



The Effect of Binaural Beats on Test Anxiety, Cognitive Ability and Executive Function Memory in Students with Test Anxiety

Hamoun Babaei¹ , Mojtaba Ahmadi² , Gholamreza Chalabianloo³ ,
Hassan Bafandeh Gharamaleki³ 

1. PhD student, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
2. MSc, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
3. Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Corresponding Author: Hassan Bafandeh Gharamaleki

E-mail: h_bafandeh@azaruniv.ac.ir

Received: 14 May 2025

Revised: 03 August 2025

Accepted: 16 August 2025

Published Online: 1 October 2025

Citation: Babaei, H., Ahmadi, M., Chalabianloo, G. & Bafandeh Gharamaleki, H. (2025). The Effect of Binaural Beats on Test Anxiety, Cognitive Ability and Executive Function Memory in Students with Test Anxiety. *Journal of Modern Psychological Researches*, 20(79), 14-25. doi: [10.22034/jmpr.2025.67305.6684](https://doi.org/10.22034/jmpr.2025.67305.6684)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Adolescence represents a peak period for mental health issues, which often continue into adulthood (Nota et al., 2023). Exams are one of the most important stressors in schools, which can lead to a decrease in student performance during the exam (Abe et al., 2024) and are associated with experiences of different levels of anxiety, the most important of which is exam anxiety (Qasemi et al., 2023). According to the reports of the American Psychiatric Association, the prevalence of test anxiety among students is 4-25% (Robson et al., 2023). It can be said that anxiety can affect working memory (Angelopoulou & Drigas, 2021). Working memory is a dynamic process involving the ability to hold and update information for a short time to perform a task (Qin & Basak, 2020).

Declining cognitive ability is one factor that can significantly affect working memory. Deficits in working memory affect a wide range of cognitive abilities and are one of the aspects that explain individual differences in the domain of global intelligence, with at least 40% of the variance (Avery et al., 2020). According to cognitive models, test anxiety includes worrying thoughts, mental ruminations, and decreased cognitive flexibility, and the behavioral model includes physiological reactions in the test situation and decreased performance (Doghan et al., 2024).

Increases in individual working memory capacity are associated with higher amplitudes of alpha oscillations (Sauseng, 2009). Another oscillation that is important in working memory is the beta band oscillations. Diber et al. (2007) hypothesized that the beta band is associated with item retention and active maintenance for subsequent task requirements. If two sound signals with different frequencies are broadcast from the two ears, the frequency of the internal sound perceived by the brain will be equal to the difference between these two signals, which is called the binaural beat (Basu and Banerjee, 2023).

Given the high and persistent prevalence of anxiety and its association with cognitive, academic, and social dysfunction, as well as the lack of appropriate interventions to reduce test anxiety and enhance working memory, implementing effective intervention programs to enhance working memory can be of great importance for adolescent students in reducing their test anxiety.

Method: The present study is a quasi-experimental, pre-test-post-test design with a control group. The statistical population consisted of male high school students from a government school in Qazvin city. From 200 people who were tested by the Friedman and Jacob anxiety test, 30 students who scored lower were selected by convenience sampling and randomly assigned to two groups of 15 people, experimental and control. First, participants in both groups were evaluated at the pre-test stage using cognitive ability tests and a Corsi Blocks Test. The test anxiety questionnaire score was also recorded as the participants’ score in the pre-test. Then, the participants of the experimental group received 10 Hz binaural beats through headphones for 30 minutes, 4 times a week, for four weeks. Then, participants of both groups were evaluated again in the post-test stage using the pre-test stage tools.

Data collection tool included: The Test Anxiety Questionnaire (TAQ), consisting of 23 questions with three components of social humiliation, cognitive error, and tension. The Corsi Blocks Test, designed and used by Corsi in the early 1970s to measure visual-spatial memory. This test was administered using a computer. After the examiner explained the procedure, participants performed the task. The Cognitive Ability Questionnaire (CAQ; Nejadi, 2013), which assess seven separate factors of cognitive ability: memory, selective attention and inhibitory control, decision-making, planning, sustained attention, social cognition, and cognitive flexibility.

The Brainwave synchronization using binaural beats in which the audio stimulus was created according to the protocol used by Cooper (2021) to create binaural beats in the alpha band for the treatment of anxiety. For this purpose, a base frequency of 400 Hz and a second frequency of 410 Hz were selected using Gnaural software, and a frequency of 10 Hz was generated. The output file format was WAV format and lasted for 30 minutes, and was presented to the participants through binaural headphones.

Results: Before conducting the MANOVA, its assumptions were examined. The results of the Kolmogorov-Smirnov test for each variable showed a normal distribution, and the results of the Levene test also showed that the assumption of homogeneity of variances was met. The results of the M-box test showed that the assumption of homogeneity of the variance-covariance matrix was met. The Wilks Lambda test results showed a significant difference between the experimental and control groups in the components of cognitive ability, working memory, and test anxiety. Covariance analysis was used to examine the nature of this difference.

The results of the covariance analysis showed a significant difference between the experimental and control groups’ post-test scores in the dependent variables of test anxiety, cognitive abilities, and working memory. Furthermore, the eta squared showed that brainwave synchronization explains 15% of the variance in test anxiety, 31% in cognitive abilities (excluding inhibitory control, planning, and social cognition), and 28% in working memory.

Table 1. Results of the Analysis of Covariance of the Effectiveness of Brainwave Synchronization on Research Variables

Independent variables	Source	SS	df	MS	F	p	Effect Size																																																																																																								
Exam anxiety	Group	132.07	1	132.07	4.80	0.03	0.15																																																																																																								
	Error	742.49	27	27.50				Memory	Group	41.94	1	41.94	7.004	0.01	0.20	Error	161.69	27	5.98	Inhibitory control	Group	9.80	1	9.80	2.14	0.15	0.07	Error	123.23	27	4.56	Decision making	Group	18.96	1	18.96	4.22	0.05	0.13	Error	121.34	27	4.49	planning	Group	0.55	1	0.55	0.17	0.68	0.006	Error	88.72	27	3.28	Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21	Error	91.35	27	3.38	social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28
Memory	Group	41.94	1	41.94	7.004	0.01	0.20																																																																																																								
	Error	161.69	27	5.98				Inhibitory control	Group	9.80	1	9.80	2.14	0.15	0.07	Error	123.23	27	4.56	Decision making	Group	18.96	1	18.96	4.22	0.05	0.13	Error	121.34	27	4.49	planning	Group	0.55	1	0.55	0.17	0.68	0.006	Error	88.72	27	3.28	Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21	Error	91.35	27	3.38	social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32								
Inhibitory control	Group	9.80	1	9.80	2.14	0.15	0.07																																																																																																								
	Error	123.23	27	4.56				Decision making	Group	18.96	1	18.96	4.22	0.05	0.13	Error	121.34	27	4.49	planning	Group	0.55	1	0.55	0.17	0.68	0.006	Error	88.72	27	3.28	Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21	Error	91.35	27	3.38	social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																				
Decision making	Group	18.96	1	18.96	4.22	0.05	0.13																																																																																																								
	Error	121.34	27	4.49				planning	Group	0.55	1	0.55	0.17	0.68	0.006	Error	88.72	27	3.28	Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21	Error	91.35	27	3.38	social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																
planning	Group	0.55	1	0.55	0.17	0.68	0.006																																																																																																								
	Error	88.72	27	3.28				Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21	Error	91.35	27	3.38	social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																												
Sustained attention	Group	25.13	1	25.13	7.24	0.01	0.21																																																																																																								
	Error	91.35	27	3.38				social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12	Error	84.13	27	3.11	Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																																								
social cognition	Group	11.81	1	11.81	3.79	0.06	0.12																																																																																																								
	Error	84.13	27	3.11				Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14	Error	137.66	27	5.09	Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																																																				
Cognitive flexibility	Group	23.76	1	23.76	4.66	0.04	0.14																																																																																																								
	Error	137.66	27	5.09				Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31	Error	1389.14	27	51.45	Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																																																																
Cognitive Ability (Total)	Group	645.99	1	645.99	12.55	0.001	0.31																																																																																																								
	Error	1389.14	27	51.45				Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28	Error	8.75	27	0.32																																																																																												
Active memory	Group	3.54	1	3.54	10.92	0.003	0.28																																																																																																								
	Error	8.75	27	0.32																																																																																																											

Discussion: This study was conducted to investigate the effect of binaural beats on test anxiety, cognitive ability, and executive function memory in students with test anxiety. The results showed that binaural beats can affect memory performance, cognitive ability, and test anxiety. Binaural beats can improve spatial working memory performance and increase cortical connectivity. Based on graphical network analyses, cortical activity during 15 Hz binaural beats produced networks characterized by high information transfer with consistent connectivity strengths across a visual spatial working memory task. Students who fail are distracted and unable to pay attention to the parts of the assignment. This lack of distraction and focus is due to anxiety. Binaural beats play an important role in working memory processing and can increase student performance by creating a sense of calm and reducing anxiety.

