

Implantes cocleares

Conceptos generales

Dres. [Marcos Goycolea V.](#), [Gloria Ribalta L.](#), Raquel Levy G, Pilar Alarcón de la F.
[Departamento de Otorrinolaringología](#), Clínica Las Condes

Introducción

Las ondas sonoras son amplificadas en el oído medio y transmitidas por vibraciones del estribo a los líquidos del oído interno. Estas ondas llegan a la cóclea, donde el evento final es la estimulación de las células ciliadas. Estas células están conectadas a su vez, a las células ganglionares (que son las células que siguen la cadena hacia el sistema nervioso central). El estímulo eléctrico (depolarización) de las células ciliadas es transmitido a las células ganglionares, las cuales ascienden con sus terminaciones nerviosas (axones) a los núcleos celulares del tronco cerebral. Allí estimulan a su vez a otras células nerviosas (neuronas) que a través de múltiples conexiones (sinapsis) llevan los impulsos a la corteza cerebral. La cóclea tiene entonces el rol de "receptor" y transmisor (especializado). Si hay una falla en la cóclea no hay recepción, por lo tanto no hay transmisión hacia el sistema nervioso central. Si la falla de la cóclea (el receptor) es parcial, se puede "amplificar" la señal con audífonos. Si el receptor (la cóclea) definitivamente no funciona, la amplificación no sirve. El rol del implante coclear es reemplazar a la cóclea y estimular directamente a las células ganglionares. De esta manera se restablece la "transmisión".

En breve:

Un implante coclear es un aparato electrónico que capta y procesa los sonidos del medio ambiente, y los transforma en estímulos para que las células ganglionares los capten y transmitan al cerebro de modo de producir sensación auditiva. La estimulación de las células ganglionares en los implantes actuales es a través de estimulación eléctrica (reemplazando e imitando la función de las células ciliadas). Visto de otra manera, el implante coclear es un transductor que transforma ondas sonoras (señales acústicas) en señales (estímulos) eléctricos que estimularán a las células ganglionares del nervio auditivo.

Para diseñar un implante coclear hay diversos aspectos a considerar (1-5):

1. El diseño de un sistema que capte sonidos y los transmita a las células ganglionares en forma eficiente.
2. El diseño de un esquema o forma de estímulo que sea inteligible para el sistema nervioso (similar al "lenguaje del cerebro").
3. El diseño de técnicas quirúrgicas para colocar el sistema en su lugar.

1. Diseño del sistema de implante coclear

- A. Esquema general del sistema.
- B. Alternativas y diferencias de esquemas del sistema.
- C. Implantes cocleares más usados.

A. Esquema general del sistema

El sistema consta de (Figuras 1 y 2):

- a. Un micrófono (que capta los sonidos del medio ambiente).
- b. Un Procesador (que "procesa" o transforma los sonidos captados en un mensaje; que será transmitido como estímulos eléctricos a las células ganglionares para que el cerebro lo interprete como sonido).
- c. Un receptor-estimulador (que recibe el mensaje del procesador, y lo envía - estimulando- a los electrodos).
- d. Electrodos (que son los que "transmiten" los estímulos a las células ganglionares).



Figura 1 y 1 A. Sistema de implante coclear y su funcionamiento.

El micrófono está conectado al procesador (por un cable o bien puede estar en la caja del procesador). A su vez, el procesador se conecta (para enviar el mensaje procesado) con el receptor estimulador (a través de un cable), el cual transmite los estímulos eléctricos a los electrodos, los cuales a su vez estimulan a las células ganglionares.

El micrófono y el procesador son externos (están fuera del cuerpo del paciente). El receptor y los electrodos son internos (están dentro del cuerpo del paciente). La energía del sistema está dada por pilas que van colocadas en el procesador. La energía requerida es considerable y no existe tecnología actual con pilas de larga duración (o externamente recargables) que permita receptores implantables. Sin embargo, hay líneas actuales de investigación que pretenden solucionar este problema.

