

Brainwave Entrainment Using Binaural Beats: A Narrative Review of Neural Mechanisms and Clinical Applications

Mansour Bayrami¹, Siamak Dadashi^{2*}

¹Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Department of Cognitive Neuroscience, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Article Info:

Received: 6 June 2025

Revised: 24 July 2025

Accepted: 30 July 2025

ABSTRACT

Introduction: Brainwave entrainment through manipulating brainwave frequencies has emerged as an alternative approach to pharmacological treatments. One such method, known as binaural beats, involves presenting two slightly different frequencies to each ear, resulting in the perception of a third, rhythmic beat. This entrainment affects the brain's frequency response in the activated regions of cortical networks, which are associated with a wide range of mental states and abilities, such as memory, attention, addiction, sleep, anxiety, and depression. Studies suggest that binaural beats may be effective in improving various cognitive and psychological disorders. **Conclusion:** Binaural beats can be utilized as a low-cost complementary intervention alongside other therapeutic approaches by psychologists, neurologists, and psychiatrists.

Keywords:

1. Evoked Potentials
2. Sleep Wake Disorders
3. Electroencephalography
4. Cognition
5. Mental Disorders

*Corresponding Author: Siamak Dadashi

Email: siamakdadashi94@gmail.com

همگام سازی امواج مغزی با ضربان‌های دو گوش: مروری روایتی بر مبانی عصبی و کاربردهای بالینی

منصور بیرامی^۱، سیامک داداشی^{۲*}

^۱گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۲گروه علوم اعصاب شناختی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۸ مرداد ۱۴۰۴

اصلاحیه: ۲ مرداد ۱۴۰۴

دریافت: ۱۶ خرداد ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: همگام‌سازی امواج مغزی از طریق دستکاری فرکانس‌های آن به‌عنوان رویکردی جایگزین برای درمان‌های دارویی مطرح شده است. یکی از این روش‌ها، ضربان‌های دوگوشی نام دارد که شامل ارائه دو فرکانس کمی متفاوت به هر گوش است و در نتیجه آن، فرد یک ضرب‌آهنگ سوم و ریتمیک را درک می‌کند. این همگام‌سازی، پاسخ فرکانسی مغز را در نواحی فعال شبکه‌های قشری تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ نواحی که با طیف گسترده‌ای از حالات و توانایی‌های ذهنی مانند حافظه، توجه، اعتیاد، خواب، اضطراب و افسردگی مرتبط‌اند. مطالعات نشان می‌دهند که ضربان‌های دوگوشی می‌توانند در بهبود اختلالات مختلف شناختی و روانشناختی مؤثر باشند. **نتیجه‌گیری:** ضربان‌های دوگوشی می‌توانند به‌عنوان مداخله‌ای مکمل و کم‌هزینه در کنار سایر رویکردهای درمانی توسط روان‌شناسان، متخصصان مغز و اعصاب و روان‌پزشکان مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی:

- ۱- پتانسیل فراخوانده
- ۲- اختلالات خواب و بیداری
- ۳- الکتروانسفالوگرافی
- ۴- شناخت
- ۵- اختلالات روانی

*نویسنده مسئول: سیامک داداشی

پست الکترونیک: siamakdadashi94@gmail.com

مقدمه

اصطلاح همگام‌سازی امواج مغزی^۱ به استفاده از محرک‌های ریتمیک خارجی با هدف ایجاد فرکانس پس از پاسخ^۲ امواج مغزی برای مطابقت با فرکانس محرک‌ها اشاره دارد (۱). تکنیک‌های تحلیل امواج مغزی مبتنی بر الکتروانسفالوگرافی (EEG) کمک می‌کند تا پویایی پیچیده‌ای از عملکردهای مغز توضیح داده شوند (۲). محرک‌های ضرباندار همزمان، می‌توانند امواج مغزی غالبی را فراخوانی کنند که در یک حالت ذهنی مشخص ظاهر می‌شوند (۳). همگام‌سازی امواج مغزی برای القای ثبات روانی برای خواب یا مراقبه استفاده شده است. همچنین می‌تواند در درمان اختلالات روانی (مانند افسردگی یا اضطراب) استفاده شود (۱).

روش پرکاربرد برای همگام‌سازی امواج مغزی، تحریک شنیداری، به ویژه ضربان‌های دو گوشی^۳ (BB) است. برخلاف روش‌هایی مانند موسیقی، مواد مخدر و مدیتیشن که باعث ایجاد تغییرات در حالت‌های امواج مغزی می‌شوند، ضربان‌های دو گوشی به روش متفاوتی عمل می‌کنند. آتواتر^۴ و لیدز^۵ ادعا کردند که ضربانهای دو گوشی می‌توانند با نگاشت داده‌های خام الکتروانسفالوگرافی^۶ (EEG) امواج مغزی انسان بر روی الگوهای صوتی خاص، بر الگوهای امواج مغزی خاصی تأثیر بگذارند (۴-۵). این نظریه به ایده‌های همگام‌سازی گسترش می‌یابد که طبق گفته سائو^۷ «دو یا چند فرکانس نزدیک که در ریتم با یکدیگر قفل می‌شوند، می‌توانند حالت‌های امواج مغزی خاصی را تغییر دهند» (۶). مثلاً هنگامی که به صدای با فرکانس آلفا گوش داده می‌شود، امواج مغزی از حالت فعلی خود به حالت آلفای مرتبط با ضربان‌های دو گوشی تغییر پیدا می‌کنند.

