

Nº 7441

CUANDO LA IMAGEN SE ENCUENTRA CON LA FUNCIÓN: PREDICTORES RADIOLÓGICOS Y VESTIBULARES DE LOS RESULTADOS A LARGO PLAZO DEL IMPLANTE COCLEAR EN PACIENTES CON ENFERMEDAD DE MÉNIÈRE

Autores: Joan Lorente-Piera, Nicolás Pérez-Fernández, Raquel Manrique-Huarte, Sebastián Picciafuoco, Manuel Manrique

Filiación: Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, España.

Correo de contacto: Dr. Joan Lorente-Piera (jlorentep@unav.es)

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Ménière (EM) es un trastorno crónico del oído interno caracterizado por episodios de vértigo, hipoacusia neurosensorial fluctuante, acúfenos y sensación de plenitud aural [1]. Desde una perspectiva tanto histopatológica como fisiopatológica, se atribuye al hydrops endolinfático y presenta una incidencia anual estimada entre 3,9 y 15,3 casos por cada 100.000 personas [2]; con el tiempo, entre el 15% y el 60% de los pacientes pueden desarrollar afectación bilateral [3,4,5].

En las etapas iniciales, la pérdida auditiva en la EM tiende a ser fluctuante y afecta predominantemente a las frecuencias graves [6]. A medida que la enfermedad progresa, el deterioro auditivo se estabiliza, alcanzando frecuentemente niveles moderados o severos. Aunque algunos individuos conservan una audición funcional, un porcentaje significativo evolucionará hacia una hipoacusia profunda, ya sea unilateral o bilateral. En estos casos, y especialmente cuando el oído contralateral también presenta umbrales auditivos deficitarios, los pacientes pueden ser candidatos a un implante coclear (IC).

Si bien la proporción de pacientes con EM que cumplen criterios para IC es relativamente baja—estimada en torno al 6% en algunas series—este subgrupo ha despertado un interés clínico creciente [7]. Estudios histopatológicos tempranos revelaron que muchos pacientes con EM avanzada conservan un número suficiente de neuronas espirales, lo que sugiere que podrían beneficiarse de la estimulación eléctrica mediante IC [8,9]. De hecho, investigaciones clínicas más recientes han respaldado esta hipótesis, mostrando resultados auditivos favorables en pacientes con EM en estadio final sometidos a implantación coclear [10].

Los pacientes con EM que reciben un IC suelen experimentar resultados auditivos comparables a los de receptores sin EM [11]. Se han reportado mejoras consistentes en los umbrales auditivos y la discriminación verbal, junto con beneficios adicionales en la calidad de vida, como la reducción de acúfenos, una mejor localización sonora y mayor comprensión en entornos ruidosos. A pesar de estos hallazgos alentadores, algunos estudios han documentado un posible empeoramiento postoperatorio de la función vestibular según pruebas objetivas, lo que resalta la compleja interacción entre la implantación coclear y la fisiopatología de la EM [12].

No obstante, los resultados auditivos tras el IC pueden verse influenciados por tratamientos previos o concomitantes. Se ha descrito el riesgo de osificación coclear tras una laberintectomía quirúrgica, lo que subraya el posible valor de combinar la rehabilitación auditiva y vestibular en un solo procedimiento en pacientes con enfermedad activa e intratable, habiéndose reportado resultados auditivos favorables en el seguimiento [13]. Por el contrario, estudios recientes sugieren que terapias menos invasivas, como la gentamicina intratimpánica, se han asociado a peores resultados auditivos tras IC en pacientes con EM [14].

Dada la naturaleza multifactorial de esta enfermedad, una evaluación integral que incluya datos auditivos, vestibulares e imagenológicos resulta esencial al valorar candidatos y predecir resultados. Si bien la asociación entre EM e hydrops endolinfático está bien establecida—tanto desde el punto de vista histológico [15] como radiológico [16]—y sus consecuencias vestibulares

son conocidas, hasta la fecha ningún estudio ha examinado sistemáticamente el papel combinado de las pruebas vestibulares objetivas y la imagen del oído interno como predictores de los resultados auditivos a largo plazo tras un IC en esta población. Abordar esta laguna podría aportar información clave sobre el pronóstico, la orientación al paciente y la planificación terapéutica individualizada.

El objetivo de este estudio fue evaluar en qué medida la función vestibular y los marcadores radiológicos de hydrops endolinfático influyen en los resultados auditivos a largo plazo en pacientes con EM que han recibido un IC. Integrando los resultados vestibulares, hallazgos de RM del oído interno, fenotipo clínico, duración de la enfermedad y otras variables, este estudio busca identificar posibles predictores pronósticos que permitan mejorar el asesoramiento preoperatorio y anticipar el rendimiento postoperatorio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Población, criterios de inclusión y exclusión

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Navarra (n.º de proyecto 2021.199). Todos los pacientes incluidos proporcionaron consentimiento explícito para el uso de sus datos con fines de investigación y firmaron el consentimiento informado.

Los pacientes incluidos fueron diagnosticados de enfermedad de Ménière cierta (EMcert) [17] y se les realizó una exploración neurológica completa. Se clasificaron según los siguientes fenotipos clínicos: idiopática, diferida, autoinmune o con migraña [18].

Criterios de exclusión: EM familiar, comorbilidades psiquiátricas relevantes que pudieran comprometer el consentimiento informado, la fiabilidad de los datos o el seguimiento protocolizado, y negativa o incapacidad para firmar el consentimiento o acudir a las visitas programadas.

2.2 Exploración y pruebas complementarias

Todos los pacientes se sometieron a una exploración física, incluyendo otoscopia y evaluación otoneurológica mediante videonistagmografía (VNG, VisualEyes™525, Interacoustics VF505m, Dinamarca).

Las pruebas audiovestibulares incluyeron audiometría tonal liminar (PTA) y porcentaje de reconocimiento verbal (SRS) (AC40, Interacoustics), potenciales evocados miogénicos auditivos y vestibulares (VEMP, Eclipse Interacoustics), prueba de impulso cefálico videoasistida (vHIT, ICS® Impulse, Natus Medical), y prueba calórica (VisualEyes™505, Interacoustics, Dinamarca). Evaluación audiológica: Se reportaron los umbrales PTA entre 0,25 y 6 kHz (en dB HL). También se recogió el SRS al 65 dB (%). El criterio audiométrico para implantar el oído afectado fue hipoacusia neurosensorial severa-profunda y SRS en campo libre <50% con audífono a 65 dB según el test bisílabo de Cárdenas y Marrero [19].

Evaluación vestibular: El vHIT evaluó la ganancia del reflejo vestibulo-ocular y la presencia de sacádicos correctores. Se realizaron cVEMP y oVEMP. Se consideró disfunción vestibular una IAAR >40%. Se analizaron relaciones de asimetría interaural en estimulación aérea a 0,5 y 1 kHz con intensidad de 97 dB normalizada. En la prueba calórica se consideró normal una paresia canicular <22%.

