Advances in Cognitive Sciences
Vol 26, No. 2, Summer 2024
Research Article
Pages 47-62

Electroencephalography-based neural correlates of cognitive flexibility in adults as potential biomarkers

Salehe Piryaei[1*], Parisa Rahnama ye Lashkami[2]

1. Assistant Professor, Department of Psychology, Refah University College, Tehran, Iran
2. PhD Student of Cognitive Neuroscience, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Recieved: 30 Apr. 2024
Revised: 07 Sep. 2024
Accepted: 26 Sep. 2024

Keywords
Cognitive flexibility
Biomarkers
Quantitative electroencephalography

Corresponding author
Salehe Piryaei, Assistant Professor, Department of Psychology, Refah University College, Tehran, Iran

Email: Piryaei@refah.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.26.2.47

Abstract

Introduction: Cognitive flexibility is essential for adapting to change and efficiency in everyday life. Identifying the critical precedents of cognitive flexibility is significant for both professional and academic success. This study aimed to examine the role of electrophysiological biomarkers in cognitive flexibility among young adults.

Methods: A correlational research design was employed. The target population comprised all employees of a service institution in Tehran, Iran, in 2022 (N=300). A purposive sampling method was utilized to select 53 participants from this population. Cognitive flexibility was assessed using the computerized Wisconsin Card Sorting Test (WCST). EEG recordings were performed using the MITSAR 32-Channel EEG Amplifier. Spectral power analysis of these data was conducted using MATLAB 2017 software and EEGLAB 2022 Toolbox. Data analysis was performed using SPSS-26, utilizing partial correlation analyses.

Results: A partial and significant association was found between two cognitive flexibility indicators and the left temporal lobe's absolute alpha and theta power. The results showed a negative and significant relationship between the number of categories completed indicator in the Wisconsin Card Sorting Test and the absolute power of theta in the T5 region (r=-0.471, P=0.0001) and a negative and significant relationship with the absolute power of alpha in the T5 region (r=-0.421, P=0.002). Additionally, there was a negative and significant relationship between the number of correct responses indicator and the absolute theta power in the T5 region (r=-0.423, P=0.002).

Conclusion: The findings indicated that alpha and theta band power, specifically in the left temporal region, might be crucial for integrating information from various cognitive processes and efficiently reconfiguring cognitive strategies. In this regard, this research highlights the role of the left temporal region in one of the fundamental executive functions. Moreover, examining brain wave connectivity can provide further insights into these results.

Citation: Piryaei S, Rahnama ye Lashkami P. Electroencephalography-based neural correlates of cognitive flexibility in adults as potential biomarkers. Advances in Cognitive Sciences. 2024;26(2):47-62.

Extended Abstract

Introduction

Cognitive flexibility is a critical executive function that enables individuals to adapt to change and problem-solve in new situations. A key component of cognitive flexibility is the ability to think beyond conventional frameworks, allowing for alternative solutions when initial strategies fail. This capacity for flexible thinking forms the foundation for generating innovative and creative ideas.

Cognitive flexibility is intricately linked to brain func-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

tion. Previous research has established a strong association between cognitive flexibility, prefrontal cortex activity, as well as, frontotemporal region and fronto-parietal networks, which are involved in higher-order cognitive processes. Various neuroimaging techniques have been developed to assess brain function, with Electroencephalography (EEG) emerging as a particularly promising tool for evaluation and clinical applications. The EEG and Event-Related Potentials (ERPs) allow an investigation of brain large-scale networks with millisecond precision. Therefore, high-density ERPs can capture the brain dynamics of cognitive flexibility. Furthermore, this method is non-invasive, making it particularly suitable for studying mental disorders. The EEG monitors the electrical activity within the brain using small electrodes, measuring voltage fluctuations on the scalp. Studies have demonstrated that EEG waves can serve as a predictor of cognitive performance, specifically highlighting the relevance of theta and alpha frequency bands to cognitive functions.

Cognitive flexibility plays a vital role in our daily lives, making it crucial to understand the factors that affect this ability. In this regard, Several types of biomarkers have been associated with cognitive flexibility. Neurotransmitters such as dopamine and serotonin play critical roles in modulating cognitive functions, with variations in their signaling pathways linked to changes in cognitive flexibility. Electrophysiological measures, such as ERPs and EEG, offer insights into brain activity associated with cognitive processing. EEG is considered a physiological biomarker through signal processing. Additionally, genetic and epigenetic markers provide a deeper understanding of the underlying biological mechanisms influencing cognitive flexibility. This study aims to explore the neural correlates of cognitive flexibility based on electrophysiological biomarkers assessing among employees, thereby enhancing our understanding of how individual differences in brain function impact workplace performance and adaptability.

Methods

This study utilized a correlational research design. The target population included all employees (N=300) at a telephone counseling center in Tehran. From this population, 53 participants (43 female, 10 male) were selected through the purposive sampling method. Participants were required to be over 20 years old and have no history of brain damage or seizures to be included in the study.

The study was approved by the research Ethics Committee of the Faculty of Psychology and Education of Tehran University, Iran, under the ethics code IR.UT.PSYEDU.REC.1401.083. Cognitive flexibility was measured using the Wisconsin Card Sorting Test (WCST). Brain activity was recorded using the MITSAR 32-Channel EEG Amplifier. EEG data were collected from 19 electrodes positioned according to the international 10-20 system, with the average of the channels used as a reference. The sampling rate was set at 250 Hz. To remove electrical noise at 50 Hz, a 40 Hz low-pass filter was applied, and Independent Component Analysis (ICA) was used to eliminate artifacts from the EEG signals. After preprocessing, the power of theta (4-8 Hz) and alpha (8-12 Hz) frequency bands was calculated using the Welch method.

During data collection, participants first completed the WCST. EEG data were then recorded while participants sat in a comfortable chair in a quiet room free from environmental distractions. The scalp was prepared with cleaning gels, and electrogel was applied to ensure proper electrode contact for accurate brain signal recording.

Descriptive statistics, including mean and standard deviation, were calculated. Partial correlation analyses using Bonferroni correction were conducted to examine the relationships between variables. All data analyses were conducted using SPSS-26 software.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Results

Fifty-three people (43 women and 10 men), with an average age of 27.7 years for men and 27.07 years for women, participated in this research. The results revealed significant correlations between the number of categories completed indicator in the WCST, the absolute power of theta in the T5 region (r=-0.471, P=0.0001) and a negative and significant relationship with the absolute power of alpha in the T5 region (r=-0.421, P=0.002). Furthermore, significant correlations were observed between the number of correct response indicator and the absolute theta power in the T5 region (r=-0.423, P=0.002). Partial correlation analysis revealed that, among the electrophysiological biomarkers of brain activity, alpha and theta activity in the left temporal lobe significantly related to cognitive flexibility indicators in adults.

Conclusion

In summary, the obtained findings highlighted significant relationships between brain waves and indicators of cognitive flexibility. This suggests that alpha and theta waves in this specific brain area may serve as valuable biomarkers for assessing cognitive adaptability.

However, this research has certain limitations that should be addressed in future studies. One limitation is the disproportionate number of female participants compared to male participants, which may affect the generalizability of the findings. Additionally, the study's cross-sectional design limits the ability to draw causal conclusions and assess changes over time. Future research should include a more balanced sample and employ longitudinal approaches to further elucidate biomarkers' role in cognitive flexibility.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

To comply with the ethical principles of the research, the researchers obtained written consent forms from all employees to participate in the research. The study was alsoapproved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Psychology and Education of Tehran University under the Ethics Code: IR.UT.PSYEDU.REC.1401.083.

Authors' contributions

Salehe Piryaei provided overall guidance for the research implementation and led the revision of the manuscript. Parisa Rahnama ye Lashkami was responsible for data collection, data analysis, and the initial drafting of the manuscript.

Funding

This research was conducted with personal financial resources.

Acknowledgments

The authors express their deepest gratitude to the managing director of the Heyva telephone consultation group, the executive staff, and all the employees who cooperated in implementing the research.

