Clinical Applications of Auditory Late Responses in Test Battery Approach: a Narrative Review

Hajimohammadi A[1], Heidari F[2], Mahdavi M.E[2]

1- Student Research Committee, Department of Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2023.09.21 Accepted: 2024.01.06

Abstract

Purpose: The use of objective electrophysiological tests of hearing with the approaches of threshold estimation, otoneurology diagnosis, as well as evaluating the usefulness of hearing prostheses, including hearing aids and cochlear implants, have been of interest to clinicians and researchers in the field of hearing sciences since the beginning. Among the existing objective hearing tests, the recording of auditory late responses (ALRs) is a sign of detecting auditory stimuli in the auditory cortical areas and provides information on the correct functioning of the cortical and subcortical auditory areas. This information cannot be obtained using objective and routine tests such as auditory brainstem responses (ABRs). The purpose of the present study is to review the practical and multiple approaches of this tool in the test battery approach in order to evaluate the hearing system of children and adults and the usefulness of rehabilitation in hearing impaired individuals.

Methods: This study is a narrative review and searches for sources using the keywords "cortical auditory evoked potentials", "auditory late responses", "N1-P2", "hearing aids", "cochlear implantation", "auditory training", and "auditory threshold" between the period of 2000 and 2023 in Google Scholar, PubMed, SID, and Magiran databases were performed.

Results: Among the studies found, duplicates were removed and those with available full text were used in this study. By evaluating the results obtained from them, the use of ALRs in estimating the hearing threshold of children and adults is confirmed, and this test can be used to evaluate the usefulness of the chosen rehabilitation strategy, including hearing aid, cochlear implantation, and auditory training.

Conclusion: The study showed that ALRs are a useful tool for evaluating the cortical auditory areas and can, along with other electrophysiological hearing tests such as ABRs, provide more awareness in a wider range of the auditory system, especially for diagnostic approaches and evaluation of the usefulness of rehabilitation interventions, especially at a young age, for therapists.

Keywords: Auditory late responses, Cortical auditory evoked potentials, Hearing threshold, Hearing aids, Cochlear implants

کاربردهای بالینی پاسخ های دیررس شنوایی (ALRs) در رویکرد مجموعه آزمون ها: مروری روایتی

علی حاجی محمدی[۱]، فاطمه حیدری[۲]، محمد ابراهیم مهدوی[۲]

هدف: استفاده از آزمون های آبجکتیو (Objective) الکتروفیزیولوژیک شنوایی با رویکردهای تخمین آستانه، تشخیصی اتونورولوژی و نیز ارزیابی میزان سودمندی پروتزهای شنوایی از جمله سمعک و کاشت حلزون، از ابتدا مورد توجه متخصصان بالینی و پژوهشگران حیطه علوم شنوایی بوده است. از میان آزمون های آبجکتیو موجود، ثبت پاسخ های دیررس شنوایی (Auditory Late Responses; ALRs)، نشانه کشف محرکات شنوایی در نواحی قشری شنوایی است و اطلاعاتی را در

Copyright © 2023 Mashhad University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

► **Please cite this article as:** Hajimohammadi A, Heidari F, Mahdavi M.E. Clinical Applications of Auditory Late Responses in Test Battery Approach: a Narrative Review. **JPSR** 2023; 13(1): 83-92. **DOI:** 10.22038/JPSR.2024.74580.2540

زمینه صحت عملکرد نواحی قشری و زیرقشری شنوایی در اختیار قرار می دهد که با استفاده از آزمون آبجکتیو و روتین پاسخ های ساقه مغز شنوایی (Auditory Brainstem Responses; ABRs) قابل حصول نمی باشد. هدف از مطالعه حاضر، مروری بر رویکردهای کاربردی و متعدد این ابزار در مجموعه آزمون های شنوایی به منظور ارزیابی سیستم شنوایی کودکان و بزرگسالان و بررسی میزان سودمندی توانبخشی انجام شده در افراد کم شنوا، می باشد.

روش بررسی: این مطالعه از نوع مروری روایتی بوده و جستجوی منابع با استفاده از کلیدواژه های "پتانسیل‌های برانگیخته قشری شنوایی"، "پاسخ‌ه ای دیررس شنوایی"، "N1-P2"، "سمعک"، "کاشت حلزون"، "تربیت شنوایی" و "آستانه شنوایی" در پایگاه های اطلاعاتی Google scholar و PubMed، Magiran و SID بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ انجام شده است.

یافته ها: از بین مطالعات یافت شده، نسخه های تکراری حذف و مقالاتی که متن کامل شان موجود بود در این مطالعه استفاده شدند. با بررسی نتایج بدست آمده در این مقالات، کاربرد ALRs در تخمین آستانه شنوایی کودکان و بزرگسالان تایید می شود و برای ارزیابی سودمندی استراتژی توانبخشی انتخاب شده از جمله سمعک، کاشت حلزون و تربیت شنوایی می‌توان از این ابزار استفاده کرد.

نتیجه گیری: بررسی انجام شده نشان می‌دهد که ALRs ابزاری سودمند برای ارزیابی نواحی قشری شنوایی است و می تواند در کنار سایر آزمون های الکتروفیزیولوژیک شنوایی مانند ABRs، آگاهی بیشتری را در گستره وسیع‌تری از سیستم شنوایی به ویژه برای رویکردهای تشخیصی و ارزیابی سودمندی مداخلات توانبخشی انجام شده، به ویژه در سنین پایین، برای درمانگران فراهم نماید.

