Psychological Studies
Vol.19, No.3, Autumn 2023, Serial No.72
Submitted Date:2023-07-01 Accepted Date: 2023-11-27
Pages : 7-20
DOI : 10.22051/PSY.2023.44257.2812
https://psychstudies.alzahra.ac.ir/article_7463.html

Research paper

Effectiveness of Brainwave Entrainment in Alpha Band on Working Memory, Anti-Saccade and Anxiety Level of Anxious Participants

Leila Mehdizadeh Fanid[1]; Mansour Bayrami[2]; Hassan Sabouri Moghaddam[3]; Touraj Hashemi[4]; Siamak Dadashi[*5]

Abstract

The aim of this study was to determine the effect of Brainwave Entrainment in alpha band on working memory, anti-saccade and anxiety level of anxious participants. The present study is a quasi-experimental project of pre-test-post-test with control group. In this regard, after screening 250 university students, 30 anxious participants were selected by Beck anxiety inventory and randomly divided into one experimental group and one control group (15 groups each). All participants were assessed in the pre-test and post-test stages by the Corsi Blocks Tapping test, Antisaccade Task and Beck Anxiety inventory. Participants in the experimental groups received 10 Hz binaural beats for 30 minutes for 5 days a week in a period of one month. Data were analyzed using multivariate analysis of covariance. The findings showed that 10 Hz binaural beats (alpha bands) significantly improved pasticipant's working memory, increased antisaccade and decreased anxiety level. Therefore, brainwave entrainment in the alpha band is recommended as a non-invasive intervention method to reduce the level of anxiety and improve cognitive functions.

Keywords: Anxiety, antisaccade, brainwave entrainment, working memory

[1] Assistant professor, Department of cognitive neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
[2] Professor, Department of psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Associate professor, Department of cognitive neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[4] Professor, Department of psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[5] Corresponding Autho: Ph.D student of cognitive neuroscience, Department of cognitive neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran siamakdadashi94@gmail.com

مطالعات روان‌شناختی دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۲
مقاله پژوهشی صفحات: ۲۰-۷
تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶
DOI : 10.22051/PSY.2023.44257.2812
https://psychstudies.alzahra.ac.ir/article_7463.html

مقاله پژوهشی

تأثیر همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا برحافظه فعال، آنتی‌ساکاد وسطح اضطراب شرکت‌کنندگان اضطرابی

لیلا مهدیزاده فانید[۱]، منصور بیرامی[۲]، حسن صبوری مقدم[۳]، تورج هاشمی[۴]، سیامک داداشی[۵*]

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین اثربخشی همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا برحافظهٔ فعال، آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) و سطح اضطراب شرکت‌کنندگان اضطرابی بود. طرح پژوهش حاضر از نوع نیمه آزمایشی پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل بود. در این راستا، پس از غربالگری ۲۵۰ دانشجو، تعداد ۳۰ دانشجوی اضطرابی توسط پرسشنامهٔ اضطراب بک انتخاب شده و به طور تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل گمارده شدند (هر گروه ۱۵ نفر). همهٔ شرکت‌کنندگان در پیش‌آزمون و پس‌آزمون توسط آزمون بلوک‌های تپنده کرسی، تکلیف آنتی‌ساکاد و پرسشنامه اضطراب بک ارزیابی شدند. شرکت‌کنندگان گروه آزمایش، ضربان‌های دوگوشی ۱۰ هرتز را به مدت ۳۰ دقیقه، ۵ روز در هفته طی مدت یک ماه دریافت کردند. داده‌ها با استفاده از تحلیل کوواریانس چندمتغیره تحلیل شد. نتایج نشان داد که ضربان های دو گوشی ۱۰ هرتز (باند آلفا) به طور معنی داری حافظهٔ فعال را بهبود بخشیده، آنتی‌ساکاد را افزایش داده و موجب کاهش سطح اضطراب شد.. بنابراین، همگام سازی امواج مغزی در باند آلفا به عنوان روش مداخله ای غیر تهاجمی جهت کاهش اضطراب و بهبود کارکردهای شناختی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها : اضطراب، آنتی‌ساکاد، حافظه فعال، همگام‌سازی امواج مغزی

[۱] استادیار، گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۲] استاد، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۳] دانشیار، گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۴] استاد، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۵] نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری علوم اعصاب شناختی، گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
siamakdadashi94@gmail.com

مقدمه

اضطراب و ترس پاسخ‌های طبیعی به تهدیدهای بالقوه یا واقعی هستند. آنها ممکن‌است مکرر، بیش‌ازحد و طولانی شوند، عملکرد طبیعی را مختل‌کرده و منجربه اضطراب پاتولوژیک شوند(کاسکینن و هواتا[1]، ۲۰۲۳). تجربهٔ ذهنی پریشانی همراه با اختلالات خواب، تمرکز، عملکرد اجتماعی و یا شغلی از علائم رایج در بسیاری از اختلالات اضطرابی است. افراد اضطرابی اغلب با شکایت از سلامت جسمی ضعیف به عنوان نگرانی اصلی خود مراجعه می کنند(ادواز[2] و همکاران، ۲۰۱۹). شیوع اضطراب در طول همه‌گیری کووید-۱۹ افزایش‌یافته‌است؛ بطوری‌که، تقریبا ٪۲۵ از بزرگسالان علائم اضطراب را گزارش کرده‌اند(زوهانی و سیمون[3]، ۲۰۲۲). علت اضطراب ممکن است شامل استرس، وضعیت جسمانی مانند دیابت یا سایر بیماری های همراه مانند افسردگی، ژنتیکی، بستگان درجه یک مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر (٪۲۵)، عوامل محیطی مانند سوء استفاده از کودکان و سوء مصرف مواد باشد. از دیدگاه عصب‌شناختی به نظر می رسد که سیستم های نورآدرنرژیک، سروتونرژیک و سایر انتقال دهنده‌های عصبی در پاسخ بدن به اضطراب و استرس نقش دارند. سیستم سروتونین و سیستم نورآدرنرژیک مسیرهای رایجی هستند که در اضطراب دخالت دارند. بسیاری بر این باورند که کاهش فعالیت سیستم سروتونین و افزایش فعالیت سیستم نورآدرنرژیک مسئول ایجاد و تحول اضطراب است(منیر[4] و همکاران، ۲۰۱۹).