اعتقاد بر این است که توانایی ضربان‌های دو گوشی برای تأثیرگذاری بر امواج مغزی به اصل همگام‌سازی امواج مغزی وابسته است:

اصول همگام‌سازی دو یا چند فرکانس نزدیک به هم این است که در ریتم با یکدیگر قفل می‌شوند. این اصل ابتدا در ۱۶۶۵ توسط هاگنز کشف شد، کسی که با ساعت‌های پاندولی کار کرد. او ذکر کرد که اگر همه پاندول‌ها در زمان‌های متفاوتی شروع شوند، آنها در نهایت ضربانهایشان را با یکدیگر همزمان یا همگام می‌کردند (۶). همگام‌سازی، اصطلاحی در سایکواکوستیک است که به تأثیر یک الگوی صوتی مکرر بر الگو برداری امواج مغزی اشاره دارد (۷). ضربان‌های دو گوشی به طور طبیعی دارای الگوهای ریتمیک خاصی هستند. به عنوان

مثال، فرکانس آلفای ۸ هرتز در یک دوره زمانی معین، یک الگوی صوتی تناوبی یا مکرر ایجاد می‌کند. طبق گفته لیدز، رزونانس فرایندی فراگیر است که در آن همگام‌سازی، ارتعاش سمپاتیک، فرکانس‌های رزونانس، همگی در حوزه رزونانس قرار می‌گیرند. با این اصول است که همگام‌سازی عملی می‌شود و دستگاه‌های داخلی بدن، یعنی امواج مغزی می‌توانند تحت تأثیر قرار گیرند. لیدز برای درک نیروهای رزونانس یک دستگاه برای همگام کردن دستگاه دیگر، سه قاعده کلیدی را مطرح می‌کند: (۱) قاعده رزونانس، (۲) قاعده توان و (۳) قاعده ثبات. قاعده اول مشخص می‌کند که دستگاه تحت تأثیر باید توانایی دستیابی به نرخ ارتعاش یکسان را داشته باشد، یعنی دستگاه‌ها باید از نظر فیزیکی مشابه باشند. قاعده دوم بیان می‌کند که دستگاه اول باید توان کافی برای غلبه بر سیستم دوم را دارا باشد و قاعده سوم توضیح می‌دهد که الگوی فرکانسی که قرار است بر دستگاه ثانویه تأثیر بگذارد باید ثابت باشد و دارای یک الگوی تناوب یا ریتمیک منظم باشد (۵).

همگام‌سازی امواج مغزی با استفاده از ضربان‌های دوگوشی به عنوان یک روش غیرتهاجمی و مقرون به صرفه، اخیراً توجه محققان علوم اعصاب و متخصصان بالینی را به خود جلب کرده است. اگرچه مطالعات اولیه اثرات این فناوری را بر حالت‌های شناختی، هیجانی و اختلالات عصبی- روانی مورد بررسی قرار داده‌اند، اما نتایج متناقض و پراکنده‌ای در این زمینه گزارش شده است. این مرور روایتی با هدف یکپارچه‌سازی شواهد موجود درباره مبانی عصبی همگام‌سازی امواج مغزی با ضربان‌های دوگوشی و همچنین تحلیل کاربردهای بالینی آن در حوزه‌هایی مانند کاهش اضطراب، بهبود خواب، و تقویت توجه انجام می‌شود. ضرورت این مطالعه از نیاز به تدوین چارچوبی نظری بر پایه مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک و نیز ارزیابی نقاط قوت و محدودیت‌های این روش در محیط‌های بالینی نشئت می‌گیرد. نتایج این مرور می‌تواند مبنایی برای طراحی مداخلات هدفمند و تحقیقات آتی فراهم کند.

اصول عملکردی ضربان‌های دو گوشی

ضربان‌های دو گوشی یک خطای ادراکی هستند، یعنی بازنمایی و ادراک یک محرک واقعاً موجود در دنیای بیرونی فیزیکی نیستند، بلکه آنها خطای ادراکی ذهنی مغز از یک صوت سوم مجازی هستند که وقتی دو موج سینوسی با دامنه یکسان و اختلاف فرکانس اندک توسط هدفون استریو ارائه میشوند، نوسان (یعنی ضربان)

¹ Brainwave Entrainment

² Frequency following response

³ Binaural Beats

⁴ Atwater

⁵ Leeds

⁶ Electroencephalography

⁷ Sauvé

ولی در ثبت‌های EEG نیز شبیه پتانسیل‌های حالت پایدار فراخوانده شده بصری^۸ (SSVEPs) ناشی از محرک سوسو زن دیداری یافت شده است (۱۷).

با اندازه‌گیری از بخش‌های مختلف مغز می‌توان نشان داد که تحریک صوتی ضربان‌های دو گوش، تغییرات قابل تشخیصی را در بخش‌های مختلف مغز ایجاد می‌کند. این امر با فعالیت امواج مغزی مرتبط است (۱۸). برای مثال، الگوهای EEG مرتبط با گوش دادن به یک سری از ضربان‌های دو گوش در باند دلتا و تتا مورد بررسی قرار گرفته‌اند که نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار امواج مغزی آلفا و بتا و افزایش امواج مغزی دلتا و تتا می‌باشد (۱۹). همچنین در باند گاما، بزرگترین پاسخ‌های حالت پایدار EEG در ضربان دو گوش ۴۰ هرتز رخ می‌دهد و عمدتاً لوب‌های پیشانی و آهیانه‌ای را فعال می‌کند. علاوه بر این، تحریک ضربان دو گوش در باند بتا در ۱۸/۵ هرتز، ۲۱ درصد بزرگی EEG را افزایش می‌دهد (۲۰). نواحی قشری تابع ضربان دو گوش باند تتا شامل نواحی آهیانه‌ای، پیشانی و گیجگاهی است (۲۱).

