Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences

Abbasi, et al. *Med J Tabriz Uni Med Sciences*. 2025;
doi: 10.34172/mj.025.33828
https://mj.tbzmed.ac.ir

TUOMS PRESS

Original Article

Relationship of alpha peak frequency of different brain regions with attention and inhibition of auditory and visual responses

In Press

Sevda Abbasi[1], Soomaayeh Heysieattalab[1*], Zeynab Barzegar[2], Hojat Ghimatgar[3,4], Mohammad Ali Nazari[5,6]

[1]Department of Cognitive Neuroscience, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Tabriz University, Tabriz, Iran
[2]Department of Artificial Intelligence in Medicine, Faculty of Advanced Technologies in Medicine, Iran University of Medical Sciences (IUMS), Tehran, Iran
[3]Department of Electrical Engineering, Faculty of Intelligent Systems Engineering and Data Science, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
[4]Computational Neuroscience Laboratory, ICT Research Institute, Faculty of Intelligent Systems Engineering and Data Science, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
[5]Department of Neuroscience, Faculty of Advanced Technologies in Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[6]Imâge Brain Institute, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 29 Nov 2023
Revised: 23 Feb 2024
Accepted: 26 Feb 2024
ePublished: 27 May 2025

Keywords:
- Alpha peak frequency
- Attention
- Brain map
- Integrated visual and auditory attention test
- Quantitative electroencephalography
- Response inhibition

Abstract

Background. The alpha band has been extensively studied in relation to cognitive functions such as attention and inhibition, with alpha peak frequency considered a potential biomarker for these processes. However, more research is needed to better understand these associations.

Methods. In this study, electroencephalography (EEG) data from a non-clinical sample of 632 elementary school children aged 6 to 11 years (251 girls and 381 boys) with a mean (±SD) age of 7.07 ± 1.499 years were recorded using 19 electrodes. The alpha peak frequency in open- and closed-eye conditions was calculated using fast Fourier transform. Attention and response inhibition were assessed through an integrated auditory and visual attention test.

Results. Results revealed a significant positive correlation between alpha peak frequency and both auditory and visual attention in both open- and closed-eye conditions. Additionally, a negative correlation was observed between alpha frequency peak and reaction time in auditory and visual aspects. The shorter the reaction time, the faster the cognitive processing. However, the correlation with response inhibition was weaker.

Conclusion. These findings confirm the key role of alpha peak frequency in attention and cognitive processing speed. The importance of brain activity recording conditions (eyes open and closed) and auditory and visual modalities was also confirmed in this research.

Practical Implications. Alpha peak frequency can serve as a biomarker for assessing cognitive functions and offers valuable insights into brain activity during tasks with different sensory stimuli.

How to cite this article: Abbasi S, Heysieattalab S, Barzegar Z, Ghimatgar H, Nazari M A. Relationship of alpha peak frequency of different brain regions with attention and inhibition of auditory and visual responses. *Med J Tabriz Uni Med Sciences*. 2025;47(3): doi: 10.34172/mj.025.33828. Persian.

*Corresponding author; Email: heysieattalab@gmail.com
© 2025 The Authors. This is an Open Access article published by Tabriz University of Medical Sciences under the terms of the Creative Commons Attribution CC BY 4.0 License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

Background

The study of brain oscillations, particularly in the alpha frequency band, is critical for understanding cognitive functions such as attention and response inhibition. Electroencephalography (EEG) is a non-invasive method to monitor these oscillations, and quantitative EEG (qEEG) enables a deeper analysis of brainwave patterns. The alpha band (8-12 Hz) is often associated with attention, and alpha peak frequency is linked to various cognitive processes. Several studies indicate that alpha peak frequency correlates with attention performance, while others question its relationship. This study aimed to clarify the relationship between alpha peak frequency in different brain regions, measured under both open and closed eye conditions, and auditory and visual attention, inhibitory control, and cognitive processing speed.

The purpose of this article is to investigate whether alpha frequency peak can serve as a biomarker for cognitive functions of visual and auditory attention and response inhibition, in both eyes open and eyes closed conditions.

Methods

In this study, a subset of data collected in 2023 from 632 non-clinical elementary school children aged 6 to 11 years (251 girls and 381 boys), with a mean (±SD) age of 7.07 ± 1.499 years, was used. The children were selected based on their normal cognitive and neurological health. EEG data were recorded using a Mitsar 201 amplifier and WinEEG software, employing 19 electrodes aligned with the international 10-20 system. The left and right earlobes served as references, and the ground electrode was at AFz. Data were collected at a sampling rate of 250 Hz using appropriate bandpass and notch filters. Impedance was maintained below 10 kΩ. Each session included a 4-minute eyes-closed and eyes-open segment. Artifacts were processed and removed using a z-score-based algorithm in NeuroGuide software (version 3.2.1), followed by an expert review. Fast Fourier Transform (FFT) was conducted on the cleaned EEG data to extract alpha peak frequency scores from the 19 electrodes during both conditions. Attention and inhibitory control were measured using the integrated visual and auditory attention test (IVA2). The IVA2 test lasted approximately 15 minutes and included warm-up, practice, main test, and cool-down phases. Participants were required to respond by clicking the mouse on one of the visual or auditory stimuli (1) and to withhold a response to the other (2). The test consisted of 500 trials, with each trial lasting 1540 ms. The data were analyzed using Pearson correlation and multiple regression models to explore the relationship between alpha peak frequency and cognitive variables.

Results

The findings showed that both in eyes open and eyes closed conditions, alpha peak frequency had a strong positive correlation with auditory and visual attention ($P<0.001$). Specifically, in the eyes closed condition, this correlation was significant in all brain regions while in eyes open condition, this correlation was still present ($P<0.05$) but it was weaker in some brain areas such as F7 and F8 electrodes.

Auditory inhibition showed a significant positive correlation with the alpha frequency peak in some brain areas such as F3, Fz, and F4 electrodes in the eyes open condition ($P<0.05$). In the eyes closed condition, this correlation was stronger and was observed in almost all brain regions ($P<0.001$). However, visual inhibition did not show a significant correlation with alpha peak frequency in any of the eyes open or closed conditions.

One of the important findings of this research was the strong negative correlation between alpha peak frequency and reaction time in auditory and visual responses ($P<0.001$). In other words, the higher the alpha peak frequency, the shorter the reaction time. This correlation was observed in both eyes open and closed conditions, but it was slightly weaker in the eyes closed condition.

The results of the multiple regression analysis revealed several insights into attention and inhibition. The auditory attention variable was not significant in the eyes open condition; however, beta values indicated the importance of FP2, O2, F8, and Pz

electrodes in predicting auditory attention in the eyes closed condition. For visual attention, the F7 electrode was significant in the eyes open condition, while F3, F7, and F8 were significant in the eyes closed condition. The ANOVA test did not support the significance of the regression model for auditory inhibition in the eyes-open condition, though it was significant in the eyes-closed condition, with F3 and P3 electrodes playing a key role. Neither eyes open nor eyes closed conditions showed significance for visual inhibition. However, the regression models for auditory reaction time were significant in both conditions, with the F3 electrode being important in the eyes closed condition. Visual reaction time was also significant in both conditions, with the T3 electrode being crucial in eyes open and the O2 electrode in eyes closed.

Conclusion

These results were consistent with previous research on alpha peak frequency and attention. The study found a strong positive correlation between auditory attention and alpha peak frequency, indicating the crucial role of alpha oscillations in auditory attention. Regional differences in alpha frequency suggest that different brain areas are involved in auditory processing. The strong correlation between alpha peak frequency and visual attention across all electrodes further supports the role of alpha oscillations in improving visual focus and minimizing distractions. While auditory inhibition was associated with alpha peak frequency, visual inhibition did not display a similar relationship, highlighting the need to account for different sensory modalities in studies and suggesting that visual inhibition may rely on alternative neural mechanisms. Overall, these findings support the role of alpha oscillations in cognitive functions such as attention and inhibition, confirming that alpha peak frequency can serve as a valuable indicator for assessing these processes.

