Journal of Psychological Science
Print ISSN: 1735-7462 Online ISSN: 2676-6639
Homepage: http://www.psychologicalscience.ir

The study of difference in alpha and theta band in divergent and convergent thinking in the posterior of the right hemisphere

Sepideh Shahmoradi[1], MohammadReza Zoghi Paydar[2], Mehran Farhadi[3], Shahryar YarMohammadi Wasel[4]

1. Ph.D Candidate in Psychology, Department of Psychology, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: shahmoradisepideh@gmail.com
2. Associate Professor. Department of Psychology, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: m.r.zoghipaidar@basu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Economics and Social Sciences, Bu-Ali Sina University Hamedan, Iran. E-mail: m.farhadi@basu.ac.ir
4. Professor, Department of Psychology, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: yarmohamadivasel@basu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 April 2024
Received in revised form 25 May 2024
Accepted 30 June 2024
Published Online 21 December 2024

Keywords:
divergent,
convergent thinking,
quantitative electroencephalography

ABSTRACT

Background: One of the most influential factors in creativity is brain waves. Among brain waves, alpha and theta waves are considered the most effective in fostering creativity in individuals. Alpha wave activity represents the dominant oscillatory activity of the human brain and is associated with fundamental and complex cognitive functions such as divergent thinking. Previous research has often conceptualized creativity as a cohesive concept that can be assessed using questionnaires, which may not seem sufficient for the underlying mechanism.

Aims: The aim of the present study was to investigate the differences in the patterns of alpha and theta brain waves in the posterior regions of the right hemisphere during divergent and convergent thinking.

Methods: The current study employed a semi-experimental pre-test-post-test design with a two-month follow-up period. The research population consisted of all graduate students aged 20 to 46 years in psychology and cognitive sciences at Payam Noor University and the Cognitive Sciences Research Institute in 2023. The sample included 32 participants (16 men and 16 women) selected using purposive sampling and randomly assigned to experimental conditions (divergent and convergent). The research instruments included the Chapman Superiority Scale (Chapman, 1987), a 64-channel Ant EEG system, tasks for divergent thinking (snake counting, alternate uses), and tasks for convergent thinking (number counting, Tower of London).

Results: The repeated measures analysis of variance showed significant differences between the two study conditions (divergent and convergent) in the posterior region. The difference between divergent and convergent conditions was statistically significant in favor of divergent thinking for both alpha ($P< 0.05$) and theta ($P< 0.01$) bands.

Conclusion: The findings of the present study can provide a basis for further investigations into brainwave neurofeedback and other quantitative electroencephalogram (QEEG) components, such as absolute power, coherence in other frequency bands, in relation to divergent and convergent thinking differences.

Citation: Shahmoradi, S., Zoghi Paydar, M.R., Farhadi, M., & YarMohammadi Wasel, Sh. (2024). The study of difference in alpha and theta band in divergent and convergent thinking in the posterior of the right hemisphere. *Journal of Psychological Science*, 23(144), 45-61. 10.52547/JPS.23.144.45

Journal of Psychological Science, Vol. 23, No. 144, 2024
© The Author(s). **DOI**: 10.52547/JPS.23.144.45

✉ **Corresponding Author:** MohammadReza Zoghi Paydar, Associate Professor. Department of Psychology, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
E-mail: m.r.zoghipaidar@basu.ac.ir, Tel: (+98) 9183113950

Extended Abstract

Introduction

Understanding the neural processes underlying divergent and convergent thinking is a fundamental pursuit in cognitive neuroscience, contributing to our comprehension of creativity and problem-solving (Zhao et al., 2019). Divergent thinking involves the generation of a variety of novel ideas, often with loose constraints, while convergent thinking focuses on evaluating and selecting the best solution from available options (Liu et al., 2023). This study aims to investigate the distinct neural signatures associated with these cognitive processes, particularly focusing on differences in alpha and theta band activity in the posterior region of the right hemisphere.

Recent research has underscored the importance of electroencephalography (EEG) in elucidating the neural correlates of cognitive functions like creativity. Studies by Mazza et al. (2023) have highlighted the role of alpha-band activity beyond conventional understanding, demonstrating its association with creative thinking. Similarly, Matsumoto et al. (2022) explored the effect of physical activity on divergent and convergent thinking, underscoring the interplay between neural dynamics and cognitive processes.

In parallel, investigations by Jia and Zeng (2021) have examined how EEG signals respond differently to idea generation, evolution, and evaluation, shedding light on the nuanced neural mechanisms involved in creative thinking. Moreover, the work of Jiang et al. (2023) emphasizes the role of metacognitive abilities in influencing both divergent and convergent thinking processes, indicating complex interrelationships between cognitive functions and neural activity.

Building on these advancements, this study employs EEG to investigate alpha and theta band activity specifically within the posterior region of the right hemisphere during divergent and convergent thinking tasks. By leveraging cutting-edge EEG methodologies and integrating insights from recent literature, this research aims to deepen our understanding of the neural substrates associated with divergent and convergent cognitive processes. Such knowledge holds promise for advancing cognitive neuroscience and refining theoretical models of creativity.

This investigation builds upon the foundation laid by previous studies, utilizing advanced EEG techniques to explore the nuanced differences in alpha and theta band activity during divergent and convergent thinking tasks. The posterior region of the right hemisphere is of particular interest due to its known involvement in visual and spatial processing, aspects often engaged during creative and problem-solving tasks.

Recent findings by Liu et al. (2023) underscore the role of individual differences in metacontrol on alpha ERS-ERD patterns during divergent and convergent thinking, pointing towards the complexity of neural dynamics underlying these cognitive processes. Additionally, Mazza et al. (2023) have highlighted the neural correlates of creative thinking beyond the alpha band, suggesting a multifaceted interplay of neural oscillations during cognitive tasks.

By focusing on alpha and theta band activities in the posterior right hemisphere, this study aims to contribute novel insights into the neural mechanisms supporting divergent and convergent thinking. The utilization of EEG allows for real-time monitoring of brain activity, providing a window into the dynamic interplay of neural networks during creative and analytical cognition.

Moreover, recent advances in neuroimaging, such as those highlighted by Matsumoto et al. (2022), demonstrate the impact of physical activity on cognitive processes, further emphasizing the interdependence of neural and behavioral outcomes. Understanding how alpha and theta band oscillations are modulated during divergent and convergent thinking tasks can inform theoretical models of creativity and problem-solving, ultimately advancing our understanding of human cognition.

In summary, this study aims to deepen our understanding of the neural underpinnings of divergent and convergent thinking by investigating alpha and theta band activities in the posterior right hemisphere. By integrating insights from recent literature and leveraging cutting-edge EEG methodologies, this research seeks to elucidate the

complex interplay between neural dynamics and cognitive functions, paving the way for new perspectives on creativity and problem-solving.

Method

The present research utilized a quasi-experimental pretest-posttest design with a two-month follow-up period. The target population included all male and female graduate students aged 20 to 46 in psychology and cognitive sciences at Payame Noor University, Tehran South Branch, and master's and doctoral students in cognitive sciences at the Cognitive Sciences Research Institute, Pardis, in 2023. A total of 32 participants (16 males, 16 females) were purposefully selected and randomly assigned into two equal groups, divergent (n=16) and convergent (n=16). Inclusion criteria stipulated that participants must be right-handed, hold at least a master's degree, have normal vision, not suffer from serious psychological disorders, not have a history of psychiatric medication use, substance dependence or abuse, epilepsy or seizures, asthma, heart attack, or stroke, all confirmed through self-reporting. Exclusion criteria included the presence of artifacts in brain waves, non-participation in more than 2 sessions of active memory training, or non-cooperation at any stage of the experiment.

Results

According to the demographic findings of the research population, the average age in the divergent (experimental) group was 30.70 years, while in the convergent (experimental) group, it was 33.75 years. The frequency of master's degree qualifications in the experimental groups was 22 individuals (68.75%) and for doctoral qualifications, it was 10 individuals (31.25%). Furthermore, the mean and standard deviation of alpha and theta waves in the posterior region were assessed during the pretest and posttest stages for both experimental groups (divergent and convergent).

The mean and standard deviation of alpha wave data in the posterior region of the brain were presented across three stages: pretest, posttest, and follow-up, for both divergent and convergent groups. The results indicate that in the divergent group, there was an increase in means during the posttest phase, but this increase was not substantial during the follow-up phase. Conversely, in the convergent condition, a decrease in mean values was observed during the posttest compared to the pretest in the experimental group. Specifically, in divergent thinking, the mean alpha and theta waves increased to (19.787 and 26.836), (8.023 and 13.376), respectively. In convergent thinking, the mean alpha and theta waves decreased to (1.238 and 16.741), (9.631 and 5.538), respectively. To test the research hypothesis, a parametric test (repeated measures analysis of variance) was utilized. Initially, the assumption of covariance homogeneity was assessed using Mauchly's sphericity test. The results indicated that for alpha waves, Mauchly's statistic was 0.968 with an approximate F-ratio of 0.886, which was not statistically significant at the 0.643 level. Similarly, for theta waves, Mauchly's statistic was 0.814 with an approximate F-ratio of 0.897, which was not statistically significant at the 0.610 level. These results demonstrate that the assumption of within-subjects covariance homogeneity was upheld, with the Mauchly's sphericity test significant above the 0.05 threshold for both alpha and theta waves, indicating uniformity of covariance. The results from the repeated measures analysis of variance are presented in Table 1.

