DESARROLLO DEL SISTEMA AUDITIVO

José Luis Blanco MSc

Contenidos

- Maduración y organización del córtex auditivo
- Desarrollo del sistema auditivo central en el recién nacido sordo
- Plasticidad del sistema
  - Estimulación precoz
- Conclusiones
- Bibliografía

Maduración y organización del córtex auditivo

Hay dos formas de vivir tu vida.
Una es pensar que nada es un milagro.
La otra es pensar que todo es un milagro.

Albert Einstein (1879-1955)

www.ehd.org

J.L. Blanco

- “La cóclea humana alcanza dimensiones adultas alrededor de los 5 meses de gestación y se produce la inervación de las CCE.
- Entre los 6 y 7 meses aparecen las primeras sinapsis consideradas maduras”

Pujol y col. 1991

- “Probablemente la maduración del oído interno finaliza durante el octavo mes, con la organización de las conexiones aferentes y eferentes”

Lecanuet. 1998

- “La mielinización de las fibras subcorticales empieza en el séptimo mes de gestación, proceso que adquiere su mayor desarrollo en la etapa postnatal
- Las neuronas subcorticales se construyen entre el 5º y el 7º mes de gestación, pero se encuentran aún en los inicios del proceso de mielinización. Hablamos ya de la semana 28 y el estado de la estructuración de la vía auditiva no hace aún viable la audición, como fenómeno biológico
- En el 6º mes de vida intrauterina se va haciendo evidente la fisura de Silvio. Entre los meses 8º y 9º IU aparecen los surcos y circunvoluciones del patrón definitivo de los hemisferios, cuyo desarrollo pleno se alcanza a los tres años de edad”

Barrio Tarnawiecki. 2000

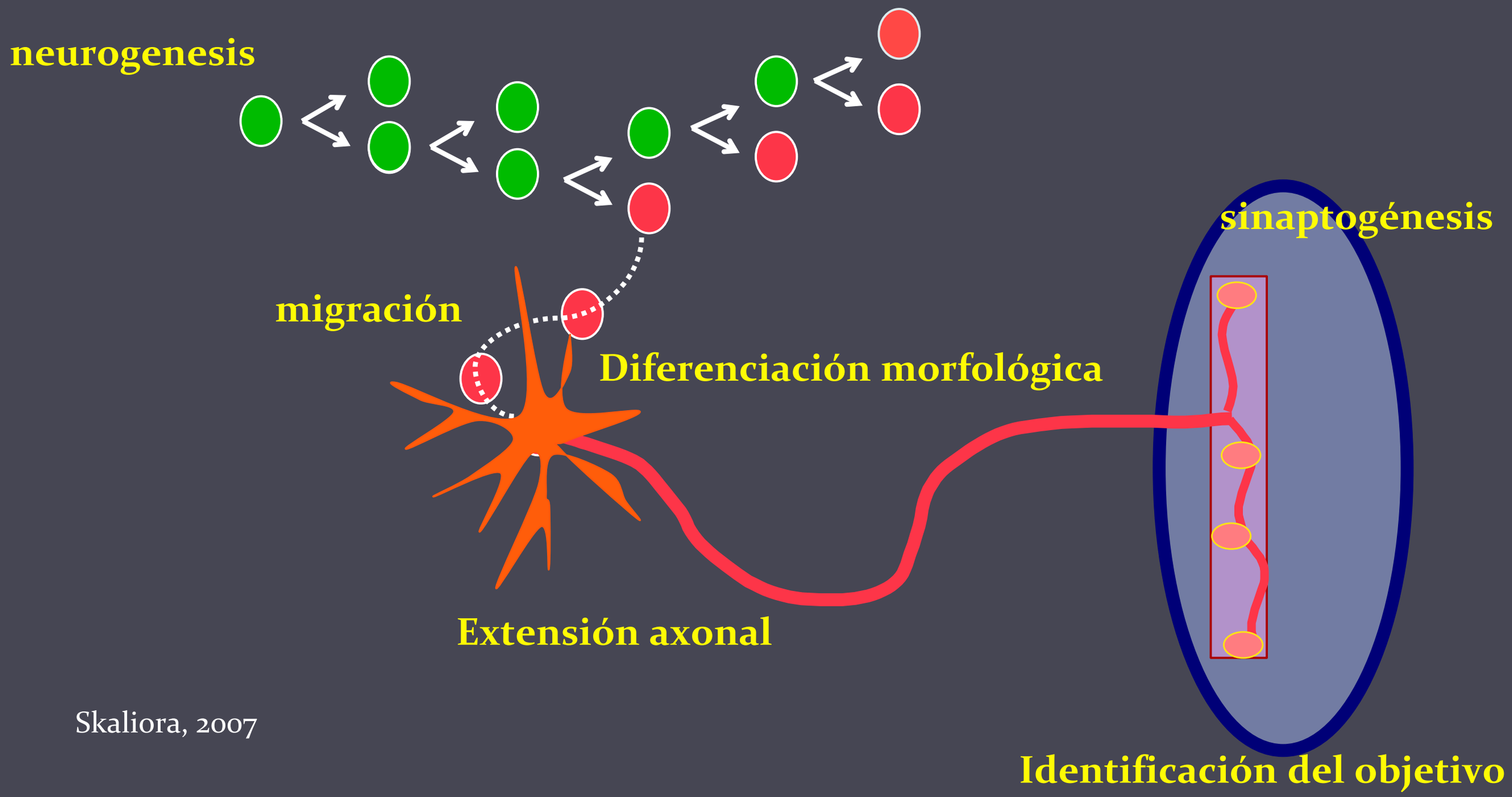
- “La cóclea humana es funcional en el nacimiento, pero el sistema auditivo es todavía inmaduro y necesita muchos cambios en su desarrollo postnatal”.

Graniere-Deferre y col. 1985

- “La maduración del sistema auditivo afecta a diferentes mecanismos incluidos la diferenciación y migración celular, mielinización, arborización y sinaptogénesis.
- La maduración de la arborización y la sinaptogénesis están influenciadas por la **estimulación**”

Musiek y col. 2007

Etapas del desarrollo



Skaliora, 2007

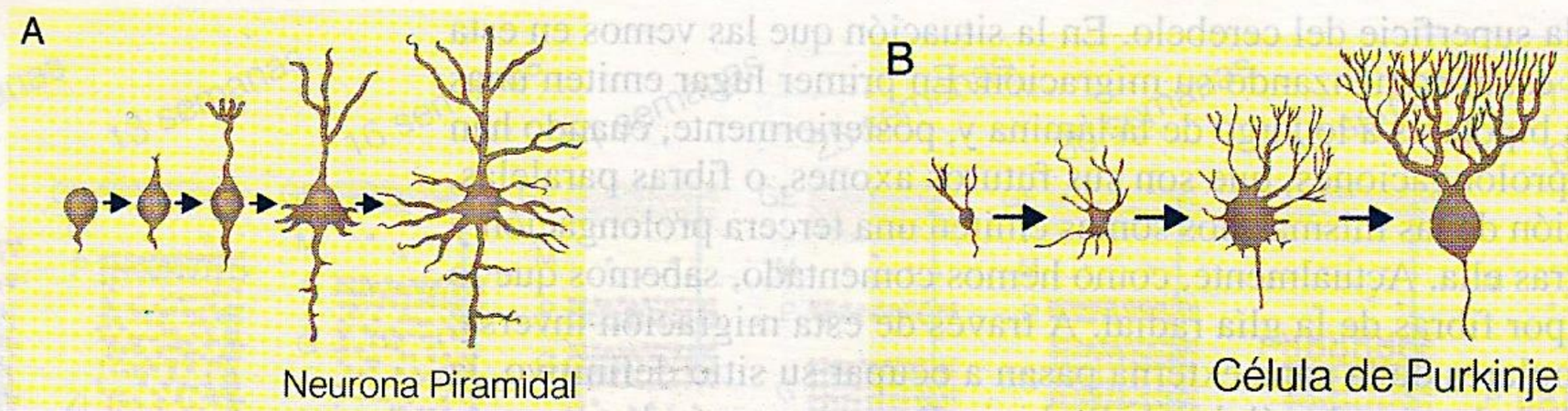
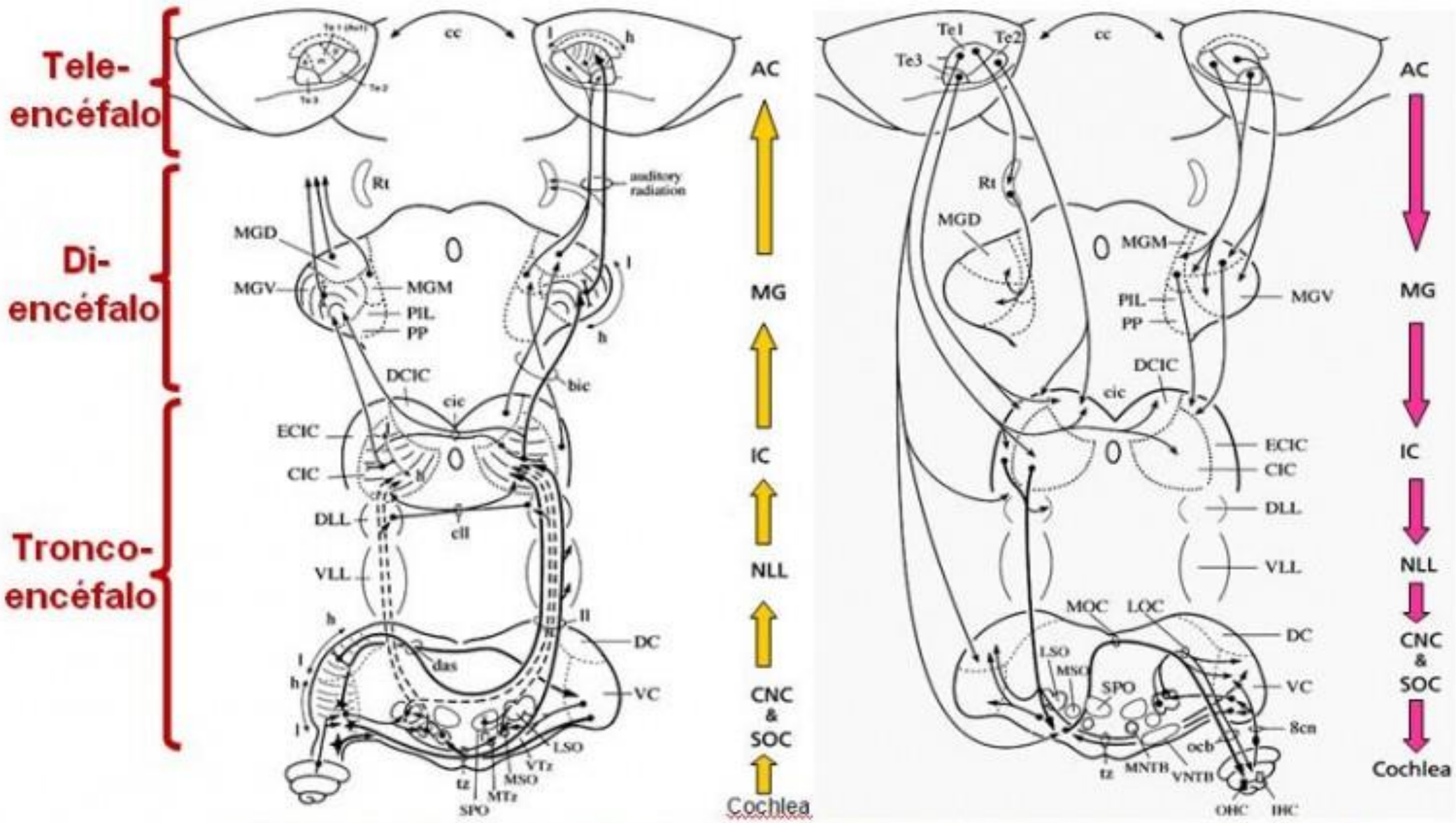


Figura 16.19 **A**. Diferenciación de una célula piramidal de la corteza cerebral. **B**. Diferenciación de una célula de Purkinje del cerebelo.

