



INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA II - 16.18
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

Informe final - Computarized Auditory Brainstem Response Audiometry (C.A.B.R.A)

Presentación	
Desarrollo	
Conclusiones	
Nota Final	
Firma y Fecha	

Profesor(es): Gustavo Panza
Ramón Igarreta
Franco Perez Rivera
Ayudante: Bianca Soto Acosta

Alumnos: Lucas Franzi
Gonzalo Grau
Josué Laszeski

Fecha de entrega: 17/12/2024

Índice

1. Abstract	3
2. Introducción	3
2.1. Objetivos del proyecto	4
3. Marco teórico	4
3.1. Potencial evocado auditivo	4
3.2. Adquisición de la señal fisiológica	5
4. Materiales y métodos	5
5. Resultados	5
6. Discusion	5
7. conclusion	5

1. Abstract

Este trabajo describe el diseño e implementación de un sistema automatizado de audiometría computarizada basado en la detección y análisis de potenciales evocados auditivos.

El estudio de audiometría busca detectar los umbrales de amplitud sonora a partir de los cuales un sonido es perceptible para un paciente ante diferentes frecuencias de sonido. Para ello, se generan estímulos auditivos correspondientes a frecuencias específicas, a diferentes amplitudes, hasta encontrar el punto umbral. Técnicas más avanzadas implican el análisis de potenciales evocados auditivos para automatizar la detección de dichos límites. Se investigó acerca de los productos más utilizados para realizar este tipo de estudios, y se encontró que los dispositivos comerciales disponibles son de un elevado costo, además de que no existen alternativas de producción nacional.

Nuestro proyecto, CABRA (Computer Automated Brainstem Response Audiometry), tiene como objetivo realizar audiometrías basadas en análisis de potenciales evocados auditivos del tronco encefálico a un bajo costo. Para ello, se diseñó un sistema de hardware basado en un microcontrolador ESP32-S2, el cual recibe una señal proveniente del tronco encefálico del paciente (mediante electrodos colocados superficialmente), previamente filtrada y amplificada, y la digitaliza para su posterior procesamiento. Luego, las señales recibidas son procesadas digitalmente por un software de escritorio, el cual se encarga de realizar el estudio completo de audiometría (generando los estímulos auditivos correspondientes) analizando las señales fisiológicas obtenidas.

Este sistema es modular, amigable al usuario, rápido, y ampliamente configurable. Además de proveer una herramienta para evaluar la integridad de las vías auditivas del paciente, CABRA permite acelerar el estudio de audiometría al guiar al usuario en la búsqueda de los umbrales de percepción mediante un sistema experto.

A futuro, como posibles mejoras, podría modificarse el sistema de adquisición de señales, junto con el de generación de estímulos, para disminuir la latencia en el muestreo. Con respecto al software, el sistema experto podría optimizarse mediante algoritmos de machine learning. Además, la presentación de la carcasa podría ser más compacta y ergonómica.

2. Introducción

La audiometría es un estudio médico funcional tiene como objetivo evaluar la percepción sonora de un paciente. Es de particular interés clínico, ya que permite detectar y caracterizar distintos tipos de hipoacusias.

Específicamente, se busca detectar a partir de qué intensidad de sonido (comunmente llamada SPL, por las siglas en inglés de *sound pressure level*) en decibeles [dB] comienza a ser detectable un sonido de una frecuencia específica en Hertz [Hz]. Para ello, se estimula al paciente con señales auditivas en un barrido de frecuencias y SPL, pidiendo que se indique la intensidad para el que cada frecuencia deja de ser perceptible. De esta manera, se genera un gráfico denominado audiograma, que indica los límites perceptibles en dB vs. Hz.

El estímulo auditivo utilizado suele ser una secuencia de clics cortos, cuya forma de onda es senoidal pura y de frecuencia controlada. Este sonido se hace llegar al paciente por vía aérea y vía ósea, para poder así discernir entre hipoacusias conductivas (generadas por patologías en el oído medio) y neurológicas (por deficiencias en el oído interno o el sistema nervioso central). Se utilizan audífonos para la conducción aérea, y dispositivos vibrantes presionados contra las sienes para la ósea.

Si bien la audiometría tradicional requiere de la participación activa del paciente, requiriendo que se indique expresamente la percepción de cada estímulo, existen técnicas que permiten inferir esta condición en forma objetiva e independiente del sujeto. Una de las más utilizadas consiste en el procesamiento de señales de respuesta auditiva del tronco encefálico (ABR, por sus siglas en

inglés para *auditory brainstem response*). Esta se obtiene midiendo la diferencia de potencial entre dos electrodos contralaterales, colocados en las apófisis mastoideas, y tomando como referencia el tercer ojo. Debido a que esta es una señal particularmente ruidosa, se la procesa promediando los resultados de múltiples mediciones para iguales condiciones experimentales. Como resultado, se obtiene una forma de onda tipificada, con picos y valles conocidos [8]. Mediante técnicas de procesamiento digital, se puede estimar la percepción sonora para cada frecuencia en función del SPL, independizándose de participación del paciente. [5].

