

EL EFECTO PRECEDENTE EN LA ECOLOCACIÓN HUMANA¹

Referencia PACS: 43.66.Qp

Ramos Oscar A.¹⁻³; Arias Claudia¹⁻²⁻³; Ortiz Skarp Aldo¹⁻³; Hüg Ximena¹

¹Centro de Investigación y Transferencia en Acústica. CINTRA. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Córdoba. Mtro. Marcelo López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. (5016) Córdoba. Argentina. Tel: +54 351 468 0296. Fax: +54 351 468 1823.

E-mail: Ramos:oramos@sa.frc.utn.edu.ar ; Arias: arias@sa.frc.utn.edu.ar.

²Investigadora del Centro de Investigación de la Facultad de Filosofía y Humanidades. Facultad de Filosofía y Humanidades. Universidad Nacional de Córdoba. Ciudad Universitaria. (5016) Córdoba. Argentina.

³Miembro del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. CONICET

ABSTRACT

Human echolocation is the ability to perceive obstacles by processing information contained in echoed sound. The precedence effect -spatial auditory fusion phenomenon- seemed to be involved in short distance echolocation. We administered to blind and sighted subjects, a lateralization test under precedence effect condition using echolocation signals as sound stimuli. The main result seemed to indicate that it is possible to extract useful information from reflections even when they do not hear as separate event.

RESUMEN

La ecolocación humana es la habilidad para percibir obstáculos procesando la información contenida en los sonidos reflejados. El efecto precedente –fenómeno de fusión auditiva espacial- parece estar involucrado en la ecolocación a distancias cercanas. Administramos a sujetos ciegos y con visión normal, una prueba de lateralización bajo condición de efecto precedente usando señales de ecolocación como estímulos sonoros. El resultado principal parece indicar que es posible extraer información útil de las reflexiones aún cuando no se escuchan como eventos separados.

I - INTRODUCCIÓN

La ceguera es una de las discapacidades más desestructurantes por las profundas implicancias que tiene en la vida de la persona que la padece, siendo la movilidad independiente uno de los aspectos que más afecta. Existe una gran variedad de "ayudas electrónicas" para facilitar el diario vivir de una persona ciega. Sin embargo, ninguna ofrece aún los beneficios integrales que se obtienen del entrenamiento sistemático de las propias habilidades restantes.

Nuestra labor científica interdisciplinaria ha sido guiada por el convencimiento de que el desarrollo de potencialidades genuinas permitirá la justa inserción del discapacitado visual en la sociedad, según una real correspondencia entre capacidades y oportunidades.

¹ Investigación subsidiada PID CONICOR Nro. 4016/97

La ecolocación o percepción auditiva de obstáculos sin ayuda de la visión es una de tales habilidades genuinas e inexploradas que no deja de sorprender y que constituye uno de los factores más importantes para que la persona ciega logre una movilidad independiente y eficiente. El efecto precedente -fenómeno de fusión auditiva espacial- estaría involucrado en la ecolocación a distancias menores para obstáculos ubicados fuera del plano medio sagital.

El objetivo general de nuestra línea de investigación consiste en avanzar en la comprensión del proceso de ecolocación humana y sus mecanismos subyacentes en pos de sentar las bases teórico-prácticas de un programa de entrenamiento destinado al discapacitado visual (Arias, 1996; Arias & Ramos, 1997 y 1998; Ramos y Arias, 1997).

En esta exposición describimos brevemente aspectos teóricos relevantes y presentamos una experiencia en la que analizamos el rendimiento de personas con visión normal y ciegas en una prueba psicoacústica especialmente construida de lateralización sonora bajo condición de efecto precedente utilizando señales de ecolocación como estímulos sonoros.

II - PRINCIPALES ASPECTOS TEÓRICOS

Localización y lateralización sonora

El sistema auditivo es un sofisticado procesador espacial que le permite al organismo detectar y monitorear las posiciones de objetos auditivos facilitándole además, la identificación de los mismos. Una persona normal tiene una inmediata apreciación del espacio auditivo en tanto se orienta la mayoría de las veces, de manera natural, rápida y exacta hacia el evento acústico. Aunque la precisión espacial es más pobre en el dominio auditivo que en el visual, el "mundo auditivo" tiene la ventaja de extenderse en todas las direcciones alrededor del observador mientras que el "mundo visual" se restringe a su región frontal (Grantham, 1995). Esta geometría perceptual permite la alineación óptima de los sistemas visual y auditivo durante la adquisición de información.