- “La organización frecuencial de la cóclea alcanza su configuración madura en un estadío muy temprano del desarrollo, probablemente antes del nacimiento. El refinamiento de la representación frecuencial en el cerebro también se produce en un momento temprano del desarrollo, pero evidencias sugieren que puede continuar hasta la edad adulta.
- La base de la cóclea madura antes que el apex y sin embargo en el colículo inferior neonatal del gato encontramos neuronas con un rango limitado de sensibilidad en bajas frecuencias.
- Con su desarrollo, la proporción de núcleos que contienen neuronas sensibles a sonidos de baja frecuencia disminuyen a expensas de neuronas sensibles a, progresivamente, frecuencias más altas”

King y Moore. 1991

Vía auditiva aferente y eferente

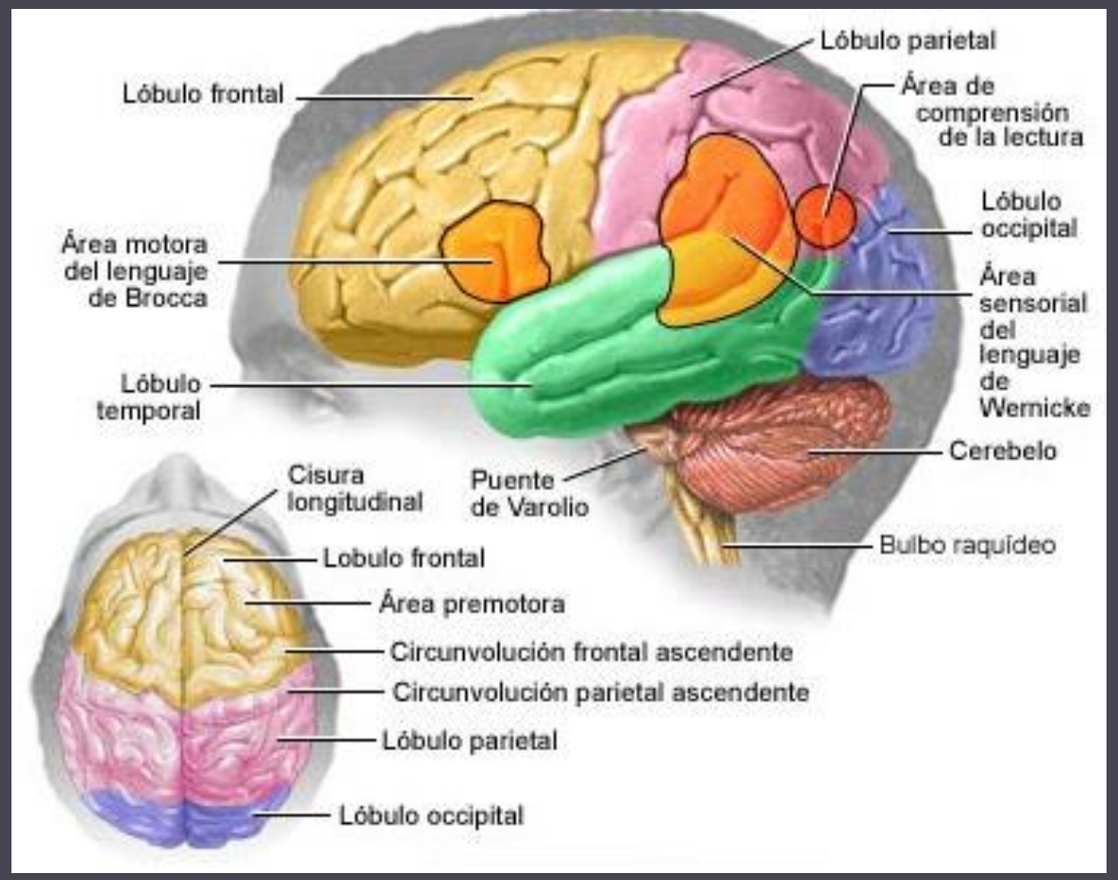


Malmierca y Merchán, Auditory System. En Paxinos: The Rat Nervous System, 2004

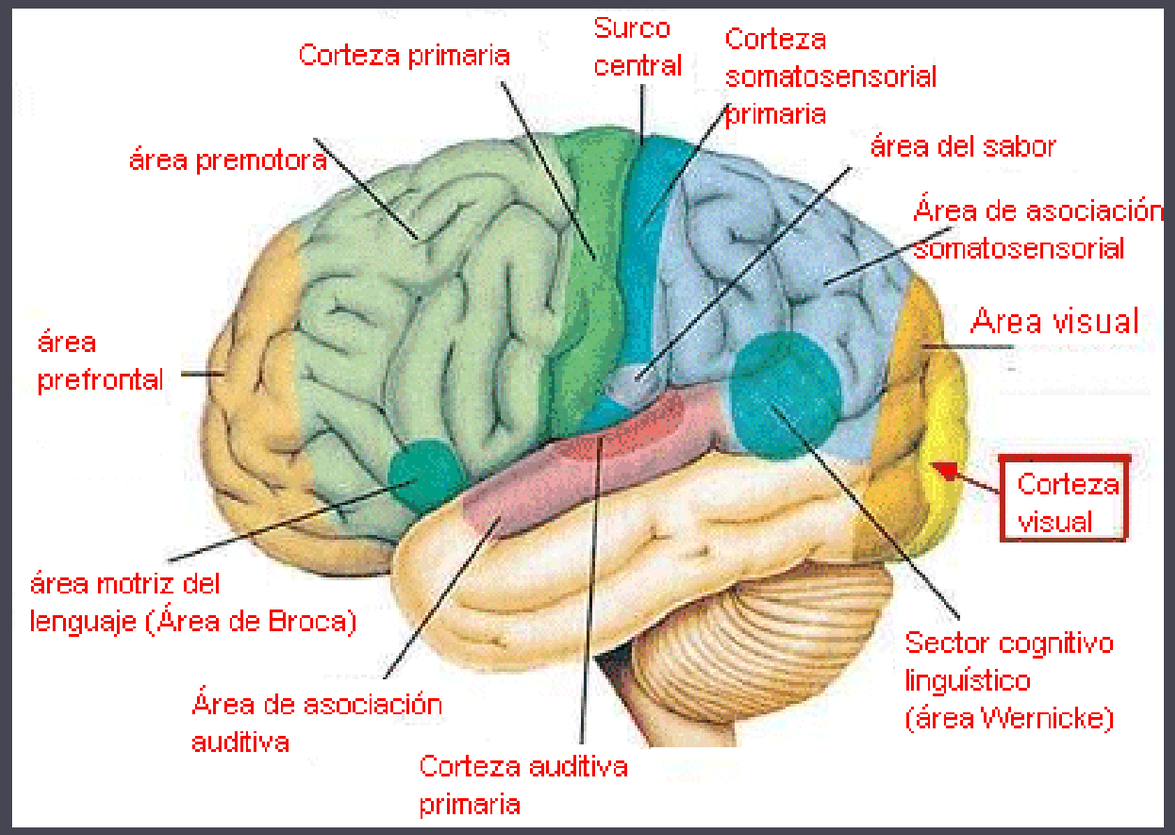
J.L. Blanco

Organización del Córtex Auditivo

- Los estímulos nerviosos se reciben (e interpretan como sonidos) en las denominadas áreas auditivas I y II que se encuentran en las inmediaciones de la cisura de Silvio del lóbulo temporal. (Córtex auditivo primario en las áreas de Brodmann 41 y 42)
- Este córtex primario se encuentra rodeado por áreas de asociación (áreas de Brodman 22 y 52)


Lóbulo parietal
Lóbulo frontal
Área de comprensión de la lectura
Lóbulo occipital
Área motora del lenguaje de Brocca
Área sensorial del lenguaje de Wernicke
Lóbulo temporal
Cerebelo
Cisura longitudinal
Puente de Varolio
Bulbo raquídeo
Lobulo frontal
Área premotora
Circunvolución frontal ascendente
Circunvolución parietal ascendente
Lóbulo parietal
Lóbulo occipital

J.L. Blanco


Corteza primaria
Surco central
Corteza somatosensorial primaria
área premotora
área del sabor
Área de asociación somatosensorial
Area visual
área prefrontal
Corteza visual
área motriz del lenguaje (Área de Broca)
Sector cognitivo linguístico (área Wernicke)
Área de asociación auditiva
Corteza auditiva primaria

J.L. Blanco

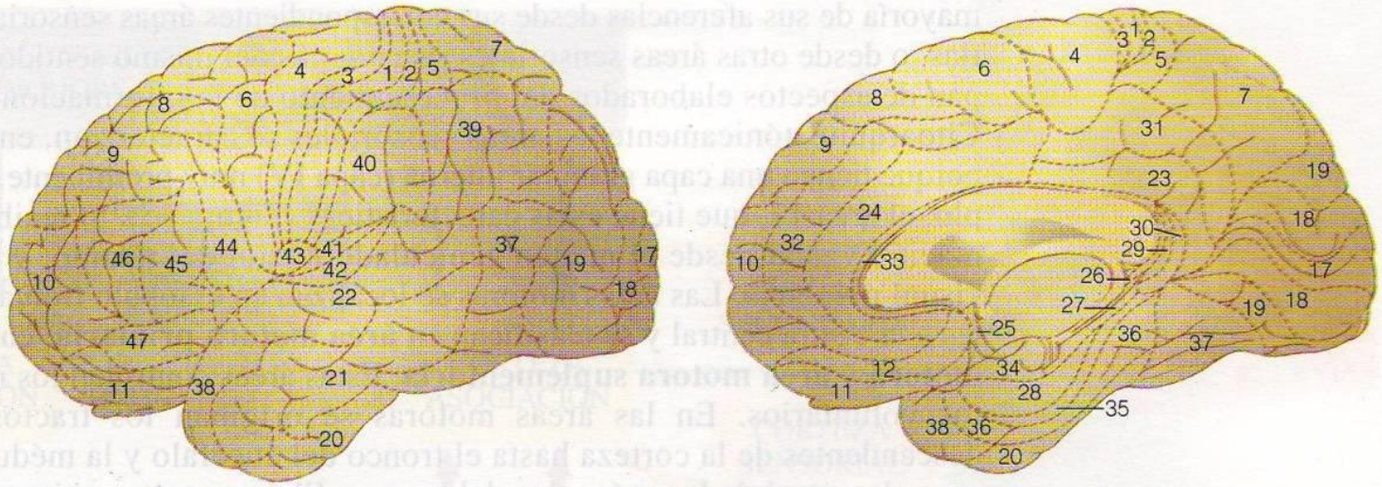
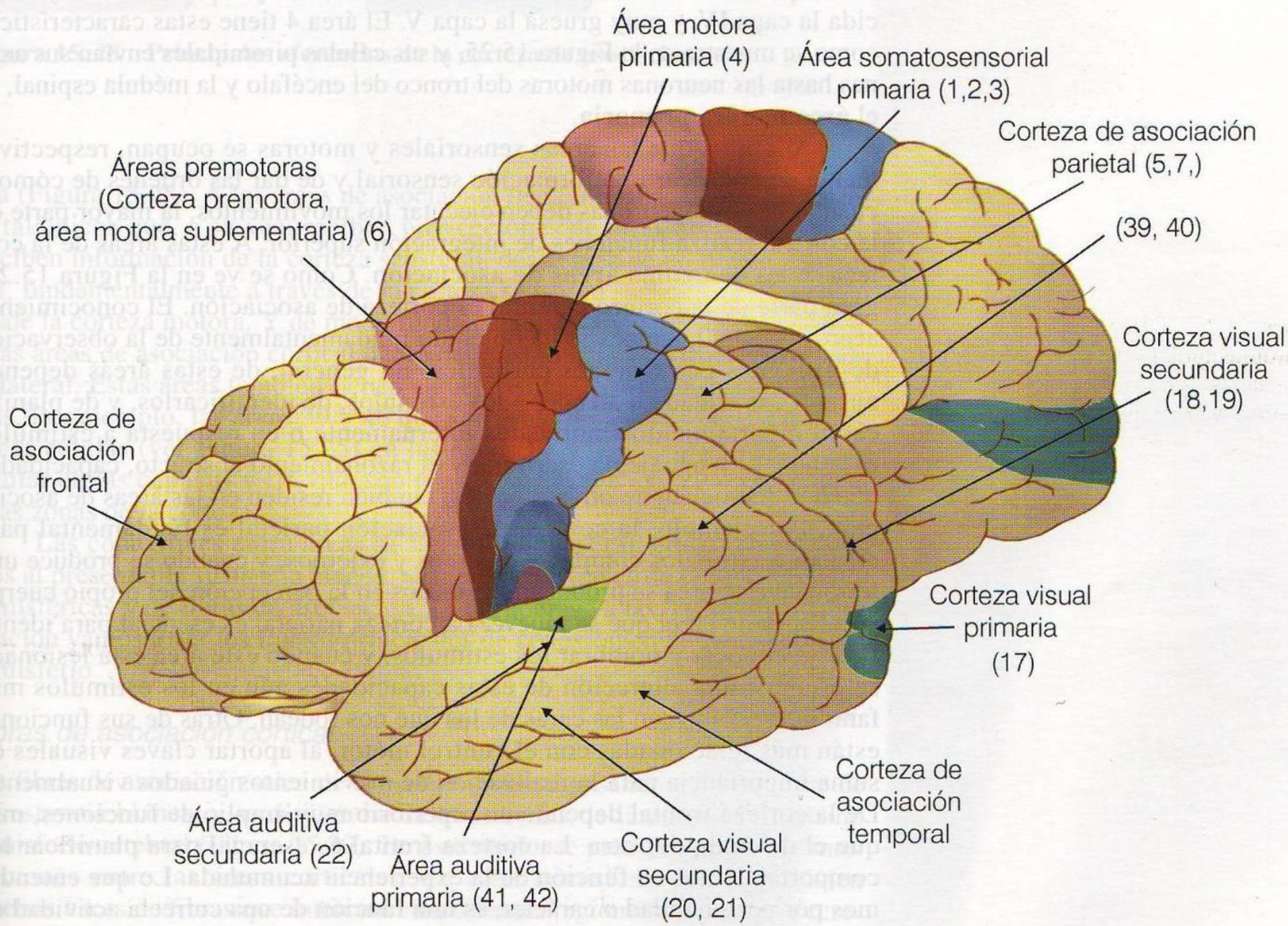


Figura 15.26 Mapa citoarquitectónico de la corteza cerebral humana. (Según Brodmann 1909. Adaptada de Nieuwenhuys, *et. al.* 1988).