KEYWORDS

binaural beats, cognitive ability, executive function memory, exam anxiety, student



فصلنامه پژوهش‌های نوین روانشناختی



تأثیر ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان، توانایی شناختی و حافظه عملکرد اجرایی دانش‌آموزان دارای اضطراب امتحان

هامون بابائی^۱ ID، مجتبی احمدی^۲ ID، غلامرضا چلبیانلو^۳ ID، حسن بافنده قراملکی^۳ ID✉

۱. دانشجوی دکتری، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۳. گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

نویسنده مسئول: حسن بافنده قراملکی

رایانامه: h_bafandeh@azaruniv.ac.ir

استاددهی: بابائی، هامون، احمدی، مجتبی، چلبیانلو، غلامرضا و بافنده قراملکی، حسن. (۱۴۰۴). تأثیر ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان، توانایی شناختی و حافظه عملکرد اجرایی دانش‌آموزان دارای اضطراب امتحان. *فصلنامه پژوهش‌های نوین روانشناختی*، ۲۰ (۷۹)، ۱۴-۲۵. doi: [10.22034/jmpr.2025.67305.6684](https://doi.org/10.22034/jmpr.2025.67305.6684)

تاریخ دریافت: ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۲ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۵ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار آنلاین: ۹ مهر ۱۴۰۴

چکیده

مشخصات مقاله

پژوهش حاضر باهدف بررسی اثربخشی ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان، توانایی شناختی و حافظه عملکرد اجرایی دانش‌آموزان دارای اضطراب امتحان انجام شد. طرح پژوهش حاضر از نوع نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون - پس‌آزمون بود. جامعه آماری، دانش‌آموزان پسر متوسطه دوم نمونه‌دولتی سطح شهر قزوین در سال ۱۴۰۳ بود که ۳۰ نفر واجد شرایط ورود به مطالعه به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی در ۲ گروه آزمایش و کنترل (هر گروه ۱۵ نفر) گمارده شدند. ابزارهای پژوهش پرسشنامه توانایی‌های شناختی نجاتی (۱۳۹۲)، آزمون بلوک‌های کرسی (۱۹۷۰) و پرسشنامه اضطراب امتحان فریدمن و جاکوب (۱۹۷۷) بودند. سپس شرکت‌کنندگان گروه آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه، ۴ بار در هفته، به مدت چهار هفته ضربان دوگوشی ۱۰ هرتز را از طریق هدفون دریافت کردند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل کواریانس چندمتغیری در نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که ضربان دوگوشی ۱۰ هرتز به‌طور معنی‌داری حافظه فعال را بهبود بخشیده ($p < 0.05$)، توانایی‌های شناختی را (به‌جز در مؤلفه‌های کنترل مهاری، برنامه‌ریزی و شناخت اجتماعی) افزایش داده ($p < 0.05$) و موجب کاهش سطح اضطراب امتحان شد ($p < 0.05$). بنابراین می‌توان بیان کرد که روش درمانی همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا به‌عنوان یک روش مداخله‌ای غیرتهاجمی می‌تواند در جهت کاهش اضطراب امتحان و بهبود حافظه کاری و توانایی کارکردهای شناختی به کار گرفته شود.

کلیدواژه‌ها:

ضربان دوگوشی، توانایی شناختی، حافظه عملکرد اجرایی، اضطراب امتحان، دانش‌آموز

مقدمه

مکانیسمی است که از نزدیک با کنترل توجه افراد گره‌خورده است (آیزنک^{۱۳}، ۲۰۰۷). شناخته‌شده‌ترین مدل حافظه کاری مدل چند جزئی بدلی و هیچ (۱۹۷۴) است. این مدل فرض می‌کند که حافظه فعال از یک سیستم هسته نظارتی به نام اجرایی مرکزی (CE)^{۱۵} تشکیل شده است که فعالیت‌ها و اطلاعات را در سیستم‌های مستقل، یعنی حلقه واج‌شناختی و صفحه طراحی بصری- فضایی، هماهنگ می‌کند (بدلی، ۱۹۹۶). حلقه واجی^{۱۶} مسئول ذخیره‌سازی و تمرین موقت اطلاعات شنیداری است (بدلی و همکاران، ۱۹۹۸)، در حالی که صفحه طراحی دیداری- فضایی^{۱۷} مسئول ذخیره و تمرین اطلاعات بصری و مکانی است (بارتون^{۱۸} و همکاران، ۱۹۹۵). نقص در حافظه کاری بر طیف گسترده‌ای از توانایی‌های شناختی تأثیر می‌گذارد و یکی از جنبه‌هایی است که تفاوت‌های فردی را در حوزه هوش کلی با حداقل واریانس ۴۰ درصد تبیین می‌کند (آوری^{۱۹} و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات قبلی ارتباط معنی‌داری بین اضطراب امتحان و حافظه کاری را نشان داده است (ژو^{۲۰} و همکاران، ۲۰۲۴). احمد پور و جمالی امام قیسی (۱۴۰۰) در پژوهش خود هم به این نتیجه رسیدند که حافظه فعال برانگیزش تحصیلی و اضطراب امتحان تأثیر دارد. کارکردهای اجرایی کنش‌های عالی نظام عصبی هستند که به مجموعه‌ای از توانایی‌های شناختی از قبیل تمرکز کردن روی هدف و درگیر شدن با آن، تداوم توجه و گوش‌به‌زنگ بودن برای مدت طولانی، رمزگردانی و توجه به ویژگی‌های محرک و تغییر توجه از هدفی به هدف دیگر است (صمیمی و همکاران، ۱۳۹۸). حافظه کاری مانند سایر کارکردهای عصبی شناختی مغز، با نوسانات موج مغزی خاصی همراه است. برای مثال، افزایش در ظرفیت فردی حافظه کاری با دامنه بالاتری از نوسانات آلفا همراه است (سوسنگ^{۲۱}، ۲۰۰۹) یکی دیگر از نوساناتی که در حافظه کاری اهمیت دارد، نوسانات باند بتا است. دایبر^{۲۲} و همکاران (۲۰۰۷) فرض کردند که باند بتا با نگهداری آیتم و نگهداری فعال برای الزامات تکلیف بعدی مرتبط است. همچنین نوسانات بتا با عملکرد حافظه کاری بالاتر مرتبط با فیلتر اطلاعات نامربوط همبسته است (زانتو و غزالی^{۲۳}، ۲۰۰۹). امواج بتا (۴۰-۱۲ هرتز)، امواج مغزی با فرکانس بالا و کم دامنه هستند که معمولاً در حالت بیداری دیده می‌شوند. آن‌ها در تفکر آگاهانه و منطقی دخیل هستند و تمایل دارند تا اثر تحریک‌کننده‌ای داشته باشند. در شرایط مطلوب، امواج بتا به تمرکز آگاهانه، حافظه و حل مسئله کمک می‌کند (آبهنگ^{۲۴} و همکاران، ۲۰۱۶). همان‌طور که اشاره شد، حافظه کاری وظیفه دست‌کاری و موقت ذخیره‌سازی اطلاعات را بر عهده دارد و برای انجام تنوع وسیعی از فعالیت‌های شناختی ضروری است. به همین دلیل، حافظه کاری به‌عنوان هسته اصلی

