

LOS BUCEADORES PROFESIONALES experimentan alteraciones en su sistema auditivo

“Los entornos hiperbáricos pueden producir alteraciones en el sistema auditivo periférico desde el mismo inicio de la actividad subacuática” (buceo), según revela un estudio de campo entre profesionales militares realizado por Sheila Templado (Clínica Templado-Audiología Avanzada, Murcia). Este trabajo ha sido dirigido por la profesora Margarida Serrano (Instituto



Politécnico de Coimbra) con la colaboración de la Unidad de Medicina Hiperbárica de la Escuela de Buceo de la Armada (Cartagena). Los participantes en este estudio experimentaron otalgia (53,33%), acúfenos (20%), náuseas (20%) y desequilibrio (20%) durante la realización de un curso de iniciación al buceo en el ámbito militar; aparición de edemas en oídos externos (13,33%), fibrosis timpánica (13,33%), exóstosis (6,67%) y cambios estadísticamente significativos en los umbrales del reflejo estapedial y el umbral tonal liminar tras su finalización. Falta por saber si estos problemas son temporales (fatiga auditiva) o permanentes. A continuación, presentamos una versión resumida del estudio.

Los resultados de este trabajo, que ha sido presentado recientemente en la Escuela Superior de Tecnología de la Salud de Coimbra (Portugal), sugieren que la exposición continuada a entornos hiperbáricos afecta a la función auditiva periférica de los buceadores profesionales desde el inicio de la actividad subacuática, aunque no se produzca un barotrauma manifiesto, pudiendo producir alteraciones auditivas neurosensoriales a largo plazo.

Autora: **Sheila Templado**
 Orientadora: **Prof. Margarida Serrano**
 Co-Orientador: **Teniente coronel Dr. Agustín Olea**
 Adaptación de **J. L. Fernández**
jose.luis.fernandez@parresia.fr
 Fotos: S. Templado

Los mecanismos de deterioro de la audición ante los cambios severos de presión atmosférica, podrían ser similares a los que se ya conocemos por exposición a ruido, incluidos conceptos psicoacústicos como

Resultados (n=15)

- El 53,33% de la muestra manifestó haber sufrido otalgia en alguna ocasión durante la realización del curso.
- Un 20% refirió haber padecido los síntomas de inestabilidad y/o desequilibrio, tinnitus y/o náuseas, en, al menos, una ocasión.
- Uno de ellos tenía un acúfeno antes de la realización del curso; manifestó que este se había incrementado.
- En la exploración visual al inicio del curso no se encontró ninguna alteración, exceptuando exóstosis en el oído derecho de un individuo (6,67%). Al final del curso, el mismo individuo había desarrollado exóstosis en el oído izquierdo. Del resto, un 13,33% había desarrollado fibrosis en la membrana timpánica de ambos oídos y un 6,67% presentó edema también en ambos oídos.

fatiga auditiva. La cóclea sufre estrés por presión y aunque las OEA (otoemisiones acústicas) pueden cambiar, se recuperan rápidamente, mientras que las células ciliadas internas y su inervación no (daños de tipo neural). Además, la alteración de los reflejos estapediales puede convertirlos en sujetos más vulnerables ante la exposición a estímulos intensos y provocar un deterioro progresivo de la inteligibilidad en entornos ruidosos.

La incidencia del barotrauma de oído interno es probablemente mayor que los registros manejados actualmente, teniendo en cuenta que el "barotrauma de oído interno subclínico" probablemente en la actualidad pasa desapercibido.

Sin embargo, como advierte Templado en sus conclusiones, "no fue posible evaluar a los participantes tras un periodo de tiempo de no-exposición [a la presión en las condiciones del buceo], lo que impidió verificar si estos cambios se comportan de manera temporal o definitiva de la misma forma que se produce con el ruido". Además, es importante destacar que los resultados obtenidos no son extrapolables a toda la población que practique esta actividad. Los militares que acceden a este tipo de curso son profesionales altamente capacitados y seleccionados mediante unas pruebas físicas y aptitudes varias dentro de sus unidades operativas. El entrenamiento en el entorno subacuático al que se someten es de una alta intensidad, y no comparativo al buceo recreativo que habitualmente practica la sociedad civil.