Estudios de imagen: Las RM se realizaron en equipos de 3T (Magnetom Vida o Skyra, Siemens), con bobinas de 20 o 32 canales. Se administró gadobutrol IV (0,1 mmol/kg). Las imágenes se obtuvieron 4 h tras la inyección. El protocolo de imagen fue previamente descrito [20].

El hydrops coclear (CEH) se graduó de 0 a 2 (normal, leve, severo) en cortes axiales que cruzaban el modíolo. El hydrops vestibular (VEH) se valoró en una escala de 4 niveles según el plano de mayor visualización del vestíbulo [21,22]. El índice volumétrico REL se calculó

dividiendo el volumen endolinfático (secuencia 3D-REAL-IR) por el volumen total vestibular (secuencia cisternografía T2) y multiplicando por 100. Se reportó como porcentaje (RELAFF). También se analizaron la captación perilinfática (PE) y la herniación endolinfática (EHern).

2.3 Procedimiento quirúrgico

El procedimiento quirúrgico fue realizado por dos cirujanos experimentados (RMH y MM). Se utilizó una técnica estándar de implantación coclear, que incluyó mastoidectomía, timpanotomía posterior y abordaje por ventana redonda, siguiendo una estrategia mínimamente traumática. Por otro lado, desde el punto de vista vestibular, en los casos de enfermedad activa con vértigo persistente y refractario a diuréticos o corticoides intratimpánicos, se llevó a cabo una terapia ablativa vestibular. Inicialmente, se administró lentamente una inyección intratimpánica de sulfato de gentamicina (40 mg/mL tamponado a pH 6.4 para una concentración final de 26.7 mg/mL) (0.5–1.5 mL) en el oído afectado a través del cuadrante anterosuperior de la membrana timpánica, monitorizando el llenado progresivo del oído medio y, cuando fue posible, el nicho de la ventana redonda. Si no se lograba un control adecuado del vértigo tras tres instilaciones, se realizaba una laberintectomía transmastoidectomía retroauricular, con implantación coclear simultánea.

2.4 Evaluación clínica y seguimiento

Todos los pacientes habían recibido previamente un diagnóstico definitivo de MDcert según los criterios clínicos y de resonancia magnética establecidos [17]. La función vestibular (vHIT, cVEMP, oVEMP, pruebas calóricas) y las imágenes del oído interno se realizaron únicamente en el periodo preoperatorio y lo más cercano posible al momento de la implantación coclear. Para minimizar la variabilidad interindividual y aislar el impacto específico de la enfermedad de Ménière sobre el oído patológico, se comparó el oído afectado de cada paciente con su oído contralateral —sirviendo como control interno— registrando el PTA, el SRS y las medidas vestibulares en ambas orejas durante la misma sesión.

Además, se recogieron datos demográficos, duración de la enfermedad, duración de la hipoacusia, uso previo de audífono, y el número de episodios de vértigo y crisis de Tumarkin en los seis meses previos a la cirugía. El seguimiento audiométrico postimplantación consistió en la activación del implante en la semana 4, evaluaciones formales de PTA y SRS a los 6 meses y al año, y evaluaciones anuales posteriores hasta los 5 años; no se realizaron nuevas pruebas vestibulares ni de imagen durante el seguimiento.

2.5 Análisis estadístico

Se calcularon estadísticas descriptivas para todas las variables clínicas, audiológicas, vestibulares y radiológicas. Los resultados auditivos se evaluaron mediante PTA y SRS a 65 dB, registrados preoperatoriamente y en cinco momentos posteriores a lo largo de un seguimiento de 5 años. Para valorar el efecto añadido de la ablación vestibular, se compararon las ganancias a largo plazo entre pacientes que recibieron solo el implante coclear (CI only) y aquellos tratados con CI más laberintectomía —tanto vía gentamicina intratimpánica como, si era refractaria, mediante laberintectomía quirúrgica transmastoidectomía— utilizando la prueba de Mann–Whitney U para examinar las diferencias en los valores preimplantación y los registrados a los 5 años.

Las asociaciones entre las variables clínicas, vestibulares y radiológicas con los valores basales de PTA y los resultados de habla a largo plazo (SRS) se exploraron mediante pruebas univariadas (Mann–Whitney U, Kruskal–Wallis y chi-cuadrado). Se aplicaron modelos de regresión lineal para evaluar el valor predictivo independiente de los parámetros vestibulares y de imagen sobre el rendimiento auditivo a los 5 años. Las correlaciones entre métricas radiológicas continuas y los resultados auditivos se evaluaron mediante la correlación de rangos de Spearman. Finalmente, las comparaciones pareadas de umbrales audiométricos (PTA, SRS) y valores de ganancia en

vHIT entre oídos afectados y contralaterales se realizaron con la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

Los cambios a lo largo del tiempo en el PTA y en los puntajes de reconocimiento del habla se analizaron mediante ANOVA de medidas repetidas o pruebas de Friedman, según la distribución de los datos. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0.05$. Los análisis se realizaron con RStudio (v4.3.3, Boston, MA, EE.UU.).

3. RESULTADOS

3.1 Pacientes e inicio de síntomas
Se incluyeron 41 pacientes en el estudio. El diagnóstico, la cirugía y el seguimiento fueron realizados por tres autores senior (RMH, NPF y MM), mientras que el estudio de imagen fue llevado a cabo por tres radiólogos expertos (PD, VSV y MCI). El tiempo medio desde el inicio de la hipoacusia hasta el diagnóstico confirmado de MD fue de 2.35 ± 10.92 años. Los datos clínicos y demográficos se resumen en la Tabla 1.

Clinical and demographic data	
N (Men: Women)	16:25 patients
Age (MeanSD)	58.5117.39 (10-80 years)
Disease duration (MeanSD)	15.2512.95 (1-42 years)
Implanted ear (Right: Left: Bilateral)	24: 15: 2 patients
Phenotype (Idiopathic: Delayed; Migraine: Autoimmune)	33:3:3:2 patients
Previous hearing aid use	25 (61.97%) patients
Number of dizzy spells last six months (MeanSD)	2.83 5.15 spells
Tumarkin crises last six months (Cases, %)	4 patients (10%)

Tabla 1: Variables demográficas, clínicas y radiológicas obtenidas en los pacientes incluidos en la cohorte. SD: Desviación estándar.

Al analizar el patrón de inicio de la enfermedad, se observó que la forma de presentación más común fue un debut sincrónico con la tríada característica de síntomas (hipoacusia, crisis vertiginosas y sensación de plenitud ótica en el oído afecto), ocurriendo en el 35,59% de los casos ($n=15$). La segunda presentación más frecuente consistió en síntomas exclusivamente otológicos, observados en el 29,26% de los casos ($n=12$). Además, en 6 pacientes cada uno (14,63%) la enfermedad se presentó de forma monosintomática, ya fuera con hipoacusia fluctuante o con crisis vertiginosas aisladas. Sin embargo, los resultados del test de Kruskal-Wallis indicaron que la forma de inicio no se asocia con un peor pronóstico auditivo ($p=0,375$), medido mediante los valores de PTA preimplantación, ni parece ser un buen predictor de los resultados del implante coclear a los 5 años ($p=0,603$), como sugieren los resultados del modelo de regresión.

