



Nueva versión en Windows del sistema AUDIX para la evaluación objetiva de la audición

Alejandro Torres; María Cecilia Pérez; Lilia Rioja; Ernesto Rodríguez; Jorge Luis de Armas; Eduardo Eimil; Guillermo Savío; Vanesa Muxo; Vivian Martín.

*Departamento de Fonoaudiología.
Centro de Neurociencias de Cuba.
Ciudad Habana. Cuba.*

Resumen

El presente trabajo describe una nueva versión del sistema AUDIX, diseñada como una estación de trabajo informatizada, para la audiometría objetiva y subjetiva. El sistema, esta integrado por un ordenador (PC) con una serie de programas de cómputo ("software") el cual se conecta mediante una interfaz universal (universal serial bus USB) con un bloque electrónico especializado ("hardware"). El bloque electrónico tiene dos amplificadores bioeléctricos y un estimulador acústico digital totalmente programable con dos canales independientes. Esto permite generar de manera simultánea por ambos oídos, estímulos complejos diferentes (mezcla de tonos modulados en amplitud). Los estímulos acústicos pueden ser presentados a través de audífonos (supraauriculares o de inserción), vibrador óseo y/o altavoces. El software programado sobre una plataforma Windows, tiene 5 módulos diferentes para la adquisición y análisis de PEA transientes y de estado estable, audiometría conductual, administración de base de datos y calibración. La base de datos del sistema permite almacenar, borrar, extraer, crear y realizar copias de respaldo. Durante la adquisición de los PEA se utilizan diferentes métodos estadísticos como indicadores para la detección objetiva de las respuestas. Puede visualizarse en forma concurrente la actividad bioeléctrica de base (monitoreo de EEG) y el resultado de la promediación (PEA). Los resultados del examen electroaudiométrico son analizados fuera de línea de una manera flexible, generándose múltiples reportes gráficos y permitiendo la comparación automática con datos normativos. En el caso de los PEAee los resultados pueden ser presentados en el formato estándar de un audiograma convencional utilizando diferentes escalas (dB: HL, SPL, nHL). El sistema AUDIX ha sido validado ampliamente en la práctica clínica resultando de utilidad para la detección temprana de las pérdidas auditivas y la caracterización precisa de la audición en toda la gama de frecuencias audibles.

Palabras Claves: Potenciales evocados auditivos de estado estable, audiometría frecuencia específica, detección objetiva, defectos auditivos, electroaudiometría

Introducción

La electroaudiometría consiste en la evaluación objetiva de la audición mediante el uso de los Potenciales Evocados Auditivos. Existen múltiples técnicas electroaudiométricas que han demostrado ser de utilidad para la detección precoz y el diagnóstico de las pérdidas auditivas (1, 2, 3). Cada una de estas técnicas se basa en el registro de una respuesta o potencial auditivo provocada por determinado tipo de estímulo acústico y aporta información específica y de gran valor dentro del proceso de la evaluación

audiológica. Asimismo para la interpretación adecuada de los resultados de la audiometría objetiva, es necesario disponer también de los resultados de la exploración audiométrica subjetiva, basada en la conducta y poder integrarlos al proceso diagnóstico.

En los últimos años han ocurrido importantes avances en el terreno de la electroaudiometría. Como resultado se ha incorporado al arsenal de técnicas ya existentes, una nueva metodología basada en el registro de los potenciales auditivos de estado estable obtenidos a frecuencias rápidas entre 70 y 110 Hz, para una revisión del tema ver Picton et. al. (4). Con esta técnica puede realizarse una evaluación audiométrica precisa

de las regiones de frecuencia comprendidas entre 250 y 8000 Hz en forma aislada es decir frecuencia a frecuencia (5, 6) o simultáneamente empleando estimulación múltiple (7, 8).

Para facilitar la difusión de esta técnica y permitir el desarrollo ulterior de la misma en la práctica clínica, es necesario diseñar sistemas o equipamiento de nuevo tipo, que incorporen con rapidez y versatilidad los avances tecnológicos y faciliten al clínico la obtención, análisis e interpretación de todo tipo de PEA conjuntamente con la referencia de la audiometría convencional de tipo subjetiva.