As inferred from Table 1, the significance level and effect size differed significantly across the two conditions. For alpha waves, the significance level was 0.001 (F = 7.415) with an effect size of 0.209, while for theta waves, the significance level was 0.024 (F = 3.362) with an effect size of 0.160, indicating statistical significance. In the interaction effect of waves and groups, the significance level was 0.003 (F = 5.381) with an effect size of 0.221 for alpha waves, and 0.015 (F = 3.925) with an effect size of 0.239 for theta waves, both demonstrating statistical significance. This suggests that the observed changes in the variables are explicable by the effects of alpha and theta waves, as well as the interaction effect of waves and groups. Based on these results, the next step was to determine which pair of conditions exhibited significant differences, using post-hoc Tukey tests, the results of which are presented in Table 2.

Table 1. The results of the multivariate test for the effect sizes of alpha and theta waves in two experimental groups at the posterior region of the head

Source	Wave	SS	df	MS	F	Sig	Eta
waves	Alpha	702.69	2	35.345	7.415	0.001	0.209
	Theta	44.718	2	25.359	3.362	0.024	0.160
Interactions	Alpha	392.64	6	66.441	5.381	0.003	0.221
	Theta	288.33	6	48.146	3.951	0.015	0.239
Error	Alpha	653.509	56	47.384	-	-	-
	Theta	919.07	56	16.414	-	-	-

Table 2. Pairwise comparison of the mean differences in alpha and theta waves across the pre-test, post-test, and follow-up stages in the posterior region

		Pretest-Posttest			Posttest-follow up			Pretest-Follow up		
		Mean Difference	SE	Sig	Mean Difference	SE	Sig	Mean Difference	SE	Sig
Divergent	Alpha	2.231	1.791	0.021	-2.516	1.811	0.361	2.305	1.720	0.022
	Theta	-4.415	2.323	0.002	-2.431	1.989	0.431	-4.387	2.497	0.003
Convergent	Alpha	3.432	1.081	0.014	-1.508	1.490	0.311	-2.388	1.487	0.003
	Theta	-2.101	1.234	0.024	-1.033	1.224	0.412	-2.833	1.265	0.021

Table 2 presents the pairwise comparison results of the mean differences in alpha and theta waves across three stages: pre-test, post-test, and follow-up, within the posterior region for two thinking styles, divergent and convergent. The statistical significance levels for the differences in means of alpha and theta waves from pre-test to post-test and pre-test to follow-up, for the divergent thinking style, are (p= 0.021, p= 0.002) and (p= 0.022, p= 0.003), respectively, indicating significance. Similarly, the statistical significance levels for the differences in means of alpha and theta waves from pre-test to post-test and pre-test to follow-up, for the convergent thinking style, are (p= 0.014, p= 0.024) and (p= 0.003, p= 0.021), respectively, also demonstrating significance. Therefore, based on the descriptive statistics, it can be concluded that there was a significant increase in the mean relative power of alpha and theta waves in the right posterior hemisphere electrode site O2 during divergent thinking and a significant decrease during convergent thinking in the post-tests. This significance indicates a difference between divergent and convergent thinking in the right posterior region. Thus, the relative power of alpha and theta bands is associated with a significant increase during divergent thinking and a significant decrease during convergent thinking in the posterior region.

Conclusion

This research aimed to investigate the differences in alpha and theta brain waves during divergent and convergent thinking among postgraduate students. The results indicated a significant difference in the pattern of right occipital brain waves between divergent and convergent thinking. Specifically, the relative power of alpha and theta bands showed a significant increase during divergent thinking and a decrease during convergent thinking in the occipital region. These findings align with previous studies by Fink et al. (2006); Bandek et al. (2011), as well as Fink et al. (2009). The research background highlights an increase in alpha band synchronization and a decrease during divergent thinking. Fink et al. (2006) demonstrated alpha wave synchronization in the right hemisphere's frontal lobe and peritemporal areas during divergent tasks. Similarly, Fink et al. (2009) observed alpha wave desynchronization in both brain hemispheres during convergent tasks. Additionally, Fink et al. (2011) compared neural activity under three conditions during divergent thinking tasks. They observed alpha wave synchronization (increased activity) in the right hemisphere's prefrontal areas and alpha wave desynchronization (decreased activity) in the parietal, occipital, and temporal regions. The study conducted by Maniz revealed increased slow waves in the right occipital region during divergent thinking and decreased slow waves during convergent thinking. However, despite evidence supporting alpha wave synchronization during creative idea generation, other studies have provided mixed results using different methodologies, as seen in the work of Razumnikova (2000) and Fink et al. (2011).

To explain these findings, the increase in alpha waves traditionally indicates a reduced state of cortical activity, reflecting decreased information processing in neural networks (Foster, 2000). This reduced brain activity is associated with generating original and innovative ideas during divergent thinking tasks. Conversely, convergent thinking tasks involve analytical approaches aimed at specific solutions, leading to differences in wave activity.

The study concludes that brain wave activity, particularly alpha and theta bands, is related to specific cognitive processes such as creative thinking. The observed changes in these frequency bands during divergent and convergent tasks suggest distinct mental states associated with each type of thinking. This research contributes valuable insights into cognitive processes and brain wave dynamics, with implications for future studies using advanced EEG techniques and combined EEG-fMRI methodologies to enhance understanding of brain function during cognitive tasks. One notable limitation of this study was the presence of artifacts during task execution. Future EEG recordings should employ noise-canceling technology to ensure data accuracy and reliability.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This study was part of a doctoral dissertation in psychology at Bu-Ali Sina University in Hamadan. Additionally, the current research was conducted under ethics approval with the code IR.BASU.REC.1401.014, emphasizing the adherence to ethical principles. To ensure ethical conduct, data collection was carried out after obtaining participants' informed consent. Participants were also assured of confidentiality regarding the protection of their personal information and the presentation of results without revealing individuals' identities or specific personal details.

Funding: This study was conducted as a PhD thesis with no financial support.

ttt oo oorrruuutoonn The first author was the senior author, the second were the supervisors and the third was the advisors.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest for this study.

Acknowledgments: I would like to appreciate the supervisor, the advisors, the participants in the study.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مجله علوم روانشناختی

شاپا چاپی: ۷۴۶۲-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۶۶۳۹-۲۶۷۶

Homepage: http://www.psychologicalscience.ir

بررسی تفاوت الگوی امواج مغزی آلفا و تتا در نواحی خلفی نیمکره راست در تفکر واگرا و همگرا

سپیده شاهمرادی[۱]، محمدرضا ذوقی‌پایدار[۲]✉، مهران فرهادی[۳]، شهریار یارمحمدی واصل[۴]

۱. دانشجوی دکتری روانشناسی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم‌اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

۲. دانشیار، گروه روانشناسی، دانشکده علوم‌اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

۳. استادیار، گروه روانشناسی، دانشکده علوم‌اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

۴. استاد، گروه روانشناسی، دانشکده علوم‌اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸
بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰
انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تفکر واگرا و همگرا،
الکتروانسفالوگرافی کمی،
امواج مغزی آلفا و تتا

چکیده

زمینه: از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در خلاقیت، امواج مغزی است. از بین اموج مغزی، امواج آلفا و تتا مؤثرترین عامل در ایجاد خلاقیت در افراد است. فعالیت موج آلفا فعالیت نوسانی غالب مغز انسان بوده و کارکردهای شناختی پایه و پیچیده مانند تفکر واگرا در ارتباط است. پژوهش‌های گذشته اغلب خلاقیت را به‌عنوان یک مفهوم منسجم در نظر گرفته‌اند که می‌تواند با استفاده از پرسشنامه ارزیابی شود، و به نظر نمی‌رسد برای مکانیسم زیربنایی (عصب‌شناسی) کافی باشد.

هدف: هدف پژوهش حاضر بررسی تفاوت الگوی امواج مغزی آلفا و تتا در نواحی خلفی نیمکره راست در تفکر واگرا و همگرا بود.

روش: طرح پژوهش حاضر نیمه‌آزمایشی از نوع پیش‌آزمون-پس‌آزمون با پیگیری دو ماهه بود. جامعه پژوهش شامل تمامی دانشجویان ۲۰ تا ۴۶ ساله رشته روانشناسی و علوم‌شناختی تحصیلات تکمیلی پیام‌نور و پژوهشکده علوم‌شناختی پردیس در سال ۱۴۰۲ بود. نمونه پژوهش شامل ۳۲ زن و مرد با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در موقعیت آزمایشی (همگرا و واگرا) قرار گرفتند. ابزار پژوهش شامل پرسشنامه دست برتری (چاپمن، ۱۹۸۷)، دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۶۴ کاناله، تکالیف تفکر واگرا، تکالیف تفکر همگرا بود. امواج مغزی ثبت شده از هر ۴ موقعیت در باند آلفا و تتا با استفاده از نرم‌افزار نوروگاید به یک سری کمیت (QEEG) تبدیل شد. داده‌های کمی استخراج شده با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر نشان داد که بین دو موقعیت (تفکر واگرا و همگرا) مورد مطالعه در ناحیه پس سری تفاوت وجود دارد و تفاوت دو موقعیت واگرا و همگرا معنادار و معناداری به نفع تفکر واگرا بود (P< ۰/۰۱).

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر می‌تواند زمینه‌ای برای مطالعات بیشتر در ارتباط با موج نگار مغزی و مؤلفه‌های دیگر الکتروانسفالوگرام کمّی همچون توان مطلق، هم‌نوسانی در دیگر باندهای فرکانسی در تفاوت تفکر واگرا و همگرا باشد.