La habilidad del hombre para localizar fuentes sonoras es muy precisa. Está referida a la percepción de la posición de la fuente en el plano horizontal (azimut) y en el vertical (elevación) y a la percepción de su distancia relativa. El hombre es muy buen localizador en el plano horizontal, menos eficiente en el plano vertical y sus juicios sobre distancia son pobres.

Las claves principales para determinar la posición de una fuente sonora son: a) la diferencia interaural en el tiempo de arribo del sonido a los dos oídos, ITD; b) la diferencia interaural en el nivel sonoro, ILD y c) el filtraje causado por la interacción del sonido con los pliegues del pabellón de la oreja, cabeza, torso y hombros. Las diferencias interaurales, ITD e ILD, determinan la posición percibida de la fuente en el plano horizontal y la información espectral contenida en el filtraje mencionado, lo hace en el plano vertical. La percepción de la distancia está regida por una constelación de indicios que incluyen indicios de intensidad, reverberación y contenido espectral del objeto sonoro. Otros factores como la experiencia, el aprendizaje, influencias visuales y propioceptivas influyen en la percepción del espacio auditivo.

En los estudios de localización sonora los estímulos se presentan según dos condiciones experimentales: en campo libre, donde el estímulo se pasa a través de un conjunto de altavoces apareados dispuestos según un determinado arreglo espacial. La segunda condición, implica la presentación a través de auriculares con lo cual puede ejercerse un mayor control de los parámetros del estímulo. Su desventaja radica en que, si no se usan principios de realidad virtual, los sonidos se escuchan como si se originaran dentro de la cabeza, i.e., internalización de la imagen sonora. La posición donde se ubica la imagen sonora a lo largo de una línea imaginaria trazada entre los oídos se denomina lateralización de la imagen. Por el contrario, cuando el estímulo se presenta a través de altavoces, el sujeto percibe que el sonido proviene del espacio externo, fuera de la cabeza, i.e., externalización de la imagen sonora. La posición subjetiva o aparente se denomina localización.

El efecto precedente

Casi todos los eventos sonoros cotidianos ocurren en ambientes reverberantes donde el hombre también ha demostrado ser muy hábil para localizar sonidos. En ellos el sonido se propaga en múltiples direcciones y sufre cambios físicos de importancia al reflejarse en las superficies cercanas. El sistema auditivo debe ser capaz de resolver la competencia perceptual que se produce entre el sonido original y sus reflexiones. Es útil recordar, por una parte, que la fuente que genera el sonido original o directo se denomina fuente primaria y la que genera la reflexión, fuente secundaria. Por la otra que, en general, la reflexión es una copia coherente, retardada y atenuada del sonido original que no se escucha como evento separado. El término eco se utiliza cuando la reflexión sí se percibe como un evento sonoro independiente.

Se ha evidenciado en los últimos años un creciente interés por estudiar el efecto que tienen las reflexiones sobre la habilidad para localizar sonidos y por comprender cómo procesa el sistema auditivo los múltiples indicios direccionales que existen en ambientes reverberantes.

Una estrategia utilizada de manera inconsciente por el individuo para enfrentar la información sonora conflictiva de los ambientes reverberantes es el efecto precedente también llamado efecto Haas y/o Ley del primer frente de onda. Ha sido definido como el fenómeno de audición espacial que ocurre cuando dos sonidos similares se presentan desde diferentes lugares separados por un breve retardo de tiempo. El sujeto escucha sólo un sonido que localiza en la dirección del sonido que le llegó primero llamado líder o directo. Aunque la persona se da cuenta de la presencia del segundo sonido, llamado sonido reflejado o retardado, le resulta difícil y en algunas condiciones, imposible localizarlo.

Se ha sugerido que el efecto precedente es un mecanismo que -al atribuirle un fuerte pesaje al sonido directo y reducir la influencia de la información direccional de las reflexiones- le ayuda al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria que es la de mayor significación vital.