3.2 Parámetros radiológicos

Todos los pacientes presentaban hydrops endolinfático (HE) en compartimentos cocleares o vestibulares. La presencia de HE coclear (HEC) fue más frecuente, observándose en el 90,24% de los casos ($n=37$), en comparación con el HE vestibular (HEV), presente en el 78,04% ($n=32$). Los resultados de las variables radiológicas analizadas, así como su asociación con la situación auditiva preimplantación y el modelo de regresión univariante utilizado para valorar si cada variable radiológica predice de forma independiente los resultados auditivos a los 5 años tras la implantación, se resumen en la Tabla 2.

Radiological endolymphatic hydrops data	PTA Pre-implant	SRS 5 years
---	-----------------	-------------

				follow-up
Cochlear (CEH)	None	4 (9.76%) patients	0.045*	0.055
	Mild	12 (29.27%) patients		
	Severe	25 (61.97%) patients		
Vestibular (VEH)	None	9 (21.96%) patients	0.182	0.359
	Mild	6 (14.63%) patients		
	Moderate	9 (21.95%) patients		
	Severe	17 (41.46%) patients		
Vestibular Endolymphatic Ratio (REL)	Affected	83.61 33.73 %	0.100	0.078
Perilymphatic enhancement (PE)	Absent	26 (63.41%) patients	0.165	0.558
	Present	15 (24.59%) patients		
Endolymphatic herniation (EHern)	Absent	29 (70.73%) patients	0.103	0.788
	Present	12 (29.26%) patients		

Tabla 2: Variables radiológicas, tanto cocleares como vestibulares, encontradas en los pacientes incluidos en la cohorte.

3.3 Función audiovestibular

Desde una perspectiva funcional, todos los pacientes fueron considerados candidatos a implantación coclear en base a sus puntuaciones de reconocimiento verbal (SRS) preimplantación con audífonos. En el ámbito vestibular, al menos 19 pacientes (46,34%) presentaron una ganancia reducida en uno o más canales semicirculares en la prueba vHIT. Además, se observaron resultados patológicos en 29 pacientes (70,73%) en los cVEMP y en 22 pacientes (53,66%) en los oVEMP.

Un resumen más detallado de la evaluación audiovestibular objetiva y de los hallazgos del examen otoneurológico se proporciona en la Tabla 3. También se incluyen los valores p de la asociación con la situación auditiva preimplantación y el modelo de regresión univariante para valorar si cada variable vestibular predice de forma independiente los resultados auditivos a los 5 años de la implantación.

Solo la asimetría en los cVEMP mostró una asociación significativa con el PTA preimplantación ($p=0,036$) y con el SRS a los 5 años ($p=0,019$). La asimetría en los oVEMP ($p=0,069$) y especialmente las ganancias en el vHIT horizontal ($p=0,093$), así como la presencia de nistagmo parético ($p=0,073$), mostraron tendencias no significativas hacia peores resultados funcionales a los cinco años post-implantación; el resto de las pruebas no demostraron asociaciones estadísticamente significativas.

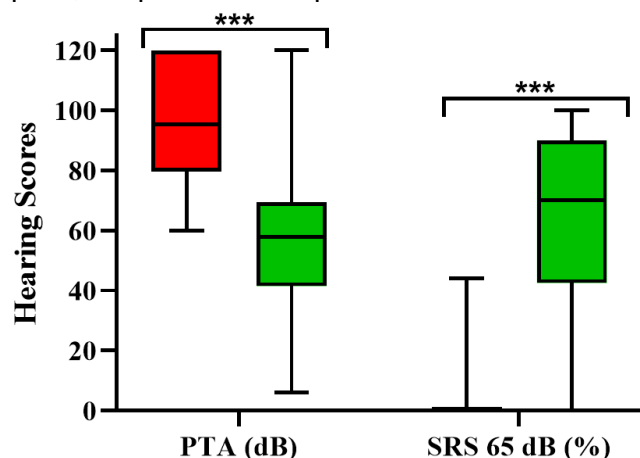
Audiovestibular tests		Pre-Implant	PTA Pre-implant	SRS 5 years follow-up
Hearing Pre-Implant	PTA (dB)	97.72 22.65	-	0.960



SRS % at 65 dB		2.66 7.95	0.339	0.246
vHIT (SC)				
Superior	Gain	0.690.28	0.423	0.199
Horizontal	Gain	0.680.31	0.103	0.093
	Covert Saccades	17 (41.46%)	0.858	0.587
	Overt Saccades	19 (46.34%)	0.512	0.676
Posterior	Gain	0.61 0.23	0.067	0.152
VEMPs				
Ocular	Present/Absent (%)	25/16	0.512	0.155
	IAAR (%)	30.67 26.33	0.095	0.069
Cervical	Present/Absent (%)	27/14	0.124	0.251
	IAAR (%)	45.6729.16	0.036*	0.019*
Caloric Test				
	Canal Paresis	57.50 37.18	0.265	0.447
	Directional Prep.	3 (7.31%)		0.682
Spontaneous nystagmus				
	Absent	26 (63.41%)	0.395	0.276
	Irritative	11 (26.83%)	0.432	0.499
	Paretic	4 (9.76%)	0.609	0.073

Tabla 3. Evaluación audiovestibular previa a la implantación coclear y su relación con las puntuaciones de reconocimiento verbal (SRS) a los 5 años post-implantación. $p < 0,05$.

Las Figuras 1A y 1B muestran la comparación de los resultados audiovestibulares entre los oídos afectados tanto en las pruebas audiométricas como en el vHIT. Todas las comparaciones mostraron diferencias estadísticamente significativas, con $p < 0,001$ en ambos análisis audiométricos, $p = 0,013$ para el canal semicircular superior, $p = 0,037$ para el canal horizontal y $p = 0,019$ para el canal posterior.