Conflict of interest

The authors of the present article have not reported any conflict of interest from the publication of the article.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مجله تازه‌های علوم شناختی
دوره ۲۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳
صفحات ۶۲-۴۷
مقاله پژوهشی

همبسته‌های عصبی به عنوان نشانگرهای زیستی احتمالی انعطاف‌پذیری شناختی بزرگسالان

صالحه پیریایی[1*]، پریسا رهنمای لشکامی[2]

۱. استادیار روان‌شناسی، گروه روان‌شناسی، دانشکده رفاه، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری علوم اعصاب‌شناختی، پژوهشکده علوم شناختی و مغز دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱
اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵

واژه‌های کلیدی
انعطاف‌پذیری شناختی
نشانگر زیستی
الکتروآنسفالوگرامی کمی

نویسنده مسئول
صالحه پیریایی، استادیار روان‌شناسی، دانشکده رفاه، تهران، ایران

ایمیل: Piryaei@refah.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.26.2.47

چکیده

مقدمه: انعطاف‌پذیری شناختی یکی از عوامل کلیدی در سازگاری افراد با تغییرات و حل مسئله در زندگی است. شناسایی عواملی مرتبط با این کارکرد شناختی برای موفقیت تحصیلی و شغلی بزرگسالان ضروری است. هدف پژوهش حاضر، شناسایی همبسته‌های عصبی به عنوان نشانگر زیستی الکتروفیزیولوژیک در رابطه با انعطاف‌پذیری شناختی بزرگسالان با بهره‌گیری از تکنیک‌های الکتروانسفالوگرافی کمی بود.

روش کار: طرح پژوهش از نوع همبستگی بود. جامعه آماری شامل تمامی کارکنان یک مؤسسه خصوصی خدماتی در تهران در سال ۱۴۰۱ به تعداد ۳۰۰ نفر بود. تعداد ۵۳ نفر با روش نمونه‌گیری هدفمند از این جامعه به عنوان نمونه انتخاب شدند. به منظور جمع‌آوری داده‌ها از نسخه رایانه‌ای آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین استفاده شد. ثبت امواج مغزی با استفاده از دستگاه (۳۲ کاناله) MITSAR-۲۰۲ صورت گرفت. تحلیل طیفی توان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ۲۰۱۷ و تولباکس EEG LAB نسخه ۲۰۲۲ انجام شد. داده‌ها با روش همبستگی تفکیکی و با تصحیح بنفرونی در نرم‌افزار SPSS-26 تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که فعالیت امواج آلفا و تتا در ناحیه گیجگاهی چپ رابطه معناداری با شاخص تعداد طبقات و تعداد پاسخ‌های درست دارد. مطابق با یافته پژوهش حاضر بین شاخص طبقات از آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان مطلق تتا در ناحیه T۵ پس از کنترل جنسیت و سن رابطه منفی و معنادار (r=-۰/۴۷۱، P=۰/۰۰۰۱) و با توان مطلق آلفا در ناحیه T۵ رابطه منفی و معنادار (r=-۰/۴۲۱، P=۰/۰۰۲) وجود داشت. همچنین بین شاخص تعداد پاسخ درست از آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان مطلق تتا در ناحیه T۵ رابطه منفی و معنادار (r=-۰/۴۲۳، P=۰/۰۰۲) وجود داشت.

نتیجه‌گیری: یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر نقش فعالیت امواج آلفا و تتا در ناحیه گیجگاهی چپ مغز در انعطاف‌پذیری شناختی بود. به عبارتی، افرادی که فعالیت امواج آلفا و تتای قوی‌تری در ناحیه گیجگاهی چپ دارند، نیازمند مداخلات توانمندسازی شناختی ویژه‌ای به منظور مدیریت بهتر منابع شناختی و انعطاف‌پذیری نسبت به گزینه‌ها و مسائل پیشرو هستند.

مقدمه

سازگاری با شرایط متغیر زندگی روزمره برای موفقیت و سلامت افراد در عصر حاضر به امری ضروری تبدیل شده است. انعطاف‌پذیری شناختی (Cognitive flexibility) به عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم کارکردهای اجرایی (Executive functions) به افراد امکان انطباق تفکر و رفتار خود در پاسخ به شرایط و چالش‌های جدید را می‌دهند (۱) و آنها را قادر می‌سازد تا در مواجهه با محیط‌های متغیر به طور دقیق و کارآمد واکنش نشان دهند (۲). در سال‌های اخیر روش‌هایی مانند الکتروانسفالوگرافی (Electroencephalography (EEG)) به عنوان یک روش غیرتهاجمی و با دقت زمانی بالا، امکان بررسی همبسته‌های عصبی انعطاف‌پذیری شناختی را فراهم کرده است (۳).

به باور Hohl و Dolco (۲۰۲۴) ارائه یک تعریف مشخص و واحد از انعطاف‌پذیری شناختی بسیار دشوار است (۱) و با توجه به تنوع

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

تعاریف ارائه شده از این سازه در پیشینه پژوهشی، می‌توان گستره‌ای از عناوین مانند انعطاف‌پذیری روان‌شناختی (Psychological flexibility) (۴، ۵)، انعطاف‌پذیری مقابله‌ای (Coping flexibility) (۶)، انعطاف‌پذیری ذهنی (Mental flexibility) (۷) و انعطاف‌پذیری تبیینی (Explanatory flexibility) (۸) را در نظر گرفت. همچنین سازه انعطاف‌پذیری از منظر علوم اعصاب در دو بُعد شناختی (آمادگی ذهنی برای تغییر بین استراتژی‌های مختلف در پاسخ به تغییرات) (۹) و رفتاری (ظرفیت تغییر سازگارانه رفتار در تعامل با الزامات محیط) (۱۰) قابل‌بررسی است.

در طبقه‌بندی دیگر می‌توان انعطاف‌پذیری شناختی را به عنوان یک توانایی (Ability)، نوعی مهارت (Skill)، یک حالت شناختی (Property of cognitive states)، صفت شخصیتی و همچنین دستاورد مهم خلاقیت و تفکر واگرا (Divergent thinking) در نظر گرفت. به نظر می‌رسد متداول‌ترین تعریف این سازه در مدل Miyake و همکاران (۲۰۰۰) ارائه شده است که انعطاف‌پذیری شناختی را به عنوان یک توانایی و جنبه محوری کارکردهای اجرایی در نظر می‌گیرد که به فرد در جابه‌جایی سریع بین تکالیف و اهداف مختلف کمک می‌کند (۱۱). به عبارتی، انعطاف‌پذیری شناختی زمینه ایجاد یک تغییر کارآمد متناسب با شرایط را فراهم کرده و تسهیل‌کننده رفتار انطباقی و هدف‌گرا است. به عنوان مثال، انعطاف‌پذیری شناختی به فرد کمک می‌کند تا راه‌حل‌های مختلفی را برای حل یک مشکل یا مسئله در نظر بگیرد و رفتارها و عادات خود را در شرایط مختلف و متناسب با موقعیت تغییر دهد. این مفهوم در بهبود تعاملات اجتماعی به واسطه قابلیت فرد در تغییر جهت مسیر بحث و گفتگو متناسب با شرایط کمک می‌کند و عملکرد و تأثیرگذاری اجتماعی فرد را افزایش خواهد داد (۱۲).

انعطاف‌پذیری شناختی علاوه بر فراهم نمودن امکان پاسخ‌دهی مناسب به تغییرات محیطی با پیامدهای مثبت در زندگی شغلی و تحصیلی فرد نیز ارتباط دارد (۱۳). در این راستا، مطالعات نشان دادند انعطاف‌پذیری شناختی به عنوان یک کارکرد اجرایی مهم، تسهیل‌کننده رفتار هدفمند در بزرگسالی است و به پیامدهای مثبتی همچون عملکرد تحصیلی بالا، عملکرد شناختی قوی و استقلال در بزرگسالی می‌انجامد (۱۴). انعطاف‌پذیری شناختی علاوه بر موفقیت تحصیلی تأثیرات قابل‌توجهی بر جنبه‌های مختلف عملکرد فرد در زندگی روزمره مانند بهزیستی روان‌شناختی (۱۵)، تاب‌آوری در برابر رویدادهای استرس‌زا و منفی در بزرگسالی (۱۶) و همچنین افزایش کیفیت زندگی در دوره سالمندی (۱۷) دارد و می‌تواند به عنوان یک عامل محافظتی در برابر اثرات آسیب‌رسان استرس‌های محیطی در محیط آموزشی عمل کند (۱۸).

به طور کلی می‌توان انعطاف‌پذیری شناختی را امکانی برای تنظیم مناسب افکار و رفتارها در پاسخ به نیازهای متغیر محیطی در نظر گرفت (۱۰).