En el desarrollo de estos sistemas hay que considerar tres aspectos esenciales I) técnicas electroaudiométricas incluidas II) implementación tecnológica y III) métodos de análisis para la detección de las respuestas.

En el presente trabajo, nos proponemos describir el nuevo diseño sobre plataforma Windows del electroaudiómetro automatizado AUDIX que permite tanto la detección objetiva y/o subjetiva de la pérdida auditiva como la caracterización precisa de la audición residual.

Implementación tecnológica

En el desarrollo de sistemas (hardware / software) para la evaluación objetiva de la audición se han observado tendencias diferentes. Existen sistemas de propósito general para el registro de potenciales evocados multimodales (visuales, auditivos y somato sensoriales) y sistemas de propósito específico que permiten el registro de una o varias respuestas auditivas: Potenciales Evocados Auditivos de Tallo Cerebral (PEATC), Emisiones Otagísticas (EOAs) y/o Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable (PEAee). Además, según el campo de aplicación y las prestaciones estos últimos pueden clasificarse como equipos de pesquise y equipos de uso clínico para la caracterización precisa de la audición.

Los sistemas de propósito general son costosos y su operatoria es más compleja desde que su utilidad clínica no está dirigida a una aplicación específica sino que abarcan la exploración de diferentes vías sensoriales. Los equipos de propósito específico son menos costosos y por lo general presentan una operatoria más sencilla por estar destinados a la exploración audiométrica como caso particular de aplicación clínica.

Técnicas electrofisiológicas

El sistema AUDIX incorpora, además del registro de PEAt, el registro y análisis de los Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable a Múltiples Frecuencias (PEAee a MF). Este tipo de respuestas tiene algunas ventajas desde el punto de vista audiométrico sobre las respuestas transientes, entre las que podemos señalar:

a) Permiten el uso de estímulos de larga duración tales como tonos continuos modulados en amplitud y/o

frecuencia. Estos estímulos tienen mayor frecuencia especificidad y son similares a los empleados en la realización de audiometrías tonales (6, 9, 10, 5).

b) Los resultados no dependen de la cooperación del sujeto, la respuesta no se afecta por la sedación o sueño (6, 9, 10).

c) El análisis de la respuesta se realiza en el dominio de la frecuencia mediante el uso de indicadores estadísticos (11, 12, 13, 14, IV) permiten la evaluación de múltiples regiones de frecuencia en ambos oídos simultáneamente, con la consiguiente reducción del tiempo de exploración y VI) utilizando estimulación múltiple se puede obtener un audiograma objetivo en toda la gama de frecuencias audibles con una sola serie de intensidad.

Métodos de análisis

Diferentes indicadores estadísticos han sido implementados en el sistema, con el objetivo de optimizar el proceso de detección y extracción de las respuestas evocadas (15). Estos indicadores están basados generalmente en el cálculo en línea de los niveles de la relación señal / ruido tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia y son utilizados como un criterio objetivo en el proceso de extracción e identificación de las respuestas electrofisiológicas. En el dominio del tiempo se emplean los indicadores siguientes, los cuales están implementados en la aplicación para el registro y análisis de los PEAt:

Nivel de Ruido Residual (NRR en inglés RNL): Desviación estándar de la referencia cruzada (+/-) de los hemipromedios de un potencial evocado. Brinda una medida cuantitativa de la magnitud del ruido residual contenido en el PEAt.

Coefficiente de Correlación (CCR): Cálculo del coeficiente de correlación entre los dos hemipromedios de un potencial evocado. Brinda un indicador numérico (valores entre ± 1) de la similitud morfológica o replicabilidad del PEAt.

