

# Control Eferente de la Respuesta Coclear Basal y Apical en Humanos

## Efferent Control of Human Basal and Apical Cochlear Responses

Óscar Fernández Corrochano, Leticia Nolasco Domingo y Miguel Sagüillo

Tutor:

Luis Enrique López Bascuas

Universidad Complutense de Madrid

### *Resumen*

En este trabajo se han medido curvas de sintonía psicofísica para señales de 500 Hz y de 4000 Hz. Se utilizaron tanto máscaras de larga como máscaras de corta duración para activar selectivamente el reflejo olivococlear medial (OCM) ipsilateral. Asimismo, se añadieron condiciones con ruido blanco contralateral para controlar los efectos del reflejo OCM contralateral. Nuestros resultados indican que el efecto más plausible del reflejo es el de reducir la ganancia coclear haciendo que los umbrales de enmascaramiento disminuyan en todas aquellas condiciones en las que el reflejo está activo. El efecto del reflejo es más claro para la condición de 4000 Hz que para la de 500 Hz. Por tanto, parece sensato afirmar que las Funciones de Transferencia de Modulación de los filtros auditivos humanos cambian dinámicamente en condiciones de escucha normales. Sería útil, en consecuencia, incluir este conocimiento en los nuevos diseños que puedan hacerse de dispositivos para ayudar a la audición como, por ejemplo, los implantes cocleares.

*Palabras clave: filtros auditivos, reflejo olivo coclear medial, control eferente, selectividad en frecuencia, membrana basilar.*

### *Abstract*

In this paper, psychophysical tuning curves have been measured for probe tones of 500 Hz and 4000 Hz. Both, long and short maskers have been used in an attempt to selectively activate the ipsilateral medial olivocochlear reflex (MOCR). Contralateral white noise has also been added selectively in order to control the contralateral MOCR. Our results indicate that the most likely effect of the MOCR is to reduce cochlear gain, decreasing the masked thresholds for all conditions where the reflex is activated. This effect is clearer for the 4000 Hz probe than for the 500 Hz probe. Therefore, it seems reasonable to claim that Modulation Transfer Functions of human auditory filters change dynamically in ordinary listening conditions. A wise strategy would be to include this knowledge in current designs of cochlear implants.

*Keywords: auditive filters, medial olivocochlear reflex, efferent control, frequency selectivity, basilar membrane.*

## Introducción

La arquitectura general del sistema auditivo humano se ha formalizado en términos de un banco de filtros paso-banda solapados y sintonizados a distintas frecuencias temporales (Fletcher, 1940). Postular la existencia de estos filtros ha resultado determinante para poder explicar aspectos fundamentales de la audición humana tales como la percepción de la tonalidad, de la música o del habla. El sustrato fisiológico de la selectividad en frecuencia proporcionada por el banco de filtros reside en la cóclea y, en particular, en el funcionamiento de la membrana basilar que, como es sabido, responde de manera diferencial ante tonos de frecuencias distintas (von Békésy, 1960). Por esta razón, un tema prioritario en la investigación sobre la audición humana ha sido el estudio detallado de la respuesta coclear, intentando encontrar las funciones que mejor describen la respuesta mecánica de cada uno de los puntos de la membrana basilar. Este trabajo tiene, como primer objetivo, el estudio de dos regiones bien distintas de la membrana basilar (una cerca de la base y otra cerca del ápice) con el fin de profundizar en la caracterización de los operadores que describen el comportamiento de esas dos localizaciones cocleares. Por otro lado, la selectividad en frecuencia de una región determinada de la membrana basilar depende a su vez del estado de las células ciliadas externas (Robles y Ruggero, 2001), células que se ven afectadas por señales eferentes que provienen del complejo olivar superior. En particular, las neuronas eferentes olivococleares mediales (OCM) actúan sobre las células ciliadas externas controlando tanto la sensibilidad como las características de sintonización de la membrana basilar (Guinan, 2006). Los eferentes OCM se pueden activar de manera refleja mediante la presentación de sonidos tanto ipsilaterales como contralaterales que cumplan ciertos requisitos físicos (Guinan, 2006; 2010). Por tanto, la respuesta de la cóclea ante estímulos auditivos no es fija, sino que se modifica dinámicamente en función de la situación de escucha y, por consiguiente, la caracterización del sistema no sería completa sin incluir en ella este último extremo. Justamente, uno de los objetivos de este trabajo es evaluar los efectos del reflejo OCM ipsilateral y contralateral en la respuesta coclear.

