

Research Article

Comparison of the Effectiveness of tACS and tDCS on Craving Reduction and Cognitive Functions

Farnush Bagheban-Sadati¹, Saeed Imani^{2*}, Vahid Sadeghi-Firoozabadi³
& Jaber Alizadehgoradel⁴

1. Master's Student in Rehabilitation Counseling, Department of Counseling, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Counseling, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: s_imani@sbu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Abstract

Aim: According to neurocognitive models of addiction, the initiation and persistence of substance use disorders are associated with cognitive deficits and reduced activity in prefrontal regions, particularly the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC). This study aimed to evaluate the therapeutic effects of DLPFC stimulation in methamphetamine addiction and to compare the effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) and transcranial alternating current stimulation (tACS) in reducing craving, negative emotional experiences, and cognitive deficits.

Methods: Forty-five individuals undergoing treatment at a rehabilitation center were randomly assigned to three groups: tDCS, tACS, and sham stimulation. Participants received ten stimulation sessions over five weeks. Cognitive functions and craving levels were assessed at baseline, immediately after the intervention, and one month later.

Results: Both the tDCS and tACS groups demonstrated significant improvements in cognitive functioning and reductions in craving compared to baseline and the sham group, both immediately post-intervention and at one-month follow-up.

Conclusion: Repeated DLPFC stimulation using tDCS or tACS appears to improve cognitive functions and reduce craving in individuals with methamphetamine use disorder. Further studies with longer follow-up periods are recommended.

Key words: *Methamphetamine, tACS, tDCS, Cognitive Functions, Craving*

Citation: Bagheban-Sadati, F., Imani, S., Sadeghi-Firoozabadi, V., & Alizadehgoradel, J. (2025). Comparison of the Effectiveness of tACS and tDCS on Craving Reduction and Cognitive Functions *Appl. Psychol* 19 (3):30-54.

مقاله پژوهشی

مقایسه اثربخشی تحریک جریان متناوب فراجمجمه‌ای و تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کاهش ولع مصرف و کارکردهای شناختی

فرنوش باغبان ساداتی^۱، سعید ایمانی^{۲*}، وحید صادقی فیروزآبادی^۳ و جابر عزیززاده گورادل^۴

۱. کارشناسی ارشد مشاوره توانبخشی، گروه مشاوره، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، تهران، ایران.

۲. استادیار گروه مشاوره، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. ایمیل: s_imani@sbu.ac.ir

۳. استادیار گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴. استادیار گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

هدف: بر اساس مدل عصب‌شناختی اعتیاد، ایجاد و تداوم اعتیاد به مواد با نقص‌های شناختی و کاهش فعالیت در نواحی پیش‌پیشانی، به‌ویژه DLPFC، ارتباط دارد. این مطالعه به‌دنبال بررسی کارآمدی تحریک DLPFC در اعتیاد به مت‌آمفتامین و مقایسه اثربخشی تکنیک‌های تحریک غیرتهاجمی tACS و tDCS بر کاهش ولع مصرف، تجارب هیجانی منفی و بهبود کارکردهای شناختی است.

روش: اثربخشی ۱۰ جلسه تحریک با جریان متناوب tACS و تحریک با جریان مستقیم tDCS بر DLPFC و تأثیر آن بر بهبود کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف در بیماران مصرف‌کننده مت‌آمفتامین بررسی شد. ۴۵ جوان مصرف‌کننده که به یک کمپ درمانی مراجعه کرده بودند، به‌طور تصادفی در سه گروه tACS، tDCS و گروه شم قرار گرفتند و در طی ۵ هفته، ۱۰ جلسه تحریک دریافت کردند.

یافته‌ها: گروه‌هایی که tACS و tDCS دریافت کردند، در مقایسه با گروه شم و خط پایه، در کارکردهای شناختی بلافاصله پس از مداخله و یک ماه بعد، به‌طور معناداری بهبود یافتند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که تحریک مکرر DLPFC می‌تواند به بهبود کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف در مبتلایان به مت‌آمفتامین کمک کند. برای تأیید این یافته‌ها، مطالعات با پیگیری طولانی‌تر نیاز است.

کلید واژه‌ها: مت‌آمفتامین، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان متناوب، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم، کارکردهای شناختی، ولع مصرف

استناد به این مقاله: باغبان ساداتی، فرنوش، ایمانی، سعید، صادقی فیروزآبادی، وحید و عزیززاده گورادل، جابر. (۱۴۰۴). مقایسه اثربخشی تحریک جریان متناوب فراجمجمه‌ای و تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کاهش ولع مصرف و کارکردهای شناختی. فصلنامه روان‌شناسی کاربردی، ۱۹ (۳): ۵۴-۳۰.

