

嬰幼兒的聽知覺發展

張憶萍 台中至德聽語中心主任・聽力師

一、前言

聽覺是人類與外在世界溝通的重要管道；甚至胎兒在還沒出生前，就已經在母親的子宮內接受聲音的刺激了(Northern & Downs, 1991)。剛出生的嬰兒雖然具有相當完備的聽覺系統，但某些結構與功能仍需要時間發展。另外，外在世界的聲音訊息既豐富且多樣，雖然嬰兒在出生不久即展現一些辨識聲音的能力(文獻整理參考 Houston, 2008)，但仍需要時間、經驗以及學習來分析、了解聲音所傳遞的各種訊息。聲音是一種能量，可用頻率、音強、時長等聲學特性描述，人類複雜的聽覺系統在接收到聲音之後，便開始進行分析解碼，並產生相對應的心理特性如音調、響度等。本文將根據一些響音心理學的研究結果，說明嬰幼兒聽知覺能力的發展。由於研究範圍非常廣泛，本文僅就頻率知覺、音強知覺、時間解析、以及音源辨認等四項聽知覺能力進行簡單的描述。

二、聽知覺的測量

測試嬰幼兒的聽覺能力是一項困難的任務，因為嬰幼兒無法清楚地以語言描述聽覺經驗，而注意力、認知以及動作上的限制也使得一般測驗成人或是大孩子的方式不適合用在他們身上。因此，響音心理學的研究者另發展出幾種測試嬰兒的方式，以獲得需要的資訊。這些方式可概分為 2 類，一類是習慣化方法(habituation-based procedure)，一類是制約方法(condition-based procedure)。習慣化方法大多用在新生兒或六個月以下的嬰兒身上，主要是觀察嬰兒的某些行為(如心跳速度、吸吮奶嘴速度)是否會在持續聽到相同的刺激音一段時間後，因為聽到另一種不一樣的刺激音而改變。例如，Eimas 等人於 1971 年的經典研究中，測試 1 到 4 個月的嬰兒對英文中三種塞音的區辨能力；他們發現，當嬰兒持續聽同一種語音時，他們吸吮奶嘴的速度會保持一定，但一旦他們聽到另一個塞音出現時，吸吮奶嘴的速度便加快(Eimas et al., 1971)。制約方法則是利用增強物(例如聲光玩具)來訓練幼兒聽到刺激音或是聽到刺激音改變時便做轉頭的動作。這個方法類似聽力師為 6 至 18 個月的嬰幼兒進行行為聽檢時所採用的視覺增強方法。

三、頻率知覺

在頻率特徵的知覺能力發展上，我們就頻率解析(frequency resolution)與頻率區辨(frequency discrimination)兩個主題做簡單的描述。頻率解析也被稱做頻率選擇(frequency selectivity)或頻率分析(frequency analysis)，意指分開或是解析複合音中純音成份的能力(Moore, 2003)。例如，如果我們同時彈奏鋼琴的中央 C(Do)與 G(Sol)鍵，我們聽到的是兩個聲音，而非一個音。頻率區辨指的是當兩個聲音只有頻率不同時，聽者能察覺這個差異的能力。

頻率解析

噪音遮蔽(masking)是普遍被用來測量頻率解析能力的方法。這種測量方法依據的是關鍵頻帶(critical band)或聽覺濾波(auditory filter)的概念。Fletcher (1940, 引自 Schneider, 1990)測量被不同頻寬的噪音遮蔽後的純音閾值變化情形；純音頻率與窄頻遮蔽音的中央頻率相同，而遮蔽音的頻譜強度固定(spectrum level, dB per cycle)，因此遮蔽音的頻帶愈寬，音強愈大。結果顯示，當遮蔽音頻寬增加，純音閾值提高，但超過一個頻寬範圍，亦即超過關鍵頻帶的範圍後，閾值即保持不變。後來的研究者便利用這個結果來探討嬰幼兒及兒童的頻率解析能力。Schneider et al. (1990)比較嬰幼兒(6.5 個月大、2 歲及 5 歲)以及成人(20.5 歲)的關鍵頻帶寬度；結果發現 7 個月大嬰兒的關鍵頻帶寬度已與成人相似。Spetner & Olsho (1990)測量 3 個月以及 6 個月大的嬰兒頻率解析能力，結果顯示嬰兒在 3 個月大時的高頻頻率解析能力尚未成熟，但半年之內，這項能力便已進展到成人水準。嬰兒的頻率解析能力在半年內即成熟，算是發展相當快速的知覺能力。