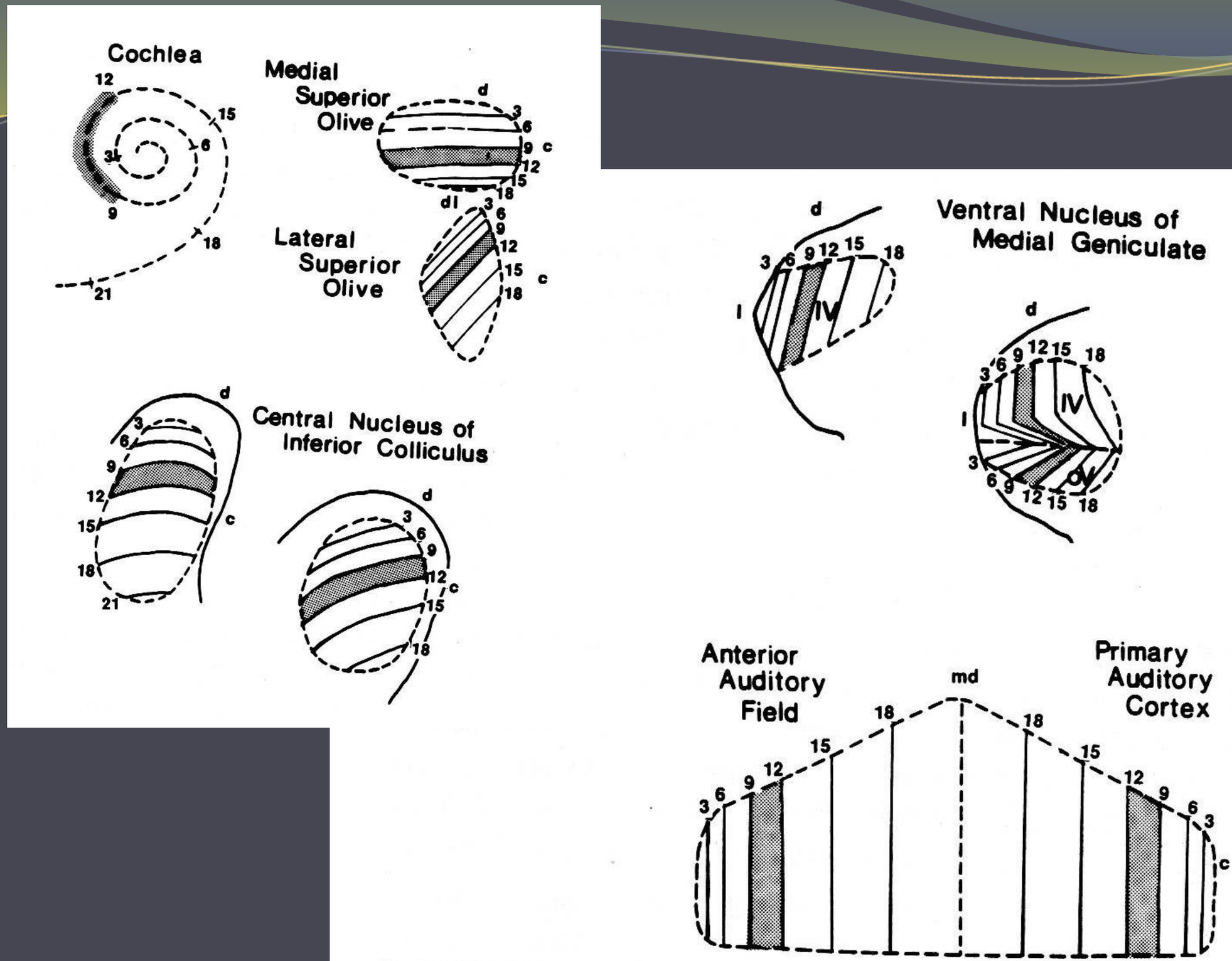
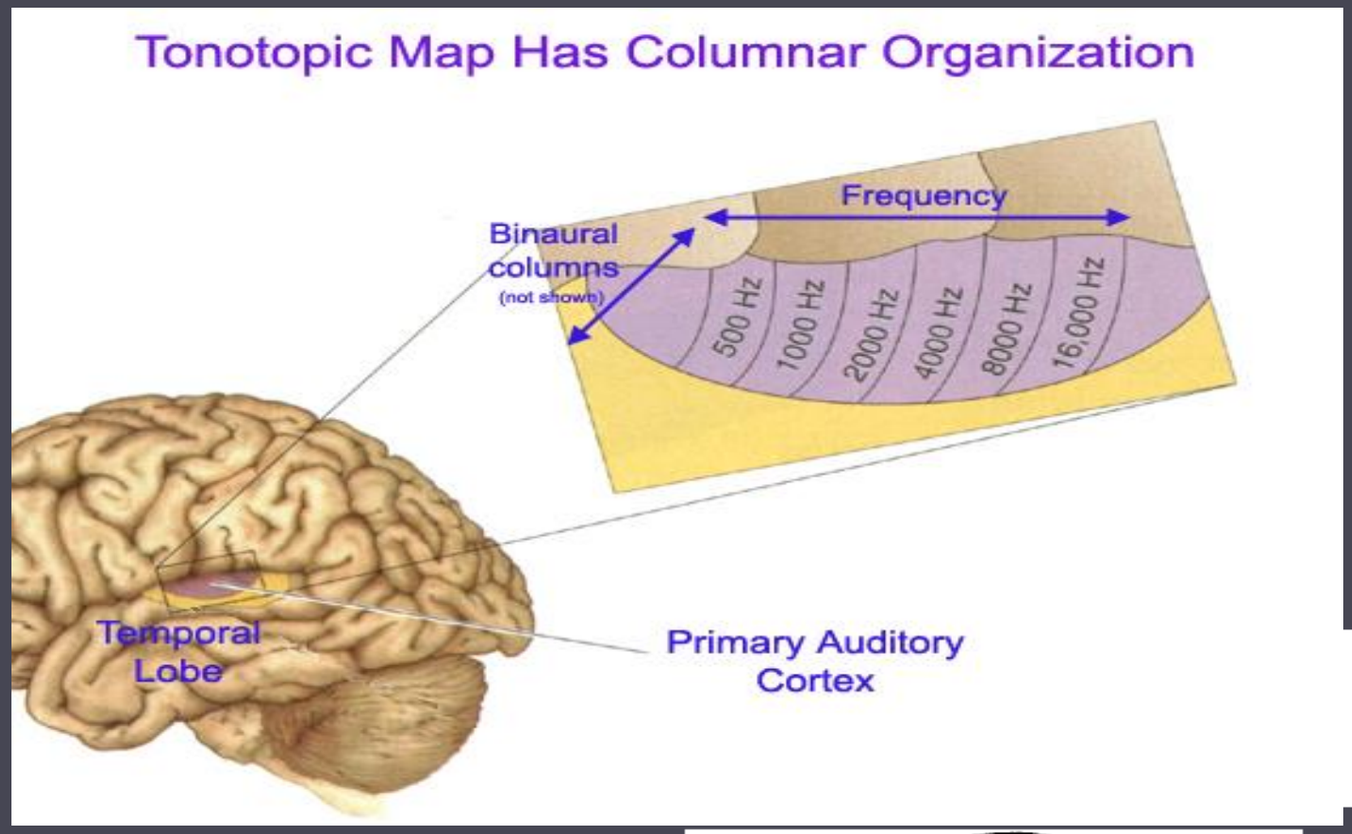
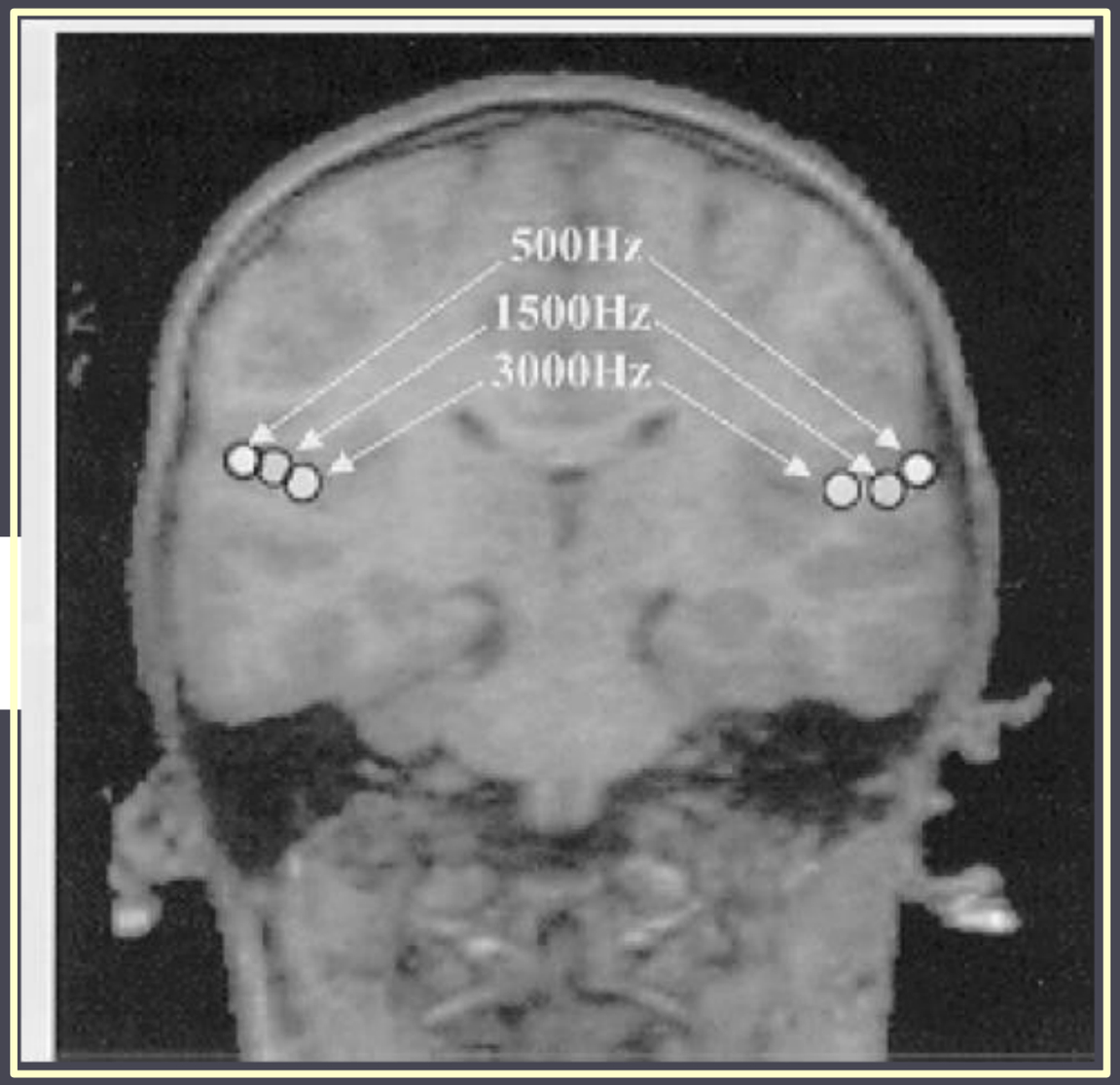


FIGURE 5 Schematic representation of the cochleotopic organization within each of the major nuclei of the auditory nervous system. The bands indicate 3 mm sections of the cochlear sensory epithelium with the 9–12 mm section shaded. Abbreviations: *r*, rostral; *c*, caudal; *d*, dorsal; *v*, ventral; *l*, lateral. (From Merzenich, Roth, Anderson, Knight & Colwell, 1977, with permission.)

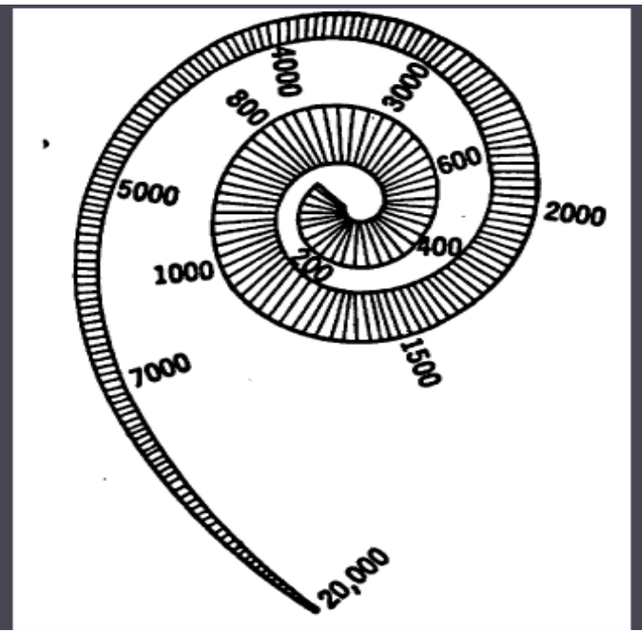
MÉTODO

Campos evocados auditivos magnéticos.
Tonotopía cortical auditiva.



