

# Electrococleografía en implante coclear

## Electrocochleography in cochlear implant

Paul Délano R.<sup>1,2,3</sup>

### Resumen

La electrococleografía es una técnica electrofisiológica desarrollada en modelos animales hace más de 90 años. En la actualidad se utiliza en la práctica clínica en audiología y otoneurología, ya que permite evaluar la función coclear, a través del registro del potencial microfónico coclear, y la funcionalidad del nervio auditivo por medio del registro del potencial de acción compuesto. Debido al avance de la tecnología de los implantes cocleares, actualmente existe la posibilidad de realizar mediciones clínicas a tiempo real con electrococleografía intraoperatoria, por lo que se puede monitorizar la función auditiva residual durante la inserción de los electrodos del implante coclear. En este artículo se presenta una revisión narrativa del uso y aplicación clínica de la electrococleografía en la evaluación de pacientes con implante coclear para predecir el desempeño auditivo y la percepción del habla. La literatura muestra que la electrococleografía es una técnica que se encuentra, plenamente, vigente para evaluar la función auditiva en pacientes usuarios de implantes cocleares. Si bien las respuestas cocleares han demostrado ser un buen predictor de los umbrales perceptuales auditivos y del habla en silencio en adultos, aún es una técnica que requiere más desarrollo para ser una herramienta clínica que permita predecir el habla en ruido y la función auditiva en niños y adultos mayores.

**Palabras clave:** Electrococleografía, potencial microfónico coclear, ECAP, potenciales cocleares, implante coclear, nervio auditivo.

### Abstract

*Electrocochleography is an electrophysiological technique developed in animal models more than 90 years ago. It is currently used in clinical practice in audiology and otoneurology, since it allows the evaluation of cochlear function, through the recording of the cochlear microphonic potentials, and the functionality of the auditory nerve by means of compound action potential recordings. Due to the advancement of cochlear implant technology, there is currently the possibility of real-time clinical measurements with intraoperative electrocochleography, so that residual hearing function can be monitored during the insertion of the cochlear implant electrodes. This article presents a narrative review of the use and clinical application of electrocochleography in the evaluation of patients with cochlear implants to predict auditory performance and speech perception. The literature shows that electrocochleography is a technique that is fully in force to assess hearing function in patients who use cochlear implants. Although cochlear responses have been shown to be a good predictor of auditory perceptual thresholds and speech in quiet in adults, it is still a technique that requires further development to become a clinical tool for predicting speech in noise and auditory function in children and older adults.*

**Keywords:** Electrocochleography, cochlear microphonics, ECAP, cochlear potentials, cochlear implant, auditory nerve.

<sup>1</sup>Departamento de Neurociencias. Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Otorrinolaringología. Hospital Clínico Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, AC3E, Universidad Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

Financiamiento: PDR es financiado por FONDECYT 1220607, ANID BASAL FB0008 y Fundación Guillermo Puelma.

Conflicto de interés: PDR declara tener un contrato de investigación con Advanced Bionics, quienes no tuvieron injerencia en el contenido del presente artículo.

Recibido el 6 de junio de 2023. Aceptado el 18 de julio de 2023.

Correspondencia:  
Paul Délano R.  
Dr. Carlos Lorca Tobar 999  
Departamento  
Otorrinolaringología  
Hospital Clínico Universidad  
de Chile  
Santiago, Chile.  
Email: pdelano@hcuch.cl

## Introducción

En 1930 Wever y Bray publicaron los primeros registros de potenciales eléctricos obtenidos con un electrodo colocado en el oído interno, cerca del nervio auditivo de gatos<sup>1</sup>. En su artículo, Wever y Bray describen un potencial bioeléctrico que les permitía comunicarse desde dentro de la pieza sonoamortiguada al exterior, como si fuera un micrófono, que actualmente sabemos corresponde al potencial microfónico coclear<sup>2</sup>. Posteriormente, en 1935, Fromm y colaboradores realizaron la primera electrococleografía en humanos, colocando electrodos en el promontorio en dos voluntarios con una perforación timpánica, confirmando los hallazgos de Wever y Bray<sup>3</sup>. Desde entonces, ha habido un número creciente de trabajos que han utilizado la electrococleografía en modelos animales y en pacientes, lo que ha permitido comprender el origen de los potenciales electrococleográficos, y proponer múltiples aplicaciones para la práctica clínica<sup>2,4-6</sup>.