استناد: شاهمرادی، سپیده؛ ذوقی‌پایدار، محمدرضا؛ فرهادی، مهران؛ و یارمحمدی واصل، شهریار (۱۴۰۳). بررسی تفاوت الگوی امواج مغزی آلفا و تتا در نواحی خلفی نیمکره راست در تفکر واگرا و همگرا. مجله علوم روانشناختی، دوره ۲۳، شماره ۱۴۴، ۴۵-۶۱.

مجله علوم روانشناختی، دوره ۲۳، شماره ۱۴۴، ۱۴۰۳. **DOI:** 10.52547/JPS.23.144.45

© نویسندگان.

✉ **نویسنده مسئول:** محمدرضا ذوقی‌پایدار، دانشیار، گروه روانشناسی، دانشکده علوم‌اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.

رایانامه: m.r.zoghipaidar@basu.ac.ir تلفن: ۰۹۱۸۳۱۱۳۹۵۰

مقدمه

تفکر یکی از کارکردهای بسیار مهم و عالی‌ترین کارکرد شناختی در نظام شناختی انسان است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). تأمل و تفکر یکی از مهم‌ترین سولاتی است که اندیشمندان با آن روبرو هستند. گیلفورد (۱۹۵۰)، کراپلی (۲۰۰۶)، پیک ولاویدور (۲۰۱۹)، زانک و همکاران (۲۰۲۰)، دو نوع تفکر واگرا و همگرا را به عنوان مؤلفه‌های خلاقیت مطرح کرده‌اند. از یک طرف، تفکر واگرا را می‌توان به عنوان فرآیندی تعریف کرد که به افراد اجازه می‌دهد تا طیف گسترده‌ای از خروجی‌ها را به روشی جدید و بر اساس محدودیت‌های نسبتاً ضعیف تولید کنند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، تفکر همگرا را می‌توان به عنوان فرآیندی با محدودیت شدیدتر تعریف کرد که در آن افراد اطلاعات را ترکیب می‌کنند و بهترین نتیجه را جستجو می‌کنند (هومل و همکاران، ۲۰۱۱؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۹). تفکر واگرا با تولید ایده‌های مختلف متعدد همراه است. برای در نظر گرفتن طیف کاملی از دیدگاه‌های درست یا بهترین انتخاب یا گزینه های مرتبط با یک موضوع خاص است که در مقابل، تفکر همگرا بیشتر به ارزیابی ایده‌ها برای رسیدن به آن می پردازد (جاوید و پاندرکلم، ۲۰۲۱). با این حال، در تفکر واگرا یک جریان آزادتر از ایده‌هایی تا حدودی مرتبط است که می‌توانند به صورت سازمان‌یافته یا تصادفی ایجاد شوند. محققان حداقل چهار روش را برای اندازه‌گیری تفکر واگرا شناسایی کرده‌اند: روانی، اصالت، انعطاف‌پذیری و بسط (ماتسوموتو و همکاران، ۲۰۲۲؛ دولینگر و همکاران، ۲۰۰۴). تفکر همگرا تفکری محافظه‌کار است و مبتنی بر روش و قاعده خاصی می‌باشد. این نوع تفکر قادر است افکار نو را در کهنه بیامیزد ولی به خودی خود قادر به تولید ایده‌های جدید نمی‌باشد. به عبارتی تفکر همگرا از اطلاعات استفاده کرده، نامناسب‌ها را حذف می‌کند و درست‌ترین را انتخاب می‌کند (سورا و همکاران، ۲۰۲۰؛ گیلفورد، ۱۹۶۷).

تفکر همگرا فرآیندهای ذهنی قالبی را که فقط بر روی حل یک تکلیف تمرکز دارند را به کار می‌برد و به دنبال جواب صحیح برای مسائل به وجود آمده است و همچنین مسیر مشخصی را دنبال می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳). بسیاری از محققان خلاقیت معتقدند که خلاقیت نه تنها به مهارت تفکر واگرا برای تولید ایده‌های جدید نیاز دارد، تفکر همگرا نیز مهارت قوی برای ارزیابی اطلاعات در مورد مسئله و ایده‌های تولید شده (به عنوان مثال، لیو و همکاران، ۲۰۲۳؛ بسادور و همکاران، ۲۰۰۰؛ کراپلی، ۲۰۰۶؛ ماتسوموتو و همکاران، ۲۰۲۲) است. این نوع توانایی برای حل مسئله به تولید راه‌حل‌های منطقی و همیشگی منجر می‌شود. در طی تفکر واگرا بسیاری از ایده‌های جدید خلق می‌شود با این توضیح که برای ایجاد راه حل ممکن، آزمودنی برای ایجاد تولیدات خلاق از راه‌های منحصر به فرد زیادی استفاده می‌کند (گیلفورد، ۱۹۶۷). از نظر بسادور و همکارانش (۱۹۸۲، ۱۹۸۶، ۱۹۹۹) هر مرحله از فرآیند حل خلاقانه مسئله هردو نوع تفکر واگرا (یعنی ایده پردازی) و تفکر همگرا (یعنی ارزیابی) را شامل می‌شود. همچنین سطوح نورولوژیکی تفکر واگرا و همگرا متفاوت است. یعنی شبکه‌های نورونی در تفکر واگرا با محدودیت بیشتری مواجه است (لیو و همکاران، ۲۰۲۳). در تفکر واگرا (نسبت به تفکر همگرا) موج نگار الکتریکی مغزی پیچیدگی بیشتری را نشان می‌دهد (ژا و زنگ، ۲۰۲۱). با توجه به ویژگی‌های مختلف تفکر واگرا و همگرا و نقش‌های متفاوتی که در مراحل تولید خلاق ایفا می‌کنند، منطقی است که فرض کنیم این دو سبک تفکر بر مکانیسم‌های عملکردی و عصبی متفاوتی تکیه دارند (اکبری چرمهینی و هومل، ۲۰۱۰؛ دریسباخ و گوشکه، ۲۰۰۴). با این حال، متأسفانه، تحقیقات در مورد خلاقیت اغلب آن را به عنوان یک مفهوم منسجم در نظر گرفته است که متکی بر یک توانایی منسجم است و می‌تواند با استفاده از پرسشنامه‌های جامع و واحد یا وظایفی که اجزای قابل تفکیک و احتمالاً متفاوت را با هم ترکیب می‌کنند، ارزیابی شود، که به نظر نمی رسد برای مکانیسم زیربنایی (عصب شناسی) کافی باشد. حتی مطالعاتی که این دو سبک تفکر را برابر نمی‌دانستند، منحصراً بر روی تکالیف متفاوت (جاپاردی و همکاران، ۲۰۱۸، مازا و همکاران، ۲۰۲۳) یا صرفاً تکالیف همگرا (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۳) تمرکز کرده‌اند.

در سال‌های اخیر، علاقه محققان و تمرکز پژوهش‌ها به مشخص کردن زیربناهای عصبی خلاقیت معطوف شده است (به‌عنوان مثال: تان و همکاران، ۲۰۲۳؛ لوچی و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ فینک همکاران، ۲۰۰۹؛ زمیگراد و همکاران، ۲۰۱۵). درهمین راستا، آبراهام و همکاران (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدندکه الگوهای فعالیت تصویربرداری رزونانس عملکردی (fMRI) در انجام تکلیف کاربردهای غیرمعمول (UUI) در تفکر واگرا و آزمون تداعی دور RAT)) در تفکر همگرا متفاوت‌اند. در مجموع، تصویربرداری مغزی نواحی متمایزی را که

با خلاقیت به طور کلی و یا تکالیف خلاقیت به صورت خاص ارتباط دارند، مشخص نکرده‌اند. امروزه، یکی از تکنیک‌های مهم در شناسایی این فرآیندهای مغزی غالب، استفاده از موج نگارالکتریکی مغزی است که دارای وضوح زمانی بالایی است و در انسان شامل بسامدهایی در چهار طیف می‌باشد (لوچی و همکاران، ۲۰۱۹). از جمله مهم‌ترین عوامل مغزی مؤثر در خلاقیت، امواج مغزی می‌باشد که با استفاده از الکتروانسفالوگرافی کمی می‌توان آن را مشخص نمود. الکتروانسفالوگرافی کمی به تحلیل جامع فرکانس با پهنای باندهای متفاوتی اطلاق می‌گردد که نوار مغزی خام را می‌سازند. در حقیقت در این روش، سیگنال‌ها با استفاده از روش تبدیل وسیع فوریه (FFT)) از حوزه فرکانس برده می‌شود (زوآناتزی و کاتانو، ۲۰۱۷). الکترودهای نصب شده بر روی جمجمه، فعالیت امواج مغز را جست و جو و آن‌ها را به صورت نمودار ثبت می‌کنند. فعالیت موج آلفا فعالیت نوسانی غالب مغز انسان است (مازا و همکاران، ۲۰۲۳؛ بندک و همکاران، ۲۰۱۴). این فعالیت کارکردهای شناختی پایه مانند توجه و حافظه (کیلیمیش، ۲۰۱۲) همچنین با فرآیندهای شناختی پیچیده‌تر مانند تفکر واگرا در ارتباط است (بندک، ۲۰۱۴). فرآیندهای رفتاری و روانی مختلفی وجود دارندکه می‌توانند در الگوهای امواج مغزی تغییراتی را ایجاد کنند. از جمله این عوامل می‌توان به خلاقیت، سطوح هشیاری، نوع تفکر، مراحل خواب، بیماری‌های روانی، فعالیت‌های جسمانی و استرس اشاره کرد (جاپاردی و همکاران، ۲۰۱۸). از این اموج مغزی آلفا، بتا، تتا و دلتا، امواج آلفا و تتا مؤثرترین عامل در ایجاد خلاقیت در افراد می‌باشد (لیو و همکاران، ۲۰۲۳). فرد وقتی در وضعیت آلفا قرار می‌گیرد تکنیک‌های تجسم خلاق را تجربه خواهد کرد. آلفا، به امواج بین ۸ تا ۱۲ هرتز و تتا، به امواج ۴ تا ۸ هرتز گفته می‌شود. تثبیت حافظه، خلاقیت، یادگیری و خاموشی، یادگیری و یادداری، شرطی‌سازی کلاسیک هیجان‌های مثبت و انگیزش، کدگذاری و بازیابی، حفاظت از حافظه کوتاه‌مدت از دیگر فرضیه‌های مطرح شده در نقش ریتم‌های تتا است (آگنولی و همکاران، ۲۰۲۰).

