



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008- A060

Percepción de la altura tonal de la repetición en niños pequeños

Mercedes Hüg ^{(a)(b)}
Fernando Bermejo ^{(a)(b)},
Federico Scabuzzo ^{(a)(b)},
Fabián Tommasini ^(a),
Facundo Barrera ^(a),
Claudia Arias ^{(a)(b)}.

(a) Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba – Unidad Asociada CONICET. Mtro. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Córdoba, Argentina. E-mail: mhug@scdt.frc.utn.edu.ar

(b) Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Trabajo realizado con subsidio PID SECYT UNC Res Rect.162/06 y 114/07 y una beca de Posgrado tipo II del CONICET otorgada a Mercedes Hüg

Abstract

The repetition pitch (RP) is an auditory phenomenon that is defined as the pitch that is perceived when a sound and the repetition of this sound are presented together after a brief delay (Bilsen et al., 1969). Relatively little is known about this percept in infants. The evidence until now shows that 7 month olds infants can detect RP (Clarkson et al., 1996).

The principal aim of this investigation was to describe the 6 and 12 month olds infant's performance in a RP detection task. Three types of stimulus were used: Gaussian noise, Gaussian noise plus the repetition of the same sound after a 2 ms delay, Gaussian noise plus the repetition of the same sound after a 5 ms delay. The stimuli were delivered through a loudspeaker located 45 deg off the subject's midline. Following the same procedure applied by Clarkson et al. (1996), the infants were conditioned to turn his head only when RP stimuli were presented. In general, the results agreed with those reported in the literature and showed that 6 and 12 month olds infants can detect RP signals, moreover there were developmental differences.

Resumen

Se define la altura tonal de la repetición (RP) como la altura tonal que se percibe cuando se escucha un sonido al que se le ha sumado su réplica luego de un breve retardo de tiempo (Bilsen y cols., 1969). Se conoce relativamente poco sobre el desarrollo de este percepto. La evidencia indica que a los 7 meses los bebés detectan RP (Clarkson y cols., 1996).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el rendimiento de infantes de 6 y 12 meses de edad en una prueba de detección de RP. Se utilizaron tres tipos de estímulos: ruido blanco, ruido blanco al cual se le sumó su réplica luego de un retardo de 2 ms, ídem anterior con retardo de 5 ms. Los estímulos fueron presentados a través de un parlante ubicado a 45 grados respecto a la línea media del niño. Siguiendo el procedimiento empleado por Clarkson y otros (1996), se condicionó la respuesta de los infantes de modo que giraran su cabeza sólo cuando se presentaran estímulos RP. En general, los resultados obtenidos acuerdan con la literatura e indican que los infantes de 6 y 12 meses detectan RP, observándose además diferencias evolutivas.

1 Introducción

La capacidad para localizar con exactitud la fuente de un sonido está presente en todas las especies que poseen sistema auditivo y es de importancia capital tanto para los animales como para los humanos. No obstante, los aspectos evolutivos implicados en el desarrollo de esta habilidad han comenzado a estudiarse sistemáticamente y bajo condiciones controladas en los últimos veinte años.

En el caso de los niños discapacitados visuales, la percepción del espacio depende fundamentalmente del oído. Los trabajos sobre el desarrollo de la localización auditiva en infantes con discapacidad visual son muy escasos.

El presente trabajo forma parte de un proyecto doctoral que se lleva a cabo dentro de la línea de investigación en ecolocación humana, área temática estrechamente vinculada con la localización de sonidos reflejados. La meta de la línea es contribuir al logro de la movilidad independiente de la persona ciega a través del entrenamiento formal de esta habilidad. Se define a la ecolocación como la habilidad para percibir auditivamente objetos sin ayuda de la visión, a partir del procesamiento de la información contenida en los ecos o reflexiones producidas cuando los sonidos autogenerados por el sujeto se reflejan en los objetos del entorno. Estos últimos conforman la señal directa u original y los primeros constituyen la señal reflejada (Arias, 1996; Arias y Ramos, 1998). Uno de los fenómenos de fusión auditiva supuestamente involucrados en la ecolocación es la altura tonal de la repetición (Arias y Ramos, 2001). Ésta estaría principalmente involucrada en la situación en la que un obstáculo está ubicado enfrente del sujeto a la altura de su rostro. La presencia del obstáculo podría determinarse por la presencia/cambio de tonalidad de la señal directa autogenerada (Arias y Ramos, 2001). Los trabajos de investigación sobre ecolocación humana son escasos y discontinuos aunque muy recientemente se ha observado un creciente y renovado interés por el tema desde diferentes enfoques disciplinares (Arias y Hüg, 2003).