### Electrococleografía en humanos

La electrococleografía es una técnica electrofisiológica que, a través de un electrodo que se posiciona cerca del oído interno, permite registrar respuestas bioeléctricas a estímulos auditivos, cuyo origen proviene de las células ciliadas cocleares y del nervio auditivo<sup>2</sup>. Por esta razón, esta técnica ha sido utilizada como herramienta en el diagnóstico de neuropatía auditiva<sup>7</sup>, en la evaluación de pacientes con posible enfermedad de Ménière y, actualmente, para evaluar la función auditiva en pacientes con implantes cocleares<sup>8</sup>. Por otro lado, también ha sido fundamental en la investigación en neurociencia auditiva<sup>4,5</sup>.

Las técnicas utilizadas para la medición de la electrococleografía en pacientes se dividen en invasivas (transtimpánica o quirúrgica) y no invasivas<sup>9</sup>. Las técnicas no invasivas incluyen a la electrococleografía del conducto auditivo externo y a las de registro con electrodo timpánico, mientras que las invasivas incluyen a las de registro del promontorio, de la ventana redonda y la con electrodos de implante coclear<sup>2,8</sup>. Una desventaja de las técnicas no invasivas es que las amplitudes de los potenciales son menores que en las

técnicas invasivas<sup>10</sup>. De esta forma, las técnicas invasivas aún no son reemplazadas por la no-invasivas, y dado el auge de la cirugía de implante coclear, cada vez es más accesible el estudio electrococleográfico en pacientes con implante coclear. En este artículo se presenta una revisión narrativa del uso y aplicación clínica de la electrococleografía en la evaluación de pacientes con implante coclear.

### Implante coclear

Los implantes cocleares son dispositivos electrónicos implantables que estimulan con pulsos eléctricos a las neuronas del nervio auditivo para restituir la audición y permitir el desarrollo del lenguaje oral en infantes y restablecer la comunicación oral en adultos con hipoacusias poslinguales<sup>11</sup>. Si bien los implantes cocleares permiten restablecer los umbrales auditivos en la gran mayoría de los pacientes, la percepción del habla en los usuarios de implantes cocleares es variable, sobre todo en ambientes con ruido de fondo<sup>12</sup>. En este sentido se ha propuesto a la electrococleografía como una herramienta útil para evaluar la función auditiva y los restos auditivos de los pacientes con implantes cocleares, lo que podría predecir la percepción del habla en silencio o incluso en ambientes con ruido de fondo<sup>13</sup>.

El uso de la electrococleografía en la evaluación de pacientes con implantes cocleares puede ser realizada antes, durante o después de la cirugía del implante coclear<sup>14</sup>. Cuando la evaluación con electrococleografía se realiza antes de la colocación del implante, se utilizan las técnicas no invasivas descritas anteriormente o el test de promontorio, con las que se obtienen respuestas de menor amplitud que las mediciones intra-cocleares<sup>15</sup>.

Por otro lado, durante la cirugía de implante coclear, o posterior a ésta, se pueden utilizar los mismos electrodos del implante coclear en modo de registro electrofisiológico<sup>14</sup>, lo que permite evaluar las respuestas electrofisiológicas de la cóclea, del nervio auditivo, o incluso de potenciales evocados corticales tipo electroencefalograma<sup>16</sup>. La pregunta que surge es: ¿se correlacionan estas medidas electrofisiológicas con los umbrales auditivos y la percepción del habla en silencio y en ruido de los usuarios de implante coclear?

## Electrococleografía durante la inserción del implante coclear

La evaluación electrofisiológica de las respuestas auditivas durante la inserción de los electrodos en la cóclea se puede realizar a través de la medición de la magnitud del potencial microfónico coclear, generalmente a frecuencias bajas<sup>17</sup>, lo que se postula se correlaciona con la presencia de células ciliadas cocleares residuales en los pacientes con hipoacusia severa a profunda. Por otro lado, durante el evento quirúrgico e inmediatamente posterior a la colocación de los electrodos, en forma rutinaria se miden las respuestas compuestas del nervio auditivo evocadas por pulsos eléctricos (ECAPs, de su sigla en inglés)<sup>18</sup>, lo que permite evaluar la funcionalidad del nervio auditivo en respuesta a pulsos eléctricos presentados a diferentes intensidades, en lo que se conoce como la curva *input/output*. Otras mediciones menos frecuentes de obtener durante la inserción del implante coclear corresponden al potencial neurofónico<sup>13</sup> y al potencial de sumación coclear<sup>19</sup>, las que actualmente, sólo se utilizan en investigación.