مرور پیشینه پژوهشی بیانگر آن است که مکانیسم‌های عصبی (Brain mechanisms) مرتبط با انعطاف‌پذیری شناختی در مطالعات مختلف با استفاده از روش‌های تصویربرداری عصبی و رفتاری غیرتهاجمی (Non-invasive) و همچنین مطالعات دارویی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۱۰). به نظر می‌رسد که انعطاف‌پذیری شناختی در طول زندگی، از دوران کودکی تا بزرگسالی، یک مسیر رشدی U شکل معکوس را دنبال می‌کند که در دهه دوم و سوم زندگی به اوج خود رسیده و سپس در اواخر عمر کاهش می‌یابد (۱۹). از منظر علوم اعصاب، فعالیت درونی (Intrinsic activity) مغز اطلاعات ارزشمندی درباره خاستگاه عصب‌شناختی عملکرد شناختی ارائه می‌دهد (۲۰). یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که انعطاف‌پذیری شناختی ارتباط نزدیکی با فعالیت قشر پیش‌پیشانی (Prefrontal cortex) (۲۱)، شبکه پیشانی_آهیانه‌ای (Frontoparietal network) توزیع شده در مغز (۲۲) و همچنین ناحیه آهیانه‌ای_گیجگاهی (frontotemporal) (۲۳) دارد. مطالعات دیگر نقش قشر پیش‌پیشانی، سینگولیت پشتی قدامی (Dorsal anterior cingulate) و قشر آهیانه‌ای در کارکردهای اجرایی را مورد تأکید قراردادند و این یافته‌ها از این ایده که کارکردهای اجرایی توسط یک شبکه کنترل شناختی قوی در مغز هدایت می‌شوند؛ حمایت می‌کند (۲۴).

از سویی، تنوع تعاریف مفهومی انعطاف‌پذیری شناختی در رویکردهای مختلف منجر به ایجاد چالش‌های مهمی در مسیر ارزیابی و اندازه‌گیری این سازه شده است. از جمله رایج‌ترین روش‌های ارزیابی شناختی می‌توان تکالیف نوروسایکولوژیک (Neuropsychological tasks) و پرسشنامه‌های خودگزارشی اشاره نمود (۴). با این وجود، شواهد اخیر بیانگر وجود ارتباط ضعیف میان نتایج حاصل از تکنیک‌های ارزیابی متفاوت در فراتحلیل‌های مختلف (۲۵-۲۷) است. در این راستا رویکرد علوم اعصاب با شناسایی مکانیسم‌های عصبی زیربنای انعطاف‌پذیری شناختی، تلاش نظام‌مندی در جهت تکمیل نتایج ارزیابی‌های انجام شده توسط تکالیف نوروسایکولوژیک و پرسشنامه‌های خود گزارشی داشته است (۱). در پیشینه پژوهشی به چهار نوع نشانگر زیستی شامل نشانگر بیوشیمیایی (Biochemical)، نشانگر ژنتیکی (Genetic)، نشانگر تصویربرداری عصبی (Neuroimaging) و نشانگر الکتروفیزیولوژیک (Electrophysiological biomarker) به عنوان شاخص‌های مهم ارزیابی کارکردهای شناختی مغز اشاره شده است

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

(۲۸). نشانگرهای زیستی الکتروفیزیولوژیک از طریق تکنیک EEG قابل ارزیابی هستند.

EEG یکی از تکنیک‌های تصویربرداری عصبی است که با استفاده از حسگرها، نوسانات ولتاژی مغز را ثبت می‌کند و به عنوان ابزاری بالینی برای بررسی نوسانات مغزی و ارتباط آنها با شناخت و رفتار انسان شناخته شده است (۲۹). تکنیک‌های EEG، غیرتهاجمی، مقرون به صرفه و در دسترس هستند و به طور مستقیم به ارزیابی فعالیت عصبی با دقت و وضوح بالا می‌پردازند (۳۰، ۳۱). بر این اساس می‌توان داده‌های حاصل از ثبت و پردازش EEG را به عنوان شاخصی از نشانگرهای زیستی مرتبط با انعطاف‌پذیری شناختی مؤثر و کاربردی دانست (۳۲).

مطالعات اخیر تصویربرداری عصبی، بر اهمیت فعالیت نوسانی مغز، به ویژه در باندهای فرکانسی آلفا (۱۲-۸ هرتز) و تتا (۷-۴ هرتز)، در پشتیبانی از این فرآیند شناختی تأکید داشته‌اند (۳۳). نوسانات آلفا از طریق کنترل بالا به پایین (top-down) و همچنین بازداری از تداخل اطلاعات نامرتبط در زمان انجام وظایف، به فرد در تخصیص و توزیع منابع محدود توجه خود در فعالیت‌های مختلف کمک می‌کند و انعطاف‌پذیری شناختی را افزایش می‌دهد (۳۴). نوسانات تتا نیز با فرآیندهای کنترل مهاری (Inhibitory control) و حافظه فعال (Working memory) مرتبط است که هر دو برای انعطاف‌پذیری شناختی موفق ضروری هستند (۳۵). مطالعات در زمینه EEG حاکی از افزایش توان موج تتای میانی پیشانی (frontal Midline theta power) در زمان جابه‌جایی میان چند تکلیف بودند که نشان‌دهنده تأثیرگذاری آن در تشخیص تعارض شناختی و اجرای مکانیسم‌های کنترلی است (۳۶). بر این اساس، تعامل بین فعالیت باندهای آلفا و تتا برای حفظ تعادل بین ثبات و انعطاف‌پذیری در پردازش شناختی ضروری است و امکان سازگاری کارآمد با موقعیت‌های جدید و الزامات وظیفه را فراهم می‌کند (۳۷).

هر چند شواهد پژوهشی بین‌المللی و داخلی متعددی حاکی از روش‌های متفاوت ارزیابی انعطاف‌پذیری شناختی بزرگسالان است اما محدودیت‌های موجود در روش‌های رایج ارزیابی شناختی فعلی (۳۲) و تأثیرپذیری این روش‌ها از عوامل مزاحم مانند خستگی، حواس‌پرتی و ... (۳۸)، ضرورت وجود یک روش ارزیابی دقیق و جایگزین را برجسته می‌سازد.

در این راستا، هدف پژوهش حاضر، بررسی نقش همبسته‌های عصبی به ویژه نوسانات QEEG به عنوان نشانگرهای زیستی در رابطه با انعطاف‌پذیری شناختی بزرگسالان است. نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های عصبی حاکم بر انعطاف‌پذیری شناختی و همچنین توسعه ابزارهای ارزیابی و درمانی در جهت ارتقاء عملکرد اجرایی در جمعیت‌های مختلف کمک کند. این امر به ویژه در محیط‌های شغلی و تحصیلی که نیازمند تصمیم‌گیری‌های سریع و تطبیق‌پذیری بالا هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

روش کار

طرح پژوهش حاضر از نوع همبستگی است. جامعه آماری این مطالعه شامل تمامی کارکنان یکی از مؤسسات خدماتی خصوصی منطقه ۲ تهران به تعداد ۳۰۰ نفر بود. تعداد ۵۳ نفر (زن و مرد) با روش نمونه‌گیری هدفمند از میان اعضای جامعه آماری، به عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. معیارهای ورود به پژوهش شامل عدم سابقه تشنج، نداشتن ضربه به سر، عدم سابقه بیماری روان‌پزشکی و سن بالای ۲۰ سال بود. این پژوهش با کد اخلاق IR.UT.PSYEDU.REC.1401.083 در دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی دانشگاه تهران به تصویب رسیده است.