ارتباط باندهای فرکانسی مختلف امواج مغزی با کارکردهای متنوع زیستی - روانی - اجتماعی

هر فرکانس امواج مغزی اثرات نوروفیزیولوژیکی و روانی خاصی ایجاد می‌کند که با وضعیت خاصی از هشیاری مرتبط است. در این بخش، کارکردهای زیستی - روانی - اجتماعی مرتبط با هر باند فرکانسی پرداخته می‌شود.

امواج دلتا (کمتر از ۴ هرتز): کندترین امواج با عمیق‌ترین حالت خواب و ناخودآگاه مرتبط هستند. این امواج برای خواب، بازیابی جسمی و ذهنی و همچنین مراقبه عمیق ایده آل هستند. امواج دلتا به حالتی از شادکامی ذهنی و همدلی منجر می‌شود که در آن فرد احساس ارتباط بیشتری با خود می‌کند. این حالت بینش و حافظه را بهبود می‌بخشد. امواج دلتا با ترشح هورمون رشد همراه است که برای بازسازی سلولی و همچنین تولید افیون‌های درون‌زا مفید است (۲۲-۲۳).

امواج تتا (۴ تا ۸ هرتز): این الگوی فرکانسی با فرایندهای خلاقیت، بنیشت افزایش یافته، ارتباطات هیجانی قوی‌تر و احساس آرامش و کاهش اضطراب مرتبط است. امواج تتا همچنین به بهبود مهارت‌های حل مسئله و حفظ مقادیر بسیار بیشتری از اطلاعات در مدت زمان کوتاه‌تر کمک می‌کند. این الگو با کاهش سطح کورتیزول و تعدیل سروتونین و ملاتونین همراه است (۲۴).

دارند (۸). این دو موج سینوسی، فرکانس‌های حامل و نامیده می‌شوند که منجر به یک صوت خطای ادراکی مجازی با یک فرکانس اصلی ادراک شده مطابق با میانگین حسابی و می‌شود، ولی دامنه آن با فرکانس مربوط به اختلاف بین و تعدیل می‌شود که Δf نامیده می‌شود. این فرکانس پوششی به صورت ضربان درک می‌شود، بنابراین Δf فرکانس ضربان دو گوش است. این اثر برهم نهی یک اثر تداخل شناخته شده رایج دو موج است که در فرکانس یا طول موجشان اندکی اختلاف وجود دارد. آنچه در مورد ضربان‌های دو گوش منحصر بفرد است، این واقعیت می‌باشد که دو نوسان مکانیکی مولکول‌های هوای صدهای حامل، هیچ‌گاه تداخل مکانیکی ایجاد نمی‌کنند، زیرا به دلیل استفاده از هدفون‌های بسته، حجم هوای مربوطه به لحاظ فیزیکی از هم جدا می‌شوند. بنابراین، برهم نهی فرکانس‌های حامل زمانی اتفاق می‌افتد که همبسته‌های عصبی صدهای حامل در سیستم اعصاب مرکزی برهمکنش می‌کنند، پس ضربان‌های دو گوش از ساختار عملکردی نورواناتومیکی مغز نشأت می‌گیرند و مغز این خطای ادراکی را ایجاد می‌کند (۹).

پایه‌های عصب شناختی ضربان‌های دو گوش

توافق مشترکی وجود دارد که ضربان‌های دو گوش از هسته‌های زیتونی فوقانی^۹ نشأت می‌گیرند. فاستر مطرح می‌کند که ضربان‌های دو گوش، پاسخ‌های شنیداری ساقه مغز هستند که از هسته‌های زیتونی فوقانی هر نیمکره نشأت می‌گیرند (۱۰). ذکر این نکته حائز اهمیت است که ضربان‌های دو گوش مانند فرکانس‌های ضربانی که در گیتار شنیده می‌شوند، عمل نمی‌کنند (۷). در عوض، همانطور که فاستر توضیح می‌دهد آنها به‌عنوان یک ضربان شنیداری درک می‌شوند (۱۰). ضربان‌های دو گوش ابتدا از هسته‌های زیتونی فوقانی و ساقه مغز^۹ شروع شده سپس به سمت تشکیلات شبکه‌ای^{۱۰} حرکت می‌کند، جایی که می‌توان آن را در قشر مغز به‌عنوان فرکانس پساز پاسخ^{۱۱} (FFR) از طریق الکتروانسفالوگرافی (EEG) اندازه‌گیری کرد (۱۴-۱۱). اصطلاح FFR به تمایل فعالیت الکتروکورتیکال مغز برای تغییر توان نسبی و همگام‌سازی فعالیت عصبی آن به فرکانس یکسان به‌عنوان محرک خارجی اشاره دارد (۱۵). همبسته‌های الکتروفیزیولوژیکی صوت سوم مجازی در پارادایم ضربان‌های دو گوش، به‌عنوان پاسخ حالت پایدار شنیداری^{۱۲} (ASSR) در نئوکورتکس توسط ثبت‌های EMG یافت شد (۱۶).