頻率區辨

最常測試頻率區辨能力的方式是要求受試者判斷他聽到的兩個聲音是否相同，或是哪一個聲音比較高(Moore, 2003)。頻率區辨能力可用頻率差異閾表示(frequency difference limen, FDL)，也就是可以區辨出二個刺激音的最小頻率差異。過去相關的研究所得到的結果顯示，兒童的頻率差異閾較成人差，但高頻的頻率差異閾較早發展到成人的水準。例如，Olsho et al. (1987)測量 3、6、12 個月大的嬰兒在不同音量情境下(40 dB SL 與 80 dB SL)對 500、1000、與 4000 Hz 的頻率區辨能力，並比較成人的頻率差異閾。研究結果發現，在 2 種音量情境下，成人在所有測試頻率所得到的相對頻率差異閾(relative FDL, $FDL/frequency$)皆在 1% 以下。3 個月大嬰兒在所有測試頻率的頻率差異閾皆高於成人，而且頻率愈高，差異性愈大(3-3.5% @ 500 Hz vs. 4-4.5% @ 4000 Hz, 40 dB SL)。6 個月大與 12 個月大的嬰兒在低頻的頻率差異閾與 3 個月大嬰兒相似，但高頻的頻率差異閾有顯著的改善，只是仍未與成人相當(2.5-3.5% @ 500 Hz vs. 1.5-2.5% @ 4000 Hz, 40 dB SL)。學齡前兒童的頻率區辨能力雖仍持續進步，但與成人還是有些微差距，要一直到 10 歲左右才與成人相同(Maxon & Hochberg, 1982)。

綜合上述頻率解析能力以及頻率區辨能力的發展，我們得到幾個結論：(1)頻率解析與頻率區辨能力在嬰兒剛出生時尚未成熟；(2)嬰兒在 6 個月大時頻率解析能力成熟，而區辨能力只有高頻部份成熟；(3)低頻的區辨能力要到學齡期才會達到成人的水準。這些能力的發展或是發展上的差異可能是哪些原因導致的呢？首先，我們來了解聽覺系統處理頻率的方式。一般相信，頻率的編碼有兩個機制——位置登錄方式(位置理論, place theory)以及時間登錄方式(時間理論 temporal theory)(Moore, 2003)；聲音經由外耳與中耳傳入內耳時，由於耳蝸基底膜的硬度

(stiffness)隨位置改變，致使不同頻率的聲波引發基底膜不同位置達到最大振幅，分佈在基底膜上的毛細胞就將這樣的基底膜動作轉譯成神經反應，與內毛細胞接觸的聽神經纖維就再將這些神經訊號上傳。這樣的頻率登錄方式便是位置理論。時間理論則相信聲音頻率與神經衝動的時間型態有關；傳入的聲音訊號頻率多少，聽神經纖維就產生多少次的神經衝動，這種現象稱做相位鎖定(phase-locking) (Pickles, 1988)。不過時間理論無法解釋 5000 Hz 以上的聲音訊息，因為神經細胞有恢復期，無法產生太快速的神經衝動。因此，低頻率的聲音訊號可能有兩個機制處理，高頻率訊號則要依靠位置登錄方式。Abdala (2001)測量早產兒、足月新生兒與成人 DPOAE 抑制微調曲線(DPOAE tuning curve)以探討耳蝸的頻率解析能力。結果發現，足月新生兒的耳蝸功能在出生時即已成熟，早產兒則否。因此，耳蝸的頻率訊息處理能力應該不是造成嬰兒頻率區辨與解析不成熟的原因。神經系統在嬰兒剛出生的功能以及隨著時間發展的現象應該才是主要因素(Saffran et al., 2006)。Abdala & Folsom (1995)利用 ABR 第 2 五波振幅大小的資料測得 3 個月大嬰兒、6 個月大嬰兒以及成人的 ABR 微調曲線；結果顯示，3 個月大嬰兒的高頻 ABR 微調曲線(8000 Hz)未達成成人水準，6 個月大的嬰兒則在低頻及高頻(1000, 4000, 8000 Hz)皆臻成熟。這項研究結果與上述提到利用行為反應測試 3 個月大嬰兒的頻率解析結果是一致的。至於嬰兒區辨低頻訊息的能力為何發展得比較慢？一個可能的解釋包括嬰幼兒神經系統之相位鎖定的能力不如成人致使無法有效利用時間登錄方式處理低頻訊息，另一個與聽覺系統生理較不相關的解釋則是一學習區辨低頻訊息需要花費較多的時間(Saffran et al., 2006)。