B. Alternativas de esquemas de implantes coleases

- Micrófono. Puede ser unidireccional u omnidireccional. El omnidireccional (colocado en la pieza que conecta al receptor estimulador) tiene la ventaja que capta sonidos en 360 grados. Puede estar conectado al procesador por un cable o estar en el procesador mismo.
- Procesador. Puede ser una caja tipo audífono de caja o bien puede ser

retroauricular. El procesador envía el mensaje procesado (los diferentes esquemas de mensajes serán descritos más adelante) al receptor a través de un cable que termina en un transmisor. Como el receptor-estimulador está bajo la piel existen actualmente dos alternativas para enviar este mensaje: i) Percutáneo, es decir, directamente como con un enchufe (Figuras 3 y 3 A). ii) Transcutáneo, es decir, a través de la piel en forma electromagnética. En estos casos, el receptor tiene un imán al cual se adhiere (por sobre la piel) otro imán que va en el cable que lo conecta al procesador. A través de la piel se transmiten los estímulos (transmisión electromagnética). Los tres implantes que se usan hoy (a describir) usan estimulación transcutánea.

- c. Receptor-estimulador. Este puede estar alojado en un envoltura de cerámica o de silástico. Del receptor estimulador emergen los electrodos.
- d. Electrodos. Los electrodos pueden ser de uno (monocanal) o de múltiples canales (multicanal). Estos pueden ir fuera de la cóclea (extracocleares) o dentro de la cóclea (intracocleares) (Figura 4). Actualmente todos los implantes son multicanal (números variables según la marca) e intracocleares. Los multicanales pueden estar todos en la cóclea y ser estimulados en pares (estimulación bipolar), o bien puede haber un electrodo "de tierra (también llamado de referencia, o indiferente)" extracoclear y la estimulación es monopolar.

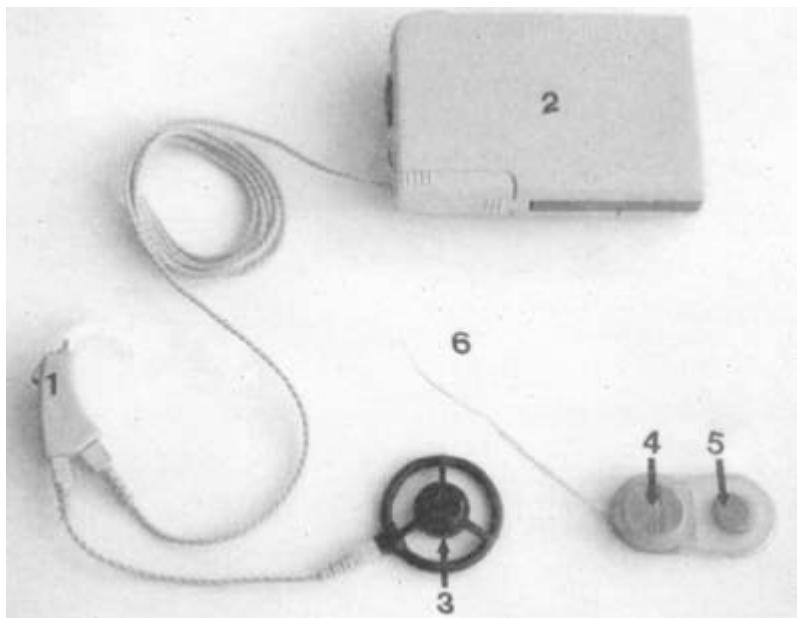


Figura 2. Elementos del sistema. 1. Micrófono. 2. Procesador. 3. Imán para conexión electromagnética. 4. Receptor estimulador (Nucleus 22). 5. Imán. 6. Electrodos.