La percepción de la altura tonal de la repetición ha sido estudiada principalmente en adultos y son pocos los estudios realizados en infantes con visión normal. No se han encontrado antecedentes sobre el estudio de este fenómeno perceptual en niños ciegos.

El proyecto doctoral en curso tiene por objetivo analizar aspectos evolutivos de la localización sonora y del concepto de la altura tonal de la repetición en niños con visión normal y en niños ciegos. En la presente ponencia se describen los resultados logrados con niños de 6 y 12 meses de edad con visión normal. En la actualidad se está comenzando a evaluar a infantes ciegos.

A continuación se presenta una síntesis de los principales antecedentes que orientaron esta investigación y luego se detalla la prueba auditiva realizada.

1.1 Percepción de la altura tonal de la repetición

La altura tonal se define como el atributo de la experiencia auditiva en términos del cual los sonidos pueden ordenarse en una escala que va de agudo a grave (ANSI, 1999). El fenómeno de altura tonal de la repetición (RP por sus siglas en inglés, repetition pitch) se refiere a la altura tonal que se percibe cuando se escucha un sonido al que se le ha sumado su réplica luego de un breve retardo de tiempo (Bilsen y cols., 1969) -señal directa y reflejada respectivamente, en una situación ideal de ecolocación.

Este fenómeno de fusión auditiva ha sido descrito en la literatura con diferentes nombres: tono de la reflexión (Hermann, 1912), tono de la diferencia de tiempo (Nordmark, 1963), altura tonal del ruido ondulado (Yost y Hill, 1978), entre otros. Se basa en los mismos

principios que el fenómeno de la altura tonal de la periodicidad o la altura tonal virtual (Terhardt, 1974).

Thurlow y Hill (1955) fueron los primeros que describieron el fenómeno de percepción de la altura tonal que se producía toda vez que una persona escuchaba dos trenes de pulsos idénticos uno de los cuales se retardaba brevemente con respecto del otro. Observaron que la frecuencia percibida correspondía al valor recíproco del retardo (τ) entre los pulsos más próximos de ambos trenes: $f = 1/\tau$.

2 Antecedentes en el estudio evolutivo de la percepción altura tonal de la repetición

Aunque se conoce relativamente poco sobre la percepción de la altura tonal en niños, los estudios sobre la fundamental ausente (altura tonal virtual) coinciden en marcar similitudes cualitativas en el rendimiento de los niños respecto a los adultos (Clarkson y Clifton, 1985, 1995; Clarkson y cols., 1996). Clarkson y otros (1996) fueron los únicos, según lo que hemos podido relevar, en estudiar el fenómeno de la RP en infantes con visión normal. Los autores evaluaron a 7 niños de 7 meses de edad en una tarea de detección de estímulos RP en un paradigma de condicionamiento de giro de cabeza. Utilizaron un retardo de 2 ms entre la señal directa y la réplica. Los resultados mostraron que todos los infantes detectaron fiablemente este percepto.

3 Metodología

La prueba de detección de altura tonal de la repetición que realizamos se basó en el trabajo de Clarkson y colaboradores (1996). Se llevó a cabo en la cámara silente del CINTRA especialmente diseñada para administrar pruebas psicoacústicas.

Participantes. Se trabajó con 20 infantes, 10 de 6 meses y 10 de 12 meses de edad de ambos sexos (10 mujeres y 10 varones).

Arreglo experimental. Los estímulos fueron presentados a través de un altavoz ubicado a 45 grados respecto a la línea media y a una distancia aproximada de 1 metro del niño. Junto al altavoz se ubicó el reforzador consistente en una caja de acrílico oscura que al activarse se iluminaba, mostrando un juguete con movimiento y sonido musical atractivo para los infantes. Una cámara SONY conectada a un televisor fue ubicada convenientemente de manera de monitorear las respuestas del bebé. Una cortina oscura acústicamente transparente impedía que el niño observara el televisor y la PC desde donde se administraba la prueba.

Se utilizaron herramientas específicamente desarrolladas por el equipo: un programa informático construido en Matlab que generó y almacenó las señales por única vez y un Programa informático de evaluación de la Altura Tonal de la Repetición en Infantes (PATRI) construido en C#.NET que permitía administrar los estímulos sonoros y registrar las respuestas de los niños.