اضطراب^۱ به حالتی اشاره می‌کند که به‌موجب آن، فرد بیش‌ازحد معمول درباره وقوع رخدادی وحشتناک در آینده، نگران و ناراحت است و می‌توان به اطمینان نداشتن فرد به توانایی خود در کنترل واکنش‌های اضطرابی و نیز اداره تکالیف زندگی به نحو مطلوب اشاره کرد (زوهانی و سیمون^۲، ۲۰۲۲). می‌توان گفت برای نوجوانان که در دوره اوج مسائل مربوط به سلامت روان می‌باشند و این شرایط اغلب تا بزرگسالی آن‌ها ادامه دارد (نوتا و همکاران^۳، ۲۰۲۳)، رویداد امتحان می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل استرس‌زا در مدارس برای آن‌ها باشد که منجر به پیامدهای روان‌شناختی و فیزیولوژیکی مختلفی شده و به کاهش عملکرد دانش‌آموزان در طی زمان برگزاری امتحان منجر می‌شود (آبه^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). این رویداد که همراه با تجاری از سطوح گوناگون اضطراب است باعث به وجود آمدن اضطراب امتحان^۵ می‌شود (قاسمی و همکاران، ۲۰۲۳). اضطراب امتحان، نوعی تفکر منفی نسبت به خود است که منجر به ایجاد هیجانات منفی مثل دل‌شوره، نگرانی، احساس خطر و ناامنی شده و در طول امتحان باعث بروز تداخل شناختی در فرآیند توجه و افکار تحریف‌شده و نامرتب با امتحان می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۴۰۲). طبق گزارش‌های انجمن روان‌پزشکی آمریکا، شیوع اضطراب امتحان در بین فراگیران ۴ الی ۲۵ درصد است (رابسون^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). یافته‌های تحقیق ما^۷ (۲۰۲۳) نشان داد که از هر ۴۷ دانش‌آموز، ۸ دانش‌آموز هنگام مواجهه با امتحانات مدرسه، اضطراب را تجربه می‌کنند. در حوزه روانشناسی، درک و پرداختن به اضطراب مربوط به امتحان در بین دانش‌آموزان به‌عنوان یک حوزه مهم برای تمرکز ظاهر شده است (وحيودين^۸ و همکاران، ۲۰۲۴). می‌توان گفت بیان کرد که اضطراب می‌تواند بر حافظه کارکردی^۹ تأثیر بگذارد (آنجلوپولو و درایگاس^{۱۰}، ۲۰۲۱). بدین‌جهت، یکی از مسائلی که می‌تواند اضطراب امتحان را تحت تأثیر قرار دهد مسئله حافظه کارکردهای اجرایی است؛ زیرا کارکردهای اجرایی بر عملکرد فرد در مدرسه تأثیر می‌گذارد و موفقیت تحصیلی دانش‌آموز را تحت شعاع خود قرار می‌دهد. می‌توان گفت که حافظه کاری یک فرایند پویا است که توانایی نگه‌داشتن و به‌روزرسانی اطلاعات برای یک دوره زمانی کوتاه برای انجام یک کار را بر عهده دارد (کین و باساک^{۱۱}، ۲۰۲۰؛ صمیمی زبیر و همکاران، ۱۳۹۴). به‌روزرسانی عملی اطلاعات شامل نظارت بر آن‌ها و مهار اطلاعات بی‌ربط است (پالادینو و آرتوسو^{۱۲}، ۲۰۱۸). حافظه کاری نه‌تنها سیستمی است که در آن اطلاعات شفاهی و مکانی می‌تواند وجود داشته باشد و برای مدت کوتاهی ذخیره و دست‌کاری شود (بدلی و هیچ^{۱۳}، ۱۹۷۴)، بلکه

13. Baddeley & Hitch
14. Eysenck
15. Central Executive
16. phonological loop
17. Visual-spatial
18. Barton
19. Avery
20. Xu
21. Sauseng
22. Deiber
23. Zanto & Gazzaley
24. Abhang

1. Anxiety
2. Szuhany, K. L., Simon
3. Nota
4. Abe
5. Test anxiety
6. Robson
7. Maa
8. Wahyudin
9. Working memory
10. Angelopoulou & Drigas
11. Qin & Basak
12. Palladino & Artuso

و همکاران، ۲۰۱۹)؛ بنابراین، ضربان دوگوشی در باند فرکانسی آلفا می‌تواند اثرات درمانی داشته و با تأثیر بر مغز منجر به بهبود کارکردهای شناختی و روان‌شناختی شود (لونگ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۲۲).

در صورتی که دو سیگنال صوتی با فرکانس‌های متفاوت از دو گوش پخش شود، فرکانس صوت درونی که مغز ادراک می‌کند، برابر با اختلاف این دو سیگنال خواهد بود که این پدیده ضربان دوگوشی اطلاق می‌شود (باسو و بانرجی^{۱۷}، ۲۰۲۳). با توجه به شیوع پایدار اضطراب و ارتباط آن با نقص کارکردهای شناختی، تحصیلی و اجتماعی و همچنین نبود مداخله‌های مناسبی در جهت کاهش اضطراب امتحان و بالا بردن حافظه کاری، اجرای برنامه‌های مداخله‌ای مؤثر در جهت بالا بردن حافظه کاری می‌تواند برای دانش آموزان نوجوان در کاهش اضطراب امتحان آن‌ها اهمیت زیادی داشته باشد؛ بنابراین سؤال اصلی پژوهش این است که آیا ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان، توانایی شناختی و حافظه کارکردی اجرایی دانش آموزان نمونه دولتی دارای اضطراب امتحان تأثیر دارد؟

روش

پژوهش حاضر نیمه آزمایشی و از نوع پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل و جامعه آماری شامل دانش آموزان پسر متوسطه دوم نمونه دولتی سطح شهر قزوین در سال ۱۴۰۳ می‌باشد. در پژوهش حاضر متغیر مستقل ضربان دوگوشی و متغیرهای وابسته حافظه عملکرد اجرایی، توانایی شناختی و سطح اضطراب امتحان بود. در این راستا، از بین ۲۰۰ نفر که توسط آزمون اضطراب امتحان فریدمن و جاکوب^{۱۸} موردسنجش قرار گرفتند، ۳۰ نفر از دانش آموزان که نمره پایین‌تری گرفته بودند به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به‌طور تصادفی در دو گروه ۱۵ نفره آزمایش و کنترل گمارده شدند. ابتدا شرکت‌کنندگان هر دو گروه در مرحله پیش‌آزمون توسط آزمون‌های توانایی‌های شناختی، آزمون بلوک‌های کرسی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمره پرسشنامه اضطراب امتحان نیز به‌عنوان نمره شرکت‌کنندگان در پیش‌آزمون ثبت شد. سپس شرکت‌کنندگان گروه آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه، ۴ بار در هفته، به مدت چهار هفته ضربان دوگوشی ۱۰ هرتز را از طریق هدفون دریافت کردند. سپس شرکت‌کنندگان هر دو گروه در مرحله پس‌آزمون، مجدداً توسط ابزارهای مرحله پیش‌آزمون مورد ارزیابی قرار گرفتند. ملاک‌های ورود به پژوهش شامل کسب نمره پایین‌تر در پرسشنامه اضطراب امتحان فریدمن و جاکوب، نداشتن مشکل شنوایی، نداشتن سابقه بیماری‌های قلبی و صرع و عدم مبتلابه اختلالات روان‌پزشکی دیگر بود. همچنین ملاک‌های خروج از پژوهش شامل هرگونه احساس تپش قلب و

