

Research Paper

Frequency-specific Threshold Estimation Values Using Auditory Brainstem Responses in Healthy Adult Male Rats



*Fatemeh Heidari¹

1. Department of Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.



Citation Heidari F. [Frequency-specific Threshold Estimation Values Using Auditory Brainstem Responses in Healthy Adult Male Rats (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):970-979. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3408>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3408>

ABSTRACT

Background and Aims Auditory brainstem response (ABR) is an objective, electrophysiological test that has been used to assess auditory function for nearly 50 years. Rats are one of the most widely used rodent species for laboratory studies of the auditory system, which requires standardization for ABR recording in each laboratory. The aim of the present study was to estimate hearing thresholds using ABR and tonal stimuli at octave frequencies in healthy adult male Wistar rats.

Methods In this experimental study, 8 adult male Wistar rats were subjected to ABR measurements using a threshold estimation approach under ketamine/xylazine anesthesia, in accordance with the principles of working with laboratory animals. Tone burst stimuli were presented at octave frequencies of 2000 to 16000 Hz through an appropriate loudspeaker, and the threshold of tonal stimuli was recorded in a descending manner by tracking wave II. Data were analyzed using SPSS software, version 17 and one-way analysis of variance.

Results The mean thresholds obtained at tonal frequencies of 2, 4, 8 and 16 kHz were 21.25 ± 4.43 , 10.27 ± 2.67 , 6.87 ± 2.58 , and 2.31 ± 3.75 dB SPL, respectively. A statistically significant relationship was observed between the threshold values and the frequency evaluated ($P < 0.001$).

Conclusion An inverse relationship between the frequency of the tonal stimulus and the estimated values of ABR thresholds was observed in rats, which can serve as a basis for the extent of threshold changes in pathological conditions leading to hearing damage in animal models.

Keywords Evoked potentials, Auditory brainstem response (ABR), Rat, Threshold estimation

Received: 28 Sep 2025

Accepted: 05 Oct 2025

Available Online: 21 Jan 2026

* Corresponding Author:

Fatemeh Heidari, Assistant Professor.

Address: Department of Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 77548496

E-Mail: fheidari.audio@gmail.com, f.heidari@sbmu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Auditory brainstem response (ABR) has been a cornerstone in both clinical and experimental audiology for nearly five decades, serving as an objective and electrophysiological tool for assessing auditory function. Unlike behavioral audiometry, which reflects the entire auditory pathway's performance, ABR provides insight into peripheral and brainstem auditory structures, specifically the cochlea, auditory nerve, and nuclei within the brainstem. Its advantages include non-invasive recording, relatively simple procedures, and applicability across both normal and pathological conditions. Given these features, ABR has been extensively used in both human and animal studies, particularly when behavioral testing is not feasible.

Rodents, especially rats and mice, have become indispensable models in auditory neuroscience. Their auditory system shares structural and physiological similarities with humans, and their availability, cost-effectiveness, and ease of maintenance have made them the subject of a wide range of preclinical studies. In Iran, Wistar rats are among the most frequently used laboratory animals due to their resilience, extended lifespan, and economic breeding conditions. However, despite widespread application, one challenge in animal ABR research is the lack of universal standardization across laboratories. Variations in species, equipment, anesthesia protocols, stimulus calibration, and recording techniques complicate data comparison across studies. Thus, establishing reference values for frequency-specific ABR thresholds in specific strains of laboratory animals, such as Wistar rats, is essential.

The present study was designed to estimate hearing thresholds using frequency-specific ABR responses in adult male Wistar rats. The primary aim was to standardize ABR threshold values across octave frequencies ranging from 2 to 16 kHz using tone burst stimuli. Such normative data could serve as a benchmark for future studies investigating auditory dysfunction due to pathological conditions, pharmacological interventions, or environmental exposures.

Methods

This experimental study included eight healthy adult male albino Wistar rats weighing between 200 and 250 g. Animals were housed under controlled conditions with free access to food and water, stable humidity (~50%), temperature (22–24 °C), and a 12:12 light-dark cycle. They were acclimated to the environment for three days prior to experimentation.

For ABR recordings (using Biologic/Navigator pro, US), rats were anesthetized with ketamine (40–90 mg/kg) and xylazine (5 mg/kg) administered intraperitoneally. Once sufficient anesthesia was confirmed, the animals were placed inside a sound-attenuating chamber. Needle electrodes were inserted subcutaneously at the vertex (non-inverting), beneath the right ear (inverting), and beneath the left ear (ground), creating a vertex-to-mastoid montage. Electrode impedance was maintained below 5 kΩ with inter-electrode differences less than 2 kΩ to ensure optimal signal quality.