Según este estudio, y complementado con un estudio previo en la Base Aérea de Alcantarilla (Murcia) del Ejército del Aire con pilotos y paracaidistas, que están expuestos a ruido en el entorno laboral (n=70), el trauma acústico en los militares evaluados es más frecuente en la frecuencia 6 kHz, además de un aumento del umbral en alta frecuencia, a partir de los 10kHz. La exploración auditiva de los reconocimientos médicos destinados a la valoración de los



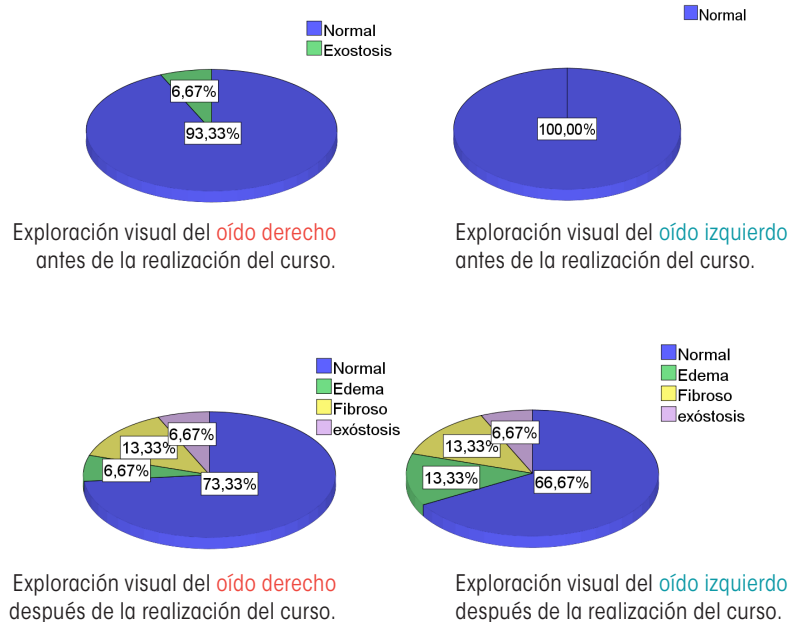
junior
Conducción ósea

La **nueva**
Cintas audífono infantil

Oír, ver, sentir y jugar sin problemas.

www.bruckhoff.com

EXPLORACIÓN VISUAL



buceadores se centra generalmente en otoscopia, timpanometría, maniobra de valsava y audiometría tonal convencional. (La actual legislación que regula los reconocimientos médicos en buceo civil, data de 1997). El PTA (promedio tonal aéreo) y la compliancia en la timpanometría, que como sabemos presenta una alta variabilidad entre sujetos, por si solos no son suficientes para la correcta evaluación funcional auditiva, pudiendo subestimar el estado real de los buceadores. Es necesario un estudio audiológico individualizado y más completo de los profesionales expuestos a estos entornos, antes del inicio de su carrera profesional, y monitorizar de manera continuada los cambios que puedan producirse; así, podremos llevar un adecuado seguimiento de los efectos que la exposición continuada a entornos hiperbáricos tiene en la audición de estos profesionales, que nos permita detectar los daños auditivos de forma precoz mitigando su gravedad y deteniendo su desarrollo.

Efectos de la presión en el oído medio

En su introducción, este estudio recuerda que los buceadores profesionales se encuentran expuestos a fuertes, repetitivos y continuados cambios de presión atmosférica. Según el principio fundamental de la presión hidrostática, las estructuras corporales sufren severos y traumáticos cambios del orden de un kilogramo por cada centímetro cuadrado de superficie por cada bar de presión, correspondiente a cada diez metros de profundidad; al que habría que sumarle un bar más que corresponde a la atmósfera de la superficie terrestre.

El cuerpo humano, mediante entrenamiento y la utilización de medios técnicos/tecnológicos, puede tolerar dichas condiciones durante un determinado periodo de tiempo, sin embargo, el aumento de presión modifica el comportamiento de los sistemas orgánicos, en especial las cavidades aéreas, donde se producen variaciones físicas o de volumen (Ley de Boyle-Mariotte), pudiendo llegar a colapsar¹.

