

Signia IX ofrece más del doble de ventajas de mejora del habla en una conversación de grupo ruidosa en comparación con sus competidores más cercanos.

Signia Integrated Xperience (IX) introdujo la tecnología RealTime Conversation Enhancement para ayudar a los usuarios a participar y disfrutar de las conversaciones en grupo ruidosas. Con el apoyo de un análisis avanzado de la escena sonora y una arquitectura única de múltiples flujos direccionales, los usuarios de Signia IX pueden seguir y contribuir a las conversaciones en todas las situaciones dinámicas y desafiantes. En este documento, actualizamos un estudio anterior para incluir los últimos lanzamientos de 2024 de los competidores clave en una comparación técnica de Signia IX y los 4 principales audífonos de la competencia puestos a prueba en una conversación de grupo dinámica, simulada con ruido de fondo fuerte. Se observó una clara ventaja de 3,2 dB en la relación señal-ruido para Signia IX. Esto significa que Signia IX ofrece más del doble de beneficios de mejora del habla en una conversación de grupo ruidosa comparado con los competidores más cercanos, incluidas las plataformas impulsadas por coprocesadores de IA.

Niels Sogaard Jensen, Cecil Wilson, Homayoun Kamkar Parsi, Barinder Samra,
Jens Hain, Sebastian Best, Brian Taylor

OCTUBRE 2024

Mensajes para transmitir

- Este estudio está diseñado para reflejar situaciones dinámicas a las que se enfrentan los usuarios en la vida real, probando cómo funcionan los audífonos en los escenarios más desafiantes.
- En una conversación de grupo dinámica con ruido de fondo, Signia IX proporciona una mejora de 8.1 dB en la relación señal-ruido (SNR) en comparación con la escucha sin ayuda, y Signia IX supera a la competencia con una SNR 3.2 dB más alta que los 4 mejores audífonos de la competencia..
- Signia IX ofrece más del doble de beneficios de mejora del habla en una conversación de grupo ruidosa comparado con los competidores más cercanos, incluidas las plataformas impulsadas por coprocesadores de IA.
- Se espera que el aumento de SNR mejore la comprensión del habla, permitiendo a los usuarios de Signia IX contribuir activamente incluso en las conversaciones más complicadas.
- La mejora superior del habla de Signia IX está impulsada por el avanzado doble procesamiento y múltiples flujos direccionales, que permite a la plataforma IX mejorar el habla y procesar el ruido de forma independiente, a diferencia de los sistemas de la competencia que sólo pueden procesarlos juntos en un único flujo.
- Si su cliente tiene problemas de audición en conversaciones con ruido, se ha demostrado que Signia IX es el mejor para capturar el habla en una animada conversación en grupo.

Introducción

Se sabe que la reducida capacidad para entender a otras personas que hablan en un entorno con ruido es una de las consecuencias más notables e importantes de la pérdida auditiva. Por lo tanto, una de las tareas más importantes de un audífono es proporcionar la capacidad de comprender el habla en entornos ruidosos, y así, permitir la participación en conversaciones con ruido de fondo. En una encuesta realizada a casi 15.000 personas, en la que la gran mayoría tenía una pérdida auditiva autodeclarada, se descubrió que “escuchar a amigos y familiares con ruido” era el atributo más deseable de los audífonos, y el 88,3% de los encuestados calificó este atributo como muy importante o extremadamente importante (Manchaiah et al., 2021).

Con cada nueva generación de tecnologías de mejora del habla y reducción de ruido de Signia, ha habido un enfoque renovado para equilibrar la comprensión mejorada del habla en ruido con la prioridad de seguir teniendo conciencia del sonido en el entorno del usuario.