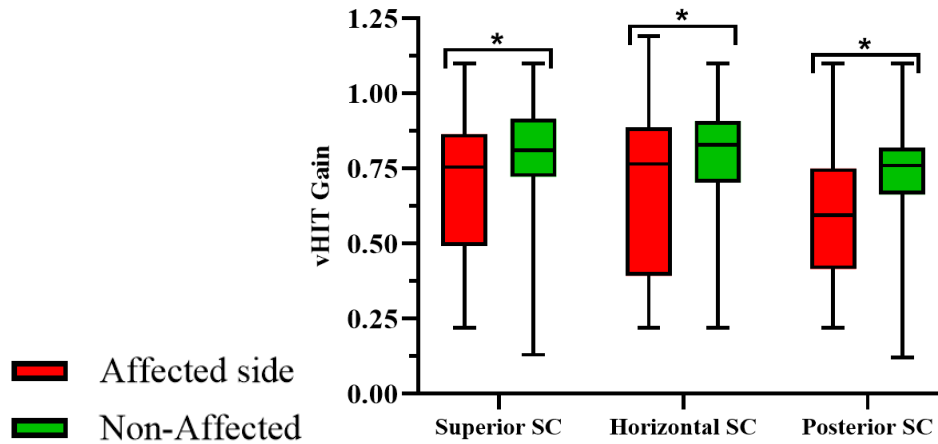
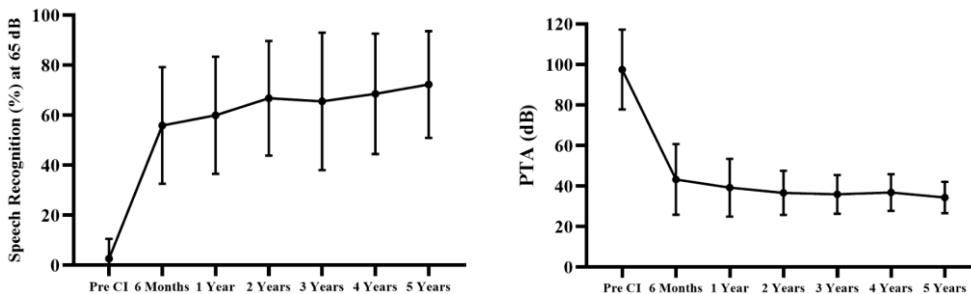


Figura 1. Comparación del estado audiométrico (Figura 1A) entre el oído afectado y el no afectado, y de la función vestibular evaluada mediante los valores de ganancia en el vHIT (Figura 1B). * $p < 0,05$ *** $p < 0,001$.

3.4 Seguimiento tras el implante coclear (IC)



Todos los pacientes incluidos en el estudio fueron seguidos anualmente durante un periodo de hasta 5 años. Al analizar la evolución de todos los pacientes tras el implante coclear, se observó una mejoría tanto en el PTA como en el SRS en todos los momentos evaluados del estudio. Además, en cada punto temporal, las comparaciones con la situación preimplante mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) tanto en los resultados de audiometría tonal como en los de discriminación verbal. De hecho, el PTA medio mejoró de $97,72 \pm 22,65$ dB antes del implante a $36,78 \pm 9,89$ dB a los cinco años—lo que supone una ganancia media de $60,94 \pm 24,72$ dB. Aún más, el SRS medio aumentó de $2,66 \pm 7,95$ % a $68,51 \pm 26,69$ %, lo que corresponde a una ganancia media de $65,85 \pm 27,85$ %. Por el contrario, al comparar los distintos puntos de tiempo posteriores al implante coclear entre sí, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Esto se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Evolución audiométrica durante el periodo de seguimiento de 5 años en todos los pacientes del estudio.

● Only CI

● CI + Labyrinthectomy Por otro lado, en el grupo CI + laberintectomía, compuesto por seis pacientes (14,63%), la media del PTA mejoró de $101,13 \pm 18,05$ dB antes del implante a $42,13 \pm 6,22$ dB a los cinco años—una ganancia de $59,00 \pm 21,57$ dB. Asimismo, la media del SRS aumentó de $1,0 \pm 2,24$ % a $64,40 \pm 9,89$ %, lo que supone una mejora de $63,40 \pm 10,14$ %. En comparación con la cohorte con solo CI, no se encontraron diferencias significativas en las condiciones basales de PTA ($p = 0,9154$) ni de SRS ($p = 0,2684$); sin embargo, a los cinco años, los pacientes con solo CI presentaban umbrales significativamente más bajos ($p = 0,009$), mientras que el SRS no alcanzó significación estadística ($p = 0,121$). Esta comparación se ilustra en la Figura 3.

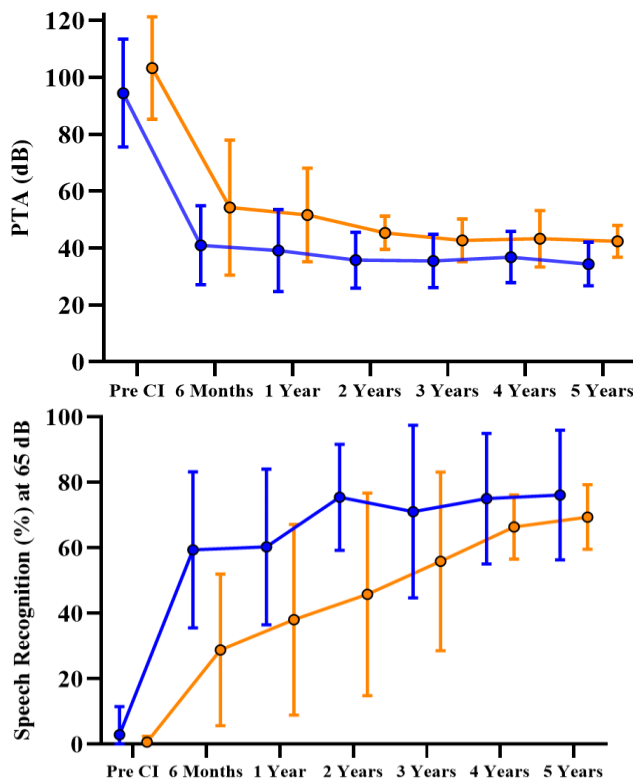
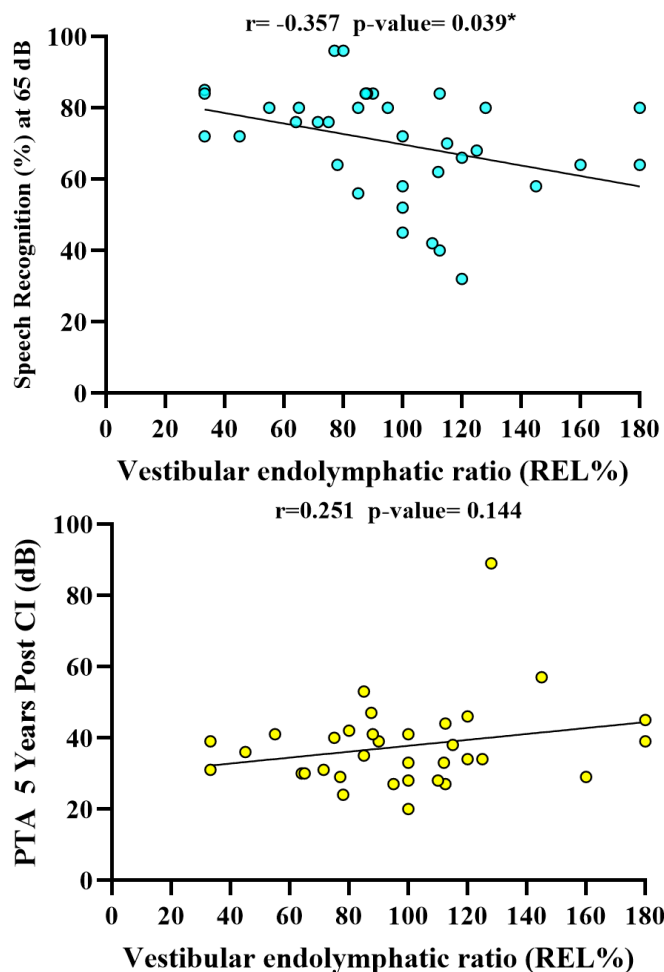


Figura 3: Evolución audiométrica del grupo con solo CI y del grupo CI + laberintectomía a lo largo de cinco años.