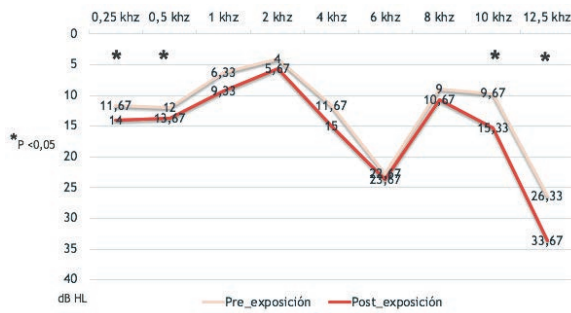


La autora con miembros de la Unidad de Sanidad de la Escuela de Buceo de la Armada.

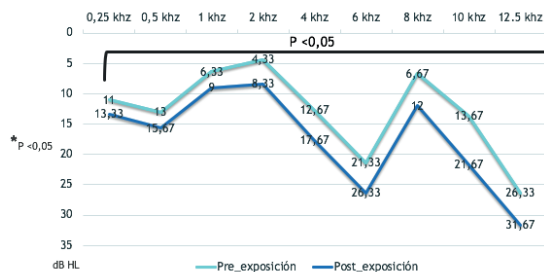
Las pruebas

- Los **test de inmitancia** se realizan con Madsen Zodiac Clinical. La **impedanciometría** con un rango de entre -400 y +200 daPa. Tono de sonda utilizada de 226Hz. Los reflejos estapediales se exploran mediante los estímulos: 0.5 kHz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, y BBN de manera ipsilateral y contralateral.
- La **audiometría tonal de alta frecuencia** se realiza con el audiómetro Aurical Aud de Otometrics en un rango de entre 250Hz y 12500Hz con auriculares supraaurales TDH39.
- Las **emisiones otoacústicas** por Productos de Distorsión se llevan a cabo con el Madsen Capella entre 500Hz y 10000Hz con 6 puntos por Octava. Relación F2/F1 de 1.22. Intensidad de L1 de 65 dB. Un total de 2 barridos por oído.
- Todas las mediciones se realizaron bajo el **software Otosuite®** de Otometrics.
- Todas las mediciones Test-ReTest se realizaron bajo las mismas condiciones acústicas; sala silenciosa con un ruido de fondo < 30 dB [A].
- Para comparar las muestras y determinar si existen diferencias entre las dos muestras relacionadas utilizamos estadística descriptiva y la **prueba no paramétrica de Wilcoxon**, con un nivel de significancia de $p < 0,05$; y mediante **software Statistics Package for the Social Sciences (SPSS)**.

Audiometría Tonal Liminar (oído derecho)



Audiometría Tonal Liminar (oído izquierdo)



En concreto el oído medio, expuesto a estos cambios bruscos, precisa de una compensación para equilibrar las fuerzas barométricas y reestablecer el equilibrio isobárico, a través de la correcta función de la trompa de Eustaquio. Un simple tapón de cerumen o la mala función de la trompa de Eustaquio podría llegar a provocar importantes lesiones en el oído². Las lesiones que se pueden producir en el oído medio por exposición a entornos hiperbáricos son más frecuentes y conocidas por su nivel de incidencia y sus posibilidades de acceso y visualización. El bloqueo y cierre de la trompa de Eustaquio imposibilita la compensación de los cambios de presión atmosférica pudiendo producir rotura de vasos capilares, y retracción y rotura de la membrana timpánica. Sin embargo, pueden producirse también lesiones en el oído interno (OI) en estos entornos, siendo estas menos conocidas pero presentando una mayor gravedad³.

