



CIENCIAS BIOMÉDICAS

Artículo original de investigación

Evidencias neurofisiológicas de reorganización cortical antes y después de implante coclear en niños con pérdida sensorial dual

Lidia Esther Charroó Ruíz ^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6554-0882>
Mitchell Valdés Sosa ¹ <http://orcid.org/0000-0002-1580-8374>
Maria Cecilia Pérez Abalo ¹ <https://orcid.org/0000-0002-9988-7312>
Antonio Paz Cordovés ² <https://orcid.org/0000-0001-5740-0513>
Sandra Bermejo Guerra ³ <https://orcid.org/0000-0002-5915-9185>
Manuel Sevilla Salas ² <https://orcid.org/0000-0002-5458-3200>
Lídice Galán García ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6400-6442>
Alfredo Álvarez Amador ¹ <https://orcid.org/0000-0002-4549-3123>
Ana Calzada Reyes ¹ <https://orcid.org/0000-0003-0082-2963>
Nibaldo Hernández Mesa ¹ <https://orcid.org/0009-0006-2208-9116>

¹ Centro de Neurociencias de Cuba. La Habana, Cuba

² Hospital Clínico Quirúrgico Hermanos Ameijeiras. La Habana, Cuba

³ Hospital Pediátrico Borrás-Marfán. La Habana, Cuba

* Autor para la correspondencia: lidia@cneuro.edu.cu

RESUMEN

Introducción: Estudios de neuroplasticidad evidencian que redes neurales cambian en ausencia de entradas sensoriales, auditivas o visuales, sin embargo, apenas se conoce qué ocurre cuando ambas modalidades sensoriales están dañadas. **Objetivo:** Evaluar la reorganización cortical pre- y postimplante coclear en niños con pérdida sensorial dual. **Métodos:** Estudio explicativo, experimental, longitudinal y prospectivo de niños con pérdida sensorial dual con 2 grupos controles (niños sanos y sordos), de enero de 2005 a diciembre de 2011. La evaluación neurofisiológica incluye potenciales evocados somatosensorial (N-20), auditivos corticales (P1 y P300) y coherencia-electroencefalográfica. Se determina la correlación entre los hallazgos neurofisiológicos y variables clínicas-audiológicas. **Resultados:** Se ofrece, por primera vez, evidencias de reorganización cortical en niños con pérdida sensorial dual a partir de un estudio con diferentes tipos de pruebas neurofisiológicas. La extensa activación del potencial somatosensorial en regiones parieto-temporo-occipitales izquierdas revierte tras la habilitación auditiva con implante coclear, a menos que existan enfermedades asociadas, en cuyo caso N-20 se expande aún más. Otras medidas neurofisiológicas: P1, P300 y coherencia-electroencefalográfica, de conjunto con el potencial somato, muestran cuanto impacta la pérdida sensorial dual en la actividad cortical. Niños con pérdida sensorial dual se benefician con el uso prolongado del implante, es mayor en los niños implantados con menos de 7 años sin reorganización cortical antes de recibir el implante. Los cambios neuroplásticos parecen expresión de la importancia de la información somestésica en niños con pérdida sensorial dual. Las evidencias de reorganización cortical encuentran aplicación inmediata al contribuir a la evaluación diagnóstica, tratamiento y seguimiento de niños que asisten

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

al Programa cubano de implantes cocleares. **Conclusiones:** Medidas neurofisiológicas no tradicionales en la clínica-audiológica, como los potenciales somatosensoriales, P300, P1 y coherencia-electroencefalográfica resultan útiles para evaluar cambios neuroplásticos en niños con pérdida sensorial dual, donde su comprensión respalda la necesidad de disminuir la edad de implantación.

Palabras clave: pérdida sensorial dual; neuroplasticidad; implantes cocleares; potenciales evocados; electroencefalograma

Neurophysiological evidence of cortical reorganization before and after cochlear implantation in children with dual sensory loss

ABSTRACT

Introduction: Neuroplasticity studies show that neural networks, such as hearing or vision change in the absence of sensory input, however, little is known about what happens when both sensory modalities are impaired. **Objective:** To assess the cortical reorganization pre and postcochlear implantation in children with dual sensory loss. **Methods:** Experimental, longitudinal and prospective study of children with dual sensory loss with two control groups (healthy and deaf children), from January 2005 to December 2011. The neurophysiological evaluation includes somatosensory evoked potentials (N-20), cortical auditory (P1 and P300) and electroencephalographic coherence. It is determined the correlation between neurophysiological findings and clinical-audiological variables. **Results:** It is offered evidence of cortical reorganization in children with dual sensory loss for the first time produced by a study with different types of neurophysiological tests. The extensive activation of somatosensory potential in parieto-temporo-occipital left regions reverts after auditory habilitation with a cochlear implant, unless there are associated diseases, in which case N-20 expands further. Other neurophysiological measures: P1, P300 and electroencephalographic coherence, together with somatosensory potential, show how much dual sensory loss impacts cortical activity. Children with dual sensory loss benefit from prolonged use of the implant, greater in children implanted under seven years of age without cortical reorganization before receiving the implant. The neuroplastic changes seem to be an expression of the importance of somesthetic information in children with dual sensory loss. Evidence of cortical reorganization finds immediate application by contributing to the diagnostic evaluation, treatment, and follow up of children who attend the Cuban Program of Cochlear Implants. **Conclusions:** Non-traditional neurophysiological measures in the audiological clinic, such as somatosensory potentials, P300, P1 and electroencephalographic coherence, are useful for evaluating neuroplastic changes in children with dual sensory loss, where their understanding supports the need to reduce the age of implantation.