مقدمه

مت‌آمفتامین یکی از رایج‌ترین مواد مخدر مصنوعی است که برای جامعه، هزینه‌های هنگفت اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی به همراه دارد. در سال ۲۰۲۰، تقریباً ۲۸۴ میلیون نفر در بازه سنی ۱۵ تا ۶۴ سال در سراسر جهان، مواد مخدر مصرف کردند که در مقایسه با سال ۲۰۱۰، حدود ۲۶ درصد افزایش داشته است. علاوه بر این، در سال ۲۰۲۰، حدود ۵۲۵ تن، انواع محرک از نوع آمفتامین کشف و ضبط شده است که ۳۷۵ تن آنها، مت‌آمفتامین بوده است (استالجتیز و همکاران، ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). اگر در سال ۲۰۲۲، از تعداد مصرف‌کنندگان مخدر در کشور چین، کاسته شده است، اما حدود ۵۸۸۰۰۰ نفر همچنان از محرک مت‌آمفتامین استفاده می‌کنند. بیماری مصرف مت‌آمفتامین یک اختلال مزمن است که با تکانشگری، اجبار و میزان عود بالا مشخص می‌شود و با مشکلات مختلف جسمانی و روانی همراه است (روزن و همکاران، ۲۰۲۴؛ آشارانی و همکاران، ۲۰۲۰).

استفاده از محرک‌هایی مانند مت‌آمفتامین و کوکائین در سراسر جهان، روندی فزاینده یافته است. مت‌آمفتامین به مثابه یک ماده مخدر غیرقانونی و روان‌محرک، به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان، استفاده می‌شود (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۰). موافق با موسسه ملی مسمومیت با مواد اثرات فوری مصرف مت‌آمفتامین (یعنی مسمومیت فعال) شامل سرخوشی، اعتماد به نفس و اثراتی محرک (مانند انرژی بالا، تمرکز بیش از حد) است اما در موارد شدیدتر، عارضه‌هایی مانند حالت تهوع، کم‌اشتهایی، مشکلات خواب، افزایش واکنش‌های فیزیولوژیک و هیپوترمیا^۱ را نیز به همراه دارد. از طرفی دیگر، اثرات طولانی‌مدت استفاده مزمن از مت‌آمفتامین شامل اعتیاد، نقص در مهارت‌های شناختی و حرکتی، از دست دادن حافظه، مشکلات تمرکز، رفتار خشونت‌آمیز، اختلالات خلقی، روان‌پریشی و گستره وسیعی از مشکلات فیزیولوژیک مانند کاهش وزن و مشکلات دندانی است (ال‌اسماری و همکاران، ۲۰۲۴؛ بادیکر و گریس، ۲۰۲۴). حتی پس از قطع مصرف مت‌آمفتامین، ممکن است چندین هفته طول بکشد تا علائم طولانی‌مدت، کاهش یابد و اغلب علائم فیزیولوژیک/روان‌شناختی ترک نیز مانند فزونی ولع مصرف، پارانویا، خارش چشم، مشکلات خواب، کاهش انگیزش، کمبود انرژی، کاهش لذت جنسی و افزایش اشتها، پدیدار می‌شود (هندریکسون و استراس، ۲۰۲۰؛ ژائو و همکاران، ۲۰۲۴).

شواهد نشان داده‌اند که استفاده منظم از ماده مخدر غیرقانونی و روان‌محرک مت‌آمفتامین با اثرات منفی زیستی - روانی - اجتماعی فراوانی مانند بی‌خانمانی، مصرف وریدی مواد مخدر^۲،