Stimuli consisted of alternating polarity tone bursts at octave frequencies (2, 4, 8, and 16 kHz). They were delivered through a calibrated high-frequency loudspeaker positioned 5 cm from the right external ear canal at a 30° angle. Calibration was performed using a sound-level meter to ensure accurate dB SPL values. Initial stimulus intensity was set at 80 dB SPL, and thresholds were determined using a descending approach in 10 dB steps, followed by 5 dB steps near threshold levels. Each stimulus condition was averaged across multiple sweeps to improve the signal-to-noise ratio. Responses were amplified ($\times 100,000$), band-pass filtered (100–2000 Hz), and recorded with a 10.33 ms analysis window and 1 ms pre-stimulus baseline.

The threshold criterion was defined as the lowest stimulus intensity producing a repeatable wave II in at least two replicates, with absent responses at 5 dB lower. Data were analyzed with SPSS software, version 17 using one-way ANOVA, and significance was set at $P < 0.05$.

Results

Mean body weight of the rats was 233.9 ± 18.9 g. Frequency-specific ABR thresholds were as follows:

2 kHz: 21.25 ± 4.43 dB SPL; 4 kHz: 10.27 ± 2.67 dB SPL; 8 kHz: 6.87 ± 2.58 dB SPL; 16 kHz: 2.31 ± 3.75 dB SPL.

Statistical analysis revealed a significant inverse relationship between frequency and threshold ($F = 87.46$, $df = 3$, $P < 0.001$). In other words, as stimulus frequency increased, the ABR threshold decreased. The lowest thresholds were recorded at 16 kHz, whereas the highest were at 2 kHz. Post hoc Scheffé analysis confirmed that the threshold at 2 kHz was significantly higher compared to the other three frequencies ($P < 0.001$).

Additionally, amplitude analyses indicated that higher-intensity stimuli produced larger ABR waveforms across frequencies. However, at lower frequencies, waveforms were broader and less sharply defined, suggesting reduced synchrony of neural firing compared to higher-frequency stimuli.

Conclusion

This study provides normative data for frequency-specific ABR thresholds in adult male Wistar rats, revealing a significant inverse relationship between stimulus frequency and threshold levels. High-frequency stimuli yielded the lowest thresholds, whereas low-frequency stimuli required higher intensity levels to elicit detectable responses. These findings underscore the importance of considering stimulus frequency when designing and interpreting ABR experiments in rodents. Establishing such reference values enhances cross-study comparability and provides a foundation for evaluating pathological changes in animal models of hearing loss. Overall, frequency plays a critical role in shaping ABR responses in rats, and the standardized data obtained here will support future experimental studies exploring auditory function, ototoxicity, and potential therapeutic interventions.

Limitations

Several limitations should be considered. First, the frequency range was limited to 16 kHz due to equipment constraints, preventing the assessment of higher ultrasonic frequencies (e.g. 32 kHz), which are within rats' hearing range. Second, only male rats were tested, excluding potential sex differences known to influence auditory processing. Previous studies suggest that hormonal variations can affect ABR thresholds in female rats.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this study. This is a review study with no human or animal samples. Therefore, the need for ethical approval was waived.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

مقادیر تخمین آستانه با ویژگی فرکانسی با استفاده از پاسخ ساقه مغز شنوایی در رت‌های سالم بالغ نر

*فاطمه حیدری^۱

۱. گروه شنوایی شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.



Citation Heidari F. [Frequency-specific Threshold Estimation Values Using Auditory Brainstem Responses in Healthy Adult Male Rats (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):970-979. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3408>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3408>

چکیده

مقدمه و اهداف پاسخ ساقه مغز شنوایی به‌عنوان آزمونی عینی و الکتروفیزیولوژیک است که قریب به ۵۰ سال است برای ارزیابی عملکرد شنوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رت یکی از گونه‌های جوندگان پرکاربرد برای مطالعات آزمایشگاهی دستگاه شنوایی است که نیاز به استانداردسازی برای ثبت پاسخ ساقه مغز شنوایی در هر آزمایشگاه دارد. هدف از مطالعه حاضر، تخمین آستانه‌های شنوایی با استفاده از پاسخ ساقه مغز شنوایی و محرک‌های تونال در فرکانس‌های اکتاوی در رت‌های بالغ نر از نژاد ویستار بود.