Keywords: dual sensory loss; neuroplasticity; cochlear implants; evoked potentials; electroencephalogram

INTRODUCCIÓN

Los déficits auditivos y visuales se encuentran entre las pérdidas sensoriales más frecuentes, tanto en la población pediátrica como en adultos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) 1500 millones de personas en todo el mundo experimentan alguna disminución en su capacidad auditiva. ⁽¹⁾ Mientras que un informe de la propia organización sobre

visión estima que por lo menos 2200 millones de personas tienen deficiencia visual o ceguera. ⁽²⁾ Sin embargo, la sordoceguera no es la suma de sordera y ceguera, sino que es una condición específica que genera problemas de comunicación únicos y necesidades especiales derivadas de la dificultad para percibir de manera global, conocer y, por tanto, interesarse y desenvolverse en su entorno. ⁽³⁾

La sordoceguera también es referida como pérdida sensorial dual (PSD). En la presente investigación se adopta el término PSD ya que abarca el amplio espectro de deficiencia de los 2 sentidos sensoriales principales, puede ir desde una pérdida leve de audición y visión hasta la sordoceguera total, que impacta de forma significativa la calidad de vida de las personas afectadas. ⁽⁴⁾ La PSD constituye un serio problema de salud, más grave cuando la pérdida de audición y visión ocurre al nacer o en los primeros años de vida. La pérdida auditiva en los niños dificulta la adquisición del lenguaje oral, lo cual a su vez implica un trastorno importante en el desarrollo cognitivo del pensamiento y la inteligencia. Por otra parte, la visión es el principal sentido de orientación y juega un papel fundamental en el procesamiento e intercambio de información con el entorno. Más del 80 % de lo que se aprende es a través de la visión. Dicho sistema sensorial participa de manera básica en el proceso natural de adquisición de la lectura. No obstante, muchas de estas consecuencias negativas pueden minimizarse con un diagnóstico e intervención temprana. ^(5,6)

En la actualidad el implante coclear (IC) es el tratamiento estándar de niños con hipoacusia sensorineural bilateral (HSNB) severa o profunda. Su avance tecnológico potencia el desarrollo del habla. ⁽⁷⁾ Sin embargo, los beneficios del IC (comprensión y producción del habla) dependen, entre otros factores, del mayor o menor grado de reorganización cortical intermodal que exista, es decir, en la medida en que las áreas cerebrales no dañadas (con entrada sensorial intacta) invadan (se expandan hacia) las áreas auditivas el IC resultaría menos útil. ⁽⁸⁾ Esta reorganización cortical es una forma de neuroplasticidad, la cual se conoce como plasticidad de modalidad cruzada (PMC). ⁽⁹⁾

Estudios de neuroimágenes realizados en sordos han mostrado una expansión de regiones corticales intactas (visual y somestésica) hacia las áreas no utilizadas. ⁽¹⁰⁾ De igual forma en ciegos se ha mostrado que las áreas corticales visuales son activadas durante el procesamiento táctil y por estímulos auditivos. ^(11,12) Sin embargo, solo 3 estudios de casos únicos de adultos con PSD sin IC han sido publicados en los que se utilizaron técnicas de neuroimágenes para describir cambios neuroplásticos. ⁽¹³⁻¹⁵⁾

Investigadores del Programa cubano de implantes cocleares (PCIC) tienen reportes de estudios de niños con PSD y sordos, donde se evalúa la PMC somestésica, pero no se han enfocado en el estudio de reorganización cortical con diferentes tipos de potenciales evocados y electroencefalograma (EEG). ⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ La presente investigación tiene como objetivo evaluar la reorganización cortical en niños con PSD a partir de un estudio neurofisiológico pre- y post-IC, con la novedad de que se vincula el potencial evocado somatosensorial (PES) de nervio

mediano (PES-N20), con respuestas evocadas corticales auditivas y la coherencia-electroencefalográfica (coh-EEG), los que complementan el estudio de la actividad eléctrica cortical en niños con PSD. Se puede hipotetizar que, en el caso de niños con PSD congénita con larga evolución de la pérdida sensorial múltiple, la modalidad sensorial intacta (el tacto) puede modificar su representación cortical e incluso expandirse hacia las áreas cerebrales no utilizadas (cortezas auditivas y visuales) e incluso podría modificarse después de la implantación coclear.

MÉTODOS

Se realizó un estudio explicativo, experimental, longitudinal y prospectivo a niños con PSD. La investigación se desarrolló desde enero de 2005 a diciembre de 2011 en el servicio de implantes cocleares del Hospital Pediátrico Borrás-Marfán, donde son asistidos los niños candidatos a IC de todo el país, y el Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), ambos en La Habana.

La muestra quedó conformada por 12 niños con PSD que de todo el país fueron evaluados por especialistas del PCIC. Además, fueron estudiados 2 grupos controles: niños sordos (n = 14) y niños sanos (n = 23).