SYMBION

**PERCUTANEOUS PEDESTAL WITH
PLATINUM WIRES ATTACHED**

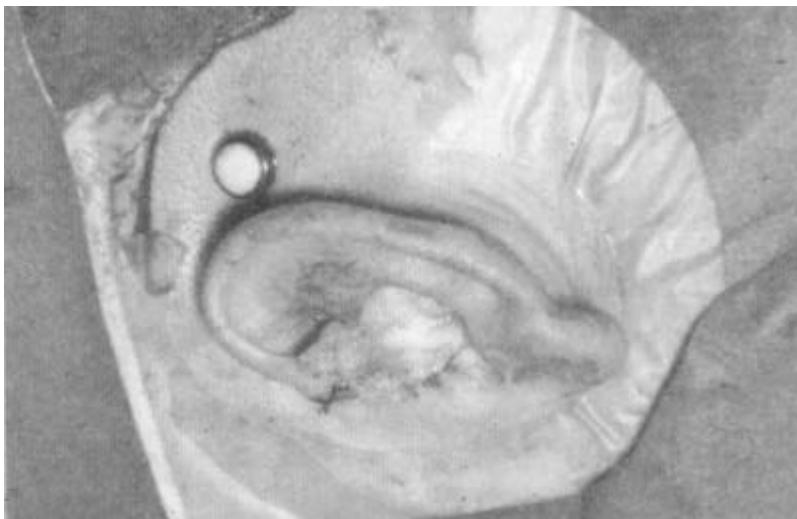
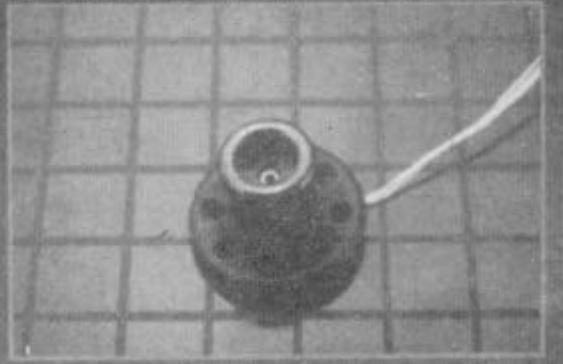


Figura 3 y 3 A. Receptor estimulador percutáneo.

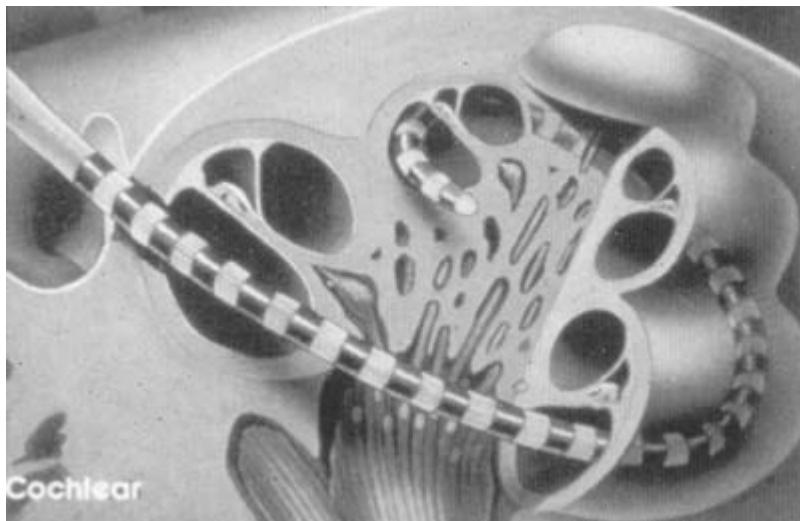


Figura 4. Electrodos intracocleares

C. Implantes cocleares más usados

Existen tres marcas de implantes establecidas que se usan en todo el mundo (4-6). a. Cochlear. b. Medel. c. Clarion. Las tres marcas están disponibles y se colocan en Chile. Los implantes que se colocan en Chile son exactamente los mismos que se colocan en el resto del mundo (incluyendo Europa y Estados Unidos).