در مطالعه‌ای که توسط چونلی و همکاران (۲۰۲۳) انجام شد نشان داده شد چگونه فراکنترل بر خلاقیت از منظر تفاوت‌های فردی تأثیر می‌گذارد. شصت شرکت‌کننده وظیفه فراکنترل را انجام دادند، که برای تقسیم شرکت‌کنندگان به گروه با کنترل بالا (HMC) در مقابل گروه با کنترل پایین (LMC) استفاده شد. سپس، این شرکت‌کنندگان تکلیف استفاده‌های جایگزین (AUT؛ تفکر واگرا) و آزمون تداعی راه دور (RAT؛ تفکر همگرا) را انجام دادند، درحالی‌که نتایج EEG آن‌ها به طور مداوم ثبت شد. با توجه به رفتار خودکنترلی، گروه HMC عملکرد خلاقانه برتر در AUT و RAT در مقایسه با گروه LMC نشان داد که فراکنترل به طور قابل اعتمادی به فرآیند تولید ایده کمک می‌کند وگروه HMC در مراحل اولیه تکلیف AUT، ناهمگام‌سازی آلفا (ERD) کوچک‌تری نسبت به گروه LMC نشان دادند. فینک و همکاران (۲۰۱۱) فعالیت عصبی را در سه وضعیت در طی تکلیف استفاده متناوب مقایسه کردند. در وضعیت اول آزمودنی‌ها در معرض ایده‌های دیگران قرار گرفتند، وضعیت دوم با تحریک عاطفی مثبت از طریق کلیپ‌های ویدیوئی همراه بود و در وضعیت سوم هیچ‌گونه مداخله‌ای وجود نداشت. به طورکلی همگام‌سازی (افزایش آلفا) وابسته به رویداد در نیمکره راست خصوصاً در نواحی پیش‌پیشانی در موج آلفا، ناهمگام‌سازی (کاهش موج آلفا) وابسته به رویداد در نواحی آهیانه‌ای، پس سری و گیجگاهی نیمکره در موج آلفا مشاهده شده است. نتایج پژوهش گرابنر و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین نتایج فینک و همکاران (۲۰۰۶)، نشان می‌دهد میزان فعالیت امواج آلفا در دو موقعیت تفکر واگرا و همگرا تفاوت معناداری دارد؛ به‌صورتی‌که فعالیت امواج آلفا در موقعیت تفکر واگرا با افزایش همراه بود، اما در موقعیت تفکر همگرا با کاهش میزان فعالیت امواج آلفا همراه بود. مول و همکاران (۱۹۹۹) معتقدند که تفکر واگرا و همگرا، دو نوع روش اساسی پردازش مغزی می‌باشند. آن‌ها در پژوهشی برای تفکیک قائل شدن بین این دو نوع تفکر و به دلیل پیچیدگی ابعادی از اموج مغزی استفاده کردند. آن‌ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدندکه پیچیدگی در ابعاد امواج مغزی در طی تفکر واگرا درمقایسه با تفکر همگرا بیشتر بود.

مطالعه دیگر نشان‌دهنده این بود که در موقعیت تفکر واگرا، افراد درگیر بودن بالای ساختارهای ناحیه پیش‌پیشانی را نشان دادند که در ارتباط با کارکرد توجه متمرکز درونی است، درحالی‌که در موقعیت تفکر همگرا افراد ممکن است که استراتژی‌های نزولی که بیشتر درگیر در نواحی آهیانه‌ای است را شامل شود (جائوک و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس مطالعهٔ رازومنیکووا (۲۰۰۰)، در طی دو نوع تفکر همگرا و واگرا، الگوهای متفاوت و معناداری برای پارامترهای موج نگارهٔ الکتریکی مغز مشاهده می

شود و زمانی که این دو وضعیت تفکری با حالت آرامش مقایسه می‌شوند، هر دو تجربۀذهنی، هم‌نوسانی معنادار و متفاوتی از ریتم‌های آلفای ۱ و ۲ تولید می‌کنند. در زمان یکسان، (تفکر همگرا افزایش هم‌نوسانی در امواج تتا) بیش‌تر در قسمت پشتی طرف راست (تفکر واگرا کاهش دامنه در ریتم امواج تتا در قسمت پشتی کرتکس) را نشان داد. مطالعات دیگر با استفاده از روش‌شناسی‌های مختلف نتایج متفاوتی را ارائه کردند: در یک مطالعه مشخص شد که یک تکلیف تفکر واگرا و همچنین یک کار محاسباتی باعث عدم هماهنگی در پایین و نوارهای آلفای بالایی در مقایسه با وضعیت استراحت در نمونه‌ای از مردان جوان مطالعه‌ای که شامل کار همکاران از راه دور و کار همکاران ساده بود، کاهش قدرت آلفای پایین و بالایی را به ویژه در قسمت‌های قشر خلفی در هر دو جنس نشان داد (سورا و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی که توسط عندلیب کورایم (۱۳۸۹) در رابطه با هم نوسانی باند تتا در تفکر واگرا و همگرا انجام شد، نتایج نشان داد تفاوت معناداری بین دو تفکر مشاهده نشده است و امواج مغزی متفاوتی در طی تفکر (واگرا و همگرا) نسبت به حالت آرامش پیشنهاد کرده است. اگرچه می‌توان در تحقیقات خلاقیت نوروفیزیولوژیک به نوعی سازگاری دست یافت، ماهیت پیچیده عملکرد قشر مغز در تفکر واگرا و همچنین همگرا آن را واجد شرایط به دست آوردن دانش بیشتر در مورد ساختارهای عصبی آناتومیک درگیر در تکالیف شناختی مختلف می‌کند. در این پژوهش تفاوت‌های بین تفکر واگرا و همگرا با استفاده از توان نسبی باندهای آلفا و تتا در زمینه یافته‌های موج نگار مغزی مورد بررسی قرار می‌گیرد که تاکنون به این مسئله در ادبیات پرداخته نشده است؛ بدین ترتیب اهرم‌های بیشتری برای مطالعه و درک مکانیسم‌های عصبی شناختی زیربنایی ساختار پیچیده خلاقیت فراهم می‌شود. در مورد مکانیسم‌های مغزی که زیر بنای اصلی تفکر و خلاقیت هستند مطالعات اندکی صورت گرفته است. با توجه به مطالب ذکر شده نتایج متناقض و مبهمی که در زمینه فعالیت مغزی در تفکر واگرا و همگرا و همچنین تحقیقات اندک داخلی، پژوهش در این حیطه ضرورت می‌یابد. به منظور بررسی مکانیسم عصبی پیچیده زیر بنایی فرآیند تفکر واگرا و همگرا بر اساس یافته‌های موج نگارمغزی، سؤال اصلی پژوهش حاضر این است که آیا الگوی امواج مغزی آلفا و تتا در نواحی خلفی نیمکره راست در تفکر واگرا و همگرا متفاوت است؟

روش

الف) طرح پژوهش و شرکت‌کنندگان: طرح پژوهش حاضر نیمه آزمایشی از نوع پیش‌آزمون-پس‌آزمون با پیگیری دو ماهه بود. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل تمامی دانشجویان (زن و مرد) تحصیلات تکمیلی ۲۰ تا ۴۶ ساله رشته روانشناسی و علوم‌شناختی دانشگاه پیام‌نور واحد تهران جنوب و دانشجویان ارشد و دکتری رشته علوم‌شناختی پژوهشکده علوم‌شناختی پردیس در سال ۱۴۰۲ بود که ۳۲ نفر (۱۶ مرد، ۱۶ زن) به شیوه نمونه‌گیری هدفمند انتخاب و در دو گروه مساوی به روش تصادفی (قرعه‌کشی) جایگزین شدند و در دو موقعیت واگرا (۱۶ نفر) و همگرا (۱۶ نفر) قرار داده شدند. ملاک‌های ورودآزمودنی‌ها عبارت بود از اینکه افراد کاملاً راست برتر باشند، سطح تحصیلات حداقل کارشناسی ارشد، از نظر بینایی سالم باشند، عدم ابتلا به اختلال روانی جدی، عدم سابقه مصرف داروهای روان‌پزشکی، عدم سابقه وابستگی یا سوء مصرف مواد، عدم سابقه ابتلا به صرع و یا تشنج، آسم، سکته قلبی و مغزی که همگی از طریق خوداظهاری کنترل شدند. ملاک‌های خروج عبارت بود از وجود آرتیفکت در امواج مغزی، شرکت نکردن بیشتر از ۲ جلسه از آموزش حافظه فعال، عدم همکاری در یکی از مراحل آزمایش.