四、音強知覺

就音強知覺而言，最直觀的測量就是對音強的絕對敏銳度，也就是聽閾值的量測；臨床上的純音聽力檢查也是聽閾值量測的一種。另外，在超閾值的情況下，我們還能探討聽覺系統察覺音強變化的能力，以及不同的音強變化產生的響度感知議題。

聽閾發展

過去有許多的研究比較嬰幼兒與成人的聽閾值差別，以及探討嬰幼兒聽閾的變化。Weir (1976, 1979, 資料引自 Saffran et al., 2006)根據新生兒的呼吸與心跳速度的變化以及動作反應來記錄他們的純音聽閾，結果發現新生兒的聽閾較成人高，且高頻的差異較低頻來得大(70 vs. 30 dB)，表示新生兒對低頻的敏感度較佳。Olsho et al. (1988)以制約方式測得 3、6、12 個月大的嬰兒之聽力，並與成人聽力做比較。結果顯示 3 個月大的嬰兒之聽力仍較成人差，且高頻的差異仍大於低頻(250 Hz 的 15-20 dB vs. 8000 Hz 的 30 dB)。不過，到了 6 個月大的時候，嬰兒的高頻聽力開始進步，而低頻聽力仍與 3 個月大時相同；8000 Hz 的聽力與成人相比已少於 10 dB 了。12 個月大的嬰兒之低頻聽力仍與成人有些差距(約 15 分貝)，有些研究顯示，差距甚至要到學齡期才會消失。

針對嬰幼兒聽閾所做的研究所得到的綜合結論是：新生兒的聽力在各個頻率都較成人差，但低

頻的聽力較高頻好。不過，從 1 個月大開始，高頻聽力的進步幅度較低頻快，因此兒童的高頻聽力較快達到成人水準。

音強解析

在探討音強區辨能力的研究裡，受試者被要求判斷分別呈現的兩個同頻率刺激音當中，哪一個比較大聲。Sinnott & Aslin (1985) 以 7-9 個月大的嬰兒與成人為對象，測量這兩組受試者察覺音強最小變化的能力(亦即測量音強差異閾，intensity difference limen, IDL)，並比較他們的音強差異閾是否相同。研究結果顯示，不到一歲的嬰兒對 1000 Hz 純音的音強差異閾值為 6 分貝，而成人的音強差異閾值為 2 分貝。Maxon & Hockberg (1982) 針對 4、6、8、10 與 12 歲的兒童進行音強差異閾的測試；他們的研究結果顯示在 1000 Hz 音強差異閾值隨著年齡增加而降低，且 4 歲兒童的閾值已相當接近成人閾值了。

另一項與音強訊息處理息息相關的聽知覺是響度(loudness)。量測響度一般是運用兩種方法；一種是提供聽者一個基準音，然後要求聽者找出哪一個目標音與基準音的響度相同。另一種方法是提供一個數字量表，然後要求聽者評定刺激音的響度是多少，這種方法又叫做量值估算法(magnitude estimation；Moore, 2003)。在 Collins 與 Geischeder 於 1989 年的研究中，即是利用量值估算方法來探討 4-7 歲兒童以及成人的響度感知。研究所用的測試音為 1000 Hz 的純音，音量範圍為 10-80 dB SL；當受試者聽到一個刺激音時，就要根據它的大小聲給定一個大於 0 的數字。實驗結果發現，4、5 歲的兒童可以一致地執行量值估算方式來判斷響度；此外，兒童與成人評分響度的趨勢無明顯差別。