3.5 Relación entre el volumen de endolinfa y los resultados auditivos.



Se evaluó la correlación entre el índice de endolinfa vestibular (REL%) del lado afectado y los resultados auditivos cinco años después del implante coclear utilizando la correlación de rangos de Spearman. Aunque no se encontró una asociación significativa entre el REL% y el PTA ($r = 0,251$, $p = 0,144$), se observó una correlación negativa, estadísticamente significativa y de magnitud leve a moderada entre el REL% y el SRS a 65 dB ($r = -0,357$, $p = 0,039$). Estos hallazgos sugieren que un mayor volumen endolinfático vestibular podría estar asociado con un peor rendimiento en el reconocimiento del habla, a pesar de umbrales tonales estables. Estos resultados se ilustran en la Figura 4.

Figura 4: Correlación entre el índice de endolinfa vestibular (REL%) y el PTA (Figura 4A), así como con las palabras bisílabas a 65 dB (Figura 4B), cinco años después del implante coclear.

DISCUSIÓN

Hasta la fecha, se han publicado múltiples estudios que investigan el impacto de la implantación coclear sobre la función vestibular [23,24,25], con una incidencia en torno al 3.5-5% [25]. Aunque el mecanismo subyacente no se comprende por completo, se han propuesto varias hipótesis, incluyendo la posible implicación de una estimulación eléctrica aberrante desde el haz de electrodos que afecte la función otolítica [26], daño mecánico durante la inserción [27,28], o incluso el desarrollo de un hydrops endolinfático secundario tras la cirugía [29,30]. Estas hipótesis

se respaldan con evidencia histológica procedente tanto de análisis post mortem [30] como de estudios experimentales [31].

Sin embargo, pocos estudios han intentado predecir cómo el estado vestibular puede influir en los resultados auditivos en candidatos a implante coclear, y hasta la fecha, ninguno ha examinado la posible utilidad de la RM con secuencias para hydrops endolinfático para prever el beneficio funcional que estos pacientes con diagnóstico definitivo de enfermedad de Ménière podrían obtener. En este sentido, cabe destacar estudios como el de Wolter et al., quienes, en una cohorte de 21 candidatos a IC, concluyeron que la disfunción de los órganos vestibulares y la alteración del equilibrio resultante son factores de riesgo significativos de fracaso del IC en niños [32]. Comparando nuestros resultados con los de dicho estudio, también encontramos que la disfunción sacular fue un predictor de peores resultados auditivos a los 5 años ($p = 0.019$). Igualmente, observamos una tendencia hacia la significación para la hipofunción del canal semicircular horizontal, que si bien no fue significativa, se aproximó al límite ($p = 0.093$). Estos hallazgos deben interpretarse con cautela, ya que el único trabajo comparable hasta la fecha — la cohorte canadiense — no se centró en la enfermedad de Ménière, sino en un grupo heterogéneo de patologías vestibulares (por ejemplo, meningitis, síndrome de Usher, CMV congénito) que difieren fundamentalmente en sus mecanismos subyacentes y su historia natural. En consecuencia, el valor predictivo de las pruebas vestibulares sobre los resultados auditivos a largo plazo en poblaciones con EM verdadera permanece sin establecer, y no existen estudios previos que hayan examinado esta cuestión específicamente en pacientes con EM definitiva.

Por otro lado, se observó una tendencia hacia la significación estadística para el oVEMP ($p = 0.069$), lo que respalda la hipótesis de que ciertos componentes del sistema vestibular, especialmente aquellos relacionados con circuitos subcorticales y con el procesamiento en tronco encefálico y tálamo, podrían influir en la rehabilitación auditiva a largo plazo. Esta influencia podría producirse actuando como un marcador indirecto de plasticidad neural residual o de preservación de la vía auditiva central [33,34,35]. En contraste, no se encontró ninguna asociación entre los resultados auditivos finales y la función de los canales semicirculares, evaluada mediante los valores de ganancia del vHIT, la presencia de sacadas manifiestas u ocultas, ni las respuestas calóricas (paresia canalicular o preponderancia direccional). Esta falta de asociación podría reflejar el hecho de que, a diferencia del sáculo y el utrículo, los canales semicirculares no comparten conexiones directas con las vías auditivas centrales ni con núcleos del tronco cerebral implicados en la integración multisensorial audio-vestibular [36].

Al explorar el valor predictivo de los hallazgos radiológicos sobre los resultados auditivos, el hydrops coclear mostró una asociación estadísticamente significativa con el PTA preimplantación ($p = 0.045$), fenómeno ya bien documentado en la enfermedad de Ménière [37,38,39], pero no asociado con el rendimiento auditivo a largo plazo. Esta observación concuerda con la hipótesis de que la distensión endolinfática dentro de la cóclea, en particular en la escala media, altera las propiedades mecánicas de la membrana basilar y de la membrana tectorial, interrumpiendo así la micromecánica coclear y la transducción por células ciliadas [6,8]. Histológicamente, el desplazamiento de la membrana de Reissner y el colapso del conducto coclear se han asociado con umbrales auditivos elevados, especialmente en las frecuencias bajas [40]. Sin embargo, la implantación coclear evita la vía de transducción mecanosensorial dañada proporcionando estimulación eléctrica directa al nervio coclear y a las neuronas del ganglio espiral, lo cual explica por qué el hydrops coclear, a pesar de su efecto deletéreo sobre la audición natural, no impide necesariamente una buena rehabilitación auditiva cuando los elementos neurales permanecen intactos. No obstante, la inserción quirúrgica del haz de electrodos y las corrientes eléctricas

subsecuentes pueden por sí mismas representar un riesgo de lesión vestibular adicional, aspecto que merece especial atención en pacientes con EM.

Si bien ninguno de los parámetros radiológicos predijo significativamente los resultados auditivos a los cinco años en el modelo de regresión univariante, se observó una tendencia notable para el REL. Específicamente, se halló una correlación negativa leve a moderada y estadísticamente significativa con las puntuaciones de reconocimiento verbal a 65 dB ($r = -0.357$, $p = 0.039$). Estos hallazgos sugieren que un mayor volumen endolinfático vestibular podría asociarse con un peor rendimiento auditivo, particularmente en la percepción verbal. Esta asociación podría también reflejar una afectación más extensa del laberinto membranoso en pacientes con EH avanzado, lo que podría correlacionarse con un proceso patológico más difuso o avanzado [7], explicación plausible considerando que la media de duración de la enfermedad en nuestra cohorte fue de 15.25 años.