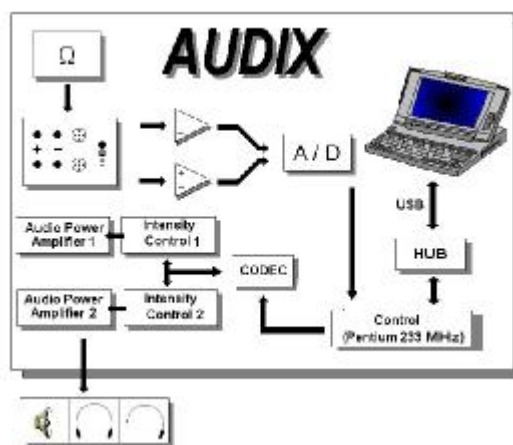
Cociente de Desviaciones Estándar (CDE en inglés "SDR"): Relación entre la varianza de la señal y la varianza del ruido residual. Da una medida de la relación señal/ ruido del PEAt.

Dada las características de periodicidad de los PEAee a MF estos pueden ser mejor analizados en el dominio de la frecuencia (utilizando la Transformada Rápida de Fourier). El hecho de que cada PEAee quede representado como un componente o pico espectral circunscrito facilita la detección cuantitativa de la respuesta mediante el empleo de indicadores estadísticos.

El sistema AUDIX en su aplicación para el registro y análisis de los PEAee tiene implementados dos indicadores estadísticos que permiten la detección automática

tica de la respuesta: T2 circular (16) y T2 de Hotelling modificada para una media de ruido diferente de cero (14). Ambos indicadores utilizan toda la información de la respuesta, ya que se basan en la representación compleja del componente espectral de la señal (incluye la fase y la amplitud). Además, como estos estadígrafos tienen una distribución estadística conocida (T2 de Hotelling) es posible determinar el valor exacto de la probabilidad o grado de significación de un PEAA o respuesta con cualquier número de repeticiones (promediaciones). Esto es una limitación de los métodos de detección del PEAA basados en la coherencia de la fase.

Figura 1. El hardware fue rediseñado de modo tal que cualquier nuevo desarrollo en el campo de la electroaudiometría pueda ser fácilmente incorporado. El hardware incluye ahora un módulo para el procesamiento de la señal (unidad de control pentium 233 MHz). La comunicación con la computadora se realiza a través de un bus USB. El estimulador auditivo (CODEC) puede generar de manera digital una amplia gama de estímulos acústicos que pueden ser presentados al paciente mediante audífonos, vibrador óseo o bocinas. El enmascaramiento contralateral está también disponible en esta nueva versión.



Descripción del sistema

a) Especificaciones de seguridad

Seguridad Eléctrica: Aislamiento óptico digital, Clase I, Tipo BF según la norma IEC 601-1 (EN 60601-1).

b) Comunicación con la computadora

El sistema cuenta con una Interfaz tipo USB (Universal Serial Bus), lo que permite una velocidad de transmisión de datos de 5 Mbits a una distancia máxima de 5 metros y con un almacenamiento continuo en disco rígido.

c) Sistema de Conversión Analógico / Digital

El sistema de conversión A/D tiene una precisión de 16 Bits, con un circuito de muestreo simultáneo para los dos canales y con una frecuencia máxima de 20 KHz.

d) Amplificadores Bioeléctricos

El equipo cuenta con dos canales bipolares. Cada uno tiene entrada mediante dos conectores (+ y -) "jacks" de 2 mm y/o un conector tipo DIN 5P (240°). La impedancia de entrada de cada amplificador es de 10 MΩ, y el nivel de rechazo de modo común mayor de 100 dB, con un ruido interno de 1.5 μVpp en la banda de 0.05 a 10,000 Hz, lo cual garantiza una adecuada relación señal / ruido. Los pasos de ganancia o amplificación se mueven en un amplio rango que comprende entre 200 y 1,000,000 ± 10 % con un ancho de banda variable entre 0.01 a 20,000 Hz.

Los filtros digitales tienen una extensa variedad de puntos de corte: Pasa alto desde 0.05 hasta 500 Hz ± 6% y Pasa Bajo entre 10 y 20,000 Hz ± 10%. Además hay un filtro quita banda para eliminar la interferencia de línea seleccionable a 50 / 60 Hz ± 1/8 y con una atenuación superior a 30 dB.

La medición de Impedancia se realiza de manera automática, contándose con la indicación simultánea de cada uno de los valores de los electrodos en pantalla. La calibración es otro procedimiento que se realiza de forma totalmente automática, usándose para ello una onda cuadrada o sinusoidal de 1mVpp 10 Hz.