^۱ hypothermia^۲ intravenous drug use

عارضه‌های قلبی/عروقی^۱، کاردیومیوپاتی مربوط با مت‌آمفتامین^۲، فشار خون شریانی ریوی مربوط به مت‌آمفتامین، سکنه مغزی ایسکمیک حاد^۳، روان‌پریشی، اختلالات خلقی، مشکلات شناختی، پرخاشگری، رفتارهای رانندگی پرخطر افکار خودکشی، تصمیم‌گیری‌های مخاطره‌آمیز/ پرخطر، کارگری جنسی برای تامین مواد، انحرافات جنسی و علائم روانپزشکی طولانی‌مدت، همراه بوده‌اند (سیرانا و همکاران، ۲۰۲۲؛ فرانکی و همکاران، ۲۰۲۳؛ جرت و همکاران، ۲۰۲۳؛ استاسی و همکاران، ۲۰۲۴؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۴؛ اکسینگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ لای و همکاران، ۲۰۲۴). استفاده مکرر از مت‌آمفتامین از طریق ایجاد اختلال استفاده از روان‌محرك، به مثابه یک وضعیت مزمن و بازگشت‌پذیر و با پیامدهای مخرب روانی اجتماعی، همراه می‌شود (انجمن روانشناسی آمریکا، ۲۰۱۳). استفاده از مت‌آمفتامین پس از ثبات در دهه ۹۰ میلادی و حتی کاهش در سال ۲۰۰۰ میلادی، در شرایط فعلی، در بالاترین سطح ممکن قرار گرفته است (اداره خدمات سلامت روانی و مسمومیت با مواد، ۲۰۲۳). سهولت نسبی تهیه مت‌آمفتامین، نه فقط سبب شده است که این ماده محرك زیاد تولید شود، بلکه دسترسی به آن نیز با قیمتی کم، در همه جا ممکن گشته است (کوی و همکاران، ۲۰۲۴). اغلب، اشکال رایج‌تر استفاده از مت‌آمفتامین مانند مت‌آمفتامین P2P - که اساساً از طریق روش فنیل ۲ پروپونون^۴ تولید می‌شود، از طریق خطراتی ویژه مانند نورو توكسیسیتی حادتر^۵ و روان‌پریشی، سلامتی مصرف‌کنندگان را به طریقی جدی‌تر، تهدید می‌کند (زو، لی، فنگ، لیو و گائو، ۲۰۲۴). جدیدترین داده‌های اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد که در ایالات متحده، بیش از ۲/۵ میلیون نفر گزارش کردند در سال ۲۰۲۱، از مت‌آمفتامین استفاده کرده‌اند. البته، بیش از ۱۶ میلیون نفر نیز گزارش کردند که به صورت مداوم از مت‌آمفتامین استفاده می‌کنند (سازمان خدمات سلامت روانی و مسمومیت با مواد، ۲۰۲۳).

درمان‌های مربوط به اختلال مصرف مواد، اساساً بر پرهیز شدید متمرکز بوده‌اند و کمتر بر مدیریت تمایل‌مندی غیرقابل کنترل (ولع مصرف) یا بازگشت، تاکید داشته‌اند. بنابراین، محققان، اثربخشی این برنامه‌ها را در حد متوسط ارزیابی کرده‌اند (لی و همکاران، ۲۰۲۴). اختلالات مصرف مواد با اصرار به مداومت در مصرف مواد در مواجهه با پیامدهای نامطلوب در قلمروهای چندگانه سلامت اجتماعی، هیجانی و جسمانی، مشخص می‌شود. موافق با سازمان خدمات سلامت روانی و مسمومیت با مواد، هدف درمان اختلال مصرف مواد، بهبودی پایدار و بلندمدت است (ژائو و همکاران، ۲۰۲۱؛ چن و همکاران، ۲۰۲۴). روندهای درمانی غیردریویی مصرف مواد شامل

1. cardiovascular morbidity

2. methamphetamine-associated cardiomyopathy

3. acute ischemic stroke

4. Phenyl-2-Propanone (P2P)

5. worse neurotoxicity

روان‌درمانی و نورومودولاسیون است (رفتاری و همکاران، ۲۰۲۱). تصویربرداری عصبی کارکردی^۱ درباره اختلالات مصرف مواد بر پیوند منقطع شده^۲ قشر پیش‌پیشانی مغز و سیستم لیمبیک در پرهیز کنندگان و مصرف‌کنندگان فعلی مواد، تاکید می‌کند (جینی و همکاران، ۲۰۲۳). چندین مطالعه دیگر نیز بر کاهش اتصال در قشر پیشین مغز (PFC) و افزایش پیوند در هسته نوکلئوس^۳ تاکید کرده‌اند. با این حال در مطالعاتی دیگر، محققان بر اتصال بیشتر در PFC پشتی داخلی^۴ و کاهش اتصال اینسولا^۵، هسته نوکلئوس و آمیگدال، اشاره کردند. علاوه بر این، در نواحی فرونتال، شواهدی از آسیب پیوند ساختاری وجود دارد (اپیدز و همکاران، ۲۰۲۴).