عباسی و همکاران. *مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز*.
doi: 10.34172/mj.025.33828
https://mj.tbzmed.ac.ir

مقاله پژوهشی

رابطه بین پیک فرکانس آلفا نواحی مختلف مغز با توجه و بازداری پاسخ شنیداری و دیداری

سئودا عباسی[1]، سمیه حیثیت‌طلب[1*]، زینب برزگر[2]، حجت قیمتگر[3و4]، محمدعلی نظری[5و6]

[1] گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[2] گروه هوش مصنوعی در پزشکی، دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[3] گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی سیستم های هوشمند و علوم داده، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ۱۳۸-۷۵۱۶۹، ایران
[4] آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشکده مهندسی سیستم های هوشمند و علوم داده، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
[5] گروه علوم اعصاب، دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[6] انستیتو مغز ایماژ، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

سابقه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۹/۸
اصلاح نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۴
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۷
انتشار برخط: ۱۴۰۴/۳/۶

کلیدواژه‌ها:
- آزمون توجه یکپارچه بینایی و شنوایی
- الکتروانسفالوگرافی کمّی
- بازداری پاسخ
- پیک فرکانس آلفا
- توجه
- نقشه مغزی

چکیده

زمینه. باند آلفا در عملکردهای شناختی مانند توجه و بازداری به‌طور گسترده بررسی شده و پیک فرکانس آلفا به‌عنوان بیومارکر احتمالی برای این عملکردها در نظر گرفته می‌شود. با این حال، تحقیقات بیشتری برای درک بهتر این ارتباطات لازم است. هدف از این مقاله بررسی این است که آیا پیک فرکانس آلفا می‌تواند به عنوان یک نشانگر زیستی برای عملکردهای شناختی توجه و بازداری پاسخ دیداری و شنیداری، در دو حالت چشم باز و چشم بسته عمل کند یا خیر.

روش‌کار. در این مطالعه، داده‌های الکتروانسفالوگرافی از یک نمونه غیربالینی شامل ۶۳۲ کودک دبستانی (۲۵۱ دختر و ۳۸۱ پسر) با میانگین سنی ۷/۰۷ و انحراف استاندارد ۱/۴۹ در سنین ۶ تا ۱۱ سال با استفاده از ۱۹ الکترود ثبت شد. پیک فرکانس آلفا در حالت‌های چشم باز و بسته با استفاده از تبدیل فوریه سریع محاسبه گردید. همچنین، توجه و بازداری پاسخ از طریق آزمون توجه یکپارچه بینایی و شنوایی ارزیابی شد. برای بررسی رابطه بین پیک فرکانس آلفا نواحی مختلف مغز با توجه و بازداری پاسخ شنیداری و دیداری، از آزمون همبستگی پیرسون و برای بررسی نقش متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل رگرسیونی، از تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده شد.

یافته‌ها. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معناداری بین پیک فرکانس آلفا و توجه شنیداری و دیداری در هر دو حالت چشم باز و بسته وجود دارد. همچنین، همبستگی منفی بین پیک فرکانس آلفا و زمان واکنش در بعد شنیداری و دیداری مشاهده شد. هرچه زمان واکنش کوتاه‌تر باشد، نشان‌دهنده پردازش شناختی سریع‌تر است. با این حال، ارتباط با بازداری پاسخ کمتر بود.

نتیجه‌گیری. این یافته‌ها نقش کلیدی پیک فرکانس آلفا را در توجه و سرعت پردازش شناختی تأیید می‌کنند. اهمیت شرایط ثبت فعالیت مغزی (چشم باز و بسته) و مدالیته‌های شنیداری و دیداری نیز در این پژوهش تأیید شد.

پیامدهای عملی. پیک فرکانس آلفا می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر زیستی برای ارزیابی عملکردهای شناختی و ارائه بینش‌هایی در مورد فعالیت مغزی در طی وظایف با محرک‌های حسی مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

مقدمه

الکتروانسفالوگرافی (EEG) یک روش غیرتهاجمی برای شناسایی و ثبت فعالیت الکتریکی مغز است و به دلیل دقت زمانی بالا، درباره نوسانات مغزی اطلاعات ارزشمندی ارائه می‌دهد. این نوسانات در کدگذاری اطلاعات، تنظیم حالت‌های توجه و تسهیل ارتباط بین جمعیت‌های نورونی نقش کلیدی ایفا می‌کنند.[1] الکتروانسفالوگرافی کمّی (qEEG) یک تکنیک تحلیلی پیشرفته است که با استفاده از

*نویسنده مسؤول: ایمیل: heysieattalab@gmail.com

حق تألیف برای مؤلفان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد توسط دانشگاه علوم پزشکی تبریز تحت مجوز کریتیو کامنز CC BY 4.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0) منتشر شده که طبق مفاد آن هرگونه استفاده تنها در صورتی مجاز است که به اثر اصلی به نحو مقتضی استناد و ارجاع داده شده باشد.

روش‌های محاسباتی، این امکان را فراهم می‌آورد که داده‌های EEG از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل شوند. در این فرآیند، داده‌های EEG که از فعالیت الکتریکی مغز با قرار دادن الکترودهایی بر روی پوست سر ثبت می‌شوند، با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده کامپیوتری پردازش می‌شوند تا نقشه‌های دقیقی از الگوهای مختلف امواج مغزی و ارتباطات آنها با حالات شناختی و عاطفی به‌دست آید.[۲] روش‌های qEEG از جمله تحلیل طیفی و نمودارهای زمان-فرکانس می‌توانند فعالیت و تعاملات مغزی را در سراسر قشر مغز نمایش دهند. این روش به‌طور گسترده در تحقیقات برای درک بهتر عملکرد مغز و توسعه استراتژی‌های درمانی جدید به‌کار می‌رود و به‌عنوان یک پیشرفت قابل‌توجه در تکنیک‌های تشخیص عصبی شناخته می‌شود.[۳] درqEEG ، فعالیت مغزی در پنج باند فرکانسی تعریف می‌شود: دلتا (۱-٤ هرتز)، تتا (٤-۸ هرتز)، آلفا (۸-۱۲ هرتز)، بتا (۱۲-۳۰ هرتز)، و گاما (۳۰-۵۰ هرتز). این باندها نشان‌دهنده فعالیت‌های مغزی هستند که با انواع مختلف پردازش شناختی مرتبط می‌باشند.

در انسان، باند آلفا به‌طور برجسته در قشر پس‌سری و آهیانه‌ای مشاهده می‌شود[۴] و منعکس‌کننده عملکردهای شناختی مختلف از جمله توجه انتخابی،[۵] و بازداری[۶] است. پیک فرکانس آلفا، فرکانس خاصی در محدوده آلفا است که بالاترین دامنه را در این محدوده دارد.[۷] این فرکانس به‌عنوان یک ویژگی فردی در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند بین افراد متفاوت باشد. چندین مطالعه همبستگی معنی‌داری بین پیک فرکانس آلفا و توانایی‌های کلامی،[۸] عملکرد حافظه،[۹] بازه ارقام،[۸] کنترل پاسخ[۱۰] و سرعت پردازش اطلاعات[۱۱] را گزارش کرده‌اند. به‌طور کلی، این گزارش‌ها نشان می‌دهند که پیک فرکانس آلفا با انواع مختلف عملکردهای شناختی مرتبط است.