ب) ابزار

پرسشنامه دست برتری چاپمن و چاپمن (۱۹۸۷): دست برتری به عنوان ترجیح غالب یک دست در اجرای تکالیف عملکردی که با یک دست قابل انجام است تعریف شده است (کاویل و برایدن، ۲۰۰۳). برای نمره گذاری پاسخ آموردنی‌ها به هر سؤال بر مبنای انتخاب یکی از سه گزینه دست راست (نمره ۱)، هر دو دست (نمره ۲) و دست چپ (نمره ۳) مشخص می‌شود. بنابراین نمره‌ها بین ۱۳ (کاملاً راست برتر) تا ۳۹ (کاملاً چپ برتر) در نوسان است. آزمودنی‌های بین ۱۳ تا ۱۷ به عنوان راست برتر و آزمودنی‌های دارای نمره ۱۸ تا ۳۹ به عنوان غیر راست برتر (چپ برتر و دوسو توان) طبقه‌بندی می‌شوند. روایی و پایایی این ابزار در نسخه اصلی توسط چاپمن و چاپمن (۱۹۸۷) پس از اجرای این آزمون در ۲۹۳۱ آزمودنی، همسانی درونی این پرسشنامه را ۰/۹۶ و قابلیت اعتماد بازآزمایی آن را ۰/۹۷ و همبستگی آن با ارزیابی رفتاری دست برتری را ۰/۸۳ گزارش

کرده‌اند. در پژوهش حاضر نیز پایایی ابزار با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۸ برآورد شد.

الکتروانسفالوگرافی کمی (QEEG) یا نقشه مغزی: نقشه مغزی یکی از به روزترین و پر استفاده‌ترین ابزارهای تصویر برداری عملکردی از مغز می‌باشد. در این پژوهش از سخت‌افزار مدل ۲۰۱ کمپانی میتسار ساخت کشور روسیه استفاده می‌شود. در نقشه مغزی، با استفاده از دستگاه QEEG و بسته به نوع اختلال، عملکرد نواحی سطحی و عمقی مغز مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد و می تواند اطلاعات زیادی را در رابطه با نوع اختلال، علائم ناشی از اختلال و انتخاب درمان مناسب در اختیار پزشک قرار دهد. الکتروانسفالوگرافی کمی به‌منظور بررسی مغز و برای شناسایی صرع، تشنج و تومور استفاده می‌شود. در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ و با پیدایش کامپیوترها، بررسی موج نگار مغزی پیشرفت چشمگیری کرد و تحلیل کمّی امواج مغزی، به عنوان روشی با پایایی و روایی بالا ابداع گشت. در ثبت الکتروانسفالوگرافی کمی به طور معمول از ۱۹ کانال یا بیشتر برای ثبت همزمان امواج مغزی تحت شرایط خاص استفاده می‌شود. سپس اطلاعات ثبت شده، با امواج مغزی افراد دیگر در پایگاه داده مرجع مقایسه می‌شود. این تجزیه و تحلیل، تغییرات نسبت به حالت عادی (میانگین) را مشخص و برجسته می‌سازد.

تکلیف استفاده‌های متناوب (تفکر واگرا): این تکلیف در دهه ۱۹۵۰ توسط گیلفورد برای ارزیابی تفکر واگرا ساخته شد (گیلفورد،۱۹۵۰). در این تکلیف آزمودنی‌ها باید به استفاده‌های ابتکاری و غیرمعمول اشیاء معمولی روزمره مانند قوطی، آجر، خودکار، جوراب فکر می کردند. در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته شد که موارد استفاده و کاربرد هر کدام از کلمات ارائه شده را تا جایی که به ذهنشان می‌رسد بازگو کنند.

تکلیف شمارش مارها (تفکر واگرا): در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود که این مسئله را حل کنند: در جنگلی صدها مار سمی وجود دارد، چه راه‌هایی وجود دارد تا طول مارها را اندازه بگیریم؟ از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود که هر روشی را که به ذهنشان می‌رسد را بازگو کنند (رازونیکووا، ۲۰۰۰).

آزمون برج لندن (تفکر همگرا): آزمون برج لندن در سال ۱۹۸۲ توسط شالیس به منظور ارزیابی عملکرد اجرایی به‌ویژه تشخیص نقص در برنامه ریزی و اختلال در توانایی حل مسئله بیمارانی که ضایعات لب فرونتال داشتند طراحی شد. شکل اصلی آزمون که توسط شالیس اجرا می‌شد دو تخته بود که روی هرکدام سه میله با طول‌های متفاوت و سه مهره وجود داشت. در مطالعه شالیس از بیماران و گروه گواه خواسته می‌شد که مهره های موجود روی تخته فضای کاری (آزمایش) را طوری جابجا کنند که مطابق الگوی از پیش تعیین شده در بیاید. براساس نظر شالیس توانایی حل مسئله برحسب تعداد حرکات اضافی (خطا) آزمودنی در مقایسه با حداقل حرکات لازم برای جورکردن مدل تعیین می‌شد. در تعدادی از تحقیقات کاربرد موفق آین آزمون برای سنجش توانایی برنامه‌ریزی در بیماران مبتلا به آلزایمر، اسکیزوفرنی و بیش فعالی همراه با نقص توجه نشان داده شده است. نسخه‌های رایانه‌ای مختلفی نیز برای این آزمون وجود دارد.

تکلیف شمارش اعداد (تفکر همگرا): در این تکلیف از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود تا از عدد ۶ شروع کنند و اعداد متوالی را با فاصله ۷ عدد بنویسند و بعد از ۵ دقیقه جواب بدست آمده را بازگو کنند (رازونیکووا، ۲۰۰۰).

ج) روش اجرا

در ابتدا افراد راست برتر گروه‌های همگرا و واگرا که از نظر بینایی مشکلی نداشتند، با استفاده از پرسشنامه برتری جانبی انتخاب شدند. قبل از شروع فرآیند ثبت امواج مغزی توضیحات کاملی در ارتباط با نحوه ثبت و همچنین تهاجمی نبودن و عدم آسیب‌رسانی این روش به آزمودنی‌ها داده شد. جهت رعایت ملاحظات اخلاقی در پژوهش، داوطلبانه و اختیاری بودن شرکت افراد در پژوهش، تشریح حقوق و وظایف طرفین و محرمانه نگهداشتن اطلاعات بدست آمده در طی اجرای پژوهش و خروج آزادانه از پژوهش مدنظر قرار گرفت. در آغاز جلسه ثبت امواج مغزی، در مرحله پیش‌آزمون از آزمودنی‌های هر دو گروه آزمایش (همگرا و واگرا) خواسته شدکه خود را در حالت آرامش قرار داده و سپس به صورت متوالی ۵ دقیقه امواج مغزی ثبت گردیدکه در مرحله اول ثبت با چشمان باز و در مرحله دوم ثبت با چشمان بسته صورت گرفت. امواج توسط دستگاه ۶۴ کاناله ثبت امواج مغزی، برند آنت[1]، مدل ۲۰۱ کمپانی میتسار[2] ساخت کشور روسیه ثبت گردید و الکترودهای مخصوص ثبت استاندارد امواج مغزی بر اساس سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ در ۳۲ موقعیت قرار گرفت. امپدانس

[1]. Ant

[2]. Mitsar

الکترودها نیز زیر ۵ کیلو اهم نگه داشته شد. سپس در مرحله پس‌آزمون تکالیف مرتبط با تفکر واگرا (تکلیف استفاده‌های متناوب و شمارش مارها) و تکالیف مرتبط با تفکر همگرا (برج لندن و شمارش اعداد) به گروه‌های آزمایش (شامل گروه آزمایش همگرا و گروه آزمایش واگرا) در حین ثبت موج نگاره الکتریکی ارائه شد. نتایج پس از حذف آرتیفکت با استفاده از نرم‌افزار نوروگاید به صورت کمی درآمدند. داده‌های کمی استخراج شده با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر با استفاده از نرم‌افزار Spss نسخه ۲۶ تحلیل شدند.

یافته‌ها

طبق یافته‌های جمعیت شناختی پژوهش میانگین سن در گروه آزمایش واگرا (۳۰/۷۰) و در گروه همگرا (۳۳/۷۵) بود. فراوانی میزان تحصیلات کارشناسی ارشد در گروه‌های آزمایش ۲۲ نفر (۶۸/۷۵ درصد) و در مقطع دکتری در گروهای آزمایش ۱۰ نفر (۳۱/۲۵ درصد) بود. در ادامه میانگین و انحراف معیار امواج آلفا و تتا در ناحیه پس سری در دو مرحله پیش آزمون و پس‌آزمون در گروهای آزمایش (همگرا، واگرا) آمده است.