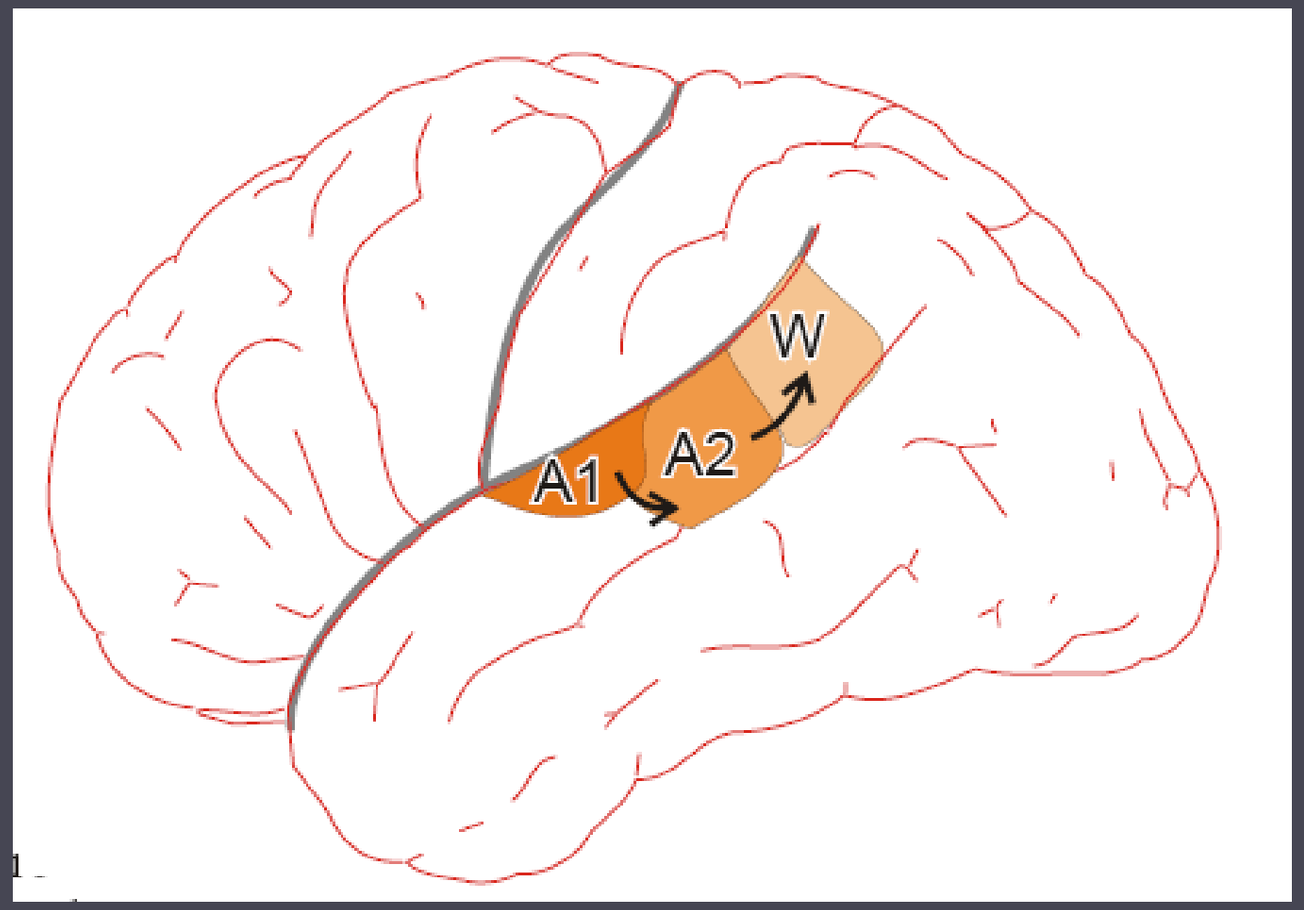


Pantev et al. 1998



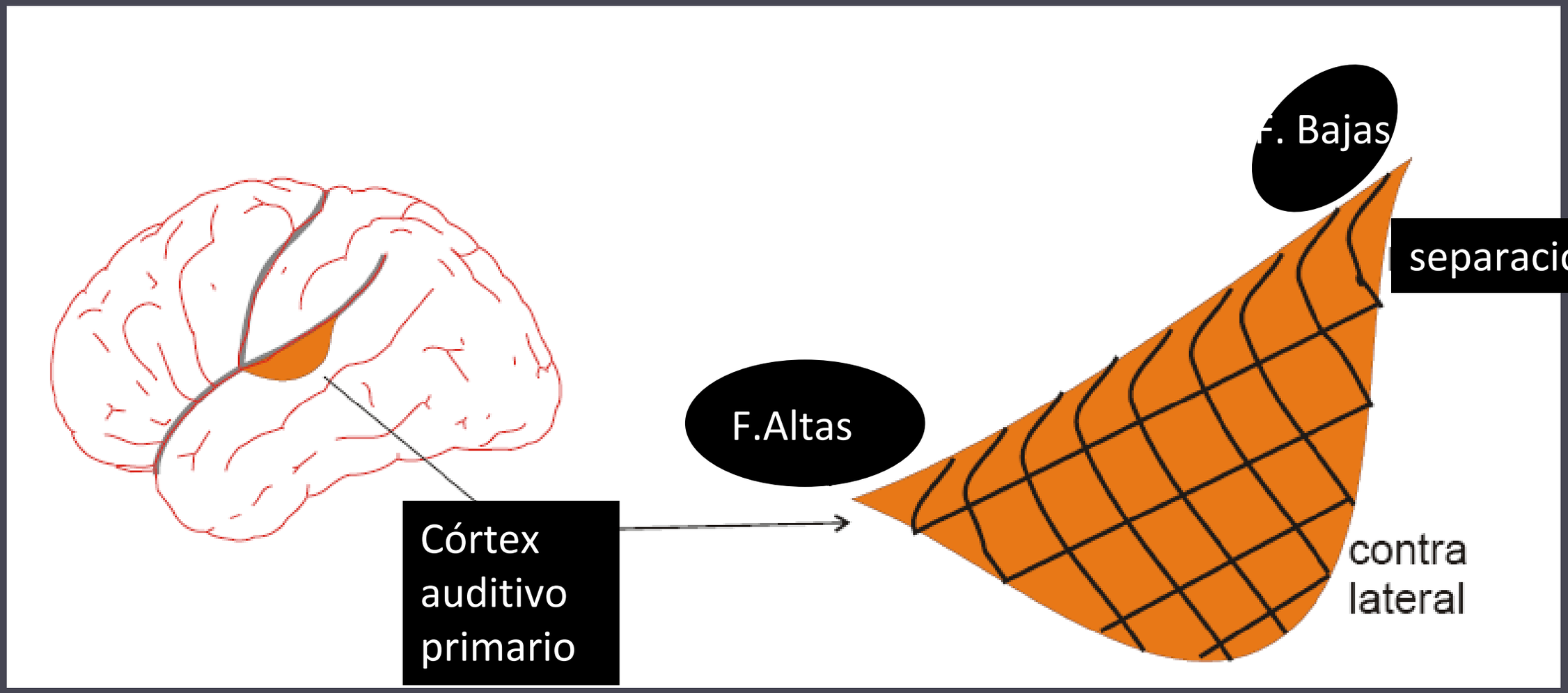
Ortiz. 2007

Los sonidos recibidos en el córtex primario auditivo A1, son procesados posteriormente por otras áreas superiores A2.
Los sonidos que componen las palabras se procesan en el área de Wernicke (W).



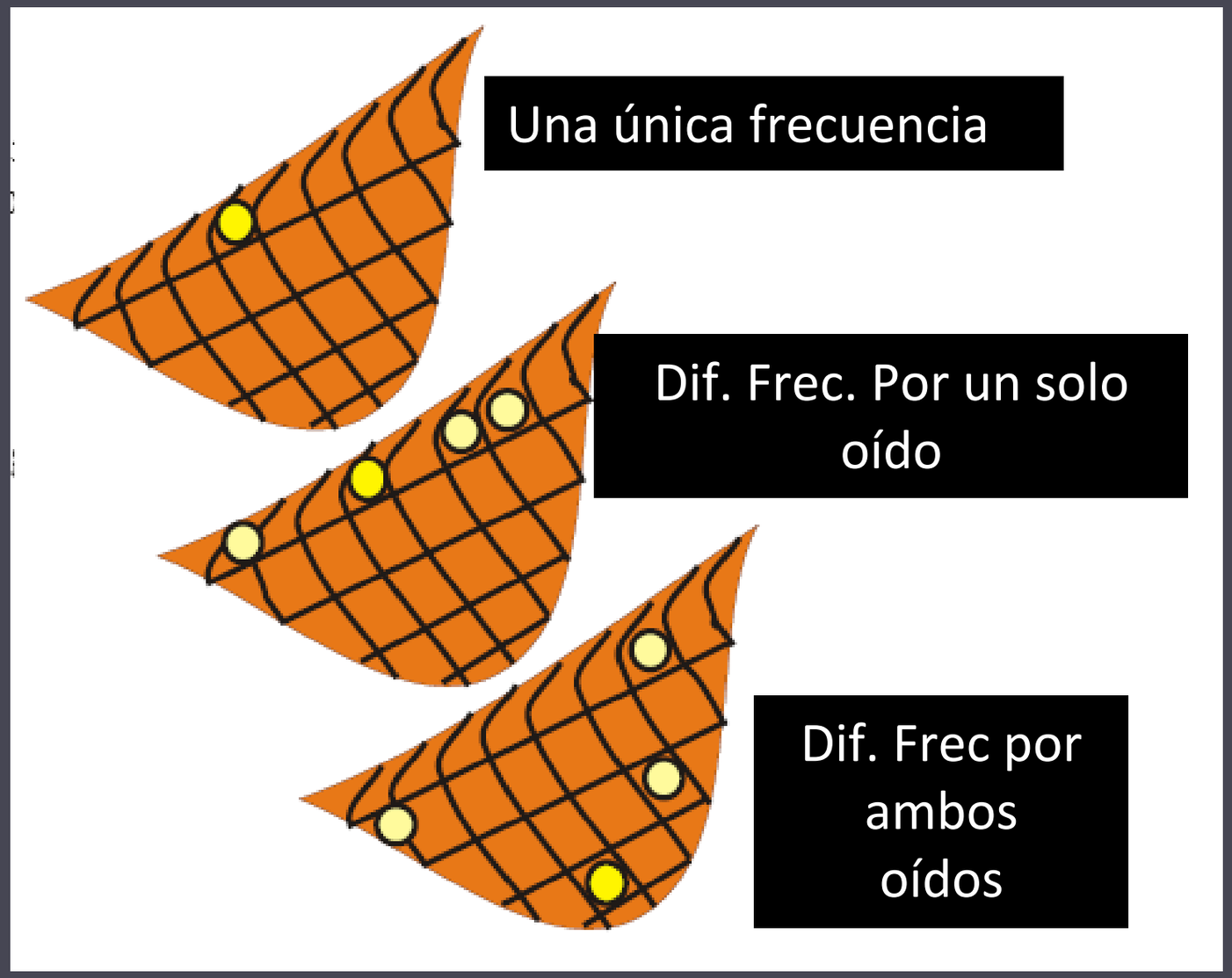
J.L. Blanco

El córtex auditivo mantiene la tonotopía que encontramos en la membrana basilar. Existe una reiteración de localizaciones para los diferentes sonidos. Cada uno de los lóbulos representa los sonidos del lado contralateral. (Vías cruzadas)



J.L. Blanco

Cuando se perciben sonidos de varias frecuencias por un solo oído, se activa una única cinta. La audición binaural añade la localización de la señal (por las dif. de tiempo e intensidad) y se activan múltiples cintas en función de la localización



J.L. Blanco

La organización que hemos visto se consigue mediante la estimulación

- "La maleabilidad de las cortezas sensoriales no están restringidas a un período sensitivo temprano, sino que continúa, aunque quizá en menor grado, a lo largo de toda la vida".

Kaas. 1991

- "Niños de diferentes países no muestran inicialmente una preferencia hacia los fonemas característicos de su idioma natal, sin embargo, aproximadamente a los 6 meses de vida desarrollan de manera aparentemente repentina esta preferencia".

Kuhl y col. 1992

- “Cambios en el espacio fonético percibido se acompañan de los correspondientes cambios en la representación cerebral. En un nivel neuronal, nos podemos imaginar que las neuronas están sintonizadas a combinaciones específicas de información espectral y temporal distribuidas a lo largo de la superficie cortical.
- La plasticidad auditiva cortical permitiría la formación de dichas estructuras gracias a la influencia del ambiente fonético temprano”.

Perani y col. 1996 (Tomado de Rauschecker)

- Incluso existiendo una capacidad innata para el lenguaje, la adquisición del lenguaje hablado difícilmente puede adquirirse sin la retroalimentación auditiva y la capacidad de aprender.

Juscyk. 1997

Desarrollo del sistema auditivo central en el recién nacido sordo

J.L. Blanco

- La maduración de las funciones cerebrales requieren estímulos sensoriales. La privación sensorial durante la infancia tiene como consecuencia serios déficits en sus respectivas estructuras del sistema nervioso central.

Moore. 1985

- La privación sensorial causa una disminución en las respuestas a la estimulación sensorial de las áreas correspondientes y el deterioro de los correspondientes axones, incluidas la reducción en el número de ramas y en el tamaño de los botones sinápticos.

Antonin y Stryker. 1994, citado por Fox 1995

- En contraste con la organización frecuencial de la corteza auditiva, la plasticidad de la sintonización auditiva espacial en el colículo superior puede estar restringida a un período sensible durante el desarrollo.

King y Moore. 1991

- La audición pasiva de tonos puros suponen la expansión de la representación de las frecuencias a nivel del córtex auditivo en animales jóvenes, un efecto que no ha sido descrito en adultos.

En humanos: Durante los primeros 8 años de vida la capacidad de diferenciar fonemas de lenguas extranjeras se pierde gradualmente.

Kral y Tillein. 2006

- En el córtex auditivo humano, la densidad sináptica crece considerablemente durante los primeros 4-6 meses después del nacimiento, obteniéndose la máxima densidad sináptica a la edad de 0,5-4 años. Posteriormente la densidad sináptica decrece desde los 2-4 años hasta la adolescencia (~15 años). Cambios en el desarrollo funcional de los potenciales evocados auditivos corticales se extienden hasta los > 12 años de edad y este desarrollo se retrasa por la hipoacusia prelocutiva.

Kral y col. 2005

- Respuestas corticales anormales se encontraron en niños que recibieron implantes mayores de 7 años, en algunos casos incluso después de 10 años de estimulación.

Sharma y col. 2004

- Niños con audición normal, muestran activación bilateral de las áreas auditivas corticales. Los niños que recibieron implantes cocleares a una edad temprana < 3,5 años, mostraron activación de las áreas corticales auditivas contralaterales a la del implante que se asemejaban, en su mayor parte, a los normoyentes. Sin embargo los niños implantados más tarde (> 7 años) mostraron activación fuera de las áreas auditivas corticales (áreas visual y parietotemporal).

Estos resultados son consistentes con la hipótesis del "desacoplamiento" que sugiere una desconexión funcional entre el córtex primario y los de orden superior subyacentes al final del período sensible en los gatos sordos congénitos y, presumiblemente en los niños con hipoacusia congénita.

Sharma y col. 2009

Consecuencias de la privación auditiva congénita en el córtex auditivo. Kral y col. 2000

Disminución general significativa en la excitabilidad neuronal para la estimulación eléctrica periférica de la cóclea

Aumento de la latencia de la corriente sináptica

Disminución sustancial de la actividad sináptica de latencias largas y en las capas infragranulares

- Estos resultados muestran deficiencias sustanciales en la actividad del córtex auditivo en respuesta a la estimulación del nervio auditivo.

Hipoacusia neurosensorial congénita

- En esta edad, las pérdidas auditivas impiden la formación del lenguaje perdiéndose incluso el laleo inicial al no tener "feedback" auditivo.
- Las hipoacusias severas dan lugar a la reconfiguración de las áreas corticales destinadas a la recepción y descodificación del sonido.
- También pueden alterarse la percepción frecuencial y determinadas claves necesarias para la localización sonora.