تصور می‌شود که گسترش قابل‌توجه قشر پیش‌پیشانی[5] زمینه‌ساز تجربهٔ پیچیده اضطراب و ظرفیت مشارکت در استراتژی‌های سطح بالا برای تنظیم پاسخ‌های مرتبط با اضطراب در انسان است. درحالی‌که این قابلیت‌های مبتنی بر قشر پیش‌پیشانی شانس ارگانیسم را برای موفقیت تطبیقی در محیط افزایش می‌دهند؛ درعین‌حال بستر پیچیده‌تری را برای ظهور پردازش‌های مختل‌شده فراهم می‌کنند(کنوود[6] و همکاران، ۲۰۲۲). دراین راستا نشان داده شده است که اضطراب، عملکردهای شناختی مرتبط با قشر پیش‌پیشانی ازجمله حافظهٔ فعال را مختل می‌کند(لوکاسیک[7] و همکاران، ۲۰۱۹).

نظریهٔ کنترل توجه[8](ACT) فرض می‌کند که نقایص کنترل توجه نقش اصلی را در تحول اضطراب ایفا می‌کند. کنترل توجه به عنوان توانایی تمرکز انعطاف‌پذیر و تغییر توجه بر اساس اهداف فعلی در نظر گرفته می‌شود و تصریح می‌کند که دو سیستم توجه وجود دارد: سیستم‌های توجهی که توجه انتخابی را هدایت می‌کنند (یک سیستم محرک از پایین به بالا) و یک سیستم هدایت‌شده از بالا به پایین مشابه مجری مرکزی در حافظهٔ کاری. به این ترتیب، هنگامی که یک تهدید وجود دارد، محرک های تهدید کننده توجه را به خود جلب می کند و این سازگاری است. با این حال، هر چه فرد اضطراب حالت یا ویژگی بیشتری را تجربه کند، اطلاعات مبهم به احتمال زیاد به شیوه‌ای تهدیدآمیز تفسیر می‌شود و در نتیجه توجه را به خود جلب

1. Koskinen & Hovatta
2. Adwas
3. Szuhany & Simon
4. Munir
5. prefrontal cortex
6. Kenwood
7. Lukasik
8. attentional control theory

می‌کند(شی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). کنترل توجه جزء اصلی حافظهٔ فعال است که برای نگهداری هدفمند و دستکاری اطلاعات در حافظهٔ فعال مفید است. حافظهٔ فعال ممکن است ارتباط بین اضطراب و عملکرد شناختی را تعدیل کند. همچنین، اضطراب می‌تواند عملکرد حافظهٔ فعال را مختل کند(بیلو و درکشن[2]، ۲۰۲۰).

یکی از کارکردهای اصلی که به عنوان جزء فرعی سیستم اجرایی بالا به پایین در ACT شناسایی شده، بازداری می‌باشد. بازداری شامل جلوگیری از توزیع منابع توجه به محرک‌های بی‌ربط با تکلیف است(شی و همکاران، ۲۰۱۹). بازداری در خدمت هدف فرد عمل می‌کند تا محتوای موجود در حافظه فعال را محدود به هدف کند. تغییر در کارایی بازدارندگی یک عامل تعیین کننده اساسی برای تفاوت های مشاهده شده در تکالیف حافظه فعال است. آیدمون[3] و همکاران(۲۰۱۹) معتقدند که بازداری شامل چندین موقعیت است که می‌توان آنها را به دو رویکرد کلی تقسیم کرد: رویکردهای یک‌بعدی و چندبعدی. اولی پیشنهاد می‌کند که بازداری یک فرآیند منحصربه‌فرد است، در حالی که دومی آن را متشکل از چندین فرآیند می‌داند. رویکرد چند بعدی فرآیندهای بازدارندهٔ متفاوتی را شناسایی می‌کند: (الف) یک فرآیند بازدارنده که با سرکوب فعال‌سازی ایجادشده توسط محرک‌های نامربوط محیطی، یعنی مقاومت در برابر تداخل حواس‌پرت کننده و مهار توجه، در سطح ادراکی عمل می‌کند. (ب) یک فرآیند بازدارندهٔ اختصاص‌داده‌شده به سرکوب اطلاعات نامربوط از حافظهٔ فعال که با فعالیت فعلی تداخل دارد، یعنی مقاومت در برابر تداخل فعال و بازداری شناختی و (ج) یک فرآیند بازدارنده که امکان سرکوب پاسخ‌های پرقدرت و نامناسب برای زمینه و اهداف فعلی را فراهم می‌کند، یعنی مهار پاسخ‌های غالب و بازداری پاسخ. توانایی‌های بازداری سالم تضمین می‌کند که رفتارها با نیات و انگیزه‌های فرد سازگار است اما پاسخ‌های نامربوط یا نامناسب را سرکوب می‌کند. در زمینهٔ بازداری، دو مکتب فکری وجود دارد: دیدگاه پیمانه‌ای[4] و دیدگاه شبکه[5]. به‌طور ویژه، دیدگاه پیمانه‌ای پیشنهاد می‌کند که شکنج پیشانی تحتانی راست[6] (rIFG) یک منطقهٔ اختصاصی برای بازداری رفتاری است. دیدگاه پیمانه‌ای بازداری را به یک عملکرد شناختی گسسته کاهش می‌دهد که در آن شکنج پیشانی تحتانی راست، افکنش‌هایی را به هسته ساب تالامیک می‌فرستد تا فرآیندهای حرکتی را مهار کند. با این حال، شکنج پیشانی تحتانی راست عمدتاً با توانایی حفظ اطلاعات مربوط به تکلیف بر اساس شروع پاسخ و همچنین بازداری پاسخ تعریف می‌شود. در مقابل، دیدگاه شبکه پیشنهاد می‌کند که درست مانند سایر عملکردهای اجرایی، بازداری توسط نواحی عمومی مغز مانند قشر پیشانی با تقاضای چندگانه[7] (MD) پشتیبانی می‌شود که در انواع تکالیف شناختی فعال می‌شود و شامل rIFG می‌شود(کنگ[8] و همکاران، ۲۰۲۲). شواهدی وجود دارد که اضطراب با بازداری پاسخ ضعیف نیز ارتباط دارد(وی[9] و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهش‌های تصویربرداری عصبی نشان می‌دهند که اضطراب با بکارگیری مکانیسم‌های پیش‌پیشانی موردنیاز برای کنترل‌توجه تداخل

1. Shi
2. Beloe & Derakshan
3. Aydmune
4. modular perspective
5. network
6. right inferior frontal gyrus
7. multiple-demand
8. Kang
9. Wei

می‌کند(شی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). شواهدی از این اثر معمولا با استفاده از پارادایم تکلیف آنتی‌ساکاد[2] (بازداری حرکات چشم) مشاهده شده‌است. پارادایم تکلیف آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) از شرکت‌کننده می‌خواهد که حرکات چشم (ساکادها) را به سمت یا به دور از محرکی که ناگهان ارائه می‌شود، برگردانند(پلومکا[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