بسیاری از عملکردهای پیچیده شناختی شناخته می‌شود (نجاتی و همکاران، ۱۳۹۱). در این رابطه می‌توان بیان کرد که یکی از عواملی که به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند بر حافظه کاری تأثیر بگذارد، توانایی شناختی^۱ است. عملکرد شناختی^۲ مجموعه فرایندهای ذهنی است که از طریق آن‌ها اطلاعات را به دست می‌آوریم، ذخیره می‌کنیم و هنگام نیاز بازیابی می‌کنیم (بلیزل^۳، ۲۰۰۴). برخی مطالعات نشان داده است که دانش‌آموزانی که اضطراب امتحان دارند، علاوه بر مشکلات تحصیلی، دائماً از مشکلات شناختی رنج می‌برند و به‌ندرت با مشکلات جسمانی مواجه می‌شوند (رسولی و همکاران، ۲۰۱۸). بیان شد که دلیل اصلی شکست دانش‌آموزان این است که نمی‌توانند به بخش‌های مربوط به تکالیف توجه کنند و افکار نامربوطی دارند که مانع موفقیت تحصیلی آن‌ها می‌شود. اضطراب امتحان به‌عنوان موقعیتی تعریف می‌شود که توجه دانش‌آموز با افکار ناگهانی منحرف می‌شود و اجازه نمی‌دهد روی تکالیف تمرکز کنند (رسولی و همکاران، ۲۰۱۸) بر اساس مدل‌های شناختی، اضطراب امتحان شامل افکار نگران‌کننده، نشخوارهای ذهنی و کاهش انعطاف‌پذیری شناختی و مدل رفتاری شامل واکنش‌های فیزیولوژیکی در موقعیت امتحان و کاهش عملکرد است (دوغان^۴ و همکاران، ۲۰۲۴؛ نول^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). اضطراب امتحان می‌تواند بر عملکرد شناختی افراد تأثیر بگذارد (جندریچکو^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). فرضیه تداخل ادعا می‌کند که اضطراب می‌تواند عملکرد فرد را در آزمون کاهش دهد. به این صورت که سطوح بالای اضطراب مانع از عملکرد افراد در سطح واقعی توانایی‌شان می‌شود، زیرا منابع شناختی برای پردازش یا مقابله عاطفی با افکار نگران‌کننده در مورد نتیجه آزمون تحلیل می‌رود (آیزنک، ۲۰۱۱). می‌توان بیان کرد که پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نقایص کارکردهای شناختی، از جمله حافظه کاری را می‌توان به روش همگام‌سازی امواج مغزی با ضربان دوگوشی بهبود بخشید (یاداو^۷ و همکاران، ۲۰۲۱؛ بوچن^۸ و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین بعضی پژوهش‌ها نتایج متناقض را نشان می‌دهند (اینجندو^۹ و همکاران، ۲۰۲۳). ضربان دوگوشی از شنوایی سیستم عصبی مرکزی سرچشمه می‌گیرد (اسکات^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹) و می‌تواند ریتم‌های مغزی را با فرکانس تحریک خارجی هماهنگ کند (وهبه^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۷) و برای کاهش اضطراب و افزایش آستانه درد و حافظه کاری استفاده می‌شود (مهدی زاده فانید و همکاران، ۱۴۰۲؛ راثو^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۴؛ گارسیا-آرگی بای^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹). نواختن صدای ۴۰۰ هرتز در گوش راست و ۴۱۰ هرتز در گوش چپ، مغز را به سمت فرکانس ضربان ۱۰ هرتز سوق می‌دهد که در محدوده آلفا مرتبط با آرامش است (لونگ و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهند با توجه به اینکه موج آلفا در بسیاری از پردازش‌های شناختی از جمله حافظه فعال نقش دارد (ویاندا و راس^{۱۴}، ۲۰۱۹؛ لوکاسیک^{۱۵}

10. Scott
11. Wahbeh
12. Rao
13. Garcia-Argibay
14. Wianda & Ross
15. Lukasik
16. Loong
17. Basu & Banerjee
18. Friedman, I. & Bendas-Jacob

1. Cognitive ability
2. Cognitive function
3. Bellisle
4. Doğan
5. Knoll
6. Jendryczko
7. Yadav
8. Beauchene
9. Ingendoh

ارزیابی هفت عامل مجزا که شامل حافظه (۰/۷۵)، توجه انتخابی و کنترل مهاری (۰/۶۲)، تصمیم‌گیری (۰/۶۱)، برنامه‌ریزی (۰/۵۷)، توجه پایدار (۰/۵۳)، شناخت اجتماعی (۰/۴۳) و انعطاف‌پذیری شناختی (۰/۴۵) با همسانی درونی خرده مقیاسی (درون پرائنتر) ارزیابی می‌کند. گویه‌ها در مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای از تقریباً هرگز (۱ امتیاز) تا تقریباً همیشه (۵ امتیاز) نمره‌گذاری شدند. همچنین به‌جز سؤالات مقیاس شناخت اجتماعی (سؤالات ۲۴ تا ۲۶)، سایر سؤالات مقیاس‌ها به‌صورت معکوس نمره‌گذاری می‌شوند. آلفای کرونباخ پرسشنامه ۰/۸۳ و همچنین در پژوهش دیگر نجاتی (۱۳۹۲)، همبستگی پیرسون دو نوبت آزمون در سطح ۰/۰۰۱ معنادار بوده است و روایی و قابلیت اعتماد آن مورد تأیید و قرار گرفته است. پایایی این پرسشنامه در پژوهش حاضر به روش آزمون-باز آزمون ۰/۸۲ به دست آمد.

همگام‌سازی امواج مغزی به روش ضربان دوگوشی: محرک صوتی مطابق با پروتکل استفاده‌شده توسط کوپر (۲۰۲۱) برای ساخت ضربان دوگوشی در باند آلفا برای درمان اضطراب ساخته شد. بدین منظور توسط نرم‌افزار Gnural فرکانس پایه ۴۰۰ هرتز و فرکانس داده‌شده ۴۱۰ هرتز انتخاب‌شده و فرکانس ۱۰ هرتز تولید شد. فرمت فایل خروجی با فرمت WAV و به مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد که توسط هدفون دوگوشی به شرکت‌کنندگان ارائه شد.

روند اجرای پژوهش

پس از انجام مراحل پیش‌آزمون توسط ابزارهای ارزیابی، جهت انجام مداخله، شرکت‌کنندگان طی مدت ۴ هفته و به مدت چهار روز در هفته با هماهنگی‌های قبلی ایجادشده، در دفتر مشاوره مدرسه نمونه دولتی حضور یافته و فایل صوتی تولیدشده را به مدت ۳۰ دقیقه توسط گوشی همراه هوشمند همراه با هدفون به شرکت‌کنندگان ارائه شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد درحالی‌که در صدلی در حالت آرمیده نشسته‌اند، چشمان خود را بسته و به صوت گوش کنند. یک روز پس از اتمام آخرین جلسه مداخله، مرحله پس‌آزمون اجرا گردید.

یافته‌ها

در پژوهش حاضر تعداد ۳۰ نفر از دانش‌آموزان دوره متوسطه نمونه دولتی شرکت داشتند. میانگین سنی دانش‌آموزان پسر ۱۶/۱۳ با انحراف استاندارد ۰/۷۳ بود. یافته‌های توصیفی ارائه‌شده در جدول ۱ آمده است. شایان‌ذکر است که در پرسشنامه اضطراب امتحان، هرچه قدر نمره فرد بالاتر باشد نشان‌دهنده‌ی اضطراب امتحان پایین و هرچه قدر نمره فرد پایین باشد نشان‌دهنده‌ی اضطراب امتحان بالا است.

هرگونه احساس ناخوشایند و سرگیجه حین مداخله بود. برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیره (MANCOVA) توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد.

ابزارهای پژوهش

پرسشنامه اضطراب امتحان فریدمن و جاکوب (TAQ^۱): این پرسشنامه توسط فریدمن و جاکوب (۱۹۹۷) به‌منظور سنجش اضطراب امتحان بزرگسالان طراحی شده است. این پرسشنامه دارای ۲۳ سؤال و سه مؤلفه‌ی تحقیر اجتماعی، خطای شناختی و تنیدگی است و بر اساس طیف پنج گزینه‌ای لیکرت می‌باشد. برای به دست آوردن امتیاز مربوط به هر بعد، مجموع امتیازات همه سؤالات را باهم جمع می‌کنیم. این نکته قابل توجه است که در این پرسشنامه، نمرات بالا نشان‌دهنده‌ی اضطراب امتحان پایین و نمرات پایین، نشان‌دهنده‌ی اضطراب امتحان بالا می‌باشد. در پژوهش باعزت و همکاران (۱۳۹۱) برای بررسی روایی این آزمون از روایی سازه و آزمون تحلیل عاملی استفاده و در گستره ۰/۸۳ تا ۰/۹۰ اعتبار یابی شد. همچنین پایایی پرسشنامه در پژوهش عبدالتاج‌دینی، آذری و آذین فام (۱۳۹۷) برای تحقیر اجتماعی، ۱/۹۱ خطای شناختی ۱/۸۵ و تنیدگی ۱/۸۳ و کل پرسشنامه ۱/۹۲ محاسبه شد. پایایی این پرسشنامه به روش آلفای کرونباخ در پژوهش حاضر ۰/۷۲ به دست آمد.