Precisamente por ello, la imagen se realizó lo más cercana posible en el tiempo a la cirugía de implante coclear, con el objetivo de obtener una "fotografía" representativa de la enfermedad avanzada tanto desde el punto de vista funcional como histopatológico. Esto refuerza la idea de que un mayor REL tiene un efecto adverso sobre los resultados auditivos, a pesar de una rehabilitación coclear posterior. Pero, ¿un REL más alto, que predice peor audición, refleja también una enfermedad vestibular más activa? Aunque este no fue nuestro objetivo principal y sólo se abordó de forma marginal, encontramos correlaciones positivas débiles y no significativas entre REL y la frecuencia de crisis vertiginosas o ataques de Tumarkin. Además, de los cinco pacientes con REL > 140 %, cuatro no presentaron crisis de vértigo y ninguno experimentó ataques de Tumarkin.

Desde el punto de vista fisiológico, la dilatación del sáculo o utrículo podría ejercer presión sobre estructuras cocleares adyacentes [42,43,44], incluida la espira basal, o bien indicar cambios degenerativos compartidos que afectan tanto a las células ciliadas cocleares como vestibulares. Además, un aumento del REL podría reflejar indirectamente una alteración de la homeostasis iónica de los líquidos del oído interno, mecanismo implicado tanto en la disfunción coclear como en el daño excitotóxico a neuronas del ganglio espiral [45,46]. Esta disociación tonal-verbal es, además, coherente con hallazgos previos de nuestro grupo en pacientes con enfermedad de Ménière, donde el reconocimiento del habla disminuyó significativamente a lo largo del tiempo, pese a que los umbrales tonales permanecieron relativamente estables [47]. Tal como sugieren Garaycochea et al. [47], esto podría reflejar una degeneración neural progresiva o una sinaptopatía que afecta vías de procesamiento verbal no detectadas por la audiometría convencional.

Por otro lado, ni la captación perilinfática ni la herniación endolinfática mostraron relaciones significativas con los resultados auditivos pre o postimplante. Una explicación posible es que la captación perilinfática —presente en aproximadamente un 20-30 % de los casos de EM [41], y en el 24.59 % de nuestra cohorte— se considera con frecuencia un marcador radiológico de disrupción de la barrera hemato-laberíntica o de respuesta neuroinflamatoria. Este hallazgo se observa típicamente en fases tempranas o activas de la enfermedad del oído interno [48]. En cambio, la herniación endolinfática, especialmente hacia los canales semicirculares, se ha vinculado de manera más consistente con síntomas vestibulares, más que cocleares. De hecho, se considera una de las causas subyacentes de la disociación calórica-vHIT observada en esta patología, debido a la distensión endolinfática y al aumento del diámetro ductal [49,50].

Al evaluar los resultados auditivos durante el seguimiento tras el implante, nuestro estudio respalda los hallazgos publicados por nuestro grupo en 2018, que demostraron que en pacientes con enfermedad de Ménière el rendimiento auditivo mejora de forma comparable al de la

población general implantada [51]. Asimismo, en relación con la laberintectomía y el rendimiento auditivo, nuestros datos muestran que los pacientes intervenidos con IC + laberintectomía —a pesar de una mejora significativa (reducción del PTA medio de 101.13 ± 18.05 dB a 42.13 ± 6.22 dB y aumento del SRS medio de 1.0 ± 2.24 % a 64.4 ± 9.89 %)— presentaron umbrales de PTA significativamente peores a los cinco años en comparación con los receptores de IC solo ($p = 0.009$), mientras que la diferencia en SRS no alcanzó significación estadística ($p = 0.1207$). Este patrón sugiere que la gentamicina intratimpánica y/o la laberintectomía quirúrgica podrían inducir un daño otoneural adicional, en línea con la ototoxicidad conocida de los aminoglucósidos y sus efectos sobre la vía auditiva neural, lo cual podría conllevar un rendimiento algo inferior del IC, tal como también reportó Bösccke et al. [14].

En la misma línea, un estudio reciente de Mosimann et al. [52], publicado en 2022, informó que entre los pacientes con hipoacusia neurosensorial profunda sometidos a IC, aproximadamente un tercio mostraba signos de hydrops endolinfático en la RM, a pesar de no presentar síntomas clásicos de EH. Importante resulta que este hallazgo radiológico no se consideró un factor pronóstico negativo. Los autores concluyeron que la EH no influye en la preservación de la función coclear. No obstante, conviene destacar que ninguno de los 16 pacientes de su cohorte presentaba un diagnóstico definitivo de enfermedad de Ménière. Esta es una distinción relevante, dado que los individuos con EM suelen presentar alteraciones histopatológicas específicas y hydrops endolinfático en hasta el 95% de los casos, mientras que en otras etiologías como la migraña o la presbiacusia, el hydrops puede encontrarse solo en el 24-30% de los pacientes [53].

Limitaciones

Aunque los resultados de este estudio son prometedores y abren una nueva vía para integrar variables vestibulares y radiológicas en la comprensión de los resultados del implante coclear en pacientes con enfermedad de Ménière, es importante reconocer que el tamaño muestral es limitado, por lo que los hallazgos deben interpretarse con cautela. Además, si bien varias variables mostraron tendencias hacia la significación estadística, la ausencia de valores p por debajo de 0.05 limita su aceptación y generalización. Estas asociaciones podrían adquirir mayor relevancia con un tamaño muestral superior.

No obstante, también debe considerarse que, como se mencionó en la Introducción, solo alrededor del 5% de los pacientes con enfermedad de Ménière progresan hacia una hipoacusia profunda y se convierten en candidatos a implante coclear. Asimismo, la decisión de incluir únicamente a pacientes que cumplieran los criterios diagnósticos de enfermedad de Ménière definida —y no probable— según las guías de la Japan Society for Equilibrium Research [17], exigía la presencia de hydrops endolinfático confirmado por RM como criterio de inclusión. Este requisito estricto llevó a la exclusión de aproximadamente el 50% de los pacientes implantados con enfermedad de Ménière en nuestro centro, lo cual resalta tanto el rigor metodológico como las limitaciones inherentes para reclutar una cohorte más amplia.

CONCLUSIONES

Este estudio respalda la efectividad a largo plazo del implante coclear en pacientes con enfermedad de Ménière definida, mostrando resultados auditivos comparables a los observados en otras etiologías. Si bien la presencia de hydrops endolinfático coclear se asoció con umbrales auditivos preimplante más desfavorables, no tuvo un impacto negativo en la rehabilitación auditiva a largo plazo. Más aún, los pacientes sometidos a implante coclear con laberintectomía simultánea alcanzaron mejoras significativas en PTA y SRS, aunque presentaron umbrales de PTA significativamente peores a los cinco años en comparación con los receptores con solo implante coclear, mientras que las diferencias en SRS no alcanzaron significación estadística.