مطالعات تصویربرداری‌عصبی کارکردی نواحی درگیر در تکلیف آنتی‌ساکاد را نشان داده‌اند که شامل میدان‌های بینایی مکمل[4](SEF)، میدان‌های بینایی پیشانی[5] (FEF)، ناحیهٔ پشتی- جانبی پیش‌پیشانی[6] (DLPFC)، قشر سینگولیت قدامی[7] (ACC)، نواحی قشر آهیانه‌ای[8](به‌عنوان‌مثال، شیار اینتراپاریتال[9]) و برجستگی‌های فوقانی[10](SC) می باشند(والدالر[11] و همکاران، ۲۰۲۲؛ فرناندز-رویز[12] و همکاران، ۲۰۲۰). تصور می‌شود که فعال‌سازی بیشتر این نواحی در عملکرد آنتی‌ساکاد با کنترل توجه مورد نیاز برای عملکرد هدفمند آنتی ساکاد مرتبط است. تبیین‌های شناختی آنتی‌ساکاد بیانگر این است که همبسته های عصبی مشترکی بین آنتی‌ساکاد، کنترل اجرایی رفتار و حافظهٔ فعال وجود دارد. پژوهش ها نشان می‌دهند که DLPFC نقش حیاتی در عملکرد آنتی ساکاد(والدالر و همکاران، ۲۰۲۲)، حافظهٔ فعال(بالدرستون و همکاران، ۲۰۲۰) و کنترل توجه(آیزنک و همکاران، ۲۰۲۳) دارد. به‌طورکلی، تکلیف آنتی‌ساکاد برای بررسی بازداری توجه مطرح شده است (والدالر و همکاران، ۲۰۲۲) که یک فرایند کلیدی کنترل‌توجه است و از لحاظ نظری پیش‌بینی می‌شود که سطح بالای اضطراب صفت آن‌را مختل می‌کند(تاد[13] و همکاران، ۲۰۲۲).

بدکارکردی‌های شناختی را می‌توان توسط روش‌های نوین علوم‌اعصاب بهبود بخشید. یکی ازاین روش‌ها، همگام‌سازی امواج مغزی می‌باشد. همگام‌سازی امواج مغزی به معنای استفاده از محرک‌های ریتمیک برای ایجاد پاسخی هم‌راستا با فرکانس محرک‌ها در امواج مغزی است(یاداو[14] و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از روش‌های مطمئن و رایج برای همگام‌سازی امواج مغزی، استفاده از ضربان‌های دوگوشی[15] (باینورال بیتز) می‌باشد(اینجندو و همکاران، ۲۰۲۳). در این روش که یک اتفاق ادراک شنیداری است، دو صوت سینوسی به‌طورمجزا به دوگوش ارائه می‌شوند به‌نحوی‌که فرکانس صدای ارائه‌شده به هرگوش اندکی متفاوت با گوش دیگر است و این تفاوت برابر میزان فرکانس تحریکی موردنظر است (باسیو و بانرجی[16]، ۲۰۲۳). مبنای ادراکی ضربان‌های دوگوشی، تداخل دو موج صوتی نیست، بلکه نتیجهٔ فعالیت عصبی ترکیبی آن‌ها است که در مسیر

---

1. Shi
2. antisaccade
3. Płomecka
4. supplementary eye fields
5. frontal eye fields
6. dorsolateral Prefrontal Cortex
7. anterior cingulate cortex
8. Parietal cortex
9. intraparietal sulcus
10. superior colliculus
11. Waldthaler
12. Fernandez-Ruiz
13. Todd
14. Yadav
15. binaural Beats
16. Basu & Banerjee

شنوایی ایجاد می‌شود. مجتمع زیتونی فوقانی[1] (SOC)، اولین مکان مسیر شنوایی برای دریافت ورودی از هر دو گوش و یک ساختار مهم برای ادغام صدا، به عنوان ساختار عصبی آناتومیک اصلی درگیر در درک ضربان‌های دو گوشی شناخته‌شده‌است(اینجندو همکاران، ۲۰۲۳).

فعالیت باند آلفا را می توان به عنوان نشانهٔ عصبی مهار عوامل حواس‌پرت‌کننده تفسیر کرد. توان آلفا به‌طور نسبی در نیمکرهٔ مقابل ورودی بصری غیرمرتبط افزایش می‌یابد و به عنوان تعدیل آلفای منفی حواس‌پرت‌کننده‌ها نامگذاری شده‌است(ژائو[2] و همکاران، ۲۰۲۳). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند با توجه به اینکه موج آلفا در بسیاری از پردازش های شناختی از جمله حافظهٔ فعال نقش دارد (ویاندا و راس[3]،۲۰۱۹)، بنابراین، ضربان‌های دوگوشی در باند فرکانسی آلفا می‌تواند اثرات درمانی داشته، بر سیستم اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک تأثیرگذاشته(لونگ[4] و همکاران، ۲۰۲۲)، و با تأثیر بر مغز منجربه بهبود کارکردهای شناختی و روان‌شناختی شود. برای مثال، اولچوکو[5] و همکاران(۲۰۲۱) نشان‌دادند که گوش‌دادن به ضربان‌های دوگوشی ۱۰ هرتز (آلفا) منجربه کاهش نمرات درد و اضطراب در بیماران تحت عمل سیستوسکوپی تشخیصی و برداشتن استنت حالب می‌گردد. منزلت اوغلو[6] و همکاران(۲۰۲۱) نیز نشان‌دادند که ضربان‌های دوگوشی ۱۰ هرتز منجربه کاهش سطح اضطراب دندانپزشکی می‌شود. پارودی[7] و همکاران(۲۰۲۱) با استفاده از تکنیک ضربان‌های دوگوشی نشان‌دادند که این روش می‌تواند منجربه کاهش اضطراب زنان قبل از عمل سزارین شود. کوپر[8](۲۰۲۱) نشان‌داد وقتی شرکت‌کنندگان در معرض یک عامل استرس‌زا قرار می‌گیرند و پس‌ازآن در معرض ضربان‌های صوتی دوگوشی قرار می‌گیرند، سطح هدایت پوست و ضربان قلب به سطح معینی کاهش می‌یابد که به لحاظ فیزیولوژیکی نشان‌دهنده افزایش میزان آرامش است.