مواد و روش‌ها در این مطالعه تجربی، ۸ سر رت بالغ نر از نژاد ویستار با رعایت اصول کار با حیوانات آزمایشگاهی تحت بیهوشی کتامین / زایلازین مورد اندازه‌گیری پاسخ ساقه مغز شنوایی با رویکرد تخمین آستانه قرار گرفتند. محرک‌های تونال برست در فرکانس‌های اکتاوی ۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ هرتز از طریق بلندگوی مناسب ارائه شدند و آستانه محرکات تونال به روش نزولی با ردیابی موج II ثبت شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و آنالیز واریانس یک‌طرفه مورد تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها میانگین و انحراف معیار آستانه‌های به‌دست‌آمده در فرکانس‌های تونال ۲، ۴، ۸ و ۱۶ کیلوهرتز به ترتیب 21.1 ± 2.5 ، 24.4 ± 4.3 ، 27.2 ± 2.1 و 29.7 ± 1.0 دسی‌بل سطح فشار صوتی (SPL) بود. رابطه آماری معنی‌دار بین مقادیر آستانه و فرکانس مورد ارزیابی مشاهده شد ($P < 0.001$).

نتیجه‌گیری رابطه معکوس بین فرکانس محرک تونال و مقادیر تخمین آستانه پاسخ ساقه مغز شنوایی در رت‌ها مشاهده شد که می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای میزان تغییرات آستانه در شرایط پاتولوژیک منجر به آسیب شنوایی در مدل‌های حیوانی باشد.

کلیدواژه‌ها پتانسیل‌های برانگیخته، پاسخ ساقه مغز شنوایی، رت، تخمین آستانه

تاریخ دریافت: ۰۶ مهر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳ مهر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ بهمن ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر فاطمه حیدری

نشانی: تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده علوم توانبخشی، گروه شنوایی شناسی.

تلفن: ۷۷۵۴۸۴۹۶ (۲۱) ۹۸+

رایانامه: fheidari.audio@gmail.com, fheidari@sbmu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

پاسخ ساقه مغز شنوایی^۱ جزو پتانسیل‌های برانگیخته الکتروفیزیولوژیک و عینی شنوایی است که اطلاعاتی درباره بخش محیطی دستگاه شنوایی (شامل حلزون و عصب شنوایی) و بخشی از مسیرهای مرکزی آن در اختیار قرار می‌دهد. به عبارت دیگر پاسخ ساقه مغز شنوایی، پاسخ الکتریکی ناشی از فعالیت هم‌زمان عصبی از نورون‌های گانگلیون مارپیچی و هسته‌های ساقه مغز شنوایی در پاسخ به تحریک است [۱، ۲].

تکنیک ثبت پاسخ ساقه مغز شنوایی آسان، میدان دور و نسبتاً غیرتهاجمی است که برای ارزیابی عملکرد شنوایی در شرایط بهنجار و پاتولوژیک در مطالعات بالینی و آزمایشگاهی^۲ پرکاربرد است. رویکرد بهره‌گیری از این پتانسیل برانگیخته زودرس با زمان نهفتگی کوتاه به ۲ صورت تخمین آستانه و تشخیص محل ضایعه (نورواتولوژی) است [۳، ۴]. از آنجاکه انجام برخی مطالعات در نمونه‌های انسانی مقدور نیست، از نمونه‌های حیوانی، به‌ویژه جوندگان کوچک مانند موش سوری، رت، خوکچه هندی و غیره استفاده می‌شود. بسیاری از مطالعات پیش‌بالینی دستگاه شنوایی روی جوندگان انجام گرفته است و دلایل آن در دسترس بودن، شباهت‌های سلولی، آناتومی و فیزیولوژی آن‌ها با انسان‌ها است [۵، ۶]. در مطالعه‌ای مروری حدود ۶۸ درصد موارد انجام پاسخ ساقه مغز شنوایی حیوانی در مطالعات منتشرشده در پابمد، روی موش سوری و رت گزارش شده است [۵]. موش سوری غالباً در مطالعات ژنتیک پاتولوژی‌های گوش داخلی و رت‌ها در پژوهش‌های فارماکولوژیک به جهت دسترسی بهتر به دریچه گرد مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵، ۷]. در ایران به دلیل تمرکز مراکز تکثیر و پرورش روی تولید رت به جهت مقاومت، طول عمر، هزینه تمام‌شده پایین‌تر، این گونه حیوانی، از جمله گونه‌های دارای کاربری بالا در مطالعات آزمایشگاهی متنوع، از جمله در زمینه دستگاه شنوایی است.