La Tabla 1 muestra un resumen de los distintos potenciales eléctricos que se pueden obtener con la electrococleografía. En los siguientes párrafos se describirán, principalmente trabajos realizados con ECAPs y potencial microfónico coclear y su relación con la función auditiva residual, umbrales audiométricos, habla en silencio y con ruido de fondo.

### ECAPs

La medición de las respuestas compuestas del nervio auditivo por estimulación eléctrica del implante coclear es parte rutinaria de las mediciones electrofisiológicas que se realizan

al final de la cirugía del implante coclear. Posterior a la comprobación de las impedancias eléctricas de los electrodos del implante coclear, se procede a realizar la medición de los ECAPs para evaluar la indemnidad funcional del nervio auditivo en sus distintas posiciones cocleares.

Los ECAPs se obtienen mediante la estimulación eléctrica, la que se realiza con distintos niveles de intensidad de corriente, generando curvas de amplitud de ECAPs en función de la entrada/salida (curvas *input/output*). Un estudio seminal de Brown y colaboradores (1990)<sup>20</sup> investigó la posible correlación entre las amplitudes de los ECAPs y las pendientes de las curvas *input/output* con la percepción del habla en pacientes con implante coclear, encontrando correlaciones significativas a nivel grupal. Posterior a este trabajo han existido múltiples estudios que han intentado perfeccionar esta relación entre las amplitudes y pendientes de las curvas *input/output* de los ECAPs con la percepción del habla en silencio y en ruido en usuarios de implantes cocleares, de manera de poder predecir el desempeño a nivel individual. Un estudio reciente de Dong y cols. (2023)<sup>21</sup> muestra que, si bien existe una correlación a nivel grupal entre las pendientes y las amplitudes de los ECAPs, con la percepción del habla ( $R^2=0,06$ ,  $p<0,05$  para las amplitudes de los ECAPs;  $R^2=0,07$ ,  $p<0,05$  para las pendientes de las curvas *input/output* de los ECAPs), a nivel individual, la predicción es limitada. De esta forma, el estudio con ECAPs en implantes cocleares es una herramienta en pleno desarrollo, que permite confirmar las respuestas del nervio auditivo, pero que aún necesita de mayor investigación para determinar su utilidad en la predicción individual del habla en silencio y en ambientes ruidosos.

**Tabla 1. Origen de los potenciales medibles en electrococleografía**

Potencial electrococleográfico	Origen fisiológico
Potencial de acción compuesto evocado por pulsos eléctricos (ECAPs)	Nervio auditivo
Potencial microfónico coclear	Células ciliadas cocleares
Potencial de sumación	Diferencia potenciales entre endolinfa y perilinfa
Potencial neurofónico	Nervio auditivo

### Potencial microfónico coclear

La medición del potencial microfónico coclear ha sido propuesta como una forma de estimar la función remanente de células ciliadas cocleares en pacientes con hipoacusia, de manera de cuantificar los restos auditivos y predecir el desempeño conductual auditivo. Koka y cols. (2017)<sup>13</sup> mostraron que los umbrales auditivos determinados por la presencia de potencial microfónico coclear se correlacionan ( $R^2 = 0,82$ ) con los umbrales audiométricos residuales de pacientes con hipoacusias que presentan residuos auditivos en frecuencias bajo 500 Hz.

El potencial microfónico coclear puede ser utilizado para realizar mediciones en tiempo real durante la inserción de los electrodos del implante coclear<sup>22</sup>. Harris y colaboradores describieron tres patrones de curvas de amplitud del potencial microfónico coclear durante la inserción de los electrodos en la cirugía de implante coclear: (i) un decaimiento constante de la amplitud de la señal, (ii) un *peak* de amplitud que decae parcialmente y (iii) un *peak* de amplitud que decae a los niveles basales de la señal<sup>22</sup>. Recientemente, un estudio multicéntrico de pacientes con implante coclear y umbrales auditivos <90 dB HL a 500 Hz mostró que una mayor caída del *peak* de potencial microfónico coclear, durante la cirugía, se correlaciona con peor preservación auditiva<sup>23</sup>. De esta forma, el monitoreo electrococleográfico intra-operatorio con el potencial microfónico coclear podría contribuir a cuantificar el daño quirúrgico por trauma durante la inserción de los electrodos del implante coclear.