باتوجه به مبانی نظری و پیشینه پژوهشی ذکرشده، ضربان‌های دو گوشی در باند آلفا می‌تواند منجر به کاهش سطح اضطراب شده و همچنین با فیلتر اطلاعات نامناسب، عملکردهای شناختی را بهبود بخشد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر حافظهٔ فعال، آنتی‌ساکاد و سطح اضطراب شرکت‌کنندگان اضطرابی انجام گرفت. در این پژوهش، فرضیه‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت:

-همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر افزایش حافظه فعال شرکت‌کنندگان اضطرابی تأثیر دارد.

-همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر افزایش آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) شرکت‌کنندگان اضطرابی تأثیر دارد.

-همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر کاهش اضطراب شرکت‌کنندگان اضطرابی تأثیر دارد.

---

1. superior olivary complex
2. Zhao
3. Wianda & Ross
4. Loong, Ling, Tai, Kueh
5. Ölçücü
6. Menziletoglu
7. Parodi
8. Cooper

روش پژوهش

پژوهش حاضر نیمه‌آزمایشی و ازنوع پیش‌آزمون – پس‌آزمون با گروه کنترل و جامعهٔ آماری شامل کلیهٔ دانشجویان دانشگاه تبریز بود. در پژوهش حاضر متغیر مستقل ضربان‌های دوگوشی در باند آلفا و متغیرهای وابسته حافظهٔ فعال، آنتی‌ساکاد و سطح اضطراب بود. دراین‌راستا، پس از سرندکردن ۲۵۰ نفر توسط پرسشنامهٔ اضطراب بک، تعداد ۳۰ نفر از دانشجویان به‌روش نمونه گیری در دسترس و با نمره ۱٦ و بالاتر(اضطراب متوسط و بالاتر) انتخاب‌شده و به‌طورتصادفی در دوگروه ۱۵ نفره آزمایش و کنترل گمارده شدند. ابتدا شرکت‌کنندگان هر دوگروه در مرحله پیش‌آزمون توسط تکلیف آنتی‌ساکاد و آزمون بلوک‌های تپنده کرسی موردارزیابی قرارگرفتند. نمره پرسشنامه اضطراب بک نیز به عنوان نمره شرکت‌کنندگان در پیش‌آزمون ثبت شد. سپس شرکت‌کنندگان گروه آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه، ۵ بار در هفته، به‌مدت چهارهفته(مطابق با برنامه مداخله‌ای لسکورانس[1] و همکاران، ۲۰۰۱) ضربان‌های دوگوشی ۱۰ هرتز را از طریق هدفون دریافت‌کردند. سپس شرکت‌کنندگان هر دوگروه در مرحلهٔ پس‌آزمون، مجددا توسط ابزارهای مرحلهٔ پیش‌آزمون موردارزیابی قرارگرفتند. ملاک‌های ورود به پژوهش شامل کسب نمرهٔ ۱٦ و بالاتر در پرسشنامهٔ اضطراب بک، نداشتن سابقهٔ بیماری‌های قلبی و عدم‌ابتلا به اختلالات روانپزشکی دیگر بود. ملاک‌های خروج از پژوهش شامل هرگونه مشکل شنوایی، احساس تپش‌قلب و هر گونه احساس ناخوشایند و سرگیجه حین مداخله بود. قبل‌از اجرای ابزارهای پژوهش، فرم رضایت آگاهانه تأییدشده توسط کمیته اخلاق زیست‌پزشکی دانشگاه‌تبریز در اختیار شرکت‌کنندگان قرارگرفته، بر محرمانه‌بودن اطلاعات تأکید شده و فرایند پژوهش برای آنان توضیح‌داده‌شد. برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از آزمون تحلیل‌کوواریانس چندمتغیره (MANCOVA) توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲٤ استفاده شد.

ابزار

پرسشنامهٔ اضطراب بک(BAI)[2]– پرسشنامه سنجش اضطراب بک برای سنجش میزان اضطراب طراحی شده‌است و شامل ۲۱ گویه است که در برابر هرگویه، چهارگزینه جهت پاسخ وجود دارد. هرگویه بیانگر یکی از علایم اضطراب است که معمولا افرادی که ازنظر بالینی مضطرب هستند یا کسانی که در وضعیت اضطراب‌انگیز قرار می‌گیرند، تجربه می‌کنند(بک و استیر[3]، ۱۹۹۰). شرکت‌کنندگان میزان رنجش خود از علایم اضطراب را در هفته گذشته در ستون مقابل آن علامت می‌زنند. نحوهٔ امتیازدهی به‌صورت، اصلا امتیاز صفر، خفیف امتیاز یک، متوسط دو و شدید امتیاز سه می‌باشد. بنابراین، دامنهٔ نمرات اضطراب از صفر تا ٦۳ می‌باشد. اگر نمرهٔ بدست آمده در دامنهٔ صفر تا ۷ باشد شرکت‌کننده هیچ اضطرابی ندارد، اگر بین ۱۵–۸ باشد اضطراب خفیف، اگر بین ۲۵–۱٦ باشد اضطراب متوسط و اگر بین ٦۳–۲٦ باشد، بیانگر اضطراب شدید است(بک و همکاران، ۱۹۸۸). پایایی این پرسشنامه به روش آلفای کرونباخ، ۰/۹۲، پایایی آن با روش بازآزمایی با فاصله یک هفته ۰/۷۵ و

1. Le Scouranec
2. Beck Anxiety Inventory
3. Beck & Steer

همبستگی ماده های آن به طور متغیر از ۰/۳۰ تا ۰/۷٦ گزارش شده‌است(بک و همکاران، ۱۹۸۸). همچنین این آزمون در جمعیت ایرانی دارای روایی ارزیاب‌ها(**r**=۰/۷۲) و پایایی آزمون – باز آزمون ۰/۸۳ و آلفای کرونباخ ۰/۹۲ گزارش شده‌است (کاویانی و موسوی، ۱۳۸۷). پایایی این پرسشنامه به روش آلفای کرونباخ در پژوهش حاضر ۰/۸۹ به‌دست آمد.