Las características demográficas de los niños con PSD, grupo en el que se centra el presente trabajo de investigación se muestra en la tabla 1. La edad de implantación se corresponde con la edad cronológica de los niños con PSD al momento de la evaluación pre-IC, ya que los estudios neurofisiológicos se realizaron dentro de las 72 h antes de la implantación coclear de cada niño.

Diferentes pruebas neurofisiológicas fueron realizadas a los niños con PSD (PES-N20, potencial evocado auditivo cortical (PEAC), P300 auditiva y EEG) y a los niños de los 2 grupos controles: sordos (PES-N20) y sanos (PES-N20 y EEG).

El PES-N20 se realizó con un montaje monopolar de 19 sitios de registro del Sistema Internacional 10/20, tal como describen Charroó-Ruiz y colaboradores. ⁽¹⁹⁾ Los autores también describen los parámetros de estimulación del nervio mediano, así como el procedimiento para la edición y evaluación de la topografía de PES-N20.

Para comparar la distribución topográfica del PES-N20 entre los grupos de niños con PSD vs. niños sanos se utilizó una prueba no paramétrica de permutaciones, disponible en el módulo de edición del programa Neuronics Psicofisiología, utilizando el estadígrafo *t-Student*. Mientras que al evaluar la reorganización cortical post-IC fueron consideradas, además, el modo de comunicación y las fases de rehabilitación pre- y post-IC 5 años después de la implantación coclear, así como la prueba de identificación de vocales para lo cual se utilizó la prueba no paramétrica de rasgos señalados y pares igualados de Wilcoxon.

Tabla 1. Características demográficas del grupo de niños con pérdida sensorial dual

Niños con PSD	Edad IC (años)	Sexo	Momento de aparición de la HSNB	Factores causales y Enfermedades asociadas	Oído implantado
SC012	3	M	Prelocutiva	Causa desconocida	Derecho
SC015	4	F	Prelocutiva	Catarata congénita/Afaquia bilateral	Izquierdo
SC018	6	F	Prelocutiva	Retinopatía del prematuro	Derecho
SC014	6	F	Prelocutiva	Retinosis Pigmentaria	Izquierdo
SC004	7	M	Perilocutiva (a los 1,3 años)	Meningoencefalitis por <i>Haemophilus influenzae</i>	Izquierdo
SC001	8	M	Prelocutiva	Retinopatía del prematuro (26 semanas)/ Desprendimiento total de retina de ambos ojos	Derecho
SC013	9	F	Prelocutiva	Retinosis Pigmentaria/Parálisis Cerebral/Déficit Cognitivo	Izquierdo
SC007	12	F	Prelocutiva	Síndrome Facio-Oculo-Auditivo-Renal/ Talasemia	Derecho
SC003	13	M	Prelocutiva	Causa desconocida	Derecho
SC005	14	M	Prelocutiva	Glaucoma bilateral/Desprendimiento total de retina en el ojo derecho y <i>Ptisis bulbi</i> en el ojo izquierdo	Izquierdo
SC009	14	F	Perilocutiva (1,3 años)	Sepsis generalizada a los 36 días de nacida con uso de kanamicina Retinosis pigmentaria.	Izquierdo
SC010	15	M	Perilocutiva (2,5 años)	Sordera después de tratamiento con kanamicina a los 3 años/Desprendimiento total de retina de ambos ojos	Derecho

Fuente: Base de datos del Programa cubano de implantes cocleares

El montaje monopolar de 19 sitios del Sistema Internacional 10/20 también fue utilizado para el registro de la P300 auditiva y el EEG. Para obtener la P300 se utilizó un paradigma *oddball*, que consistió en la presentación de forma aleatoria de un total de 200 tonos, de los cuales 160 fueron de 500 Hz (estímulo frecuente) y 40 de 1500 Hz (estímulo infrecuente) presentados a campo libre, con una bocina colocada a 30 cm de distancia del oído implantado. Las señales fueron filtradas entre 0,5 Hz y 30 Hz, con una frecuencia de muestreo de 200 Hz. Mientras que para el registro del EEG (actividad eléctrica cortical de forma continua, mínimo 3 min-máximo 5 min) con ojos cerrados se utilizó el programa Neuronic EEG del electroencefalógrafo digital MEDICID (Neuronic S.A., Cuba), con filtros entre 0,5 Hz y 30 Hz y frecuencia de muestreo de 200 Hz.

El PEAC fue obtenido con un protocolo diseñado en el equipo Neuronica (Neuronic S.A., Cuba), con un estimulador

externo (Neuropack 2, Nihon Kohden, Japón) acoplado al antes mencionado equipo. Los estímulos empleados fueron tonos de 1000 Hz a 95 dB, presentados con una bocina colocada en un ángulo de 90° de azimut y a 30 cm de distancia del oído implantado, con una frecuencia de estimulación de 1 Hz. Para el registro de las señales se utilizó un montaje bipolar (Cz-mastoide ipsilateral, con Fpz como electrodo de tierra) promediando 300 respuestas evocadas. Durante la presentación de los estímulos el niño no tenía que identificar los estímulos, solo debía permanecer relajado y minimizar los movimientos oculares y corporales.

Los trazados de actividad eléctrica cerebral del estudio de P300 se analizaron fuera de línea para extraer y evaluar la onda P300, mientras que el PEAC fue extraído durante el registro por promediación en línea. La latencia y amplitud del pico P1 y la onda P300 fueron los parámetros evaluados en el PEAC y la P300, respectivamente.