Sin embargo, durante la inserción de los electrodos, el potencial microfónico coclear también cambia de amplitud por la tonotopía coclear<sup>24</sup>. De esta forma, la caída de amplitud del potencial microfónico coclear durante la inserción de los electrodos podría explicarse por la tonotopía coclear, y no necesariamente ser sinónimo de daño mecánico de la estructura coclear. Por esta razón, se ha propuesto la monitorización multifrecuencial, utilizando diferentes tonos para diferenciar caídas de la amplitud del potencial microfónico coclear generadas por trauma coclear de aquellas debidas a la tonotopía coclear<sup>25,26</sup>. En los siguientes párrafos se describirán los trabajos que han utilizado electrococleografía multifrecuencial

para predecir la función auditiva y percepción del habla en pacientes con implante coclear.

### Electrococleografía de respuestas frecuenciales múltiples

La evaluación de los restos auditivos puede enfocarse en estímulos auditivos de frecuencias bajas, generalmente tonos de 250 y 500 Hz, ya que éstas corresponden a las regiones cocleares que, habitualmente, presentan restos auditivos. Por otro lado, y con el argumento de realizar una evaluación tonotópica más completa de la función auditiva, se ha propuesto el registro con electrococleografía multifrecuencial o de “respuestas totales”, incluyendo frecuencias desde 125 Hz a 4 kHz<sup>27,28</sup>. Fitzpatrick y colaboradores (2014)<sup>27</sup> reportan que al utilizar una medida compuesta de la amplitud del potencial microfónico coclear en múltiples frecuencias en 21 adultos usuarios de implante coclear, se obtiene una correlación significativa con la percepción del habla en silencio con un  $R^2$  de 0,47.

Recientemente, Fontenot y colaboradores (2019)<sup>29</sup> utilizaron la técnica de electrococleografía multifrecuencial en un estudio prospectivo en el cual reclutaron 284 pacientes, con un rango de edad entre 10 meses de vida a 88 años. Al evaluar el porcentaje de respuestas correctas en una tarea de percepción del habla en silencio se encontraron correlaciones significativas con la respuesta multifrecuencial con un  $R^2$  de 0,46 en el grupo de adultos < 80 años, un  $R^2$  de 0,36 en niños mayores de 6 años y un  $R^2$  de 0,15 en niños < 6 años. Los autores concluyeron que la evaluación multifrecuencial de las respuestas microfónicas cocleares es una buena medida para predecir el rendimiento de la percepción del habla en silencio en adultos usuarios de implante coclear. En cambio, el rendimiento de la electrococleografía es inferior para el grupo infantil, sobre todo para el grupo que fue implantando antes de los 6 años, donde otros factores como la edad de implantación y el tiempo de uso del implante coclear son factores más relevantes que las respuestas electrococleográficas<sup>12</sup>.

Por otro lado, un estudio reciente de Walia y cols. (2022)<sup>30</sup> evaluó el uso de la electrococleografía multifrecuencial en la predicción de la percepción del habla en ruido en usuarios adultos de implantes cocleares, evidenciando

que la cognición ( $R^2 = 0,34$ ) y las respuestas electrococleográficas ( $R^2 = 0,34$ ) se correlacionan de forma similar con la percepción del habla en ruido, evidenciando la importancia de la cognición en esta situación, muy común en el desempeño diario del paciente con implante coclear como lo es el habla en ruido.

### Electrococleografía posterior a la cirugía de implante coclear

Utilizando el implante coclear como electrodo de registro es posible obtener registros electrococleográficos posoperatorios que podrían estimar la función residual auditiva<sup>13</sup>. La evidencia muestra que el potencial microfónico coclear decrece de amplitud a lo largo del tiempo en el posoperatorio, comparado con las amplitudes intraoperatorias<sup>31</sup>. Sin embargo, el uso de la electrococleografía postoperatoria es aún un área de investigación y su utilidad clínica podría extenderse en el futuro cercano.