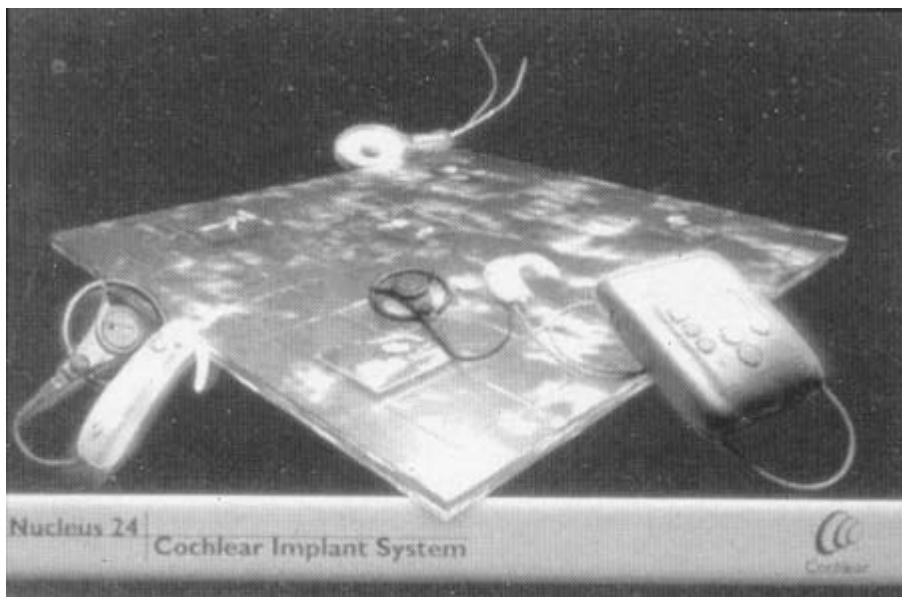


Figura 5. Sistema Nucleus 24, con procesador de caja y retroauricular.

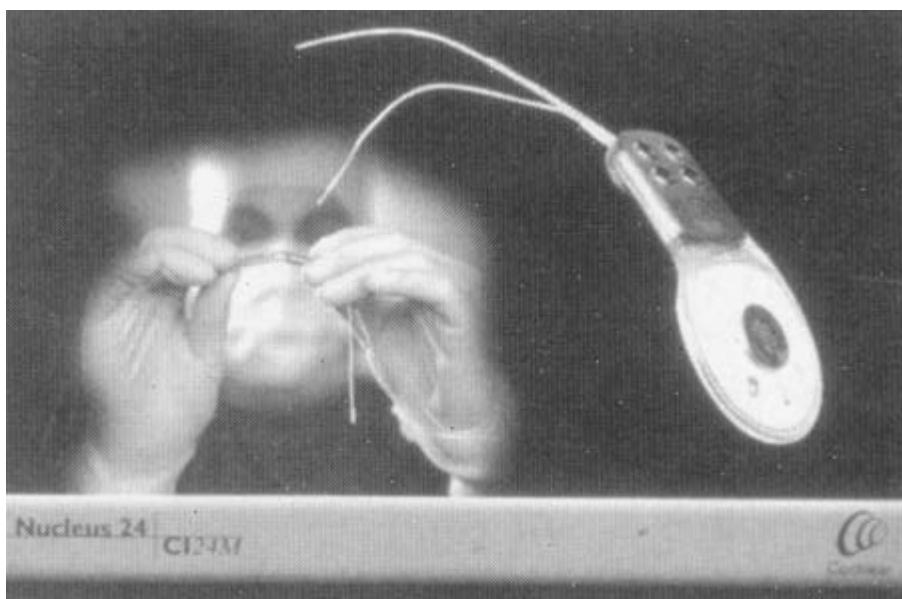


Figura 6. Receptor estimulador Nucleus 24 con sus electrodos activos e indiferente (de tierra).

a. Cochlear

Esta es la marca más establecida y con mayor número de pacientes implantados en el mundo (sobre 32.000; treinta y dos mil). Su origen es Australiano y tiene fábricas tanto en Australia como en Estados Unidos. Sus modelos actuales más usados son el implante Nucleus 24 (22 electrodos activos y dos de referencia) (Figuras 5 y 6), el modelo Contour (24 electrodos también), y el *double array* (Figura 7). El modelo *Double array* se usa para cócleas osificadas en las cuales es difícil o imposible colocar un set completo de electrodos. Consiste en dos grupos de electrodos (de allí el nombre *double array*). El número total de electrodos es igual al Nucleus 24, pero divididos en dos grupos de 11 cada uno más dos electrodos de referencia. El primer grupo es el llamado *basal array* (para ser insertado en la escala basal, y el segundo grupo es llamado *apical array* (12 al 22); para ser insertado en la porción apical. Existe también el modelo Nucleus 22 (Figura 2); el modelo clásico que precedió al 24. Este modelo tiene 22 electrodos que se estimulan en forma bipolar. Los