در این شرایط، راهبردهای غیرتهاجمی تحریک مغز، با امکان تنظیم/تعديل فعاليت‌های عصبی در قشر مغز، پدید آمدند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳). تکنیک‌های نورومودولاسیون به عنوان درمان‌هایی کمکی برای هدف قرار دادن این مدار عصبی تغییر یافته^۶، پیشنهاد شده‌اند (کای و همکاران، ۲۰۲۲). فعال‌سازی نورومودولاسیون مدار عصبی، پلاستیسیته سیناپسی را تسهیل و از این طریق، تغییراتی را در نواحی قشری مربوط به بازداری رفتاری و تصمیم‌گیری، ایجاد می‌کند. تکنیک‌های نورومودولاسیون بر بهبود این پیوند مختل شده موثرند. تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) و تحریک فراجمعه‌ای با جریان متناوب (tACS)، در زمره تکنیک‌های نورومودولاسیون، تلقی می‌شوند. همچنین، tDCS و tACS در زمره تکنیک‌های غیردپلاریزکننده^۷ نورورن‌ها، قرار می‌گیرند (پارکین و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنگ و همکاران، ۲۰۲۳). در tDCS، جریان مستقیم با شدت کم و سرعت ثابت، از طریق دو یا چند الکترود که ممکن است «تر» (مثلاً استفاده از ژل الکترولیت یا سالین) یا «خشک» باشند، به پوست سر اعمال می‌شود. پارامترهای نوعی این متد درمانی شامل دامنه جریان (برحسب میلی آمپر)، مدت تحریک (معمولاً در هر جلسه ۴۰ دقیقه یا کمتر)، تعداد جلسات، و همچنین، اندازه، محل قرارگیری و جهت الکترود (مونتاژ) است. استفاده از این جریان با شدت کم (۰/۵ تا ۲ میلی آمپر) پتانسیل غشای استراحت عصبی^۸ و تحریک‌پذیری قشر مغز را در نواحی هدف‌گذاری شده مغز، تنظیم/تعديل می‌کند. در زیر الکترود آندال، پتانسیل غشای در حالت استراحت، کاهش یافته و در نتیجه، تحریک‌پذیری قشر مغز، افزایش می‌یابد. در مقابل، در زیر الکترود کاتدال، غشا هیپرپلاریزه می‌شود و متعاقب آن، تحریک‌پذیری کاهش می‌یابد (علیزاده و همکاران، ۲۰۲۰؛

1. functional neuroimaging
2. disrupted connectivity
3. nucleus accumbens
4. dorsomedial
5. insula

6. altered neurocircuitry
7. nondepolarizing
8. neuronal resting membrane potential

علیزاده و همکاران، ۲۰۲۱؛ آندرسون و همکاران، ۲۰۲۳). شواهد نشان می‌دهد که از tDCS برای درمان درد شدید و مزمن، افسردگی، بیماری پارکینسون و سایر اختلالات استفاده شده است. علاوه بر این، از tDCS برای درمان انواع بیماری‌های مصرف موارد مانند الکل، تنباکو، کوکائین، مت‌آمفتامین و حشیش، استفاده شده است (طامه و همکاران، ۲۰۲۴؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ کاسای و همکاران، ۲۰۲۴).

وجه دیگری از تحریک الکتریکی فراجمه‌ای، tACS نام دارد. مشابه با tDCS، به جای استفاده از یک دامنه جریان ثابت برای کل دوره تحریک، از موج جریانی متغیر، که اغلب سینوسی است، استفاده می‌شود. در حالی که در tDCS، یک الکتروود آندال و دیگری کاتدی است، در tACS، ماهیت متناوب جریان به این معناست که در طول یک نیمه از نوسان موج، یک الکتروود آندال و دیگری کاتدی است. البته، در نیمه دوم چرخه، این الگو معکوس می‌شود. محققان بر این باورند که tACS با افزایش شدت تحریک، خاصیت تحریک‌پذیری بافت قشر مغز را به صورت غیرخطی، تعدیل/تنظیم و از این طریق، بر نوسانات مغز تاثیر می‌گذارد. تحریک با شدت کم^۱، دامنه پتانسیل‌های برانگیخته حرکتی^۲ را کاهش و در مقابل، تحریک با شدت بالا، دامنه MEP را افزایش می‌دهد (سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۲؛ اختیاری و همکاران، ۲۰۱۹).