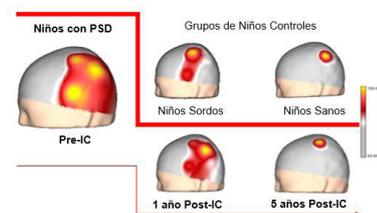
En el análisis del EEG fueron seleccionados segmentos libres de artefactos para el cálculo de la coh-EEG. Para ello se utilizó un programa desarrollado en MatLab, donde fueron consideradas medidas de coh-EEG intrahemisférica calculadas para pares de electrodos de registro del EEG. Se consideraron 2 medidas de coh-EEG: la intrahemisférica de corto alcance (derecha: Fp2-F4, F4-C4, F8-T4, T4-T6, C4-P4, P4-O2 e izquierda: Fp1-F3, F3-C3, F7-T3, T3-T5, C3-P3, P3-O1) y la intrahemisférica transversa (derecha Fp2-F8, Fp2-T4, F4-F8, F4-T4, C4-F8, C4-T6, P4-T4, P4-T6, O2-T4, O2-T6 e izquierda Fp1-F7, Fp1-T3, F3-T3, C3-F7, C3-T5, P3-T3, P3-T5, O1-T3, O1-T5), calculadas para las bandas de frecuencias delta (0,5-3,5) Hz, theta (4-7) Hz, alfa (8-13) Hz y beta (14-30) Hz. Finalmente, se hizo un análisis de correlación de hallazgos neurofisiológicos con variables clínicas-audiológicas de los niños con PSD en el que se incluyeron la topografía del PES-N20, las latencias del pico P1 del PEAC y de la onda P300, el modo de comunicación y las fases de rehabilitación pre- y post-IC, así como la edad de implantación y la prueba de identificación de vocales. Para ello se utilizó una prueba no paramétrica con el coeficiente de Kendal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1A se muestran los mapas promedios del PES-N20 por estimulación del nervio mediano correspondientes al estudio pre-IC de niños con PSD y de los niños de los grupos controles (sanos y sordos). En el mapa promedio del PES-N20 pre-IC de niños con PSD se observa una extensa activación a regiones parieto-temporo-occipital izquierda, diferente a la que tiene lugar en niños sordos (regiones parieto-temporal izquierda). Mientras que en la figura 1B se muestran los resultados del análisis de los mapas individuales del PES-N20 pre-IC y post-IC (al año y 5 años post-IC) correspondientes a 9 (75 %) de los 12 niños con PSD estudiados inicialmente, ordenados según edad de implantación. En 3 niños no fue posible completar la reevaluación post-IC al cumplirse el criterio de salida, abandonar el estudio por las siguientes causas: un niño no pudo asistir a rehabilitación de forma regular, otro niño tuvo falla en la parte interna del IC y el tercero falleció por accidente de tránsito.

Observe en los mapas individuales (ver figura 1B) que la topografía del PES-N20 en los niños con 7 o más años de duración de la PSD al momento de ser implantados (sobre representada en el estudio pre-IC, fila superior) es comparable a la observada en los niños sanos, 5 años después de la implantación coclear se focaliza en región parietal contralateral (fila inferior), siempre que no estuvieron presentes condiciones adversas para el buen aprovechamiento del IC, tal como aconteció en la niña cuyos resultados corresponden

A



B

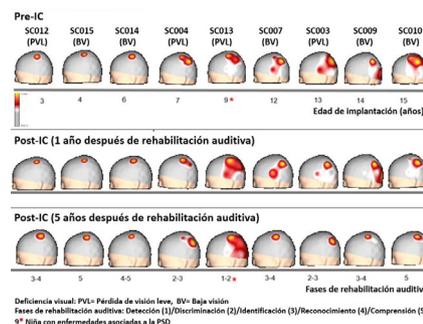


Fig. 1. Reorganización cortical somestésica en niños con PSD. A) Mapas topográficos promedios del PES-N20 que muestran evidencias de cambios neuroplásticos pre-IC y nueva reorganización cortical somestésica post-IC en niños con PSD, diferente a los mapas de niños sordos y niños sanos. B) Mapas individuales del PES-N20 que muestran los cambios neuroplásticos pre- y post-IC en relación con la edad de implantación y las fases de rehabilitación alcanzada 5 años después de la rehabilitación auditiva post-IC. Fuente: Base de datos del Programa Cubano de Implantes Cocleares

con el quinto mapa en cada una de las filas de mapas (ver enfermedades asociadas de la niña [SC013] en la tabla 1). En las otras pruebas neurofisiológicas realizadas los principales hallazgos fueron prolongación de las latencias de la onda P300 y del pico P1 en el PEAC, mientras que la coh-EEG mostró disminución, que mejora tras 5 años de rehabilitación post-IC (ver figura 1A).