Blanco y Serra. 2005

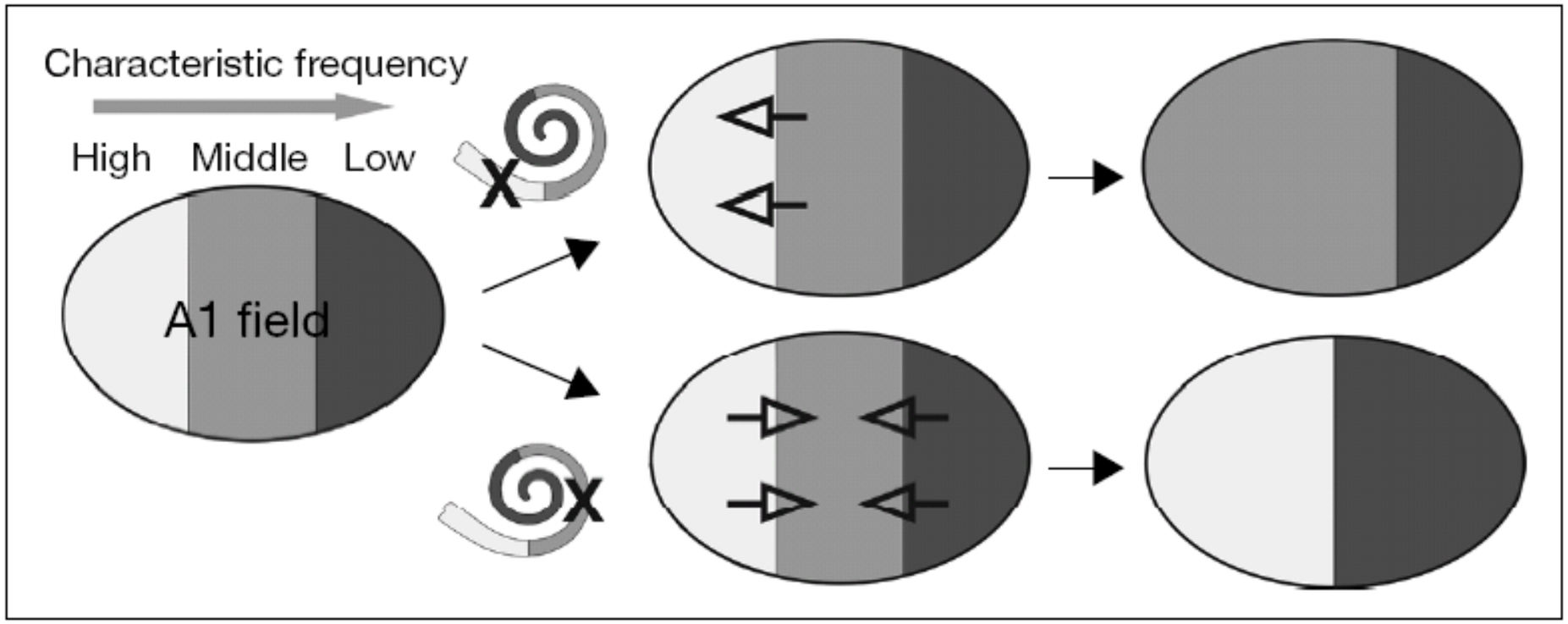
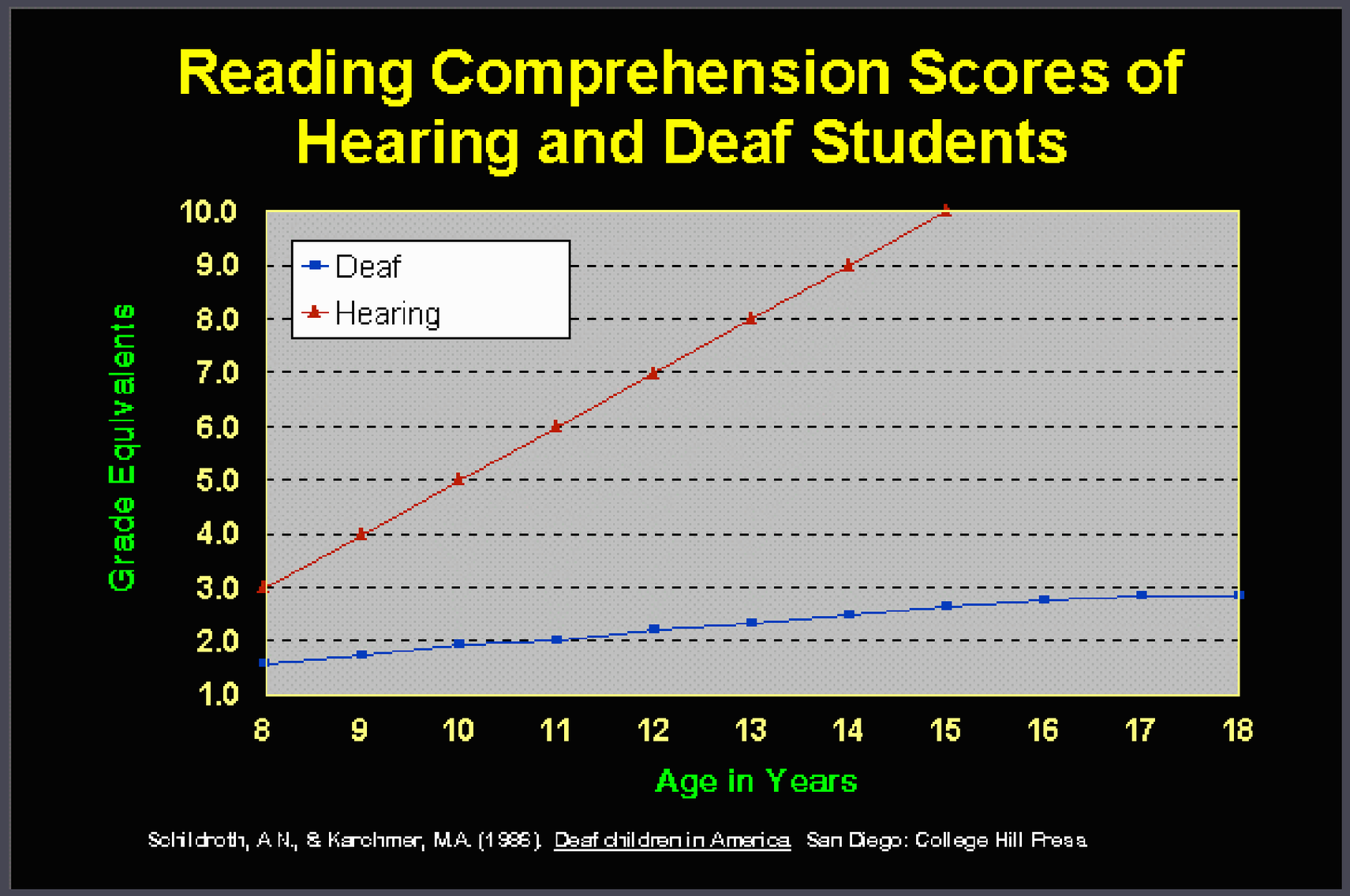


Fig. 1. Effects of restricted cochlear damage on the cortical representations. Damage in the high-frequency region of the cochlea leads to cortical remapping of the middle-frequency representation with the effect of expanded middle frequencies at the level of the cortex. Damage in the middle-frequency region of the cochlea leads to expansion of the high-frequency and low-frequency regions at the level of the auditory cortex.

Kral y Tillein. 2006



Trabajo de la Universidad Gallaudet

J.L. Blanco

Plasticidad del sistema: estimulación precoz

J.L. Blanco

- Algunos estudios en el gato han indicado que la plasticidad en la corteza auditiva de orden superior es mayor que en el córtex auditivo primario.

Kral y Tillein. 2006

- Es sabido que la capacidad de discriminación verbal puede empeorar en el oído no adaptado en individuos que tienen una hipoacusia bilateral con amplificación unilateral.

Gelfan y Silman. 1993

- Estudios en animales han demostrado que las áreas funcionales del ganglio espiral disminuyen en el oído no estimulado, que la estimulación eléctrica intracoclear promueve la supervivencia de las neuronas del ganglio espiral, y que la organización cocleotópica del colículo inferior se reduce severamente si la estimulación eléctrica no se inicia a una edad temprana.
- En humanos, el efecto de la deprivación auditiva en el sistema nervioso central se ha examinado de forma indirecta mediante el estudio de la latencia de la respuesta cortical auditiva P1 como indicador de la maduración cortical en respuesta al sonido.
- La rápida disminución de la latencia de la P1 después del implante coclear es un reflejo indirecto de la plasticidad auditiva central.

Bauer y col. 2006

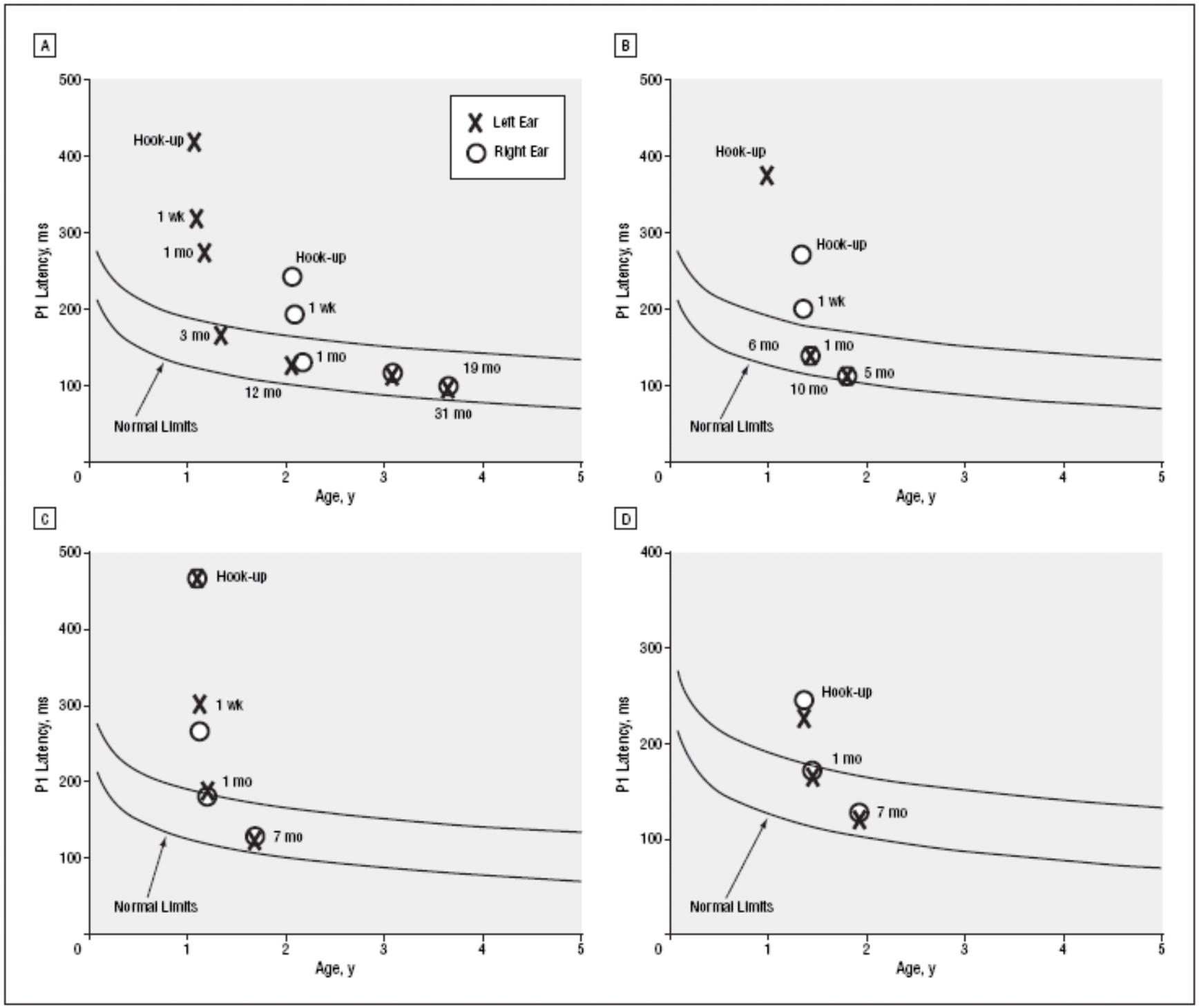
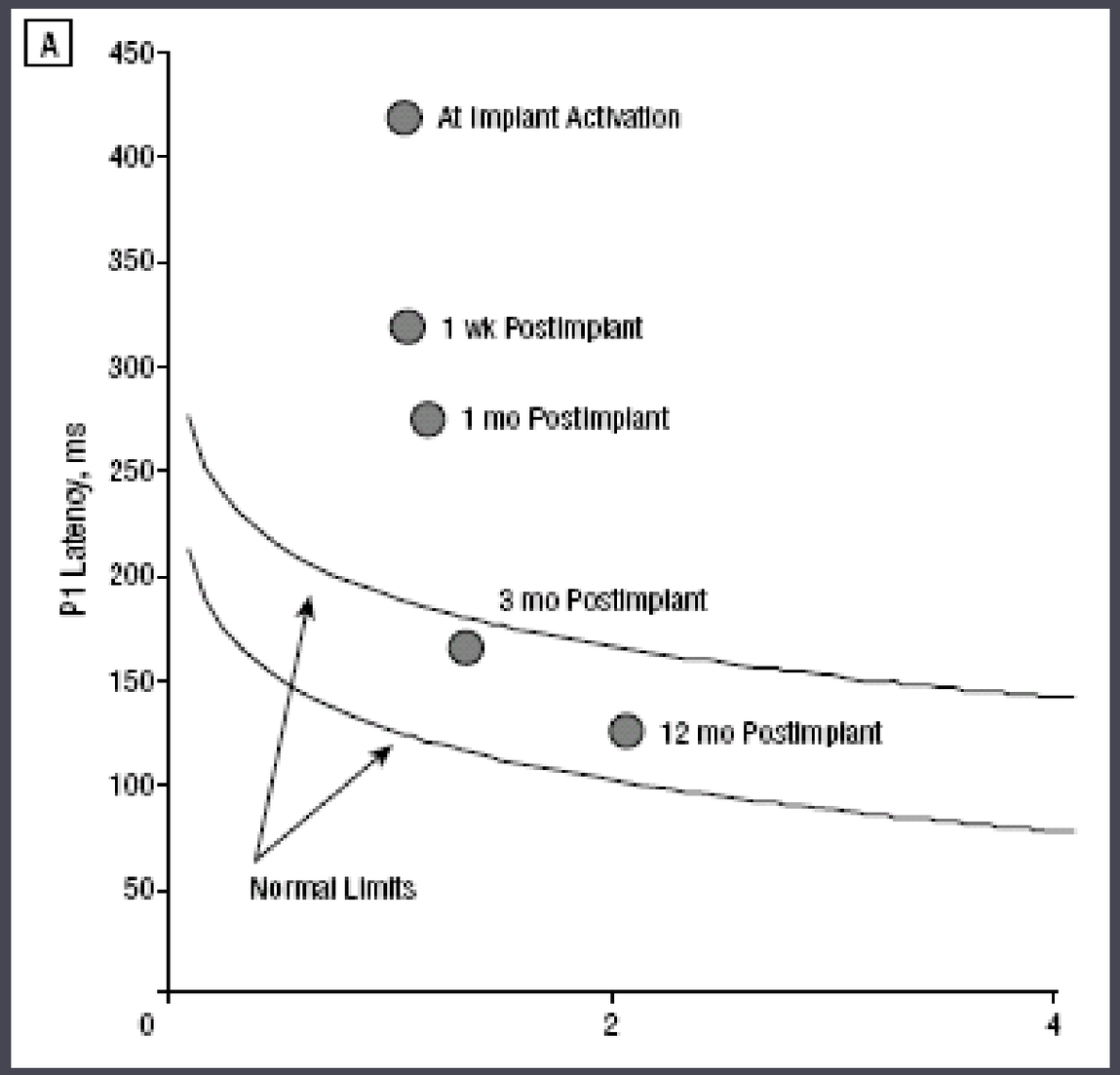