کلمات کلیدی: پاسخ های دیررس شنوایی، پتانسیل های برانگیخته قشری شنوایی، آستانه شنوایی، سمعک، کاشت حلزون

نویسنده مسئول: فاطمه حیدری، fheidari.audio@gmail.com، ORCID: 0000-0002-7358-1008

آدرس: تهران، تهران، خیابان دماوند، دانشکده علوم توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

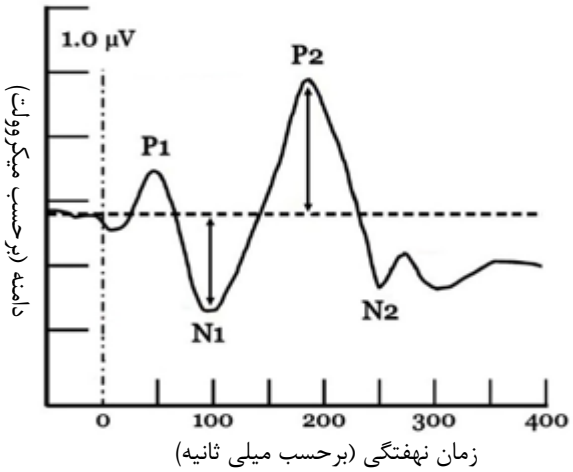
۱- کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه شنوایی شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار گروه شنوایی شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

مقدمه

پتانسیل های برانگیخته شنوایی (Auditory Evoked Potentials; AEPs)، امواج الکتریکی مغزی هستند که تحریک سیستم شنوایی با محرک صوتی، الکتریکی یا مغناطیسی باعث برانگیخته شدن این امواج می شود (۱). پاسخ های دیررس شنوایی (Auditory Late Responses; ALRs)، از جمله AEPs است که برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ توسط Pauline Davis کشف شد و از آن موقع مورد توجه بسیاری از پژوهشگران علوم شنوایی قرار گرفت. یکی از مزیت‌های این ابزار، بررسی جامع سیستم عصبی شنوایی است و می‌تواند سلامت مسیر عصبی را از عصب شنوایی تا قشر شنوایی در مغز را بررسی کند (۲). امواج ALRs، منعکس کننده فعالیت عصبی قشر شنوایی اولیه و ثانویه است و اطلاعاتی در مورد فرایندهای بیولوژیکی درگیر در پردازش شنوایی ارائه می دهد. به صورت کلی می توان از ALRs برای ارزیابی رسش (Maturation) سیستم عصبی شنوایی و درک گفتار در افراد کم‌شنوا و با شنوایی هنجار استفاده کرد (۳).

ALRs در بزرگسالان از ۴ موج (جزء) P1، N1، P2 و N2 تشکیل شده (شکل ۱) و به طور روتین، محرکات مختلف صوتی شامل کلیک، تون برست، نویز و گفتار در شدت و نرخ تحریک مختلف می‌توانند سبب برانگیخته شدن این امواج شوند (۴). رایج ترین اجزای پاسخ بدست آمده در بزرگسالان که کمپلکس P1-N1-P2 را شکل می دهد شامل؛ موج مثبت P1 (میانگین زمان نهفتگی حدود ۵۰ میلی‌ثانیه پس از تحریک) که از تالاموس و قشر شنوایی اولیه منشأ می‌گیرد، موج منفی N1 (میانگین زمان نهفتگی حدود ۱۰۰ میلی‌ثانیه) و موج مثبت P2 (میانگین زمان نهفتگی حدود ۱۸۰ میلی‌ثانیه) با خاستگاه قشر شنوایی اولیه و ثانویه است. در نوزادان با شنوایی هنجار، موج مثبت P1 با زمان نهفتگی حدود ۲۵۰ میلی‌ثانیه جزء غالب ALRs است و به تدریج با افزایش سن، دامنه P1 کاهش پیدا می‌کند و زمان نهفتگی آن به ۵۰ میلی ثانیه در بزرگسالی می رسد (۵). سطح برانگیختگی، میزان



شکل ۱: شکل موج ALRs و اجزای تشکیل دهنده آن (۶)

هوشیاری و توجه بیمار بر دامنه، زمان نهفتگی و تغییرپذیری امواج ALR تاثیر می گذارند که این تاثیرپذیری بر امواج انتهایی‌تر، بیشتر از امواج ابتدایی است. که به طور کلی زمانی که شخص در هنگام ثبت موج کتابی بخواند یا به محرکی توجه کند (مثلا تعداد محرک را بشمارد)، پاسخ برجسته‌تر و با تغییرپذیری کمتری ثبت می شود. مشابه با پتانسیل های برانگیخته زودرس و میان‌رس شنوایی، دامنه و زمان نهفتگی امواج ALR به "شدت محرک" بستگی دارد و با افزایش سطح شدت، دامنه آن ها بیشتر شده و زمان نهفتگی کاهش پیدا می کند. چهار معیار برای تشخیص درست امواج ALR وجود دارد. پاسخ های بدست آمده باید مورفولوژی، دامنه و زمان نهفتگی مناسبی داشته باشند؛ قابلیت تکرارپذیری داشته باشند؛ پاسخ‌ها باید از روند مورد انتظار دامنه کوچکتر و زمان نهفتگی بیشتر با کاهش سطح شدت محرک، پیروی کنند و نسبت پاسخ (سیگنال) به نویز بدست آمده باید به اندازه کافی بالا باشد تا آزمایشگر از واقعی بودن پاسخ ها اطمینان داشته باشد (۷).

اولین کاربرد بالینی امواج ALR در دهه ۱۹۶۰ که پاسخ ساقه مغز شنوایی (Auditory Brainstem Response; ABR) معرفی نشده بود، تخمین آبجکتیو (Objective) آستانه شنوایی در افرادی بود که همکاری لازم را در ادیومتری نداشتند، از جمله در نوزادان و کودکان، افراد با مشکلات ذهنی و متمارضین؛ ولی با توجه به اینکه این امواج بشدت تحت تأثیر خواب هستند، امروزه از آزمون ABR بدین منظور استفاده می‌شود (۶). با وجود مزایای ABR به ویژه رویکرد تخمین آستانه آن که متاثر از خواب و هوشیاری نیست و نیز زمان رسش کوتاه‌تر (با توجه به خاستگاه های دمی (Caudal) تر آن از سیستم شنوایی محیطی تا ساقه مغز)، می‌توان ویژگی های مثبت ALRs نسبت به ABRs را تفکیک فرکانسی دقیق‌تر، دامنه بزرگ‌تر، تاثیرپذیری کمتر از فعالیت عضلات سر و گردن و بررسی مناطق بیشتر از سیستم شنوایی، از جمله قشر شنوایی، دانست (۷). در گروه‌های خاصی از بیماران، مانند اختلال طیف نوروپاتی شنوایی که ABRs به خاطر عدم وجود همزمانی کافی در شلیک‌های عصبی حذف می‌شوند، ALRs از دیگر ابزار الکتروفیزیولوژیک قابل استفاده برای بررسی صحت و یکپارچگی قسمت های راسی (rostral) سیستم عصبی شنوایی می‌باشد، زیرا کمتر از همزمانی عصبی آسیب می‌پذیرند (۸).