ولع به تمایل ذهنی افراد، از جمله افرادی که در حال ترک هستند، برای به دست آوردن و استفاده از یک ماده اعتیادآور در مواجهه با استرس یا نشانه‌های محیطی مربوط به مواد مخدر، اشاره می‌کند. به بیان دیگر، ولع مصرف مواد بیانگر تجربه ذهنی فرد از تمایل‌مندی او برای مصرف یک ماده مخدر است که تعداد زیادی از مطالعات نشان داده‌اند این عامل یک انگیزاننده اصلی رفتار مصرف مواد است (بریسین و ویرونا، ۲۰۲۴؛ کاویانی و همکاران، ۲۰۲۳). در نسخه پنجم راهنمای تشخیصی و آماری اختلالات روانی، ولع مصرف مواد مخدر یکی از ملاک‌های تشخیصی اختلال مصرف مواد، محسوب می‌شود. گستره کاملی از انگیزاننده‌های روان‌شناختی^۳ ولع مصرف مواد دربردارنده پدیده‌های آسیب‌شناسانه متفاوتی مانند حافظه (اپیزودهای خاص مصرف گذشته^۴)، دشواری تمرکز (بر روی موضوعاتی به جز هدف دلخواه مصرف) توجه فزونی یافته به محرک‌های مربوط به مصرف مواد و غیره است (کاظمی تبار و همکاران، ۲۰۲۲). در واقع، ولع یک عامل اساسی اثرگذار بر بهبود بیماران مصرف‌کننده مواد مخدر محسوب می‌شود (مک‌هاگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ویلکا و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعات قبلی به طریق اثباتی نشان

^۱. low-intensity stimulation

^۲. Amplitude Of Motor Evoked Potentials (MEPs)

^۳. psychological entanglements

^۴. specific episodes of past use

داده‌اند که در دوران ترک در بین بیماران مصرف‌کننده مواد، ولع یک پیش‌بینی‌کننده قوی برای بازگشت آنها، محسوب می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند افرادی که ولع زیادی دارند فراتر از حد معمول در معرض هیجاناتی منفی مانند عصبانیت، ترس، غمگینی و آشفتگی قرار دارند که چنین تجاربی، خطر بازگشت را افزایش می‌دهد (نورث‌راپ و همکاران، ۲۰۱۵؛ هی و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند تغییرات مدار عصبی که به دلیل مصرف مواد مخدر رخ می‌دهد، احتمال یادگیری نشانه‌های مربوط به مواد مخدر و محیط‌هایی را که سبب ولع مصرف می‌شوند، افزایش می‌دهد (کاستیلا و همکاران، ۲۰۲۰). بر این اساس، ولع شدید با فراخوانی رفتارهای مصرف مواد، چرخه‌ای معیوب را ایجاد می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۲۲).

مطالعات انجام شده در مصرف‌کنندگان مت‌آمفتامین در مقایسه با غیرمصرف‌کنندگان نشان می‌دهد که استفاده از این روان‌محرك بر غالب قلمروهای توانش شناختی مانند یادگیری، یادآوری، حافظه، کارکردهای اجرایی، تمرکز، هوشیاری، کنترل توجه، عملکرد روانی حرکتی، واکنش‌دهی، سرعت پردازش و حرکت، تفکر انتزاعی، سوگیری‌های شناختی، خطاهای عملکرد، توجه دیداری/فضایی، نظم‌بخشی هیجانی، کنترل تکانه، برنامه‌ریزی، حل مسئله، جهت‌مندی، بازشناسی هیجانی و زمان‌سنجی ادراکی، اثری منفی بر جای می‌گذارد (زرکیدزی و همکاران، ۲۰۲۳؛ زو و همکاران، ۲۰۲۳؛ لاوی، نیکولاس، رولاند و داوی، ۲۰۲۴). در این بخش، نتایج نشان می‌دهند که در امتداد تعدد آسیب‌ها در قلمروهای چندگانه توانش شناختی در مصرف‌کنندگان روان‌محرك مت‌آمفتامین، نه فقط به طور معناداری، احتمال آسیب‌شناسی روانی آن‌ها را فزونی می‌بخشد، که حتی گُنش‌وری آن‌ها را نیز در قلمروهایی متفاوتی مانند مدل رفتار رابطه بین فردی و رانندگی، با نقصان همراه می‌کند (منگولا و همکاران، ۲۰۲۴).

استفاده طولانی‌مدت از مت‌آمفتامین می‌تواند با آسیب شدید مغزی همراه شود. بیماران مبتلا به اختلال مصرف مت‌آمفتامین در برخی از نواحی مغز مانند اینسولا^۱، لوب تمپورال^۲، لوب‌های پیش‌پیشانی دورسولترال و اوربیتوفرونتال^۳، لوب پیش‌پیشانی شکمی میانی^۴ و هیپوکامپ^۵، دچار آتروفی می‌شوند (دروتمان و همکاران، ۲۰۲۳). برای مثال، مبتلایان به مصرف مت‌آمفتامین، در مقایسه با افراد سالم، قشر پیشانی فوقانی دوطرفه ضخیم‌تر^۶ و همچنین، میزان ماده خاکستری کمتری در هیپوکامپ راست و هسته اکومبوس دوطرفه و قشر اطراف اینسولار^۷ دارند. علاوه بر