Figure. Trajectories for P1 latency changes following sequential bilateral implantation for (A) patient 1, (B) patient 2, (C) patient 3, and (D) patient 4. The solid lines represent the 95% confidence intervals for normal development of P1 latencies.

Bauer y col. 2006



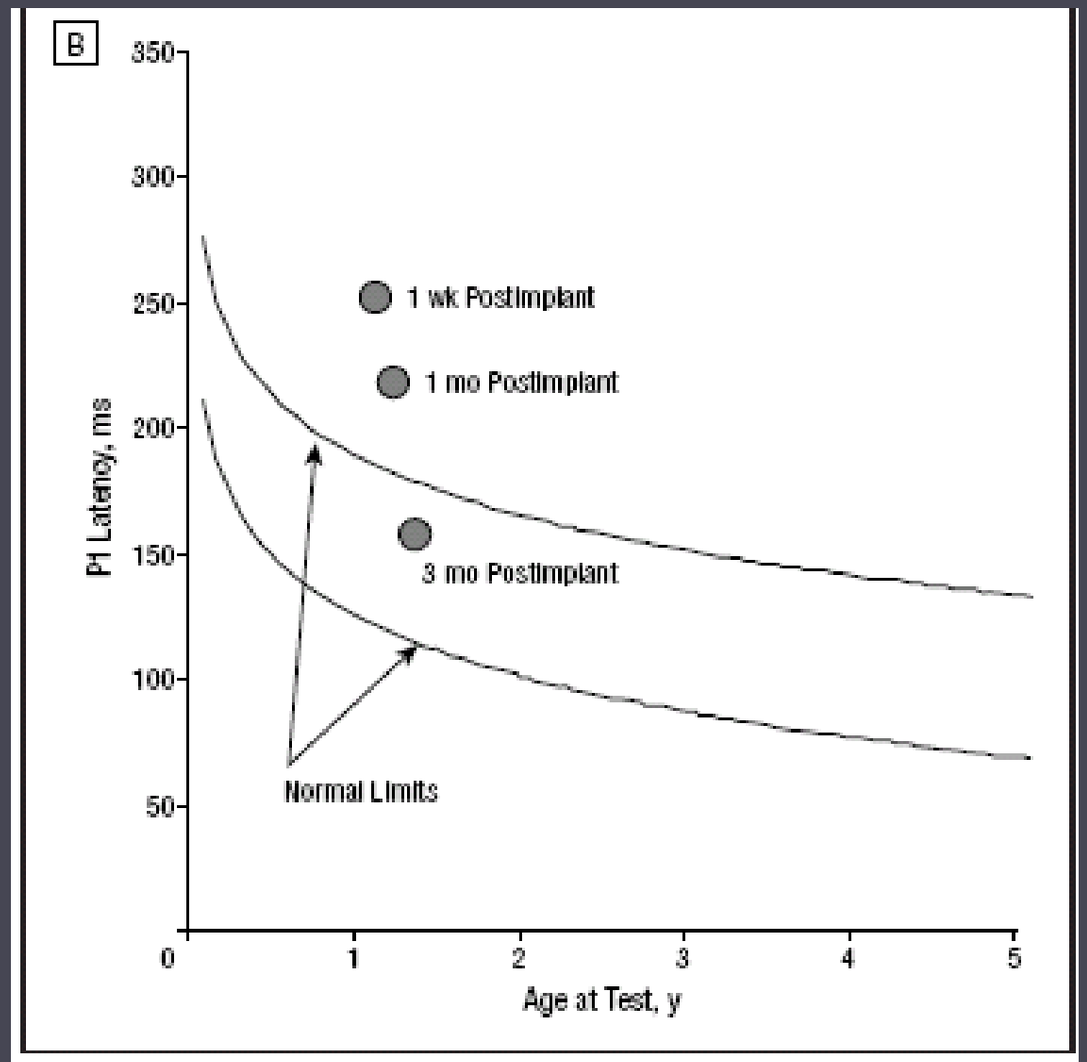


Figure 1. P1 latencies for are shown for a congenitally deaf child receiving a cochlear implant at 13 months (subject 1) (A) and at 14 months (subject 2) (B). The solid lines represent the 95% confidence intervals for normal development of P1 latencies. The circles represent the child's P1 latencies at different postimplantation intervals.

Sharma y col. 2004

Modificación de la P1 post implante en dos niños diferentes

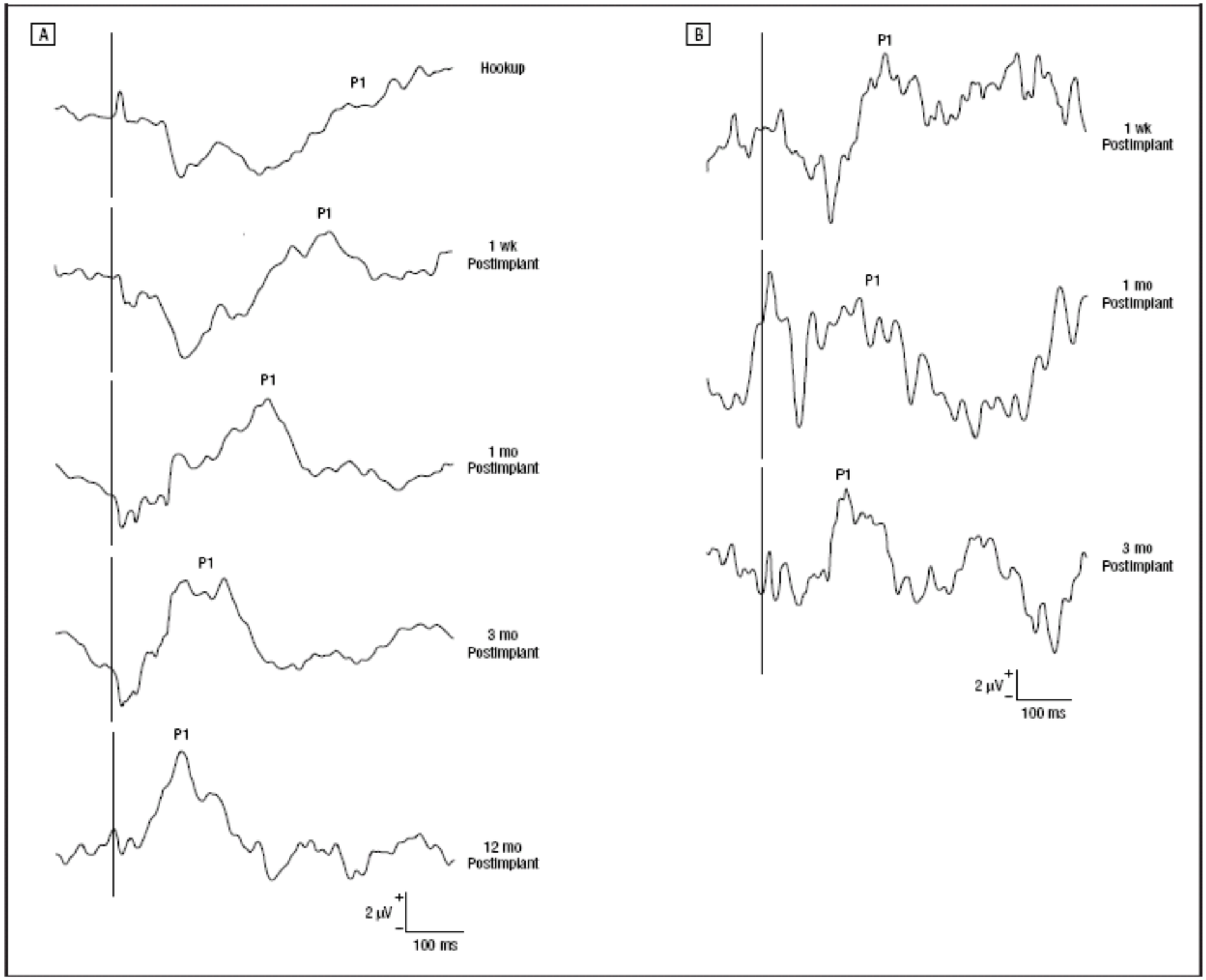


Figure 3. Averaged evoked response waveforms are shown for subject 1 (A) and subject 2 (B) at different postimplantation intervals. The P1 response peak is labeled.

Sharma y col. 2004

Niño con hipoacusia congénita equipado a los 11 meses con audífonos

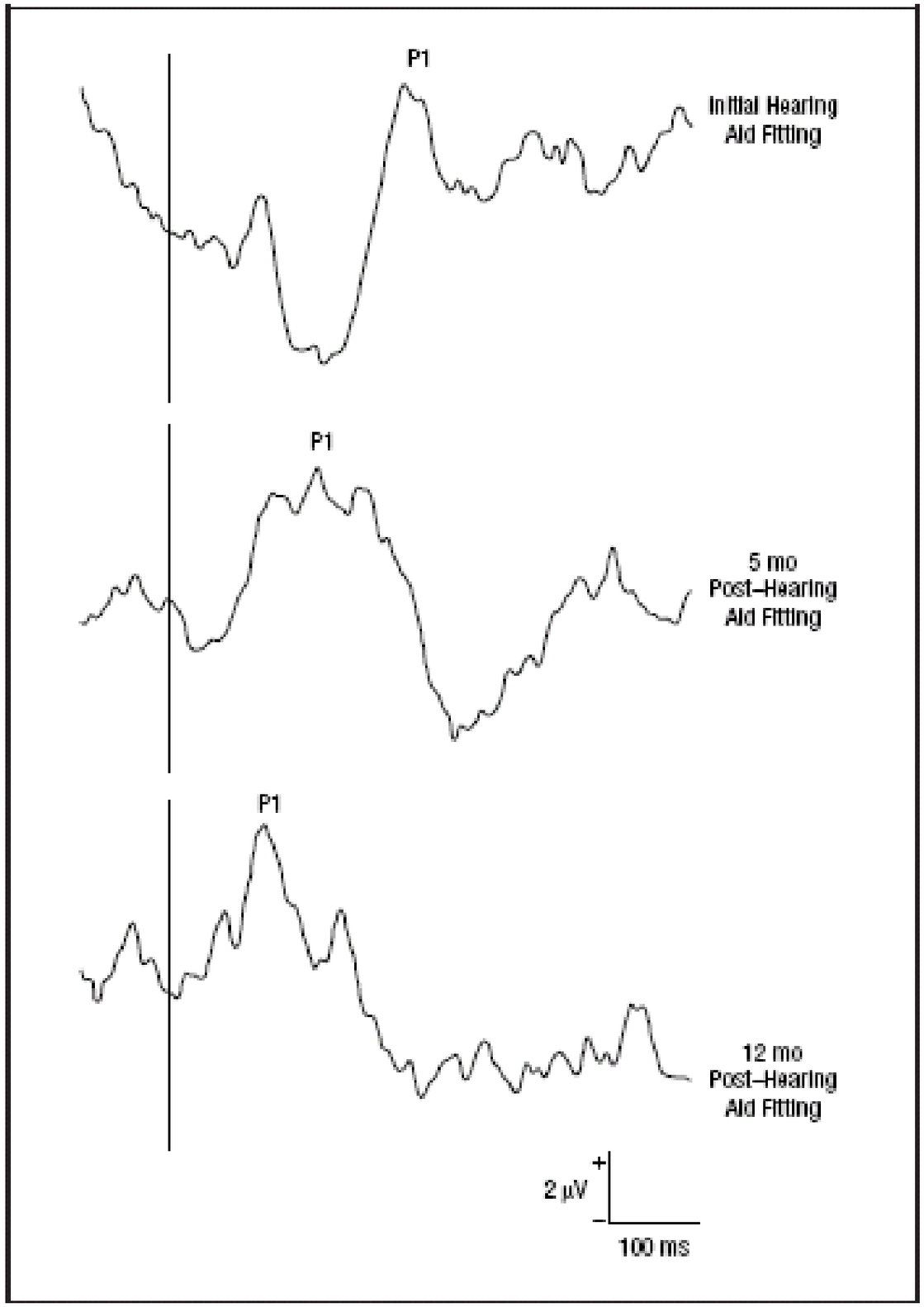


Figure 5. Averaged evoked response waveforms are shown for a child with congenital hearing impairment who was first fitted with a hearing aid at age 11 months. The waveforms are shown for different time intervals after hearing aid fitting. The P1 response peak is labeled.