در این مطالعه، با هدف مروری بر رویکردهای کاربردی ALRs در رده سنی کودکان و بزرگسالان، تلاش شده است ضمن آشنایی متخصصان بالینی با اهمیت این ابزار، آنها را جهت ثبت و اندازه‌گیری این نوع پاسخ‌ها در بالین در کنار سایر آزمون ها از جمله ABRs، به جهت رسیدن به اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از عملکرد قسمت‌های مختلف سیستم شنوایی، به ویژه بخش‌های راسی آن، که نقش اساسی در پردازش و درک گفتار دارند، ترغیب نماید. همچنین مطالعه حاضر به دنبال بررسی ضرورت بکارگیری ALRs، در پایش میزان سودمندی مداخلات توانبخشی انجام شده برای کودکان دچار اختلالات شنوایی، از جمله تجویز سمعک و کاشت حلزون، با مروری بر پژوهش‌های اخیر می باشد، تا شاهد بکارگیری این ابزار توسط متخصصان در قالب رویکرد مجموعه آزمون ها بود.

روش بررسی

این مطالعه از نوع مروری روایتی بوده و با هدف بررسی رویکردهای کاربردی رایج ALRs در جمعیت کودکان و بزرگسالان کم شنوا یا با شنوایی هنجار انجام شده است. با استفاده از کلیدواژه‌های "N1-P2"، "پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی قشری"، "پاسخ‌های دیررس شنوایی"، "سمعک"، "کاشت حلزون"، "تربیت شنوایی"، "آستانه شنوایی"، "رسش سیستم شنوایی" و "تخمین آستانه شنوایی" در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed، Google Scholar، Magiran و SID جستجو انجام شده و مطالعات با کیفیت و مرتبط با موضوع که از سال ۲۰۰۰ تا

۲۰۲۳ به چاپ رسیده بودند انتخاب و مقالات غیرمرتبط کنار گذاشته شدند. معیارهای ورود شامل مقالاتی با موضوع کاربرد ALRs در ارزیابی آستانه شنوایی نوزادان، کودکان و بزرگسالان، ارزیابی رسش سیستم عصبی شنوایی با افزایش سن یا در اثر مداخلات توانبخشی برای افراد کم شنوا، چاپ شدن مقاله در مجلات معتبر علمی و در دسترس بودن متن کامل مقالات بوده است.

یافته ها

با مطالعه مقالات وارد شده در پژوهش، رویکردهای کاربردی ALRs در دو مقوله، تخمین آستانه شنوایی و ارزیابی رسش سیستم عصبی شنوایی طبقه‌بندی شده و تخمین آستانه شنوایی کودکان و بزرگسالان، پایداری و تکرارپذیری امواج ALR و ارزیابی میزان سودمندی مداخلات توانبخشی انجام شده برای افراد کم شنوا از جمله تجویز سمعک، کاشت حلزون و تربیت شنوایی در این دو مقوله مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- تخمین آستانه شنوایی بزرگسالان

جهت استفاده از ALRs به منظور تخمین آستانه شنوایی افراد، معمولا از شدت بالای محرک (۸۰ دسی‌بل nHL) شروع و رفته‌رفته شدت محرک را کمتر کرده و کمترین سطح شدتی که امواج ALR (با تمرکز بر کمپلکس P1-N1-P2) قابل مشاهده باشد به عنوان آستانه شنوایی در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین آستانه، بهتر است تکرارپذیری امواج نیز در سطح آستانه مورد بررسی قرار بگیرد. بین آستانه شنوایی بدست آمده از طریق اندازه گیری ALRs و آستانه بدست آمده از طریق آزمون رفتاری ادیومتری تون خالص، در صورتی که بیمار همکاری خوبی داشته باشد، معمولا ۵ تا ۱۰ دسی‌بل اختلاف وجود دارد که با افزایش میزان کم‌شنوایی این اختلاف کمتر می‌شود (۷).

مهدوی و پیوندی (۹) امکان استفاده از ALRs با محرک تون برست برای تخمین آستانه شنوایی در فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز را در ۴۰ فرد بزرگسال ارزیابی کردند. طبق نتایج این مطالعه، اختلاف آستانه بدست آمده از طریق آزمون‌های رفتاری و آستانه بدست آمده از تحلیل امواج ALR در ۹۵٪ افراد مورد بررسی، کمتر از ۱۵ دسی‌بل بوده و گزارش شده ALR برای پیش‌بینی آستانه شنوایی در افراد هنجار از دقت نسبتاً خوبی برخوردار می باشد (۹).

برای بررسی تکرارپذیری ALRs ، Wagner و همکاران (۱۰) مطالعه‌ای انجام دادند و تکرارپذیری کمپلکس P1-N1-P2 را با استفاده از محرک گفتاری در ۴۸ فرد بزرگسال ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه، مورفولوژی پایدار کمپلکس P1-N1-P2 در افراد مورد آزمایش را تأیید کرده است. به همین منظور Bidelman و همکارانش (۱۱)، پایداری امواج بدست آمده ABR و ALR با محرکات گفتاری را در ۸ خانم با شنوایی هنجار بررسی کردند و تکرارپذیری دامنه و زمان نهفتگی امواج ثبت شده از ساقه مغز و قشر مغز را تأیید کردند.