Aparte de utilizar procedimientos fisiológicos, la membrana basilar ha sido también estudiada de modo no invasivo empleando técnicas psicofísicas basadas en el paradigma de enmascaramiento. En este trabajo utilizaremos un paradigma de enmascaramiento no simultáneo (la máscara aparece antes que la señal) para minimizar la posibilidad de que los resultados estén modulados por los efectos de supresión coclear (Heinz, Colburn y Carney, 2002); el nivel de la señal estará fijado durante todo el experimento para obtener curvas de sintonía iso-respuesta que sean conceptualmente asimilables a las curvas de sintonía fisiológicas (Eustaquio-Martín y López-Poveda, 2011; Oxenhan y Shera, 2003). En resumen, los siguientes experimentos intentan caracterizar las FTMs de dos filtros auditivos (uno basal y uno apical) en

condiciones en las que es posible determinar los efectos del reflejo OCM tanto ipsilateral como contralateral.

## Material y métodos

Para rastrear la forma del filtro tanto en regiones basales como apicales se seleccionaron dos tonos puros en fase coseno, uno con frecuencia temporal de 500 Hz y otro cuya frecuencia era de 4000 Hz. En ambos experimentos de enmascaramiento la amplitud de la señal se mantuvo constante y 10 dB por encima del umbral de audibilidad del sujeto para la frecuencia pertinente. La duración de la máscara fue de 10 ms con rampas de 5 ms al principio y al final del estímulo para evitar artefactos. Las frecuencias de los tonos puros que actuaban como máscaras en el experimento de 4000 Hz fueron, 2000, 2800, 3600, 3800, 4000, 4200, 4400 y 4800 Hz. Y para el de 500 Hz fueron, 250, 350, 450, 475, 500, 525, 550 y 600 Hz. Por tanto, para cada localización disponíamos de 8 puntos para construir la curva psicofísica de sintonización. Para estudiar los efectos del reflejo OCM contralateral se añadió un ruido blanco de banda ancha en el oído contralateral con una amplitud de 60 dB SPL. Para estudiar los efectos del reflejo OCM ipsilateral se manipuló la duración de la máscara. Se utilizaron máscaras cortas de 40 ms (que no activan el reflejo ipsilateral) y máscaras largas de 250 ms (que sí lo activan). El intervalo de tiempo entre la máscara y la señal fue de 2 ms. Por tanto, el estudio global constaba de cuatro condiciones: 1) con ruido contralateral y máscara corta (sólo reflejo contralateral activo), 2) sin ruido contralateral y máscara corta (ningún reflejo activo), 3) con ruido contralateral y máscara larga (ambos reflejos activos) y 4) sin ruido contralateral y máscara larga (sólo reflejo ipsilateral activo).

Se utilizó un procedimiento de elección forzada con dos alternativas para averiguar la potencia mínima de la máscara que se requería para enmascarar de hecho la señal siguiendo procedimientos descritos en Levitt, 1971. Dos sujetos voluntarios BLC (22 años) y OFC (24 años) participaron en los experimentos que se realizaron en una cabina con atenuación acústica.

## Resultados y discusión

Los resultados generales de OFC aparecen representados en la figura 1 (sólo se representan los resultados de un sujeto por razones de espacio). Como se puede observar el patrón general, (coincidente para los dos sujetos) a través de todas las condiciones, es que dicho nivel disminuye conforme aumenta la similitud entre la frecuencia de la máscara y de la señal. Este hecho refuerza la idea de que las señales están siendo procesadas por un filtro sintonizado en la frecuencia de la señal que tiene una anchura de banda limitada. Se puede observar que la sintonía es mayor para este

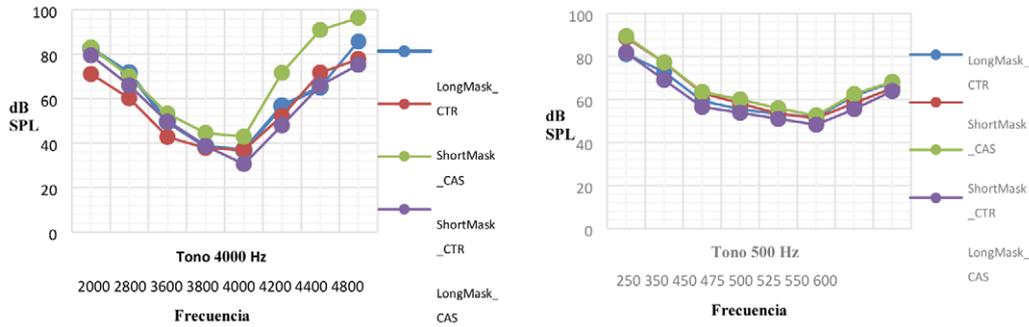


Figura 1. Resultados para el sujeto OFC en las cuatro condiciones experimentales para las señales de 4000 y 500 Hz.