modelos Nucleus 24 tienen la misma tecnología excepto que tienen un electrodo de tierra que permite además estimulación monopolar. El receptor estimulador está alojado en una envoltura de silástico. El modelo Contour se caracteriza por su capacidad de enrollarse en la cara medial de la cóclea, estimulando así en mejor forma a las células ganglionares. El modelo *double array* como su nombre lo indica, tiene un doble set de electrodos los cuales se insertan en cócleas osificadas en las cuales es difícil o imposible colocar un set completo de 24 electrodos (Figura 8)

b. Medel

Esta marca es de origen Austríaco, lugar donde se encuentra su fábrica. El procesador es retroauricular (va detrás de la oreja). Sus implantes tienen 12 electrodos además de un electrodo de tierra. El receptor estimulador está alojado en una envoltura herméticamente sellada de cerámica. Su estimulación es monopolar.

Sus modelos actuales más usados están comprendidos en el sistema (serie) "Combi 40 +." (Figura 9). Tienen tres opciones de electrodos: i) C40+ con sus electrodos standard (12 electrodos). ii) C40+S con los mismos 12 electrodos pero "comprimidos", es decir, colocados en una menor extensión. Se usa en caso de osificación en los cuales hay menor espacio no puede insertarse todos los electrodos standard. También es útil en algunas anomalías congénitas (eg. Mondini). iii) C40+GB con dos sets de electrodos comprimidos con 5 y 7 pares de electrodos cada uno. Está diseñado para ser insertado a través de dos aperturas en casos de cócleas completamente osificadas.

c. Clarion

Su origen es norteamericano, país donde tienen su fábrica.

Sus implantes tienen 16 electrodos (más uno de tierra) configurados en 8 pares, que son insertados con un posicionador que también acerca los electrodos a la cara medial de la cóclea. El receptor estimulador está alojado en una envoltura de cerámica. Su estimulación puede ser mono y bipolar (Figuras 10 y 10 A).

Sus modelos actuales más usados están comprendidos en la serie "Hi-Focus (CI HI Focus I, CI HI Focus II Bionic Ear".

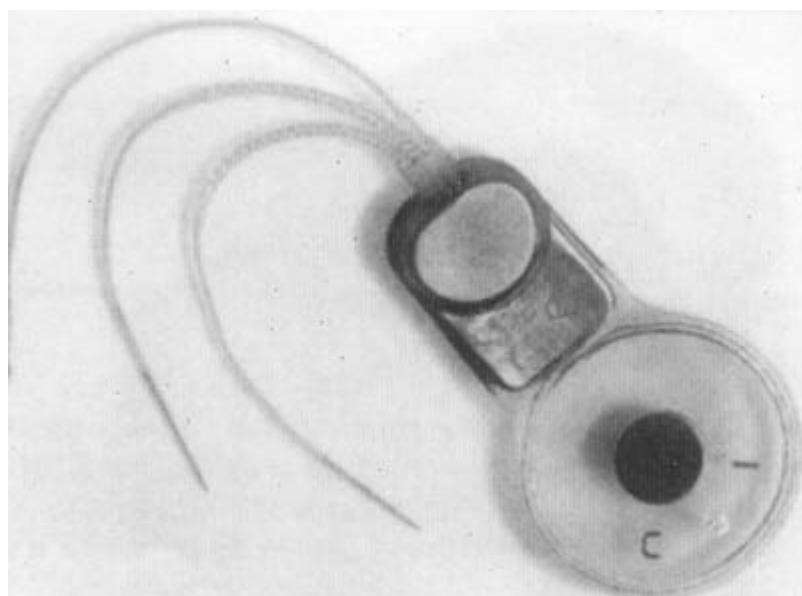


Figura 7. Receptor estimulador Double array.