ابزارهای پژوهش

آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین (Wisconsin (WCST) Card Sorting Test) یک تکلیف عصب‌روان‌شناختی است که برای ارزیابی توانایی فرد در استنباط قواعد برای هدایت رفتار، ایجاد مجموعه‌های توجه مبتنی بر مقوله‌های انتزاعی، و تغییر توجه و تنظیم رفتار با تغییر نیازهای تکلیف طراحی‌شده است (۳۹). این آزمون به طور گسترده برای سنجش انعطاف‌پذیری شناختی و جنبه‌های مختلف عملکرد اجرایی در پژوهش‌های روان‌شناختی و عصب‌شناختی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴۰). در این آزمون، چهار کارت نمونه در بالای صفحه نمایش قرار می‌گیرند که از نظر ویژگی‌هایی همچون شکل (صلیب، دایره، مربع، و ستاره)، رنگ (سبز، زرد، آبی، و قرمز) و تعداد اشکال (یک تا چهار عدد) با یکدیگر متفاوت هستند. در پایین صفحه، کارت دیگری نمایش داده می‌شود و آزمودنی باید بر اساس قانونی که حدس می‌زند (رنگ، تعداد یا شکل) کارت مشابه را انتخاب کند. این آزمون تا نمایش ۶۴ کارت ادامه پیدا می‌کند (۴۱). در ابتدا، فرد باید بر اساس حدس عمل کند؛ اگر حدس او درست باشد، رایانه یک علامت تیک سبز نشان می‌دهد و آزمودنی برای کوشش‌های بعدی نیز باید با استفاده از همان حدس عمل کند. اما اگر علامت ضربدر نمایش داده شود، به این معنی است که حدس فرد غلط بوده و او باید استراتژی خود را تغییر دهد تا به استراتژی صحیح دست یابد. زمانی که الگوی

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

صحیح شناسایی شد، فرد باید به آن پایبند باشد تا زمانی که رایانه استراتژی را تغییر دهد. از میان شاخص‌های مختلفی که از این آزمون به دست می‌آید، سه شاخص اصلی شامل پاسخ‌های درست، خطای در جاماندگی (Perseverative error)، و تعداد طبقات تکمیل‌شده (Number of categories completed) به طور معمول برای ارزیابی انعطاف‌پذیری شناختی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر از نسخه نرم‌افزاری این آزمون که توسط مرکز پژوهشی علوم اعصاب‌شناختی و رفتاری دانشگاه شهید بهشتی تهیه شده است، استفاده شد. در مطالعه نوذری و همکاران (۱۳۹۸)، پایایی این آزمون با استفاده از روش بازآزمایی برای تعداد طبقات ۰/۷۷ و برای خطای در جاماندگی ۰/۹۲ گزارش شده است (۴۲).

ثبت سیگنال‌های EEG

در این پژوهش، برای ثبت سیگنال‌های مغزی از دستگاه MITSAR-۲۰۲ و نرم‌افزار Win-EEG استفاده شد. ثبت سیگنال‌های EEG از طریق ۱۹ الکترود که طبق سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ بر روی پوست سر قرارگرفته بودند، صورت گرفت. این سیستم استاندارد به منظور بهینه‌سازی ثبت سیگنال‌های مغزی از نقاط مختلف سر و فراهم آوردن یک نقشه کامل از فعالیت‌های الکتریکی قشر مغز به کار گرفته می‌شود. الکترودها به صورت یکنواخت بر روی نواحی ۱۹ گانه مغزی توزیع شدند تا پوشش کاملی از فعالیت‌های مغزی را ارائه دهند. همچنین، قبل از آغاز ثبت، امپدانس الکترودها به زیر ۵ کیلو اهم تنظیم شد تا کیفیت سیگنال‌های ثبت شده بهینه شود.

پردازش سیگنال EEG

برای تحلیل داده‌های EEG در این پژوهش، از نرم‌افزار MATLAB ۲۰۱۷ و تولباکس EEGLAB نسخه ۲۰۲۲ استفاده شد. سیگنال‌های EEG با نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰ (Sampling rate) هرتز ثبت شدند تا از دقت و وضوح بالای داده‌ها اطمینان حاصل شود. برای حذف نویز برق شهر با فرکانس ۵۰ هرتز که ممکن است در سیگنال‌ها ظاهر شود، از فیلتر پایین‌گذر (Low-pass filter) با فرکانس قطع ۴۰ هرتز استفاده شد. این فیلتر به طور مؤثری نویزهای ناشی از منابع الکتریکی را حذف کرده و داده‌ها را برای تحلیل بیشتر پاک‌سازی کرد.

به منظور حذف آرتیفکت‌ها (مصنوعات) از سیگنال‌های EEG، از روش تجزیه و تحلیل اجزای مستقل (Independent component analysis (ICA)) استفاده شد. روش ICA یک تکنیک قدرتمند در پردازش سیگنال‌های مغزی است که به طور مؤثری می‌تواند اجزای مختلف سیگنال مانند آرتیفکت‌های ناشی از حرکات چشم، فعالیت‌های عضلانی، و ضربان قلب را جدا کند (۴۳). پس از اعمال ICA، سیگنال‌ها به طور چشمی بررسی شدند تا هرگونه بخش غیرطبیعی که ممکن است از نظر تکنیکی قابل شناسایی نباشد، شناسایی و حذف شود. پس از پاک‌سازی سیگنال‌ها از نویز و آرتیفکت‌ها، از روش ولچ (Welch) برای محاسبه توان طیفی امواج EEG استفاده شد. روش ولچ (Welch) یکی از روش‌های پرکاربرد و معتبر برای تخمین طیف توان است و در این پژوهش برای تحلیل باندهای فرکانسی مختلف سیگنال‌های EEG مورداستفاده قرار گرفت (۴۴). طور خاص، در این پژوهش، تمرکز اصلی بر روی باندهای تتا (۸-۴ هرتز) و آلفا (۱۲-۸ هرتز) بود که به عنوان شاخص‌های کلیدی در بررسی انعطاف‌پذیری شناختی شناخته می‌شوند

شیوه اجرای پژوهش

شیوه اجرای پژوهش به این صورت بود که ابتدا هر یک از شرکت‌کنندگان آزمون انعطاف‌پذیری شناختی (آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین) را انجام دادند. پس از اتمام آزمون، شرکت‌کنندگان در یک اتاق ساکت و دور از شلوغی و عوامل مزاحم محیطی روی یک صندلی راحت نشسته و آماده ثبت امواج مغزی شدند. ابتدا پوست سر شرکت‌کنندگان با استفاده از ژل‌های تمیزکننده، پاک‌سازی شد و برای برقراری ارتباط بهینه بین الکترودها و پوست سر از الکتروژل استفاده گردید.

پیش از شروع ثبت سیگنال، به آزمودنی‌ها نکات مهمی که باید در حین ثبت رعایت کنند توضیح داده شد. این نکات شامل خودداری از پلک زدن، عدم حرکت بدن، فشار ندادن دندان‌ها، صحبت نکردن، و حرکت ندادن چشم‌ها بود. از هر شرکت‌کننده به مدت پنج دقیقه در حالت استراحت با چشمان باز ثبت EEG گرفته شد تا سیگنال‌های پایه‌ای مغزی جمع‌آوری شود. این داده‌ها سپس برای تحلیل بیشتر و استخراج اطلاعات مرتبط با انعطاف‌پذیری شناختی مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته‌ها

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و یافته‌های توصیفی متغیرهای پژوهش حاضر شامل میانگین و انحراف معیار در جدول ۱ ارائه شده است.

مطابق با جدول ۱ میانگین سنی گروه نمونه در مردان (۲۷/۷) و در زنان (۲۷/۰۷) بود. میانگین شاخص‌های آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین به ترتیب درشاخص‌های خطای در جاماندگی ۹/۲۳، طبقات ۴/۱۹ و تعداد پاسخ درست معادل ۴۵/۶۰ بود.

به منظور ارزیابی رابطه بین نشانگرهای الکتروفیزیوژیک (شاخص‌های EEG) با انعطاف‌پذیری شناختی با کنترل جنسیت و سن شرکت‌کنندگان از روش تحلیل همبستگی تفکیکی استفاده

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

شد. تصحیح بنفرونی به منظور کنترل عامل مثبت کاذب (False positive) در مقایسه‌های چندگانه مورد استفاده قرار گرفت و براین اساس سطح معناداری آماری با احتساب مجموعه تعداد مقایسه‌ها (۱۹ نقطه) (۰/۰۵/۱۹) معادل P<۰/۰۰۲۶ برآورد گردید. در جدول ۲ نتایج ضریب همبستگی تفکیکی بین شاخص‌های انعطاف‌پذیری شناختی در آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین (خطای در جاماندگی، تعداد طبقات و تعداد پاسخ درست) با فعالیت امواج تتا و آلفا به عنوان نشانگرهای الکتروفیزیووژیک انعطاف‌پذیری شناختی در نواحی ۱۹گانه مغزی ارائه شده است. در ادامه نمودار Scatter plot رابطه بین شاخص‌های آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با نشانگرهای الکتروفیزیووژیک (P<۰/۰۰۲۶) در شکل ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و یافته‌های توصیفی