De forma destacada, las alteraciones en los cVEMP se asociaron significativamente con peores puntuaciones de reconocimiento verbal a los cinco años, lo que sugiere que la integridad vestibular, en particular de los órganos otolíticos, podría tener un papel pronóstico en los resultados del implante coclear. Además, un mayor volumen de endolinfa vestibular (REL) mostró una tendencia constante hacia un peor rendimiento auditivo. Estos hallazgos subrayan el valor potencial de combinar la evaluación funcional vestibular y radiológica en la valoración preoperatoria, especialmente en casos complejos como la enfermedad de Ménière, y justifican la realización de futuros estudios prospectivos con mayores cohortes.

REFERENCIAS

- Minor LB, Schessel DA, Carey JP. Meniere's disease. *Curr Opin Neurol* 2004;17:9–16.
- Oberman BS et al (2017) The aetiopathologies of Meniere's disease: a contemporary review. *Acta Otorhinolaryngol Ital* 37(4):250–263
- Reiß M, Facharztwissen HNO-Heilkunde : Differenzierte Diagnostik und Therapie. 2. Auflage 2021 ed. Springer eBook Collection. 2021, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. XLVIII, 1366 S. 95 Abb., 55 Abb. in Farbe.
- Lustig LR et al. Cochlear implantation in patients with bilateral Ménière's syndrome. *Otology & Neurotology*. 2003 24(3):397–403
- House JW et al (2006) Meniere's disease: prevalence of contralateral ear involvement. *Otol Neurotol* 27(3):355–361
- McRackan TR, Gifford RH, Kahue CN, Dwyer R, Labadie RF, Wana GB, et al. Cochlear Implantation in Ménière's Disease Patients. *Otology & Neurotology*. 2014 Mar;35(3):421–5.
- Mick P, Amoodi H, Arnoldner C, Shipp D, Friesen L, Lin V, et al. Cochlear Implantation in Patients With Advanced Ménière's Disease. *Otology & Neurotology*. 2014 Aug;35(7):1172–8.
- Prenzler NK, Bültmann E, Giourgas A, et al. Cochlear implantation in patients with definite Meniere's disease. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2017; 274:751–756.
- Mukherjee P, Eykamp K, Brown D, et al. Cochlear implantation in Meniere's disease with and without labyrinthectomy. *Otol Neurotol* 2017; 38:192–198.
- Yılmaz Topçuoğlu MS, Plinkert PK, Praetorius M, Euteneuer S. Long-term outcome of patients with Ménière's disease following cochlear implantation: a comprehensive outcome study with validated assessment tools. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [Internet]. 2024 May 20 [cited 2025 Feb 25];281(9):4689–701.
- Desiato VM et al (2020) Cochlear implantation in patients with Meniere's disease: a systematic review. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 7(4):303–311
- Manrique-Huarte R, Calavia D, Alvarez-Gomez L, et al. Vestibulo-cochlear function after cochlear implantation in patients with Meniere's disease. *J Int Adv Otol* 2018;14:18–21.
- Doobe G, Ernst A, Ramalingam R, Mittmann P, Todt I. Simultaneous Labyrinthectomy and Cochlear Implantation for Patients with Single-Sided Ménière's Disease and Profound Sensorineural Hearing Loss. *BioMed Research International* [Internet]. 2015 [cited 2019 Nov 22];2015:1–4.
- Böscke R, Hoffmeyer J, Radeloff A. Impact of Intratympanic Gentamicin on Cochlear Implant Outcomes. *Otology & Neurotology*;2025 Nov;10.1097/MAO.0000000000004451.
- Schuknecht HF, Gulya AJ (1983) Endolymphatic hydrops: an overview and classification. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 92(5_suppl):1–20
- Naganawa S, Yamazaki M, Kawai H, Bokura K, Sone M, Nakashima T. Visualization of endolymphatic hydrops in Ménière's disease after intravenous administration of single-dose gadodiamide at 1.5T. *Magnetic resonance in medical sciences : MRMS : an official journal of Japan Society of Magnetic Resonance in Medicine* [Internet]. 2013;12:137–9.

- Iwasaki S, Shojaku H, Murofushi T, Seo T, Kitahara T, Origasa H, Watanabe Y, Suzuki M, Takeda N; Committee for Clinical Practice Guidelines of Japan Society for Equilibrium Research. Diagnostic and therapeutic strategies for Meniere's disease of the Japan Society for Equilibrium Research. *Auris Nasus Larynx*. 2021; 48: 15-22
- Frejo L, Martin-Sanz E, Teggi R, Trinidad G, Soto-Varela A, Santos-Perez S, Manrique R, Perez N, Aran I, Almeida-Branco MS, Batuecas-Caletrio A, Fraile J, Espinosa-Sanchez JM, Perez-Guillen V, Perez-Garrigues H, Oliva-Dominguez M, Aleman O, Benitez J, Perez P, Lopez-Escamez JA; Meniere's disease Consortium (MeDiC). Extended phenotype and clinical subgroups in unilateral Meniere disease: A cross-sectional study with cluster analysis. *Clin Otolaryngol*.
- Cerda MU. A5 - Test bisilabos Cárdenas y Marrero [Internet]. Scribd. 2025. Available from: <https://es.scribd.com/document/469305365/A5-test-bisilabos-Cardenas-y-Marrero>
- Suárez-Vega V, Manrique-Huarte R, Dominguez P, Blanco M, Alonso-Burgos A, Pérez-Fernández N. Magnetic Resonance Volumetric Quantification of Vestibular Endolymphatic Hydrops in Patients with Unilateral Definite Meniere's Disease Using 3D Inversion Recovery with Real Reconstruction (3D-REAL-IR) Sequence. *J Clin Med*. 2023 Sep 14;12(18):5965.
- Robard L, Hitier M, Lebas C, Moreau S. Vestibular function and cochlear implant. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2014 Apr 16;272(3):523–30.
- Kuang H, Haversat HH, Michaelides EM. Impairment of Caloric Function After Cochlear Implantation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2015 Aug;58(4):1387–95.
- Thierry B, Blanchard M, Leboulanger N, Parodi M, Wiener-Vacher SR, Garabedian EN, et al. Cochlear implantation and vestibular function in children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2015 Feb;79(2):101–4.
- Terry B, Kelt RE, Jeyakumar A. Delayed Complications After Cochlear Implantation. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. 2015 Nov 1;141(11):1012.
- Melvin TAN, Della Santina CC, Carey JP, Migliaccio AA. The effects of cochlear implantation on vestibular function. *Otol Neurotol*. 2009; 30(1):87-94. doi: 10.1097/mao.0b013e31818d1cb
- Jang JH, Kim H, Choo OS, Park HY, Choung YH. Changes in Vestibular Symptoms and Function After Cochlear Implantation: Relevant Factors and Correlations with Residual Hearing. *Clin Exp Otorhinolaryngol*. 2021; 14(1):69-75. doi: 10.21053/ceo.2019.01851.
- Rah YC, Park JH, Park JH, Choi BY, Koo JW. Dizziness and vestibular function before and after cochlear implantation. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2016; 273(11):3615-21. doi: 10.1007/s00405-016-3988-3.
- Ishiyama A, Doherty J, Ishiyama G, Quesnel AM, Lopez I, Linthicum FH. Post hybrid cochlear implant hearing loss and endolymphatic hydrops. *Otol Neurotol*. 2016; 37(10):1516-21. doi: 10.1097/MAO.0000000000001199
- Kimura RS, Schuknecht HF, Ota CY, Jones DD. Obliteration of the ductus reuniens. *Acta Otolaryngol*. 1980; 89(3-4):295-309. doi: 10.3109/00016488009127141.
- Linthicum FH, Doherty JK, Lopez IA, Ishiyama A. Cochlear implant histopathology. *World journal of otorhinolaryngology - head and neck surgery* [Internet]. 2018 Jun;3(4):211–3.
- Manrique-Huarte R, Álvarez de Linera-Alperi M, Pérez-Fernández N, Manrique M. Acute histological reactions in the otolith organs to inner ear drug delivery through a cochlear implant. *Front Neurol*. 2024; 26:15:1363481. doi: 10.3389/fneur.2024.1363481.
- Wolter NE, Gordon KA, Papsin BC, Cushing SL. Vestibular and Balance Impairment Contributes to Cochlear Implant Failure in Children. *Otology & Neurotology*. 2015 Jul;36(6):1029–34.