Correlación de los hallazgos neurofisiológicos con variables clínicas-audiológicas en niños con PSD

En la tabla 2 se muestran los cambios de la topografía de l PES-N20 en la evaluación pre-IC y 5 años post-IC, así como variables clínicas-audiológicas: modo de comunicación y fases de rehabilitación pre- vs. post-IC, además de la edad de implantación. Estos parámetros muestran cambios, estadísticamente significativos, evaluados a partir de la prueba de Wilcoxon. Los cambios en el modo de comunicación ($Z = 2,665$; $p = 0,007$) y las fases de rehabilitación ($Z = 2,366$; $p = 0,017$) evidencian los progresos que tienen los niños con PSD tras la implantación coclear y rehabilitación auditiva, lo cual estuvo asociado con una reducción de la sobrerrepresentación del PES-N20 post-IC ($Z = 2,201$; $p = 0,027$), casi de forma

Tabla 2. Comportamiento pre- vs. post-IC de la topografía del PES-N20 y de variables clínicas-audiológicas en niños con PSD

Topografía del PES-N20 y variables clínicas-audiológicas	SC012	SC015	SC014	SC004	SC013	SC007	SC003	SC009	SC010	Prueba No Paramétrica Wilcoxon	Z	p
Edad de Implantación (años)	3	4	6	7	9	12	13	14	15			
PES-N20 Pre-IC	P	P	P	P	P	PT	PTO	PTO	PTO			
PES-N20 Post-IC	P	P	P	P	PTO	P	P	P	P	2,2013	0,027	
Modo de Comunicación	PV	PV	PV	PV	PV	PV	LS	PV	LS			
Pre-IC	LO	LO	LO	LO	LS	LC	LC	LC	LO	2,6655	0,007	
Modo de Comunicación Post-IC												
Fase de Rehabilitación	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2			
Pre-IC	3-4	5	4-5	2-3	1-2	3-4	2-3	3-4	5	2,3664	0,017	
Fase de Rehabilitación Post-IC												

PES-N20: P= Parietal/PT= Parieto-Temporal/PTO= Temporo-Parieto-OccipitalModo de Comunicación: PV= Preverbal/LS= Lengua de Señas/LC= Lenguaje Combinado (señas y oral)/LO= Lenguaje OralFases de Rehabilitación: Detección (1)/Discriminación (2)/Identificación (3)/Reconocimiento (4)/Comprensión (5)

general, excepto en una niña de la muestra cuya topografía del PES-N20 estuvo más expandida en la evaluación post-IC cuando se compara con el estudio pre-IC.

Al integrar la información que aparece en la tabla 6 merecen ser comentados 2 aspectos. En primer lugar, se observó que a menor edad de implantación los niños lograron avanzar a fases superiores de rehabilitación y desarrollar lenguaje oral, coincidiendo con los niños que no tuvieron expansión del PES-N20 pre-IC.

En segundo lugar y en sentido opuesto, los resultados más pobres fueron, en general, para los niños implantados tardíamente, específicamente la niña SC013 mostró los peores resultados. Esta niña continúa apoyándose en una comunicación táctil, con señas propias y pobre lenguaje de señas, permanece en las primeras fases de rehabilitación (detección-discriminación) y tuvo como factores potenciales para tales resultados haber sido implantada tardíamente, con sobrerrepresentación del PES-N20 pre-IC (evidencia de PMC), además de presentar más de una enfermedad asociada a la PSD (ver tabla 1). Por el contrario, cabe resaltar que el niño SC010, aunque también fue implantado tardíamente y tenía sobrerrepresentación del PES-N20 pre-IC, obtuvo resultados

comparables a los niños implantados a edad temprana. En este caso se consideró que fue un niño cuya pérdida post-utero ocurrió a los 2,5 años (ver tabla 1). Se podría especular que el haber tenido experiencia auditiva previa a la implantación durante el período crítico de máxima plasticidad para el desarrollo del Sistema auditivo central (SAC) pudo ser favorable para su desempeño post-IC. De tal forma que todos estos factores de conjunto parecen incidir en la variabilidad de habilidades auditivas que tuvieron los niños con PSD que fueron implantados con 7 o más años de edad.

Finalmente, un análisis de correlación de los hallazgos neurofisiológicos con variables clínicas-audiológicas arrojó que en la etapa pre-IC solo existió correlación estadísticamente significativa (positiva) entre la topografía del PES-N20 y la edad de implantación (coeficiente de Kendal = 0,8547), lo que sostiene las evidencias que existen para la sordera y ceguera, donde a mayor duración de la pérdida sensorial tiene lugar una mayor reorganización cortical para las modalidades sensoriales intactas, la somestésica en el caso de niños con PSD. Mientras que en la etapa post-IC existió correlación negativa, estadísticamente significativa, del PES-N20 con la prueba de

identificación de vocales (coeficiente de Kendal = -0,5007), las fases de rehabilitación (coeficiente de Kendal = -0,5080) y el modo de comunicación alcanzado por los niños con PSD (coeficiente de Kendal = -0,5873), lo cual presume la reversión de la sobrerrepresentación del PES-N20 pre-IC, es decir, nueva reorganización cortical para la modalidad somestésica a la vez que se desarrollan habilidades auditivas en los niños con PSD. También el análisis de correlación fue estadísticamente significativo (correlación negativa) para las latencias del pico P1 con la prueba de identificación de vocales (coeficiente de Kendal = -0,8524), las fases de rehabilitación (coeficiente de Kendal = -0,7705) y el modo de comunicación alcanzado por los niños (coeficiente de Kendal = -0,8660), así como para la latencia de P300 con la prueba de identificación de vocales (coeficiente de Kendal = -0,7783) y las fases de rehabilitación alcanzado por los niños con PSD (coeficiente de Kendal = -0,8690).