بر اساس یافته‌های مطالعات مختلف، ارتباط قابل‌توجهی بین پیک فرکانس آلفا و توجه نیز وجود دارد.[۱۲] توجه، به فرآیندی شناختی اشاره دارد که طی آن فرد به‌طور انتخابی بر روی محرک‌های خاصی تمرکز می‌کند و سایر محرک‌ها را نادیده می‌گیرد. توجه این امکان را به افراد می‌دهد که اطلاعات مرتبط را به‌طور مؤثر پردازش کنند و این عمل برای انجام تکالیفی همچون یادگیری، حل مسئله و تصمیم‌گیری که نیاز به تمرکز دارند، حیاتی است.[۱۳] مطالعات نشان می‌دهند که پیک فرکانس آلفا به‌طور مثبت با عملکرد توجه در طول یک تکلیف ردیابی اشیاء همبستگی دارد.[۱۲] این مطالعه نشان داده است که بازیکنان سطح بالا دارای پیک فرکانس آلفا بالاتری هستند و نسبت به بازیکنان سطح متوسط در آزمون ردیابی دقیق‌تر عمل می‌کنند. همچنین، پیک فرکانس آلفا با توجه دیداری مرتبط است، به‌طوری‌که فرکانس آلفای بالاتر با عملکرد بهتر در تکالیفی که نیاز به توجه پایدار دارند، همراه بوده است.[۱۴] این شواهد از پیک فرکانس آلفا به‌عنوان یک بیومارکر برای عملکردهای شناختی مرتبط با توجه در زمینه‌های مختلف شناختی حمایت می‌کنند. با این وجود، ارتباط بین پیک فرکانس آلفا و عملکردهای شناختی همواره مورد بحث بوده است. به‌عنوان مثال، اخیراً بوش و همکاران شواهدی ارائه کرده‌اند که نشان می‌دهند پیک فرکانس آلفا قادر به پیش‌بینی بازداری شناختی نیست.[۱۵] بنابراین، با توجه به اینکه بسیاری از مطالعات انجام شده دارای حجم نمونه کوچک بوده‌اند، یا صرفا بر یک مدالیته حسی خاص (دیداری یا شنیداری) متمرکز شده‌اند و یا همه نواحی مختلف مغزی را مدنظر قرار نداده‌اند، همچنان نیاز است تا مطالعات بیشتری در این حوزه انجام شود تا نتایج مورد اعتمادتر و با قابلیت تعمیم بالاتری به‌دست آید.

هدف مطالعه حاضر بررسی رابطه بین پیک فرکانس آلفا در نواحی مختلف مغز در شرایط چشم باز و بسته با فرآیندهای مرتبط با توجه است. برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد و قابل تعمیم از یک نمونه بزرگ از شرکت‌کنندگان استفاده می‌شود. از طرف دیگر، به‌منظور بررسی جنبه‌های مختلف توجه، آزمون "توجه یکپارچه بینایی و شنوایی" (IVA2) استفاده شده است. آزمون IVA2 بر اساس مدل سولبرگ و متیر (۱۹۸۷)، توجه را به‌عنوان یک مؤلفه شناختی چندبعدی ارزیابی می‌کند و شامل ۶ مقیاس کلی و ۲۲ خرده‌مقیاس است که در پنج زیرگروه طبقه‌بندی می‌شوند: کنترل پاسخ، توجه، اسناد، نشانگر و تنظیم حرکات ظریف. به‌دلیل ارائه نمرات خرده‌مقیاس‌های متعدد برای تحلیل‌های عمیق‌تر، این آزمون ابزار مناسبی برای بررسی میزان توجه و بازداری در هر دو حالت دیداری و شنیداری محسوب می‌شود. اگرچه تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که باند فرکانس آلفا نقش مهمی در مکانیسم‌های توجهی ایفا کرده و پردازش حسی و عملکرد شناختی را تعدیل می‌کند، اما همچنان نیاز به مطالعات جامع‌تر در این حوزه احساس می‌شود. به‌طور مشخص، سوال پژوهش حاضر این است که پیک فرکانس آلفا با کدام یک از جنبه‌های مختلف توجه ارتباط دارد؟ در این راستا، خرده‌مقیاس "گوش به زنگی" برای سنجش توجه، خرده‌مقیاس "احتیاط" برای ارزیابی بازداری و خرده‌مقیاس "سرعت" برای اندازه‌گیری زمان واکنش مدنظر قرار گرفته‌اند. باید خاطر نشان ساخت که شاخص‌های مذکور در دو مدالیته شنیداری و دیداری بررسی شده‌اند. از طرف دیگر، از آنجاکه باند فرکانس آلفا و پیک آن در حالت‌های چشم باز و بسته دستخوش تغییر قرار می‌گیرند بنابراین مهم است که ارتباط بین پیک فرکانس آلفا و شاخص‌های مختلف توجه در دو موقعیت چشم باز و بسته نیز مقایسه شوند.

روش کار

جامعه آماری این مطالعه شامل گروه‌های غیربالینی از کودکان مدارس ابتدایی بود که فاقد مشکلات پزشکی، بیماری‌های عصبی یا اختلالات روانی بودند. نمونه این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار G*POWER، تعداد ۶۸۰ نفر تعیین شد که در مرحله جمع‌آوری داده‌ها به‌دلیل ریزش افراد، نمونه نهایی شامل ۶۳۲ کودک ۶ تا ۱۱ سال (۲۵۱ دختر و ۳۸۱ پسر) با میانگین سنی ۷/۰۷ سال و انحراف استاندارد ۱/۴۹۹ بود. اندازه بزرگ مجموعه داده، جامعیت مطالعه ما را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد، زیرا یک مجموعه داده بزرگ، دقت و قابلیت تعمیم بیشتری به نتایج نهایی می‌دهد. در این مطالعه، از بخشی از یک مجموعه داده که در سال ۲۰۲۳ جمع‌آوری شده و به‌تازگی توسط نظری و همکاران گزارش گردیده[۱۶]، استفاده شده است. جمع‌آوری داده‌ها در محیطی آرام با کنترل نور و صدا انجام شد. برای کاهش هرگونه اضطراب احتمالی، والدین مجاز بودند تا به‌صورت غیرمداخله‌گر در اتاق حضور داشته باشند و فرزندان خود را همراهی کنند. معیارهای ورود شامل داشتن بهره هوشی بالای ۸۵، عدم ابتلا به بیماری‌های نورولوژیک (بر اساس گزارش والدین)، عدم ابتلا به اختلالات روان‌شناختی و عدم مصرف داروهای مؤثر بر سیستم عصبی و معیارهای خروج شامل وجود آرتیفکت شدید در هنگام ثبت EEG و عدم همکاری کودک یا والدین در مراحل مختلف بود.

پیش از شروع فرآیند، والدین یا سرپرستان قانونی تمامی شرکت‌کنندگان اطلاعات شفاهی و کتبی در مورد تحقیق دریافت کرده و رضایت‌نامه آگاهانه و داوطلبانه از آن‌ها اخذ شد. این فرآیند شامل توضیحات دقیق درباره روش‌های مطالعه، وسایل مورد استفاده و ایمنی پژوهش بود و محققان زمان کافی را برای پاسخگویی به سوالات کودکان و والدین اختصاص دادند.

برای ثبت داده‌های EEG از آمپلی‌فایر Mitsar 201 و نرم‌افزار WinEEG، با ۱۹ الکترود که با سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ هم‌راستا بود، استفاده شد. لاله گوش چپ و راست به‌عنوان الکترود مرجع تعیین شده و الکترود گراند در AFz قرار گرفت. داده‌ها با نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰ هرتز جمع‌آوری گردید و فیلترهای میانگذر ۰/۵ تا ۷۰ هرتز و فیلترهای ناچ در ۴۵-۵۵ هرتز و ۹۵-۱۰۵ هرتز اعمال شد. آمپدانس برای تمام الکترودها زیر ۱۰ کیلو اهم حفظ شد. هر جلسه EEG، شامل دو بخش بود: یک بخش ۴ دقیقه‌ای با چشم‌های بسته و دیگری با چشم‌های باز. پس از ثبت، آرتیفکت‌ها با استفاده از الگوریتم مبتنی بر z-score نرم افزار NeuroGuide (نسخه ۳/۱/۲، Applied Neuroscience, Inc) مورد بررسی قرار گرفته و حذف گردید. سپس صحت فرایند حذف آرتیفکت توسط یک کارشناس ماهر مورد بازبینی قرار گرفت. برای به‌دست آوردن نمرات qEEG، تبدیل سریع فوریه (FFT) بر روی داده‌های پاک‌سازی‌شده EEG (داده‌های عاری از آرتیفکت) انجام شد. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار NeuroGuide (نسخه ۳/۲/۱، Applied Neuroscience, Inc) انجام گردید. از میان ویژگی‌های استخراج‌شده، با توجه به هدف این پژوهش، نمرات پیک فرکانس آلفا در ۱۹ الکترود در دو حالت چشم باز و بسته مورد تحلیل آماری قرار گرفت.