پاسخ ساقه مغز شنوایی، به‌ویژه با رویکرد تخمین آستانه، از جمله روش‌های معمول در مطالعات آزمایشگاهی کم‌شنوایی و دیگر اختلالات مرتبط است. آستانه‌های شنوایی با استفاده از آزمایش ذهنی ادیومتری صوت خالص و نیز آزمون‌های عینی الکتروفیزیولوژیک قابل حصول است. با این تفاوت که آزمایش رفتاری، عملکرد کل دستگاه شنوایی را منعکس می‌کند. درحالی‌که آزمون‌های الکتروفیزیولوژیک در زمینه بخشی از مسیر شنوایی اطلاعات فراهم می‌کند. باین‌حال در مطالعات حیوانی، آزمایش‌های الکتروفیزیولوژیک با رویکرد تخمین آستانه با استفاده از پاسخ ساقه مغز شنوایی بارها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷، ۸].

1. Auditory Brainstem Response (ABR)
2. In Vivo

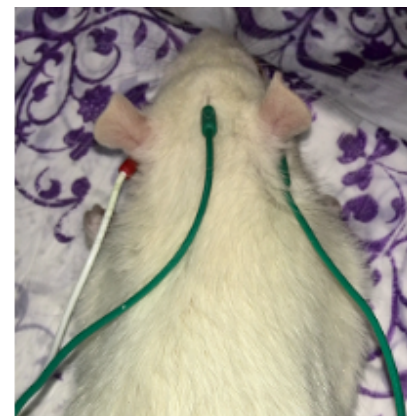
آستانه پاسخ ساقه مغز شنوایی به معنی پایین‌ترین سطح محرکی است که امواج الکتریکی قابل‌شناسایی تولید شود [۳]. پاسخ ساقه مغز شنوایی در رت و دیگر جوندگان کوچک با الکترودهای سوزنی در مکان‌های مختلف مجسمه و تحت بیهوشی قابل ثبت خواهد بود [۱]. پاسخ ساقه مغز شنوایی رت غالباً شامل ۵ موج قابل‌شناسایی است که با اعداد رومی I-V نام‌گذاری می‌شود. موج I پاسخ تجمیعی از گانگلیون مارپیچی و عصب شنوایی را بازنمایی می‌کند و امواج II-V پاسخ‌هایی از مسیر صعودی شنوایی ناشی از هسته‌های متوالی در ساقه مغز است. در انسان، گانگلیون مارپیچی و عصب شنوایی مولد ۲ موج اولیه پاسخ ساقه مغز شنوایی است [۹].

همچنین در انسان‌ها، معمول‌ترین امواج شامل I، III و V و بزرگ‌ترین امواج III و V هستند. موج V برای تعیین آستانه‌های شنوایی به کار می‌رود [۳]. درحالی‌که در رت موج II بزرگ‌ترین و موج III کوچک‌ترین جزء و موج V نیز برای ارزیابی مؤلفه‌های پاسخ ساقه مغز شنوایی استفاده نمی‌شود [۹]. باتوجه‌به این تفاوت‌ها، باید احتیاط‌هایی در زمینه مقایسه امواج پاسخ ساقه مغز شنوایی در انسان و رت صورت گیرد. همچنین باید اضافه کرد که منابع امواج چندگانه ثبت پاسخ ساقه مغز شنوایی در گونه‌های مختلف جوندگان متفاوت است [۶].

تخمین آستانه با پاسخ ساقه مغز شنوایی با استفاده از محرک‌هایی مانند کلیک که فاقد ویژگی فرکانسی است و تون برست با ویژگی فرکانسی، قابل انجام است [۸]. درحالی‌که در انسان‌ها، مؤلفه‌های تحریک و ثبت در اهداف بالینی استاندارد شده است. به همین جهت تخمین آستانه شنوایی قابل اعتماد فراهم شده است، اما در نمونه‌های حیوانی باتوجه‌به گونه حیوانی، شرایط آزمایشگاه و اندازه‌گیری متفاوت و عدم استانداردسازی شرایط تحریک و ثبت وجود دارد؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، حصول حساسیت شنوایی از طریق ثبت پاسخ ساقه مغز شنوایی به‌منظور رسیدن به مقادیر استاندارد تخمین آستانه با استفاده از محرک‌های تون برست در فرکانس‌های اکتاوی ۲ تا ۱۶ کیلوهرتز در رت‌های بالغ نر سالم از نژاد ویستار بود.