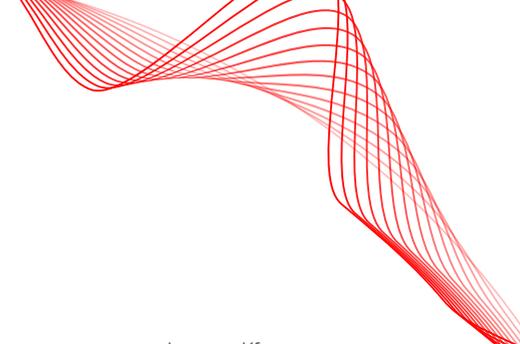
Con nuestra última innovación, Signia Integrated Xperience (IX) con RealTime Conversation Enhancement (RTCE), Signia ha dado un gran salto adelante. En lugar de simplemente mejorar la capacidad de comprensión del habla en una escena acústica estática en la que el interlocutor de interés está frente al usuario de audífonos, los avances en el análisis y procesamiento en tiempo real de escenarios de conversación ahora mejoran toda la experiencia del usuario en conversaciones de grupo dinámicas con ruido de fondo. El análisis de la escena sonora y el efecto combinado del exclusivo doble procesamiento, que permite el separar la voz y el ruido, y el nuevo enfoque de procesamiento de múltiples flujos direccionales de RTCE, brindan al usuario la capacidad de participar y contribuir plenamente a la conversación, mientras está completamente inmerso en el entorno. Para una descripción más detallada del procesamiento dividido y la RTCE, véase Jensen et al. (2021) y Jensen et al. (2023a), respectivamente.

El rendimiento clínico de Signia IX con RTCE y los beneficios proporcionados por Signia ya se han demostrado en una amplia variedad de estudios. La arquitectura única de múltiples flujos direccionales de Signia IX requiere estudios con múltiples interlocutores dinámicos para mostrar completamente sus capacidades.

Creemos que estas configuraciones para las pruebas son cruciales para que el sector avance más allá de las simples comparaciones con altavoces individuales estáticos en ruido. Nuestro objetivo es promover metodologías de prueba realizadas en entornos reales o diseñadas para reflejar mejor las realidades conversacionales de nuestros usuarios..

Entre los estudios de Signia IX, mencionaremos algunos aspectos destacados recientes. Investigadores de la Universidad de Western Ontario probaron el efecto de RTCE en un escenario de conversación de grupo ruidosa del mundo real en una sala de restaurante concurrida. Encontraron altos niveles de satisfacción auditiva y una preferencia significativa por RTCE en conversaciones del mundo real (Folkeard et al., 2024). Investigadores de ORCA-USA, utilizando una configuración dinámica de múltiples interlocutores, han publicado los resultados de un estudio sobre el rendimiento humano que muestra una mejor comprensión del habla, una mayor tolerancia al ruido y una reducción del esfuerzo de escucha autoinformado con RTCE (Korhonen y Slugocki, 2024). Los investigadores también realizaron mediciones objetivas de EEG que sugirieron que la RTCE reduce el esfuerzo auditivo (Slugocki et al., 2024).

Anteriormente se ha llevado a cabo una evaluación técnica en un escenario dinámico de múltiples interlocutores (Jensen et al., 2023b). Ese estudio investigó el aumento en la relación señal-ruido (SNR), es decir, la capacidad del audífono para mejorar el habla por encima del ruido, proporcionado por Signia IX y cuatro competidores clave en una conversación en grupo dinámica con ruido. La mejora de la relación señal-ruido (SNR) es obviamente uno de los requisitos previos más importantes para mejorar la comprensión



del habla en ruido. En esta comparación, Signia IX proporcionó una SNR que era 3,2 dB más alta que la mejor de las competidoras. Esta diferencia sustancial puede explicarse por las filosofías de doble procesamiento separado y el flujo direccional múltiple aplicadas en los audífonos Signia IX, en las que el habla se procesa y mejora independientemente de la reducción de ruido, y múltiples haces binaurales se adaptan continuamente al entorno de la conversación. Por el contrario, los audífonos de la competencia utilizaban el procesamiento tradicional de flujo único, en el que la reducción de ruido puede afectar a la claridad del habla, ya que el habla y el ruido se procesan juntos.