آزمون IVA2 که برای اندازه‌گیری توجه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، تقریباً ۱۵ دقیقه به طول می‌انجامید و شامل مراحل مختلفی از جمله گرم کردن، تمرین، آزمون اصلی و مرحله سرد کردن است. در طول این مدت، شرکت‌کنندگان وظیفه داشتند به محرک‌های "۱" (هدف) که به صورت دیداری یا شنیداری ارائه می‌شود، با کلیک بر روی دکمه سمت چپ ماوس پاسخ دهند و از پاسخ دادن به عدد "۲" خودداری کنند. این کوشش، در کل آزمون، ۵۰۰ بار تکرار می‌شد که هر تکرار، ۱۵۴۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشید.[۱۷] همان‌گونه که پیشتر عنوان شد، سه خرده‌مقیاس از بین خرده مقیاس‌های مختلف آزمون IVA2، یعنی خرده‌مقیاس "گوش به زنگی" برای سنجش توجه، خرده‌مقیاس "احتیاط" برای بازداری و خرده‌مقیاس "سرعت" برای زمان واکنش مورد بررسی قرار گرفتند.

جهت تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS 27 و برای ترسیم نقشه‌های مغزی از پایتون ۳/۱۰/۹ استفاده شد. آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین متغیرها بکار رفت. همچنین، برای سنجش میزان توانایی پیک فرکانس آلفا در الکترودهای مختلف در دو حالت چشم باز و بسته، در پیش‌بینی مقادیر توجه شنیداری و دیداری، بازداری شنیداری و دیداری، و زمان واکنش شنیداری و دیداری از رگرسیون چندگانه به روش همزمان (enter) استفاده شد. برای بررسی پیش‌فرض‌های رگرسیون، از نمودار پراکنش، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاخص‌های کجی و کشیدگی برای بررسی نرمال بودن توزیع داده ها و توزیع خطاها و از آزمون دوربین-واتسون برای بررسی استقلال خطاها استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف معیار مقیاس‌های توجه شنیداری ۸۰/۶۰۶ و ۱۴/۴۷۴، توجه دیداری ۷۵/۴۶۷ و ۱۹/۲۱۶، بازداری شنیداری ۸۴/۷۸۷ و ۱۰/۴۹۷، بازداری دیداری ۸۷/۱۱۴ و ۸/۹۵۸، زمان واکنش شنیداری ۷۸۵/۰۶ و ۸۰/۱۷۳ و زمان واکنش دیداری ۸۰/۱۷۳ و ۹۱/۰۱۷ است. میانگین و انحراف معیار مقادیر پیک فرکانس آلفا در الکترودهای مختلف نیز به تفکیک حالت چشم باز

و چشم بسته در جدول ضمیمه ۱. آمار توصیفی متغیرهای پیش بین ارائه شده است.

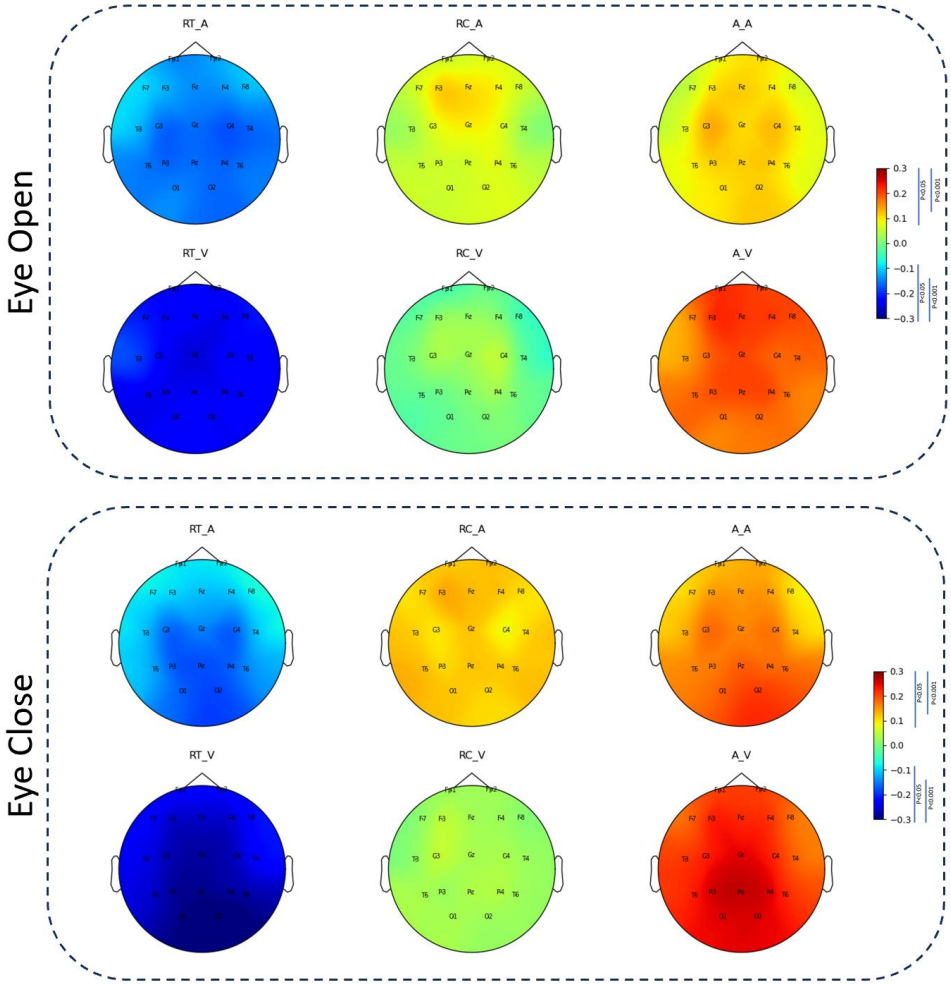
با توجه به ماهیت داده‌ها، برای بررسی همبستگی بین پیک فرکانس آلفا (در دو حالت چشم باز و چشم بسته) با توجه شنیداری و دیداری، بازداری شنیداری و دیداری، زمان واکنش شنیداری و دیداری از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مقادیر همبستگی‌های مذکور برای تمامی الکترودها در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این تصویر، رنگ سبز نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی است. رنگ‌های نارنجی و قرمز به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مثبت معنادار($P<۰/۰۵$) و قوی ($P<۰/۰۰۱$) هستند. رنگ‌های آبی روشن و تیره نیز به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی منفی معنادار ($P<۰/۰۵$) و قوی ($P<۰/۰۰۱$) می‌باشند. تیره‌تر شدن رنگ‌ها بیانگر افزایش شدت همبستگی است. اعداد مربوط به ضریب همبستگی پیرسون و مقادیر P را نیز می‌توان در جدول ب و پ پیوست مشاهده کرد.

نتایج نشان داد که در حالت چشم بسته، بین توجه شنیداری و پیک فرکانس آلفا در تمامی الکترودها، یک رابطه قوی، مثبت و معنادار وجود دارد ($P<۰/۰۰۱$). در حالت چشم باز، در الکترودهای FP1، F3، F4، O1، T3، T4، T5 وT6 نیز همبستگی مثبت و معناداری مشاهده شد($P<۰/۰۵$) و به‌جز الکترودهای F7 وF8، در سایر الکترودها این رابطه قوی و معنادار بود ($P<۰/۰۰۱$). در بعد توجه دیداری همبستگی قوی و مثبت در هر دو حالت چشم باز و بسته در تمامی الکترودها مشاهده شد ($P<۰/۰۰۱$). در بازداری شنیداری در حالت چشم باز، در الکترودهای F3 و Fz ($P<۰/۰۰۱$)، F4 و Cz ($P<۰/۰۵$) همبستگی مثبت وجود داشت. در حالت چشم بسته، در تمامی الکترودها به جز C3 و C4، همبستگی قوی مثبت ($P<۰/۰۰۱$) مشاهده شد. در این دو الکترود نیز همبستگی معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). در بازداری دیداری، هیچ همبستگی معناداری در هیچ‌یک از الکترودها در حالت چشم باز و بسته مشاهده نشد. در مورد زمان واکنش شنیداری، در حالت چشم باز، به‌جز الکترود F7 ($P<۰/۰۵$)، در سایر الکترودها ارتباط قوی و منفی وجود داشت ($P<۰/۰۰۱$). در حالت چشم بسته، در الکترودهایFP1 ، FP2، F3، F7 و F8 سطح معنی‌داری $P<۰/۰۵$ بود و در سایر الکترودها $P<۰/۰۰۱$ به‌دست آمد. در زمان واکنش دیداری، در هر دو حالت چشم باز و بسته در تمامی الکترودها ارتباط قوی، منفی و معنادار ($P<۰/۰۰۱$) مشاهده شد.