上述研究結果說明了兒童接收音強訊息的能力不如成人；其中一項可能原因來自於週邊聽覺系中的外耳以及中耳(Saffran et al., 2006)。外耳與中耳負責傳遞聲音，而耳殼、外耳道與中耳腔皆持續生長直到學齡期。嬰兒的外耳道較短且較窄，因此共振頻率範圍也較成人高(Nozza & Wilson, 1984)；隨著年齡增加，外耳道長度增加，外耳的共振頻率範圍也會往較低頻移動，因此傳入聲音的頻譜形狀就會隨著年齡增加而趨近成人。中耳腔室尺寸與結構的改變則是改善了中耳傳遞聲音的效率；中耳的阻抗匹配效率在嬰兒剛出生時較成人差，但在 1 歲前進展最多，尤其是針對 1000 Hz 以上的訊息(Keefe et al., 1993，資料引自 Saffran et al., 2006)。從嬰兒在半歲前高頻聽閾大幅進展的現象看來，外耳與中耳的發展所造成的影響可見一斑。除了外耳及中耳，聽神經以及中樞神經系統的發展也是一項影響嬰幼兒處理音強訊息的因素。音強訊息的編碼最主要由聽神經神經元的放電速率決定(Pickles, 1988)；相位鎖定可能也提供少部份線索(Moore, 2003)。過去相關的電生理研究(例如 ABR 閾值討論)證明嬰兒在出生時的神經功能尚未成熟，隨著年齡增加，神經的傳導功能及效率才逐漸成熟(Starr et al., 1977；Gorga et al., 1989)。因此，神經系統的發展也是導致聽力進展的原因之一。

五、時間解析

時間解析指的是聽者對頻率與音強訊息在時間歷程中快速變化的察覺能力。另一個常見但容易與時間解析混淆的名詞是「時間統整」(temporal integration)，指的是聽者在時間歷程中將訊息加起來的能力，此項能力可強化刺激音的察覺或區辨(Moore, 2003)。時間解析能力的測量方式有好幾種，而本文僅針對間隔察覺(gap detection)以及時間調節移轉函數(temporal modulation transfer function)進行簡單的敘述。

間隔察覺(Gap Detection)

在研究間隔察覺的實驗中，一段空白(也就是「間隔」，gap)會出現在刺激音當中，如果受試者察覺到這段間隔，就會以為聽到兩段刺激音，但如果間隔時間太短，受試者沒注意到這段間隔，就只聽到一段聲音，而實驗者要量測的就是受試者察覺到的最小間隔時間長度。針對成人受試者的研究結果發現，受試者能察覺到的最小間隔時間長度約為 2-5 毫秒(刺激音為寬頻噪音)；如果刺激音為固定頻寬的窄頻刺激音，最小間隔的時間長度會隨著刺激音的中心頻率增加而縮短(Shailer & Moore, 1983)。Werner et al. (1992)測量 3、6、12 個月大嬰兒以及成人之間隔察覺能力，結果發現 1 歲以下的嬰兒其間隔察覺時間長度比成人多約 40-60 毫秒，而頻率效果與成人類似(尤其是 3 個月與 6 個月大的嬰兒)。其他以年齡較大的兒童為研究對象的實驗結果顯示，兒童的間隔察覺表現要到 5-6 歲才達到成人的水準；而且，與成人相同的是，刺激音頻率愈高，最小間隔的時間長度愈短(Morrongiello & Trehub, 1987；Wightman et al., 1989；資料引自 Werner, 1992)。

時間調節移轉函數(Temporal Modulation Transfer Function, TMTF)

另一個常見的時間解析研究是時間調節移轉函數(temporal modulation transfer function, TMTF)。寬頻刺激音(白噪音)的振幅以正弦方式調節，而察覺這個調節的閾值受振幅調節的頻率與深度而改變；閾值與振幅調節頻率/深度之間的函數關係便稱做時間調節移轉函數。針對成人的研究結果發現，當振幅調節頻率很低的時候(<16 Hz)，閾值沒有明顯的變化，因為這時候只有音強解析能力會造成影響，與時間解析無關。但是，當振幅調節頻率增加時，時間解析的影響開始出現，閾值也隨頻率增加而提高，一直到振幅調節頻率為 1000 Hz，聽者無法察覺到調節為止(Bacon & Viemeister, 1985，資料引自 Moore, 2003)。Hall & Grose (1994)測試的則是 4 到 10 歲兒童的時間解析表現，同時也有成人對照組做為比較。實驗結果顯示，兒童察覺振幅調節的閾值較成人高，且年齡愈小，閾值愈差；不過，不管是 4 歲或是 10 歲的兒童，其函數圖形與成人並無顯著不同。4 歲以前的兒童，甚至包括 1 歲以下的嬰兒，都有著與成人類似的時間調節移轉函數(Saffran et al., 2006)。