Estimulador acústico

El sistema cuenta con un versátil estimulador acústico que nos permite la generación de estímulos breves (chasquido o tonos breves), con frentes de subida y caída programables en forma, frecuencia y duración. Asimismo permite la generación de un conjunto amplio de estímulos continuos: tonos puros de diferentes frecuencias y tonos modulados en amplitud. El sistema brinda la posibilidad de utilizar enmascaramiento contralateral con ruido blanco o filtrado. A diferencia de la versión anterior se podrá estimular al paciente mediante todo tipo de transductores: audífonos (supraauriculares o de inserción) vibrador óseo y bocinas. Estos últimos solo para la obtención de los PEAA. El rango de intensidades, tanto para el estímulo como para el ruido enmascarante varía desde 0 a 135 dB SPL ± 3 dB en pasos de 5 dB. Es posible estimular de manera periódica o aleatoria con un ritmo de estimulación que varía entre 0.2 - 100 Hz ± 5% y para una gama de frecuencias que va desde 250 a 8000 Hz en pasos de 1 octava y que pueden ser moduladas para generar tonos continuos modulados en amplitud en el rango de 80 - 110 Hz ± 3% y entre 35 - 55 Hz ± 3%. La distorsión armónica total es inferior al 3 %.

Descripción del software

La nueva versión del software AUDIX fue desarrollada usando Delphi 5.0. En su confección fueron usadas las potencialidades de las VCL de Delphi, así como las componentes del Report Builder, para la confección de los reportes. Además de estas herramientas disponibles comercialmente, se desarrollaron un grupo de componentes para los requerimientos específicos de los Potenciales Evocados, tales como la graficación de los datos, el manejo de diálogos y la comunicación con el hardware.

a) Base de Datos

La aplicación Administrador de Base de Datos fue desarrollada usando el sistema Access, más ADO (Active Data Objects), y la biblioteca estándar de la API (Application Programming Interface). Para el desarrollo de esta aplicación también fueron desarrolladas componentes que permiten el acceso de lectura y escritura en la Base de Datos. Este módulo nos permite de manera amigable crear y borrar bases de datos, eliminar pacientes o pruebas del paciente seleccionado, transferir información de una base de datos a otra y crear copias de respaldo de las BD existentes.

b) Instalador

El nuevo software fue diseñado para su utilización sobre plataforma Windows de 32 Bits, tales como Windows 9x, Me, 2000 y XP. La instalación del mismo se realiza a través de un instalador creado para ese fin en InstallShield 2.12 (62) Express Delphi Editor. El mismo lleva al usuario de la mano a través de diferentes diálogos y permite la selección de diferentes discos o subdirectorios para la instalación del software.

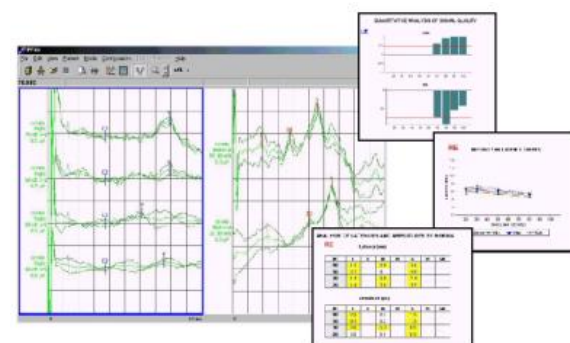
c) Modulo de PEAt

EL módulo de registro de PEAt incluye operaciones como medición de impedancia de los electrodos, monitoreo del EEG, que puede hacerse ahora de manera concurrente con la promediación del PEA. El sistema cuenta con una serie de protocolos implícitos para la obtención de los PEAt de corta, media larga latencia. Permite también la definición de nuevos protocolos de estimulación y registro que se almacenan y extraen a voluntad. Durante el proceso de promediación se visualizan "en línea" diferentes indicadores de relación señal / ruido (CCR, NRR y CDE), así como los valores de amplitud y/o latencia correspondientes a los diferentes cursores digitales. Estos a su vez pueden moverse o ser insertados y/o eliminados a voluntad. El usuario puede visualizar el grafico del PEA promedio superimpuesto con los dos hemipromedios. Es posible también visualizar en pantalla hasta 10 replicaciones por canal para cada respuesta registrada. En la Fig.2 se muestra la pantalla de registro de PEAt.