### Conclusiones

La electrococleografía es una técnica electrofisiológica desarrollada en modelos animales hace más de 90 años y que, actualmente, se encuentra en plena vigencia en su utilización para la evaluación funcional del nervio auditivo (ECAPs) y de la cóclea (potencial microfónico coclear) en pacientes usuarios de implantes cocleares. Si bien las respuestas cocleares han demostrado ser un buen predictor de los umbrales perceptuales auditivos y del habla en silencio en adultos, aún es una técnica que requiere más desarrollo para ser una herramienta clínica que permita predecir la función auditiva en niños y adultos mayores de 80 años, y el habla en ruido a todas las edades.

### Bibliografía

- Wever EG, Bray CW. Action currents in the auditory nerve in response to acoustical stimulation. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1930;16(5):344-350. doi: 10.1073/pnas.16.5.344.
- Eggermont JJ. Ups and Downs in 75 Years of Electrocochleography. *Front Syst Neurosci*. 2017;11:2. doi: 10.3389/fnys.2017.00002.
- Fromm B, Nylen CO, Zotterman Y. Studies in the mechanism of the Wever and Bray effect. *Acta Otolaryngol. (Stockh)*. 1935. 22:477-486. doi: 10.3109/00016483509118125.
- Delano PH, Elgueda D, Hamame CM, Robles L. Selective attention to visual stimuli reduces cochlear sensitivity in chinchillas. *J Neurosci*. 2007;27(15):4146-4153. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3702-06.2007.
- Dragicevic CD, Aedo C, León A, et al. The olivocochlear reflex strength and cochlear sensitivity are independently modulated by auditory cortex microstimulation. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2015;16(2):223-240. doi: 10.1007/s10162-015-0509-9.
- Pardo-Jadue J, Dragicevic CD, Bowen M, Delano PH. On the Origin of the 1,000 Hz Peak in the Spectrum of the Human Tympanic Electrical Noise. *Front Neurosci*. 2017;11:395. doi: 10.3389/fnins.2017.00395.
- Rance G, Starr A. Pathophysiological mechanisms and functional hearing consequences of auditory neuropathy. *Brain*. 2015;138(Pt 11):3141-3158. doi: 10.1093/brain/awv270.
- Gibson WP. The Clinical Uses of Electrocochleography. *Front Neurosci*. 2017;11:274. doi: 10.3389/fnins.2017.00274.
- Mori N, Saeki K, Matsunaga T, Asai H. Comparison between and SP parameters in trans-and extratympanic electrocochleography. *Audiology*. 1982;21:228-241. doi: 10.3109/00206098209072741.
- Noguchi Y, Komatsuzaki A, Nishida H. Cochlear microphonics for hearing preservation in vestibular schwannoma surgery. *Laryngoscope*. 1999;109:1982-1987. doi: 10.1097/00005537-199912000-00016.
- Rauschecker JP, Shannon RV. Sending sound to the brain. *Science*. 2002;295(5557):1025-1029. doi: 10.1126/science.1067796.
- Kral A, Dorman MF, Wilson BS. Neuronal Development of Hearing and Language: Cochlear Implants and Critical Periods. *Annu Rev Neurosci*. 2019;42:47-65. doi: 10.1146/annurev-neuro-080317-061513.
- Koka K, Saoji AA, Litvak LM. Electrocochleography in Cochlear Implant Recipients With Residual Hearing: Comparison With Audiometric Thresholds. *Ear Hear*. 2017;38(3):e161-e167. doi: 10.1097/AUD.0000000000000385.
- Barnes JH, Yin LX, Saoji AA, Carlson ML. Electrocochleography in cochlear implantation: Development, applications, and future directions. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2020;7(2):94-100. doi: 10.1016/j.wjorl.2020.04.006.
- Walia A, Shew MA, Lee DS, et al. Promontory Electrocochleography Recordings to Predict Speech-Perception Performance in Cochlear Implant Recipients. *Otol Neurotol*. 2022;43(8):915-923. doi: 10.1097/MAO.0000000000003628.
- Somers B, Long CJ, Francart T. EEG-based