從上述的間隔察覺和時間調節移轉函數，以及其他本文未提到的時間解析研究(如前遮蔽，backward masking、後遮蔽，forward masking 以及時長區辨，duration discrimination 等；相關資料可參考 Elfenbein, 1993；Werner, 1999)所得到的結果，說明了時間解析能力隨著年齡逐漸發展；不過，關於解析能力的成熟時間，這些研究並未得到一致的結論(例如間隔察覺研究：6 歲、TMTF：可能為 4 歲、時長區辨：10 歲、後遮蔽：6 個月)。研究者提出幾個看法，而聽覺神經系統的發展因素普遍被接受(Grose et al., 1993；Werner, 1999；Smith et al., 2006)。聲音訊號的時間結構由相位鎖定編碼(Werner, 1999)；如同先前已提過的，聽覺神經功能在嬰兒時期尚未成熟；因此，時間解析表現也較差。電生理的研究結果顯示，從聽神經到中樞聽覺神經系統都可能導致時間解析的不成熟(Werner et al., 2001)。除了神經系統功能外，另一個主張是，兒童表現較差的原因是因為他們的中樞聽覺系統擷取訊息的效率不佳，或是策略與成人不同，與時間解析能力無關(Hall & Grose, 1994；Hill et al., 2004；Stuart et al., 2006)。其他的推論尚包括音強解析能力的干擾(Smith et al., 2006)、記憶力、選擇性注意力等等(Hill et al., 2004)。

六、音源辨認

討論空間中辨認聲音位置的能力需分別討論水平位置(與耳齊高)的辨位以及垂直位置的辨位。辨認水平位置的聲源需依賴聲音傳入兩耳時產生的時間差(interaural time difference, ITD)以及音強差(interaural intensity difference, IID)(Pickles, 1988; Moore, 2003)。時間差是辨識低頻音的主要線索，音強差則是辨識高頻音位置的主要線索。辨識垂直位置的聲音來源依靠的則是一種單耳線索—聲音的頻譜特徵；當同一種聲音從不同垂直位置傳入耳朵時，它的頻譜特徵會因為受到頭、肩膀、軀幹以及外耳耳殼的影響而產生不同的變化，因此，聽覺系統得以靠頻譜特徵些微的差異，判斷聲音是來自上方或是下方(Saffran et al., 2006)。最小可察覺角度(minimal audible angle, MAA)是聽者察覺聲源變化的最小單位，可用來測量嬰幼兒辨識音源的能力發展情形。研究顯示，1 個月大的嬰兒辨識水平位置聲源的最小可察覺角度為 27 度，18 個月大時改善至 5 度，在 5 歲時達到成人水準的 1-2 度(Saffran et al., 2006)。正前方垂直位置的聲源辨識能力在 6 個月大時為 16 度以上，但到 18 個月大時便已趨成熟，進展為 4 度(Morrongiello & Rocca, 1987)。由此可見，垂直位置的聲源辨識能力比水平位置的聲源辨識能力還快發展至成人水準。解釋嬰幼兒聲源辨識能力的發展有幾個，例如頭部與外耳的成長可能擴大雙耳間的線索差異，進而影響嬰幼兒的音源辨位能力，或者是嬰幼兒依賴雙耳線索與單耳線索的程度可能與成人不同，隨時間才逐漸調整(Saffran et al., 2006)。

七、結論

嬰兒的聽知覺能力雖然在剛出生時較成人差，但隨著年齡增加而愈見成熟。相對而言，音強知覺的發展歷程較頻率知覺以及時間解析長，可能是受到外耳以及中耳傳導聲音的效率影響。另外，考量到嬰幼兒的年齡，除了聽覺系統本身的發展外，我們不能忽略其他發展因素