1. insula

2. temporal lobe

3. dorsolateral prefrontal and orbitofrontal lobes

4. ventromedial prefrontal lobe

5. hippocampus

6. thicker bilateral superior frontal cortex

7. perinsular cortex

این، این بیماران در سیستم‌های انتقال دهنده عصبی^۱ و پی عملکردی مخ^۲، بی تعادلی را تجربه می‌کنند (حداد و همکاران، ۲۰۲۱؛ مروی و همکاران، ۲۰۲۴). به طور خاص، در مقایسه با افراد سالم، مصرف طولانی مدت مت‌آمفتامین می‌تواند ترشح دوپامین را تغییر دهد، فعالیت ناقل دوپامین و گیرنده‌های D2/D3 را کاهش دهد و در نهایت، باعث افزایش غلظت دوپامین خارج سلولی^۳، شود. علاوه بر این، در مقایسه با افراد سالم، بیماران در حال ترک مت‌آمفتامین، در مغز و مناطقی مانند هیپوکامپ، جسم مخطط، آمیگدال، اینسولا و قشر پیش پیشانی، پیوند عملکردی بیشتری داشتند (اختیاری و همکاران، ۲۰۲۱؛ گانگ و همکاران، ۲۰۲۳).

موافق با شواهد موجود، این بی‌نظمی‌های مغزی، در بازداری از اشکال مختلف کنش‌وری‌های رفتاری و شناختی مانند توجه، کارکرد اجرایی، حافظه کاری، تصمیم‌گیری مخاطره‌آمیز و تمایل‌مندی نسبت به پاداش تأخیری^۴، موثر هستند. به عنوان مثال، کاهش در غلظت دوپامین در هسته دُم‌دار^۵ افراد مصرف‌کننده مت‌آمفتامین در وضعیت ترک، با ضعف در کنش حافظه و کارکردهای اجرایی در آن‌ها رابطه نشان می‌دهد (بیک و همکاران، ۲۰۲۴). علاوه بر این، مطالعات به طور باثباتی نشان داده‌اند که مصرف طولانی مدت مت‌آمفتامین، باعث خلق و خوی منفی می‌شود. در پژوهش بر روی ۶۱۳ مرد چینی مبتلا به بیماری مصرف مت‌آمفتامین، نتایج نشان داد که بروز نشانه‌های افسردگی در آن‌ها بیشتر بود. همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که بیماران مصرف‌کننده مت‌آمفتامین، برای مقابله با هیجانات منفی از توانایی کمتری برخوردار بودند. بنابراین، آن‌ها نمی‌توانستند به شیوه کارآمدی از راهبردهای نظم‌بخشی هیجانی استفاده کنند. فعالیت‌های غیرطبیعی مغزی در لوب اوربیتوفرونتال، لوب پری‌فرونتال پشتی جانبی، آمیگدال و هیپوتالاموس سبب می‌شود که در افراد مبتلا به MUD در دوران ترک، میزان پاسخ‌های اضطرابی، فزونی یابد. این یافته‌ها، شواهدی در دفاع پیوند بالقوه بین فعالیت مغزی وابسته به خلق و نشانه‌های کناره‌گیری در این افراد، فراهم می‌آورد.

در شرایط فعلی، درمان MUD بر روان‌درمانی و درمان دارویی متمرکز است. با وجود عدم تایید سامان غذا و دارو ایالات متحده^۶ یا آژانس دارویی اروپا^۷، کارآزمایی‌های کنترل شده تصادفی^۸، در درمان MUD با هدف سم‌زدایی در کوتاه‌مدت و بلندمدت^۹، از چند دارو مانند داروهای ضدافسردگی، ضدروان‌پریشی، محرک‌های روانی، ضدتشنج‌ها و انتاگونیست‌های مواد