آزمون بلوک‌های کرسی^۲: آزمون بلوک‌های کرسی در اوایل سال ۱۹۷۰ توسط کرسی طراحی و مورد استفاده قرار گرفت. یکی از تکالیفی که حافظه دیداری-فضایی را اندازه می‌گیرد، تکلیف بلوک‌های کرسی است. این آزمون با استفاده از کامپیوتر انجام خواهد شد و پس از توضیح نحوه اجرای آن توسط آزمونگر، آزمودنی‌ها آن را اجرا خواهند کرد. به این صورت که شرکت‌کنندگان در این آزمون سعی می‌کنند تا مکان و موقعیت یک سری مربع‌های رنگی را درون یک کادر مستطیلی به خاطر بسپارند. بعد از نمایش این مربع‌های رنگی، شرکت‌کنندگان این مربع‌های رنگی را به‌وسیله ماوس کامپیوتر مشخص می‌کنند. با تعیین و مشخص کردن موقعیت و مکان مربع‌ها، شرکت‌کننده وارد مرحله دیگر می‌شود. در هر مرحله از آزمون، موقعیت مربع‌ها برای جلوگیری از راهکارهای جست‌وجوی تکراری تغییر می‌کند. بعد از ۲ خطای پی‌درپی، آزمون به‌طور خودکار به اتمام می‌رسد (آرس و مک مولن^۳، ۲۰۲۱). شرکت‌کنندگان در این پژوهش در مرحله آشناسازی، با طرز اجرای آزمون آشنا شده و سپس یک‌بار به‌صورت آزمایشی آزمون را اجرا خواهند کرد و در صورت آماده بودن، آزمون اصلی اجرا می‌شود. والکر^۴ و همکاران (۲۰۱۰) پایایی این آزمون را به روش آزمون-باز آزمون ۰/۷۶ به دست آوردند. در ایران، مهدی زاده فانی و همکاران (۱۴۰۲) پایایی این آزمون را به روش آزمون-باز آزمون، ۰/۸۱ به دست آوردند. در پژوهش حاضر، پایایی به روش آزمون-باز آزمون ۰/۸۳ به دست آمد.

پرسشنامه توانایی شناختی (CAQ^۵): این پرسشنامه توسط نجاتی (۱۳۹۲) طراحی و اعتبار یابی شد که ۳۰ سؤال دارد و توانایی شناختی را باهدف

2. Walker
3. Cognitive Abilities Questionnaire

4. Test Anxiety Questionnaire
5. Corsi Blocks Test
1. Arce and McMullen

جدول ۱: آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

متغیرها	پیش‌آزمون		کنترل		آزمایش		متغیرها	
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین		
اضطراب امتحان	۴/۹۲	۴۲/۵۳	۵/۷۰	۴۵/۴۶	۴/۸۶	۴۱/۸۶	۴/۴۶	۴۱/۰۶
حافظه	۲/۵۱	۸/۸۰	۲/۹۹	۱۱/۸۷	۲/۷۳	۹/۸۰	۱/۷۶	۱۰/۸۶
کنترل مهارت	۴/۵۴	۱۲/۴۶	۴/۸۳	۱۴/۷۳	۴/۷۶	۱۳/۱۳	۴/۷۹	۱۴/۴۰
تصمیم‌گیری	۳/۸۴	۱۰/۶۶	۲/۸۲	۱۱/۶۰	۴/۱۶	۱۱/۳۳	۳/۱۵	۱۰/۴۰
برنامه‌ریزی	۲/۸۵	۶/۵۳	۲/۸۲	۶/۴۰	۲/۸۹	۷/۷۳	۳/۴۱	۷/۹۳
توجه پایدار	۱/۹۹	۷/۱۳	۲/۲۷	۸/۸۰	۲/۵۲	۷/۴۰	۱/۹۴	۷/۰۶
شناخت اجتماعی	۱/۷۹	۵/۹۳	۲/۱۶	۷/۵۳	۲/۹۴	۶/۶۶	۲/۶۱	۷/۶۰
انعطاف‌پذیری شناختی	۳/۰۸	۹/۳۳	۲/۰۰۷	۱۱/۲۰	۳/۱۵	۹/۶۰	۳/۲۱	۹/۸۰
توانایی شناختی (کل)	۱۵/۱۱	۶۰/۸۶	۱۲/۵۲	۷۲/۱۳	۱۴/۸۵	۶۵/۶۶	۱۴/۵۴	۶۸/۰۶
حافظه فعال	۰/۶۴	۵/۸۰	۰/۸۷	۶/۶۳	۰/۶۵	۵/۴۳	۰/۸۵	۵/۶۳

ماتریس‌های کوواریانس واریانس از آزمون ام باکس استفاده شد. با توجه به این آزمون ($F=1/21$, $p=0/161$)، پیش‌فرض همگنی ماتریس واریانس-کوواریانس محقق شده است. نتایج آزمون کورویت بارتلت نشان داد که بین متغیرهای وابسته همبستگی متعارف وجود دارد ($p < 0/001$). همچنین نتایج آزمون لامبدای ویلکز نشان داد که بین گروه‌های آزمایش و کنترل در مؤلفه‌های توانایی شناختی، حافظه کارکردی و اضطراب امتحان تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($F=4/76$, $p=0/002$) که برای بررسی چگونگی این تفاوت، از تحلیل کوواریانس استفاده شد (جدول ۲).

با توجه به جدول ۱، تغییرات محسوس در اضطراب امتحان، توانایی شناختی (به‌جز در مؤلفه برنامه‌ریزی و شناخت اجتماعی) و حافظه فعال در قبل و بعد از آزمون در گروه آزمایش نشان داده می‌شود. قبل از اجرای آزمون تحلیل مانکوا، پیش‌فرض‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل کم بودن نمونه از آزمون شاپیرو ویلک جهت نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. نتایج این آزمون برای هر متغیر نشان داد که داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند ($p < 0/05$). نتایج آزمون لون نیز نشان داد که مفروضه همگنی واریانس‌ها رعایت شده است ($p > 0/05$). همچنین جهت بررسی مفروضه همگنی

جدول ۲: نتایج تحلیل کوواریانس اثربخشی همگام‌سازی امواج مغزی بر متغیرهای پژوهش

متغیر وابسته	مراحل	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معنی‌داری	مجذور اتا
اضطراب امتحان	گروه	۱۳۲/۰۷	۱	۱۳۲/۰۷	۴/۸۰	۰/۰۳	۰/۱۵
	خطا	۷۲۴/۴۹	۲۷	۲۷/۵۰			
	کل	۶۰۲۲۴/۰۰	۳۰	-			
حافظه	گروه	۴۱/۹۴	۱	۴۱/۹۴	۷/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۲۰
	خطا	۱۶۱/۶۹	۲۷	۵/۹۸			
	کل	۳۴۸۸/۰۱	۳۰	-			
کنترل مهارت	گروه	۹/۸۰	۱	۹/۸۰	۲/۱۴	۰/۱۵	۰/۰۷
	خطا	۱۲۳/۲۳	۲۷	۴/۵۶			
	کل	۶۲۰۴/۰۰	۳۰	-			
تصمیم‌گیری	گروه	۱۸/۹۶	۱	۱۸/۹۶	۴/۲۲	۰/۰۵	۰/۱۳
	خطا	۱۲۱/۳۴	۲۷	۴۹۴			
	کل	۴۰۴۴/۰۲	۳۰	-			
برنامه‌ریزی	گروه	۰/۵۵	۱	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۶۸	۰/۰۰۶
	خطا	۸۸/۷۲	۲۷	۳/۲۸			
	کل	۱۴۸۰/۱۲	۳۰	-			