تکلیف آنتی‌ساکاد[1]– تکلیف آنتی‌ساکاد بیش از هر تکلیف دیگری بر روی عملکرد بازداری بارگذاری می‌شود. درطول هر کوشش آنتی‌ساکاد، ابتدا یک نقطهٔ ثابت در وسط صفحه کامپیوتر ارائه می‌شود. سپس یک نشانهٔ بصری در یک طرف صفحه نمایش (به عنوان مثال، سمت چپ) به‌مدت ۲۲۵ میلی ثانیه ارائه می‌شود، سپس یک محرک هدف در طرف مقابل (به‌عنوان‌مثال، سمت راست) قبل‌ازاینکه توسط هاشورزنی‌های متقاطع خاکستری پوشانده شود، به مدت ۱۵۰ میلی‌ثانیه ارائه می‌شود. نشانه بصری یک مربع سیاه است و محرک هدف یک فلش در داخل یک مربع است. تکلیف شرکت‌کننده، نشان دادن جهت فلش با پاسخ فشاردادن یک‌دکمه است. باتوجه به این که فلش قبل از پوشانده شدن فقط ۱۵۰ میلی‌ثانیه ظاهر می‌شود، شرکت‌کنندگان باید واکنش بازتابی نگاه‌کردن به نشانه اولیه(یک مربع سیاه کوچک) را مهار می‌کردند، زیرا انجام این‌کار، تشخیص درست جهت فلش را دشوار می‌کند. نشانه‌ها و اهداف هردو درفاصلهٔ ۸/٦٤ سانتی‌متر (در طرفین مقابل) ارائه می‌شوند و شرکت‌کنندگان باید درفاصلهٔ ٤٥/۷۲ سانتی‌متر از مانیتور کامپیوتر قرارگیرند(میاک[2] و همکاران، ۲۰۰۰). نمره دقت (از صفر تا یک است به صورت ٦ رقم اعشار به درصد تبدیل می شود) که از درصد پاسخ های صحیح تقسیم بر ۱۰۰ محاسبه می‌شود، تا شش‌رقم اعشار به‌عنوان شاخص بازداری به‌عنوان خروجی آزمون ارائه می‌شود. پایایی این تکلیف با روش آزمون – بازآزمون در شاخص های مختلف، از ۰/۵۰ تا ۰/۸۰ گزارش شده است(پلومکا[3] و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهش حاضر پایایی این‌آزمون به روش آزمون – باز آزمون ۰/۸٦ به‌دست آمد.

آزمون ضربه‌زدن بلوک‌های کرسی[4]– آزمون ضربه‌زدن بلوک‌های کرسی توسط کرسی طراحی و مورداستفاده قرارگرفت (کرسی[5]، ۱۹۷۲). این آزمون برمبنای آزمون فراخنای ارقام طراحی‌شده‌است ولی به‌جای فرم‌کلامی موجود در آزمون فراخنای ارقام در این ازمون نیازمند استفاده از حافظهٔ فعال دیداری–فضایی است. درحالت‌کلی فراخنای مستقیم آزمون کرسی نیازمند پشتیبانی لوح دیداری – فضایی بوده و هیچ‌نیازی به حلقهٔ واج‌شناختی نیست و هنگامی‌که توالی موارد بازیابی بیش‌از سه یا چهارآیتم می‌شود منابع مجری‌مرکزی مورداستفاده قرارمی‌گیرد. اجرای آزمون کرسی بدین‌گونه است که شرکت‌کننده در صفحهٔ کامپیوتر ۹ بلوک را می‌بیند که در هرکوشش چندتا ازاین بلوک‌ها با توالی خاص روشن می‌شود. تکلیف شرکت‌کننده این‌است که توالی روشن‌شدن بلوک‌ها را به‌یاد بسپارد و بعداز اتمام روشن‌شدن بلوک‌ها شرکت‌کننده با کلیک‌کردن روی بلوک‌ها توالی را تکرار کند. این آزمون ابتدا از ۲ بلوک اغاز شده و کم‌کم به تعداد بلوک‌های روشن در هرکوشش افزوده می‌شود. این آزمون تا ۹ بلوک ادامه پیدا می‌کند و درصورت دوبار اشتباه در یک‌توالی آزمون به‌پایان می‌رسد و طولانی‌ترین توالی یاداوری‌شده توسط شرکت‌کننده ثبت می‌شود و به‌طورکلی میانگین یادآوری برای شرکت‌کنندگان بهنجار ۵ بلوک

1. antisaccade task
2. Miyake
3. Płomecka
4. Corsi block-tapping test
5. Corsi

می‌باشد(آرس و مک‌مولن[1]، ۲۰۲۱). والکر[2] و همکاران (۲۰۱۰) پایایی این آزمون را به‌روش آزمون – بازآزمون ۰/۷۳ بدست آوردند. در پژوهش حاضر، پایایی این آزمون به روش آزمون – بازآزمون، ۰/۸۱ به‌دست آمد.

همگام‌سازی امواج مغزی به روش ضربان‌های دوگوشی- محرک صوتی مطابق با پروتکل استفاده‌شده توسط کوپر[3](۲۰۲۱) برای ساخت ضربان‌های دوگوشی در باند آلفا برای درمان اضطراب ساخته‌شد. بدین‌منظور توسط نرم‌افزار Gnaural فرکانس پایه ٤۰۰ هرتز و فرکانس آفست ٤۱۰ هرتز انتخاب‌شده و فرکانس ۱۰ هرتز تولید شد. فرمت فایل خروجی با فرمت WAV و به مدت ۳۰ دقیقه می باشد که توسط هدفون دوگوشی به شرکت‌کنندگان ارائه شد.

روش اجرا

پس از انجام مراحل پیش‌آزمون توسط ابزارهای ارزیابی، جهت انجام مداخله، شرکت‌کنندگان طی مدت یک‌ماه و به‌مدت پنج‌روز در هفته در آزمایشگاه علوم‌اعصاب‌شناختی دانشگاه تبریز حضور یافته و فایل صوتی تولیدشده در باند آلفا به‌مدت ۳۰ دقیقه توسط تبلت ویندوزی فوجیتسو مدل Q616 اجرا و بوسیله هدفون Sparkle مدل b570c به شرکت‌کنندگان ارائه شد. باتوجه به وجود تفاوت‌های فردی در آستانه شنیداری، از شرکت‌کنندگان خواسته شد که میزان بلندی مناسب صدا را که برایشان به خوبی قابل شنیدن بوده و در عین حال آزاردهنده نباشد، انتخاب کنند. سپس از شرکت‌کنندگان خواسته شد درحالی‌که در صندلی در حالت آرمیده نشسته‌اند، چشمان خود را بسته و به صوت گوش کنند. یک‌روز پس از اتمام آخرین جلسه مداخله، مرحله پس‌آزمون اجرا گردید. باتوجه به اینکه ضربان‌های دوگوشی پس از اجرا می‌توانند تا چندساعت اثر موقت داشته باشند، این وقفه یک روزه از این بابت ایجاد شد که اثر موقت ضربان های دوگوشی روی اجرای تکالیف شناختی، تأثیرگذار نباشد.