^۸ Superior olivary nuclei

^۹ Brain stem

^{۱۰} Reticular formation

^{۱۱} Frequency following response

^{۱۲} Auditory Steady-State Response

^{۱۳} Steady state visually evoked potentials

امواج آلفا (۸ تا ۱۳ هرتز): این الگوی فرکانسی با آرامش ذهنی، تصویرسازی و فرایندهای خلاق مرتبط است. کاربردهای درمانی شامل بهبود حافظه و تعدیل آستانه ادراک درد می باشد. استفاده از این الگوی فرکانسی در جمعیت سالمند پتانسیل درمانی بسیار خوبی برای درمان اختلالات حافظه نشان داده است (۲۶-۲۵).

امواج بتا (۱۳ تا ۳۹): این الگوی فرکانسی با توجه، تمرکز و شناخت ارتباط دارد. بررسی ها نشان داده اند که همگام سازی امواج مغزی در باند بتا در بهبود خستگی و برخی از علائم اختلال نقص توجه/ بیش فعالی (ADHD) از جمله نقایص یادگیری و توجه مؤثر است. مطالعات بیشتر، بهبود در حدت بینایی، هماهنگی، درمان بالقوه برای نارساخوانی و تمرکز پایین و همچنین افزایش بهره هوشی در محدوده ۸ الی ۱۰ نمره را نشان داده اند (۲۷). همگام سازی امواج بتا بر اعتماد به نفس و اجتماعی شدن تأثیر گذاشته و افراد را خوش بینتر و پرانرژی تر می کند (۲۹-۲۸). در نهایت، این الگوی فرکانسی به یادگیری و توانایی های مرتبط با ورزش کمک می کند (۳۰).

امواج گاما (بیشتر از ۴۰ هرتز): این الگوی فرکانسی در پردازش اطلاعات از تمام بخش های مغز نقش دارد. فعالیت امواج گامای بالا در مغز با هوش، خودکنترلی و احساس شادکامی مرتبط است (۳۲-۳۱). علاوه براین، امواج مغزی گاما با بهبود حافظه و توانایی بالاتر درک واقعیت همراه است (۳۳).

کاربردهای ضربان های دو گوشه

فرض اصلی ضربان های دوگوشه این است که می توانند یک اثر همگام سازی در فعالیت الکتروکورتیکال مغز ایجاد کنند و در نتیجه مکانیسمی برای تغییر رفتار بالقوه ارائه دهند (۱۵). مطالعات بر روی تأثیر همگام سازی امواج مغزی به روش ضربان های دوگوشه، ضربان های ایزوکرونیک و القای نوری نشان داد که این روش ها دارای تأثیرات درمانی می باشند و افراد دارای نقایص شناختی، استرس، درد، میگرن و مشکلات رفتاری می توانند از این روش ها بهره مند شوند (۱). در ادامه بخشی از پژوهش های انجام یافته بر روی کارکردهای مختلف شناختی و روانی مورد بررسی قرار می گیرند.

۱) کارکردهای شناختی:

مطالعه بیوچن^{۱۴} و همکاران درباره تأثیر ضربان های دو

گوشه بر حافظه کاری دیداری فضایی و اتصالات قشری نشان داد که گوش دادن به ضربان های دو گوشه ۱۵ هرتز در طی تکلیف حافظه کاری دیداری فضایی، دقت پاسخ را افزایش داده و شبکه هایی با مشخصه انتقال اطلاعات بالا با قدرت اتصالات ثابت در سراسر تکلیف حافظه کاری ایجاد کرد (۳۴). داداشی و همکاران با پژوهش بر روی نقایص شناختی افراد مبتلا به اختلال شخصیت مرزی نشان دادند که همگام سازی امواج مغزی در باند بتا، منجر به بهبود حافظه کاری در افراد با اختلال شخصیت مرزی می شود (۳۵). همچنین، احمدی و همکاران با پژوهش بر روی آزمودنی های سالم نشان دادند که ضربان های دو گوشه در باند بتا به طور معنی داری بهتر از باند آلفا و بتا منجر به ارتقاء حافظه کاری دیداری فضایی می شود. طی پژوهش دیگر، احمدی و همکاران با مقایسه ضربان های دو گوشه در باندهای فرکانسی آلفا، بتا و تتا نشان دادند که باند بتا هم بر روی حافظه کاری کلامی و هم حافظه کاری دیداری فضایی، بهتر از دیگر باندهای فرکانسی تأثیر مثبت دارد (۳۶-۳۷). کلایمش و همکاران نشان دادند که نوسانات در ریتم آلفا به طور غیرمستقیم عملکرد ظرفیت حافظه کاری را افزایش می دهد، به طوری که آن ها اطلاعات نامناسب را فیلتر کرده و از اختلال فرایندهای به شکل محرک متناقض جلوگیری می کنند. کارتر و راسل^{۱۵} پسران ۸ الی ۱۲ ساله مبتلا به اختلالات یادگیری را به مدت ۸ هفته در معرض ضربان های دو گوشه ۱۰ و ۱۸ هرتز قرار دادند (۳۸-۳۹). نتایج آن ها بهبود در ماتریس های پیش رونده ریون و خرده آزمون حافظه متوالی شنیداری را نشان داد. مک مورای^{۱۶} تأثیر ضرب آهنگ دو گوشه ۷ و ۱۱ هرتز را روی موج مغزی آلفا، حافظه کاری و توجه افراد سالخورده سالم ارزیابی کرد (۴۰). قرار گرفتن به مدت دو دقیقه در معرض ضرب آهنگ دو گوشه منجر به تغییر در فعالیت الکتریکی مغز شد. به طور خاص، تغییرات در فعالیت موج آلفا اتفاق افتاد. علاوه براین، پیشرفت هایی در تکلیف حافظه فراخنای ارقام مستقیم و معکوس و همچنین در نسخه ای از آزمون عملکرد پیوسته مشاهده شد. مک مورای به بررسی تأثیر ضربان های دوگوشه در باند بتا بر معیارهای توجه و الگوی امواج مغزی در نمونه ای از افراد مبتلا به ADHD پرداخت (۴۱). نتایج نشان داد که پس از مداخله، نمرات آزمون توجه به طور معنی داری افزایش یافته و افزایش قابل توجهی در فرکانس امواج بتا در حین ارائه ضربان های دوگوشه ثبت شد. این یافته ها حاکی از آن است که بهبود مشاهده شده در توجه احتمالاً