La presente investigación aporta las primeras evidencias electrofisiológicas de reorganización cortical pre- y post-IC en niños con PSD desde un enfoque integrador de hallazgos neurofisiológicos con potenciales evocados de diferentes modalidades (PES-N20, PEAC y P300 auditiva) y coh-EEG, que es diferente a las publicadas hasta la fecha, realizadas solo por investigadores del PCIC, a partir del estudio de la topografía de PES, con lo que se contribuye a una mayor comprensión de la reorganización cortical en niños con PSD.^(19,20)

No encontramos reportes de estudios de potenciales evocados y EEG, pre- y post-IC, en niños con PSD. Solo Osaki y col. ofrecen evidencias de reorganización cortical al realizar un estudio pre- y post-IC con PET en un único adulto sordociego.^(13,14) Ellos describen la activación de la región temporal por la llegada de estímulos auditivos a través del IC, a pesar de que dicha región estuviera activada por entradas sensoriales de otras modalidades (fuerte conectividad occipito-temporal) en la etapa pre-IC.

Estudios con PES realizados a partir de una evaluación pre- y post-IC, como la presente investigación solo es reportado por Sharma y colaboradores.⁽²¹⁾ Ellos constataron que aun cuando por efecto de la sordera tuvo lugar una reorganización cortical para ambas modalidades, visual y somatosensorial, luego de la rehabilitación auditiva post-IC ocurre reversión de la reorganización cortical (parcial para la visual y total para la somatosensorial).

Tras una revisión de la literatura Kral y Sato refieren que el efecto adverso de la PMC es menos negativo de lo que inicialmente se suponía considerando que cada vez se tienen nuevas evidencias de reversión de la reorganización en sordos con IC.⁽²²⁾ Los autores enfatizan que si la sordera no es tratada tempranamente y persiste más allá de cierta edad, conduce al fallo de procesos auditivos claves por el cierre del período crítico, interfiere con el desarrollo de microcircuitos columnares que integran el procesamiento de información *top-down* y *bottom-up*

en el SAC, pero que dichos cambios pueden ser, al menos en parte, reversibles por la estimulación con IC.

Por otra parte, las respuestas evocadas auditivas corticales permitieron revelar que los niños con PSD, una vez implantados, detectaron los estímulos auditivos al restaurarse la función de la vía auditiva hasta nivel cortical, aunque con prolongación de la latencia del pico P1 y de la onda P300. Tales hallazgos concuerdan con lo reportado en sordos.^(26,27)

Disponer de medidas objetivas para evaluar el rendimiento de niños con IC se hace cada vez más necesario. Específicamente, la P300 es una medida de la atención y operaciones de memoria, por lo que en niños con IC podría proporcionar información complementaria a los resultados de las pruebas audiológicas.⁽²⁸⁾ El aumento de latencia de P1 y la P300 sugiere dificultad en el procesamiento cortical, que puede sustentarse en alteraciones de la sinaptogénesis. Aunque esta aumenta en la etapa postnatal temprana, resulta retrasada respecto a normoyentes. Sinapsis esenciales pueden no establecerse y otras se pierden por la poda sináptica en ausencia de entrada auditiva.⁽²⁵⁾

Los hallazgos de la coh-EEG pueden ser interpretados como evidencias de los efectos de la neuroplasticidad en niños con PSD, dando lugar a alteraciones en el procesamiento de la información que llega a corteza y del control de la actividad desde niveles superiores a estructuras subcorticales como se describe en modelos animales de sordera para el estudio de neuroplasticidad.

Las proyecciones entre la corteza y el tálamo (las de retroalimentación entre ambas estructuras), así como la conectividad córtico-cortical son vitales en la modulación de las aferencias y el complejo procesamiento auditivo. Los cambios en la conectividad pueden dejar a la corteza auditiva, en particular las regiones corticales auditivas superiores, vulnerable al procesamiento de otra modalidad sensorial (visual y somestésica), lo que resulta en una extensa reorganización cortical.^(8,29-31)

Las pruebas neurofisiológicas pueden proporcionar información para respaldar la variabilidad de los resultados de niños con IC. En tal sentido, Lomber y col.⁽⁸⁾ consideran que es esencial que la audiología tienda a nuevas medidas para evaluar el rendimiento de niños con IC. Al considerar que la intervención audiológica se basa sobre los principios de neuroplasticidad, en la capacidad del cerebro para adaptarse a la restauración auditiva con los IC. En próximas décadas el conocimiento sobre neuroplasticidad debe conducir la rehabilitación multisensorial personalizada para niños con pérdida auditiva, única o dual.

Aunque los datos que se ofrecen en la presente investigación fueron obtenidos en una muestra pequeña de niños con PSD, resulta indiscutible que reflejan evidencias de reorganización cortical somestésica pre- y post-IC en niños con PSD.