Integrado en este mismo módulo hay un sistema o modo de trabajo para análisis fuera de línea de los

PEAt. En este se permite una selección flexible de las señales a analizar, presentación simultánea en pantalla de hasta 24 señales (del mismo o de diferentes pacientes), las cuales se organizan de manera totalmente automática por oído e intensidades (de mayor a menor). En este modo es posible realizar nuevas mediciones de amplitud y/o latencia e intervalos interpicos. Puede confeccionarse un reporte detallado que incluye tres elementos nuevos en esta versión: la comparación contra normas por edades e intensidades, la creación de curvas de intensidad / latencia e intensidad / amplitud y la graficación de los datos estadísticos correspondientes en referencia a valores criterio para cada una de las respuestas o PEA. Todos estos elementos brindan cierto grado de objetividad para emitir un criterio diagnóstico.

Figura 2. Se muestra un registro de un PEATC por estímulo Clic. Este modulo permite la inspección de hasta 24 señales simultáneamente, organizadas por intensidades y oídos de forma totalmente automática. Cursores digitales pueden ser insertados en cada señal, permitiendo la medición de amplitudes y latencias. Diferentes tipos de reportes pueden ser generados, incluyendo la comparación con normas, el cálculo de curvas intensidad / latencia o intensidad / amplitud o la graficación de los indicadores estadísticos usados en la detección de la señal.

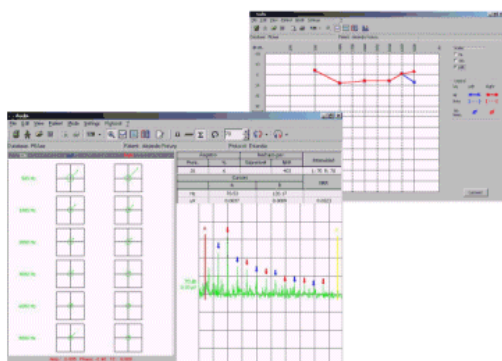


d) Modulo de PEaee

El módulo de registro de los PEaee permite igualmente la medición de la impedancia, visualización en línea del EEG, definición de protocolos de estimulación, registro de los PEaee a MF y almacenamiento de los registros e información del paciente y estudio en BD. Como aspecto novedoso se incorpora a este modulo la posibilidad de visualizar en línea la obtención del audiograma del paciente en cuestión, así como la estimulación por vía ósea y por altavoces o bocinas (campo libre). Ambos tipos de estimulación brindan una mayor información para el estudio de las hipoacusias además de permitirnos un ajuste protésico más objetivo en pacientes pediátricos o aquellos que no colabo-

ren al examen convencional. Durante el registro de los PEAAe se visualizan simultáneamente el espectro de la señal, representaciones gráficas de los estadígrafos empleados en la detección de la respuesta, así como un indicador del nivel de ruido residual contenido en la respuesta. La figura 3 muestra una pantalla típica del proceso de registro de los PEAAe a MF.

Figura 3. Se muestra el registro de un PEAAe a Mf obtenido por estimulación con una mezcla de tonos amplitud modulados (0.5 a 8 kHz). Los resultados de la detección estadística son actualizados en cada promediación y se muestran de forma gráfica (parte izquierda de la pantalla). Un audiograma objetivo basado en el registro de los PEAAe puede ser calculado y visualizado “online” durante el registro.