یافته‌ها

در پژوهش حاضر تعداد ۳۰ دانشجو شرکت داشتند که شامل ۱٤ مرد و ۱٦ زن بود. میانگین سنی مردان ۲۱/۷۱ با انحراف استاندارد ۱/٤۳ و میانگین سنی زنان ۲۱/٥٦ با انحراف استاندارد ۱/٤۱ بود. یافته‌های توصیفی ارائه شده در جدول ۱، نشان‌دهندهٔ افزایش نمرات حافظهٔ فعال و آنتی‌ساکاد و کاهش نمرات اضطراب گروه آزمایش در مرحلهٔ پس‌آزمون می‌باشد.

جدول ۱. شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای وابسته در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

	پیش آزمون				پس آزمون			
متغیرها	آزمایش		کنترل		آزمایش		کنترل	
	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین	انحراف‌معیار

1. Arce & McMullen
2. Walker
3. Cooper

حافظه فعال	٤/٨٣	۰/٥٥	٤/٧٦	۰/٧۰	٦	۰/٥۹	٥/۰٦	۰/٦٥
آنتی‌ساکاد	۰/٧٧	۰/۰٣	۰/٧٨	۰/۰٣	۰/٨٢	۰/۰٣	۰/٧٨	۰/۰٣
اضطراب	٣٢/٩٣	٥/٥٢	٣٤/٣٣	٥/٨٣	٣۰/٢۰	٣/٨٥	٣٣/٥٣	٥/٥٧

قبل از اجرای آزمون MANCOVA ، پیش‌فرض‌های آن موردبررسی قرارگرفت. نتایج آزمون کولموگروف – اسمیرنوف نشان‌داد که داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشد($p > ۰/۰٥$). مطابق جدول ۲ نتایج آزمون لون نیز نشان‌داد که مفروضهٔ همگنی واریانس‌ها رعایت شده‌است.

جدول ۲. نتایج آزمون لون

متغیرها	F	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	سطح معنی داری
حافظه فعال	۰/۰٨۰	۱	۲٨	۰/٧٧۹
آنتی‌ساکاد	۰/٧۰٨	۱	۲٨	۰/٤۰٧
اضطراب	٣/٢٩٣	۱	۲٨	۰/۰٨۰

همچنین نتایج آزمون M باکس نیز مطابق جدول ۳ نشان‌داد که پیش‌فرض همگنی ماتریس‌های واریانس – کوواریانس محقق شده‌است.

جدول ۳. نتایج آزمون M-Box برای بررسی همگنی ماتریس های واریانس–کواریانس

	M باکس	F	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	سطح معنی داری
متغیرهای وابسته	٦/٤٥	۰/۹٥	٦	٥٦٨۰/۳۰	۰/٤٥

مطابق با جدول ٤ نتایج آزمون کورویت بارتلت نیز نشان‌داد که بین متغیرهای وابسته همبستگی متعارف وجود دارد.

جدول ٤. نتایج آزمون کورویت بارتلت

	نسبت درست‌نمایی	مجذور خی تقریبی	درجه آزادی	سطح معنی داری
متغیرهای وابسته	۰/۰۰۰	٢٣۹/٦٢	٥	۰/۰۰۱

آزمون معناداری تحلیل‌واریانس چندمتغیره نیز حاکی از این است که شاخص Wilks' lambda با نسبت ٤۰/۰٥ در سطح $P > ۰۰۰۱$ معنادار است. باتوجه‌به معناداربودن آزمون تحلیل‌واریانس، از آزمون اثرات بین‌آزمودنی تحلیل کوواریانس استفاده‌شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان‌داده‌شده‌است. همانطورکه در جدول ٥ مشاهده می‌شود پس از حذف اثر پیش‌آزمون، تفاوت معنی‌داری بین نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش و گروه کنترل در هرسه‌متغیر وابسته وجود دارد($p<۰/۰٥$). بعلاوه، مجذور اتا نشان می‌دهد که همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا ٤٦ درصد از واریانس حافظهٔ فعال، ٥٨ درصد از واریانس آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) و ١٦ درصد از واریانس اضطراب را تبیین می‌کند.

جدول ۵. نتایج تحلیل کوواریانس اثربخشی همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر متغیرهای پژوهش

منبع تغییرات	متغیر وابسته	مجموع مجذورات	درجات آزادی	F	سطح معناداری	مجذور اتا
گروه	حافظه فعال	۵/۹۰	۱	۲۱/۸۵	۰/۰۰۱	۰/٤٦
	آنتی ساکاد	۰/۰۱	۱	۳٤/٦۱	۰/۰۰۱	۰/۵۸
	اضطراب	۳۳/۹۷	۱	٤/۸۸	۰/۰۳	۰/۱٦
خطا	حافظه فعال	٦/۷۵	۲۵			
	آنتی ساکاد	۰/۰۰۸	۲۵			
	اضطراب	۱۷۳/۸۳	۲۵			
کل	حافظه فعال	۹۳٦	۳۰			
	آنتی ساکاد	۱۹/۵۰	۳۰			
	اضطراب	۳۱۱۹۲	۳۰			

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف مقایسه تأثیر همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا بر حافظهٔ فعال، حرکات چشمی آنتی‌ساکاد و سطح اضطراب شرکت‌کنندگان اضطرابی انجام‌گرفت. نتایج این‌پژوهش نشان‌داد که استفاده از همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا می‌تواند باعث بهبود ظرفیت حافظهٔ فعال، بهبود عملکرد آنتی‌ساکاد و کاهش سطح اضطراب دانشجویان اضطرابی شود. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های اولچوکو و همکاران(۲۰۲۱)، منزلت‌اوغلو و همکاران(۲۰۲۱)، کوپر و همکاران(۲۰۲۱) و پارودی و همکاران(۲۰۲۱) همسو می‌باشد.

در پژوهش حاضر، همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا منجربه بهبود حافظهٔ فعال شد. در تبیین این یافته می‌توان گفت با توجه به این که موج آلفا نقش مهمی در پردازش حافظهٔ فعال دارد(ویاندا و راس، ۲۰۱۹) بنابراین، نوسانات آلفا برای نگهداری حافظهٔ فعال و فیلترکردن عوامل حواس‌پرت‌کننده اهمیت بالایی دارد. همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا با القاء موج آلفا به مغز باعث افزایش این موج در مغز شده و عملکرد حافظهٔ فعال را بهبود می‌بخشد. ازسوی دیگر، اضطراب موجب مختل شدن حافظهٔ فعال می‌شود(لوکاسیک و همکاران، ۲۰۱۹).بنابراین، افزایش موج آلفا و درنتیجه ایجاد حس‌آرامش و کاهش اضطراب نیز می‌تواند موجب افزایش عملکرد شرکت‌کنندگان در تکلیف حافظهٔ فعال شود. همچنین، لازمهٔ ورود اطلاعات به حافظه فعال، توجه کردن است و توجه نیز با بازداری اطلاعات نامربوط میسر می‌شود. بنابراین، موج آلفا بعنوان یک موج مهاری می‌تواند با مهار اطلاعات نامرتبط باعث توجه بهتر شده و در نتیجه ورود اطلاعات به حافظهٔ فعال را تسهیل کند.