Por qué las pruebas de conversación en grupo son clave

Los usuarios de audífonos declaran tener la menor satisfacción auditiva en las conversaciones de grupo ruidosas (Picou, 2022), siendo la capacidad de escuchar con facilidad la clave del éxito, junto con la capacidad de contribuir activamente (Nicoras et al., 2023). El ruido de fondo, la alternancia de los interlocutores y el movimiento de la cabeza del usuario crean desafíos significativos en estas situaciones. Signia IX se construyó y probó específicamente para hacer frente a estos desafíos, y las encuestas a los usuarios muestran su eficacia en conversaciones grupales del mundo real (Jensen et al., 2024).

Desde la finalización del estudio SNR, algunos competidores clave han lanzado nuevos productos con tecnologías como la reducción de ruido basada en redes neuronales profundas (DNN). Sin embargo, estos productos siguen basándose en el mismo procesamiento fundamental de flujo único, lo que puede limitar su capacidad para gestionar de forma independiente el habla y el ruido.

Si bien los competidores han publicado datos que destacan los beneficios de sus nuevos productos, no los han probado en un entorno dinámico y de múltiples interlocutores que refleje las conversaciones de la

vida real. Para ver cómo se comparan los audífonos de la competencia con Signia IX en un escenario que refleja una conversación de grupo animada y ruidosa, actualizamos nuestro estudio original para incluir estos productos más nuevos.

Métodos

La investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de la SNR de los diferentes audífonos en un escenario de conversación dinámica con varios oradores turnándose, a diferencia de una configuración más estática con un solo hablante al frente.

Método Hagerman

La investigación se basó en la ampliamente reconocida técnica de inversión de fase de Hagerman, propuesta originalmente por Hagerman y Olofsson (2004). Este método ofrece una forma de evaluar los sistemas de reducción de ruido en los audífonos cuando el habla y el ruido están presentes al mismo tiempo. Al registrar la señal combinada (voz y ruido) en el lado de salida del audífono, con y sin inversión de fase de las señales de entrada, la metodología permite aislar el habla procesada y el ruido procesado. Al promediar las señales de voz y ruido, respectivamente, es posible proporcionar una estimación precisa de la SNR de salida experimentada por el usuario de audífonos.

Configuración de la medición

La configuración de medición, que se muestra en la Figura 1, se estableció en una sala insonorizada e incluyó un maniquí KEMAR (en el centro de la configuración) y cuatro altavoces colocados a una distancia de 1 m. Se presentaron secciones de la Señal Internacional de Prueba de Habla (ISTS) (Holube et al., 2010) desde dos altavoces a 0° y 315° a un nivel de alrededor de 76 dBA, mientras que un ruido de fondo consistente en una grabación realizada en una cafetería concurrida mezclado con ruido rosa se presentó desde dos altavoces a 135° y 225° a un nivel total de alrededor de 72 dBA. Esto produjo una SNR de "punto de partida" de +4 dB para el entorno de prueba.

Para determinar la SNR de salida, los audífonos se colocaron en los oídos KEMAR y se realizaron una

serie de grabaciones con y sin inversión de fase de las diferentes señales de entrada. La aplicación de la técnica de inversión de fase a las grabaciones permitió entonces estimar cada una de las señales procesadas a la salida de los audífonos, tanto para las fuentes individuales de habla y ruido como para el habla y el ruido combinados, como se ilustra en la figura 1.

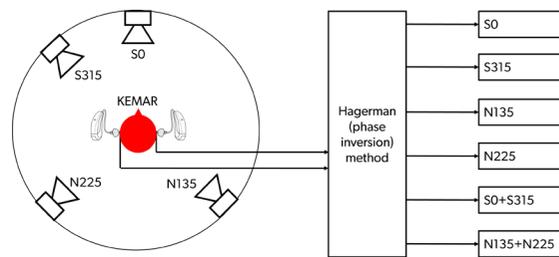


FIGURA 1 Configuración utilizada para medir la SNR de salida. Las señales de habla (S) se presentaban desde los dos altavoces del hemisferio frontal y las señales del ruido (N) se presentaban desde los dos altavoces del hemisferio posterior. Las señales procesadas por lo audífonos se grabaron en los oídos KEMAR, con y sin inversión de fase de cada señal, y se utilizó el método de Hagerman para generar estimaciones de las distintas señales S y N, tanto solas combinadas.