Estímulo sonoro. Los estímulos sonoros fueron estímulos con RP y sin RP contruidos en base al estudio de referencia y presentados a un nivel sonoro de 53 dBA.

Se construyeron tres tipos de estímulos (figuras 1 y 2): a) ruido blanco *—que denominamos SRP* (que simulaba la señal directa sola), b) ruido blanco a la cual se le sumó su réplica luego de un retardo de 2 ms *—que denominamos RP_{2 ms}* (que simulaba la señal directa más la reflejada), c) ídem anterior con un retardo de 5 ms *—RP_{5 ms}*. Se utilizaron dos retardos distintos debido a que para Yost y otros (1978) el retardo de 2 ms es el que produce la más clara

altura tonal de la repetición mientras que para Bilsen (1969) y para Arias y otros (1997) el que produce la altura tonal más fácilmente perceptible es el de 5 ms.

Los ensayos *SRP* consistían en una secuencia de bursts de 500 ms de duración presentados en forma repetitiva a razón de 1/s durante 6 segundos (sonaba como shhh shhh shhh shhh shhh) (figura 1).

En los ensayos *RP_{2ms}* y *RP_{5ms}* se presentaba una secuencia de bursts de 500 ms de duración a razón de 1/s durante 6 segundos, a la que se le había sumado la misma muestra de ruido blanco luego de un retardo de 2 o 5 ms (directa más réplica), con lo cual este shhh adquiría cierta tonalidad, más aguda para el retardo de 2 ms (500 Hz) respecto al de 5 ms (200 Hz) (figura 2).

Se administró durante toda la prueba ruido de fondo en forma repetitiva, contra el cual se resaltaban los cambios en la tonalidad de los estímulos de manera tal de ayudarle al niño a detectar los estímulos con RP. Este ruido de fondo consistió en una secuencia de bursts de 500 ms de duración presentados en forma repetitiva a razón de 1/s durante 6 segundos.

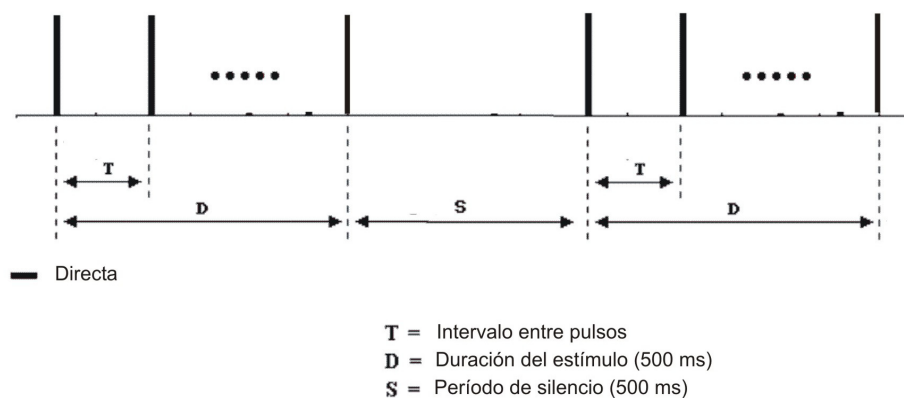


Figura 1. Configuración esquemática estímulo SRP

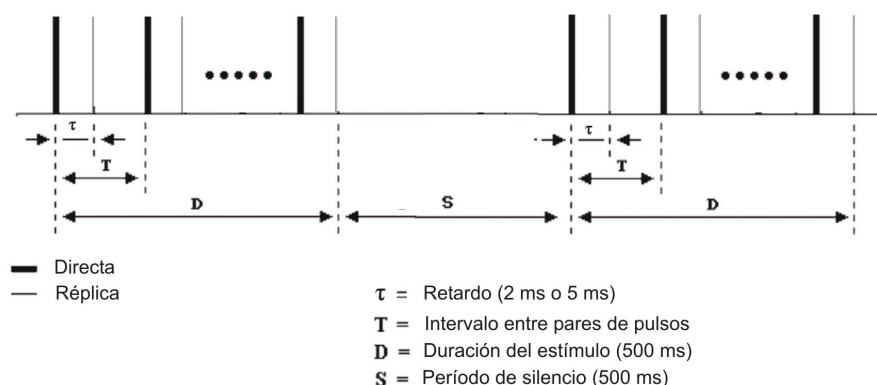


Figura 2. Configuración esquemática estímulos con RP

Procedimiento y administración. Los infantes permanecieron sentados durante la prueba en el regazo de uno de sus padres. Su tarea consistía en girar su cabeza hacia el altoparlante sólo cuando se emitieran ensayos RP. Uno de los experimentadores se sentaba enfrente del niño y llamaba su atención con juguetes silenciosos, de modo de alinear su cabeza respecto a la línea media y evitar que se quedara mirando hacia el reforzador. Detrás de la cortina que ocultaba el arreglo experimental, se ubicaron otros dos experimentadores