نتایج حاصل از آزمون رگرسیون چندگانه نشان داد که پیش‌فرض‌های تحلیل برقرار است. نتایج به‌دست‌آمده به تفکیک در ادامه تشریح می‌شود.

نتایج آزمون آنووا، معنی‌داری مدل رگرسیون برای متغیر توجه شنیداری در حالت چشم باز را تأیید نکرد ($F=۱/۲۷۹$ ، $P>۰/۰۵$). اما در حالت چشم بسته، این مدل معنادار بود ($F=۳/۴۱۲$ ، $P<۰/۰۵$). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۳۰۹، مجذور R برابر با ۰/۰۹۶ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۶۸ به‌دست آمد. در جدول ۱، ضرایب بتای استاندارد و غیراستاندارد ارائه شده است. مقادیر بتای به‌دست‌آمده نشان‌دهنده معناداری الکترودهای FP2 ($\beta=۰/۷۳۴$، $P<۰/۰۱$)، O2 ($\beta=۰/۳۵۵$، $P<۰/۰۵$)، F8 ($P<۰/۰۱$) و Pz ($\beta=-۰/۶۹۸$، $P<۰/۰۵$) در پیش‌بینی توجه شنیداری در حالت چشم بسته است. برای توجه دیداری، مدل به‌دست‌آمده در حالت چشم باز معنادار بود ($F=۲/۷۱۰$، $P=۰/۰۰۱$). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۲۷۹، مجذور R برابر با ۰/۰۷۸ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۴۹ به‌دست آمد. الکترود F7 در پیش‌بینی توجه دیداری در حالت چشم باز معنادار بود ($\beta=-۰/۲۵۷$، $P<۰/۰۵$). همچنین، در توجه دیداری در حالت چشم بسته، مدل معنادار بود ($F=۳/۶۱۱$، $P<۰/۰۰۱$). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۳۱۷، مجذور R برابر با ۰/۱۰۱ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۷۳ به‌دست آمد. در جدول ۱، ضرایب بتای استاندارد و غیراستاندارد ارائه شده است. الکترودهای F3 ($\beta=-۲/۲۳۸$، $P<۰/۰۵$) F7 ($\beta=۰/۶۷۷$، $P<۰/۰۵$) و F8 ($\beta=-۱/۹۹۴$، $P<۰/۰۵$) پیش‌بینی‌کننده‌های معنادار بودند.

نتایج آزمون آنووا معنی‌داری مدل رگرسیون برای بازداری شنیداری در حالت چشم باز را تایید نکرد ($F=۱/۱۵۵$، $P=۰/۲۹۱$). ولی در حالت چشم بسته مدل مربوط به این متغیر معنی‌دار بود ($P=۰/۰۲۷$، $F=۱/۷۳۶$). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۲۲۶ و مجذور R برابر با ۰/۰۵۱ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۲۲ به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که الکترودهای F3 ($\beta=۰/۹۹۸$، $P<۰/۰۰۱$) و $P3$ ($\beta=-۰/۵۳۴$، $P<۰/۰۵$) در پیش‌بینی این متغیر معنی‌دار بوده‌اند. نتایج آزمون آنووا، معنی‌داری مدل رگرسیون برای بازداری دیداری در حالت چشم باز ($P=۰/۱۷۰$، $F=۱/۳۰۸$) و در حالت چشم بسته ($F=۱/۳۳۳$، $P=۰/۱۵۵$) را تایید نکرد (جدول ۲).



شکل ۱. همبستگی ابعاد توجه با پیک فرکانس آلفا. A_A توجه شنیداری، A_V توجه شنیداری، RC_A بازداری شنیداری، RC_V بازداری دیداری، RT_A زمان واکنش شنیداری و RT_V زمان واکنش دیداری است. رنگ سبز نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی، رنگ نارنجی همبستگی مثبت معنی‌دار (P<۰/۰۵) و رنگ قرمز همبستگی مثبت قوی (P<۰/۰۰۱)، رنگ آبی روشن همبستگی منفی معنی‌دار (P<۰/۰۵) و آبی تیره همبستگی منفی قوی (P<۰/۰۰۱) را نشان می‌دهد. تیره‌تر شدن رنگ‌ها نشان‌دهنده افزایش همبستگی است.

جدول ۱. نتایج آزمون آنووا و رگرسیون توجه شنیداری و دیداری در دو حالت چشم باز و بسته

		ANOVA		Regression				
		F	P	الکترود	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌داری
					B	خطای استاندارد	ضریب بتا (β)		
توجه شنیداری	چشم باز	۱/۲۷۹	۰/۱۹۰	-	-	-	-	-	-
	چشم بسته	۳/۴۱۲	>۰/۰۰۱	FP2	۴۷/۶۳	۱۶/۱۷۷	۰/۷۳۴	۲/۹۴۴	۰/۰۰۳
				O2	۱۳/۲۰۵	۶/۳۹۱	۰/۳۵۵	۲/۰۶۶	۰/۰۳۹
				F8	۴۳/۳۳۵	۱۲/۴۸۴	-۰/۶۹۸	-۳/۴۷۱	۰/۰۰۱
				-	-				
توجه دیداری	چشم باز	۲/۷۱۰	۰/۰۰۱	Pz	۲۵/۸۴۴	۱۰/۲۱۶	۰/۶۰۳	۲/۵۳	۰/۰۱۲
		۳/۶۱۱		F7	-۳۲/۴۲۶	۱۳/۴۶۲	-۰/۲۵۷	-۲/۴۰۹	۰/۰۱۶
				F3	۵۵/۶۹۸	۲۳/۵۷۹	۰/۶۷۷	۲/۳۶۲	۰/۰۱۸

چشم بسته	>۰/۰۰۱	F7	۳۸/۸۴۷ -	۱۷/۳۶۲	-۰/۴۵۴	-۲/۲۳۸	۰/۰۲۶
		F8	-۳۲/۹۵۹	۱۶/۵۲۸	۰/۴	-۱/۹۹۴	۰/۰۴۷

جدول ۲. نتایج آنووا و رگرسیون بازداری شنیداری و دیداری در دو حالت چشم باز و بسته

		ANOVA		Regression				
				الکترود	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌داری
		F	P		B	خطای استاندارد	ضریب بتا (β)		
بازداری شنیداری	چشم باز	۱/۱۵۵	۰/۲۹۱	-	-	-	-	-	-
	چشم بسته	۱/۷۳۶	۰/۰۲۷	F3	۴۴/۷۵۷	۱۳/۲۳	۰/۹۹۷	۳/۳۸۳	۰/۰۰۱
				P3	-۱۷/۱۶۶	۸/۱۴۷	-۰/۵۳۴	-۲/۱۰۷	۰/۰۳۶
بازداری دیداری	چشم باز	۱/۳۰۸	۰/۱۷۰	-	-	-	-	-	-
	چشم بسته	۱/۳۳۳	۰/۱۵۵	-	-	-	-	-	-

جدول۳. نتایج آنووا و رگرسیون زمان واکنش شنیداری و دیداری در دو حالت چشم باز و بسته