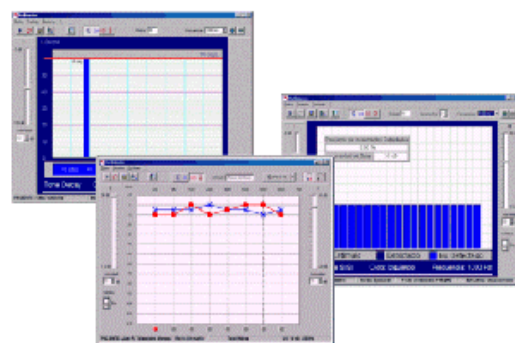


El módulo permite también el análisis fuera de línea de los PEAAe e incluye 3 modos de trabajo: 1) análisis de un conjunto de PEAAe, que cumplen una condición dada, 2) análisis simultáneo de varios registros, visualizados tal y como se registraron y 3) graficación de los PEAAe según los indicadores estadísticos utilizados para la detección de la respuesta electrofisiológica (T2C ó T2H) para cada frecuencia e intensidad explorada. La Fig. 3 muestra una pantalla típica del tercer modo de trabajo.

Se incluye además opciones para la presentación del protocolo de estimulación empleado, datos del paciente, datos del estudio realizado y mediciones de amplitud, fase y nivel de ruido residual de la respuesta evocada.

A partir de los umbrales detectados para cada una de las frecuencias exploradas es posible generar de manera flexible y automática un audiograma electrofisiológico, que puede ser expresado en diferentes escalas (nHL, SPL ó HL). Esta opción facilita la interpretación y estandarización de los resultados. En la figura 4 se muestra un audiograma generado por el Sistema AUDIX.

Figura 4. El sistema incorpora un audiómetro tonal programado también en plataforma Windows. De esta forma se complementa al sistema como estación de trabajo en audiológica, permitiendo pruebas como la audiometría tonal, el tone Decay y la prueba de SISI. El sistema brinda un análisis inteligente de los resultados, así como un reporte que incluye los resultados de las pruebas acústicas realizadas al paciente.



d) Módulo de Audiómetro

El módulo Audiómetro nos permite la realización de alguna de las pruebas tonales más usadas en la práctica clínica. En el mismo están implementadas en forma computarizada la audiometría tonal liminar (aérea, ósea, campo libre), el Weber tonal, el cálculo de los umbrales no confortables y las pruebas de S.I.S.I y el Tone Decay. Estos últimos fueron programados de manera que generan un reporte donde se evalúa de forma automática los resultados de la prueba. La inclusión de un audiómetro tonal en el AUDIX complementa al sistema como estación de trabajo audiológica, con la ventaja adicional de mantener almacenado en soporte magnético los resultados de los exámenes conductuales y poder analizarlos conjuntamente con la evaluación objetiva en igualdad de condiciones de local, calibración de equipamiento y ruido ambiente etc. Este módulo nos brinda también la posibilidad de obtener un reporte, donde se incluyen, además de los exámenes tonales, las pruebas acústicas realizadas al paciente en cuestión.

Validación clínica del sistema

El Sistema AUDIX ha sido extensamente validado en diferentes poblaciones de sujetos: adultos sanos e hipoacúsicos, lactantes sanos y con factores de riesgo, recién nacidos y niños hipoacúsicos (17, 7, 14, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 23). Además de estar implementado en Cuba y Colombia como herramienta diagnóstica para la detección precoz de pérdidas auditivas y la posterior caracterización de la hipoacusia.

El Sistema ha sido validado también en países como China, Sudáfrica, España, México, Colombia, Venezuela, Brasil, Italia, Inglaterra y Canadá

Las tablas I, II y III muestran algunos de estos resultados, mostrando las diferencias entre los umbrales electrofisiológicos obtenidos con el Sistema AUDIX y los umbrales conductuales obtenidos con un audiómetro convencional.