con tareas específicas: uno, administraba los estímulos y ambos, de manera independiente, evaluaban el comportamiento del niño durante la sesión utilizando un pulsador con dos botones, uno para indicar los giros correctos y otro para los giros incorrectos. El reforzamiento se administraba sólo en el caso en que hubiera acuerdo entre los evaluadores. La evaluación de los experimentadores era registrada automáticamente por el programa informático PATRI.

A continuación se detalla el criterio seguido para evaluar y reforzar las respuestas del infante:

Respuestas correctas

- *Giro correcto*: si y sólo si ambos experimentadores coincidían en que durante un ensayo con RP, el niño giraba su cabeza hacia el lugar en el que estaba ubicado el altoparlante (ambos pulsaban el botón “giro correcto”), entonces se activaba el reforzador por espacio de 5 segundos.

- *Omisión correcta*: cuando uno o ambos experimentadores evaluaban que durante un ensayo sin RP, el niño no giraba su cabeza hacia el lugar en el que estaba ubicado el altoparlante (en este caso al menos un experimentador no pulsaba botón alguno). El reforzador permanecía apagado durante el ensayo.

Respuestas incorrectas

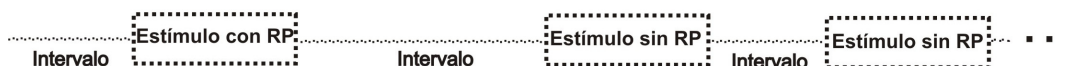
- *Falsa alarma*: cuando ambos experimentadores coincidían en que durante un ensayo sin RP, el niño giraba su cabeza hacia el lugar en el que estaba ubicado el altoparlante (ambos pulsaban el botón “giro incorrecto”). En ese caso el reforzador permanecía apagado durante el ensayo.

- *Omisión incorrecta*: cuando uno o ambos experimentadores evaluaban que durante un ensayo con RP, el niño no giraba su cabeza hacia el lugar en el que estaba ubicado el altoparlante (en este caso al menos un experimentador no pulsaba botón alguno). El reforzador permanecía apagado durante el ensayo.

Una respuesta ideal por parte del niño implicaba una alta tasa de giros correctos junto con una baja tasa de falsas alarmas. Para poder lograr que el niño cumpliera con la tarea, se realizó un proceso que se llevó a cabo en dos etapas siguiendo el mismo procedimiento empleado por el estudio de referencia.

En una primera etapa llamada de condicionamiento (*shaping stage*), sólo se presentaron ensayos con RP (figura 3a). Si el infante espontáneamente no giraba su cabeza hacia el altoparlante, el investigador lo alentaba señalando o moviendo el muñeco hacia donde se encontraba el reforzador. Luego de que el niño realizara tres giros correctos consecutivos sin ayuda por parte del experimentador en un máximo de 30 ensayos, se pasaba a la etapa siguiente. En caso contrario el bebé era excluido de la muestra.

En la segunda etapa o etapa experimental (*experimental stage*) se presentaron aleatoriamente ensayos SRP y CRP, en una proporción de 50% cada uno (figura 3b). La prueba terminaba cuando el infante alcanzaba el criterio de al menos ocho respuestas correctas y no más de dos falsas alarmas, esto es, el 80% o más de aciertos y no más del 20% de falsas alarmas, durante diez ensayos consecutivos en un máximo de 36 ensayos. Si no lo lograba, se pasaba nuevamente a la primera etapa y se repetía toda la prueba por única vez.