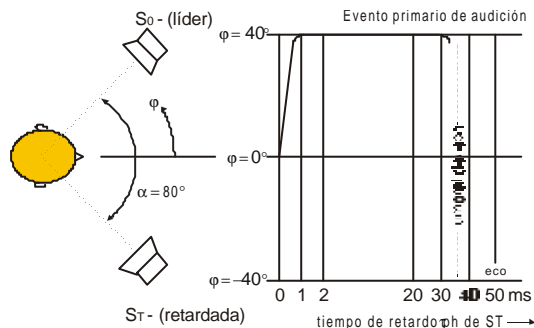


Fig. 1: Efecto precedente: configuración de altavoces y posición percibida según τ (extraído de Blauert, 1999).

En un estudio típico sobre el efecto precedente en campo libre se emplean dos altavoces separados entre sí y equidistantes del sujeto. El paradigma utilizado consiste en una configuración optimizada del tipo estímulo líder-estímulo retardado o un par de clicks que simula un sonido original y su reflexión. Un altavoz emite el líder y el segundo, emite desde un lugar distinto y después de un retardo variable, una réplica del primer sonido a manera de reflexión simulada -el sonido retardado. Cuando ambos sonidos se

presentan simultáneamente el sujeto percibe una única imagen fusionada "fantasma" ubicada en la mitad del trayecto entre ambos altavoces. A medida que el retardo se incrementa de 0 a 1 ms, la "imagen fantasma" migra hacia el sonido líder. Para retardos entre 1 ms y 30 ms la fuente sonora se localiza en la posición del sonido líder y la información direccional del sonido retardado es prácticamente descartada. Para retardos que exceden los 30-35 ms la imagen se "parte" en dos y el sujeto puede localizar separadamente ambos eventos según la posición de los respectivos altavoces. El retardo para el cual la imagen fusionada se parte en dos se llama umbral del eco y depende fuertemente del tipo de estímulo empleado (Freyman et al., 1991). El efecto precedente ha sido replicado con éxito en estudios de lateralización y se han reportado muy pocos experimentos de localización de fuentes sonoras virtuales bajo efecto precedente.

Litovsky et al. (1999) ponen de manifiesto el creciente interés científico por el tema que, según los autores, ofrece una "ventana única" dentro del sistema auditivo por donde pueden estudiarse procesos auditivos complejos a partir del aporte conjunto y combinado de los diversos campos disciplinarios: la percepción humana, la fisiología, el comportamiento animal y el desarrollo.

Tres perceptos están involucrados en este fenómeno: fusión, dominancia en la localización y supresión de discriminación del sonido retardado. El primer percepto se refiere a la fusión de los dos sonidos en una sola y coherente imagen auditiva, lo cual resulta útil para evitar imágenes sonoras múltiples. Es interesante destacar que la presencia del sonido retardado se detecta claramente: si se apaga el altavoz que emite el sonido retardado la imagen percibida cambia notablemente en sonoridad, espacialidad y timbre. Este efecto es más fuerte para retardos cortos (1-8 ms). En otras palabras, a medida que la superficie reflectora está más lejos del sujeto el efecto se hace más débil, es decir que es más notable en ambientes pequeños. El percepto de dominancia se refiere al procesamiento de la información direccional, esto es, dónde se localiza la imagen fusionada y cuánto la posición del sonido líder domina esta percepción. El tercer percepto se refiere a la habilidad del sujeto para procesar la información direccional contenida en el sonido retardado, lo cual implica extraer información de un sonido que no se escucha como evento separado. En general, se ha observado que para retardos menores a 5 ms resulta muy difícil discriminar cambios en el sonido retardado. Tomados en conjunto los últimos estudios muestran que, a pesar de que el ser humano no es conciente de las reflexiones, es sensible para procesar la información contenida en ellas. Por ejemplo: Saberi et al. (1990) concluyeron que es posible mediante el aprendizaje y el entrenamiento "apagar" este mecanismo de supresión y extraer la información contenida en los ecos; Freyman et al (1998) reportaron una buena sensibilidad de los sujetos para percibir varios aspectos del sonido retardado incluyendo su intensidad y contenido espectral. Estos hallazgos recientes constituyen precisamente los fundamentos científicos y más promisorios del entrenamiento de la persona ciega en ecolocación.

Por otra parte, experimentos recientes han demostrado que el efecto precedente tiene componentes dinámicos evidenciado a través del así denominado "mecanismo de incremento gradual en la supresión del eco": el umbral del eco se incrementa durante el curso de una secuencia de pulsos idénticamente presentados (Freyman et al., 1991). Es interesante destacar que este mecanismo dinámico se libera cuando ocurren cambios repentinos en la configuración del estímulo o cuando aparece información nueva, proceso que se denomina "rompimiento de los fenómenos de precedencia" o "liberación de la supresión".