گروه	۲۵/۱۳	۱	۲۵/۱۳	۷/۴۲	۰/۰۱	۰/۲۱
توجه پایدار	خطا	۲۷	۳/۳۸			
	کل	۳۰	-			
گروه	۱۱/۸۱	۱	۱۱/۸۱	۳/۷۹	۰/۰۶	۰/۱۲
شناخت اجتماعی	خطا	۲۷	۳/۱۱			
	کل	۳۰	-			
گروه	۲۳/۷۶	۱	۲۳/۷۶	۴/۶۶	۰/۰۴	۰/۱۴
انعطاف‌پذیری	خطا	۲۷	۵/۰۹			
شناختی	کل	۳۰	-			
گروه	۶۴۵/۹۹	۱	۶۴۵/۹۹	۱۲/۵۵	۰/۰۰۱	۰/۳۱
توانایی‌های	خطا	۲۷	۵۱/۴۵			
شناختی (کل)	کل	۳۰	-			
گروه	۳/۵۴	۱	۳/۵۴	۱۰/۹۲	۰/۰۰۳	۰/۲۸
حافظه فعال	خطا	۲۷	۰/۳۲			
	کل	۳۰	-			

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش و گروه کنترل در متغیر وابسته اضطراب امتحان، توانایی‌های شناختی (به‌جز در مؤلفه‌های کنترل مهارتی، برنامه‌ریزی و شناخت اجتماعی) و حافظه کارکردی وجود دارد ($p < 0.05$). به‌علاوه، مجذور اتا نشان می‌دهد که همگام‌سازی امواج مغزی، ۱۵ درصد از واریانس اضطراب امتحان، ۳۱ درصد از واریانس توانایی‌های شناختی (به‌جز مؤلفه‌های شناخت اجتماعی، برنامه‌ریزی و کنترل مهارتی) و ۲۸ درصد از واریانس حافظه فعال را تبیین می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با بررسی تأثیر ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان، توانایی شناختی و حافظه عملکرد اجرایی در دانش‌آموزان دارای اضطراب امتحان انجام گرفت. نتایج نشان داد که ضربان دوگوشی می‌تواند بر عملکرد کارکرد اجرایی تأثیر بگذارد. این با نتایج با پژوهش‌های اینجندو و همکاران (۲۰۲۳)؛ راثو و همکاران (۲۰۲۴)؛ یاداو و همکاران (۲۰۲۱)؛ زانتو و غزالی (۲۰۰۹)؛ بوچن و همکاران (۲۰۱۶)؛ دایبر و همکاران (۲۰۰۷)؛ مهدی زاده فانید و همکاران (۱۴۰۲) همسو است. پژوهش بوچن و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که ضربان دوگوشی می‌تواند عملکرد حافظه کاری فضایی را بهبود بخشد و اتصال‌پذیری قشری را افزایش دهند. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های شبکه گرافیکی، فعالیت قشر مغز در طول ضربان دوگوشی ۱۵ هرتز، شبکه‌هایی را ایجاد کرد که مشخصه انتقال اطلاعات بالا با نقاط قوت اتصال ثابت در سراسر وظیفه حافظه کاری فضایی بصری است. حافظه کاری با کنترل توجه به ضبط محرک‌های مرتبط با کار و سرکوب محرک‌هایی که تداخل ایجاد می‌کنند

1. Inferior colliculus

می‌پردازد (آیزنک، ۲۰۰۷). در همین جهت، لوکاسیک و همکاران (۲۰۱۹) بیان می‌کنند نوسانات آلفا برای نگهداری حافظه فعال و فیلتر کردن عوامل حواس‌پرت کننده اهمیت بالینی دارد. همان‌طور که بیان شد ضربان دوگوشی می‌تواند دقت در وظایف حافظه کاری فضایی را افزایش داده و این بهبود می‌تواند در اثر همگام‌سازی بیشتر در قشر شنوایی و مناطق مرتبط با توجه باشد. همچنین قدرت اتصال‌پذیری بین نواحی مختلف مغز را در حین انجام وظایف مربوط به حافظه تغییر دهد که این تغییرات ممکن است به پردازش کارآمد منجر شود.

در مورد تأثیر ضربان دوگوشی بر عملکرد شناختی، نتایج نشان داد که ضربان دوگوشی می‌تواند بر توانایی شناختی در حوزه انعطاف‌پذیری شناختی، تصمیم‌گیری، توجه پایدار و حافظه تأثیر بگذارد. این با پژوهش‌های لونگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ ویاندا و راس (۲۰۱۹)؛ یاداو و همکاران، ۲۰۲۱؛ گارسیا-آرگی بای و همکاران (۲۰۱۹) همسو است. هنگامی که دو گوش به‌طور هم‌زمان صداهای خالص با شدت یکسان اما فرکانس‌های کمی متفاوت را می‌شنوند، مغز این تفاوت فرکانس را دریافت می‌کند که ضربان دوگوشی نامیده می‌شود و ضربان درک شده مربوط به تفاوت فرکانس صداهای ارائه‌شده است. ضربان دوگوشی از کولیکولوس تحتانی^۱ (IC) در مسیر شنوایی سیستم عصبی مرکزی سرچشمه می‌گیرد (اسکات و همکاران، ۲۰۰۹) که با ارائه یک محرک خارجی مداوم با فرکانس نسبتاً ثابت، می‌تواند پاسخ فرکانسی را القا کند که می‌تواند ریتم‌های مغزی را با فرکانس تحریک خارجی هماهنگ کند (وهبه و همکاران، ۲۰۰۷). دانشمندان علوم اعصاب فرض می‌کنند که ممکن است در تنظیم فعالیت مدارهای مغزی مسئول پردازش شناختی مؤثر باشد و آن را برای کاربردهایی در بهبود عملکرد شناختی یا درمان کمکی اختلالات نقص شناختی مرتبط مناسب‌تر می‌کند.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از کلیه دانش‌آموزانی که در مراحل اجرایی پژوهش شرکت کرده و همکاری لازم را با پژوهشگران داشتند، قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافع مالی، سازمانی یا فردی در رابطه با این پژوهش وجود ندارد.

منابع مالی

این مطالعه بدون حمایت مالی از سوی هیچ سازمان دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

استانداردهای اخلاق پژوهشی به دقت رعایت شد، به نحوی که شرکت‌کنندگان از هدف پژوهش اطلاع کامل داشتند؛ اطلاعات دریافت شده به صورت محرمانه باقی مانده بود و رضایت آگاهانه آنها جلب شد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش به علت رعایت محرمانگی اطلاعات شخصی دانش‌آموزان به صورت عمومی در دسترس نیستند. در صورت نیاز پژوهشگران دیگر، امکان دسترسی به داده‌ها از طریق مکاتبه رسمی با نویسنده مسئول فراهم است.

نقش نویسندگان

هامون بابائی: بررسی و انتخاب موضوع مقاله، تحریر مقاله، کمک و همراهی در گرفتن آزمون از آزمودنی‌های پژوهش تحت نظارت استاد متخصص، وارد کردن داده‌ها و تحلیل آزمون، انجام اصلاحیات مقاله.

مجتبی احمدی: بررسی و انتخاب مقاله، گرفتن آزمون از آزمودنی‌های مورد نظر پژوهش تحت نظارت استاد متخصص.

غلامرضا چلبیانلو: نظارت بر روند تکمیل مقاله، نظارت بر ارائه آزمون و روند درمان بر آزمودنی‌های پژوهش، ارائه راهنمایی‌هایی جهت اصلاحیات موجود در مقاله.

حسن بافنده قراملکی: نظارت بر روند تکمیل مقاله، نظارت بر ارائه آزمون و روند درمان بر آزمودنی‌های پژوهش، نظارت بر وارد کردن داده‌ها، تحلیل آزمون در برنامه SPSS و بررسی جداول مقاله، ارائه راهنمایی‌هایی جهت اصلاحیات مقاله.