Etapa 1 Condicionamiento**Figura 3a.** Presentación de los ensayos en la etapa de condicionamiento**Etapa 2 Experimental****Figura 3b.** Presentación de los ensayos en la etapa experimental

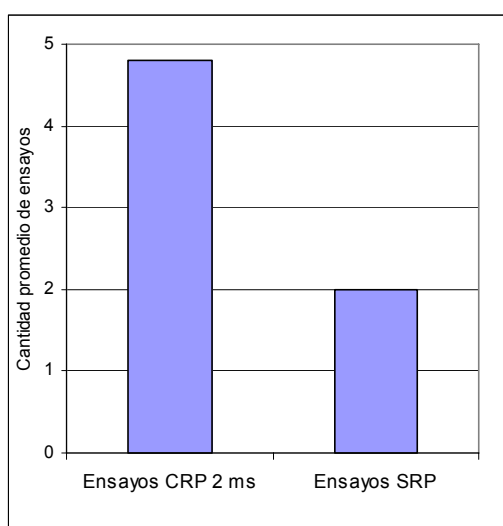
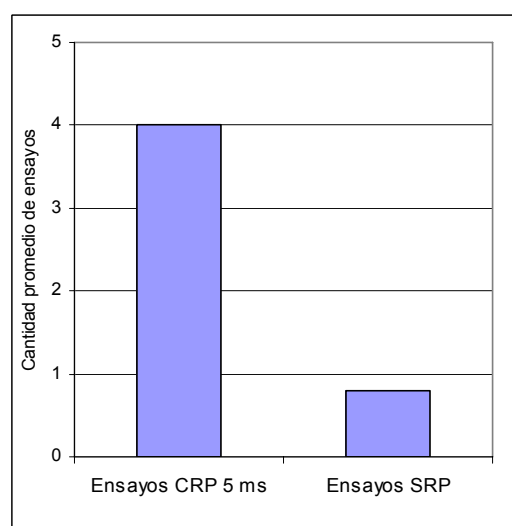
Como se explicó anteriormente, durante los intervalos los bebés percibían el ruido de fondo. La separación temporal entre los ensayos RP y SRP fue variable (entre 7 a 11 ms) para que los niños no aprendieran a anticipar cuanto tiempo pasaría hasta el próximo ensayo.

Cada participante fue asignado aleatoriamente a una de las dos condiciones experimentales según retardo, o sea $RP_{2\text{ m}}$ o $RP_{5\text{ ms}}$.

4 Resultados

Siguiendo el estudio de Clarkson y otros (1996) se analizaron las respuestas de los niños tanto en los últimos 5 ensayos RP como en los últimos 5 ensayos SRP, por considerarse estas últimas respuestas más consistentes y representativas del mejor desempeño que el niño pudo lograr.

Las siguientes figuras muestran en cada caso el promedio de ensayos con giros correctos (giros en ensayos RP) y falsas alarmas (ensayos SRP).

**Figura 4a.** Cantidad promedio de ensayos con giros correctos (ensayos RP) y falsas alarmas (ensayos SRP) en bebés de 6 meses Retardo 2 ms**Figura 4b.** Cantidad promedio de ensayos con giros correctos (ensayos RP) y falsas alarmas (ensayos SRP) en bebés de 6 meses Retardo 5 ms

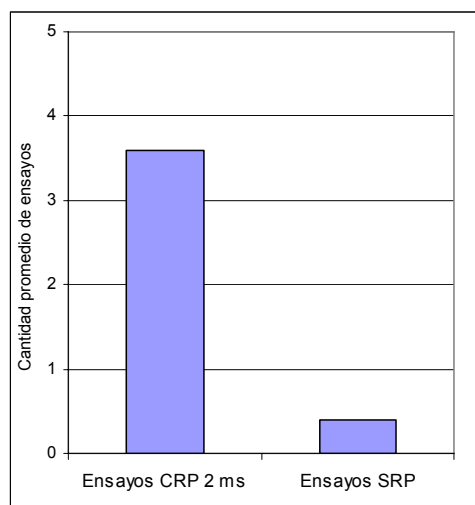


Figura 4c. Cantidad promedio de ensayos con giros correctos (ensayos RP) y falsas alarmas (ensayos SRP) en bebés de 12 meses Retardo 2 ms

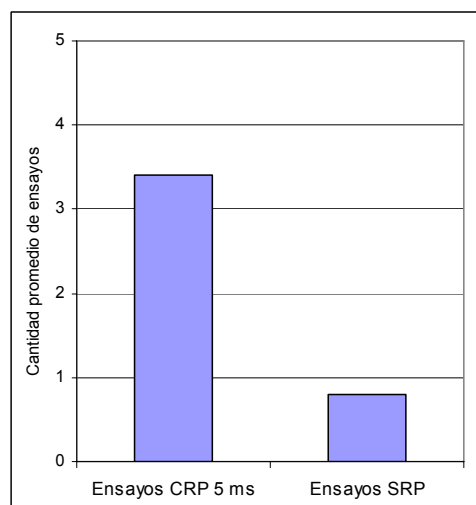


Figura 4d. Cantidad promedio de ensayos con giros correctos (ensayos RP) y falsas alarmas (ensayos SRP) en bebés de 12 meses Retardo 5 ms