¹⁴ Beauchene

¹⁵ Carter & Russell

¹⁶ McMurray

موسیقی ۴۳۲ و هم ضربان‌های دو گوشی ۱۰ هرتز منجر به کاهش سطح اضطراب دندانپزشکی شدند.

۳) کنترل اعتیاد:

ملک‌زاده و همکاران به بررسی اثرات ضربان‌های دو گوشی بر افراد معتاد پرداختند. آزمایش دوپامین ادرار، EEG و مقیاس خلق برونر^{۱۹} به‌عنوان ابزارهای سنجش مورد استفاده قرار گرفتند (۴۷). نتایج نشان داد که ضربان‌های دو گوشی می‌تواند خشم، تنش، گيجی را کاهش داده و نیرومندی و تمایل به ادامه درمان تا بهبودی کامل را در افراد معتاد افزایش دهد.

۴) تنظیم خواب:

لی^{۲۰} و همکاران تأثیر ضربان‌های دو گوشی در باند تتا (۶ هرتز) را بر علائم بیخوابی مورد بررسی قرار دادند (۴۸). پژوهش آن‌ها نشان داد که پس از دو هفته استفاده از ضربان‌های دو گوشی ۶ هرتز، افزایش توان نسبی تتا و کاهش توان بتا ایجاد می‌شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که قرار گرفتن در معرض ضربان‌های دو گوشی ۶ هرتز حالت انگیزشی بیش از حد را کاهش داده و به القای خواب کمک می‌کند.

جیراکیتایاکورن و وانگساوات^{۲۱} تأثیرات ضربان‌های دو گوشی ۳ هرتز (باند دلتا) را بر مراحل خواب مورد بررسی قرار دادند (۴۹). نتایج این پژوهش نشان داد که مدت زمان مرحله ۳ خواب در گروه آزمایش بیشتر از گروه کنترل بود و مدت زمان مرحله ۲ خواب در گروه آزمایش کمتر از گروه کنترل بود. همچنین نهفتگی مرحله ۳ خوب در گروه آزمایش کمتر بود. لین و همکاران یک جلسه ۴۵ دقیقه‌ای از ضربان دوگوشی شخصی‌سازی شده با استفاده از اپلیکیشن Spatial و هدبند Sound-Health به ۲۰ شرکت‌کننده مبتلا به بی‌خوابی متوسط تا شدید به مدت چهار هفته ارائه دادند (۵۰). تمامی شرکت‌کنندگان مطالعه را بدون عوارض جانبی یا نقض پروتکل به پایان رساندند. نتایج این مطالعه با نرخ پاسخ به درمان ۷۰ درصد، نشان داد که ضربان‌های دوگوشی سفارشی شده برای درمان بی‌خوابی امیدبخش هستند و عوارض جانبی نداشته و پایداری بالایی به همراه داشتند. اکثر شرکت‌کنندگان به وضعیت بدون بی‌خوابی یا بی‌خوابی زیرآستانه‌ای بهبود یافتند.

نتیجه‌گیری

ضربان‌های دو گوشی پدیده‌های هستند که وقتی دو صوت با اختلاف فرکانس اندک به دو گوش ارائه می‌شوند، ایجاد شده و بر مغز تأثیر می‌گذارند (۳۵). این روش کمک می‌کند تا با استفاده از امواج آلفا شخص حس آرامش را تجربه کرده و اضطراب وی کاهش یابد،

ناشی از افزایش فعالیت امواج مغزی بتا است که توسط ضربان‌های دوگوشی ایجاد شده است. مهدیزاده فانید و همکاران به بررسی تأثیر ضربان‌های دوگوشی در باند گاما بر حافظه‌کاری و انعطاف‌پذیری شناختی در بزرگسالان مبتلا به بیماری آلزایمر پرداختند (۴۲). نتایج این پژوهش نشان داد که ضربان‌های دو گوشی در باند گامانجر به بهبود کارکردهای شناختی بیماران مبتلا به آلزایمر در آزمون‌های دسته بندی کارت‌های ویسکانسین و آزمون حافظه کاری دیداری-فضایی کرسی می‌شود.

۲) تنظیم خلق و اضطراب

پژوهش دیگری در مورد تأثیر طولانی مدت ضربان‌های دو گوشی بر علائم افسردگی افراد مسن نیز نتایج مثبتی به همراه داشت. ۳۵ فرد مسن ساکن خانه سالمندان در این پژوهش شرکت داشتند. هر یک از شرکت‌کنندگان به مدت ۳۰ دقیقه از طریق هدفون به یک موسیقی آشنا با ضربان‌های دو گوشی آلفا گوش دادند. نتایج مطالعه نشان داد که آزمودنی‌ها ۳۰ دقیقه پس از گوش دادن به موسیقی ترکیب شده با ضربان‌های دو گوشی ۱۰ هرتز، تأثیرات فوری با یک کاهش معنی‌دار در ضربان قلب، فشار خون سیستولیک و نُرُم فرکانس پایین تغییر پذیری ضربان قلب^{۱۷} (HRV) نشان دادند. سطح افسردگی نیز پس از پنج روز گوش دادن به موسیقی ترکیب شده با ضربان‌های دو گوشی آلفا به طور معنی‌داری کاهش یافت (۴۳).