مواد و روش‌ها

در مطالعه تجربی حاضر، ۸ سر رت بالغ نر آلبینو از نژاد ویستار با وزن ۲۰۰ تا ۲۵۰ گرم از مرکز مطالعات تجربی **دانشگاه علوم پزشکی ایران** خریداری شدند. قبل از شروع مطالعه، تأییدیه کد اخلاق از همین **دانشگاه** اخذ شد. همچنین آماده‌سازی شرایط آزمایشی با تهیه بلندگوی فرکانس بالا (شرکت HMC مدل ۹۶۳۶۵، تایوان) و کالیبراسیون آن بدین شرح انجام پذیرفت: خروجی مبدل برحسب دسی‌بل سطح فشار صوتی (SPL) در فاصله ۵ سانتی‌متری با نرخ تحریک ۲۳/۱ بر ثانیه در فرکانس‌های ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ هرتز و در شدت‌های مختلف



تصویر ۱. نحوه الکتروگذاری و وضعیت قرارگیری رت در اتاقک اندازه‌گیری پاسخ ساقه مغز شنوایی

طب توانبخشی

پتانسیل میکروفونی و کاهش آرتیفکت)، نرخ تکرار ۲۳/۱ تحریک بر ثانیه، تقویت ۱۰۰۰۰۰، فیلتر باندگذر ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز، پنجره زمانی ۱۰/۳۳ و پیش‌تحریک ۱ میلی‌ثانیه و با شدت شروع ۸۰ دسی بل SPL آغاز می‌شد. به‌منظور آستانه‌گیری، سطح صدا در گام‌های ۱۰ دسی‌بل کاهش و در نزدیک آستانه از گام‌های ۵ دسی‌بل برای کاهش یا افزایش شدت صدا استفاده شد و در نزدیکی آستانه، از تعداد تحریک بیشتر برای اطمینان از آستانه بهره گرفته شد. حداقل سطح شدتی که موج II به‌صورت واضح و تکرارپذیر (حداقل ۲ پاسخ) قابل‌ردیابی بود و ۵ دسی‌بل کمتر از آن موج واضحی نداشت، به‌عنوان آستانه شنوایی در هر فرکانس موردآزمایش در نظر گرفته شد [۷، ۹].

در حین انجام آزمایش نیز هر چند دقیقه یک بار به‌صورت رندوم وضعیت دمای بدن رت، هوشیاری و نیز امپدانس الکترودی کنترل می‌شد. باتوجه‌به اینکه بیهوشی، باعث پایین آمدن دمای بدن می‌شود از پد حرارتی غیرالکتریکی و روکش حوله برای ایجاد گرما استفاده شد.

توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف^۳، بهنجار به دست آمد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ آنالیز شدند. مقایسه داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه (آنووا)^۴ و آزمون تعقیبی شفه^۵ صورت گرفت. سطح معنی‌داری $P < 0.05$ لحاظ شده است.

یافته‌ها

میانگین و انحراف‌معیار وزن ۸ سر رت نر بالغ بهنجار نژاد ویستار در این مطالعه $233/88 \pm 19$ گرم به دست آمد. نتایج آستانه‌های شنوایی رت‌ها در فرکانس‌های تونال اکتاوی ۲، ۴، ۸ و ۱۶ کیلوهرتز به دست آمد. میانگین و انحراف‌معیار آستانه‌های

توسط دستگاه صداسنج (شرکت B & K مدل ۲۲۵۰، دانمارک) اندازه‌گیری شد و مقادیر موردنیاز برای اصلاحیه خروجی هر محرک اعمال شد. اتاقک اکوستیک با جدار فلزی برای ثبت الکتروفیز یولوژی نیز تهیه شد.