در طی تحقیقاتی که توسط Durante و همکاران (۱۲) انجام شد، ارتباط بین آستانه شنوایی بدست آمده از طریق آزمون رفتاری و آستانه بدست آمده از طریق تجزیه و تحلیل خودکار ALRs (با استفاده از دستگاه HEARLab) مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی، همبستگی خوبی بین آستانه‌های رفتاری و الکتروفیزیولوژیکی در فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز، در بزرگسالان با شنوایی هنجار و به ویژه در بزرگسالان کم شنوا گزارش شد (۱۲).

Kalaiah و همکاران (۱۳) کاربرد ALR با محرک‌های زنجیره ای که از چهار فرکانس در ترتیب های مختلف ایجاد شده بودند را برای تخمین آستانه شنوایی در ۳۴ فرد بزرگسال بررسی کردند. آستانه بدست آمده عموماً ۲۰-۱۰ دسی‌بل بالاتر از آستانه رفتاری شرکت‌کنندگان بود و این اختلاف در افرادی که کم‌شنوایی داشتند، کمتر گزارش شد؛ همچنین در هردو گروه، همبستگی مثبت و معناداری بین آستانه رفتاری و آستانه ALR قابل مشاهده بود که کاربرد ALR با محرکات زنجیره‌ای را جهت تخمین آستانه شنوایی در بزرگسالان با صرف زمان کمتر تأیید می‌کرد (۱۳).

در مطالعه ای که توسط Bott و همکاران (۱۴) انجام شد، امکان استفاده از تخمین آستانه قشری خودکار، که آزمون ارزیابی کاملا خودکار پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی قشری (Cortical Auditory Evoked Potentials; CAEPs) است، به‌عنوان جایگزین ادیومتری تون‌خالص برای تخمین آستانه شنوایی افراد مبتلا به دمانس که در مراکز مراقبت از سالمندان نگهداری می شدند، مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی

پیرسون بین تخمین آستانه قشری خودکار و ادیومتری تون‌خالص در ۱۶ نفر که در این مطالعه شرکت کرده بودند، برای هر چهار فرکانس (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز) معنی‌دار و اختلاف آستانه بدست آمده در این فرکانس‌ها، کمتر از ۱۰ دسی‌بل گزارش شد که امکان استفاده از تخمین آستانه قشری خودکار را به عنوان یک آزمون آبجکتیو جایگزین ادیومتری تون‌خالص در بیماران مبتلا به زوال عقل در مراکز نگهداری از سالمندان، تایید می‌کند (۱۴).

پاسخ های برانگیخته قشری شنوایی الکتریکی، نوعی ALRs با ارائه محرک الکتریکی است که برای بررسی آبجکتیو درک و پردازش گفتار در کاربران کاشت حلزونی استفاده می‌شوند. Pike و همکاران (۱۵) پایداری و تکرارپذیری این پاسخ‌ها را در کوتاه مدت، بر روی ۱۲ فرد بزرگسال دچار ناشنوایی پس از دوره زبان‌آموزی و دریافت‌کننده کاشت حلزون یکطرفه بررسی کردند. اندازه‌گیری دامنه و زمان نهفتگی امواج بدست آمده، نشان‌دهنده تکرارپذیری متوسط تا خوب این امواج بوده است (۱۵).

با استناد به نتایج مطالعات، می‌توان ذکر کرد که ALRs در تخمین آستانه شنوایی بزرگسالان با شنوایی هنجار یا دچار کم‌شنوایی، با توجه به همبستگی آستانه‌های تخمینی حاصل از آن با آستانه‌های ادیومتری تون خالص و نیز تکرارپذیری قابل قبول، قابل استفاده می‌باشد. لذا در بزرگسالانی که به دلایلی دارای همکاری ضعیف در انجام ادیومتری تون خالص می‌باشند، از جمله افراد دچار مشکلات ذهنی، متمارضین و .... می‌توان با درنظر گرفتن آبجکتیو بودن این ابزار تشخیصی، از ALRs برای تخمین آستانه شنوایی افراد بزرگسال استفاده کرد.

۲- تخمین آستانه شنوایی نوزادان و کودکان

بدست آوردن آستانه شنوایی قابل اطمینان در نوزادان با گسترش برنامه های غربالگری شنوایی بسیار مهم است. ارزیابی دقیق آستانه شنوایی در ماه‌های اول زندگی همیشه برای شنوایی شناسان چالش بوده است و ابزارهای بالینی آبجکتیو به علت عدم توانایی حسی حرکتی نوزادان در انجام آزمون‌های رفتاری شنوایی نقش مهمی را در مجموعه آزمون‌های قابل کاربرد ایفا می‌کنند. مطالعات انجام شده بر روی ALRs، همبستگی بین آستانه الکتروفیزیولوژیک بدست آمده از پاسخ‌های قشری و آستانه رفتاری را در نوزادان دارای شنوایی هنجار و کم‌شنوا تایید می‌کند. از آنجایی که رسش سیستم عصبی مرکزی بر اجزای ALRs تاثیر می‌گذارد، این اندازه‌گیری در گروه‌های مختلف سنی و جمعیت‌های خاص (کودکانی که با زایمان زودرس به‌دنیا آمده‌اند) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین تجزیه و تحلیل خودکار پاسخ‌ها به درک بهتر و قابل اطمینان‌تر شدن نتایج در نوزادان کمتر از ۳ ماه (که زمان طلایی برای تشخیص زودهنگام کم شنوایی است) کمک می‌کند (۲).

Oliveira و همکاران (۲) با استفاده از دستگاه ارزیابی خودکار ALRs (HEARLab) آستانه شنوایی گروهی از نوزادان با شنوایی هنجار را بررسی کردند. میانگین آستانه بدست آمده برای چهار فرکانس تون برست ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰، بین ۲۴/۸ تا ۲۹/۴ دسی‌بل HL گزارش شده است. با توجه به تأثیرپذیری کمتر موج P1 از خواب و میزان هوشیاری، پژوهشگران با ارزیابی این موج در حالت خواب سبک نوزادان، تخمین آستانه انجام داده بودند. با در نظر گرفتن تغییرپذیری زیاد آستانه‌های بدست آمده و عدم امکان مقایسه آنها با آستانه‌های رفتاری، به دلیل سن کم نوزادان، انجام مطالعات بیشتری برای بررسی همبستگی بین این دو آستانه، توصیه شده است (۲).