جدول ۱. آمار توصیفی امواج آلفا و تتا در ناحیه پس سری در دو مرحله آزمون

موج	گروه	پیش‌آزمون		پس‌آزمون		پیگیری	
		میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	خطای استاندارد	میانگین	خطای استاندارد
آلفا واگرا	آزمایش	۱۷/۸۳۶	۱۰/۸۱۱	۱۹/۷۸۷	۱۱/۱۹۲	۱۹/۱۳۸	۹/۳۹۱
تتا واگرا	آزمایش	۸/۰۲۳	۲/۹۱۰	۱۳/۳۷۶	۳/۴۲۲	۱۲/۹۳۸	۲/۲۳۳
آلفا همگرا	آزمایش	۱۸/۲۳۸	۹/۵۶۲	۱۶/۷۴۱	۹/۴۴۳	۱۶/۴۲۳	۷/۶۳۲
تتا همگرا	آزمایش	۹/۶۳۰	۳/۷۳۱	۵/۵۳۸	۳/۴۷۳	۶/۳۹۳	۲/۵۱۱

در جدول ۱ داده‌های توصیفی مربوط به سبک تفکر در سه مرحله آزمون آمده است. همان‌طورکه میانگین‌ها نشان می‌دهد میانگین و انحراف استاندارد داده‌های موج آلفا در ناحیه خلفی (پس سری) مغز در سه مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری در دو گروه واگرا و همگرا ارائه شده است. نتایج نمایانگر اینست که میانگین‌ها در گروه واگرا در پس‌آزمون افزایش داشته، ولی در مرحله پیگیری افزایش چندانی را نشان نمی‌دهد. همچنین در نمرات میانگین در موقعیت همگرا کاهش میانگین‌ها در پس آزمون نسبت به پیش‌آزمون درگروه آزمایش مشاهده شد. در تفکر واگرا میانگین امواج آلفا وتتا به ترتیب (۱۹/۷۸۷ و ۲۶/۸۳۶)، (۸/۰۲۳ و ۱۳/۳۷۶) افزایش را نشان می‌دهد. در تفکر همگرا میانگین امواج آلفا و تتا به ترتیب (۱۸/۲۳۸ و ۱۶/۷۴۱ و ۱۶/۴۲۳)، (۹/۶۳۱ و ۵/۵۳۸ و ۶/۳۹۳) کاهش را نشان می‌دهد. برای بررسی فرضیه پژوهش از آزمون پارامتریک (آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر) استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا پیش‌فرض همسانی کوواریانس‌ها با استفاده از آزمون کرویت موچلی بررسی شد که نتیجه آن برای امواج آلفا آماره موچلی برابر ۰/۹۶۸ با ضریب تقریبی مربع فای ۰/۸۸۶ در سطح معناداری ۰/۶۴۳ معنی‌دار نشد و برای امواج تتا آماره موچلی برابر با ۰/۸۱۴ با ضریب تقریبی مربع فای ۰/۸۹۷ در سطح معنی‌داری ۰/۶۱۰ معنادار نشد. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد، فرض همسانی کوواریانس درون خانه‌ای رعایت شده است سطح معناداری آزمون کرویت موچلی برای هر دو موج از ۰/۰۵ بیشتر می‌باشد. بنابراین ماتریس کوواریانس متغیرهای آلفا و تتا معنی‌دار نمی‌باشد. (یکنواختی کوواریانس برقرار می‌باشد). در جدول ۲ نتایج حاصل از تحلیل اندازه گیری مکرر آمده است.

جدول ۲. نتایج آزمون چند متغیره اندازه اثر امواج آلفا و تتا در دو گروه آزمایش در ناحیه پس سری

منابع	موج	مجموع مجذورات نوع سوم	درجه‌آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معناداری	اندازه اثر
امواج	آلفا	۷۰۲/۶۹۷	۲	۳۵/۳۴۵	۷/۴۱۵	۰/۰۰۱	۰/۲۰۹
	تتا	۴۴/۷۱۸	۲	۲۵/۳۵۹	۳/۳۶۲	۰/۰۲۴	۰/۱۶۰
اثر متقابل امواج و گروه	آلفا	۳۹۲/۶۴۸	۶	۶۶/۴۴۱	۵/۳۸۱	۰/۰۰۳	۰/۲۲۱
	تتا	۲۸۸/۳۳۶	۶	۴۸/۱۴۶	۳/۹۲۵	۰/۰۱۵	۰/۲۳۹
خطا	آلفا	۶۵۳/۵۰۹	۵۶	۴۷/۳۸۴	–	–	–
	تتا	۹۱۹/۰۷۸	۵۶	۱۶/۴۱۴	–	–	–

همانگونه که از جدول ۲ استنباط می‌شود، سطح معناداری و اندازه اثر در دو موقعیت به طور معناداری متفاوت است. در موج آلفا ۰/۰۰۱، (F= ۷/۴۱۵) با اندازه اثر ۰/۲۰۹ و در موج تتا سطح معناداری ۰/۰۲۴، (F= ۳/۳۶۲) با اندازه اثر ۰/۱۶۰ معنی‌دار می باشد. در اثر متقابل امواج و گروه سطح معناداری در موج آلفا ۰/۰۰۳، (F= ۵/۳۸۱) با اندازه اثر ۰/۲۲۱ و در موج تتا سطح معناداری ۰/۰۱۵، (F= ۳/۹۲۵) با اندازه اثر ۰/۲۳۹ معنی دار است. به این معنی که تغییرات مشاهده شده در متغیرها توسط اثر موج آلفا و تتا و اثر متقابل امواج و گروه قابل تبیین می‌باشد. باتوجه به این نتیجه، گام بعدی برای مشخص کردن اینکه تفاوت بین کدام جفت از موقعیت‌ها معنادار است، از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. مقایسه زوجی تفاوت میانگین امواج آلفا و تتا در مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری در ناحیه پس سری

سبک تفکر	موج	پیش‌آزمون – پس‌آزمون			پس‌آزمون – پیگیری			پیش‌آزمون – پیگیری		
		تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
واگرا	آلفا	۲/۲۳۱	۱/۷۹۱	۰/۰۲۱	-۲/۵۱۶	۱/۸۱۱	۰/۳۶۱	۲/۳۰۵	۱/۷۲۰	۰/۰۲۲
	تتا	-۴/۴۱۵	۲/۳۲۳	۰/۰۰۲	-۲/۴۳۱	۱/۹۸۹	۰/۴۳۱	-۴/۳۸۷	۲/۴۹۷	۰/۰۰۳
همگرا	آلفا	۳/۴۳۲	۱/۰۸۱	۰/۰۱۴	-۱/۵۰۸	۱/۴۹۰	۰/۳۱۱	-۲/۳۸۸	۱/۴۸۷	۰/۰۰۳
	تتا	-۲/۱۰۱	۱/۲۳۴	۰/۰۲۴	-۱/۰۳۳	۱/۲۲۴	۰/۴۱۲	-۲/۸۳۳	۱/۲۶۵	۰/۰۲۱

جدول ۳ نتایج مقایسه دو به دوی میانگین‌های امواج آلفا و تتا در سه مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری در دو سبک تفکر واگرا و همگرا ناحیه پس سری را نشان می‌دهد. سطح معناداری امواج آلفا و تتا در تفاوت میانگین‌های گروه پیش‌آزمون از پس‌آزمون و پیش‌آزمون پیگیری، سبک تفکر واگرا به ترتیب برابر است با (۰/۰۲۱، ۰/۰۰۲) و (۰/۰۲۲، ۰/۰۰۳) که معنی‌دار می‌باشند. سطح معناداری امواج آلفا و تتا در تفاوت میانگین‌های گروه پیش‌آزمون از پس‌آزمون و پیش‌آزمون - پیگیری، سبک تفکر همگرا به ترتیب برابر است با (۰/۰۱۴، ۰/۰۲۴) و (۰/۰۰۳، ۰/۰۲۱) که معنی‌دار می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بر طبق آمار توصیفی که افزایش میانگین توان نسبی امواج آلفا و تتا در نیمکره راست ناحیه پس سری مکان الکترود O2 در سبک تفکر واگرا و کاهش میانگین در تفکر همگرا در پس‌آزمون‌ها مشاهده شد اثر معناداری دارد. این معناداری نشان دهنده تفاوت در تفکر واگرا و همگرا در ناحیه پس سری راست است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت توان نسبی باند آلفا وتتا در سبک تفکر واگرا با افزایش معنادار و در سبک تفکر همگرا با کاهش معناداری در ناحیه پس سری همراه می باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تفاوت الگوی امواج مغزی آلفا و تتا در تفکر واگرا و همگرا در دانشجویان تحصیلات تکمیلی انجام شد. نتایج نشان داد، الگوی امواج مغزی پس سری راست در تفکر واگرا و همگرا تفاوت معناداری دارد و توان نسبی باند آلفا و تتا در سبک تفکر واگرا با افزایش معنادار و در سبک تفکر همگرا با کاهش معناداری در ناحیه پس سری همراه می‌باشد. یافته‌های این پژوهش با نتیجه پژوهش فینک و همکاران (۲۰۰۶)؛ بندک و همکاران (۲۰۱۱)؛ فینک و همکاران (۲۰۰۹) همسو است. همان‌گونه که پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد، افزایش باند آلفا در تفکر واگرا و کاهش آن در تفکر همگرا مشاهده شده است. در همین راستا پژوهش فینک و همکاران (۲۰۰۶)، همگام‌سازی (افزایش) در موج آلفا در لوب پیشانی و در نواحی پری تمپورال نیمکره راست مغز در طول تکالیف واگرا را نشان می‌دهد. همچنین فینک و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه خود هنگامی که آزمودنی‌ها تکالیف مربوط به موقعیت همگرا را انجام می‌دادند ناهمگام‌سازی امواج آلفا را در در هر دو نیمکره مغز مشاهده کردند. در مقابل در موقعیت تفکر واگرا همگام‌سازی نسبتاً قوی را در نواحی خلفی نیمکره راست مشاهده کردند. فینک و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که در طی انجام تکالیف تفکر همگرا پدیده ناهمگام سازی در موج آلفا اتفاق می‌افتد. افزایش در توان آلفا که در نتیجه انجام تکالیف تفکر واگرا صورت می‌گیرد، اهمیت نواحی پیشین کرتکس را منعکس می‌کند. فینک و همکاران (۲۰۱۱) فعالیت عصبی را در سه وضعیت در طی تکلیف استفاده متناوب (تفکر واگرا) مقایسه کردند. همگام‌سازی

(افزایش آلفا) وابسته به رویداد در نیمکره راست خصوصاً در نواحی پیش پیشانی در موج آلفا و ناهمگام‌سازی (کاهش موج آلفا) وابسته به رویداد در نواحی آهیانه‌ای، پس سری و گیجگاهی نیمکره در موج آلفا مشاهده شده است.