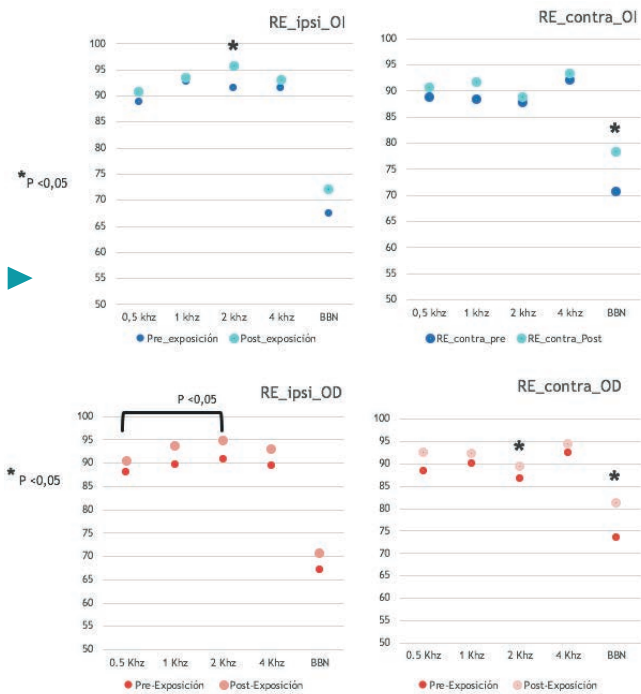
Patología y fisiopatogenia del barotrauma de oído interno

Los efectos de los cambios de presión pueden producir daños en las membranas del oído interno, llegando a generar fistula perilinfática en la ventana oval o la ventana redonda, edema de oído interno y enfermedad descompresiva de oído interno. La fisiopatogenia de estas lesiones por barotrauma está relacionada con un aumento de la presión intracraneal en un entorno hiperbárico y el resultado de la mala ecualización de la presión en el oído medio.

Los síntomas de este tipo de alteraciones son pérdida de audición con posibles fluctuaciones, tinnitus, mareo, desequilibrio, vértigo, náuseas y/o vómitos⁴; sin embargo, los registros de detección son bajos. En estudios realizados en la Norwegian Underwater Technology Center⁵ refieren un total de 76 incidentes en 15.000 buceadores (0,5%) mientras que los barotraumas en oído medio ocurren entre un 10-30% de los buceadores noveles.

Un estudio bastante similar con la US Navy, llevado a cabo por Christopher Duplessis⁶ de la Naval Submarine Medical Research Laboratory, Groton, Connecticut; publicado en 2009, afirma que los buceadores pue-

Resultados de los reflejos estapediales en el oído ipsilateral y contralateral.



FICHA DEL ESTUDIO

- Estudio cuantitativo *ex post facto*, donde analizamos antes y después de la exposición repetitiva a entornos hiperbáricos, oídos sanos con mínimos antecedentes de exposición a estos entornos.
- Durante un tiempo total de 15,5 horas, se realizaron 29 inmersiones a una profundidad que oscila entre los 3 y 50 metros de profundidad, con hasta 6 bares de presión.
- Las mediciones re-test se realizaron pasadas 24 horas desde la última inmersión.
- 15 hombres, militares del Ejército de Tierra (60%) y de la Armada Española (40%), de entre 22 y 32 años de edad, de hasta 8 puestos profesionales distintos, pero principalmente, efectivos de Operaciones Especiales
- Alumnos de la Escuela de Buceo de la Armada para la realización del curso NASAR (nadador de salvamento y rescate).
- El 73,3% no ha practicado el deporte del buceo antes y ningún participante estuvo expuesto a ruido durante este estudio.

den sufrir barotrauma subclínico de oído interno, que aunque no se identifique en la audiometría tonal, tiene importantes implicaciones en el desarrollo de hipoacusia neurosensorial crónica a largo plazo.

Una tesis presentada en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Desarrollo (Chile) para optar al grado de Licenciado en Fonoaudiología en 2016, titulada “Relación entre el estado auditivo, años de práctica y tiempo de inmersión en buceadores de la ciudad de Talcahuano” (Barra-Gutiérrez, Gállegos-Vásquez) parte de una hipótesis similar, pero finaliza sin resultados concluyentes, ya que la muestra de participantes también había estado expuesta al ruido.

En parecidos términos, en el Acta Otorrinolaringológica Española, editada por Juan-Fernández en 2007, titulada “Patología del buceo y la aviación en Otorrinolaringología”, el capítulo titulado “Enfermedades del oído interno en el buceo y la aviación” finaliza afirmando que: “La exposición crónica a medios hipobáricos-hiperbáricos no parece inducir más hipoacusia a la larga. El ruido generado en las actividades

profesionales que se desarrollan en estos medios es el que provoca un incremento de pérdida auditiva si la comparamos con la población general⁷.