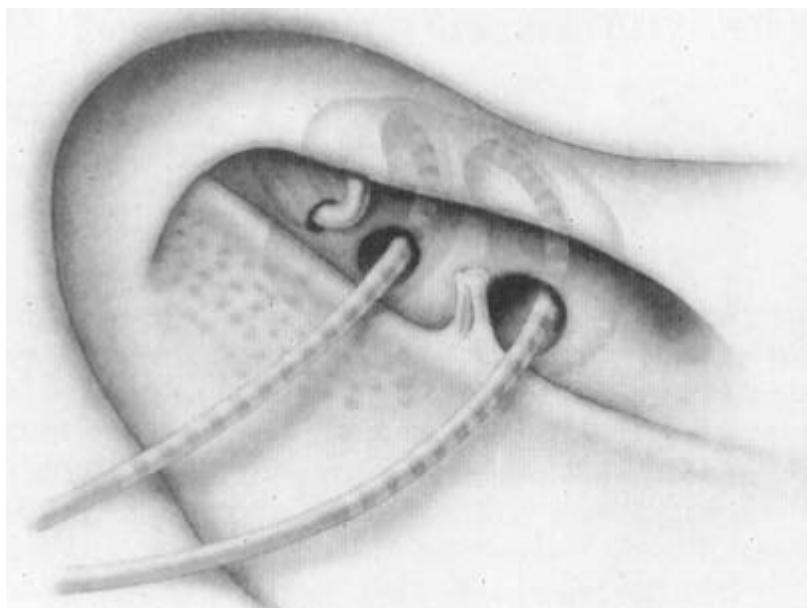


Figura 8. Esquema de la posición en la cóclea de los electrodos del sistema Double array.

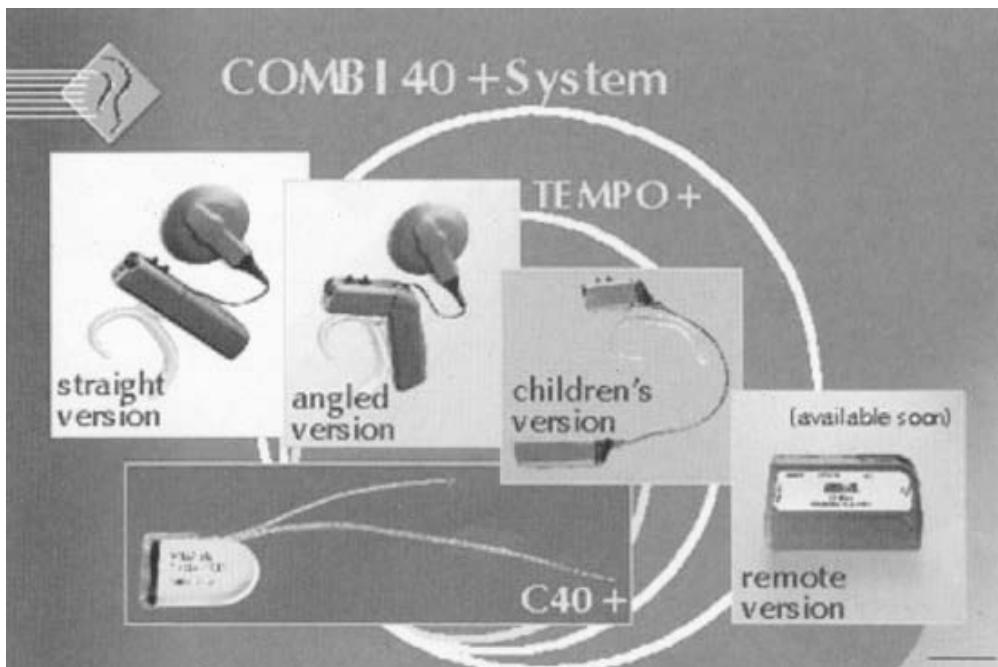


Figura 9. Sistema Combi 40 +.



Figura 10 y 10 A. El sistema Clarion.

En nuestro programa usamos las tres marcas de implantes, aunque la primaria ha sido Cochlear.

¿Cuál implante es mejor, y por qué se elige una marca u otra?