Sharma y col. 2004

- El desarrollo de los cambios funcionales en los potenciales evocados auditivos corticales se extiende hasta > 12 años de edad y este desarrollo se retrasa por las sorderas prelocutivas. Se ha encontrado un período sensible para los cambios del desarrollo en los potenciales evocados: Las latencias de la onda P1 maduran más rápido si los sordos congénitos son implantados antes de los 4 años de edad y la morfología de los picos muestran pocos cambios por la maduración cuando los niños sordos prelocutivos fueron implantados en la adolescencia.

Kral y col. 2005

- Los animales implantados entre los 2,5 y 3,5 meses de edad, alcanzaron un porcentaje de éxito del 90 – 100 % después de la segunda semana de entrenamiento (en la reacción a un estímulo auditivo). Animales implantados a los 5 – 6 meses de edad aprendieron mucho más lentamente (90 – 100% después de 4 semanas).
- Con la implantación después de del 5º mes de edad, los efectos de la estimulación crónica del sistema auditivo disminuyen indicando una ventana de desarrollo para la plasticidad.
- La dependencia de la edad parece ser más fuerte para la plasticidad del córtex ipsilateral al oído estimulado.

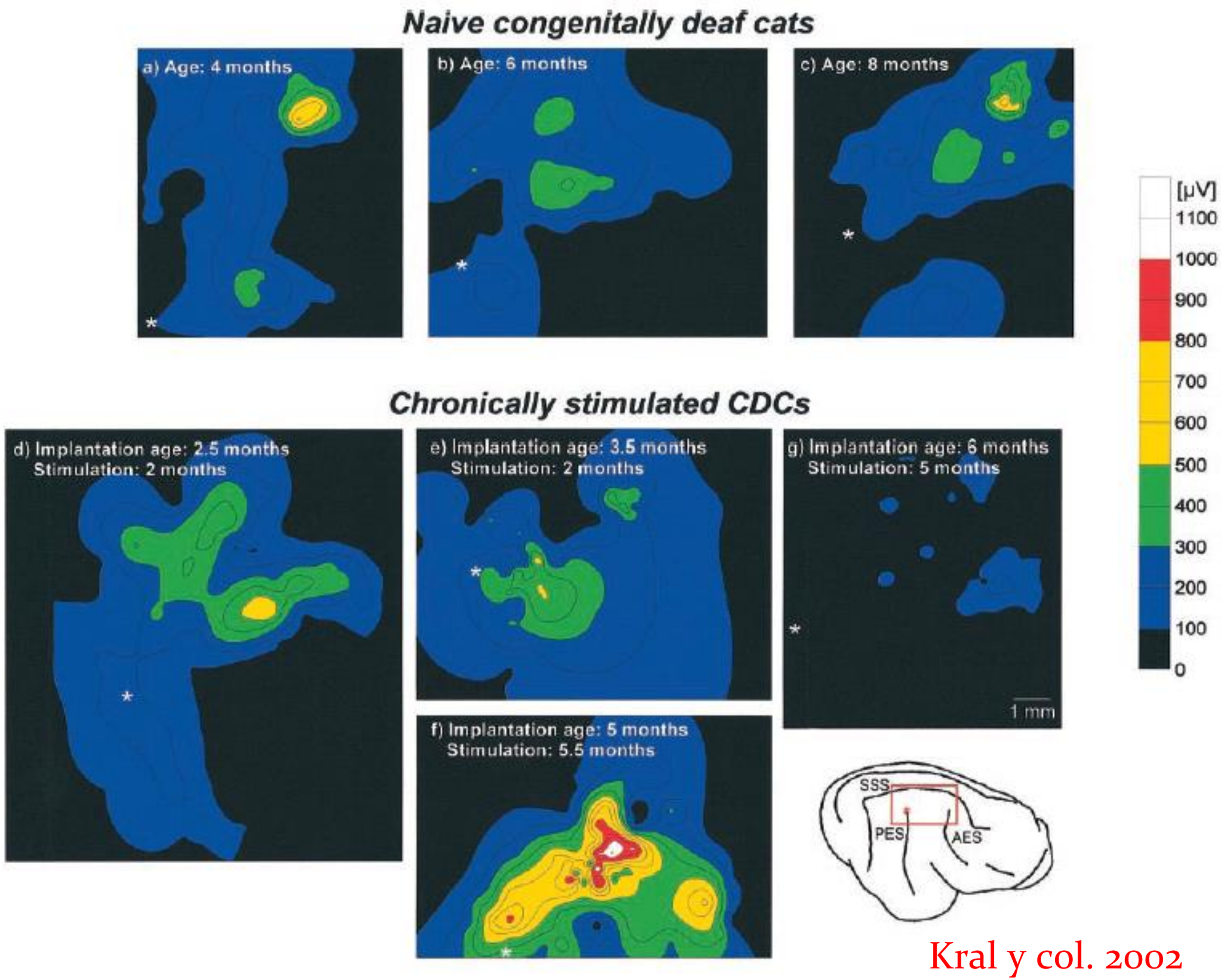
Kral y col. 2002

Conclusiones del trabajo de Kral y col. 2002

1. La estimulación eléctrica prolongada con un implante coclear tiende a captar gradualmente regiones corticales para el procesamiento del estímulo auditivo. La extensión de esta captación se corresponde con la duración del estímulo en los animales implantados precozmente.

2. Al producirse la estimulación eléctrica crónica, el córtex auditivo desarrolla respuestas normales de latencia larga (corticales).

3. El córtex ipsilateral también muestra una expansión considerable de las áreas activadas por la estimulación tanto del oído entrenado como no entrenado en los animales con implantación precoz. El efecto es más pequeño en animales con implantación tardía.



Kral y col. 2002

Figure 5. Color-coded middle-latency amplitudes at the auditory cortex of the naive CDCs and chronically stimulated CDCs (stimulation: ipsilateral ear, monopolar, biphasic pulse 200 μs/phase, 10 dB over threshold current, repetition rate 2 Hz). Investigated cortical region is shown in the bottom right inset. PES, posterior ectosylvian sulcus; AES, anterior ectosylvian sulcus; SSS, superior ectosylvian sulcus. Dorsal end of the PES is marked by an asterisk. (*a–c*) Naive CDCs show reproducible activated areas. Two spots of higher activity with a less active region in between. (*d*) csCDC 1. (*e*) csCDC 2. (*f*) csCDC 4. The chronically stimulated CDCs show larger amplitude responses and larger activated regions. (*g*) csCDC 6 (late-implanted animal) shows no expansion of the activated area.

- La experiencia clínica ha demostrado que el éxito del implante coclear depende en gran medida de la edad de implantación. Una serie de implantes en gatos nacidos sordos apoya la existencia de periodos sensibles en la maduración del sistema auditivo central. Con una edad de implantación de 6 meses o superior, la expansión de las áreas corticales activadas a través del implante coclear se reducen o desaparecen.
- Este periodo límite corresponde a los datos de Eggermont (1996) de la finalización de la maduración del córtex auditivo en gatos normoyentes. De forma similar estudios en niños implantados indican que existe en el sistema auditivo central humano un período sensible que termina cerca de los 12 años de vida.

Klinke y col. 2001

- La capacidad para la reorganización del cerebro es más amplia durante el desarrollo que en la vida adulta. El desarrollo cortical postnatal implica a muchos procesos como la reducción en el número de células, aumento seguido de la disminución en la complejidad de la morfología dendrítica, aumento seguido de la disminución en la densidad sináptica y cambios en los patrones de proyección.

Kral y Tillein. 2006

- “La comparación de las latencias de la P1 en los niños que utilizan implantes con sus coetáneos normoyentes indica que los niños con implante coclear que ha tenido un periodo largo de deprivación auditiva antes de la implantación (≥ 7 años) muestran latencias de respuestas corticales anormalmente largas con estímulos verbales y los que han tenido periodos más cortos de deprivación auditiva (≤ 3,5 años) muestran latencias similares a las que les corresponden por edad.
- Estos datos sugieren un periodo sensible de 3,5 años durante el cual el sistema nervioso central tiene su máxima plasticidad.

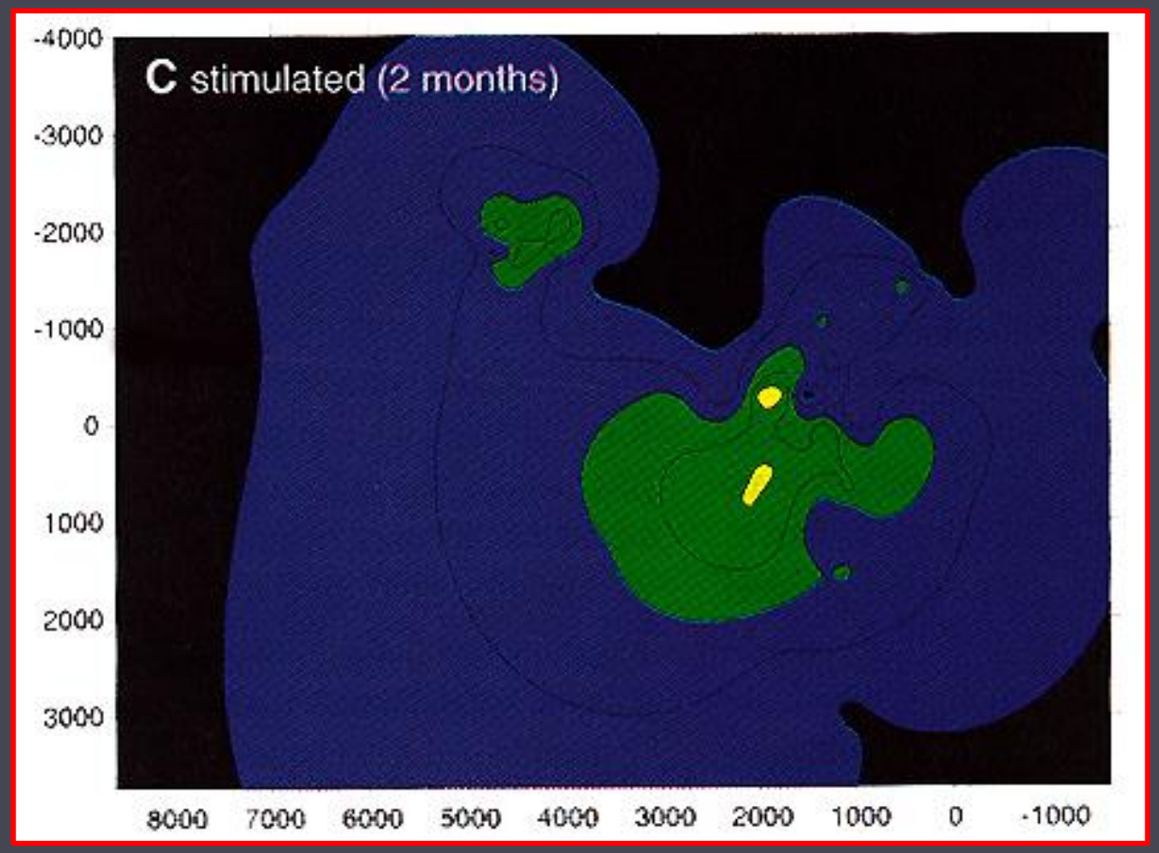
- También se han encontrado respuestas corticales anormales en niños que han recibido su implante después de los 7 años incluso, en algunos casos, después de 10 años de estimulación.
- Diferentes investigaciones informan que los niños menores de 3 o 4 años con implantes muestran capacidades significativamente mayores en la percepción del habla y producción del lenguaje que los niños implantados después de los 6 o 7 años".