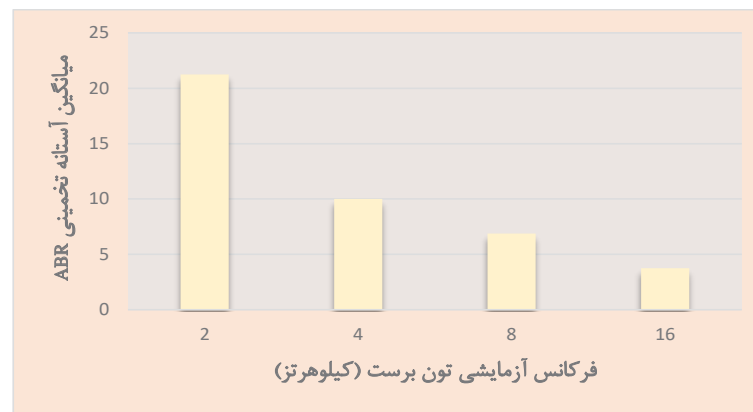
رت‌ها، در طول نگهداری در قفس‌های مخصوص، آزادانه به آب و غذای کافی و استاندارد ایران دسترسی داشتند. در این پژوهش، رطوبت مکان نگهداری رت‌ها به‌طور متوسط ۵۰ درصد و دمای آن ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد با چرخه نور ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود [۹].

رت‌ها طی ۳ روز قبل از اندازه‌گیری به‌منظور تطبیق با شرایط و کاهش استرس در مکان ارزیابی قرار گرفتند و در روز آزمایش برای تعیین دُز داروی بیهوشی با استفاده از داروهای کتامین (۴۰ تا ۹۰ میلی‌گرم/کیلوگرم) و زایلازین (۵ میلی‌گرم/کیلوگرم) با ترازوی دیجیتال وزن‌کشی شدند [۱۰، ۱۱]. پس از تزریق داخل‌صفاقی داروی بیهوشی و اطمینان از بیهوشی، رت‌ها به اتاقک اکوستیک منتقل و تحت شرایط ذیل پاسخ ساقه مغز شنوایی آن‌ها با رویکرد تخمین آستانه با دستگاه Biologic/ Navigator pro ساخت ایالات متحده آمریکا اندازه‌گیری شد:

رت در فاصله ۵ سانتی‌متری و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به بلندگو قرار می‌گرفت. به‌طوری‌که مجرای گوش راست روبه‌روی بلندگو باشد و ۳ الکترو سوزنی مشابه، به‌صورت زیرپوستی در ورتکس در فاصله بین ۲ گوش به‌عنوان الکتروغیرواژگونگر، زیر گوش راست در محلی که مو وجود نداشت، به‌عنوان الکتروغیرواژگونگر و در همین موضع، زیر گوش چپ به‌عنوان الکتروزمین (آرایش الکترودی همانسویی) قرار گرفت (تصویر شماره ۱) [۱۲].

در صورتی‌که امپدانس هریک از الکترودها کمتر از ۵ کیلو اهم و تفاوت امپدانس آن‌ها کمتر از ۲ کیلو اهم بود، آزمایش پاسخ ساقه مغز شنوایی با محرک تون برست در فرکانس‌های اکتاوی ۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ هرتز، پلاریته متناوب (به‌منظور حذف

3. Kolmogorov-Smirnov
4. One-way ANOVA
5. Scheffe post hoc



تصویر ۲. میانگین آستانه تخمینی پاسخ ساقه مغز شنوایی در ۴ فرکانس آزمایشی برحسب دسی بل SPL در رت‌های بالغ نر نژاد ویستار

با ردیابی موج II در پاسخ ساقه مغز شنوایی رت‌های آزمایشی با کاهش فرکانس، دامنه کوچک‌تر و شکل موج پهن‌تر مشاهده شد که نشانگر ضعیف شدن مورفولوژی پاسخ با کاهش فرکانس است. یافته حاضر نشان می‌دهد حساسیت شنوایی در رت‌های نر در فرکانس‌های بالاتر بهتر است. این تغییرات با کاهش فرکانس بیانگر تغییر مکان فعالیت حلزون در تولید پاسخ ساقه مغز شنوایی است. زمانی که فرکانس تون برست کاهش می‌یابد فعالیت حلزون به سمت پیچ‌های راسی تر شیف می‌کند. این توضیح برای سطوح شدت متوسط و پایین مصداق دارد. در سطح شدت آستانه تأثیر تقویت فعال حلزونی مشهودتر است و با استفاده از محرک با ویژگی فرکانسی، منطقه فرکانسی پاسخ حلزونی محدود به فرکانس محرک می‌شود [۲]. حلزون رت دارای ۲/۵ پیچ و حدود ۱۱ میلی‌متر طول است [۵، ۷]. فرکانس‌های پایین دارای گستره تحریکی بالاتری هستند. در فرکانس‌های بالاتر با ترکیب عواملی، چون افزایش هم‌زمانی و یا افزایش تعداد اجزای عصبی (جمعیت نورونی پاسخ‌گوی بیشتر زیرا دانسیته عصب‌دهی در پیچ قاعده‌ای حلزون که جایگاه آنالیز فرکانس‌های بالاست، بیش از پیچ راسی به‌عنوان پاسخ‌گوی فرکانس‌های پایین است) و نیز سرعت بالاتر موج متحرک در بخش قاعده‌ای حلزون [۳] می‌تواند توجیهی بر به‌دست آوردن یافته‌های این مطالعه باشد.