Si bien hay diferencias entre las distintas marcas y puede elegirse un modelo u otro según el caso clínico de que se trate; en términos generales puede decirse con seguridad que las tres marcas de implantes son equivalentes en calidad y eficiencia. La diferencia en la práctica la hacen: el caso clínico mismo, la preferencia quirúrgica en cuanto a la colocación, el precio, y esencialmente el servicio. El implante coclear, a diferencia de otros procedimientos, establece una relación de por vida entre el paciente, el equipo profesional, y la compañía que lo fabricó. Es esencial que la compañía que fabrica el implante sea dedicada, trabaje en equipo, sea sólida y permanezca en el

tiempo. Este fue un problema significativo en los inicios pues diversas compañías aparecían y desaparecían, dejando al paciente y al equipo sin más alternativa que cambiar el implante, con los problemas consiguientes, incluyendo un gran costo. Afortunadamente las tres compañías actuales (hay otras pequeñas) son sólidas y la posibilidad que esto suceda es muy baja. Además las indicaciones y los progresos aumentan gradualmente lo que les garantiza un futuro volumen de procedimientos altos e *in crescendo*.

2. Diseño de un esquema o estímulo que sea inteligible para el sistema nervioso, es decir, procesador y programación (2-6)

- A. Programa o mapa y función del procesador.
- B. Programación.
- C. Estrategias de Codificación.

A. Programa o mapa y función del procesador

La función del procesador es captar el lenguaje hablado, fraccionarlo con filtros y transformarlo en estímulos eléctricos que van a través de los electrodos a estimular las células ganglionares. El programa específico que se diseñe en el procesador va a depender de la estrategia de codificación que se use.

B. Programación

La programación es individual y consiste en:

- a) Establecer para cada electrodo un umbral mínimo de estimulación y un nivel cómodo de máxima intensidad.
- b) Conformar un "rango dinámico" de tal modo que el paciente escuche bien y en forma cómoda.
- c) De acuerdo a la necesidad de cada paciente, variar diferentes parámetros (tablas de frecuencias, ganancias selectivas de electrodos, anchos de pulso, etc.).
- d) Se crea así "un mapa" o programa cuya información sonora es lo más adecuada posible para que el cerebro lo pueda interpretar.

C. Estrategias de codificación

Se refiere al modo en que el procesador capta, traduce, y transforma los sonidos del ambiente en señales comprensibles para el cerebro. Se separa así el lenguaje en bandas de frecuencia que son transmitidas a lo largo de la cóclea en zonas específicas de modo de estimular células ganglionares en forma tonotópica. Se intenta así reemplazar la función de la cóclea que no está funcionando, dando señales "cocleares" a las células ganglionares, restableciendo la vía acústica.

Estrategias de Codificación más usadas:

- 1. SPEAK: Spectral Peak Extraction (Extracción de picos máximos del espectro).

2. CIS: Continuous Interleaved Sampling (Muestreo intercalado continuo).
3. PPS: Pulsatile Paired Stimulation (Estimulación pulsátil en pares).
4. ACE: Advanced Combination Encoders (Codificadores combinados avanzados).
5. SAS: Simultaneous Analog Stimulation (Estimulación analógica simultánea).

1. Estrategia SPEAK

Modelos que lo pueden usar: Nucleus 22 y Nucleus 24.

Funcionamiento: Analiza toda la banda espectral del habla, la pasa a través de 20 filtros que seleccionan según las mayores amplitudes (picos de intensidad) y las dividen en 20 bandas de frecuencia (a cada filtro se le asigna un electrodo). Se estimula a una velocidad de 250 pulsos por segundo. El número de electrodos que estimula es 3 a 10 (usualmente 6).

Existe la estrategia "N of M" similar al SPEAK. La usan los modelos Medel Combi 40 (Medel los ha reemplazado por CIS).

Conceptos adicionales: i) Filtros del Programador. Se usan para dividir electrónicamente las señales acústicas en bandas de frecuencia. ii) velocidad de estimulación. Frecuencia de activación y desactivación eléctrica de un electrodo.

2. Estrategia CIS

Modelos que la usan: Medel Combi 40, Nucleus 24, Clarion.