Sharma y col. 2004

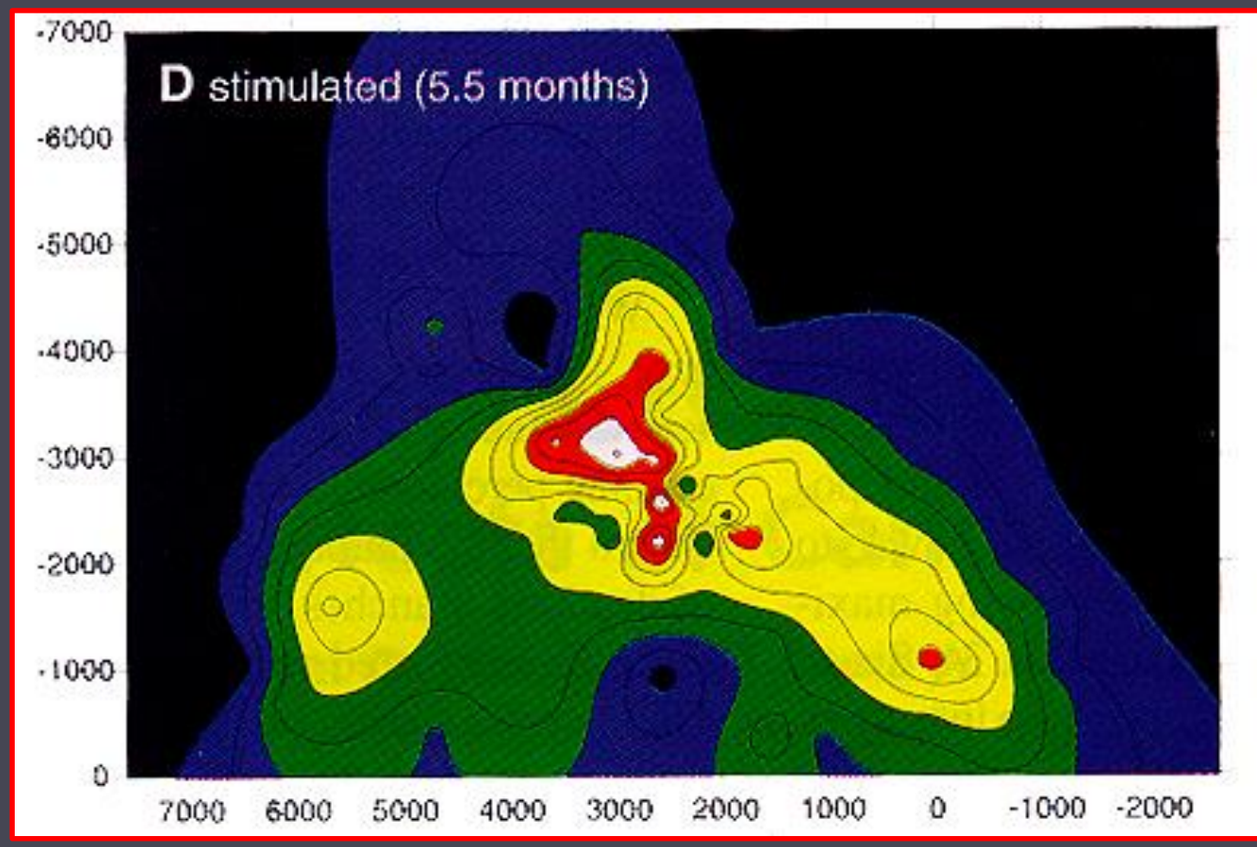
Auto-organización y plasticidad de la corteza cerebral

La estimulación eléctrica del gato sordo congénito produce la activación de las áreas corticales auditivas si se hace a una edad temprana

Gato sordo



Gato implantado



From: R. Klinke et al. 1999

Hipoacusia

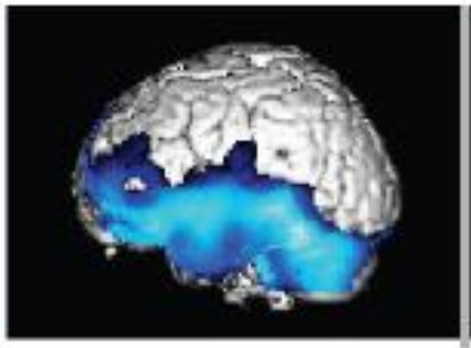
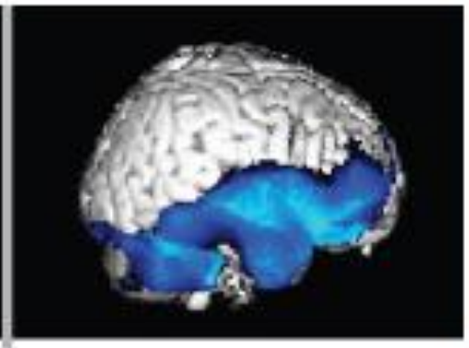
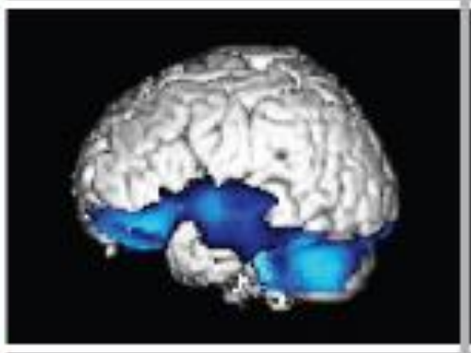
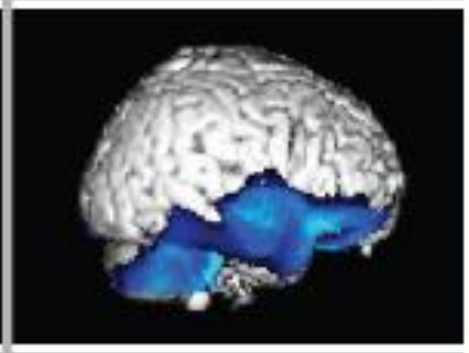
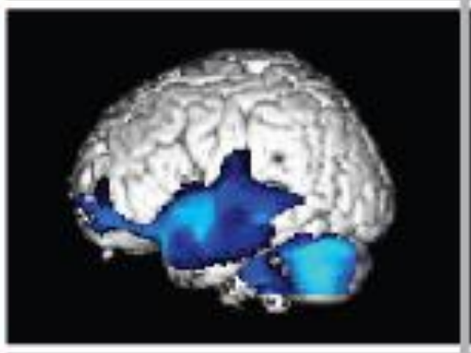
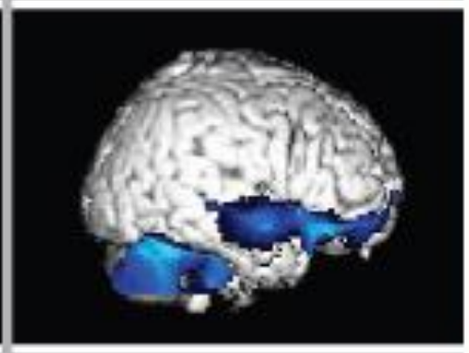
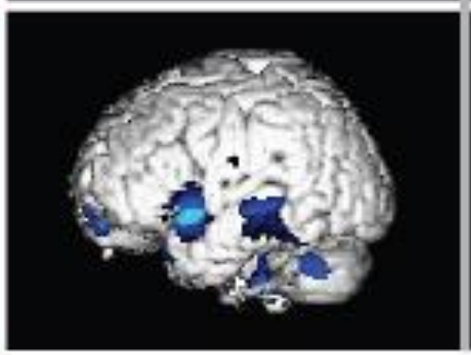
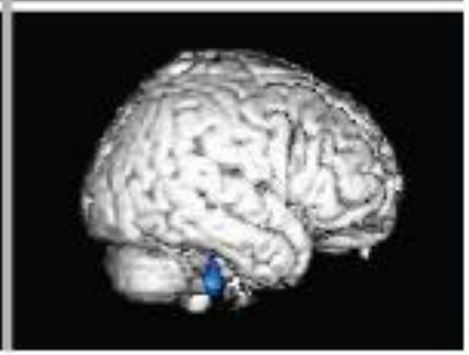
- “A los tres años de edad, una sordera y sus consecuencias educativas tienen una importancia distinta. Si bien existen adquisiciones perfectamente construidas que van utilizándose menos y que en parte se borran, la repercusión afectiva y social, la sensación de una pérdida de la personalidad, el aislamiento relacional y afectivos son esenciales en las dificultades con que el niño se tropieza”

J.L. Blanco

- “A partir de los cinco años, el problema específico es el aprendizaje de la lectura
- A partir de esa edad el lenguaje está suficientemente desarrollado para que el efecto de la sordera no repercuta sobre el nivel de simbolismo y abstracción alcanzado por el niño. La palabra exige, en cambio, un control ortofónico riguroso, sin embargo los automatismos, ciertamente bien establecidos, solo tienen la audición para ser controlados”

Lafon, 1987

Lee et al., “Cross modal plasticity and cochlear implants,” *Nature* 409: 149, 2001.

duration of deafness (years)	left	right	sentence score (% correct)	duration of training (years)
6.5			90	3.8
6.5			67	1.1
11.2			7	1.4
20.3			0	1.9

Wilson. 2007

Conclusiones

- El niño que nace sordo no ha recibido estimulación o no lo ha hecho suficientemente en la ventana de tiempo “plástico” para la organización de su corteza auditiva. Es independiente de que la hipoacusia sea genética o por causa perinatal.

- Puede que se modifique la sensibilidad a diferentes frecuencias ya que el desarrollo de la misma no se encuentra en el nacimiento y se necesita la maduración del sistema para tener el sentido completo de la localización espacial.

- Sin retroalimentación auditiva no se van a configurar las estructuras cerebrales capaces de analizar el lenguaje y la estimulación posterior dificultará la discriminación y producción vocal sin que llegue a conseguirse la normalidad en muchos casos.

- La estimulación precoz da lugar a una adecuada estructuración del sistema cortical que contribuye de manera fundamental en la mejora de los resultados obtenidos en la discriminación verbal y la producción del habla.

- La edad límite de intervención precoz se sitúa en los 3,5 – 4 años de edad. Si la estimulación se produce posteriormente se incrementa el tiempo de aprendizaje a las respuestas a los estímulos auditivos y puede que no se alcancen valores normales de las respuestas electrofisiológicas de latencia media – larga.

- Existe una relación directa entre la precocidad de la estimulación y los resultados obtenidos en la evaluación de las capacidades auditivas

- El periodo sensible a partir del cual se ralentizan mucho más las capacidades de aprendizaje y la reconfiguración de las respuestas son los 12 años.

Bibliografía

- Barrio Tarnawiecki, C.: Desarrollo de la percepción auditiva fetal: La estimulación prenatal. *Pediátrica. Temas de revisión*. Vol 3, nº2 11-15. 2000
- Blanco, J.L., Serra, V.: *El desarrollo del lenguaje en el niño*. Presentación en el curso: Pruebas verbales y no verbales en el déficit auditivo. Madrid. 2005
- Bauer, P.W., Sharma, A., Martin, K.,Dorman, M.: Central auditory development in children with bilateral cochlear implants. *Arch Otolaryngol Head Neck Sur* 132. 1133-1136. 2006
- Fox, K.: The critical period for long term potentiation in primary sensory cortex. *Neuron*. 15 485-488. 1995
- Gelfand, S.A., Silman, S.: Apparent auditory deprivation in children: implications of monaural versus binaural amplification. *J Am Acad Audiol*. 4: 313-318. 1993
- Graniere – Deferre, C., Lecaunet, J.P., Cohen, H., Busnel, M.C.: Feasibility of prenatal hearing test. *Acta Otolaryngol*. Suppl, 421. 93-101. 1985
- Hall, D: *Neuroimaging contributions to clinical understanding, diagnosis and treatment*. Presentación de las Jornadas Internacionales sobre Avances en Audiología. Unversidad de Salamanca. 2007

- Jusczyk, P.W.: *The discovery of spoken language*. Ed, MIT Press. 1997
- Kaas, J.H.: Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals. *Annu Rev Neurosc*. 14, 137-167. 1991
- King, A.J., Moore, D.R.: Plasticity of auditory maps in the brain. *TINS*, vol 14, 1 31-37. 1991
- Klinke, R., Hartmann, R., Heid, S., Tillein, J., Kral, A.: Plastic changes in the auditory cortex of congenital deaf cats following cochlear implantation. *Audiol Neurootol*. 6. 203-206. 2001.
- Kral, A., Tillein, J.: Brain plasticity under cochlear implant stimulation. Pag. 89-108 de Møller, A.R. (Ed): *Cochlear and Brainstem Implants*. Ed. Karger. 2006
- Kral, A., Tillein, J., Heid, S., Hartmann, R., Klinke, R.: Postnatal cortical development in congenital auditory deprivation. *Cerebral Cortex*. Vol 15. 552-562. 2005.
- Kral, A., Hartmann, R., Tillein, J., Heid, S., Klinke, R.: Hearing after congenital deafness: Auditory plasticity and sensory deprivation. *Cerebral Cortex*. Vol 12. 797-807. 2002
- Kral, A., Tillein, J., Heid, S., Hartmann, R., Klinke, R.: Congenital auditory deprivation reduces synaptic activity within the auditory cortex in a layer-specific manner. *Cerebral Cortex*. Vol 10. 714-726. 2000

- Kuhl, P.K., Williams, K.A., Lacerda, F., Stevens, K.N., Lindblom, B.: Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 month of age. Science 255. 606-608. 1992
- Lecanuet, J.P.: Foetal responses to auditory and speech stimuli. En Slater, A.: *Perceptual development: visual, auditory, and speech perception in infancy*. Ed Hove. Psychology Press. 1998
- Moore, D.R., Kitzes, L.M.: Projections from the cochlear nucleus to the inferior colliculus in normal and neonatally cochleablated gerbils. *J.Comp Neurolo*. 240: 180-195. 1.985
- Musiek, F.E., Weihing, J.A., Oxholm, V.B.: Anatomy and physiology of the central auditory nervous system: A clinical perspective. Cap 3 de Roeser, R. J., Valente, M., Hosford-Dunn, H.: *Audiology Diagnosis*. 2ª Ed. Ed. Thieme. 2007
- Ortiz Alonso, T: *Magnetoencefalografía: Diagnóstico y aplicaciones audiológicas*. Presentación en las Jornadas Internacionales sobre Avances en Audiología. Universidad de Salamanca. 2007
- Pujol, R., Lavigne-Rebillard, M., Uzile, A.: Development of the human cochlea. *Acta Otolaryngol* 74, 383-391. 1991

- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, S., Dupoux, E., Fazio, F., Mehler, J.: Brain processing of native and foreign languages. *Neuroreport* 7. 15-17. 1996
- Roeser, R. J., Valente, M., Hosford-Dunn, H.: *Audiology Diagnosis*. 2ª Ed. Ed. Thieme. 2007
- Rauschecker, J.P.: *Plasticidad de la corteza auditiva: Una comparación con otros sistemas sensoriales*. Obtenido de: **http://zaratamo.berritzeguneak.net/materiales_arch/296.doc**
- Sharma, A., Tobey, E., Dorman, M., Bharadwaj, S., Martin, K., Gilley, P., Kunkel, F.: Central auditory maduration and babbling development in infants with cochlear implants. *Arch Otolaryngol Head Neck Sur*. 130. 511-516. 2004.
- Sharma, A., Nash, A.A., Dorman, M.: Cortical development, plasticity and re-organization in children with cochlear implants. *J Commun Disord*. (En prensa) 2009
- Skaliora, I.: *Developmental plasticity across the sense: learning to match sound and vision.* Presentación de las Jornadas Internacionales sobre Avances en Audiología. Universidad de Salamanca. 2007
- Wilson, B. S.: *The surprising performanceof present-day cochlear implants*. Presentación de las Jornadas Internacionales sobre Avances en Audiología. Unversidad de Salamanca. 2007