دستگاه شنوایی محیطی رت‌ها دارای محدوده فرکانسی شنوایی ۰/۲۵ تا ۸۰ کیلوهرتز و محدوده شنوایی بهینه حدود ۸ تا ۳۸ کیلوهرتز است که بالاتر از حدود انسان‌ها می‌باشد [۱۳]. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم دسترسی به فرکانس بالاتر، از جمله ۳۲ کیلوهرتز اشاره کرد که به دلیل عدم توانایی دستگاه اندازه‌گیری در آنالیز این فرکانس بود. همچنین به دلیل تأثیرات عوامل هورمونی روی پاسخ ساقه مغز شنوایی رت‌های ماده، این مطالعه فقط روی رت‌های نر از نژاد ویستار انجام شده است.

تخمینی با پاسخ ساقه مغز شنوایی به ترتیب از فرکانس ۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ هرتز بدین صورت گزارش شد: $21/25 \pm 4/43$ ، $10 \pm 2/67$ ، $6/87 \pm 2/58$ و $2/31 \pm 3/75$ دسی بل SPL.

همچنین مشاهدات نشان داد با بیشتر بودن سطح شدت محرک صوتی، دامنه‌های پاسخ ساقه مغز شنوایی بزرگ‌تری به دست آمد که شروع این تغییر در فرکانس‌های مختلف متفاوت بود. با مقایسه فرکانس و مقدار آستانه پاسخ ساقه مغز شنوایی با استفاده از آزمون تحلیل واریانس (آنووا) یک طرفه، رابطه معکوس معنی‌دار بین این دو متغیر حاصل شد ($F=87/46$ ، $P<0/001$ و $df=3$). بدین ترتیب که با کاهش فرکانس، آستانه پاسخ ساقه مغز شنوایی افزایش می‌یابد. چنان‌که کمترین آستانه پاسخ ساقه مغز شنوایی به فرکانس ۱۶۰۰۰ هرتز و بیشترین آستانه به فرکانس ۲۰۰۰ هرتز اختصاص داشت. آنالیز با آزمون تعقیبی شفه آستانه بالاتر فرکانس ۲۰۰۰ از ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ هرتز را آشکار کرد که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($P<0/001$). این تفاوت در تصویر شماره ۲ نشان داده شده است.

بحث

با استفاده از اصوات تونال در ۴ فرکانس اکتاوی ۲ تا ۱۶ کیلوهرتز، تخمینی از آستانه‌های شنوایی پاسخ ساقه مغز شنوایی در این فرکانس‌ها در رت‌های نر بالغ بهنجار آلبینو از نژاد ویستار به دست آمد. نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه معکوس معنی‌دار از نظر آماری بین آستانه‌های شنوایی و فرکانس‌های آزمایشی بود، بدین ترتیب که با افزایش فرکانس محرک آزمایشی، مقدار آستانه‌های تخمینی شنوایی با پاسخ ساقه مغز شنوایی بالا رفت. یافته‌های مطالعه حاضر در زمینه رابطه بین فرکانس محرک در راستای مطالعات دیگری از جمله آلوارادو و همکاران و هولسینگ است [۹، ۱۰]. دلایل نوروفیزیولوژیک این یافته را می‌توان بدین شکل تشریح کرد که تون برست به‌عنوان محرکی با ویژگی فرکانسی محسوب می‌شود، بدین معنی که حداقل در سطوح شدت نزدیک آستانه، پاسخی با ویژگی مکانی استخراج می‌کند [۳، ۸].