جنسیت	مرد	۱۰ (۱۸/۹٪)
	زن	۴۳ (۸۱/۱٪)
		میانگین ± انحراف معیار
سن	مرد	۲۷/۷ ± ۶/۲
	زن	۲۷/۰۷ ± ۵/۱۲
		میانگین ± انحراف معیار
شاخص‌های آزمون WCST	خطای در جاماندگی	۹/۲۳ ± ۴/۸۲
	طبقات	۴/۱۹ ± ۱/۰۶
	تعداد پاسخ درست	۴۵/۶۰ ± ۱۰/۱۵

مطابق با جدول ۲ بین شاخص طبقات در آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان مطلق تتا در ناحیه T5 پس از کنترل جنسیت و سن رابطه منفی و معنادار (r=-۰/۴۷۱، P=۰/۰۰۰۱) و با توان مطلق آلفا در ناحیه T5 رابطه منفی و معنادار (r=-۰/۴۲۱، P=۰/۰۰۲) وجود داشت. همچنین رابطه منفی و معنادار بین شاخص تعداد پاسخ درست در آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان مطلق تتا در ناحیه T5 (r=-۰/۴۲۳، P=۰/۰۰۲) محاسبه گردید. در شکل ۱ نمودار پراکندگی در رابطه‌های معنادار بین شاخص طبقات با توان تتا و آلفا در ناحیه T5 و همچنین شاخص تعداد پاسخ درست با توان تتا ناحیه T5 ارائه شده است.

جدول ۲. ضرایب همبستگی تفکیکی بین نشانگرهای الکتروفیزیولوژیک با شاخص‌های انعطاف‌پذیری شناختی (WCST)

توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین			توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین		
	خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست		خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست
FP1 (تتا)				**FP1 (آلفا)**			
R	۰/۰۴۳	-۰/۱۷۳	-۰/۱۲	R	۰/۰۱۲	-۰/۲۵۱	-۰/۱۹۵
P_{bon}	۰/۷۶۴	۰/۲۲۴	۰/۴	P_{bon}	۰/۹۳۵	۰/۰۷۵	۰/۱۷۱
FP2 (تتا)				**FP2 (آلفا)**			
R	-۰/۰۸۹	-۰/۲۹۹	-۰/۲۵۹	R	۰/۰۳	-۰/۳۹	-۰/۳۵۹
P_{bon}	۰/۵۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۶۶	P_{bon}	۰/۸۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین			توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین		
	خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست		خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست
F7 (تتا)				F7 (آلفا)			
R	-۰/۰۵۹	-۰/۲۲	-۰/۱۶۷	R	۰/۰۴۵	-۰/۲۶۷	-۰/۲۴۱
P_{bon}	۰/۶۸۲	۰/۱۲۲	۰/۲۴	P_{bon}	۰/۷۵۶	۰/۰۵۸	۰/۰۸۹
F3 (تتا)				F3 (آلفا)			
R	۰/۰۵۸	-۰/۲۳۱	-۰/۱۷۳	R	۰/۱۳	-۰/۳۳۲	-۰/۳۰۶
P_{bon}	۰/۶۸۶	۰/۱۰۳	۰/۲۲۶	P_{bon}	۰/۳۶۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹
Fz (تتا)				Fz (آلفا)			
R	۰/۰۲۲	-۰/۲۳۳	-۰/۱۴۲	R	۰/۱۳۱	-۰/۳۷۳	-۰/۳۳۹
P_{bon}	۰/۸۷۹	۰/۰۹۹	۰/۳۱۹	P_{bon}	۰/۳۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵
F4 (تتا)				F4 (آلفا)			
R	-۰/۰۳۶	-۰/۲۳۲	-۰/۱۹۴	R	۰/۰۹۵	-۰/۳۲۱	-۰/۳۱۱
P_{bon}	۰/۸	۰/۱۰۱	۰/۱۷۳	P_{bon}	۰/۵۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷
F8 (تتا)				F8 (آلفا)			
R	-۰/۰۰۹	-۰/۱۷۴	-۰/۲	R	۰/۰۳۷	-۰/۲۶۵	-۰/۲۷۶
P_{bon}	۰/۹۵۱	۰/۲۲۱	۰/۱۶	P_{bon}	۰/۷۹۶	۰/۰۶	۰/۰۵
C3 (تتا)				C3 (آلفا)			
R	-۰/۰۸۳	-۰/۰۹۳	-۰/۰۸۱	R	۰/۰۲۲	-۰/۱۷۴	-۰/۱۸۶
P_{bon}	۰/۵۶۱	۰/۵۱۵	۰/۵۷	P_{bon}	۰/۸۷۶	۰/۲۲۲	۰/۱۹۲
Cz (تتا)				Cz (آلفا)			
R	-۰/۰۶۱	-۰/۱۴۲	-۰/۰۸	R	۰/۰۵۹	-۰/۲۷۸	-۰/۲۴۹
P_{bon}	۰/۶۷۱	۰/۳۲	۰/۵۷۵	P_{bon}	۰/۶۸۳	۰/۰۴۸	۰/۰۷۸
C4 (تتا)				C4 (آلفا)			
R	-۰/۰۸۴	-۰/۲۱	-۰/۱۴۲	R	۰/۰۷۳	-۰/۲۶۵	-۰/۲۳۹
P_{bon}	۰/۵۵۶	۰/۱۴	۰/۳۲	P_{bon}	۰/۶۱۲	۰/۰۶	۰/۰۹۱
T3 (تتا)				T3 (آلفا)			
R	-۰/۱۱۵	-۰/۱۸	-۰/۰۹۴	R	-۰/۰۰۹	-۰/۲۳۳	-۰/۱۷۲
P_{bon}	۰/۴۲	۰/۲۰۶	۰/۵۱۱	P_{bon}	۰/۹۵	۰/۱	۰/۲۲۷