último filtro que para el filtro centrado en 4000 Hz. Este resultado es consistente con el hecho, ampliamente establecido, de que la anchura de banda de los filtros va aumentando según nos movemos de posiciones apicales hacia posiciones basales de la membrana basilar

Con relación a los efectos del reflejo OCM sobre las curvas de sintonía psicofísica de los filtros podemos observar que éstos son mucho más claros para el tono de 4000 Hz que para el tono de 500 Hz. Dado que para 500 Hz las diferencias son mínimas, vamos a centrar nuestra atención en los resultados obtenidos con la señal de alta frecuencia. El patrón general parece indicar que la activación del reflejo reduce la ganancia coclear haciendo que disminuyan los umbrales de enmascaramiento. Esto puede verse con especial claridad en el panel izquierdo de la figura 1. Si se compara la condición de control (condición en la que ningún reflejo está activo) con cualquiera de las otras tres condiciones es claro que los umbrales de enmascaramiento son siempre mayores para la primera. Para frecuencias inferiores a la frecuencia de sintonía del filtro parecería que el reflejo contralateral genera una reducción mayor que el reflejo ipsilateral, en tanto que para las frecuencias más altas la magnitud del efecto es similar. No obstante, no parece que el efecto sumado de ambos reflejos permita una reducción de la ganancia coclear mucho mayor de la que se obtiene al activar cualquiera de ellos por separado.

### Conclusiones

Las conclusiones principales de este trabajo son las siguientes (algunas confirmando resultados previos y otras novedosas): 1) el sistema auditivo está constituido por filtros paso-banda, 2) la forma del filtro es la de una U invertida, 3) la anchura de banda del filtro aumenta con la frecuencia de sintonía del mismo, 4) la activación del reflejo OCM disminuye la ganancia coclear y hace que se reduzcan los umbrales de enmascaramiento, 5) el efecto del reflejo OCM es más claro para señales de 4000 Hz que para señales de

500 Hz, 6) parece que existe una tendencia que indica que la magnitud del reflejo OCM contralateral reduce la ganancia para todas las frecuencias utilizadas como máscaras; sin embargo, el reflejo OCM ipsilateral afecta más a las frecuencias superiores a la frecuencia central del filtro y 7) sería útil implementar estos hallazgos en sistemas de audición artificial (implantes cocleares) en la medida en que la activación del reflejo OCM podría contribuir a mejorar la inteligibilidad en entornos ruidosos.

### Referencias

- Eustaquio-Martín, A., & López-Poveda, E. A. (2011). Isoresponse versus isoinput estimates of cochlear filter tuning. *Journal of Association for Research Otolaryngology*, 12, 281-299. <https://doi.org/10.1007/s10162-010-0252-1>
- Fletcher, H. (1940). Auditory patterns. *Reviews of Modern Physics*, 12, 47-65. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.12.47>
- Guinan, J. J., Jr. (2006). Olivocochlear efferents: Anatomy, physiology, function and the measurement of efferent effects in humans. *Ear and Hearing*, 27, 589-607. <http://doi.org/10.1097/01.aud.0000240507.83072.e7>
- Guinan, J. J. (2010). Cochlear efferent innervation and function. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 18, 447-453. <http://doi.org/10.1097/MOO.0b013e32833e05d6>
- Heinz, M. G., Colburn, H. S., & Carney, L. H. (2002). Quantifying the implications of nonlinear cochlear tuning for auditory-filter estimates. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111, 996-1011. <https://doi.org/10.1121/1.1436071>
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in Pshychoacustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49, 467-477. <http://doi.org/10.1121/1.1912375>
- Robles, L.; & Ruggero, M. A. (2001). Mechanics of the mammalian cochlea. *Physiological Reviews*, 81, 1305-1352. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1305>
- von Békésy, G., (1960). *Experiments in hearing*. New York, NY: McGraw-Hill.