		ANOVA		Regression				
				الکترود	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌داری
		F	P		B	خطای استاندارد	ضریب بتا (β)		
زمان واکنش شنیداری	چشم باز	۱/۸۶۶	۰/۰۱۴	-	-	-	-	-	-
	چشم بسته	۲/۵۲۷	>۰/۰۰۱	F3	۲۵۷/۲۷	۹۹/۸۹۵	۰/۷۵	۲/۵۷۵	۰/۰۱
زمان واکنش دیداری	چشم باز	۲/۹۵۴	>۰/۰۰۱	T3	۹۹/۹۹۶	۴۲/۸۳۹	۰/۲۴۵	۲/۳۳۴	۰/۰۱
	چشم بسته	٤/۲۲۷	>۰/۰۰۱	O2	-۹۹/۵۶۶	۳۹/۷۳۷	۰/۴۲۶	-۲/۵۰۶	۰/۰۱۲

مدل رگرسیون برای زمان واکنش شنیداری در حالت چشم باز معنی‌دار بود(F=۱/۸٦٦، P=۰/۰۱٤). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۲۳۴، مجذور R برابر با ۰/۰۵۵ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۲۵ به‌دست آمد. با این حال، هیچ‌یک از الکترودها به تنهایی پیش‌بینی معنی‌داری ارائه ندادند. نتایج آزمون آنووا نشان داد که مدل رگرسیون برای زمان واکنش شنیداری در حالت چشم بسته معنی‌دار است (F=۲/۵۲۷، P<۰/۰۰۱). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۲۷۰، مجذور R برابر با ۰/۰۷۳ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۴۴ به‌دست آمد. در این مدل، الکترود F3 (β=۰/۷۵۰، P<۰/۰۱) نقش معنی‌داری داشت.

مدل رگرسیون برای متغیر زمان واکنش دیداری در حالت چشم باز نیز معنی‌دار بود (F=۲/۹۵٤، P<۰/۰۰۱). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۲۹۰، مجذور R برابر با ۰/۰۸۴ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۵۶ به‌دست آمد. الکترود T3 در این مدل نقش معنی‌داری داشت (β=۰/۲٤٥، P<۰/۰۵). نتایج آزمون آنووا نشان داد که مدل رگرسیون برای زمان واکنش دیداری در حالت چشم بسته نیز معنی‌دار است(F=٤/۲۲۷، P<۰/۰۱). مقادیر ضرایب همبستگی چندگانه مدل برابر با ۰/۳۴۱، مجذور R برابر با ۰/۱۱۶ و مجذور R تعدیل‌شده برابر با ۰/۰۸۹ بود. الکترود O2 (β=۰/٤۲٦، P<۰/۰۵) در این مدل معنی‌دار بود (جدول ۳).

بحث

رابطه بین پیک فرکانس آلفا و توجه یکی از حوزه‌های مهم تحقیق در علوم اعصاب شناختی است. در این مطالعه، رابطه بین ابعاد مختلف توجه، از جمله توجه شنیداری و دیداری، بازداری شنیداری و دیداری، و زمان واکنش شنیداری و دیداری، با پیک فرکانس آلفا در نواحی مختلف مغز تحت شرایط چشم باز و بسته بررسی شد. نتایج این پژوهش اطلاعات ارزشمندی در مورد همبستگی‌های نوروفیزیولوژیکی فرآیندهای توجه و در نواحی مختلف مغز ارائه می‌دهد.

تحلیل همبستگی‌های این پژوهش نشان داد که بین ابعاد مختلف توجه و پیک فرکانس آلفا در نواحی مختلف مغز روابط معناداری وجود دارد که با نتایج مطالعات قبلی که ارتباط پیک فرکانس آلفا با عملکرد توجه را نشان داده‌اند،[۱۲] همسو است. تحلیل‌های رگرسیون چندگانه نیز

نشان داد که پیک فرکانس آلفا می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌بینی‌کننده برای ابعاد مختلف توجه عمل کند.

به‌طور خاص، توجه شنیداری در هر دو حالت چشم باز و بسته همبستگی مثبت و قوی با پیک فرکانس آلفا نشان داد. این یافته‌ها حاکی از آن است که نوسانات آلفا با قابلیت‌های پردازش شنیداری مرتبط است و افزایش فعالیت آلفا ممکن است پردازش شنیداری را بهبود بخشد. بدین صورت که با تنظیم پردازش ورودی‌های شنیداری می‌تواند بر ادراک و عملکرد توجه شنیداری تأثیر بگذارد. برای مثال، تغییرات آلفا در قشر شنوایی با پردازش صداهای مورد توجه همبستگی دارد که این امر به اولویت‌بندی اطلاعات شنوایی و کاهش حواس‌پرتی کمک می‌کند.[۱۸] مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که تغییرات در پیک فرکانس آلفا می‌تواند بر نحوه پردازش محرک‌های شنیداری تأثیر بگذارد.[۱۹] نتایج این مطالعه با نظریه‌هایی که نقش مهم نوسانات باند آلفا در فرآیندهای توجه شنیداری را مطرح می‌کنند همخوانی دارد.[۲۰]

تفاوت‌های مشاهده‌شده بین الکترودهای مختلف نیز با نتایج تحقیقات قبلی هم‌راستا است که نشان می‌دهد پیک فرکانس آلفا در مناطق مختلف مغز به‌ویژه بین الکترودهای مرکزی و آهیانه-پس‌سری، متفاوت است. این یافته نشان می‌دهد که مولدهای آلفا مرتبط با مناطق مختلف در پردازش شنیداری نقش دارند.[۲۰] چنین یافته‌هایی بر پیچیدگی شبکه‌های عصبی درگیر در انجام تکالیف توجه تأکید می‌کنند. در شرایط چشم باز، اکثر الکترودها همبستگی قابل‌توجهی را نشان دادند. با این حال، در الکترودهای F7 و F8 تفاوت‌های منطقه‌ای در پردازش توجه شنیداری در حضور محرک‌های بینایی مشاهده شد. این تفاوت، تعامل بین پردازش-های بینایی و شنوایی را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که محرک‌های بصری ممکن است توجه شنیداری را به‌طور متفاوتی در مناطق مختلف مغز تعدیل کنند. چنین تفاوت‌های منطقه‌ای ممکن است منعکس‌کننده مسیرهای عصبی متمایز یا استراتژی‌های پردازشی باشد که هنگام ادغام اطلاعات چندحسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.[۱۸]

در خصوص توجه دیداری نتایج نشان داد همبستگی قوی و مثبتی با پیک فرکانس آلفا در تمامی الکترودها، چه در حالت چشم باز و چه در حالت چشم بسته، وجود دارد. این همبستگی قوی نشان‌دهنده اهمیت نوسانات آلفا در فرآیندهای توجه دیداری است. این یافته‌ها با تحقیقات قبلی که افزایش فعالیت آلفا را با بهبود تمرکز بصری و کاهش حساسیت به حواس‌پرتی مرتبط می‌دانند، مطابقت دارد.[۲۱] نتایج مطالعات اخیر رابطه بین پیک فرکانس آلفا و توجه را تأیید می‌کند.[۱۲] نوسانات آلفا به‌عنوان تسهیل‌کننده توجه انتخابی عمل کرده و با مهار محرک‌های رقیب یا حواس‌پرت، به تمرکز بر ورودی‌های بصری کمک می‌کنند. این مهار به افراد اجازه می‌دهد تا به‌طور مؤثرتری بر روی وظایف خاص تمرکز کنند و توانایی خود را برای مدیریت عوامل حواس‌پرت کننده محیطی افزایش دهند.

در شرایط چشم باز، بازداری شنیداری همبستگی معناداری با پیک فرکانس آلفا در الکترودهای F3، Fz ، F4 و Cz مشاهده شد. این یافته‌ها بر اهمیت نواحی پیشانی در عملکردهای توجه و بازداری تأکید دارند.[۲۲] در شرایط چشم بسته، همبستگی قوی و مثبتی تقریباً در تمام الکترودها مشاهده شد که ممکن است نشان‌دهنده افزایش ارتباط بازداری شنیداری با فعالیت آلفا در غیاب حواس‌پرتی‌های بصری باشد. از سوی دیگر، بازداری دیداری هیچ همبستگی معناداری با پیک فرکانس آلفا در هیچ‌یک از شرایط نشان نداد.