در تحقیقاتی Romero و همکاران (۳) ALRs نوزادان و کودکان را بررسی کرده و میانگین دامنه و زمان نهفتگی امواج بدست آمده را برای هر گروه سنی تعیین کردند. در این مطالعه گزارش شده که امکان ثبت و تجزیه و تحلیل ALRs در نوزادان و کودکان وجود دارد و از نتایج بدست آمده می‌توان به عنوان مقادیر مرجع برای دامنه و زمان نهفتگی امواج ALR در کودکان و برای ارزیابی رشد سیستم عصبی مرکزی شنوایی کودکان کاربر سمعک یا کاشت حلزونی استفاده کرد (۳).

امروزه ABR بدلیل عدم تأثیرپذیری از وضعیت هوشیاری، رسش زودهنگام‌تر امواج و تکرارپذیری بهتر نسبت به ALR، به صورت گسترده و روتین برای تخمین آستانه شنوایی نوزادان و کودکان مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند به منظور ارزیابی جامع سیستم عصبی شنوایی، از عصب زوج هشتم مغزی تا قشر شنوایی در لوب تمپورال و کشف اصوات گفتاری و غیرگفتاری در قشر شنوایی نوزادان و کودکان، ALRs ابزار ارزشمندی محسوب می شود و در کنار ABR می تواند اطلاعات

کامل‌تری را در اختیار متخصصان بالینی قرار دهد.

۳- ارزیابی رسش سیستم عصبی مرکزی شنوایی

قابلیت سازماندهی مجدد عملکرد سیستم عصبی مرکزی در اثر ورودی‌های حسی مختلف در طول زندگی وجود دارد و با شدت متفاوتی در سنین مختلف انجام می‌پذیرد (۱۶). ساخت‌پذیری عصبی قشر شنوایی و سازماندهی مجدد این سیستم در کودکان دچار کم‌شنوایی مادرزادی، یکی از جذاب‌ترین موضوعات تحقیقاتی در علوم اعصاب شنوایی است که سالانه مطالعات متعددی در این زمینه انجام می‌شود. پاسخ‌های برانگیخته شنوایی از جمله پاسخ‌های میان‌رس شنوایی و ALRs، نقشی اساسی در این تحقیقات در مورد اثرات عصبی محرومیت شنوایی در دوره بحرانی در رشد مغز، ایفا می‌کنند. همچنین اطلاعات حاصل از ارزیابی امواج ALR در تصمیم‌گیری در مورد توانبخشی به‌موقع کودکان دچار کم‌شنوایی عمیق و کمک به رشد هنجار سیستم عصبی شنوایی ضروری است (۶).

نابالغ بودن سیستم عصبی مرکزی در کودکان باعث می‌شود مورفولوژی امواج ALR نسبت به بزرگسالان متفاوت باشد و همزمان با رسش سیستم عصبی، دامنه امواج N1 و P2 بیشتر شده و زمان نهفتگی آنها کمتر می‌شود (۸). این تغییرات فرایندی پیچیده است و عوامل متعددی (مانند جنسیت و توانایی‌های شناختی فرد) می‌تواند باعث تسریع این فرایند یا کند شدن آن شود که این عوامل مستقیما بر روی نتایج ALR تاثیرگذار هستند (۱۷).

در مطالعه ای که توسط Silva و همکاران (۱۷) انجام شد، دامنه، زمان نهفتگی و تکرارپذیری امواج P1-N1-P2-N2 در ۱۵ کودک ۴-۲ سال، در طول ۹ ماه مورد پایش قرار گرفت. امواج P1 و N2 از ابتدای آزمایش در همه کودکان قابل ثبت بوده ولی امواج N1 و P2 در طول ارزیابی‌هایی که در این ۹ ماه انجام می‌شده، رفته رفته ظاهر می‌شدند. این مطالعه با در نظر گرفتن ظهور تدریجی امواج ALR و همچنین کاهش قابل‌توجه زمان نهفتگی امواج، ALR را به عنوان یک ابزار بالینی برای پایش تغییرات سیستم عصبی شنوایی حاصل از فرایند رسش، مطرح کرده است (۱۷).

Didoné و همکاران (۱۸) رسش CAEPs نوزادن را در طول ۳ ماه اول زندگی بررسی کرده و دامنه و زمان نهفتگی پاسخ‌ها را نسبت به فرکانس‌های مختلف محرک، ارزیابی کردند. این پژوهشگران پس از بررسی امواج ALR گزارش کردند که زمان نهفتگی پاسخ ها در ماه اول نسبت به ماه سوم به صورت قابل‌توجهی بیشتر بوده و دامنه بزرگتر امواج در ماه سوم نسبت به ماه اول در نوزادان گزارش شده است (۱۸).

در مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، گزارش شده با افزایش سن، مورفولوژی امواج ALR بهتر، دامنه بزرگتر و زمان نهفتگی این امواج کمتر می‌شود و می‌توان از ALR به عنوان یک ابزار بالینی آبجکتیو برای پایش روند رسش سیستم عصبی شنوایی مرکزی در نوزادان و کودکان استفاده کرد.

۴- ارزیابی سودمندی مداخلات توانبخشی (سمعک، کاشت حلزون و تربیت شنوایی)

در مطالعاتی در جمعیت کودکان گزارش شده که می‌توان از ALRs برای تأیید قابلیت شنیداری مکالمات روزمره پس از تقویت اعمال شده با پروتزهای سمعک یا کاشت حلزون و به صورت کلی برای ارزیابی سودمندی این مداخلات استفاده کرد. ALRs برای تصمیم‌گیری در مورد نحوه مداخله برای نوزاد کم‌شنوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و تغییرات فیزیولوژیک عصبی ناشی از ورودی شنوایی را ثبت می‌کند؛ در صورتی که ALRs پیشرفت سیستم عصبی شنوایی ناشی از تقویت سمعک را تایید نکند، کاشت حلزون به عنوان یکی دیگر از گزینه‌های مداخله مطرح می‌شود (۶). (جدول ۱)

Sharma و همکاران (۱۹) ALRs ۲۲ کودک دچار کم شنوایی پیش از دوره زبان‌آموزی را که ابتدا سمعک دریافت کرده و درنهایت تحت جراحی کاشت حلزون قرار گرفته بودند، مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش گزارش شده؛ در کودکانی که به موقع (پیش از ۳/۵ سالگی) مورد کاشت حلزون قرار گرفته بودند، CAEPs، ۸-۶ ماه پس از کاشت، بهبود پیدا کرده و در عرض ۸ ماه به زمان نهفتگی هنجار رسیدند. در ALRs این کودکان زمانی که از سمعک استفاده می‌کردند، موج P1 ثبت نشده ولی چندین ماه پس از استفاده از کاشت حلزون، این موج به وضوح قابل مشاهده بوده است (۱۹).