ازسوی‌دیگر، همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا منجربه بهبود عملکرد آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) شد. سرکوب ورودی‌های حواس‌پرت کنندهٔ دیداری – فضایی توسط فعالیت موج آلفا هدایت می‌شود(ژائو و همکاران، ۲۰۲۳). ازطرفی، اضطراب منجربه مختل‌شدن عملکرد شرکت‌کنندگان در تکلیف آنتی‌ساکاد می‌شود(تاد و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، همگام‌سازی امواج مغزی در باند آلفا، به‌طور مستقیم با افزایش موج آلفا در مغز، می‌تواند عملکرد شرکت‌کنندگان را در تکلیف آنتی‌ساکاد(بازداری حرکات چشم) بهبود بخشد و به‌طور غیر مستقیم ازطریق کاهش اضطراب منجربه بهبود عملکرد شرکت‌کنندگان در این تکلیف می‌شود. همچنین، افراد اضطرابی معمولا یک وضعیت گوش بزنگی دارند که باعث می‌شود به برخی محرک‌ها به‌طور سریع واکنش نشان دهند. در تکلیف آنتی‌ساکاد نیز، شرکت‌کنندگان در حالی‌که باید محرک اول را نادیده بگیرند تا بتوانند محرک دوم را ببینند، شرکت‌کنندگان اضطرابی نمی‌توانند محرک اول را نادیده بگیرند و در نتیجه نمی‌توانند به محرک دوم به درستی پاسخ دهند. با توجه به اینکه موج آلفا یک موج مهاری بوده و در مهار و سرکوب محرک‌های مزاحم نقش دارد، همگام سازی امواج مغزی در باند آلفا می‌تواند با افزایش توانایی مهار و بازداری نسبت به محرک های مزاحم، باعث بهبود عملکرد آنتی ساکاد شود.

از طرفی، همگام سازی امواج مغزی در باند آلفا منجربه کاهش اضطراب در شرکت‌کنندگان اضطرابی شد. فرضیهٔ اصلی این‌است که مغز انسان امواج خود را مطابق با محرک‌های حسی بیرونی تغییر می‌دهد تا فعالیت عصبی را با محرک‌های ضربان‌های دو گوشی همگام کند(اینجندو همکاران، ۲۰۲۳). اعمال ضربان‌های صوتی دوگوشی پس از یک محرک اضطراب‌آور، سطح هدایت پوست و ضربان قلب را کاهش می‌دهد(کوپر، ۲۰۲۱). این افزایش آرامش و کاهش اضطراب می‌تواند ناشی‌از افزایش فعالیت موج آلفا در مغز باشد. همچنین ضربان‌های دوگوشی ممکن‌است بر سیستم‌اعصاب‌خودمختار تأثیربگذارد، به نحوی که فعالیت پاراسمپاتیک را افزایش‌داده و کاهش فعالیت سمپاتیک را تسهیل می‌کند(لونگ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین ضربان‌های دوگوشی در باند آلفا با کاهش فعالیت سیستم اعصاب سمپاتیک، می‌تواند علائمی همچون تپش قلب، تنفس سریع و اسپاسم عضلانی راکاهش داده و باعث احساس آرامش در فرد شده و درنتیجه باعث کاهش علائم اضطراب شود.

نتیجه‌گیری می‌شود که همگام‌سازی امواج مغزی توسط ضربان‌های دوگوشی در باند آلفا، منجربه کاهش سطح اضطراب دانشجویان اضطرابی می‌شود. با توجه به این که اضطراب می‌تواند عملکردهای شناختی را مختل کند، کاهش اضطراب منجربه بهبود عملکرد شناختی شرکت‌کنندگان نیز می‌شود. ازسوی‌دیگر، موج آلفا به‌عنوان یک‌موج مهاری، اطلاعات و پردازش‌های اضافی و نامتناسب مغز را فیلتر کرده و منجربه بهبود عملکرد حافظهٔ فعال و حرکات آنتی‌ساکاد چشم می‌شود. زیرا، برای واردشدن اطلاعات از حافظهٔ حسی به حافظهٔ فعال، در گام اول بایستی به اطلاعات توجه شود و لازمهٔ توجه نیز، بازداری اطلاعات نامرتبط است. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از ضربان‌های دو گوشی در باند آلفا هم با کاهش سطح اضطراب و هم با کمک به پردازش شناختی، می تواند به‌عنوان یک روش مداخلاتی ایمن و کم‌هزینه منجربه بهبود عملکرد دانشجویان اضطرابی شود.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم امکان انتخاب نمونه‌های بالینی اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، مداخلات همگام‌سازی امواج‌مغزی برروی نمونه‌های بالینی اضطراب اجرا شود. همچنین پیشنهاد می‌شود روش مداخلاتی ضربان‌های دوگوشی به‌عنوان یکی از روش‌های مداخلاتی در مراکز مشاوره دانشگاه‌ها مورداستفاده قرارگیرد.

تقدیر و تشکر

مقالهٔ حاضر برگرفته از رسالهٔ دکتری به کد اخلاق IR.TABRIZU.REC.1401.061 کمیتهٔ اخلاق زیست‌پزشکی دانشگاه تبریز می‌باشد. بدین‌وسیله از کلیهٔ شرکت‌کنندگان این‌پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Adwas, A. A., Jbireal, J. M., & Azab, A. E. (2019). Anxiety: Insights into signs, symptoms, etiology, pathophysiology, and treatment. *East African Scholars Journal of Medical Sciences*, *2*(10), 580-591. https://doi.org/10.36349/EASMS.2019.v02i10.006

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

Aydmune, Y., Introzzi, I., & Lipina, S. (2019). Inhibitory processes training for school-age children: Transfer effects. *Developmental Neuropsychology*, *44*(7), 513-542. https://doi.org/10.1080/87565641.2019.1677667

Balderston, N. L., Flook, E., Hsiung, A., Liu, J., Thongarong, A., Stahl, S., ... & Grillon, C. (2020). Patients with anxiety disorders rely on bilateral dlPFC activation during verbal working memory. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *15*(12), 1288-1298. https://doi.org/10.1093/scan/nsaa146

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

Beck, A. T., Epstein, N., Brown, G., & Steer, R. A. (1988). An inventory for measuring clinical anxiety: psychometric properties. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *56*(6), 893. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-006X.56.6.893

Beloe, P., & Derakshan, N. (2020). Adaptive working memory training can reduce anxiety and depression vulnerability in adolescents. *Developmental Science*, *23*(4), e12831. https://doi.org/10.1111/desc.12831

Cooper, K. (2021). *The Relaxing Effect of Binaural Beats*. Doctoral dissertation, Webster Vienna Private University, Austria.