- Xu XD, Zhang XT, Zhang Q, Hu J, Chen YF, Xu M. Ocular and cervical vestibular-evoked myogenic potentials in children with cochlear implant. *Clin Neurophysiol*. 2015; 126(8):1624-31. doi: 10.1016/j.clinph.2014.10.216
- Miwa T, Minoda R, Matsuyoshi H, Takeda H. The effect of cochlear implants on vestibularevoked myogenic potential responses and postural stability. *Auris Nasus Larynx*. 2019; 46(1):50-7. doi: 10.1016/j.anl.2018.06.002.
- Psillas G, Pavlidou A, Lefkidis N, Vital I, Markou K, Triaridis S, et al. Vestibular evoked myogenic potentials in children after cochlear implantation. *Auris Nasus Larynx*. 2014; 41(5):432-5. doi: 10.1016/j.anl.2014.05.008.
- Ramos de Miguel A, Zarowski A, Sluydts M, Ramos-Macias A, Wuyts FL. The Superiority of the Otolith System. *Audiol Neurotol*. 2020; 25(1-2):35-41. doi: 10.1159/000504595.
- Guajardo-Vergara C, Suárez-Vega V, Dominguez P, Manrique-Huarte R, Arbizu L, Pérez-Fernández N. Endolymphatic hydrops in the unaffected ear of patients with unilateral Ménière's disease. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [Internet]. 2022 May 16 [cited 2025 Apr 5];279(12):5591–600.
- Gürkov R, Todt I, Jadeed R, Sudhoff H, Gehl HB. Laterality of Audiovestibular Symptoms Predicts Laterality of Endolymphatic Hydrops in Hydropic Ear Disease (Menière). *Otology & Neurology*. 2020 Aug 5;41(9):e1140–4.
- Domínguez P, Manrique-Huarte R, Suárez-Vega V, López-Laguna N, Guajardo C, Pérez-Fernández N. Endolymphatic Hydrops in Fluctuating Hearing Loss and Recurrent Vertigo. *Frontiers in Surgery*. 2021 May 31;8.
- Zhang W, Hui L, Zhang B, Ren L, Zhu J, Wang F, Li S. The Correlation Between Endolymphatic Hydrops and Clinical Features of Meniere Disease. *Laryngoscope*. 2021; 131: E144-E150
- Hornibrook J, Mudry A, Curthoys I, Smith CM. Ductus Reuniens and Its Possible Role in Menière's Disease. *Otol Neurotol* 2021;42:1585-93
- Horner KC, Guilhaume A, Cazals Y. Atrophy of middle and short stereocilia on outer hair cells of guinea pig cochleas with experimentally induced hydrops. *Hear Res*. 1988;32(1):41-48
- Li H, Rajan GP, Shaw J, Rohani SA, Ladak HM, Agrawal S, Rask-Andersen H. A Synchrotron and Micro-CT Study of the Human Endolymphatic Duct System: Is Meniere's Disease Caused by an Acute Endolymph Backflow? *Front Surg*. 2021 May 31;8:662530
- Li H, Rajan GP, Shaw J, Rohani SA, Ladak HM, Agrawal S, et al. A Synchrotron and Micro-CT Study of the Human Endolymphatic Duct System: Is Meniere's Disease Caused by an Acute Endolymph Backflow? *Frontiers in Surgery*. 2021 May 31;8.
- Otte J, Schuknecht HF, Kerr AG. Ganglion cell populations in normal and pathological human cochleae. Implications for cochlear implantation. *Laryngoscope*. 2015;125(5):1038.
- Bixenstine PJ, Maniglia MP, Vasanji A, Alagramam KN, Megerian CA. Spiral ganglion degeneration patterns in endolymphatic hydrops. *Laryngoscope*. 2008;118(7):1217-1223
- Garaycochea O, Manrique-Huarte R, Calavia D, Girón L, Pérez-Fernández N. Speech Recognition During Follow-Up of Patients with Ménière's Disease: What Are We Missing? *The Journal of International Advanced Otology*. 2022 Feb 3;18(1):14–9.
- Leng Y, Fan W, Liu Y, Zhou R, Shen Y, Ma H, et al. Association of contrast-enhanced MRI of inner ear and caloric response in patients with clinically diagnosed ipsilateral delayed endolymphatic hydrops. *Acta Oto-Laryngologica*. 2024 Aug 12;144(7-8):417–22.
- Rubin F, Simon F, Verillaud B, Herman P, Kania R, Hautefort C. Comparison of Video Head Impulse Test and Caloric Reflex Test in advanced unilateral definite Ménière's disease. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. 2018 Jun;135(3):167–9.

Vergil Mavrodiev, Strupp M, Vinck AS, Raymond, Lehner L. The dissociation between pathological caloric testing and a normal video head impulse test helps differentiate between Menière's disease, vestibular migraine, and other vestibular disorders: a confirmatory study in a large cohort of 2,101 patients. *Frontiers in Neurology*. 2024 Aug 14;15.

Manrique-Huarte R, Calavia D, Alvarez-Gomez L, Huarte A, Perez-Fernández N, Manrique M. Vestibulo-Cochlear Function After Cochlear Implantation in Patients With Meniere's Disease. *The Journal of International Advanced Otology*. 2018 May 17;18–21.

Mosimann E, Bächinger D, Eckhard A, Reddiess P, Veraguth D, Rösli C, et al. Prevalence of Endolymphatic Hydrops in Cochlear Implant Candidates with Idiopathic Profound Sensorineural Hearing Loss. *Otology & Neurotology* [Internet]. 2022 Aug 26 [cited 2025 Apr 5];43(9):e984–91.

van der Lubbe MFJA, Vaidyanathan A, Van Rompaey V, Postma AA, Brountjes TD, Kimenai DM, et al. The “hype” of hydrops in classifying vestibular disorders: a narrative review. *Journal of Neurology*. 2020 Nov 17;267(S1):197–211.