El análisis descriptivo de los datos indica que los niños de 6 meses giraron su cabeza prácticamente en la totalidad de los ensayos $RP_{2\text{ ms}}$ y se equivocaron (falsas alarmas) sólo en 2 ensayos promedio en la condición SRP. En el caso del retardo de 5 ms esta tendencia se mantuvo: los bebés giraron en promedio en 4 de los últimos ensayos $RP_{5\text{ ms}}$ y prácticamente no tuvieron falsas alarmas.

Por su parte, los bebés de 12 meses continúan con la misma pauta: giraron con más frecuencia hacia la fuente sonora en los ensayos con RP, tanto en la condición de 2 ms como de 5 ms. Además, prácticamente no cometieron errores en los ensayos $RP_{2\text{ ms}}$ y en $RP_{5\text{ ms}}$ las falsas alarmas también fueron escasas.

En relación a la edad, los resultados muestran que los niños de 6 meses giraron correctamente con mayor frecuencia pero cometieron más errores que los de 12 meses, específicamente se equivocaron más en la condición de 2 ms.

En síntesis, puede concluirse que tanto los infantes de 6 como los de 12 meses fueron capaces de detectar estímulos con altura tonal de la repetición con 2 ó 5 ms de retardo entre la señal directa y su réplica. El retardo de 2 ms resultó más difícil para los niños más pequeños, mientras que los de 12 meses no se observaron diferencias en el rendimiento entre ambas señales. Estamos administrando la prueba a bebés ciegos, lo que nos permitirá profundizar el análisis de nuestros resultados.

Referencias

- ANSI (1999) "Acoustical terminology". American National Standard Institute. New York.
- Arias, C. (1996) "L'Echolocation humaine chez des handicapes visuels". *L'Année Psychologique*, 96, 4, 703-721.
- Arias, C.; Hüg, M. (2003) "Investigaciones sobre el uso de sonidos auto producidos en Humanos". II Congreso Argentino de Acústica del Nuevo Milenio. AADA y CADA, Buenos Aires.
- Arias, C.; Ramos, O. (1997) "Psychoacoustic test for the study of the human echolocation ability". *Applied acoustics*, 51(4), 399-419.

- Arias, C.; Ramos, O. (1998) "Ecolocación humana: una síntesis de aspectos relevantes". *Discapacidad Visual Hoy. Aportes sobre la Visión diferenciada*, 4, 6, 21-28.
- Arias, C.; Ramos, O. (2001) "Ecolocación humana a distancias cercanas: posibles mecanismos psicoacústicos subyacentes". 28 Congreso Interamericano de Psicología. SIP. Santiago de Chile.
- Bilsen, F.; Ritsma, R. (1969) "Repetition pitch and its implications for hearing theory". *Acustica*, 22, 63-73.
- Clarkson, M.; Clifton, R (1985) "Infant pitch perception: Evidence for responding to pitch categories and the missing fundamental". *Journal of the Acoustical Society of America*, 7(4), 1521-1528.
- Clarkson, M.; Clifton, R (1995) "Infants' pitch perception: Inharmonic tonal complexes". *Journal of the Acoustical Society of America*, 98 (3), 1372-1379.
- Clarkson, M.G.; Rogers, E.C.; Miciek, S.G. (1996) "Infants' perception of the pitch of rippled noise". *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 4, 2629.
- Hermann, L. (1912) "Neue versuche zur frage der unterbrechungstone, mit einem anhang uber reflexionstone unsw". *Arch. Physiology*, 146, 249 294.
- Nordmark, J. (1963) "Some analogies between pitch and lateralization phenomena" *Journal of the Acoustical Society of America*, 35,1544-1547.
- Terhardt, E. (1974). "Pitch, consonance and harmony". *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, 1061-1069.
- Thurlow, W.; Small J. (1955) "Pitch perception for certain periodic auditory stimuli". *Journal of the Acoustical Society of America*, 27, 132 137.
- Yost, W. A.; Hill, R. (1978). "Strength of the pitches associated with ripple noise". *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 2, 485 492