Varias hipótesis en relación a estos hallazgos sugieren que el sistema auditivo no elimina sino que, por el contrario, mantiene la información contenida en las reflexiones aún cuando se produzca fusión y dominancia del líder en la posición percibida. Ciertos cambios en el ambiente acústico liberan el mecanismo de supresión y el sujeto puede así extraer información del sonido retardado. Todas las hipótesis tomadas en conjunto -ninguna de las cuales brinda una explicación completa aún- sugieren que el procesamiento de los sonidos reflejados se apoya en mecanismos centrales como los que están involucrados en la cognición.

La ecolocación humana

La ecolocación es la habilidad para detectar, discriminar y localizar obstáculos procesando la información contenida en los ecos que se producen cuando los sonidos autogenerados por el sujeto se reflejan en los obstáculos. Por extensión, se habla también de ecolocación cuando se utilizan sonidos electrónicos o del entorno.

La mayoría de los discapacitados visuales genera espontánea e intuitivamente sonidos -tales como chasquidos de dedos o con lengua, siseos o golpeteos del bastón- para orientarse mejor y sortear obstáculos. Esta habilidad puede observarse en cualquier persona con audición normal en al menos un oído que haya sido sometida a un breve pero conveniente entrenamiento.

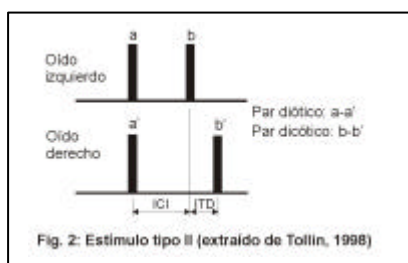
En un paradigma de ecolocación el sonido generado se denomina señal directa o emitida y el eco o la reflexión, señal reflejada. Se han descrito dos modalidades básicas y complementarias de ecolocación apoyadas sobre mecanismos psicoacústicos diferentes (Schenkman, 1985). La ecolocación a distancias lejanas, entre 2 ó 3 m a 5 m entre sujeto y obstáculo, está involucrada en la fase de detección y localización del obstáculo. La información sobre presencia del obstáculo está dada por la presencia del eco mientras que su posición y distancia relativa se extraen de las claves témporo espaciales contenidas en el mismo.

La ecolocación a distancias cercanas -menos de 2 ó 3 m- está involucrada en las fases de detección, localización, discriminación e identificación de obstáculos. Esta modalidad es la

que mayor significación tiene en la vida diaria de una persona ciega ya que le sirve no sólo para orientarse en el espacio sino también para proteger su integridad física evitando el choque con obstáculos. La señal directa y la reflejada no se perciben separadas. Es probable que dos fenómenos de fusión auditiva estén implicados en esta modalidad: la altura tonal de la repetición y el efecto precedente. El primero estaría involucrado en la situación en la que un obstáculo está ubicado justo enfrente del sujeto y a la altura de su rostro (0° azimuth- 0° elevación, diferencia interaural=0). Está referido a la altura tonal subjetiva o virtual que se percibe cuando se escucha un sonido (señal emitida) al que se le ha sumado su réplica (señal reflejada) luego de un breve retardo de tiempo. La presencia del obstáculo podría determinarse por la presencia o cambio de tonalidad del sonido emitido y la posición, distancia y características del objeto se extraen de los indicios espectrales y espaciales contenidos en el patrón vibratorio que resulta de la interferencia de la señal directa con la señal reflejada (Bassett et al., 1964).

Ecología a distancias cercanas y efecto precedente

Si el obstáculo está en el plano horizontal, desplazado del plano medio sagital (diferencia interaural $\neq 0$) y para el caso en que la persona ciega genere un click con la lengua, el estímulo de ecolocación se configura como el estímulo de tipo II del paradigma de lateralización bajo efecto precedente que se muestra en la siguiente figura:



El click que la persona ciega genera con la lengua le llega a ambos oídos al mismo tiempo debido a la posición de la boca (fuente primaria) con respecto a los oídos; este par es el par diótico del estímulo tipo II. Cuando el click se refleja en el obstáculo (fuente secundaria) se genera la señal reflejada del paradigma de ecolocación que llegará a ambos oídos con una breve diferencia de tiempo; este par conforma el par dicótico que contiene información para localizar el obstáculo.