مطالعات قبلی نیز به نقش آلفا در بازداری شناختی اشاره کرده‌اند.[۶] پیشنهاد شده است که وقوع خودبه‌خودی فعالیت آلفا در حالت استراحت می‌تواند نمایانگر تفاوت‌های فردی در ظرفیت‌های کنترل شناختی باشد. این بدان معناست که این فعالیت می‌تواند توانایی فرد را برای فعال‌سازی مؤثر شبکه‌های کنترل توجه و در نتیجه، اعمال سریع کنترل شناختی در یک موقعیت هدف را منعکس کند[۲۳]. در بسیاری از پژوهش‌ها رابطه بین پیک فرکانس آلفا و طیف گسترده‌ای از توانایی‌های شناختی نشان داده شده است.[۲۴] با این حال، بوش و همکاران شواهد قابل توجهی ارائه کردند که علیه رابطه بین پیک فرکانس آلفا و توانایی بازداری شناختی فردی است.[۱۵] در مطالعه آنها، از تست‌های استروپ و ناون استفاده شده است که هر دو بر اساس محرک‌های دیداری بوده و بازداری دیداری می‌سنجند. بنابراین عدم وجود رابطه بین پیک فرکانس آلفا و بازداری در مطالعه آنان محدود به بازداری دیداری است که مطالعه حاضر نیز این یافته را تأیید می‌کند. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر دو مدالیته شنیداری و دیداری مورد بررسی قرار گرفته است، این تفاوت در نتایج به‌دست آمده قابل تأمل است. بنابراین، می-توان نتیجه گرفت بازداری شنیداری همبستگی‌هایی با پیک فرکانس آلفا دارد، در حالی‌که در بازداری دیداری این رابطه دیده نمی‌شود. این یافته ممکن است نشان‌دهد که بازداری دیداری بر مکانیسم‌های عصبی دیگری متکی است که توسط پیک فرکانس آلفا ثبت نمی‌شوند. این امر بر اهمیت توجه به مدالیته مطالعه‌شده تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که تعمیم نتایج به سایر مدالیته‌ها ممکن است نادرست باشد. این دستاورد مهم، ظرافت موجود در مطالعات مرتبط با مغز انسان را برجسته می‌سازد. در نتایج به‌دست‌آمده

مشاهده شد که بین زمان واکنش شنیداری و پیک فرکانس آلفا در بیشتر الکترودها تحت شرایط چشم باز همبستگی منفی قوی وجود دارد. این همبستگی در شرایط چشم بسته نیز معنادار باقی ماند، هرچند شدت آن کمی کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که پیک فرکانس آلفای بالاتر ممکن است با پردازش سریع‌تر اطلاعات شنیداری مرتبط باشد. زمان واکنش دیداری نیز در هر دو شرایط چشم باز و چشم بسته، همبستگی منفی قوی با پیک فرکانس آلفا داشت. این یافته‌ها با مطالعات قبلی که رابطه بین فرکانس آلفا و زمان واکنش را تأیید کرده‌اند، همخوانی دارد و فرضیه‌ای را تقویت می‌کند که نوسانات آلفا می‌توانند به‌عنوان مکانیزمی برای زمان‌بندی فرآیندهای شناختی عمل کنند.[۲۵] مطالعات پیشین نیز به همبستگی منفی بین پیک فرکانس آلفا و زمان واکنش اشاره کرده‌اند،[۲۶] که با نتایج این تحقیق سازگار است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که فرکانس‌های بالاتر آلفا ممکن است کارایی عصبی را افزایش داده، مغز را قادر سازد تا تأثیرات ناشی از محرک‌های نامرتبط را کاهش دهد و در نتیجه زمان واکنش را بهبود بخشد.[۲۵] وجود همبستگی قوی به استناد به مطالعات پیشین که نشان داده‌اند پیک فرکانس آلفا در حالت استراحت با جریان خون مغزی منطقه‌ای در نواحی مرتبط با مدولاسیون توجه و آمادگی برای دریافت ورودی‌های خارجی ارتباط دارد،[۲۷] قابل تفسیر است. به‌نظر می‌رسد پیک فرکانس آلفا بر سرعت پردازش اطلاعات تأثیر قابل‌توجهی دارد و فرکانس‌های بالاتر با زمان‌های واکنش سریع‌تر همراه هستند. این یافته در دیگر حوزه های شناختی از جمله حافظه و فرآیندهای تصمیم‌گیری که افراد با فرکانس‌های آلفای بالاتر عملکرد بهتری داشتند، نشان داده شده است.[۲۸] در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت همبستگی منفی بین پیک فرکانس آلفا و زمان‌های واکنش در میان مدالیته‌های حسی مختلف بر اهمیت نوسانات آلفا در عملکرد شناختی گوناگون تأکید دارد.

پژوهش پرون و همکارانش نیز نشان داد که تغییرات مرتبط با سن در ریتم‌های مغزی از جمله افزایش توان آلفا و پیک فرکانس آن، با بهبود عملکرد اجرایی در کودکان ارتباط دارد[۲۹]. بنابراین، پیک فرکانس آلفا علاوه بر تنوع بین‌فردی، نشان‌دهنده تغییرات درون-فردی نیز هست و در پاسخ به افزایش تقاضاهای شناختی، افزایش می‌یابد.[۳۰]

این یافته‌ها به‌طور کلی از این فرضیه پشتیبانی می‌کنند که نوسانات آلفا نقش کلیدی و بنیادی در عملکردهای شناختی ایفا می‌کنند. مطالعه حاضر نشان داد که پیک فرکانس آلفا می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی ظرفیت توجه و بازداری شناختی مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج با تحقیقات پیشین که نقش فعال نوسانات آلفا در تنظیم منابع توجه را تأیید کرده‌اند، همسو است. در آینده، تحقیقات می‌توانند به بررسی مکانیسم‌های علّی این رابطه و همچنین پیامدهای آن در جهت بهبود عملکرد شناختی توجه بپردازد.

البته باید در نظر داشت این مطالعه بر روی کودکان دبستانی غیر بالینی انجام شده است که ممکن است نتایج به‌دست آمده به‌طور کامل به جمعیت‌های بالینی یا سایر گروه‌های سنی قابل تعمیم نباشد. همینطور می‌توان تنوع فرهنگی و اجتماعی بیشتری را در نمونه مورد مطالعه مورد بررسی قرار داد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به دانش ادبیات پژوهشی موجود در مورد ارتباط پیک فرکانس آلفا با جنبه‌های مختلف توجه و بازداری در نواحی مختلف عمق بیشتری می‌دهد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پیک فرکانس آلفا در مناطق مختلف مغزی به‌طور معناداری با توجه شنیداری و دیداری و همچنین زمان واکنش مرتبط است که بر اهمیت آن در پردازش‌های شناختی تأکید می‌کند. با این حال، ارتباط پیک فرکانس آلفا با بازداری، به‌ویژه بازداری دیداری، به‌نظر می‌رسد خطی نباشد که احتمالاً نشان‌دهنده دخالت مکانیزم‌های عصبی یا باندهای فرکانسی دیگری در این زمینه است. این نتایج دانش ما را در زمینه مبانی نوروفیزیولوژیکی توجه و بازداری گسترش داده و مسیرهای جدیدی را برای تحقیقات بیشتر در مورد نقش نوسانات آلفا در عملکرد شناختی پیش رو قرار می‌دهد.