En las mediciones, las señales sonoras de los cuatro altavoces se presentaron como se muestra en la Figura 2.

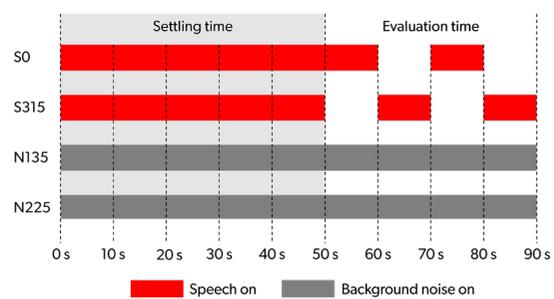


FIGURE 2 Presentación de olas señales de los cuatro altavoces. La presentación de la señal comenzó en $t = 0$, mientras que las grabaciones utilizadas para el análisis se iniciaron en $t = 50$ segundos para permitir el tiempo suficiente para que los audífonos alcancen una condición de funcionamiento estable. El análisis se basó en 40 segundos de grabaciones (tiempo de evaluación), incluyendo dos secciones de 10 segundos de cada una de las dos ubicaciones de los hablantes (S0 and S315).

El escenario de conversación se estableció alternando entre S0 y S315, con la señal presentada desde una dirección determinada durante 10 segundos

antes de conmutar, como se indica en la Figura 2. Cada grabación incluía dos secciones con S0 y dos secciones con S315, durante un total de 40 segundos. Antes de la grabación, las señales de sonido estaban encendidas durante 50 segundos para permitir que todos los audífonos se asentaran.

El resultado del análisis es la SNR de salida de los diferentes audífonos, promediada a lo largo del tiempo de evaluación. Debido al diseño de la prueba en el que el habla se presentó desde el frente y desde el lado izquierdo del KEMAR, presentamos las SNR de salida del audífono izquierdo, que es más relevante para la comprensión del habla debido al mejor efecto del oído. En el análisis, calculamos la SNR general de la conversación, $(S0+S315)/(N135+N225)$.

Audífonos

En el estudio anterior de SNR (Jensen et al., 2023b), se comparó el rendimiento de Signia Pure Charge&Go IX con el rendimiento de los audífonos premium con auricular en canal (RIC) de los 4 principales competidores. Sin embargo, uno de los audífonos de la competencia funcionó peor que la condición basal sin ayuda y, dado que el fabricante no ha lanzado un producto de reemplazo, lo excluimos de este estudio actualizado para simplificar los resultados.

Los audífonos de la competencia participantes están etiquetados como marca A-C. En el momento de la medición, cada audífono representaba el audífono RIC premium más actual ofrecido por cada fabricante respectivo. Para las mediciones, Signia IX y todos los audífonos de la competencia se programaron para una pérdida auditiva simétrica y plana de 50 dB, utilizando la configuración predeterminada prescrita por la justificación de adaptación recomendada (patentada) de cada fabricante. Todos los audífonos se probaron en la configuración predeterminada de su respectivo programa universal. Para garantizar la aplicación válida de la técnica de inversión de fase, se desactivaron las funciones de manipulación de la fase de la señal (cancelación de retroalimentación y compresión de frecuencia) en todos los audífonos.

Los audífonos se ajustaron a los oídos del KEMAR utilizando adaptadores de acoplamiento cerrado.

Para investigar el efecto de la reducción de ruido DNN aplicada en la plataforma impulsada por coprocesador IA ofrecida por la marca A, también se realizó una medición adicional con los audífonos de la marca A en un programa manual en el que la reducción de ruido DNN estaba desactivada. Las dos configuraciones de prueba se denominarán Marca A1 y Marca A2, respectivamente.

Como referencia, también se realizaron grabaciones en los oídos KEMAR abiertos (sin ayuda). Esto permitió calcular la SNR del oído abierto y utilizarla como referencia, representando la SNR de entrada.