Tabla I: *Diferencias entre el umbral electrofisiológico y el umbral conductual (expresados en dB) para diferentes poblaciones de adultos sanos obtenidos con el sistema AUDIX.*

Diferencia	500	1000	2000	4000
UE – UC	Hz	Hz	Hz	Hz
Savio 1997	15	13	11	11
Lins 1996	14	12	11	13
Torres 1997	7	9	4	12
Martínez 2002	24	23	23	25

Tabla II: *Diferencias entre el umbral electrofisiológico y el umbral conductual (expresados en dB) para diferentes poblaciones de niños y adultos hipoacúsicos obtenidos con el sistema AUDIX.*

Diferencia	500	1000	2000	4000
UE – UC	Hz	Hz	Hz	Hz
Savio, 1997	12	7	4	5
Lins, 1996	9	13	11	12
Martínez, 2002	30	27	21	10

Tabla III: *Estudios de correlación entre umbrales electrofisiológicos y conductuales obtenidos con el sistema AUDIX.*

Correlación	500	1000	2000	4000
UE -UC	Hz	Hz	Hz	Hz
Martínez, 2002	0,75	0,85	0,86	0,87
Pérez, 2001	0,70	0,78	0,82	0,77

Conclusiones

Se desarrolló una nueva versión del sistema AUDIX (ahora sobre plataforma Windows) que integra en una sola estación de trabajo la realización de varias pruebas objetivas y subjetivas para la evaluación de la audición.

La nueva versión del sistema optimiza el proceso de extracción, análisis e interpretación de las respuestas de PEA mediante la introducción de indicadores estadísticos que miden la relación señal/ruido en línea, nuevos métodos de rechazo de artefactos, más facilidades gráficas, generación de reportes, y comparación contra datos normativos.

La incorporación de un módulo para audiometría subjetiva (liminar y supraliminar) permite reducir los posibles sesgos que se introducen al comparar el audiograma electrofisiológico y el conductual, obtenidos en diferentes condiciones de local, niveles de ruido ambiente y calibración acústica. Además permite realizar estimaciones objetivas y subjetivas de otros aspectos de la evaluación audiométrica y no sólo del umbral.

La posibilidad de estimular por diferentes transductores (Aéreo, Óseo y Campo Libre) le dan al sistema la posibilidad de realizar una exploración audiométrica mas completa y perfeccionar ulteriormente la técnica con nuevas aplicaciones.

Los estudios clínicos realizados en lactantes, niños y adultos (normales e hipoacúsicos) demuestran la validez del sistema y en particular de la técnica de PEA a MF, tanto para estimar el umbral de audibilidad en el rango de frecuencias entre 500 y 4 000 Hz, así como para la detección temprana de pérdidas auditivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Picton, T.W. (1991). Clinical usefulness of auditory evoked potentials: a critical evaluation". *J. Speech. Lang. Pathol. Audiol.*, 15: 3-29.
2. Kemp, D.T., Ryan, S., & Bray, P. A (1990). Guide to the effective use of otoacoustic emissions. *Ear & Hearing*, 11, 93-105.
3. Don, M., Eggermont, J.J., Brackman, D.E. (1979). Reconstruction of the audiogram using brainstem responses and high-pass noise masking. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl.* 57:1-20.
4. Picton, T.W, Sasha, J, Dimitrijevic, A and Purcell, D. (2002). Human Auditory Steady-State Responses. *International Journal of Audiology*. Aceptado para publicar.
5. Rickards, F.W., Clark, G.M. (1984). Steady-state evoked potentials to amplitude-modulated tones". In Nodar, R.H., Barber, C. (Eds.), *Evoked Potentials II* (pp.163-168). Boston: Butterworth.
6. Cohen, L.T., Rickards, F.W., Clark, G.M. (1991). A comparison of steady-state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans. *J. Acoust. Soc. Am.*, 90: 2467-2479.
7. Lins, O.G., Picton, T.W., Boucher, B.L., Durieux-Smith, A., Champagne, S.C., Moran, L.M., Perez-Abalo, M.C., Martin, V.,