III - NUESTRA EXPERIENCIA

Objetivo

Para avanzar en la comprensión de la habilidad para percibir auditivamente obstáculos ubicados fuera del plano medio sagital implementamos con el ECOTEST -uno de los módulos de *Rousettus*, sistema computarizado diseñado por nuestro equipo (Ramos & Arias, 1997)- una prueba de lateralización bajo condición de efecto precedente usando señales de ecolocación para configurar los estímulos sonoros. Es de destacar que no hemos encontrado ningún trabajo de investigación, a excepción del que llevaron a cabo investigadores japoneses (Seki et al, 1994), que vincule la ecolocación con el efecto precedente.

Método

Sujetos: Trabajamos con 22 sujetos divididos en 3 grupos. El grupo 1 estuvo compuesto por 10 sujetos con audición y visión normal, ambos sexos, 18 a 25 años de edad, con entrenamiento musical. El grupo 2, compuesto por 10 sujetos con audición y visión normal, ambos sexos, 18 a 25 años de edad, sin entrenamiento musical. El grupo 3, integrado por dos sujetos con ceguera adquirida muy tempranamente por fibroplasia retrolental, un varón y una mujer, ambos de 20 años, con buen desplazamiento independiente y con entrenamiento musical.

Configuración de los estímulos sonoros: Empleamos dos tipos de señales: a) click artificial: pulso rectangular de 40 μ s de ancho y b) click real: chasquido con la lengua (registro magnetofónico de la señal producida por un sujeto ciego). Los estímulos se conformaron con un par de clicks según el estímulo tipo II que refleja una situación de ecolocación en particular. En cada ensayo se presentaba el estímulo de referencia, luego 300 ms de silencio y el estímulo de prueba; duración de cada estímulo: 20 ms y el nivel sonoro: 70 dB lineales. El estímulo de referencia, compuesto por un par de clicks con ICI (interclick interval) 2 ms ó 5 ms e ITD = 0, simulaba un obstáculo ubicado enfrente del sujeto a la altura del rostro. El estímulo

de prueba, compuesto por un par de clicks con ICI 2 ms ó 5 ms e ITD = 50 μ ó 100 μ ó 200 μ ó 500 μ , simulaba el obstáculo desplazado a la derecha o a la izquierda de la línea media. También utilizamos estímulos conformados por un sólo click con los cuatro ITDs descriptos que representan la situación control de lateralización sin efecto precedente (sólo fuente primaria).

Descripción de la prueba: El sujeto escuchaba con auriculares en cada ensayo 2 estímulos sucesivos. El primer estímulo (diótico), la referencia, lo escuchaba proveniente siempre de un mismo lugar: al medio de la cabeza. El segundo (dicótico), estímulo de prueba, lo escuchaba proveniente sólo de dos direcciones posibles: izquierda o derecha. Al final de cada ensayo debía responder "Izquierda", cuando juzgaba que el segundo sonido provenía de la izquierda del primero. Respondía "Derecha" cuando juzgaba que el segundo sonido provenía de la derecha. Las variables PRECEDENCIA (sin vs con efecto precedente), SEÑAL (click artificial vs click real), ICI (2 ms vs 5 ms) e ITD (50 μ vs 100 μ vs 200 μ vs 500 μ) definieron las condiciones experimentales con 4 repeticiones de cada una. GRUPO (Ss con visión normal con entrenamiento musical vs Ss con visión normal sin entrenamiento musical vs Sss ciegos) y ORDEN DE PRESENTACIÓN de los ensayos según señal (artificial-real vs real-artificial) definieron las variables de agrupamiento. La prueba consta 96 ensayos agrupados en dos bloques en los que el sujeto debía juzgar si el estímulo de prueba provenía de la izquierda o de la derecha del estímulo de referencia. El primer bloque '-Sin efecto precedente' (sólo señal directa)- consta de 32 ensayos (2x4x4: Señal x ITD x repeticiones) y el segundo bloque '-Con efecto precedente' (señal directa más la reflejada)- consta de 64 ensayos (2x2x4x4: Señal x ICI x ITD x repeticiones). Se contrabalanceó el orden de presentación de los ensayos según señal y se aleatorizó el mismo dentro de cada bloque. Los sujetos resolvieron individualmente la prueba con auriculares en un recinto semireverberante, en una sesión de 30'. Recibieron retribución monetaria y retroalimentación de sus respuestas.