Resultados

Las SNR de conversación medidas para cada audífono se presentan en relación con la SNR sin ayuda medida en el oído abierto de KEMAR. Por lo tanto, los resultados que se muestran en la Figura 3 son las mejoras relativas de SNR para cada audífono. La figura 3 muestra las mejoras en la SNR, medidas en las dos posiciones de interlocutores, para Signia IX y los tres audífonos clave de la competencia, que se incluyeron en la investigación. Como se mencionó anteriormente, se realizaron dos mediciones de la marca A, una con la reducción de ruido DNN habilitada (A1) y otra con la función desactivada (A2).

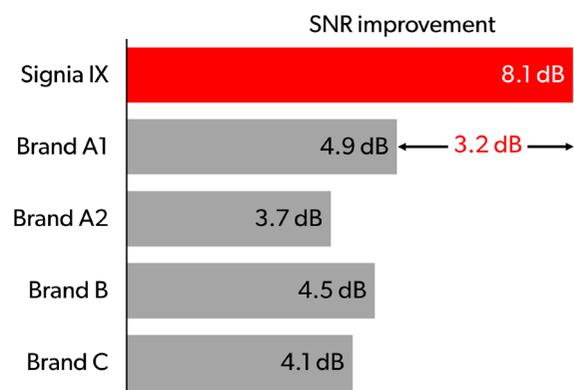


FIGURA 3 Mejora de la SNR de la conversación, en relación con la condición sin ayuda, medida en las dos ubicaciones de los

interlocutores, para Signia IX y los tres audífonos de la competencia (Marca A-B-C). Todos los audífonos se midieron con la configuración universal predeterminada, excepto el modelo A2, que se midió con un programa manual con la reducción de ruido DNN desactivada.

La Figura 3 muestra que los cuatro audífonos ofrecieron un beneficio de SNR, como lo ilustran los valores de mejora positivos. Signia IX ofrecía claramente el mayor beneficio. La mejora de la SNR de la conversación proporcionada por Signia IX, en comparación con la afección sin ayuda, fue 8,1 dB, mientras que el mejor audífono de la competencia (marca A1) ofreció una mejora de la SNR de 4,9 dB. Es decir, en este escenario de conversación, Signia IX ofreció una mejora en la SNR de salida de un asombroso 3,2 dB, en comparación con el competidor de mejor rendimiento.

Los tres audífonos de la competencia eran bastante similares entre sí en su rendimiento de programa universal, con mejoras dentro de 1 dB entre sí (4,1 dB a 4,9 dB). Para el audífono de la marca A, la medición con la reducción de ruido DNN habilitada (A1) mostró una mejora (4,9 dB), que fue de 1,2 dB superior a la mejora (3,7 dB) observada en la medición con la función desactivada (A2). Este efecto es coherente con los datos publicados por el fabricante.

Discusión

En este estudio, investigamos el rendimiento de la SNR de salida de Signia IX y tres audífonos de la competencia en un escenario de conversación en grupo simulado con dos interlocutores en la conversación en el hemisferio frontal y con ruido continuo proveniente del hemisferio posterior. Los resultados mostraron que Signia IX superó a los tres competidores, ofreciendo un beneficio general de SNR de conversación de 8.1 dB en comparación con la escucha sin ayuda y 3,2 dB en comparación con el mejor competidor.

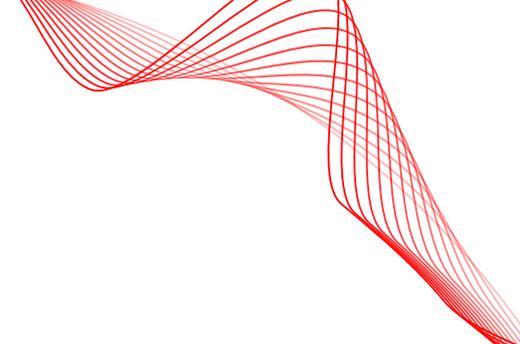
Un aumento de 3 dB en la SNR corresponde a una duplicación de la relación entre la intensidad del habla y la intensidad del ruido. Por lo tanto, la ventaja observada de 3.2 dB en la salida del audífono significa que Signia IX ofrece más del doble del beneficio de mejora del habla en el escenario de conversación de grupo ruidosa que el competidor con mejor rendimiento.