همان‌طور که بدلی و هیچ (۱۹۷۴) اشاره کردند حافظه فعال مکانیسمی است که از نزدیک با کنترل توجه افراد گره‌خورده است؛ یعنی هرچقدر میزان عملکرد اجرایی بالا باشد، توانایی توجه پایدار صورت می‌پذیرد و باعث افزایش میزان عملکرد شناختی می‌شود. همچنین نتایج نشان داد ضربان دوگوشی بر شناخت اجتماعی، کنترل مهاری و برنامه‌ریزی تأثیری ندارد. پژوهش اینجندو و همکاران، (۲۰۲۳) نتایج متناقضی را در تأثیر ضربان دوگوشی بر کارکرد شناختی و حافظه اشاره کرده بود. در این مورد اگرچه پژوهش‌های کاملی در این زمینه انجام نگرفته است اما می‌توان اشاره کرد که اگرچه ضربان دوگوشی می‌تواند امواج مغزی را همگام کند اما برای یک عملکرد پیچیده مانند برنامه‌ریزی، نیاز به همگام‌سازی پایدار و هدفمند در نواحی مختلف مغز است که ممکن است با تحریک صوتی، ساده به دست نیاید. همچنین نتایج نشان داد که ضربان دوگوشی بر اضطراب امتحان تأثیر دارد. این با نتایج لونگ و همکاران (۲۰۲۲)؛ لونگ و همکاران (۲۰۲۲)؛ گارسیا-آرگی بای و همکاران (۲۰۱۹) همسو است. همان‌طور که بیان شد، اضطراب امتحان باعث کاهش توانایی شناختی و حافظه کارکردی در افراد می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۴؛ احمد پور و جمالی امام قیسی، ۱۴۰۰). لونگ و همکاران (۲۰۲۲) بیان می‌کند که ضربان دوگوشی ممکن است بر سیستم اعصاب خودمختار تأثیر بگذارد، به طوری که می‌تواند فعالیت سیستم پاراسمپاتیک را افزایش داده و کاهش فعالیت سیستم سمپاتیک را تسهیل کند. به طوری که ضربان دوگوشی می‌تواند علائمی همچون تپش قلب، تنفس سریع و اسپاسم عضلانی را کاهش داده و باعث احساس آرامش در فرد شده و در نتیجه باعث کاهش اضطراب شود (مهدی زاده فانید و همکاران، ۱۴۰۲). بیان شد علت دانش‌آموزانی که موفق نمی‌شوند این است که حواس‌پرت هستند و نمی‌توانند به بخش‌های مربوط به تکالیف توجه کنند. همچنین افکار نامربوطی دارند که مانع این موفقیت می‌شود. این افکار نامربوط مانند نشخوارهای ذهنی و کاهش انعطاف‌پذیری شناختی که ناشی از کاهش عملکرد شناختی است به وجود می‌آید (دوغان و همکاران، ۲۰۲۴؛ رسولی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ که همچنین با نظر به فرضیه تداخل این عدم حواس‌پرتی و تمرکز به علت اضطراب می‌باشد. ضربان دوگوشی نقش مهمی در پردازش حافظه فعال دارد و با ایجاد حس آرامش و کاهش اضطراب می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانش‌آموزان گردد. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به این موارد اشاره کرد با توجه به ماهیت اکتشافی، اندازه نمونه کوچک این یافته‌ها باید با احتیاط تفسیر شوند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده کاربردهای طولانی‌مدت این مداخلات در محیط‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. همچنین یکی از محدودیت‌ها تک جنسیتی بودن نمونه پژوهش (دانش‌آموزان پسر) می‌باشد. از پیشنهادات پژوهش می‌توان اشاره کرد که به دلیل مطالعات محدود در مورد علت عدم تأثیر ضربان دوگوشی بر مؤلفه‌های کنترل مهاری، شناخت اجتماعی و برنامه‌ریزی می‌توان بر روی این جنبه‌ها پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه در دیگر شهرها بر روی دانش‌آموزان دختر اجرا شود تا نتایج پژوهش‌های انجام‌شده با هم قابل‌مقایسه باشد. در این پژوهش، آموزش فقط برای دانش‌آموزان اجرا شد. از این رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده بر روی دانشجویان هم انجام گیرد.

References

- Abdol Tajdini, P., Sakin Azari, R., Azin Fam, A. (2018). The effectiveness of the Perez creativity training method on test anxiety and academic performance of female students in Maragheh city. *Women and Family Studies*, 42 (11), 29-54. (In Persian)
- Abe, Thomas, Gbenro, S. (2024). Effects of Test Anxiety On Students' Performance in Mathematics in Senior Secondary Schools in Ekiti State. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 5, 25-34. DOI:[10.37745/bjmas.2022.0486](https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0486)
- Abhang., P., A., Gawali., B., W., Mehrotra., S., C. (2016). *Introduction to EEG-and Speech-based Emotion Recognition*. Academic Press.
- Ahmadpour, A., Al-Baneen Jamali Imam, M. (2021). The effectiveness of teaching working memory strategies on academic motivation and test anxiety of students. *Journal of New Achievements in Humanities Studies*, 4(38). (In Persian).
- Angelopoulou, E., & Drigas, A. (2021). Working memory, attention, and their relationship: A theoretical overview. *Research, Society and Development*, 10(5), e46410515288. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15288>
- Arce, T., & McMullen, K. (2021). The Corsi Block-Tapping Test: Evaluating methodological practices with an eye towards modern digital frameworks. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100099>
- Avery, E. W., Yoo, K., Rosenberg, M. D., Greene, A. S., Gao, S., Na, D. L., Scheinost, D., Constable, T. R., & Chun, M. M. (2020). Distributed Patterns of Functional Connectivity Predict Working Memory Performance in Novel Healthy and Memoryimpaired Individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(2), 241-255. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01487
- Baddeley A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *The Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-)
- Baddeley, A., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105, 158. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.105.1.158>
- Barton, A., Matthews, B., Farmer, E., & Belyavin, A. (1995). Revealing the basic properties of the visuospatial sketchpad: The use of complete spatial arrays. *Acta Psychologica*, 89, 197-216. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)98944-Y](https://doi.org/10.1016/0001-6918(95)98944-Y)
- Basu, S., & Banerjee, B. (2023). Potential of binaural beats intervention for improving memory and attention: insights from meta-analysis and systematic review. *Psychological Research*, 87(4), 951-963. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01706-7>
- Beauchene, C., Abaid, N., Moran, R., Diana, R. A., & Leonessa, A. (2016). The Effect of Binaural Beats on Visuospatial Working Memory and Cortical Connectivity. *PLoS one*, 11(11), e0166630. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166630>
- Bellisle, F. (2004). Effects of diet on behaviour and cognition in children. *The British journal of nutrition*, 92 Suppl 2, S227-S232. <https://doi.org/10.1079/bjn20041171>
- Deiber, M. P., Missonnier, P., Bertrand, O., Gold, G., Fazio-Costa, L., Ibañez, V., & Giannakopoulos, P. (2007). Distinction between perceptual and attentional processing in working memory tasks: a study of phase-locked and induced oscillatory brain dynamics. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(1), 158-172. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.1.158>
- Doğan, U. (2024). The relationship between test anxiety, rumination, and psychological flexibility. *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, 43(3), 2568-2577. <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04411-9>
- Eysenck, M. W., & Derakshan, N. (2011). New perspectives in attentional control theory. *Personality and Individual Differences*, 50(7), 955-960. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.08.019>
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion (Washington, D.C.)*, 7(2), 336-353. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>
- Friedman, I. A., & Bendas-Jacob, O. (1997). Measuring perceived test anxiety in adolescents: A self-report scale. *Educational and Psychological Measurement*, 57(6), 1035-1046. <https://doi.org/10.1177/0013164497057006012>
- Garcia-Argibay, M., Santed, M. A., & Reales, J. M. (2019). Efficacy of binaural auditory beats in cognition, anxiety, and pain perception: a meta-analysis. *Psychological research*, 83(2), 357-372. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1066-8>
- Ghasemi, S. A., Khamesan, A., Talebzade Shoshtari, L. and Masanani, Z. (2023). Test Anxiety Interventions for Adolescents: A Systematic Review of Iranian Research. *Qualitative Research in Behavioral Sciences (QRBS)*, 2(1), 35-48. (In Persian) doi: [10.22077/qrebs.2024.7531.1030](https://doi.org/10.22077/qrebs.2024.7531.1030)
- Ingendoh, R. M., Posny, E. S., & Heine, A. (2023). Binaural beats to entrain the brain? A systematic review of the effects of binaural beat stimulation on brain oscillatory activity, and the implications for psychological research and intervention. *PLoS one*, 18(5), e0286023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286023>
- Izadifard, R., Sadeghi, M., Baezat, F., Rubenzadeh, S. (2012). Validation and standardization of persian version of Friedben Test Anxiety Scale (FTA). *Journal of Psychological Studies*, 8(1), 51-66. (In Persian) doi: [10.22051/psy.2012.1528](https://doi.org/10.22051/psy.2012.1528)
- Jendryczko, D., Scharfen, J., & Holling, H. (2019). The impact of situational test anxiety on retest effects in cognitive ability testing: a structural equation modeling approach. *Journal of Intelligence*, 7(4), 22. <https://doi.org/10.3390/jintelligence7040022>
- Knoll, R. W., Valentiner, D. P., & Holzman, J. B. (2019). Development and Initial Test of the Safety Behaviors in Test Anxiety Questionnaire: Superstitious Behavior, Reassurance Seeking, Test Anxiety, and Test Performance. *Assessment*, 26(2), 271-280. <https://doi.org/10.1177/1073191116686685>
- Loong, L. J., Ling, K. K., Tai, E. L. M., Kueh, Y. C., Kuan, G., & Hussein, A. (2022). The Effect of Binaural Beat Audio on Operative Pain and Anxiety in Cataract Surgery under Topical Anaesthesia: A Randomized Controlled Trial. *International journal of environmental research and*