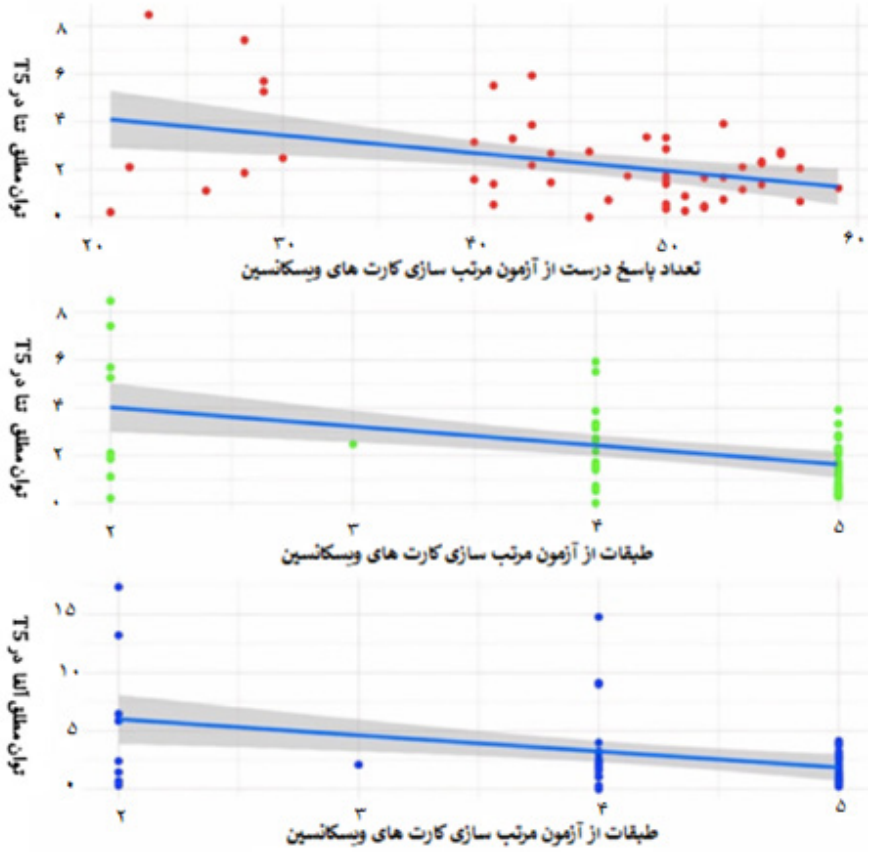
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین			توان مطلق	آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین		
	خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست		خطای در جاماندگی	طبقات	تعداد پاسخ درست
T4 (تتا)				T4 (آلفا)			
R	-۰/۱۷۳	-۰/۱۹۸	-۰/۱۷	R	-۰/۰۴۵	-۰/۳	-۰/۲۶۸
P_{bon}	۰/۲۲۳	۰/۱۶۵	۰/۲۳۳	P_{bon}	۰/۷۵۲	۰/۰۳۳	۰/۰۵۸
T5 (تتا)				T5 (آلفا)			
R	۰/۱۷۱	-۰/۴۷۱*	-۰/۴۲۳*	R	۰/۱۴۱	-۰/۴۲۱*	-۰/۳۹۷
P_{bon}	۰/۲۲۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	P_{bon}	۰/۳۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
T6 (تتا)				T6 (آلفا)			
R	-۰/۱۳۳	-۰/۳۴	-۰/۲۹۹	R	۰/۰۱۵	-۰/۴۰۸	-۰/۳۶۷
P_{bon}	۰/۳۵۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۳	P_{bon}	۰/۹۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
P3 (تتا)				P3 (آلفا)			
R	۰/۱۰۷	-۰/۳۲۵	-۰/۲۶۵	R	۰/۱۴۵	-۰/۳۳۴	-۰/۲۹۲
P_{bon}	۰/۴۵۵	۰/۰۲	۰/۰۶۱	P_{bon}	۰/۳۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۳۷
Pz (تتا)				Pz (آلفا)			
R	۰/۰۷۷	-۰/۲۸۲	-۰/۲۶	R	۰/۱۳	-۰/۳۳۱	-۰/۲۸۳
P_{bon}	۰/۵۹	۰/۰۴۵	۰/۰۶۶	P_{bon}	۰/۳۶۳	۰/۰۱۸	۰/۰۴۴
P4 (تتا)				P4 (آلفا)			
R	۰/۱۵۴	-۰/۴	-۰/۳۲۵	R	۰/۱۹۷	-۰/۳۹۵	-۰/۳۲۸
P_{bon}	۰/۲۸۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲	P_{bon}	۰/۱۶۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۹
O1 (تتا)				O1 (آلفا)			
R	-۰/۱۱۳	-۰/۲۱۹	-۰/۱۴۹	R	-۰/۰۳۸	-۰/۲۹۶	-۰/۲۷۶
P_{bon}	۰/۴۳۱	۰/۱۲۳	۰/۲۹۶	P_{bon}	۰/۷۹۲	۰/۰۳۵	۰/۰۵
O2 (تتا)				O2 (آلفا)			
R	-۰/۱۲۱	-۰/۲۲۹	-۰/۱۶۴	R	-۰/۰۴۲	-۰/۳۰۶	-۰/۲۹۴
P_{bon}	۰/۳۹۶	۰/۱۰۷	۰/۲۵	P_{bon}	۰/۷۶۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۶

R: ضریب همبستگی تفکیکی

P_{bon}: سطح معناداری پس از تصحیح بنفرونی

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License



شکل ۱. همبستگی بین نشانگرهای الکتروفیزیولوژیک با شاخص‌های انعطاف‌پذیری شناختی (WCST)

همان‌گونه که در شکل ۱ قابل مشاهده است رابطه منفی بین تعداد پاسخ درست از آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان موج تتا در ناحیه T۵ دیده می‌شود. بین شاخص طبقات آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین با توان موج تتا و آلفا در ناحیه T۵ نیز رابطه منفی مشاهده شد. رابطه منفی بین نشانگرهای الکتروفیزیولوژیک با شاخص‌های انعطاف‌پذیری شناختی بیانگر آن است که با افزایش توان موج آلفا و تتا در ناحیه T۵، عملکرد آزمودنی در شاخص طبقات آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین کاهش می‌یابد. همچنین افزایش توان موج تتا در ناحیه T۵ نیز با کاهش عملکرد در شاخص تعداد پاسخ درست آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین همراه است.

بحث

هدف پژوهش حاضر بررسی همبسته‌های عصبی انعطاف‌پذیری شناختی (شاخص‌های آزمون WCST) با استفاده از تکنیک الکتروانسفالوگرافی کمی بود. یافته‌های پژوهش حاضر در نمونه بزرگسالان بعد از کنترل جنسیت و سن و همچنین تصحیح بنفرونی در سطح معناداری ضرایب همبستگی تفکیکی، حاکی از وجود رابطه معنادار میان امواج آلفا و تتا در ناحیه گیجگاهی (T۵) و شاخص تعداد طبقات درست در آزمون WCST بود. همچنین امواج آلفا در این ناحیه (T۵) نیز با شاخص تعداد طبقات درست در آزمون مرتب‌سازی کارت‌های ویسکانسین مرتبط بودند.

یافته‌های پژوهش حاضر از سویی در راستای مطالعات پیشین مبنی بر کارکرد ناحیه گیجگاهی در انعطاف‌پذیری شناختی و جابه‌جایی تکلیف (Task switching) بود (۴۵) و مطالعات دیگر نیز با استفاده از تکنیک‌های EEG به نقش این ناحیه در عملکردهای عالی مغز مانند کنترل مهاری (۴۶)، خلاقیت و رفتار هدفمند (۴۷) تأکید داشته‌اند. در مقابل، مطالعات متعددی به کارکرد ناحیه پیشانی و پیش‌پیشانی در عملکرد افراد در آزمون WCST اشاره کرده‌اند و این ناحیه را به عنوان مرکز انعطاف‌پذیری شناختی معرفی کرده‌اند (۴۸).

در تبیین این یافته می‌توان به ارتباطات دوسویه میان لوب گیجگاهی با لوب‌های قشری و زیر قشری (Subcortical) ناحیه پیش‌پیشانی به ویژه در عملکرد پیچیده شناختی مغز اشاره کرد (۴۹). همچنین مطالعات در گروه بیماران نشان‌دهنده عملکرد قوی‌تر نیمکره چپ در انعطاف‌پذیری شناختی در شاخص‌های آزمون WCST بود (۵۰).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

به باور Mastria و همکاران (۲۰۲۱) (۵۱) عملکرد فرد در تکلیف انعطاف‌پذیری شناختی مبتنی بر مکانیسم‌های شناختی مجزایی است که نه تنها خاستگاه جابه‌جایی تکلیف در مغز بلکه سایر منابع شناختی در نیمکره‌های راست و چپ را درگیر می‌کند. همچنین یافته‌های عصب‌شناختی متعدد بیانگر وجود تفاوت‌های عملکردی نیمکره راست و چپ به ویژه در ناحیه گیجگاهی است (۵۲، ۵۳). مطالعات پیشین نتایج ناهمسانی در خصوص خاستگاه عملکرد افراد در آزمون WCST در ناحیه گیجگاهی راست و چپ گزارش کرده‌اند (۵۴). بررسی تفاوت‌های عملکردی نیمکره راست و چپ در انعطاف‌پذیری شناختی به ویژه در شاخص‌های خطای در جاماندگی و تعداد طبقات درست در افراد قابل توجه است (۵۱). می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هر چند ناحیه پیشانی به خصوص قشر پیش‌پیشانی برای عملکرد قوی در آزمون WCST ضروری است (۵۵) اما مشارکت سایر نواحی نیز در عملکرد انعطاف‌پذیری شناختی مؤثر هستند (۲۳).