Conclusiones

En niños con PSD tiene lugar reorganización cortical, expansión del PES-N20 a regiones temporales y occipitales izquierdas, atribuible a efectos de PMC. Tras la implantación y rehabilitación ocurre reversión de la reorganización cortical somestésica presente en niños con 7 o más años de PSD, a menos que existan condiciones adversas, 2 o más enfermedades asociadas, en cuyo caso el PES-N20 se expande más de lo observado en la etapa pre-IC. Cambios en otros potenciales evocados (PEAC y P300 auditiva) y el estudio de la co-EEG permiten mostrar los extensos cambios neuroplásticos que tienen lugar en la PSD y, al mismo tiempo, la capacidad de ser modificados con intervención temprana como son los IC, lo que constituye la primera descrita de su tipo en niños con PSD, donde su comprensión respalda la necesidad de disminuir la edad de implantación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). Informe mundial sobre audición. WHO/UCN/NCD/SDR 20.22. Ginebra, Suiza; 2020 [citada 3 mar 2021]. Disponible en: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/deafness-and-hearing-loss/world-report-on-hearing/wrh-exec-summary_sp.pdf?sfvrsn=feb8d533_27&download=true.
2. World Health Organization (WHO). World report on vision. Geneva, 2019. [citada 8 oct 2019]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/detail/08-10-2019-who-launches-first-world-report-on-vision>.
3. Larsen FA, Damen S. Definitions of deafblindness and congenital deafblindness. Res Dev Disabil. 2014 Oct 1;35(10):2568-76. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.05.029> PMID: 25016162
4. Wittich W, Southall K, Sikora L, Watanabe DH, Gagné JP. What's in a name: Dual sensory impairment or deafblindness? Br J Vis Impair. 2013 Sep;31(3):198-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0264619613490519>
5. Joint Committee on Infant Hearing. Joint Committee on Infant Hearing 2019 Position Statement. Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. JEHDI. 2019;4(2):1-44. <https://doi.org/10.15142/fptk-b748>
6. Núñez-Batalla F, Jáudenes-Casaubón C, Sequí-Canet JM, Vivanco-Allende A, Zubicaray-Ugarteche J, Lascarro IO. Programas de cribado de la hipoacusia congénita en 2020: recomendaciones CODEPEH. Acta Otorrinolaringol Esp. 2021 Sep 1;72(5):312-23. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.otorri.2020.06.009>
7. Varadarajan VV, Sydlowski SA, Li MM, Anne S, Adunka OF. Evolving criteria for adult and pediatric cochlear implantation. Ear Nose Throat J. 2021 Jan;100(1):31-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0145561320947258>
8. Lomber SG, Butler BE, Glick H, Sharma A. Crossmodal neuroplasticity in deafness: Evidence from animal models and clinical populations. In: Multisensory Perception. 2020; Jan 1:(343-70). Academic Press.
9. Bavelier D, Neville HJ. Cross-modal plasticity: where and how? Nat Rev Neurosci. 2002 Jun 1;3(6):443-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrn848>
10. Auer Jr ET, Bernstein LE, Sungkarat W, Singh M. Vibrotactile activation of the auditory cortices in deaf versus hearing adults. Neuroreport. 2007 May 5;18(7):645. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3280d943b9>
11. Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Ibañez V, Deiber MP, Dold G, Hallett M. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. Nature. 1996 Apr 11;380(6574):526-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/380526a0>
12. Sadato N, Okada T, Honda M, Yonekura Y. Critical period for cross-modal plasticity in blind humans: a functional MRI study. Neuroimage. 2002 Jun 1;16(2):389-400. Disponible en: <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1111>
13. Osaki Y, Doi K, Takasawa M, Noda K, Nishimura H, Ihara A, Iwaki T, Imaizumi M, Yoshikawa T, Oku N, Hatazawa J. Cortical processing of tactile language in a postlingually deaf-blind subject. Neuroreport. 2004 Feb 9;15(2):287-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/00001756-200402090-00015>
14. Osaki Y, Takasawa M, Doi K, Nishimura H, Iwaki T, Imaizumi M, Oku N, Hatazawa J, Kubo T. Auditory and tactile processing in a postmeningitic deaf-blind patient with a cochlear implant. Neurology. 2006 Sep 12;67(5):887-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000234141.72891.13>
15. Obretenova S, Halko MA, Plow EB, Pascual-Leone A, Merabet LB. Neuroplasticity associated with tactile language communication in a deaf-blind subject Front Hum Neurosci. 2010 Jan 4;3:953. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/neuro.09.060.2009>
16. Charroó-Ruiz LE, Pérez-Abalo MC, Hernández MC, Álvarez B, Bermejo B, Bermejo S, Galán L, Díaz-Comas L. Cross-modal plasticity in Cuban visually-impaired child cochlear implant candidates: topography of somatosensory evoked potentials. MEDICC Rev. 2012;14:23-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s1555-79602012000200007>
17. Charroó-Ruiz LE, Picó T, Pérez-Abalo MC, Hernández MD, Bermejo S, Bermejo B, Álvarez B, Paz AS, Rodríguez U, Sevilla M, Martínez Y. Cross-modal plasticity in deaf child cochlear implant candidates assessed using visual and somatosensory evoked potentials. MEDICC Rev. 2013 Jan;15(1):16-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s1555-79602013000100005>
18. Charroó-Ruiz L, Pérez-Abalo M, Hernández M, Picó T, Bermejo S, Bermejo B *et al*. Neuroplasticidad en la privación auditiva –única o dual (sordoceguera)-: hallazgos en niños del Programa Cubano de Implantes Cocleares. Rev Mex AMCAOF 2013;2(1):76. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/audiologia/fon-2013/fon131b.pdf>.
19. Charroó-Ruiz L, Rivero F, Calzada A, Pérez-Abalo M, Hernández M, Bermejo Guerra S *et al*. Cross-Modal Plasticity: Pre and post Cochlear Implant study in deaf-blindness. En: Horizons in Neuroscience Research. Eds. Aderes Costa, Eugenio Villalba. New York: Published by Nova Publishers Inc; 2016. 113-24. ISBN: 978-1-63484-326-3 (eBook).
20. Charroó-Ruiz L, Alvarez A, Paz A, Bermejo S, Martín Y, Bermejo B *et al*. Cross-Modal Plasticity in deaf children with visual-impairment: Electrophysiological results after long-term use of Cochlear Implant. En: Cochlear Implants Advances, Efficacy and Future Directions. Ed. Herbert W. Courtney. New York: Nova Publishers Inc, 2018. 1. ISBN: 978-1-53613-209-0 (eBook).
21. Sharma A, Glick H, Campbell J, Torres J, Dorman M, Zeitler DM. Cortical plasticity and re-organization in pediatric single-sided deafness pre-and post-cochlear implantation: a case study. Otol