Resultados y conclusiones: a) Todos los sujetos obtuvieron alto porcentaje de aciertos en la prueba de lateralización diseñada, lo cual corrobora que la habilidad humana para localizar sonidos es muy precisa aún en presencia de reflexiones. b) El entrenamiento musical no influyó sobre el rendimiento en la prueba corroborando nuestros hallazgos previos. c) La variable ITD influyó significativamente en el rendimiento en ambos bloques: la ITD 50 μ s fue más difícil en ambas condiciones y la ITD 100 μ s además, fue más difícil en el bloque 'Con efecto precedente'. d) Fue más difícil la condición 'Con efecto precedente' que 'Sin efecto precedente' para los Ss con visión normal pero no para los Ss ciegos quienes rindieron igualmente bien en ambos bloques. Es importante señalar que la superioridad de estos últimos con respecto a los Ss con visión normal se manifestó en el bloque que requiere la tarea más difícil de lateralizar en presencia de reflexiones lo que apunta a favor de la hipótesis del aprendizaje perceptual: la persona ciega con buena habilidad de ecolocación habría aprendido, sin percatarse siquiera, a percibir obstáculos a través del sostenido y refinado entrenamiento al que está expuesto diariamente. El valor científico que tiene en sí mismo el estudio de la ecolocación se potencia al tomar en cuenta que una persona ciega con buena movilidad independiente ofrece una oportunidad única para estudiar el aspecto dinámico del efecto precedente en situaciones reales y cotidianas. Además, el hecho de que sea el propio sujeto quien genera y controla la señal de ecolocación (líder) le confiere al tema que nos ocupa, por sus importantes implicancias cognitivas perceptuales, aún más interés investigativo.

IV - BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, C. (1996). L'Echolocation humaine chez les handicaps visuels. **L'Année Psychologique**, 96(4), 703-721.
- ARIAS, C; RAMOS, O.A. (1997). Psychoacoustic test for the study of the human echolocation ability. **Applied Acoustics**, 51(4), 399-419.
- (1998). Ecolocación humana: una síntesis de aspectos relevantes. **Discapacidad Visual Hoy. Aportes sobre la Visión diferenciada**, Año 4, Nº 6, 21-28.
- BASSETT, I.G; EASTMOND, E.J. (1964). Echolocation: measurement of pitch versus distance for sounds reflected from a flat surface. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 36, 5, 911-916.
- BLAUERT, J. (1999). **Spatial Hearing. The Psychophysics of human localization**. Revised Edition. MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, England.
- FREYMAN, R.L.; CLIFTON, R.K.; LITOVSKY, R.Y. (1991) Dynamic processes in the precedence effect. **Journal of the Acoustical Society of America**, 90, (2), Pt. 1, 874-884.

- FREYMAN, R.L.; McCALL, D.M.; CLIFTON, R.K. (1998). Intensity discrimination for precedence effect stimuli. **Journal of the Acoustical Society of America**, 103, 2031-2041.
- GRANTHAM, W. D. (1995). Spatial hearing and related phenomena. In **Hearing**, edited by Brian C.J. Moore. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- LITOVSKY, R.Y.; COLBURN, H.S.; YOST, W.A.; GUZMAN, S.J. (1999). The precedence effect. **Journal of the Acoustical Society of America**, 106, 4 (Pt. 1), 1633-1654.
- RAMOS, O.A.; ARIAS, C(1997). Human echolocation: the ECOTEST System. **Applied Acoustics**, 51, 4, 439-445.
- SABERI, K.; PERROTT, D. R. (1990). Lateralization thresholds obtained under conditions in which the precedence effect is assumed to operate. **Journal of the Acoustical Society of America**, 87, 4, 1732-1737.
- SEKI, Y.; IFUKUBE, T. (1994). Relation between reflected sound localization and the Obstacle Sense of the Blind. **The Journal of Acoustical Society of Japan**, 50, 4, 289-295.
- SCHENKMAN, B. (1985). Human echolocation: the detection of objects by the blind. Doctoral Dissertation. Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala.
- TOLLIN, D.J.; HENNING, G.B. (1998). Same aspects of the lateralization of echoed sound in man. I. The classical interaural-delay based precedence effect. **Journal of the Acoustical Society of America**, 104, 5, 3030-3038.