- diagnostics of the auditory system using cochlear implant electrodes as sensors. *Sci Rep.* 2021;11(1):5383. doi: 10.1038/s41598-021-84829-y.
17. Dalbert A, Pfiffner F, Hoesli M, et al. Assessment of Cochlear Function during Cochlear Implantation by Extra- and Intracochlear Electrocochleography. *Front Neurosci.* 2018;12:18. doi: 10.3389/fnins.2018.00018
  18. Hey M, Müller-Deile J. Accuracy of measurement in electrically evoked compound action potentials. *J Neurosci Methods.* 2015;239:214-222. doi: 10.1016/j.jneumeth.2014.10.012.
  19. Panario J, Bester C, O'Leary SJ. Characteristics of the Summating Potential Measured Across a Cochlear Implant Array as an Indicator of Cochlear Function [published online ahead of print, 2023 Mar 20]. *Ear Hear.* 2023;10.1097/AUD.0000000000001347. doi: 10.1097/AUD.0000000000001347.
  20. Brown CJ, Abbas PJ, Gantz B. Electrically evoked whole-nerve action potentials: data from human cochlear implant users. *J Acoust Soc Am.* 1990;88(3):1385-1391. doi: 10.1121/1.399716
  21. Dong Y, Briaire JJ, Stronks HC, Frijns JHM. Speech Perception Performance in Cochlear Implant Recipients Correlates to the Number and Synchrony of Excited Auditory Nerve Fibers Derived From Electrically Evoked Compound Action Potentials. *Ear Hear.* 2023;44(2):276-286. doi: 10.1097/AUD.0000000000001279.
  22. Harris MS, Riggs WJ, Giardina CK, et al. Patterns Seen During Electrode Insertion Using Intracochlear Electrocochleography Obtained Directly Through a Cochlear Implant. *Otol Neurotol.* 2017;38(10):1415-1420. doi: 10.1097/MAO.0000000000001559.
  23. Lenarz T, Buechner A, Gantz B, et al. Relationship Between Intraoperative Electrocochleography and Hearing Preservation. *Otol Neurotol.* 2022;43(1):e72-e78. doi: 10.1097/MAO.0000000000003403.
  24. Walia A, Shew MA, Lefler SM, et al. Is Characteristic Frequency Limiting Real-Time Electrocochleography During Cochlear Implantation?. *Front Neurosci.* 2022;16:915302. doi: 10.3389/fnins.2022.915302.
  25. Saoji AA, Patel NS, Carlson ML, et al. Multi-frequency Electrocochleography Measurements can be Used to Monitor and Optimize Electrode Placement During Cochlear Implant Surgery. *Otol Neurotol.* 2019;40(10):1287-1291. doi: 10.1097/MAO.0000000000002406.
  26. Saoji AA, Graham MK, Adkins WJ, et al. Multi-Frequency Electrocochleography and Electrode Scan to Identify Electrode Insertion Trauma during Cochlear Implantation. *Brain Sci.* 2023;13(2):330. doi: 10.3390/brainsci13020330.
  27. Fitzpatrick DC, Campbell AP, Choudhury B, et al. Round window electrocochleography just before cochlear implantation: relationship to word recognition outcomes in adults [published correction appears in *Otol Neurotol.* 2014 Aug;35(7):1265. Campbell, Adam T [corrected to Campbell, Adam P]; Dillon, Margaret P [corrected to Dillon, Margaret T]]. *Otol Neurotol.* 2014;35(1):64-71. doi: 10.1097/MAO.0000000000000219.
  28. McClellan JH, Formeister EJ, Merwin WH 3rd, et al. Round window electrocochleography and speech perception outcomes in adult cochlear implant subjects: comparison with audiometric and biographical information. *Otol Neurotol.* 2014;35(9):e245-e252. doi: 10.1097/MAO.0000000000000557.
  29. Fontenot TE, Giardina CK, Dillon M, et al. Residual Cochlear Function in Adults and Children Receiving Cochlear Implants: Correlations With Speech Perception Outcomes [published correction appears in *Ear Hear.* 2019 Jul/Aug;40(4):1034]. *Ear Hear.* 2019;40(3):577-591. doi: 10.1097/AUD.0000000000000630.
  30. Walia A, Shew MA, Kallogjeri D, et al. Electrocochleography and cognition are important predictors of speech perception outcomes in noise for cochlear implant recipients. *Sci Rep.* 2022;12(1):3083. doi: 10.1038/s41598-022-07175-7.
  31. Valenzuela CV, Lichtenhan JT, Lefler SM, Koka K, Buchman CA, Ortmann AJ. Intracochlear Electrocochleography and Speech Perception Scores in Cochlear Implant Recipients. *Laryngoscope.* 2021;131(10):E2681-E2688. doi: 10.1002/lary.29629.