پژوهش مشابهی بر روی سربازان پس از اعزام برای ارزیابی کارایی فرانس مغزی تتای ترکیب شده با موسیقی با استفاده از تکنولوژی ضربان‌های دو گوشی در مقایسه با موسیقی خالص انجام شد. نتایج نشان داد که وقتی آزمودنی‌ها تحت یک استرسور حاد قرار می‌گیرند، آنهایی که از موسیقی ترکیب شده با ضربان‌های دو گوشی استفاده کردند، کاهش پاسخ‌های سمپاتیک و افزایش پاسخ‌های پاراسمپاتیک را نشان می‌دهند، در حالیکه آزمودنی‌هایی که از موسیقی خالص استفاده کردند، تأثیر معکوسی نشان دادند (۴۴). پژوهش دیگری تأثیر ضربان‌های دو گوشی ۱۰ هرتز را بر اضطراب و درد بیماران مرد در حال اجرای سیستم‌سکوپی تشخیصی و برداشتن استنت تحت بی‌حسی موضعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که گوش دادن به ضربان‌های دو گوشی ۱۰ هرتز (آلفا) منجر به کاهش نمرات درد و اضطراب در بیماران تحت انجام سیستم‌سکوپی تشخیصی و برداشتن استنت حالب می‌گردد (۴۵). منزلت اوغلو^{۱۸} و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر ضربان‌های دو گوشی ۱۰ هرتز و موسیقی ۴۳۲ هرتز بر اضطراب دندانپزشکی پرداختند (۴۶). نتایج این پژوهش نشان داد که هم

¹⁷ Heart Rate Variability

¹⁸ Menziletoğlu, Güler, Cayır, & Isik

¹⁹ Brunel Mood Scale

²⁰ Lee

²¹ Jirakittayakorn & Wongsawat

همگام‌سازی امواج مغزی به روش ضربان‌های دوگوشی یک روش سریع الاثر است که حتی فقط دو دقیقه پس از اعمال آن، تأثیرش بر فعالیت الکتریکی مغز در EEG به وضوح قابل مشاهده است و می‌توان در شرایطی مانند اضطراب امتحان، اضطراب‌های قبل از عمل جراحی و دندانپزشکی استفاده کرد (۴۰). از سوی دیگر، با توجه به عوارض داروهای آرامبخش که برای درمان بی‌خوابی استفاده می‌شوند، ضربان‌های دو گوشی می‌تواند با استفاده از القاء امواج تتا و دلتا، بدون عوارض جانبی داروهایی مانند گروه بنزودیازپین‌ها، مراحل خواب افراد را تنظیم کرده و کیفیت خواب را بهبود بخشد. همچنین می‌توان با استفاده از ضربان‌های دو گوشی، هزینه‌های درمانی کودکان ADHD را به شدت کاهش داد. با توجه به این که کودکان ADHD نسبت تتا به بتای افزایش یافته‌ای دارند و امواج تتای آن‌ها کمتر از امواج بتا می‌باشد، لذا با ضربان‌های دو گوشی بتا می‌توان میزان بتای مغزی این کودکان را افزایش داد (۵۷). با این تفاسیر می‌توان نتیجه گرفت ضربان‌های دو گوشی می‌تواند جایگزین مناسبی برای مداخلات پرهزینه و با عوارض جانبی بالا باشد.

با استفاده از امواج بتا تمرکزش افزایش یابد و با استفاده از امواج دلتا و تتا کیفیت خواب شخص بهبود پیدا کند (۵۱). در حال حاضر، درمان‌های مختلف تحریک مغزی برای بهبود کارکردهای شناختی انجام می‌گیرند امکان ایجاد انعطاف‌پذیری عصبی در انسان را دارند (۵۲). از جمله تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای (tES) که بر طیف مختلفی از اختلالات اضطرابی، خلقی و نقص توجه-بیش فعالی مؤثر بوده و روش نوروفیدبک که در آن افراد می‌آموزند که الگوی امواج مغزی را خودشان تغییر دهند (۵۳-۵۴). همچنین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) بر بهبود کارکردهای شناختی از جمله توجه و بهبود اختلال ریاضی مؤثر است (۵۶-۵۵). با این حال، درمان‌های مذکور علیرغم اثربخشی مناسب، هزینه‌های بالایی برای درمانگران جهت تهیه دستگاه‌ها داشته و در نتیجه هزینه بالایی برای درمانجویان خواهد داشت. درحالی‌که همگام‌سازی امواج مغزی به روش ضربان‌های دو گوشی کمترین هزینه را به درمانگر و درمانجو تحمیل می‌کند و صرفاً با آماده سازی فرکانس‌های مورد نظر در نرم‌افزار، می‌توان توسط یک دستگاه هدفون، مداخله مورد نظر را انجام داد. همچنین