Silva و همکاران (۲۰) تغییرات قشر شنوایی مغز در اثر تحریک الکتریکی کاشت حلزون را با پایش امواج ALRs در کودکان، ارزیابی کرده و زمان نهفتگی این امواج را قبل

جدول۱: کاربردهای ALRs در مداخلات توانبخشی شنوایی (۶)

کاربرد	توضیحات
تجویز سمعک	در هنگام تجویز سمعک برای نوزادان، در صورتی که در پاسخ به محرک گفتاری ارائه شده در میدان صوتی، مورفولوژی امواج ALRs قابل قبول باشد، سودمندی محتمل سمعک تأیید می‌شود و در غیر این صورت بهتر است در روند تجویز سمعک یا مداخله انتخاب شده، تجدید نظر صورت گیرد.
ارزیابی سودمندی سمعک	پس از تجویز سمعک، می‌توان برای پایش پیشرفت سیستم عصبی شنوایی از تغییرات دامنه، زمان نهفتگی و مورفولوژی امواج ALRs استفاده کرد.
تنظیم کاشت حلزون	ALRs شاخصی برای ارزیابی تحریک شنوایی موثر و عملکرد کاشت حلزون و پایش سودمندی آن است.
توانبخشی نوروپاتی	در کودکان مبتلا به اختلال طیف نوروپاتی شنوایی به دلیل حذف پاسخ ABRs، از ALRs برای انتخاب نوع مداخله توانبخشی و پایش مزایای سمعک یا کاشت حلزون، استفاده می‌شود.

پاسخ های دیررس شنوایی (Auditory Late Responses; ALRs)، پاسخ های ساقه مغز شنوایی (Auditory Brainstem Responses; ABRs)

از جراحی و ۳ ماه بعد از جراحی کاشت حلزون، بررسی کردند. نتایج بدست آمده کاهش معنادار زمان نهفتگی موج P1، در طول ۳ ماه استفاده از کاشت حلزون را نشان می‌دهد و مشاهده شده است که هرچقدر سن فعال‌سازی الکترودها در کودکان کمتر باشد، کاهش زمان نهفتگی موج P1 بیشتر خواهد بود. این مطالعه تأیید کرد که می‌توان از امواج ALRs به عنوان یک نشانگر زیستی برای بررسی تغییرات سیستم عصبی شنوایی مرکزی استفاده کرد (۲۰).

در مطالعه ای که توسط Maruthy (۲۱) انجام شد، تغییرات امواج ALRs در ۳۰ فرد بزرگسال، در طول دو ماه استفاده از سمعک و رابطه آن با توانایی درک گفتار این افراد مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش کاهش قابل توجهی در زمان نهفتگی امواج N1 و P1 مشهود بود که نشان‌دهنده‌ی بهبود پردازش عصبی اطلاعات شنوایی در نواحی قشری مغز در پی استفاده از سمعک می‌باشد، ولی رابطه مستقیمی بین بهبود درک گفتار و بهبود مورفولوژی امواج ALRs گزارش نشده است (۲۱).

Távora-Vieira و همکاران (۲۲) مقایسه ای بین CAEPs الکتریکی با ۳ الکترود کاشت حلزون و CAEPs (از طریق مسیر هوایی) انجام داده و دامنه و زمان نهفتگی امواج P1، N1 و P2 را در این دو روش، مقایسه کردند. امواج بدست آمده از هردو روش واضح و قابل اعتماد بوده و همبستگی قابل قبولی بین نتایج دو روش وجود داشته است. در کاربران کاشت حلزون، CAEPs الکتریکی به دلیل استفاده از تحریک مستقیم و انعطاف‌پذیری بیشتر در رابطه با نحوه‌ی ثبت امواج و نحوه ارائه تحریک، برای ارزیابی درک گفتار در سطح قشر مغز مناسب‌تر بوده و یک روش جایگزین برای بهینه سازی کاشت حلزون محسوب می شود (۲۲).

به منظور بررسی میزان ساخت پذیری عصبی ناشی از استفاده از سمعک در سالمندان مبتلا به پیرگوشی، Karawani و همکاران (۲۳) امواج ALR را در طول ۶ ماه استفاده از سمعک در ۱۷ فرد مسن بررسی کردند. اولین تغییرات عصبی، دو هفته پس از تجویز مشاهده شده؛ بزرگتر شدن دامنه‌ی موج N1 نشان دهنده ی سازگاری سریع قشر مغز با افزایش ورودی شنوایی توسط سمعک بوده است. این مطالعه همچنین امکان پیش‌بینی تغییرات عصبی پس از ۶ ماه استفاده از سمعک با استفاده از نتایج ارزیابی اولیه امواج ALR را تأیید کرده است که می‌تواند در مشاوره به بیماران متقاضی سمعک، کمک کننده باشد (۲۳).