نتیجه گیری

فرکانس محرک به عنوان یکی از مؤلفه های تحریک، عاملی مؤثر در ثبت آزمایش پاسخ ساقه مغز شنوایی با تون برست در رت های نژاد ویستار است. افزایش فرکانس به کاهش آستانه های تخمینی پاسخ ساقه مغز شنوایی و نیز تضعیف مورفولوژی شکل موج منجر می شود که در تفسیر نتایج در مدل های حیوانی باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

کلیه اصول اخلاقی در این مطالعه رعایت شده است.

حامی مالی

این مقاله هیچ گونه کمک مالی از سازمانی های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسنده، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- [1] Akil O, Oursler AE, Fan K, Lustig LR. Mouse auditory brainstem response testing. *Bio-Protocol*. 2016; 6(6):e1768. [\[DOI:10.21769/BioProtoc.1768\]](#) [\[PMID\]](#)
- [2] Sininger YS, Hunter LL, Hayes D, Roush PA, Uhler KM. Evaluation of speed and accuracy of next-generation auditory steady state response and auditory brainstem response audiometry in children with normal hearing and hearing loss. *Ear and Hearing*. 2018; 39(6):1207-23. [\[DOI:10.1097/AUD.0000000000000580\]](#) [\[PMID\]](#)
- [3] Krishnan A. Auditory brainstem evoked potentials: clinical and research applications. San Diego: Plural Publishing; 2023. [\[Link\]](#)
- [4] Norrix LW, Velenovsky D. Unraveling the mystery of auditory brainstem response corrections: The need for universal standards. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2017; 28(10):950-60 [\[DOI:10.3766/jaaa.16112\]](#) [\[PMID\]](#)
- [5] Domarecka E, Kalcioğlu MT, Mutlu A, Özgür A, Smit J, Olze H, et al. Reporting data on auditory brainstem responses (ABR) in rats: Recommendations based on review of experimental protocols and literature. *Brain Sciences*. 2021; 11(12):1596. [\[DOI:10.3390/brainsci11121596\]](#) [\[PMID\]](#)
- [6] Suphinnapong P, Sabesan S, Lesica NA. Estimating hearing thresholds in rodents using the parallel auditory brainstem response. *Hearing Research*. 2025; 461:109273. [\[DOI:10.1016/j.heares.2025.109273\]](#) [\[PMID\]](#)
- [7] Domarecka E, Szczepek AJ. Universal recommendations on planning and performing the auditory brainstem responses (ABR) with a focus on mice and rats. *Audiology Research*. 2023; 13(3):441-58. [\[DOI:10.3390/audiolres13030039\]](#) [\[PMID\]](#)
- [8] Scimemi P, Santarelli R, Selmo A, Mammano F. Auditory brainstem responses to clicks and tone bursts in C57 BL/6J mice. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*. 2014; 34(4):264. [\[PMID\]](#)
- [9] Alvarado JC, Fuentes-Santamaría V, Jareño-Flores T, Blanco JL, Juiz JM. Normal variations in the morphology of auditory brainstem response (ABR) waveforms: A study in Wistar rats. *Neuroscience Research*. 2012; 73(4):302-11. [\[DOI:10.1016/j.neures.2012.05.001\]](#) [\[PMID\]](#)
- [10] Huelsing M. Investigation to examine the profile of auditory brainstem and hearing thresholds using tone burst audiometry brainstem response in a preclinical migraine model [doctoral thesis]. Springfield: Missouri State University; 2023. [\[Link\]](#)
- [11] Ruebhausen M, Brozoski T, Bauer C. A comparison of the effects of isoflurane and ketamine anesthesia on auditory brainstem response (ABR) thresholds in rats. *Hearing Research*. 2012; 287(1-2):25-9 [\[DOI:10.1016/j.neures.201204.005.\]](#) [\[PMID\]](#)
- [12] Heidari F, Pourbakht A, Kamrava SK, Kamali M, Yousefi A. Comparison of cochlear microphonics magnitude with broad and narrow band stimuli in healthy adult wistar rats. *Iranian Journal of Child Neurology*. 2018; 12(2):58. [\[PMID\]](#)
- [13] Lin N, Urata S, Cook R, Makishima T. Sex differences in the auditory functions of rodents. *Hearing Research*. 2022; 419:108271. [\[DOI:10.1016/j.neures.2021.108271.\]](#) [\[PMID\]](#)

This Page Intentionally Left Blank