Al comparar los datos de este estudio SNR con los datos del estudio similar anterior (Jensen et al., 2023b), observamos el mismo rendimiento de Signia IX en los dos estudios. Obviamente, esto era de esperar, ya que el doble procesamiento independiente y el RTCE siguen siendo los mismos. En cuanto a los competidores, si bien observamos que sus nuevos productos presentan mejoras modestas en su rendimiento SNR de hasta 1,5 dB, en comparación con sus modelos anteriores, el rendimiento de Signia IX en la conversación dinámica de grupo sigue siendo superior.

Concluimos que la diferencia significativa observada entre Signia IX y los otros audífonos premium de la competencia es principalmente el resultado del procesamiento dividido de IX y la tecnología RTCE. En primer lugar, el doble procesamiento individual "siempre activo" central de IX reduce el ruido por separado para mejorar el habla. En segundo lugar, RTCE proporciona un análisis avanzado del diseño de la conversación de los interlocutores, identificando y adaptando continuamente a los interlocutores y las fuentes de ruido en tiempo real.

En la configuración de prueba, los audífonos Signia IX siempre reconocen si el habla proviene de la parte frontal o lateral del usuario, lo que permite que la arquitectura de flujo múltiple de RTCE adapte el procesamiento de cada flujo en consecuencia. Esto crea un espacio auditivo dinámico en el que se mejora a los interlocutores activos, mientras que los sonidos ambientales extraños se procesan de forma independiente. El RTCE se adapta sin problemas a los cambios en la conversación, como la toma de turnos, que se simuló en nuestro estudio alternando el habla desde el frente y el costado del maniquí KEMAR.

Por último, este estudio destaca la capacidad de RTCE para permitir que los usuarios entablen una conversación sin tener que enfrentarse siempre al interlocutor activo. Dado que el cabezal KEMAR estacionario mira hacia adelante mientras que el habla alterna entre el frente y el costado, el procesamiento del audífono debe adaptarse a la ubicación del habla en tiempo real. En última instancia, esto facilitará un comportamiento conversacional más natural en el mundo real, donde el



usuario puede seguir fácilmente el flujo de la conversación. La capacidad de mejorar el habla de forma independiente y adaptarse rápidamente a las transiciones entre interlocutores, habilitada por la arquitectura de flujo múltiple de RTCE, es probablemente un factor clave en los beneficios de SNR proporcionados por Signia IX en comparación con los audífonos de la competencia. Los audífonos tradicionales (y todos los competidores en este estudio) utilizan un procesamiento de flujo único en el que el habla y el ruido se tratan de la misma manera. Si bien estos sistemas pueden aplicar alguna forma de procesamiento adaptativo cuando los interlocutores se turnan, a menudo responden con demasiada lentitud para mantenerse al día con los cambios rápidos como los implementados en esta prueba. En las conversaciones del mundo real, donde los oradores se turnan cada 10 segundos en una conversación es bastante realista, esta lenta adaptación puede limitar la efectividad de estos sistemas.

Cuando se escucha el habla en entornos ruidosos, existe una estrecha relación entre la SNR de la situación de escucha, la claridad de los interlocutores y la capacidad del oyente para comprender el habla. Mejorar la SNR de salida de un audífono suele mejorar la comprensión del habla en situaciones difíciles con ruido de fondo. Sin embargo, esta relación no es directa y depende en gran medida de las condiciones de escucha y de la SNR. En este estudio, nos centramos en medir la SNR de salida en condiciones bien definidas pero realistas para garantizar una comparación significativa y ecológicamente válida de los audífonos. Seleccionamos una SNR de prueba de alrededor de +4 dB -muy cercana a la SNR media de +4,6 dB para el habla en balbuceo informada por Smeds et al. (2015)- para replicar los tipos de situaciones de la vida real en las que los usuarios de audífonos comienzan a tener problemas con la comprensión del habla. En consecuencia, se eligió esta SNR porque es la que mejor refleja las condiciones del mundo real en las que el impacto del audífono es más importante para el usuario. Esto respalda nuestro objetivo de probar los audífonos únicamente en las condiciones que realmente importan a los usuarios en la vida cotidiana.