Eysenck, M. W., Moser, J. S., Derakshan, N., Hepsomali, P., & Allen, P. (2023). A neurocognitive account of attentional control theory: how does trait anxiety affect the brain's attentional networks?. *Cognition and Emotion*, *37*(2), 220-237. https://doi.org/10.1080/02699931.2022.2159936

Fernandez-Ruiz, J., Hakvoort Schwerdtfeger, R. M., Alahyane, N., Brien, D. C., Coe, B. C., & Munoz, D. P. (2020). Dorsolateral prefrontal cortex hyperactivity during inhibitory control in children with ADHD in the antisaccade task. *Brain Imaging and Behavior*, *14*, 2450-2463. https://doi.org/10.1007/s11682-019-00196-3

Hao, S., Shi, W., Liu, W., Chen, Q. Y., & Zhuo, M. (2023). Multiple modulatory roles of serotonin in chronic pain and injury-related anxiety. *Frontiers in Synaptic Neuroscience*, *15*, 1122381. https://doi.org/10.3389/fnsyn.2023.1122381

Kang, W., Hernández, S. P., Rahman, M. S., Voigt, K., & Malvaso, A. (2022). Inhibitory control development: a network neuroscience perspective. *Frontiers in Psychology*, *13*, 651547. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.651547

Kenwood, M. M., Kalin, N. H., & Barbas, H. (2022). The prefrontal cortex, pathological anxiety, and anxiety disorders. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 260-275. https://doi.org/10.1038/s41386-021-01109-z

Koskinen, M. K., & Hovatta, I. (2023). Genetic insights into the neurobiology of anxiety. *Trends in Neurosciences*, *46*(4), 318-331. https://doi.org/10.1016/j.tins.2023.01.007

Le Scouranec, R. P., Poirier, R. M., Owens, J. E., & Gauthier, J. (2001). Use of binaural beat tapes for treatment of anxiety: a pilot study of tape preference and outcomes. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, *7*(1), 58. PMID: 11191043

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

Menziletoglu, D., Guler, A. Y., Cayır, T., & Isik, B. K. (2021). Binaural beats or 432 Hz music? which method is more effective for reducing preoperative dental anxiety?. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, *26*(1), e97. https://doi.org/10.4317/medoral.24051

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, *41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Munir, S., Gondal, A.Z., & Takov, V., (2019). Generalized anxiety disorder. *https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441870*

Ölçücü, M. T., Yılmaz, K., Karamık, K., Okuducu, Y., Özsoy, Ç., Aktaş, Y., ... & Ateş, M. (2021). Effects of listening to binaural beats on anxiety levels and pain scores in male patients undergoing cystoscopy and ureteral stent removal: A randomized placebo-controlled trial. *Journal of Endourology*, *35*(1), 54-61. https://doi.org/10.1089/end.2020.0353

Ölçücü, M. T., Yılmaz, K., Karamık, K., Okuducu, Y., Özsoy, Ç., Aktaş, Y., ... & Ateş, M. (2021). Effects of listening to binaural beats on anxiety levels and pain scores in male patients undergoing cystoscopy and ureteral stent removal: a randomized placebo-controlled trial. *Journal of Endourology*, *35*(1), 54-61. https://doi.org/10.1089/end.2020.0353

Parodi, A., Fodde, P., Pellecchia, T., Puntoni, M., Fracchia, E., & Mazzella, M. (2021). A randomized controlled study examining a novel binaural beat technique for treatment of preoperative anxiety in a group of women undergoing elective caesarean section. *Journal of Psychosomatic Obstetrics & Gynecology*, *42*(2), 147-151. https://doi.org/10.1080/0167482X.2020.1751607

Płomecka, M. B., Barańczuk-Turska, Z., Pfeiffer, C., & Langer, N. (2020). Aging effects and test–retest reliability of inhibitory control for saccadic eye movements. *Eneuro*, *7*(5). https://doi.org/10.1523/ENEURO.0459-19.2020

Shi, R., Sharpe, L., & Abbott, M. (2019). A meta-analysis of the relationship between anxiety and attentional control. *Clinical psychology review*, *72*, 101754. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2019.101754

Szuhany, K. L., & Simon, N. M. (2022). Anxiety disorders: A review. *Jama*, *328*(24), 2431-2445. https://doi.org/10.1001/jama.2022.22744

Todd, J., Notebaert, L., & Clarke, P. J. (2022). The association between self-report and behavioural measure of attentional control: Evidence of no relationship between ACS scores and antisaccade performance. *Personality and Individual Differences*, *184*, 111168. https://doi.org/10.1016/j.paid.2021.111168

Waldthaler, J., Vinding, M. C., Eriksson, A., Svenningsson, P., & Lundqvist, D. (2022). Neural correlates of impaired response inhibition in the antisaccade task in Parkinson's disease. *Behavioural Brain Research*, *422*, 113763. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.113763

Waldthaler, J., Vinding, M. C., Eriksson, A., Svenningsson, P., & Lundqvist, D. (2022). Neural correlates of impaired response inhibition in the antisaccade task in Parkinson's disease. *Behavioural Brain Research*, *422*, 113763. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.113763

Wei, H., Oei, T. P., & Zhou, R. (2022). Test anxiety impairs inhibitory control processes in a performance evaluation threat situation: Evidence from ERP. *Biological Psychology*, *168*, 108241. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108241

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

Yadav, Ghazal Suhani, Francisco José Cidral-Filho, and Ranjani B. Iyer. "Using heartfulness meditation and brainwave entrainment to improve teenage mental wellbeing." *Frontiers in Psychology* 12 (2021): 742892. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.742892

Zhao, C., Kong, Y., Li, D., Huang, J., Kong, L., Li, X., ... & Song, Y. (2023). Suppression of distracting inputs by visual-spatial cues is driven by anticipatory alpha activity. *PLoS Biology*, *21*(3), e3002014. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002014

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BYN4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).