例如注意力、注意焦點、決定策略以及認知能力等可能產生的影響。

參考文獻

- Abdala, C. (2001). Maturation of the human cochlear amplifier: Distortion product otoacoustic emission suppression tuning at low and high primary tone levels. *Journal of Acoustical Society of America*, 110(3): 1465-1476.
- Abdala C., & Folsom, R.C. (1995). The development of frequency resolution in humans as revealed by the auditory brain-stem response recorded with notch-noise masking. *Journal of Acoustical Society of America*, 98(2): 921-930.
- Eimas, P.D., Siqueland, E.R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171, 303-306.
- Elfenbein J.L., Small, A.M., & Davis, J.M. (1993). Developmental Patterns of Duration Discrimination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 36: 842-849.
- Hall, J.W., & Grose, J.H. (1994). Development of temporal resolution in children as measured by the temporal modulation transfer function. *Journal of Acoustical Society of America*, 96(1): 150-154.
- Hill, P.R., Hartley, D.E.H., Glasberg, B.R., Moore, B.C.J., & Moore D.R. (2004). Auditory processing efficiency and temporal resolution in children and adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47: 1022-1029.
- Gorga, M.P., Kaminski, J.R., Beauchaine, K.L., Jesteadt, W., & Neely, S.T. (1989). Auditory Brainstem Responses from children three months to three years of age: normal patterns of response II. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 32, 218-228.
- Grose, J.H., Hall, J.W., & Gibbs, C. (1993). Temporal analysis in children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 36: 351-356.
- Houston, D.M. (2008). Speech perception in infants. In D.B. Pisoni & R.E. Remez(Ed.), *The Handbook of Speech Perception*. Malden: Blackwell.
- Maxon, A.B., & Hochberg, I. (1982). Development of Psychoacoustic behavior: sensitivity and discrimination. *Journal of Acoustical Society of America*, 3(6), 301-308.
- Moore, B. (2003). *Psychology of Hearing*. San Diego: Academic Press.
- Morrongiello, B.A., & Rocca P.T. (1987). Infant's localization of sounds in the median vertical plane: estimates of minimum audible angle. *Journal of Experimental Child Psychology*, 43(2): 181-193.
- Northern, J.L., & Downs, M.P. (1991). *Hearing in Children*. Baltimore: Williams & Wilkins.

- Nozza, R.J. & Wilson, W.R. (1984). Masked and unmasked pure-tone thresholds of infants and adults: development of auditory frequency selectivity and sensitivity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 27, 613-622.
- Olsho, L.W., Koch, E.G., Carter, E., A., Halpin, C.F., & Spetner, N.B. (1988). Pure-tone sensitivity of human infants. *Journal of Acoustical Society of America*, 84, 1316-1324.
- Pickles, J. (1988). *An Introduction to the Physiology of Hearing*. London: Academic Press.
- Saffran, J.R., Werker, J., & Werner, L. (2006). The infant's auditory world: Hearing, speech, and the beginnings of language. In R. Siegler and D. Kuhn (Eds.), *Handbook of Child Development*. New York: Wiley.
- Schneider, B.A., Morrongiello, B.A., & Trehub, S.E. (1990). Size of critical band in infants, children and adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3): 642-652.
- Shailer, M.J., & Moore, B.C.J. (1983). Gap detection as a function of frequency, bandwidth, and level. *Journal of Acoustical Society of America*, 74(2): 467-473.
- Sinnott J.M., & Aslin, R.N. (1985). Frequency and intensity discrimination in human infants and adults. *Journal of Acoustical Society of America*, 78(6): 1986-1992.
- Smith, N.A., Trainor, L.J. & Shore, D.I. (2006). The Development of temporal resolution: between-channel gap detection in infants and adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49: 1104-1113.
- Spetner, N.B., & Olsho, L.W. (1990). Auditory frequency resolution in human infancy. *Child Development*, 61, 632-652.
- Starr, A., Amlie, R.N., Martin, W.H., & Sanders, S.J. (1977). Development of auditory function in newborn infants revealed by auditory brainstem potentials. *Pediatrics*, 60, 831-839.
- Stuart, A., Givens, G.D., Walker, L.J., & Elangovan, S. Auditory temporal resolution in normal-hearing preschool children revealed by word recognition in continuous and interrupted noise (L). *Journal of Acoustical Society of America*, 119(4): 1946-1949.
- Werner, L.A. (1999). Forward masking among infant and adult listeners. *Journal of Acoustical Society of America*, 105(4): 2445-2453.
- Werner, L.A., Folsom, R.C., Mancl, L.R., & Syapin, C.L. (2001). Human Auditory Brainstem Response to temporal gaps in noise. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(4): 737-750.
- Werner, L.A., Marean, G.C., Halpin, C.F., Spetner, N.B., & Gillenwater, J.M. (1992). Infant auditory temporal acuity: gap detection. *Child Development*, 63: 260-272.