Resumen

En este documento, hemos presentado los resultados de un estudio técnico sobre el rendimiento de SNR proporcionado por Signia Integrated Xperience y tres audífonos de la competencia. Se realizó una evaluación técnica en una escena acústica que simulaba un escenario de conversación en grupo con ruido de fondo con dos compañeros de conversación ubicados frente y al lado del usuario del audífono. La evaluación se basó en la técnica de inversión de fase de Hagerman, ampliamente utilizada, que permite estimar la SNR de salida proporcionada por los audífonos en la configuración dada.

Nuestro análisis demuestra una clara ventaja de rendimiento de SNR para Signia Integrated Xperience con RealTime Conversation Enhancement. Signia IX proporcionó un beneficio de SNR de 8.1 dB en relación con la condición sin ayuda, y una mejora de SNR de 3.2 dB en relación con los audífonos de la competencia de mejor rendimiento.

Esto significa que Signia IX ofrece más del doble de beneficios de mejora del habla en una conversación en grupo ruidosa comparado con los competidores más cercanos, incluidas las plataformas impulsadas por coprocesadores de IA.

Dado que las mejoras en la SNR de salida pueden vincularse a mejoras en la comprensión del habla si el usuario se encuentra en una situación de conversación en grupo ruidosa en la que tiene dificultades para participar, los resultados de este estudio sugieren que Signia IX podría ofrecer un gran beneficio en tales situaciones, facilitando que el usuario participe y contribuya a la conversación.

Referencias

Folkeard P., Jensen N.S., Parsi H.K., Bilert S. & Scollie S. 2024. Hearing at the Mall: Multibeam Processing Technology Improves Hearing Group Conversations in a Real-World Food Court Environment. *American Journal of Audiology*, 33, 782-792.

Hagerman B. & Olofsson Å. 2004. A method to measure the effect of noise reduction algorithms using simultaneous speech and noise. *Acta Acustica United with Acustica*, 90(2), 356-361.

Holube I., Fredelake S., Vlaming M. & Kollmeier B. 2010. Development and analysis of an international speech test signal (ISTS). *International Journal of Audiology*, 49(12), 891-903.

Jensen N.S., Høydal E.H., Branda E. & Weber J. 2021. Improving speech understanding with Signia AX and Augmented Focus. Signia White Paper. Retrieved from www.signia-library.com.

Jensen N.S., Samra B., Kamkar Parsi H., Bilert S. & Taylor B. 2023a. Power the conversation with Signia Integrated Xperience and RealTime Conversation Enhancement. Signia White Paper. Retrieved from www.signia-library.com.

Jensen N.S., Samra B., Taghvaei N. & Taylor B. 2024. Improving the Real-World Conversation Experience With a Multi-Stream Architecture. *Hearing Review*, 31(9), 16-20.

Jensen N.S., Wilson C., Kamkar Parsi H. & Taylor B. 2023b. Improving the signal-to-noise ratio in group conversations with Signia Integrated Xperience and RealTime Conversation Enhancement. Signia White Paper. Retrieved from www.signia-library.com.

Korhonen P. & Slugocki C. 2024. Augmenting Split Processing with a Multi-Stream Architecture Algorithm. *Hearing Review*, 31(5), 20-23.

Manchaiah V., Picou E.M., Bailey A. & Rodrigo H. 2021. Consumer Ratings of the Most Desirable Hearing Aid Attributes. *Journal of the American Academy of Audiology*, 32(8), 537-546.

Nicoras R., Gotowiec S., Hadley L.V., Smeds K. & Naylor G. 2023. Conversation success in one-to-one and group conversation: a group concept mapping study of adults with normal and impaired hearing. *International Journal of Audiology*, 62(9), 868-876.

Picou E.M. 2022. Hearing aid benefit and satisfaction results from the MarkeTrak 2022 survey: Importance of features and hearing care professionals. *Seminars in Hearing*, 43(4), 301-316.

Slugocki C., Kuk F. & Korhonen P. 2024. Using Alpha-Band Power to Evaluate Hearing Aid Directionality Based on Multistream Architecture. *American Journal of Audiology*, Early Online, 1-12.