در مطالعه‌ای که توسط Távora-Vieira و همکاران (۲۴) انجام شد، امکان استفاده از ALRs با محرک گفتاری برای تأیید نقشه‌ی کاشت حلزون و بهبود نتایج این مداخله در بزرگسالان دچار کم‌شنوایی دوطرفه مورد بررسی قرار گرفت. در صورتی که ALRs در پاسخ به محرک گفتاری قابل ثبت باشد، نقشه کاشت حلزونی "قابل قبول" و در صورتی که قابل ثبت نباشد، نقشه کاشت حلزون "غیرقابل قبول" در نظر گرفته شده و تنظیم دوباره نقشه انجام شده است. در این مطالعه گزارش شد که امتیاز درک گفتار در افرادی که نقشه کاشت "قابل قبول" داشته‌اند نسبت به بقیه شرکت‌کنندگان، پیشرفت بیشتری داشته است و نتیجه‌گیری شد که ALRs می تواند به عنوان یک ابزار آبجکتیو، در تأیید و تنظیم نقشه کاشت حلزون در بزرگسالان مورد استفاده قرار بگیرد (۲۴).

ارزیابی امواج ALR به عنوان یک ابزار آبجکتیو برای

بررسی بهبود پردازش شنوایی در سطح قشری، در نتیجه‌ی تمرینات تربیت شنوایی کاربرد دارد و مشاهده شده است که در اثر این تمرینات، دامنه موج P1 کاهش و دامنه امواج N1 و P2 افزایش پیدا می‌کند. اگر به دنبال جلسات تربیت شنوایی، تغییرات نوروفیزیولوژیک در شخصی که اختلال شنوایی/زبانی دارد مشاهده شود، نشان‌دهنده‌ی تغییر در بازنمایی مغزی اصوات و سودمندی استراتژی توانبخشی مورد استفاده می‌باشد (۲۵).

de Melo و همکاران (۲۶) برای بررسی تأثیر تربیت شنوایی کامپیوتری، بر روی ۱۴ کودک دچار اختلال پردازش شنوایی مطالعه‌ای انجام داده و امواج ALR را قبل و بعد از تمرینات تربیت شنوایی بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که پس از مداخله انجام شده، زمان نهفتگی موج N2 در گوش چپ و زمان نهفتگی موج P2 در گوش راست کاهش پیدا کرده است. با در نظر گرفتن این تغییرات الکتروفیزیولوژیک که در اثر تربیت شنوایی اتفاق می‌افتد، می‌توان از ALRs برای پایش این تغییرات و روند پیشرفت کودکان در نتیجه تمرینات تربیت شنوایی، استفاده کرد (۲۶).

بحث و نتیجه گیری

هدف از این مطالعه، مروری بر کاربردهای بالینی ALRs به عنوان یکی از ابزارهای ارزیابی الکتروفیزیولوژیک سیستم شنوایی است. در این مطالعه مروری روایتی، از مقالات معتبر سال‌های اخیر برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است. ALRs منعکس کننده فعالیت عصبی در قشر شنوایی اولیه و ثانویه بوده و اطلاعاتی در مورد پردازش ورودی‌های صوتی در مغز دراختیار ما قرار می‌دهد.

با استناد به نتایج مطالعات انجام شده در این حوزه می توان بیان نمود که ALRs با لحاظ ملاحظاتی می تواند برای تخمین آستانه شنوایی، پایش رسش سیستم عصبی مرکزی شنوایی و نیز انتخاب استراتژی توانبخشی و پایش روند پیشرفت سیستم عصبی شنوایی بعد از مداخله (سمعک یا کاشت حلزون) در کودکان و بزرگسالان کاربرد داشته و به عنوان یک ابزار آبجکتیو برای پایش تغییرات سیستم عصبی شنوایی در اثر تمرینات تربیت شنوایی استفاده می‌شود، که این موضوع در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است.

در شنوایی شناسی تشخیصی با در نظر گرفتن اصل رویکرد مجموعه آزمون ها، با وجود کاربرد روتین و بالای آزمون ABRs با توجه به مزایای آن در رویکرد تخمین آستانه، باید دانست که گستره ارزیابی این آزمون تا مناطق زیرقشری است و از آن جا که شنوایی واقعی با عملکرد کل مسیر سیستم شنوایی به ویژه در قشر شنوایی صورت می‌پذیرد، می‌توان به منظور ارزیابی جامع این سیستم از ALRs در کنار ABRs استفاده کرد. از دیگر مزایای ALRs می‌توان به امکان استفاده از محرکات با زمان طولانی‌تر از جمله محرک گفتاری که سیستم شنوایی انسان برای پردازش آن تطبیق یافته است نیز اشاره کرد. همچنین با توجه به تکرارپذیری قابل قبول این امواج، می‌توان از ALRs برای تخمین حساسیت شنوایی در کودکان و بزرگسالان استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای ALRs در رویکردهای اخیر آن، بررسی روند پیشرفت سیستم عصبی شنوایی پس از مداخلاتی همچون تجویز سمعک، کاشت حلزون یا تربیت شنوایی است و این ابزار در تعیین استراتژی توانبخشی در نوزادان و کودکان کم‌شنوا و همچنین در تأیید نقشه کاشت حلزون و تنظیمات اعمال شده در سمعک، نقش مهمی ایفا می‌کند. البته با وجود مزایای ALRs باید ذکر نمود که ثبت این پتانسیل برانگیخته در سطح قشر شنوایی می‌تواند نشانه کشف محرک توسط نورون‌های قشری شنوایی باشد ولی عدم ثبت آن همواره به منزله آسیب در این سطح نمی باشد؛ بلکه حین تفسیر نتایج، باید به مولفه‌های مختلفی از جمله عوامل فردی (سن، رسش عصبی و ...)، مولفه‌های تحریک و ثبت و عوامل مداخله‌گر توجه نمود. به متخصصین مرتبط پیشنهاد می‌گردد، ضمن استفاده از این ابزار در رویکردهای بالینی از جمله تخمین آستانه، تشخیص نورواتولوژی و پایش رسش سیستم عصبی شنوایی و روند ملاخلات درمانی، در نظر داشته باشند همانند دیگر ابزار اندازه‌گیری، به ALRs به عنوان تنها روش آزمایشی بسنده ننموده و برای تشخیص افتراقی درست و دقیق، باید به اصل رویکرد مجموعه آزمون‌ها پایبند بود.