در پژوهش حاضر نیز نتایج حاکی از افزایش امواج آهسته در ناحیه پس سری راست در تفکر واگرا و کاهش امواج اهسته در تفکر همگرا بود. اگرچه شواهد قابل‌توجهی برای پدیده همگام‌سازی آلفا در طول تولید ایده خلاق وجود دارد، مطالعات دیگر با استفاده از روش‌شناسی‌های مختلف نتایج متفاوتی را ارائه کردند. نتایج این مطالعه با پژوهش رازومنیکووا (۲۰۰۰)، فینک و همکاران (۲۰۱۱) ناهمسو است. رازومنیکووا (۲۰۰۰) در مطالعه خود نشان داد: در زمان یکسان، در تفکر همگرا افزایش هم‌نوسانی در امواج تتا (بیش‌تر در قسمت پشتی طرف راست) و در تفکر واگرا کاهش دامنه در ریتم امواج تتا (در قسمت پشتی کرتکس) مشاهده گردید. همچنین در مطالعه دیگری رازومنیکوا (۲۰۰۰) دریافت که یک تکلیف تفکر واگرا و همچنین یک کار حسابی باعث عدم هماهنگی در پایین و نوارهای آلفای بالایی در مقایسه با وضعیت استراحت در نمونه‌ای از مردان جوان وجود دارد. مطالعه‌ای که شامل کار همکاران از راه دور و کار همکاران ساده بود، کاهش قدرت آلفای پایین و بالایی را به ویژه در قسمت‌های قشر خلفی در هر دو جنس نشان داد (رازومنیکوا، ۲۰۰۷). در تبیین این یافته‌ها می‌توان گفت افزایش امواج آلفا به صورت سنتی به عنوان همبستگی کارکردی از حالت غیرفعال قشری در نظرگرفته می‌شود، که احتمالاً منعکس‌کننده کاهش پردازش فعال اطلاعات در شبکه‌های عصبی است (فاستر، ۲۰۰۰). یک تفسیر ممکن بر اساس این دیدگاه می‌تواند این باشد که تولید ایده‌های اصیل و ابتکاری با سطوح پایینی از فعالیت و انگیختگی مغز همراه است. ازآنجایی‌که در تفکر همگرا به تولید ایده‌های ابتکاری نیاز نیست و افراد به دنبال دستیابی به یک راه‌حل مشخص هستند و همچنین با توجه به نوع تکالیف شناختی مربوط به تفکر همگرا استفاده از استدلال‌های تحلیلی برای حل تکالیف می‌تواند دلیلی برای تفاوت فعالیت امواج آلفا و تتا در تفکر همگرا و واگرا باشد (فینک و همکاران، ۲۰۰۹). بدین ترتیب در موقعیت تفکر واگرا که با ابتکار و نوآوری همراه است همگام‌سازی امواج آلفا و تتا (افزایش توان) در نیمکره راست رخ می‌دهد. همچنین همگام‌سازی امواج آلفا در طول تفکر واگرا می‌تواند منعکس‌کننده یک مکانیسم بازداری باشد که مانع از پردازش اطلاعات نزولی وارد شونده از ورودی های حسی می‌شود (جانسون و همکاران، ۲۰۰۲). به اعتقاد واگا و همکاران (۲۰۰۶) افزایش فعالیت مغز به معنی کاهش فعالیت آلفا و بالعکس است. پس در تفکر واگرا با کاهش فعالیت مغز و افزایش آلفا مواجه هستیم. همچنین طبق نظر جائوک (۲۰۱۲) درگیری بالا در ساختارهای ناحیه پیش پیشانی در موقعیت تفکر واگرا نشان‌دهنده این است که در ارتباط با کارکرد توجه متمرکز درونی است، درحالی‌که در موقعیت تفکر همگرا افراد ممکن است که استراتژی‌های نزولی که بیشتر درگیر در نواحی آهیانه‌ای است را شامل شود (جائوک و همکاران، ۲۰۱۲). این موارد تحقیقاتی را که نشان داده‌اند خصایص رفتاری و شناختی معین با باند فرکانس خاصی مرتبط هستند و غلبه هر یک از این باندها معمولاً با حالات روانی خاصی در ارتباط است را تأیید می‌کند (لارسن، ۲۰۰۶).

پس می‌توان گفت در تفکر واگرا که مغز درگیر فعالیت‌های خلاقانه می باشد نواحی درگیر متوجه کارکرد درونی بوده و افزایش توان آلفا و تتا در موقعیت تفکر واگرا به عنوان یک شاخص از عمق فرآیندهای در حال انجام از تصورات ذهنی در نظرگرفته شده است و نشان دهنده یک شاخص معتبر از فرآیندهای شناختی خاص از شناخت خلاق است که نوعی بازداری برای ورودی‌های نزولی محسوب می‌گردد. همچنین نشان‌دهنده این است که تولید ایده‌های خلاق با سطوح پایینی از انگیختگی همراه است و با کاهش فعالیت مغز، افزایش توان باند آلفا و تتا اتفاق می‌افتد. در تفکر همگرا مغز درگیر فعالیت‌های حل مسئله می‌باشد و با افزایش انگیختگی و افزایش فعالیت مغز و استراتژی‌های نزولی همراه است و شاهد کاهش در توان باند آلفا و تتا هستیم.

یک تازگی اصلی این مطالعه بررسی باند "فرکانسی تتا" مربوط به فرآیندهای تفکر همگرا و واگرا با استفاده ازمؤلفه الکتروانسفالوگرافی "توان نسبی" بود. از یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که باندهای فرکانسی با خصائص شناختی معین از جمله تفکر واگرا و همگرا مرتبط هستند و تغییرات باندهای فرکانسی مورد نظر، تحت تاثیر تکالیف واگرا و همگرا در نواحی پس سری مورد تأیید قرار گرفت و تفاوت تفکر واگرا و همگرا در باندهای فرکانسی آلفا و تتا در ناحیه پس سری راست تأیید شد. از مهم‌ترین محدویت‌های پژوهش وجود آرتیفکت در حین اجرای تکالیف بود. برهمین اساس برای ثبت EEG، استفاده از موج نگارمغزی و

کلاه مخصوص ثبت حرکت و مجهز به نویزگیر توصیه می‌گردد. پژوهش حاضر می‌تواند زمینه‌ای برای مطالعات بیشتر در ارتباط با موج نگار مغزی و مؤلفه‌های دیگر الکتروانسفالوگرام کمی همچون توان مطلق، هم‌نوسانی در دیگر باندهای فرکانسی در تفاوت تفکر واگرا و همگرا باشد و در توانمندسازی شناختی با تکنیک‌های نوین از جمله نوروفیدبک، نوروفیدبک لورتا، تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای (TDCS)، براساس باندهای فرکانسی و مکان‌های خاص به شکل‌گیری پروتکل‌های مؤثرتری به تقویت مغز کمک شایانی نماید. همچنین نتایج این مطالعه، داده‌های موج نگار مغزی را به عنوان داده‌ای معتبر در زمینه فرآیندهای شناختی تأیید می کند. دیگر اینکه انجام مطالعاتی که وضوح زمانی بالای EEG را با دقت فضایی fMRI ترکیب می‌کنند و می‌توانند درک بهتری از معنای عملکردی این سیگنال‌ها ارائه دهند نیز توصیه می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: این مطالعه بخشی از رساله دکتری روانشناسی دانشگاه بوعلی‌سینای همدان بود. همچنین پژوهش حاضر دارای کد اخلاق به شمار IR.BASU.REC.1401.014 می‌باشد. به جهت حفظ رعایت اصول اخلاقی در این پژوهش سعی شد تا جمع‌آوری اطلاعات پس از جلب رضایت شرکت‌کنندگان انجام شود. همچنین به شرکت‌کنندگان درباره رازداری در حفظ اطلاعات شخصی و ارائه نتایج بدون قید نام و مشخصات شناسنامه افراد، اطمینان داده شد.

حامی مالی: این پژوهش در قالب رساله دکتری و بدون حمایت مالی می‌باشد.

نقش هر یک از نویسندگان: این مقاله از رساله دکتری نویسنده اول و به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم و چهارم استخراج شده است.

تضاد منافع: نویسندگان همچنین اعلام می‌دارند که در نتایج این پژوهش هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی: بدین‌وسیله از تمامی شرکت‌کنندگان محترم در این مطالعه نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

آذر، عماد، (۱۳۹۶)، *بررسی همگامسازی امواج آلفا در تفکر واگرا و همگرا، پایان نامه کاشناسی ارشد*، دانشگاه فردوسی مشهد.