González-Botas (2008) estableció la relación entre el deterioro de la audición de buceadores profesionales a lo largo del tiempo, la edad y los años de experiencia, con un incremento significativo del umbral auditivo en 3, 4 y 6 kHz al agrupar por años de experiencia y edad ($p < 0,0001$)⁸. En nuestro estudio, esta afectación es mayor en el oído izquierdo, y completa la exploración en altas frecuencias (entre $p < 0,002$ y $p < 0,004$) con 2, 4, 6, 10, y 12,5 kHz.

El umbral tonal liminar podría, o no, recuperarse tras un periodo de no-exposición, o empeorar tras más tiempo ante estos entornos, de forma similar a la fatiga auditiva producida por ruido, pero con mayor severidad dado el nivel de presión a la que se está expuesto. Estudios recientes, como la tesis de Burgos-Sánchez (2015)⁹ y el trabajo académico no publicado y depositado en la Universidad Europea de Madrid sobre la pérdida de audición inducida por ruido en el ámbito militar (Castellano & Templado, 2017)¹⁰, donde se realizó audiometría tonal de alta frecuencia en un total de 110 oídos ($n=55$); el perfil audiométrico de los militares de este estudio con exposición previa a entornos ruidosos, demuestran una afectación predominante en la frecuencia 6 kHz y un umbral más descendido en el oído izquierdo, para estos perfiles profesionales.

Las emisiones otoacústicas no mostraron cambios estadísticamente significativos. Las OEA tienen una recuperación rápida tras el estrés coclear, por lo que un Re-Test tras 24h después de la última inmersión pudo ser excesivo para detectar cambios. Además, estos resultados nos hacen preguntarnos si las modificaciones registradas son producto de alteraciones a nivel de la sinapsis entre las células ciliadas internas y las primeras fibras del nervio auditivo (sinaptopatía coclear), lo cual nos abre nuevas líneas para seguir investigando. |

Sheila Templado,
en la Escuela de Buceo
de la Armada.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Desola, J. (2008). Mecanismos fisiológicos de adaptación al medio subacuático. *JANO*, 7-13.
- Neblett, L. M. (1985). Otolaryngology and sport scuba diving: update and guidelines. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 94(1_suppl), 2-12.
- Shupak, A., Doweck, I., Greenberg, E., Gordon, C. R., Spitzer, O., Melamed, Y., & Meyer, W. S. (1991). Diving-related inner ear injuries. *The Laryngoscope*, 101(2), 173-179.
- Duplessis, C., & Fothergill, D. (2009). Exploiting otoacoustic emission testing to identify clinical and subclinical inner ear barotrauma in divers: potential risk factor for sensorineural hearing loss. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 38(1).
- González-Botas, J. H., Polanco, S. F., Facal, M. S. L., Casabella, C. F., & Casás, M. G. (2008). Umbral auditivo en buzos profesionales no expuestos a ruido. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 59(2), 70-75.
- Burgos Sánchez, A. J. (2015). Influencia del entorno acústico laboral en el comportamiento audiométrico y su correlación con el registro de otoemisiones acústicas de productos de distorsión (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante).
- Castellano, M., & Templado, S. (2017) Pérdida de audición inducida por ruido en el ámbito militar. Universidad Europea de Madrid: Trabajo de investigación fin de FPGS.
- Duplessis, C., & Hoffer, M. (2006). Tinnitus in an active duty navy diver: a review of inner ear barotrauma, tinnitus, and its treatment. *Undersea & Hyperbaric Medicine*, 33(4), 223.
- Molvaer, O. I., Eidsvik, S., & Kojen, B. K. (1988). Cochleovestibular barotrauma in diving. Effects of Diving on the Human Cochleovestibular System. Bergen, Norway: Norwegian Underwater Technology Centre A/S, 29-88.
- Juan-Fernández, J. M. (2007). Enfermedades del oído interno en el buceo y la aviación. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 58 (Supl. 2), 40-46.