- Neurotol: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolology and Neurotology. 2016 Feb;37(2):e26. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000904>
22. Kral A, Sato M. Nature and nurture in hearing: critical periods for therapy of deafness. *Acoust Sci Technol*. 2020 Jan 1;41(1):54-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1250/ast.41.54>
23. Giraud AL, Price CJ, Graham JM, Frackowiak RS. Functional plasticity of language-related brain areas after cochlear implantation. *Brain*. 2001 Jul 1;124(7):1307-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/brain/124.7.1307>
24. Giraud AL, Price CJ, Graham JM, Truy E, Frackowiak RS. Cross-modal plasticity underpins language recovery after cochlear implantation. *Neuron*. 2001 May 1;30(3):657-64. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00318-X](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00318-X)
25. Kral A, Sharma A. Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends Neurosci*. 2012 Feb 1;35(2):111-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.09.004>
26. Silva LA, Couto MI, Magliaro FC, Tsuji RK, Bento RF, de Carvalho AC, Matas CG. Cortical maturation in children with cochlear implants: Correlation between electrophysiological and behavioral measurement. *PLoS One*. 2017 Feb 2;12(2):e0171177. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171177>
27. do Amaral MS, Zamberlan-Amorin NE, Sasso Mendes KD, Bernal SC, Massuda ET, Hyppolito MÂ, Barbosa Reis AC. Auditory evoked potential (P300) in cochlear implant users: a scoping review. *bioRxiv*. 2020 May 13:2020-05. Disponible en: <https://doi.org/10.1101/2020.05.13.094235>
28. Vanaja CS, Sarda S. P300 as a measure of auditory memory in cochlear implant recipients: A preliminary report. *Indian J Otol*. 2019 Apr 1;25(2):103-7. Disponible en: https://doi.org/10.4103/indianjotol.INDIANJOTOL_118_18
29. Finney EM, Fine I, Dobkins KR. Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nat Neurosci*. 2001 Dec 1;4(12):1171-3. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nn763>
30. Gilley PM, Sharma A, Dorman MF. Cortical reorganization in children with cochlear implants. *Brain Res*. 2008 Nov 6;1239:56-65. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.08.026>
31. Kral A, Kronenberger WG, Pisoni DB, O'Donoghue GM. Neurocognitive factors in sensory restoration of early deafness: a connectome model. *The Lancet Neurology*. 2016 May 1;15(6):610-21. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)00034-X)

Recibido: 09/01/2024
Aprobado: 09/02/2024

Conflictos de intereses

Los autores no presentan conflictos de interés en relación con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Lidia Esther Charroó Ruíz; Mitchell Valdés Sosa; Maria Cecilia Pérez Abalo
Curación de datos: Lidia Esther Charroó Ruíz; Antonio Paz Cordovés; Sandra Bermejo Guerra
Análisis formal: Lidia Esther Charroó Ruíz; Antonio Paz Cordovés; Sandra Bermejo Guerra; Lídice Galán García
Investigación: Lidia Esther Charroó Ruíz; Antonio Paz Cordovés; Sandra Bermejo Guerra; Manuel Sevilla Salas
Metodología: Lidia Esther Charroó Ruíz; Mitchell Valdés Sosa; Maria Cecilia Pérez Abalo
Administración del proyecto: Lidia Esther Charroó Ruíz Recursos: Lidia Esther Charroó Ruíz; Lídice Galán García
Software: Lídice Galán García
Supervisión: Mitchell Valdés Sosa; Maria Cecilia Pérez Abalo
Validación: Lidia Esther Charroó Ruíz; Lídice Galán García Redacción-borrador original: Lidia Esther Charroó Ruíz; Antonio Paz Cordovés; Sandra Bermejo Guerra; Manuel Sevilla Salas
Redacción-revisión y edición: Lidia Esther Charroó Ruíz; Ana Calzada Reyes; Alfredo Álvarez Amador; Nivaldo Hernández Mesa

Financiamientos

Los autores declaran no haber utilizado financiamiento específico para la investigación más allá que el salario devengado. MINSAP.

Cómo citar este artículo

Charroó Ruíz LE, Valdés Sosa M, Pérez Abalo MC, Paz Cordovés A, Bermejo Guerra S, Sevilla Salas M *et al*. Evidencias neurofisiológicas de reorganización cortical antes y después de implante coclear en niños con pérdida sensorial dual. *An Acad Cienc Cuba [Internet]* 2023 [citado en día, mes y año]; No. (Vol):e1527. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1527>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2024.