Funcionamiento: Analiza la información de acuerdo a la amplitud (intensidad) de la señal (en forma fija) y la transmite estimulando todos los electrodos en pares en forma secuencias a alta velocidad de estimulación. Requiere de una velocidad mínima de 850 pulsos por segundo. No hay representación tonotópica en el estímulo (deja la tonotopía a las células ganglionares).

3. Estrategia ACE

Modelo que la usa: Nucleus 24.

Funcionamiento: Combina SPEAK más CIS. Puede alcanzar una velocidad de estimulación de 14.400 pulsos por segundo.

4. Estrategia SAS

Modelo que la usa: Clarion.

Funcionamiento: Estimulación análoga de los 8 pares de electrodos. Transmite a una velocidad de 91.000 pulsos por segundo. Es la estrategia más rápida.

Estrategias y velocidad de estimulación

Nucleus 22: 250 pulsos por segundo (pps). SPEAK.

Clarion: 6500 pps. CIS de velocidad intermedia. 91.000 pps. SAS de alta velocidad.

Nucleus 24: 14.400 pps. CIS y ACE de alta velocidad.

Medel Combi 40: 18.800 pps. CIS y N of M de alta velocidad.

Nota: Las estrategias están resumidas en forma descriptiva. Una mayor velocidad no implica una mejor comprensión. Los pacientes se benefician en forma diferente con las distintas estrategias y es importante adaptarlas en forma individual para las necesidades de cada persona implantada.

3. Diseño de técnicas quirúrgicas

El propósito quirúrgico de la implantación intracoclear multicanal es colocar los electrodos en la cóclea en una forma segura y eficiente. Para ello hay diferentes técnicas disponibles cuya discusión va más allá de los propósitos de esta publicación. Describimos a continuación nuestro método, el cual es una técnica establecida (1,7).

Inicialmente se hace una exploración timpánica a través de la cual se expone el oído medio con sus estructuras anatómicas incluyendo la ventana oval y redonda. Se visualiza y se remueve la membrana de la ventana redonda. La vuelta basal de la cóclea es expuesta y se verifica su permeabilidad y capacidad de recibir los electrodos. Una vez completada esta etapa se hace una incisión postauricular en forma de "S". Se elevan dos colgajos (subcutáneo y muscular) y se expone el periostio sobre la mastoides y en la porción posterior de ella, lugar donde se colocará el receptor estimulador. Se hace una mastoidectomía, abriendo el receso del nervio facial, a través del cual se introducirán los electrodos al oído medio. Hecho esto, se fresa una cavidad tras la mastoides para tener un asiento para el receptor estimulador, y se une el asiento a las mastoides fresando un canal para que vayan por allí los electrodos. El electrodo de tierra se coloca bajo el músculo temporal y el receptor estimulador se asegura en su lugar con puntos de nylon que lo cubren. Los electrodos se introducen al oído medio por el receso del facial y se introducen en la cóclea sellando la apertura de la ventana redonda con fascia temporal. Las incisiones se cierran en planos y se coloca usualmente un pequeño drenaje de 3,2 mm.

Bibliografía

1. Goycoolea MV, Muchow D, Schirber C, Goycoolea HG. *Anatomical perspective, approach, and experience with multichannel intracochlear implantation*. Laryngoscope 1990; 100 (Suppl.50): 1-18.
2. NIH Concensus Statement on Cochlear Implants in Adults and Children. 1995; Vol.13 No.2: 1-30.
3. Rivas A. *Programación del implante coclear: objetivo y estrategias de codificación*. Acta de Otorrinolaringología de Colombia 2000; 28: 117-21.
4. Asuntos y Respuestas. *The Nucleus Cochlear Implant System. Manual de Cochlear Corporation*. Colorado, 1998: 1-36.
5. *Introduction to the Clarion Bionic Ear System. Manual de Clarion Corporation*. Sylmar, California, 2001: 1-24.
6. *Med-el Cochlear Implants. Instructivos y CD*. Med-el Corporation. Innsbruck, 2002.
7. Goycoolea MV, Ribalta GL. *Exploratory tympanotomy; an integral part of cochlear implantation*. In press Acta (Scand) Otolaryngol. Presented at the Collegium Meeting in Amsterdam, August 2002. In Press Acta Otolaryngal 2003.