ارشادی‌منش، سودابه. (۱۴۰۰) مقایسه کنترل شده اثربخشی درمان حل مسأله خلاق و درمان شناختی رفتاری در افسردگی نوجوانان. *مجله علوم روانشناختی*، ۲۰ (۱۰۰)، ۵۰۱-۴۸۵.

http://dorl.net/dor/20.1001.1.17357462.1400.20.100.14.7

بیرامی، منصور، نظری، محمدعلی، و عندلیب کورایم، مرتضی. (۱۳۹۰). بررسی میزان هم نوسانی الگوهای امواج مغزی باند تتا در تفکر همگرا و تفکر واگرا. *تازه‌های علوم شناختی*، ۱۳(۲ (مسلسل ۵۰))، ۱-۸.

https://sid.ir/paper/82909/fa

مشکانی فراهانی، داو؛ شاهی، حسن؛ رضایی مرام، پیمان و الوندی سرابی، محمد. (۱۳۹۴). پیش‌بینی‌کننده‌های روانشناختی سبک‌های کنار آمدن با تنیدگی نوجوانان. *مجله علوم روانشناختی*، ۱۴ (۵۳)، ۱۰۹-۹۱.

http://dorl.net/dor/20.1001.1.17357462.1394.14.53.6.3

References

Abraham, A., Pieritz, K., Thybusch, K., Rutter, B., Kröger, S., Schweckendiek, J., Stark, R., Windmann, S., & Hermann, C. (2012). Creativity and the brain: uncovering the neural signature of conceptual expansion. *Neuropsychologia*, *50*(8), 1906–1917. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.015

Agnoli, S., Zanon, M., Mastria, S., Avenanti, A., & Corazza, G. E. (2020). Predicting response originality through brain activity: An analysis of changes in EEG alpha power during the generation of alternative ideas. *NeuroImage*, *207*, 116385. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116385

Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J. L., Green, D. L., Lubar, J. F., & Kounios, J. (2007). EEG neurofeedback: a brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly. *The Clinical neuropsychologist*, *21*(1), 110–129. https://doi.org/10.1080/13854040600744839

Azar, E. (2017). Investigating the synchronization of alpha waves in convergent and divergent thinking. Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

Basadur, M., Runco, M. A., & Vega, L. A. (2000). Understanding how creative thinking skills, attitudes and behaviors work together: A causal process model. *The Journal of Creative Behavior*, *34*(2), 77–100. https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.2000.tb01203.x

Benedek, M., Bergner, S., Könen, T., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2011). EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking. *Neuropsychologia*, *49*(12), 3505–3511. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.004

Benedek, M., Jauk, E., Fink, A., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F., & Neubauer, A. C. (2014). To create or to recall? Neural mechanisms underlying the generation of creative new ideas. *NeuroImage*, *88*(100), 125–133. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.021

Birami, M., Nazari, M. A., & Andalib Koorayim, M. (2011). Examining the level of coherence of theta band brainwave patterns in convergent and divergent thinking. *Advances in Cognitive Sciences*, 13(2), 1-8. (In Persian). https://sid.ir/paper/82909/en

Carroll, J. B. (1968). Reviews: Guilford, J. P. The Nature of Human Intelligence. New York: McGraw-Hill, 1967. 538 + xii pp. $14.75. American Educational Research Journal, 5(2), 249-256. https://doi.org/10.3102/00028312005002249

Chapman, L. J., & Chapman, J. P. (1987). The measurement of handedness. *Brain and cognition*, *6*(2), 175–183. https://doi.org/10.1016/0278-2626(87)90118-7

Chermahini, S. A., & Hommel, B. (2010). The (b)link between creativity and dopamine: spontaneous eye blink rates predict and dissociate divergent and convergent thinking. *Cognition*, *115*(3), 458–465. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.03.007

Cropley, A. (2006) In Praise of Convergent Thinking. Creativity Research Journal, 18, 391-404. http://dx.doi.org/10.1207/s15326934crj1803_13

Ershadi Manesh, S. (2021). A controlled comparison of the efficacy of creative problem solving therapy and cognitive behavioural therapy in adolescent' depression. *Journal of Psychological Science*. *20*(100), 485-501. (In Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.17357462.1400.20.100.14.7

Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2006). Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization. *The European journal of*

neuroscience, *23*(8), 2241–2246. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04751.x

Fink, A., Schwab, D., & Papousek, I. (2011). Sensitivity of EEG upper alpha activity to cognitive and affective creativity interventions. *International Journal of Psychophysiology*, *82*(3), 233–239. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.003

Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, *5*(9), 444–454. https://doi.org/10.1037/h0063487

Hommel, B., Colzato, L. S., Fischer, R., & Christoffels, I. K. (2011). Bilingualism and creativity: Benefits in convergent thinking come with losses in divergent thinking. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 273. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00273

Isen, A. M., Daubman, K. A., & Nowicki, G. P. (1987). Positive affect facilitates creative problem solving. *Journal of Personality and Social Psychology*, *52*(6), 1122–1131. https://doi.org/10.1037/0022-3514.52.6.1122

Japardi, K., Bookheimer, S., Knudsen, K., Ghahremani, D. G., & Bilder, R. M. (2018). Functional magnetic resonance imaging of divergent and convergent thinking in Big-C creativity. *Neuropsychologia*, *118*(Pt A), 59–67. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.017

Jauk, E., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2012). Tackling creativity at its roots: evidence for different patterns of EEG α activity related to convergent and divergent modes of task processing. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, *84*(2), 219–225. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.02.012

Javaid, S. F., & Pandarakalam, J. P. (2021). The Association of Creativity with Divergent and Convergent Thinking. *Psychiatria Danubina*, *33*(2), 133–139. https://doi.org/10.24869/psyd.2021.133

Jia, W., & Zeng, Y. (2021). EEG signals respond differently to idea generation, idea evolution and evaluation in a loosely controlled creativity experiment. *Scientific reports*, *11*(1), 2119. https://doi.org/10.1038/s41598-021-81655-0

Jiang, L., Yang, C., Pi, Z., Li, Y., Liu, S., & Yi, X. (2023). Individuals with High Metacognitive Ability Are Better at Divergent and Convergent Thinking. *Journal of Intelligence*, *11*(8), 162. https://doi.org/10.3390/jintelligence11080162

Kinoshita, Y., Yamasaki, F., Tominaga, A., Usui, S., Arita, K., Sakoguchi, T., Sugiyama, K., & Kurisu, K. (2017). Transsphenoidal Posterior Pituitary Lobe Biopsy in Patients with Neurohypophysial Lesions. *World neurosurgery*, *99*, 543–547. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.12.080

Liu, C., Lin, Y., Ye, C., Yang, J., & He, W. (2023). Alpha ERS-ERD Pattern during Divergent and Convergent Thinking Depends on Individual Differences on Metacontrol. *Journal of Intelligence*, *11*(4), 74. https://doi.org/10.3390/jintelligence11040074

Lochy, A., de Heering, A., & Rossion, B. (2019). The non-linear development of the right hemispheric specialization for human face perception. *Neuropsychologia*, *126*, 10–19. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.029

Matsumoto, K., Chen, C., Hagiwara, K., Shimizu, N., Hirotsu, M., Oda, Y., Lei, H., Takao, A., Fujii, Y., Higuchi, F., & Nakagawa, S. (2022). The Effect of Brief Stair-Climbing on Divergent and Convergent Thinking. *Frontiers in behavioral neuroscience*, *15*, 834097. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.834097

Mazza, A., Dal Monte, O., Schintu, S., Colombo, S., Michielli, N., Sarasso, P., Törlind, P., Cantamessa, M., Montagna, F., & Ricci, R. (2023). Beyond alpha-band: The neural correlate of creative thinking. *Neuropsychologia*, *179*, 108446. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108446

Moshkani Farahani, D., Shahi, H., Rezaiemaram, P., Alvandi Sarabi, M. (2015). Psychological predictors of coping styles with stress in adolescents. *Journal of Psychological Science*. *14*(53), 91-109. (In Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.17357462.1394.14.53.6.3

Pick, H., & Lavidor, M. (2019). Modulation of automatic and creative features of the Remote Associates Test by angular gyrus stimulation. *Neuropsychologia*, *129*, 348–356. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.010

Razoumnikova O. M. (2000). Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation. *Brain research. Cognitive brain research*, *10*(1-2), 11–18. https://doi.org/10.1016/s0926-6410(00)00017-3

Soroa, G., Aritzeta, A., Muela, A., Balluerka, N., Gorostiaga, A., & Aliri, J. (2020). The Emotional Divergent-Convergent Thinking Program (EDICOP): Design, Implementation, and Results.

European journal of investigation in health, psychology and education, *10*(4), 1051–1064. https://doi.org/10.3390/ejihpe10040074

Tan, B., Liao, Q., Xu, P., Zhang, J., Jin, Z., & Li, L. (2023). Selective Enhancement of Frontal-Posterior Functional Connectivity by Anodal tDCS Over the Right Posterior Parietal Cortex During Temporal Attention. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, *27*(7), 3666–3676. https://doi.org/10.1109/JBHI.2023.3267063

Zhang, H., Shi, Y., Yao, C., Tang, W., Yao, D., Zhang, C., Wang, M., Wu, J., & Song, Z. (2016). Alteration of the Intra- and Cross- Hemisphere Posterior Default Mode Network in Frontal Lobe Glioma Patients. *Scientific reports*, *6*, 26972. https://doi.org/10.1038/srep26972

Zhang, W., Sjoerds, Z., & Hommel, B. (2020). Metacontrol of human creativity: The neurocognitive mechanisms of convergent and divergent thinking. *NeuroImage*, *210*, 116572. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116572

Zhao, Y., Yuan, Y., Shen, W., Zhu, C., & Liu, D. (2019). The relationships between bilingual learning, willingness to study abroad and convergent creativity. *PeerJ*, *7*, e7776. https://doi.org/10.7717/peerj.7776

Zheng, Y., Denervaud, S., & Durrleman, S. (2023). Bilingualism and creativity across development: Evidence from divergent thinking and convergent thinking. *Frontiers in human neuroscience*, *16*, 1058803. https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.1058803

Zmigrod, S., Colzato, L. S., & Hommel, B. (2015). Stimulating creativity: modulation of convergent and divergent thinking by transcranial direct current stimulation (tDCS). *Creativity Research Journal*. 27(4), 353-360. https://doi.org/10.1080/10400419.2015.1087280.

Zuanazzi, A., & Cattaneo, L. (2017). The right hemisphere is independent from the left hemisphere in allocating visuospatial attention. *Neuropsychologia*, *102*, 197–205. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.005