قدردانی

بدینوسیله از مریم رضاییان، حسین صفاخیل، زهره اصغریان، پروین امینی یگانه، آیدا خیاط نقدهی، کیانا عزیزی، مهدیه علیزاده چاخارلو، امیرحسین نصیری، محسن داودخانی، محسن صفاخیل، امیررضا کاتبی، معصومه حسن‌زاده تهرابند، سحر دلخواهی، کیمیا قاسم‌خانی و عرفان نظری که در گردآوری داده های پژوهش حاضر نقش داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

مشارکت پدیدآوران

این مقاله از رساله سئودا عباسی اقتباس شده است و مسئولیت انجام پژوهش، تحلیل نتایج و نگارش آکادمیکی برعهده ایشان بوده‌است. محمدعلی نظری و سمیه حیثیت طلب، در تمامی مراحل تحقیق و نگارش مقاله با ارائه راهنمایی‌های علمی و تخصصی نقش کلیدی در شکل‌گیری و هدایت این پژوهش ایفا کرده‌اند. زینب برزگر و حجت قیمتگر نیز با ارائه نظرات و پیشنهادات

ارزشمند خود در تحلیل داده‌ها مشارکت کرده‌اند. تمامی نویسندگان نسخه نهایی را مطالعه و تأیید نموده‌اند.

منابع مالی

داده‌های پژوهش حاضر با حمایت مالی انستیتو مغز ایماژ، ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی (شماره: ۱۲۲۸۶) و موسسه ملی توسعه تحقیقات علوم پزشکی ایران (نیماد) (شماره:۴۰۰۱۳۵۰) جمع‌آوری شده است.

دسترس‌پذیری داده‌ها

دسترس‌پذیری داده‌ها با مکاتبه با دکتر محمد علی نظری (nazaripsycho@yahoo.com) امکان‌پذیر است.

ملاحظات اخلاقی

تأییدیه اخلاقی از کمیته‌های اخلاق منطقه‌ای دانشگاه تبریز (شماره: IR.TBZMED.RCE.1401.069) و دانشگاه علوم پزشکی ایران (شماره: IR.IUMS.REC.1401.349) به‌ترتیب در تبریز و تهران (شامل کرج) اخذ شده است.

تعارض منافع

مؤلفان اظهار می‌کنند که منافع متقابلی از تألیف و انتشار این مقاله وجود ندارند.

References

1. da Silva FL. EEG and MEG: relevance to neuroscience. Neuron. 2013;80(5):1112-28. doi: 10.1016/j.neuron.2013.10.017
2. Thakor NV, Tong S. Advances in quantitative electroence*P*halogram analysis methods. Annu. Rev. Biomed. Eng. 2004;6(1):453-95. doi: 10.1146/annurev.bioeng.5.040202.121601
3. Kanda PA, Anghinah R, Smidth MT, Silva JM. The clinical use of quantitative EEG in cognitive disorders. Dementia & Neuropsychologia. 2009;3(3):195-203. doi: 10.1590/s1980-57642009 dn30300004
4. Cheron G, Petit G, Cheron J, Leroy A, Cebolla A, Cevallos C, et al. Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. Frontiers in psychology. 2016;7:246. doi: 10.3389/fpsyg.20 16.00246
5. Mulholland T. The concept of attention and the EEG alpha-rhythm. Electroencephalography and clinical neurophysiology. 1968;24(2):188.
6. Jensen O, Mazaheri A. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. Frontiers in human neuroscience. 2010;4:186. doi: 10.3389/fnhum.2010.00186
7. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. Brain research reviews. 1999;29(2-3):169-95. doi: 10.1016/s0165-0173 (98)00056-3
8. Angelakis E, Lubar JF, Stathopoulou S, Kounios J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. Clinical Neurophysiology. 2004;115(4):887-97. doi: 10.1016/j.clinph.2003.11.034
9. Klimesch W, Schimke H, Ladurner G, Pfurtscheller G. Alpha frequency and memory performance. Journal of Psychophysiology. 1990.
10. Angelakis E, Lubar JF, Stathopoulou S. Electroencephalographic peak alpha frequency correlates of cognitive traits. Neuroscience Letters. 2004;371(1):60-3. doi: 10.1016/j.neulet.2004.08. 041
11. Klimesch W, Doppelmayr M, Schimke H, Pachinger T. Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information. Journal of clinical neurophysiology. 1996;13(6):511-8. doi: 10.1097/00004691-199611000-00006
12. Zhang Y, Lu Y, Wang D, Zhou C, Xu C. Relationship between individual alpha peak frequency and attentional performance in a multiple object tracking task among ice-hockey players. Plos one. 2021;16(5):e0251443. doi: 10.1371/journal.pone.0251443
13. Jacobson MH. Paying attention or fatally distracted-concentration, memory, and multi-tasking in a multi-media world. Legal Writing: J. Legal Writing Inst. 2010;16:419.
14. Drewes J, Muschter E, Zhu W, Melcher D. Individual Resting-state alpha peak frequency and within-trial changes in alpha peak frequency both predict visual flash segregation performance. BioRxiv. 2020;4:2020-05. doi: 10.1101/2020.05. 11.089771
15. Busch N, Geyer T, Zinchenko A. Individual peak alpha frequency does not index individual differences in inhibitory cognitive control. Psychophysiology. 2024;61(8):e14586. doi: 10.1111/psyp.14586
16. Nazari MA. Iranian 6-11 years age population-based EEG, ERP, and cognition dataset. Synapse; 2024. Available from: doi: 10.7303/SYN64112114.
17. Sandford JA, Turner A. IVA+ plus: Integrated visual and Auditory Continuous Performance Test administration manual. Richmond, VA: Brain Train. 2004.
18. Mizokuchi K, Tanaka T, Sato TG, Shiraki Y. Alpha band modulation caused by selective attention to music enables EEG classification. Cognitive Neurodynamics. 2024;18(3):1005-20. doi: 10.1007/s11571-023-09955-x
19. Deng Y, Choi I, Shinn-Cunningham B. Topographic specificity of alpha power during auditory spatial attention. Neuroimage. 2020;207:116360. doi: 10.1016/j.neuroimage. 2019.116360

20. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. Trends in cognitive sciences. 2012;16(12):606-17. doi: 10.1016/j.tics.2012.10.007
21. Ramsay IS, Lynn PA, Schermitzler B, Sponheim SR. Individual alpha peak frequency is slower in schizophrenia and related to deficits in visual perception and cognition. Scientific reports. 2021;11(1):17852. doi: 10.1038/s41598-021-973 03-6
22. Dodds CM, Morein-Zamir S, Robbins TW. Dissociating inhibition, attention, and response control in the frontoparietal network using functional magnetic resonance imaging. Cerebral cortex. 2011;21(5):1155-65. doi: 10.1093/cercor/bhq187
23. Clements GM, Bowie DC, Gyurkovics M, Low KA, Fabiani M, Gratton G. Spontaneous alpha and theta oscillations are related to complementary aspects of cognitive control in younger and older adults. Frontiers in human neuroscience. 2021; 15:621620. doi: 10.3389/fnhum.2021.6216 20
24. Grandy TH, Werkle-Bergner M, Chicherio C, Lövdén M, Schmiedek F, Lindenberger U. Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. Neuroimage. 2013;79:10-8. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.04 .059
25. Mokhtarinejad E, Tavakoli M, Ghaderi AH. Exploring the correlation and causation between alpha oscillations and one-second time perception through EEG and tACS. Scientific Reports. 2024;14(1):8035. doi: 10.1038/s41598-024-57715-6
26. Jin YI, O'HALLORAN JP, Plon L, Sandman CA, Potkin SG. Alpha EEG predicts visual reaction time. International Journal of Neuroscience. 2006;116(9):1035-44. doi: 10.1080/002074506 00553232
27. Jann K, Koenig T, Dierks T, Boesch C, Federspiel A. Association of individual resting state EEG alpha frequency and cerebral blood flow. Neuroimage. 2010;51(1):365-72. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.024
28. Benwell CS, London RE, Tagliabue CF, Veniero D, Gross J, Keitel C, et al. Frequency and power of human alpha oscillations drift systematically with time-on-task. NeuroImage. 2019;192:101-14. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.02.067
29. Perone S, Palanisamy J, Carlson SM. Age-related change in brain rhythms from early to middle childhood: Links to executive function. Developmental science. 2018;21(6):e12691. doi: 10.1111/desc.12691
30. Haegens S, Cousijn H, Wallis G, Harrison PJ, Nobre AC. Inter-and intra-individual variability in alpha peak frequency. Neuroimage. 2014;92:46-55. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.01.049