نقش نویسندگان

علی حاجی محمدی: مرور، روش شناسی، منابع و نگارش پیش نویس

فاطمه حیدری: بررسی محتوایی، ویراستاری، بصری سازی، نظارت و نگارش نهایی

محمد ابراهیم مهدوی: جمع آوری داده ها و بررسی پیش نویس

منابع مالی

برای انجام این مطالعه از هیچ موسسه یا سازمانی کمک مالی دریافت نشده است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله هیچ گونه تعارض منافع ندارد.

منابع

1. Najafi S, Rouzbahani M, Heidari F, Hosseini AF. Preliminary normative variation of auditory P300 parameters in adult individuals. Aud Vestib Res 2017; 26(2): 112-116.

2. Oliveira LS, Didoné DD, Durante AS. Automated cortical auditory evoked potentials threshold estimation in neonates. Braz J Otorhinolaryngol 2019; 85(2): 206-212.

3. Romero ACL, Frizzo ACF, Chagas EFB, Isaac MdL. Cortical auditory evoked potential in babies and children listeners. Braz J Otorhinolaryngol 2020; 86(4): 395-404.

4. Macaskill M, Omidvar S, Koravand A. Long Latency Auditory Evoked Responses in the Identification of Children With Central Auditory Processing Disorders: A Scoping Review. J Speech Lang Hear Res 2022; 65(9): 3595-3619.

5. Boo SH, Jeong SW. Cortical Auditory Evoked Potential in Adults With Cochlear Implants: A Comparison With Adults With Normal Hearing. J Audiol Otol 2022; 26(1): 43-49.

6. Hall JW. New Handbook of Auditory Evoked Responses: Pearson 2007; 631-715.

7. Lightfoot G. Summary of the N1-P2 Cortical Auditory Evoked Potential to Estimate the Auditory Threshold in Adults. Semin hear 2016; 37(1): 1-8.

8. Didoné DD, Oliveira LS, Durante AS, Almeida Kd, et al. Cortical auditory evoked potential in assessment of neonates: a study about minimum level of responses in term and preterm newborns. Braz J Otorhinolaryngol 2020; 86(6): 687-695.

9. Mahdavi ME, Peyvandi AA. Accuracy of cortical evoked response audiometry in estimating normal hearing thresholds. Tehran University Medical Journal 2007; 65(3): 17-22. [Persian]

10. Wagner M, Shafer VL, Haxhari E, Kiprovski K, et al. Stability of the Cortical Sensory Waveforms, the P1-N1-P2 Complex and T-Complex, of Auditory Evoked Potentials. Journal of speech, language, and hearing research : J Speech Lang Hear Res 2017; 60(7): 2105-2115.

11. Bidelman GM, Pousson M, Dugas C, Fehrenbach A. Test–retest reliability of dual-recorded brainstem versus cortical auditory-evoked potentials to speech. J Am Acad Audiol 2018; 29(2): 164-174.

12. Durante AS, Wieselberg MB, Roque N, Carvalho S, et al. Assessment of hearing threshold in adults with hearing loss using an automated system of cortical auditory evoked potential detection☆. Braz J Otorhinolaryngol 2017; 83(2): 147-154.

13. Kalaiah MK, Poovaiah S, Shastri U. Threshold Estimation Using “Chained Stimuli” for Cortical Auditory Evoked Potentials in Individuals With Normal Hearing and Hearing Impairment. Am J Audiol 2019; 28(25): 428-436

14. Bott A, Hickson L, Meyer C, Bardy F, et al. Is cortical automatic threshold estimation a feasible alternative for hearing threshold estimation with adults with dementia living in aged care? Int J Audiol 2020; 59(10): 745-752.

15. Pike M, Biagio-de Jager L, Le Roux T, Hofmeyr LM. Short-term test-retest reliability of electrically evoked cortical auditory potentials in adult cochlear implant recipients. Front Neurol 2020; 11: 305.

16. Heidari F, Farahani S, Mohammadkhani G, Jafarzadepour E, Jalaie S. Comparison of auditory event-related potential P300 in sighted and early blind individuals. Auditory and Vestibular Research 2009; 18(1-2): 81-87. [Persian]

17. Silva LAF, Magliaro FCL, Carvalho ACMd, Matas CG. Cortical maturation of long latency auditory evoked potentials in hearing children: the complex P1-N1-P2-N2. Codas 2017; 29(4): e20160216.

18. Didoné DD, Oliveira LS, Durante AS, Almeida Kd, et al. Cortical auditory-evoked potential as a biomarker of central auditory maturation in term and preterm infants during the first 3 months. Clinics 2021; 76: e2944.

19. Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. Rapid development of cortical auditory evoked potentials after early cochlear implantation. Neuroreport 2002; 13(10): 1365-1368.

20. Silva LAF, Couto MIV, Tsuji RK, Bento RF, et al. Auditory pathways' maturation after cochlear implant via cortical auditory evoked potentials. Braz J Otorhinolaryngol 2014; 80(2): 131-137.

21. Maruthy S. Consequences of hearing aid acclimatization on ALLRs and its relationship with perceived benefit and speech perception abilities. Eur Arch Otorhinolaryngol 2019; 276(4): 1001-1010.

22. Távora-Vieira D, Mandruzzato G, Polak M, Truong B, Stutley A. Comparative analysis of cortical auditory evoked potential in cochlear implant users. Ear hear 2021; 42(6): 1755-1769.

23. Karawani H, Jenkins K, Anderson S. Neural plasticity induced by hearing aid use. Front Aging Neurosci 2022; 14: 884917.

24. Távora-Vieira D, Wedekind A, Ffoulkes E, Voola M, Marino R. Cortical auditory evoked potential in cochlear implant users: An objective method to improve speech perception. PloS One 2022; 17(10): e0274643.

25. Katz J, Chasin M, English KM, Hood LJ, Tillery KL. Handbook of clinical audiology: Wolters Kluwer Health Philadelphia, PA 2015: 337-355.

26. de Melo Â, Mezzomo CL, Garcia MV, Biaggio EPV. Computerized auditory training in students: electrophysiological and subjective analysis of therapeutic effectiveness. Int Arch Otorhinolaryngol 2018; 22(1): 23-32.