- public health, 19(16), 10194. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610194>
- Lukasik, K. M., Waris, O., Soveri, A., Lehtonen, M., & Laine, M. (2019). The relationship of anxiety and stress with working memory performance in a large non-depressed sample. *Frontiers in Psychology*, 10, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00004>
- Maa, X. (2023). The Effect of Psychological Control on Students' Exam Anxiety. *Journals Advances in Educational Technology and Psychology*. DOI: [10.23977/aetp.2023.070301](https://doi.org/10.23977/aetp.2023.070301)
- Mehdizadeh Fanid, L. , Bayrami, M. , Sabouri Moghaddam, H. , Hashemi, T. and Dadashi, S. (2023). Effectiveness of Brainwave Entrainment in Alpha Band on Working Memory, Anti-Saccade and Anxiety Level of Anxious Participants. *Journal of Psychological Studies*, 19(3), 7-20. (In Persian) doi: [10.22051/psy.2023.44257.2812](https://doi.org/10.22051/psy.2023.44257.2812)
- Nejati V. (2013). Cognitive Abilities Questionnaire: Development and Evaluation of Psychometric Properties. *Advances in Cognitive Sciences*, 15 (2), 11-19. (In Persian) URL: <http://icssjournal.ir/article-1-289-fa.html>
- Nejati, V, Izadi-Najafabadi, S. (2012) Verbal fluency and working memory deficit in first-degree relatives of autistic children. *Journal of Gorgan Univ Med Sci*, 14(3), 109-114. (In Persian) URL: <http://goums.ac.ir/journal/article-1-1460-fa.html>
- Nejati, V. (2014). Correlation between Students' Educational Status and Brains' Cognitive Abilities. *Educ Strategy Med Sci*, 6 (4), 217-221. (In Persian) URL: <http://edcbmj.ir/article-1-428-fa.html>
- Nota, M. H. C., Nicolas, S., O'Leary, O. F., & Nolan, Y. M. (2023). Outrunning a bad diet: Interactions between exercise and a Western-style diet for adolescent mental health, metabolism and microbes. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 149, 105147. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105147>
- Palladino, P., & Artuso, C. (2018). Working memory updating: Load and binding. *Journal of General Psychology*, 145(1), 45–63. <https://doi.org/10.1080/00221309.2017.1415083>
- Qi, S., Chen, J., Hitchman, G., Zeng, Q., Ding, C., Li, H., & Hu, W. (2014). Reduced representations capacity in visual working memory in trait anxiety. *Biological psychology*, 103, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.08.010>
- Qin, S., & Basak, C. (2020). Age-related differences in brain activation during working memory updating: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107335>
- Rao, A. Z., Mujib, M. D., Qazi, S. A., Alokaily, A. O., Ikhlaq, A., Mirza, E. H., Aldohbeyb, A. A., & Hasan, M. A. (2024). Predicting the effectiveness of binaural beats on working memory. *Neuroreport*, 35(17), 1082–1089. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000002101>
- Rasouli, R., Mohamad Alipour, Z., & Taghi Pour, E. (2018). Effectiveness of cognitive learning strategies on test anxiety and school performance of students. *Int J Educ Psychol Res*, 4(1), 20-5. DOI: [10.4103/jepr.jepr.84.16](https://doi.org/10.4103/jepr.jepr.84.16)
- Robson, D. A., Johnstone, S. J., Putwain, D. W., & Howard, S. (2023). Test anxiety in primary school children: A 20-year systematic review and meta-analysis. *Journal of school psychology*, 98, 39–60. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2023.02.003>
- Rostami, S, Asadzadeh, H, Entesar Foumani, G, Hejazi, M. (2024). Comparison of the Effectiveness of Confrontational Cat Treatment Program and Self-Encouragement Training on Students' Social Anxiety and Exam Anxiety. *Rooyesh*. 12(12), 55-64. (In Persian) URL: <http://frooyesh.ir/article-1-4608-fa.html>
- Samimi, Z, Hasani, J, Kord Tamini, M, Afzoon, J. (2015). The Effectiveness of Emotional Working Memory Training in cognitive and affective Control of Adolescents with Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD). *J Child Ment Health*, 2(3), 21-37. (In Persian) URL: <http://childmentalhealth.ir/article-1-55-fa.html>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Heise, K. F., Gruber, W. R., Holz, E., Karim, A. A., Glennon, M., Gerloff, C., Birbaumer, N., & Hummel, F. C. (2009). Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity. *Current biology: CB*, 19(21), 1846–1852. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.08.062>
- Scott, B. J. Malone and M. N. Semple. (2009). Representation of dynamic interaural phase difference in auditory cortex of awake rhesus macaques. *J. Neurophysiol*, 101(4), 1781-1799. doi: [10.1152/jn.00678.2007](https://doi.org/10.1152/jn.00678.2007)
- Song, J., Chang, L., & Zhou, R. (2022). Effect of test anxiety on visual working memory capacity using evidence from event-related potentials. *Psychophysiology*, 59(2), e13965. <https://doi.org/10.1111/psyp.13965>
- Szuhany, K. L., & Simon, N. M. (2022). Anxiety Disorders: A Review. *JAMA*, 328(24), 2431–2445. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.22744>
- Wahbeh, H., Calabrese, C., & Zwickey, H. (2007). Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects. *Journal of alternative and complementary medicine (New York, N.Y.)*, 13(1), 25–32. <https://doi.org/10.1089/acm.2006.6196>
- Wahyudin, H., Ramli, M., Chusniyah, T., Eva, N., & Oktasari, M. (2024). Solution-Focused Brief Counseling: An Effective Strategy for Reducing Student Exam Anxiety. *Edu Consilium: Jurnal Bimbingan dan Konseling Pendidikan Islam*, doi: <https://doi.org/10.19105/ec.v5i1.12262>
- Walker, S. P., Chang, S. M., Younger, N., & Grantham-McGregor, S. M. (2010). The effect of psychosocial stimulation on cognition and behaviour at 6 years in a cohort of term, low-birthweight Jamaican children. *Developmental medicine and child neurology*, 52(7), e148–e154. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03637.x>
- Wianda, E., & Ross, B. (2019). The roles of alpha oscillation in working memory retention. *Brain and Behavior*, 9(4), e01263. <https://doi.org/10.1002/brb3.1263>
- Xu, C., & Wei, H. (2024). The effect of working memory training on test anxiety symptoms and attentional control in adolescents. *BMC psychology*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01597-w>
- Yadav, G. S., Francisco J. C., & Ranjani B. I. (2021). Using mindfulness meditation and brainwave entrainment to improve teenage mental wellbeing. *Frontiers in Psychology*, 12, 742892. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.742892>
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2009). Neural suppression of irrelevant information underlies optimal working memory performance. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 29(10), 3059–3066. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4621-08.2009>