法維持在較佳的狀態，則將加重聽損孩

童的負擔，使其面臨更多的困難與挫折。Boothroyd (2004, p165) 即表示：「當孩童在不利聽覺的環境中上課時，就好像在昏暗的房間裡，閱讀影印不良的教科書一樣吃力。」因此，政府相關部門理應正視教室響音的問題，訂定出確切的標準，以為學校單位新建校舍及改建舊教室時的參考依據。其次，聽語專業人員及教育工作者亦應相互配合，共同為孩童的教室響音環境把關，唯有如此，方能使聽損孩童在普通班的學習獲得保障，也才不至於讓融合教育的理念落空。

( 本文作者李明洋現為桃園縣成功國民小學啟聰班教師 )

## 參考文獻

- 林怡君 ( 民 82 ) 。普通教室室內噪音之評估－以台南地區公立小學為例。國立成功大學建築研究所碩士論文。未出版。
- 林聰德 ( 民 74 ) 。臺北市中小學校噪音問題之研究。私立淡江大學建築研究所碩士論文。未出版。
- 教育部特殊教育通報網 ( 民 93 ) 。各類統計查詢。網址：  
<http://www.set.edu.tw/default.asp>。上網日期：民 93 年 11 月 12 日。
- 黃乾全、董貞吟、趙克平、殷蘊文 ( 民 88 ) 。教室環境對學生學習相關因素之影響研究－以噪音防制為例。國立臺灣師範大學衛生教育學系。
- American Speech-Language-Hearing Association (1995). Acoustics in education settings: position statement and guidelines. *Asha*, 37, 15-19.
- Anderson, K. (2004). The problem of classroom acoustics: the typical classroom soundscape is a barrier to learning. *Seminars in Hearing*, 25, 117-129.
- Anderson, K. & Goldstein, H. (2004). Speech perception benefits of FM and infrared devices to children with hearing aids in a typical classroom. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 35, 169-184.
- Berg, F. S., Blair, J. C., & Benson, P. V. (1996). Classroom acoustics: the problem, impact, and solution. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 27, 16-20.
- Blair, J. C. (1977). Effects of amplification, speechreading, and classroom environments on reception of speech. *The Volta Review*, 79, 443-449.
- Boothroyd, A. (2004). Room acoustics and speech perception. *Seminars in Hearing*, 25, 155-166.
- Crandell, C. C. (1993). Speech recognition in noise by children with minimal degrees of sensorineural hearing loss. *Ear and Hearing*, 14, 210-216.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. (2002). Room acoustics and auditory rehabilitation technology. In Kaze J. (Ed.), *Handbook of clinical audiology* (4<sup>th</sup> ed, pp.607-630). Baltimore: William & Wilkins.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. (1995). Classroom acoustics. In Roser, R. J. &



- Downs, M. P. (Eds.), *Audiology disorders in school children* (3<sup>rd</sup> ed, pp.219-234). New York: Thieme Medical Publishers.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. (2001). An update on classroom acoustics. The ASHA Leader Online. 網址：[http://www.asha.org/about/publications/leader-online/archives/2001/classroom\\_acoustics\\_update.htm](http://www.asha.org/about/publications/leader-online/archives/2001/classroom_acoustics_update.htm)。上網日期：2004.11.12.
- Crandell, C. C., Smaldino, J. J., & Anderson, K. (2000). Classroom acoustics. *Volta Voices*, July/August, 28-32.
- Crandell, C. C., & Smaldino, J. J. (2000). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31, 362-370.
- Finitzo-Hieber, T. & Tillman, T. W. (1978). Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 440-458.
- Hawkins, D. B. (1984). Comparison of speech recognition in noise by mildly-to-moderately hearing-impaired children using hearing aids and FM systems. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 49, 409-418.
- Kennedy, M. (2002). Acoustics. *American School & University*, 75, 12.
- Laat, J. A. P. M. & Bonnet, R. M. (2004). Improvement of speech recognition in noise using the Phonak wireless personal FM hearing system. *Focus*, 28, 1-11.
- Lewis, M. S., Crandell, C. C., Valente, M., & Horn, J. E. (2004). Speech perception in noise: directional microphones versus frequency modulation (FM) systems. *Journal of American Academy of Audiology*, 15, 426-439.
- Nelson, P. B. & Soli, S. (2000). Acoustical barriers to learning: children at risk in every classroom. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31, 356-361.
- Pakulski, L. A. & Kaderavek, J. N. (2002). Children with minimal hearing loss: interventions in the classroom. *Intervention in School and Clinic*, 38, 96-103.
- Rose, M. (1992). *FM auditory training systems characteristics, selection, and use*. Timonium, Maryland: York Press.
- Siebin, G. W., Gold, M. A., Siebin, G. W., & Ermann, M. G. (2000). Ten ways to provide a high-quality acoustical environment in schools. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31, 376-384.