Según un reciente artículo de *Market Research and News* [1], el mercado de dispositivos de audiometría basada en ABR se encuentra a la alza. Estos equipos son de particular interés para los casos en los que el paciente no puede acceder a una audiometría convencional que requiera de su participación, como es el caso de los infantes. Es especialmente relevante detectar hipoacusias en infantes de manera temprana, debido a que de ser necesario el uso de implantes cocleares, estos se adoptan en forma óptima durante los primeros 12 a 36 meses. Por este motivo, muchos países están adoptando programas de evaluación auditiva generalizada, contribuyendo así al interés del mercado en productos aptos para infantes.

A día de hoy, los principales desarrolladores de este tipo de dispositivos son Welch Allyn y Natus, ambas basadas en los EE. UU. Sin embargo, se prevé un crecimiento de la industria para los próximos 10 años en el mercado sudamericano, particularmente en México, Brasil, y Argentina [1]. Para este mercado, es vital considerar la accesibilidad en costo, para permitir así su uso en zonas carenciadas. Mientras que en norteamérica esto no es una prioridad, en Argentina es uno de los puntos clave.

En este contexto, surge CABRA (Computer Automated Brainstem Response Audiometry), un sistema de audiometría basado en ABR que busca ser accesible en costo y fácil de usar. Mediante este dispositivo, se pueden realizar un estudio completo de audiometría registrando las respuestas del tronco encefálico a estímulos auditivos, sugerir los umbrales de percepción, y generar un audiograma. Además, se busca que el sistema sea modular, permitiendo la incorporación de mejoras y adaptaciones en el futuro.

2.1. Objetivos del proyecto

- Una interfaz gráfica para el control de los estímulos y la visualización de los resultados
- Generación de estímulos por vía aérea y ósea
- Correcta adquisición de la señal de ABR mediante un preprocesamiento analógico y un posterior filtrado digital
- Procesamiento de la señal de ABR para la detección de los umbrales de percepción
- Automatización de la generación de estímulos necesarios para completar una audiometría
- Minimización del tiempo de estudio mediante selección inteligente de estímulos
- Integración del hardware en una carcasa ergonómica y compacta

3. Marco teórico

3.1. Potencial evocado auditivo

El potencial evocado auditivo es una señal eléctrica generada por el tronco encefálico en respuesta a un estímulo auditivo.

3.2. Adquisición de la señal fisiológica

Para obtener una señal de potencial evocado auditivo mediante *Auditory Brainstem Response* (ABR), se deben colocar tres electrodos en el paciente de la siguiente manera:

- Electrodo de activo (V_{in}^+): en la frente del paciente.
- Electrodo de tierra (V_{in}^-): en la apófisis mastoides ipsilateral del paciente.
- Electrodo de referencia (neutro): en la apófisis mastoides contralateral del paciente.

La señal de ABR se obtiene midiendo la diferencia de potencial entre los electrodos V_{in}^+ y V_{in}^- , y tomando como referencia el electrodo neutro. Esta señal es particularmente ruidosa, y su amplitud es del orden de los 500 [nV]. Por ello, se la debe filtrar y amplificar analógicamente previo a su tratamiento digital [8]. Se suele utilizar un filtro pasabandas de 100 a 3000 [Hz] para eliminar ruido de baja y alta frecuencia. Para amplificar, como se explicará más adelante, se utilizará una combinación de amplificadores de instrumentación y amplificadores operacionales para lograr una ganancia total de 6500.

4. Materiales y métodos

5. Resultados

6. Discusion

7. Conclusion

Referencias

- [1] M. R. a. News, “ABR Hearing Screening Device Market By Type, By Application, By Geographic Scope And Forecast.” [Online]. Available: <https://www.marketresearchandnews.com/report/abr-hearing-screening-device-market/>
- [2] G. V. Békésy, “A New Audiometer,” *Acta Oto-Laryngologica*, vol. 35, no. 5-6, pp. 411–422, Jan. 1947. [Online]. Available: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/00016484709123756>
- [3] S. H. Habib and S. S. Habib, “Auditory brainstem response: An overview of neurophysiological implications and clinical applications -A Narrative Review,” *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, vol. 71, no. 9, pp. 2230–2236, Sep. 2021.
- [4] “What Is an Audiogram and How To Read It.” [Online]. Available: <https://www.hear.com/resources/hearing-loss/what-is-audiogram-how-to-read-it/>
- [5] D. Silva and I. G. Araujo, “Objective estimation of loudness growth using tone burst evoked auditory responses,” 2009. [Online]. Available: <https://repository.library.northeastern.edu/files/neu:1362>
- [6] C. Keskinoglu and A. Aydin, *Audiometer Design and Test With Bone Conduction Headphones for Engineering Education (MÜHENDİSLİK EĞİTİMİ İÇİN ODYOMETRE TASARIMI VE KEMİK İLETİMLİ KULAKLIK İLE TESTİ)*, Jan. 2024.
- [7] A. Young, J. Cornejo, and A. Spinner, “Auditory Brainstem Response,” in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564321/>
- [8] H. Shojaeemend and H. Ayatollahi, “Automated Audiometry: A Review of the Implementation and Evaluation Methods,” *Healthcare Informatics Research*, vol. 24, no. 4, pp. 263–275, Oct. 2018. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6230538/>
- [9] A. M. Husain, “Guideline 9C: Guidelines on Short-Latency Auditory Evoked Potentials,” 2008.