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی اهمیت امواج آلفا و تتا در ناحیه گیجگاهی چپ در عملکرد فرد در شاخص‌های تعداد طبقات و تعداد پاسخ‌های صحیح آزمون WCST بود. که همسو با برخی یافته‌های مطالعات پیشین بود (۴۸، ۵۸-۵۶). در تبیین این یافته می‌توان به نتایج مطالعات متعدد با روش EEG اشاره کرد که حاکی از تأثیر مستقیم فعالیت امواج آلفا با شبکه‌های پیش‌فرض و خود ارجاعی (Default and Self-referential networks) و ارتباط منفی با فعالیت شبکه توجه در زمان انجام تکالیف WCST است (۵۹). در مقابل فعالیت امواج تتا در ناحیه گیجگاهی و هیپوکامپ با رمزگذاری و بازیابی اطلاعات از حافظه (Encoding و Retrieval) همراه است (۵۹). امواج آلفای ضعیف به جابه‌جایی سریع‌تر میان تکالیف مختلف به ویژه درزمانی که فعالیت قابل پیش‌بینی است کمک می‌کند (۶۰). در تبیین این یافته می‌توان به نتایج گروهی از مطالعات که نقش باند ضعیف آلفا (lower EEG alpha band) را در توجه مورد بررسی قرار داده‌اند، اشاره کرد (۶۱). با توجه به ماهیت نامشخص تفاوت میان عملکرد انتقال (Switch) و متمرکز ماندن در زمان انجام تکلیف (Stay trials) می‌توان تنوعی از فرایندهای زیربنایی را برای چنین فعالیتی در نظر گرفت. به عنوان مثال می‌توان مبنای عملکرد فرد در آزمون WCST را نوعی فرایند کنترل اجرایی (۶۲)، تداخل فراکنشی میان فعال‌سازی مداوم و پردازش تکلیف (۶۳) و یا بهینه‌سازی تعامل آموخته شده محرک‌ها و بازنمایی پاسخ‌ها (۶۴) در نظر گرفت. آن چه درمیان تمام یافته‌های پیشین مشترک است تأکید بر وجود یک فرایند بالا به پایین است که طی آن انتقال اطلاعات در بخش‌هایی از حافظه که درگیر جابه‌جایی تکلیف است ضرورت خواهد داشت. بنابراین امواج تتا در نواحی خلفی مغز مهم‌ترین نقش را در چنین فرایندی دارند و تعامل عملکرد این ناحیه با نواحی پیشانی برای عملکرد موفقیت‌آمیز در آزمون WCST بسیار مهم است.

با این حال، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که باید در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. یکی از محدودیت‌های این پژوهش بیشتر بودن تعداد شرکت‌کنندگان زن نسبت به شرکت‌کنندگان مرد بود. از دیگر محدودیت‌های پژوهش می‌توان به محدود بودن جامعه و نمونه آماری و همچنین مقطعی بودن پژوهش که امکان نتیجه‌گیری علت و معلولی را فراهم نمی‌سازد اشاره کرد. از این رو با توجه به محدودیت‌های موجود، تعمیم نتایج باید با احتیاط انجام گیرد.

در پژوهش حاضر از آزمون WCST برای سنجش انعطاف‌پذیری شناختی استفاده گردید و پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تکالیف عملکردی جامع‌تری که کارکرد انعطاف‌پذیری شناختی را در یک سناریو مورد ارزیابی قرار می‌دهد، به عنوان ابزار سنجش به کار رود. همچنین ثبت سیگنال EEG همزمان با ارائه تکلیف انعطاف‌پذیری شناختی توسط افراد به گسترش درک موجود از عملکرد امواج مرتبط با این سازه در نواحی مغز خواهد انجامید. در مطالعه حاضر، انعطاف‌پذیری شناختی همبستگی معناداری با امواج آلفا و تتا در ناحیه گیجگاهی داشت؛ بر این اساس پیش‌بینی می‌شود تقویت امواج در این نقاط با روش‌های تحریکی توان‌بخشی شناختی به توسعه کارکردهای اجرایی بزرگسالان بیانجامد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر نقش ناحیه گیجگاهی در انعطاف‌پذیری شناختی بزرگسالان مضامین مهمی برای پژوهشگران و متخصصان ارزیابی و توانمندسازی شناختی دارد. انعطاف‌پذیری شناختی یکی از مهم‌ترین کارکردهای اجرایی است که در کارکردهای عالی شناختی مانند حل مسئله، برنامه‌ریزی، هدف‌گذاری و خودتنظیمی مؤثر است. تأکید بر ناحیه گیجگاهی در این مطالعه می‌تواند مقدمه‌ای برای بررسی سایر عملکرد سایر امواج در این ناحیه و ارتباط آن با عملکرد بزرگسالان باشد

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

به منظور رعایت اصول اخلاقی در پژوهش از همه کارکنان رضایت برای شرکت در پژوهش گرفته شد. همچنین پژوهش حاضر با کد اخلاق IR.UT.PSYEDU.REC.1401.083 در دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی دانشگاه تهران به تصویب رسید.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مشارکت نویسندگان

صالحه پیریایی نویسنده مسئول و راهنمای اجرای پژوهش و اصلاح مقاله بودند. پریسا رهنمای لشکامی وظیفه جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نگارش اولیه مقاله را بر عهده داشتند.

منابع مالی

این پژوهش با منابع مالی شخصی انجام شده است.

تشکر و قدردانی

از مدیرعامل مجموعه مشاوره تلفنی هیوا، کادر اجرایی و کلیه کارکنانی که در اجرای پژوهش همکاری نموده‌اند نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر هیچ‌گونه تعارض منافعی که از انتشار مقاله به دست می‌آید را گزارش نکرده‌اند.

References

1. Hohl K, Dolcos S. Measuring cognitive flexibility: A brief review of neuropsychological, self-report, and neuroscientific approaches. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2024;18:1331960.

2. Dajani DR, Uddin LQ. Demystifying cognitive flexibility: Implications for clinical and developmental neuroscience. *Trends in Neurosciences*. 2015;38(9):571-578.

3. Barcelo F. The Madrid card sorting test (MCST): A task switching paradigm to study executive attention with event-related potentials. *Brain Research Protocols*. 2003;11(1):27-37.

4. Martin M, Rubin R. A new measure of cognitive flexibility. *Psychological Reports*. 1995;76(2):623-626.

5. Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, Hannay HJ, Fischer JS. Neuropsychological assessment, 4th ed. New York:Oxford University Press;2004.

6. Kato T. Development of the Coping Flexibility Scale: Evidence for the coping flexibility hypothesis. *Joumal of Counseling Psychology*. 2012;59(2):262-273.

7. Oosterman JM, Vogels RL, van Harten B, Gouw AA, Poggesi A, Scheltens P, et al. Assessing mental flexibility: Neuroanatomical and neuropsychological correlates of the Trail Making Test in elderly people. *The Clinical Neuropsychologist*. 2010;24(2):203-219.

8. Fresco DM, Rytwinski NK, Craighead LW. Explanatory flexibility and negative life events interact to predict depression symptoms. *Journal of Social and Clinical Psychology*. 2007;26(5):595-608.

9. Ionescu T. Exploring the nature of cognitive flexibility. *New Ideas in Psychology*. 2012;30(2):190-200.

10. Uddin LQ. Cognitive and behavioural flexibility: Neural mechanisms and clinical considerations. *Nature Reviews Neuroscience*. 2021;22(3):167-179.

11. Miyake A, Emerson MJ, Friedman NP. Assessment of executive functions in clinical settings: Problems and recommendations. *Seminars in Speech and Language*. 2000;21(2):169-183.

12. Richard's MM, Krzemien D, Valentina V, Vernucci S, Zamora EV, Comesana A, et al. Cognitive flexibility in adulthood and advanced age: Evidence of internal and external validity. *Applied Neuropsychology:Adult*. 2021;28(4):464-478.

13. Uddin LQ. Brain mechanisms supporting flexible cognition and behavior in adolescents with autism spectrum disorder. *Biological Psychiatry*. 2021;89(2):172-183.

14. Schwarze SA, Fandakova Y, Lindenberger U. Cognitive flexibility across the lifespan: Developmental differences in the neural basis of sustained and transient control processes during task switching. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2024;58:101395.

15. Diamond A, Lee K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*. 2011;333(6045):959-964.

16. Genet JJ, Siemer M. Flexible control in processing affective and non-affective material predicts individual differences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

in trait resilience. *Cognition & Emotion*. 2011;25(2):380-388.

17. Davis JC, Marra CA, Najafzadeh M, Liu-Ambrose T. The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics*. 2010;10:16.

18. Harel O, Hemi A, Levy-Gigi E. The role of cognitive flexibility in moderating the effect of school-related stress exposure. *Scientific Reports*. 2023;13(1):5241.

19. Cepeda NJ, Kramer AF, Gonzalez de Sather JC. Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*. 2001;37(5):715-730.

20. Groppe DM, Bickel S, Keller CJ, Jain SK, Hwang ST, Harden C, et al. Dominant frequencies of resting human brain activity as measured by the electrocorticogram. *Neuroimage*. 2013;79:223-233.

21. Spellman T, Svei M, Kaminsky J, Manzano-Nieves G, Liston C. Prefrontal deep projection neurons enable cognitive flexibility via persistent feedback monitoring. *Cell*. 2021;184(10):2750-2766.