1. neurotransmitter systems

2. cerebral functional connectivity

3. extracellular dopamine concentrations

4. delay discounting

5. caudate nucleus

6. uS Food and Drug Administration

7. european Medicines Agency

8. randomized controlled trials

9. short- or long-term detoxification

افیونی^۱، استفاده می‌کنند. با این حال، بیماران مبتلا به MUD ممکن است به دنبال دارودرمانی به دارو وابسته شوند؛ بنابراین، لازم است در انتخاب داروها و دوز آن‌ها دقت شود. بر این اساس، موافق با شواهد موجود، برای درمان MUD، چند راهبرد روان‌درمانی مانند درمان انگیزشی، رفتار درمانی شناختی و مدیریت وابستگی^۲ نیز در اولویت قرار می‌گیرد. با وجود مزیت‌های بالقوه روان‌درمانی، روند این درمان‌ها اغلب طولانی و کاملاً ذهنی هستند. با توجه به کاربرد گسترده درمان جسمانی در قلمرو بیماری‌های روانی، موافق با شواهد موجود، استفاده از راهبردهای درمانی معطوف بر نورومدلاسیون مانند تحریک فراجمجه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) و تحریک فراجمجه‌ای با جریان متناوب (tACS)، با هدف درمان رفتار اعتیادی مصرف مت‌آفتامین، می‌توانند در اولویت قرار گیرند (علیزاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ اختیاری و همکاران، ۲۰۱۹). بر این اساس، این پژوهش با هدف مقایسه اثربخشی راهبردهای نورومدلاسیون غیرتهاجمی tDCS و tACS بر افزایش کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف مت‌آفتامین، انجام شد.

روش

در این پژوهش تمام‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه شم و همراه با پیگیری یک‌ماهه، از جامعه آماری مراجعه‌کنندگان به مجتمع اقامتی، درمانی و کارآفرینی بهاران در منطقه ۴ شهر تهران، از مجموع ۱۳۰ مرد، تعداد ۴۵ جوان ۲۰ تا ۴۵ سال انتخاب، و به صورت کاملاً تصادفی به گروه‌های آزمایشی شامل tDCS (میانگین سنی: ۲۸/۲۷ سال و انحراف استاندارد: ۳/۸۲)، tACS (میانگین سنی: ۲۹/۲۷ سال و انحراف استاندارد: ۳/۸۲) و شم (میانگین سنی: ۳۰ سال و انحراف استاندارد: ۴/۵۸)، تخصیص یافتند. ملاک‌های ورود شامل تشخیص اختلال متامفتامین (شیشه) بر اساس معیار تشخیص اختلال به مواد در DSM5 که شامل حداقل مصرف ۱۲ ماهه شیشه قبل از ورود به درمان (سؤالات مدت حضور و مصرف افراد، از مسئول کمپ با توجه به اسناد موجود در پرونده فرد پرسیده و ثبت شد)، عدم مصرف سایر مواد مخدر، عدم استفاده از داروهای تجویزی روان‌پزشکان یا هر شیوه دیگر روان‌درمانی پیشنهاد شده به وسیله روان‌شناسان و در نهایت، رضایت آگاهانه مشارکت‌کنندگان، بودند. در این طرح تحلیل واریانس آمیخته ساده، به منظور برآورد حجم نمونه با استفاده از روشی پیشینی، با انتخاب ۴۵ مشارکت‌کننده و آلفایی برابر با ۰/۰۵ و اندازه اثری حداقلی و برابر با ۰/۲۵، توان آزمونی برابر با

^۱ antidepressants, antipsychotics, psychostimulants, anticonvulsants, and opioid antagonists

^۲ motivational therapy, cognitive behavioral therapy, and contingency management

۰/۸۰، به دست آمد. در جدول ۱، اطلاعات جمعیت‌شناختی مشارکت کنندگان به تفکیک در گروه‌های مختلف، گزارش شده است.

جدول ۱. داده‌های جمعیت‌شناختی

گروه	شم	tACS	tDCS
حجم نمونه	۱۵	۱۵	۱۵
سن: میانگین (انحراف استاندارد)	۳۰ (۴/۵۸)	۲۹/۲۷ (۴/۹۶)	۲۸/۲۷ (۳/۸۲)
وضعیت تاهل: مجرد (متاهل) مطلقه	۲ (۳) ۱۰	۵ (۳) ۷	۴ (۳) ۸
تحصیلات			
ابتدایی	۱	۰	۰
سیکل	۲	۱	۲
دیپلم	۵	۳	۱
فوق دیپلم	۳	۰	۱
کارشناسی	۴	۱۰	۱۰
کارشناسی ارشد	۰	۱	۱