منابع

- Huang TL, Charyton C. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment. *Alternative Therapies in Health and Medicine*. 2008; 14(5): 38-50.
- Kam TE, Suk HI, Lee SW. Multiple functional networks modeling for autism spectrum disorder diagnosis. *Human brain mapping*. 2017; 38(11): 5804-21.
- Tang HY, Vitiello MV, Perlis M, Riegel B. Open-loop neurofeedback audiovisual stimulation: A pilot study of its potential for sleep induction in older adults. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2015; 40: 183-8.
- Atwater FH. Accessing anomalous states of consciousness with a binaural beat technology. *Journal of scientific exploration*. 1997; 11(3): 263-74.
- Leeds J. The power of sound: How to be healthy and productive using music and sound. Simon and Schuster. 2010.
- Sauvé ML. The therapeutic effects of vocal improvisation. PhD thesis. Carleton University. 2004.
- Curtis D, Unit EM, Conservatorium E. Binaural beats, brain wave entrainment and the hemi-sync process. *Electronic Music Unit. Elder Conservatorium. University of Adelaide*. 2007.
- Perrott DR, Nelson MA. Limits for the detection of binaural beats. *The journal of the Acoustical Society of America*. 1969; 46(6B): 1477-81.
- Ptaff HU. Psychophysiological reactivity to auditory Binaural Beats stimulation in the alpha and theta EEG brain-wave frequency bands: A randomized, double blind and placebo-controlled study in human healthy young adult subjects. PhD thesis. *Universidad Autónoma de Madrid*. 2014.
- Foster DS. EEG and subjective correlates of alpha frequency binaural beats stimulation combined with alpha biofeedback. PhD thesis. *Memphis State University*. 1990.
- Draganova R, Ross B, Wollbrink A, Pantev C. Cortical steady-state responses to central and peripheral auditory beats. *Cerebral Cortex*. 2008; 18(5): 1193-200.
- Oster G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*. 1973; 229(4): 94-103.
- Hink RF, Kodera K, Yamada O, Kaga K, Suzuki J. Binaural interaction of a beating frequency-following response. *Audiology*. 1980; 19(1): 36-43.
- Swann R, Bosanko S, Cohen R, Midgley R, Seed KM. *The Brain-A User's Manual*. New York: GP Putnam's Sons. 1982; 92.
- Vernon D, Peryer G, Louch J, Shaw M. Tracking EEG changes in response to alpha and beta binaural beats. *International Journal of Psychophysiology*. 2014; 93(1): 134-9.

16. Karino S, Yumoto M, Itoh K, Uno A, Yamakawa K, Sekimoto S, et al. Neuromagnetic responses to binaural beat in human cerebral cortex. *Journal of neurophysiology*. 2006; 96(4): 1927-38.
17. Schwarz DW, Taylor PJ. Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats. *Clinical Neurophysiology*. 2005; 116(3): 658-68.
18. Gerken GM, Moushegian G, Stillman RD, Rupert AL. Human frequency-following responses to monaural and binaural stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1975; 38(4): 379-86.
19. Kasprzak C. Influence of binaural beats on EEG signal. *Acta physica polonica A*. 2011; 119(6A): 986-90.
20. Frederick JA, Lubar JF, Rasey HW, Brim SA, Blackburn J. Effects of 18.5 Hz auditory and visual stimulation on EEG amplitude at the vertex. *Journal of Neurotherapy*. 1999; 3(3-4): 23-8.
21. Becher AK, Höhne M, Axmacher N, Chaieb L, Elger CE, Fell J. Intracranial electroencephalography power and phase synchronization changes during monaural and binaural beat stimulation. *European Journal of Neuroscience*. 2015; 41(2): 254-63.
22. Szentirmai E, Yasuda T, Taishi P, Wang M, Churchill L, Bohnet S, et al. Growth hormone-releasing hormone: cerebral cortical sleep-related EEG actions and expression. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2007; 293(2): R922-30.
23. Botella-Soler V, Valderrama M, Crepon B, Navarro V, Le Van Quyen M. Large-scale cortical dynamics of sleep slow waves. *public library of science one*. 2012; 7(2): e30757.
24. Sabourin ME, Cutcomb SD, Crawford HJ, Pribram K. EEG correlates of hypnotic susceptibility and hypnotic trance: Spectral analysis and coherence. *International journal of psychophysiology*. 1990; 10(2): 125-42.
25. Bhat P. Efficacy of Alfa EEG wave biofeedback in the management of anxiety. *Industrial psychiatry journal*. 2010; 19(2): 111-4.
26. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain research reviews*. 1999; 29(2-3): 169-95.
27. Brenner RP, Ulrich RF, Spiker DG, Scwabassi RJ, Reynolds III CF, Marin RS, et al. Computerized EEG spectral analysis in elderly normal, demented and depressed subjects. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1986; 64(6): 483-92.
28. Patrick GJ. Improved neuronal regulation in ADHD: An application of 15 sessions of photic-driven EEG neurotherapy. *Journal of Neurotherapy*. 1996; 1(4): 27-36.
29. Egner T, Gruzeliier JH. EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical neurophysiology*. 2004; 115(1): 131-9.
30. Neto JD. O Neurofeedback Como Recurso Neuropsicoterápico Para O Transtorno Do Déficit De Atenção Com Ou Sem Hiperatividade E Impulsividade/ Neurofeedback How Neuropsicoterapia Appeal to The Deficit Disorder Attention with Or Without Hyperactivity and Impulsivity. *Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)*. 2013; 9(1): 263-75.
31. Burle B, Bonnet M. High-speed memory scanning: A behavioral argument for a serial oscillatory model. *Cognitive Brain Research*. 2000; 9(3): 327-37.
32. Davidson RJ, McEwen BS. Social influences on neuroplasticity: stress and interventions to promote well-being. *Nature neuroscience*. 2012; 15(5): 689-95.
33. Crone N, Hao L, Hart Jr J, Boatman D, Lesser RP, Irizarry R, et al. Electroencephalographic gamma activity during word production in spoken and sign language. *Neurology*. 2001; 57(11): 2045-53.
34. Beauchene C, Abaid N, Moran R, Diana RA, Leonessa A. The effect of binaural beats on visuospatial working memory and cortical connectivity. *public library of science one*. 2016; 11(11): e0166630.
35. Dadashi SD, Ahmadi E, Bafandeh Gharamaleki H, Rasouli H. Effectiveness of brainwave synchronization in beta band by binaural beats on improvement of visuospatial working memory in subjects with borderline personality disorder traits. *Studies in Medical Sciences*. 2018; 29(5): 327-35.
36. Ahmadi E, Bafandeh Gharamaleki H, Dadashi S, Rasouli H. Effectiveness of brainwave synchronization in alpha, beta, and theta bands by binaural beats on visuospatial working memory. *Avicenna Journal of Neuro Psycho Physiology*. 2021; 8(4): 186-91.
37. Ahmadi E, Bafandeh Gharamaleki H, Dadashi S, Rasouli H. Effectiveness of Brainwave Synchronization in Alpha, Beta and Theta Band by Binaural Beats on College Student's Working Memory [unpublished manuscript]. Azarbayjan Shahid Madani University, Deputy of Research and Technology. 2022.
38. Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr S. EEG

- alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain research reviews*. 2007; 53(1): 63-88.
39. Carter JL, Russell HL. A pilot investigation of auditory and visual entrainment of brain wave activity in learning disabled boys. *Texas Researcher*. 1993; 4(1): 65-75.
40. McMurray JC. Binaural beats enhance alpha wave activity, memory, and attention in healthy-aging seniors. University of Nevada, Las Vegas. 2006.
41. McMurray JC. Auditory binaural beats enhance EEG-measured beta wave activity in individuals with ADHD. PhD thesis. California State University, Northridge. 2004.
42. Mehdizadeh Fanid, L., Birami, M., Dadashi, S., Nikzad, B., Zarezadeh, N. The Effect of Auditory Brain Stimulation on Cognitive Function Improvement: A Study on Working Memory and Cognitive Flexibility in adults with Early-Stage Alzheimer's. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, 2025.
43. Sung HC, Lee WL, Li HM, Lin CY, Zu Wu Y, Wang JJ, et al. Familiar music listening with binaural beats for older people with depressive symptoms in retirement homes. *Neuropsychiatry*. 2017; 7(4): 347-53.
44. Gantt MA, Dadds S, Burns DS, Glaser D, Moore AD. The effect of binaural beat technology on the cardiovascular stress response in military service members with postdeployment stress. *Journal of Nursing Scholarship*. 2017; 49(4): 411-20.
45. Ölçücü MT, Yılmaz K, Karamık K, Okuducu Y, Özsoy Ç, Aktaş Y, et al. 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*. 2021; 35(1): 54-61.
46. Menziletoglu D, Guler AY, Cayır T, Isik BK. Binaural beats or 432 Hz music? which method is more effective for reducing preoperative dental anxiety? *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*. 2020; 26(1): e97.
47. Malekzadeh D, Rahati S, Kobravi HR, Dadgarazad M. Binaural beats effect on addicted people based on EEG. *Scientific Quarterly Research on Addiction*. 2017; 10(40): 235-53.
48. Lee E, Bang Y, Yoon IY, Choi HY. Entrapment of binaural auditory beats in subjects with symptoms of insomnia. *Brain Sciences*. 2022; 12(3): 339.
49. Jirakittayakorn N, Wongsawat Y. A novel insight of effects of a 3-Hz binaural beat on sleep stages during sleep. *Frontiers in human neuroscience*. 2018; 12: 387.
50. Lin K, Mohan V, Ma Y, Lin B, Hwang P, Gopi P, et al. Use of Customized Binaural Beats for the Treatment of Chronic Insomnia. *Journal of Sleep Medicine*. 2025; 30;22(1):26-31.
51. Baakek YN, Debbal SM. Digital drugs (binaural beats): how can it affect the brain/their impact on the brain. *Journal of medical engineering & technology*. 2021; 45(7): 546-51.
52. Baghaei M, Tabatabaei M. The Effectiveness of Transcranial Electrical Stimulation on the Pattern of Brain Waves and Blood Pressure in Patients with Generalized Anxiety Disorder. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2022; 10 (3) :26-36
53. Mahdavi A, Ahmadi F, Haj Abbas Tabrizi E, Gharaian H, Rigi Koote B, Imaninasab V, et al. Transcranial Electrical Stimulation (tES): History, Theoretical Foundations and Applications. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2022; 11 (1) :69-104
54. Zandkarimi G, Fazlali F, Hasanvand M B. Cognitive Abilities Preferment in Math Problem-Solving through Combined Neuro-Feedback and Trans Cranial Electrical Stimulation Therapy. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2022; 10 (4) :20-31
55. Moezzi S, Ghoshuni M, Amiri M. Assessment of the Effect of Transcranial Direct Current Stimulations (tDCS) in Focused Attention Enhancement Using Event-Related Potentials. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2020; 9 (1) :25-35
56. Broumand Esfangarh N, Rezayi S, Jahan A, Ghasemian Moghadam M R. Comparing the effectiveness of cognitive rehabilitation program with transcranial electrical stimulation on brain waves of children with math learning disorder. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2024; 12 (4) :43-55
57. Barry RJ, Clarke AR, Johnstone SJ. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical neurophysiology*. 2003; 114(2): 171-83.