22. Kim C, Cilles SE, Johnson NF, Gold BT. Domain general and domain preferential brain regions associated with different types of task switching: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*. 2012;33(1):130-142.

23. Kawasaki M, Kitajo K, Yamaguchi Y. Fronto-parietal and fronto-temporal theta phase synchronization for visual and auditory-verbal working memory. *Frontiers in Psychology*. 2014;5:200.

24. Niendam TA, Laird AR, Ray KL, Dean YM, Glahn DC, Carter CS. Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*. 2012;12(2):241-268.

25. Johnco C, Wuthrich VM, Rapee RM. Reliability and validity of two self-report measures of cognitive flexibility. *Psychological Assessment*. 2014;26(4):1381-1387.

26. Howlett CA, Wewege MA, Berryman C, Oldach A, Jennings E, Moore E, et al. Same room - different windows? A systematic review and meta-analysis of the relationship between self-report and neuropsychological tests of cognitive flexibility in healthy adults. *Clinical Psychology Review*. 2021;88:102061.

27. Howlett CA, Miles S, Berryman C, Phillipou A, Moseley GL. Conflation between self-report and neurocognitive assessments of cognitive flexibility: A critical review of the Jingle Fallacy. *Australian Journal of Psychology*. 2023;75(1):2174684.

28. Poil SS, de Haan W, van der Flier WM, Mansvelder HD, Scheltens P, Linkenkaer-Hansen K. Integrative EEG biomarkers predict progression to Alzheimer's disease at the MCI stage. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2013;5:58.

29. Corradini PL. Clinical aplication of the quntitative electroencephalograph [MA Thesis]. Sudbury, Canada:Laurentian University;2014.

30. Burle B, Spieser L, Roger C, Casini L, Hasbroucq T, Vidal F. Spatial and temporal resolutions of EEG: Is it really black and white? A scalp current density view. *International Journal of Psychophysiology*. 2015;97(3):210-220.

31. Dietrich A, Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*. 2010;136(5):822-848.

32. Borghesi F, Chirico A, Pedroli E, Cipriani GE, Canessa N, Amanzio M, et al. Exploring biomarkers of mental flexibility in healthy aging: A computational psychometric study. *Sensors*. 2023;23:6983.

33. Kieffaber PD, Cho RY. Induced cortical gamma-band oscillations reflect cognitive control elicited by implicit probability cues in the preparing-to-overcome-prepotency (POP) task. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*. 2010;10(4):431-440.

34. Sadaghiani S, Kleinschmidt A. Brain networks and α-oscillations: Structural and functional foundations of cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*. 2016;20(11):805-817.

35. Cavanagh JF, Frank MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*. 2014;18(8):414-421.

36. Cooper PS, Wong AS, Fulham WR, Thienel R, Mansfield

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

E, Michie PT, et al. Theta frontoparietal connectivity associated with proactive and reactive cognitive control processes. *Neuroimage*. 2015;108:354-363.

37. Doesburg SM, Vidal J, Taylor MJ. Reduced theta connectivity during set-shifting in children with autism. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:785.

38. McWilliams EC, Barbey FM, Dyer JF, Islam MN, McGuinness B, Murphy B, et al. Feasibility of repeated assessment of cognitive function in older adults using a wireless, mobile, dry-EEG headset and tablet-based games. *Frontiers in Psychiatry*. 2021;12:574482.

39. Banich MT. Executive function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*. 2009;18(2):89-94.

40. Miles S, Howlett CA, Berryman C, Nedeljkovic M, Moseley GL, Phillipou A. Considerations for using the Wisconsin Card Sorting Test to assess cognitive flexibility. *Behavior Research Methods*. 2021;53(5):2083-2091.

41. Nejati V. Correlation of risky decision making with executive function of brain in adolescences. *Journal of Research in Behavioural Sciences*. 2013;11(4):270-278. (Persian)

42. Nozari M, Nejati V, Mirzaeyan B. Effectiveness of Transcranial direct current stimulation on executive functions and amelioration of symptoms of individuals with major depression disorder. *Quarterly of Applied Psychology*. 2020;13(4):577-599. (Persian)

43. Bong SH, Choi TY, Kim KM, Lee J, Kim JW. Correlation between executive function and quantitative EEG in patients with anxiety by the Research Domain Criteria (RDoC) framework. *Scientific Reports*. 2020;10:18578.

44. Alam RU, Zhao H, Goodwin A, Kavehei O, McEwan A. Differences in power spectral densities and phase quantities due to processing of EEG signals. *Sensors*. 2020;20(21):6285.

45. Lopez ME, Pusil S, Pereda E, Maestu F, Barcelo F. Dynamic low frequency EEG phase synchronization patterns during proactive control of task switching. *Neuroimage*. 2019;186:70-82.

46. Luft CDB, Zioga I, Thompson NM, Banissy MJ, Bhattacharya J. Right temporal alpha oscillations as a neural mechanism for inhibiting obvious associations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(52):E12144-E12152.

47. Zioga I, Kenett YN, Giannopoulos A, Luft CDB. The role of alpha oscillations in free- and goal-directed semantic associations. *Human Brain Mapping*. 2024;45(10):e26770.

48. Dias NS, Ferreira D, Reis J, Jacinto LR, Fernandes L, Pinho F, et al. Age effects on EEG correlates of the Wisconsin Card Sorting Test. *Physiological Reports*. 2015;3(7):e12390.

49. Cairos-Gonzalez M, Verche E, Hernandez S, Alonso M. Cognitive flexibility impairment in temporal lobe epilepsy: The impact of epileptic foci lateralization on executive functions. *Epilepsy & Behavior*. 2024;151:109587.

50. Oddo S, Solis P, Consalvo D, Giagante B, Silva W, D'Alessio L, et al. Mesial temporal lobe epilepsy and hippocampal sclerosis: Cognitive function assessment in Hispanic patients. *Epilepsy & Behavior*. 2003;4(6):717-722.

51. Mastria S, Agnoli S, Zanon M, Acar S, Runco MA, Corazza GE. Clustering and switching in divergent thinking: Neurophysiological correlates underlying flexibility during idea generation. *Neuropsychologia*. 2021;158:107890.

52. Mazoyer B, Mellet E, Perchey G, Zago L, Crivello F, Jobard G, et al. BIL&GIN: A neuroimaging, cognitive, behavioral, and genetic database for the study of human brain lateralization. *Neuroimage*. 2016;124(Pt B):1225-1231.

53. Besson P, Dinkelacker V, Valabregue R, Thivard L, Leclerc X, Baulac M, et al. Structural connectivity differences in left and right temporal lobe epilepsy. *Neuroimage*. 2014;100:135-144.

54. Strauss E, Hunter M, Wada J. Wisconsin Card Sorting performance: Effects of age of onset of damage and laterality of dysfunction. *Journal of Clinical Experimental Neuropsychology*. 1993;15(6):896-902.

55. Sumitani S, Tanaka T, Tayoshi S, Ota K, Kameoka N, Ueno S, et al. Activation of the prefrontal cortex during the Wisconsin Card Sorting Test as measured by multichannel near-infrared spectroscopy. *Neuropsychobiology*. 2006;53(2):70-76.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

56. Sauseng P, Klimesch W, Freunberger R, Pecherstorfer T, Hanslmayr S, Doppelmayr M. Relevance of EEG alpha and theta oscillations during task switching. *Experimental Brain Research*. 2006;170(3):295-301.

57.Fink A, Benedek M. EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2014;44(100):111-123.

58. Becker R, Pefkou M, Michel CM, Hervais-Adelman AG. Left temporal alpha-band activity reflects single word intelligibility. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2013;7:121.

59. Mantini D, Perrucci MG, Del Gratta C, Romani GL, Corbetta M. Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007;104(32):13170-13175.

60. Cao C, Wen W, Chen A, Wang S, Xu G, Niu C, et al. Neuropsychological alterations of prolactinomas' cognitive flexibility in task switching. *Brain Sciences*. 2023;13(1):82.

61. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*. 1999;29(2-3):169-195.

62. Monsell S. Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*. 2003;7(3):134-140.

63. Koch I, Prinz W, Allport A. Involuntary retrieval in alphabet-arithmetic tasks: Task-mixing and task-switching costs. *Psychological Research*. 2005;69(4):252-261.

64. Wylie G, Allport A. Task switching and the measurement of "switch costs". *Psychological Research*. 2000;63(3):212-233.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License