- Savio, G. (1996). Frequency-specific audiometry using steady-state responses. *Ear and Hearing*, 17, 81-96.
8. Savio G, Pérez-Abalo MC, Valdés JL, Martín V, Sierra C, Rodríguez E, Eimil E, Torres A. (1997). Potenciales evocados auditivos de estado estable a múltiples frecuencias: Una nueva alternativa para evaluar la audición en forma objetiva. *Acta de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*; 25: 87-97.
 9. Aoyagi, M., Kiren, T., Kim, Y., Suzuki, Y., Fuse, T., Koike, Y. (1993). Optimal modulation frequency for amplitude-modulation following response in young children during sleep. *Hear. Res.*, 65: 253-261.
 10. Lins, O.G., Picton, P.E., Picton, T.W., Champagne, S.C., Durieux-Smith, A. (1995). Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80 to 110 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 97: 3051-3063.
 11. Stapells, D.R., Makeig, S., Galambos, R. (1987). Auditory steady-state responses: threshold prediction using phase coherence. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 67: 260-270.
 12. Wei, W.W.S. (1990). Chapter 12. Estimation of the spectrum. In *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods* (pp.256-287). Addison-Wesley: Redwood City .
 13. Zurek, P.M. (1992). Detectability of transient and sinusoidal otoacoustic emissions. *Ear & Hearing*, 13: 307-310, 1992.
 14. Valdés, J.L., Pérez-Abalo, M.C., Martín, V., Savio G., Sierra, C., Rodríguez, E. Lins, O. G. (1997). Comparison of statistical indicators for the automatic detection of 80 Hz auditory steady state responses, *Ear and Hearing*, 18: 420-429.
 15. Picton T. W., Linden, R. D., Hamel, G., Maru, J. T. (1983). Aspects of averaging. *Seminars in Hearing*, 4, 327.
 16. Victor, J.D., Mast, J. (1991). A new statistic for steady-state evoked potentials. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 78: 378-388.
 17. Savio, G. (1995). *Electroaudiometría mediante potenciales evocados auditivos de estado estable*. Trabajo para optar por el grado de Especialista de primer grado en Fisiología Normal y Patológica. CNIC, La Habana, Cuba.
 18. Carrera B, Savio G, Manrique M, Huarte A, Artieda J. (1999). Application of the multifrequency auditory steady state response to the tonal audiometric assessment. *Journal of Neurology* 1999; 28; 630.
 19. Pérez M.C.; Savio G.; Torres A. Martín V.; Rodríguez E.; Galán L. (2001). An optimized method to test frequency specific thresholds in hearing impaired children and normal subjects. *Ear & Hearing*; 22:200-1.
 20. Savio, G., Cárdenas, J., Pérez Abalo, M.C., González, A., & Valdés, J. (2001). The low and high frequency auditory steady state responses mature at different rates. *Audiology and Neurotology*, 6, 279-287.
 21. Martínez Beneito, M.P. (2002). *Validación Clínica de los Potenciales Evocados Auditivos de estado estable como método de evaluación objetiva de la audición*. Tesis para la obtención del grado de Doctor, Universidad de Valencia.
 22. Reigosa V, Pérez – Abalo M, Hernández D, De la O M, Savio G, Rodríguez M, Morales T. (2002). Long Term Effectiveness of the Early Detection of Permanent Hearing Loss. *National Center for Scientific Research Journal* 2002; Aceptado para publicar.
 23. Savio G, Perez-Abalo M.C, Hernandez O, Ponce de Leon M, Gaya J.A and Galán L. (2002). Screening high risk babies with multiple auditory steady state responses. *Ear and Hearing* 2002.
- Recibido el 18 de Diciembre del 2002.
Aceptado el 03 de enero del 2003.
Publicado (on-line) 1 de Febrero del 2003.
<http://www.auditio.com/revista>
- Contacto con los autores: Alejandro Torres: Departamento de Fonoaudiología, Centro de Neurociencias de Cuba. Avenida 25 y 158, Playa, Apartado Postal 6880, Ciudad Habana, Cuba Teléfono: (53 7) 20873 90 / 208 44 61. Fax: (53 7) 208 65 68 / 208 67 07. E-mail: fortuny@cneuro.edu.cu
- Para citar este artículo
A. Torres, M Cecilia , L. Roja, E. Rodríguez, J.L. de Armas., E. Eimil, G. Savio, V. Muxo, V. Martín. Nueva versión en Windows del sistema AUDIX para la evaluación objetiva de la audición. [en línea]. *Auditio: Revista electrónica de audiología*. 1 Febrero 2003, vol. 2(1), pp. 3-9. (<http://www.auditio.com/revista/pdf/vol2/1/020102.pdf>)