ابزارهای سنجش

مجموعه آزمون عصب‌روان‌شناختی کمبریج (CANTAB). این مجموعه در سال ۱۹۸۰ به وسیله دانشگاه کمبریج ارائه شد و از آن زمان تا کنون، توسعه نرم‌افزار آزمون، از طرف دانشگاه کمبریج، در اولویت بوده است. در این مجموعه رایانه‌ای ارزیابی شناختی به شیوه‌ای آسان، انعطاف‌پذیر و با قابلیت اجرای ساده انجام می‌شود و به مشارکت کنندگان این فرصت را می‌دهد تا از صفحه لمسی استفاده کنند. در این آزمون وابسته به فرهنگ و زبان، بررسی چند وجه از کارکردهای اجرایی مانند حافظه، توجه، تصمیم‌گیری و یادگیری، احساسات و شناخت اجتماعی و توانش استدلال منطقی، ممکن می‌شود. از مجموعه آزمون‌های کن‌تب می‌توان برای تشخیص‌هایی بالینی مانند اختلالات نقش توجه، اختلال نشانگان طیف اتیسم، کارکردهای شناختی پایه، افسردگی و اختلالات خلقی/عاطفی، سندرم دان و ... استفاده کرد. کلیه آزمون‌های این مجموعه، رایانه‌ای و غیرکلامی هستند. در آزمون کن‌تب، دو شاخص راهبرد و خطای کل، استخراج می‌شود. نمره بالا در راهبرد، بیانگر استفاده ضعیف از راهکار و نمره پایین، بر استفاده کارآمد و مؤثر از آن دلالت دارد. خطای کل نیز شامل تعداد دفعاتی است که یک مربع رنگی خاص در حالی که نشانی ابی رنگ ندارد، انتخاب می‌شود و یا با وجود نبود آن نشان هدف‌گذاری شده، مجدد از طرف مشارکت کننده جستجو می‌شود (اسمیت، نید، سیرولی، چیبافالک و اتیکس،

۲۰۱۳). در مطالعه لوسیانا و همکاران (۲۰۰۲) ضرایب همسانی درونی خرده‌آزمون‌های کن‌تب در نمونه ۴ تا ۱۲ سال، بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۵ به دست آمد.

آزمون‌های غربالگری نرم افزار کن‌تب. اولین آزمون، بر غربالگری مشکلات دیداری، حرکتی و ادراکی مشارکت‌کنندگان متمرکز است. اگر چه از آزمون غربالگری مشکلات دیداری، حرکتی و ادراکی برای معرفی آزمون‌های کن‌تب استفاده می‌شود، اما آزمونگر را از وجود یا عدم وجود مشکلات حسی - حرکتی مشارکت‌کنندگان، آگاه می‌سازد.

آزمون‌های تصمیم‌گیری و کنترل پاسخ. این آزمون، بازداری پاسخ به محرک‌ها، ریسک‌پذیری در تصمیم‌گیری و کنترل تکانه را می‌سنجد. در این آزمون، تکلیف طراحی شده برای مشارکت‌کنندگان، بر چگونگی جمع‌آوری و ارزیابی اطلاعات به وسیله آنها، قبل از تصمیم‌گیری، معطوف است. بنابراین، عدم تفکر مکفی در این بخش، بیانگر آن است که تصمیمات بر شواهد کمتری استوارند و در نتیجه، دقت تصمیم‌گیری نهایی، کم است (فستاگارد و همکاران، ۲۰۲۲).

آزمون‌های عملکرد شناختی - اجرایی، حافظه کاری و برنامه‌ریزی. در این بخش، آزمون‌ها، انعطاف‌پذیری ذهنی، جابجایی توجه، برنامه‌ریزی، کنترل حرکتی و ظرفیت حافظه کاری را می‌سنجند. در این بخش از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود که در یک آرایه فضایی، توکن‌های پنهان را جستجو کنند.

آزمون توجه و تغییر. در این بخش، یادگیری قوانین و تغییر توجه، ارزیابی می‌شود. در آزمون تغییر از مشارکت‌کنندگان تقاضا می‌شود که توجه را از یک دسته محرک‌های بصری به دسته‌ای از محرک‌های جدید که پیشتر کاملاً نامرتب بوده‌اند، تغییر دهد. مشارکت‌کنندگان به کمک بازخورد قاعده‌ای را می‌یابند تا از این طریق تعیین کنند کدام محرک درست است. پس از از شش پاسخ درست، محرک‌ها یا قانون، تغییر می‌کند. در ابتدا، این آزمون شامل محرک‌های ساده‌ای است که فقط یک بُعد را شامل می‌شود. برای مثال دو خط سفید که فقط از نظر شکل متفاوت هستند. در ادامه، از محرک‌های مرکب، استفاده می‌شود.

پرسشنامه ولع برای مصرف مواد. فرانکن، هندریکز و ون‌دربرنیک (۲۰۰۲) پرسشنامه ولع برای مصرف مواد را به مثابه یک وضعیت انگیزشی، با هدف سنجش تمایل افراد به مصرف مواد، توسعه دادند. این پرسشنامه شامل ۱۴ ماده است و مشارکت‌کنندگان به هر ماده بر روی طیفی هفت درجه‌ای از کاملاً مخالف (۱) تا کاملاً موافق (۷) پاسخ می‌دهند. این پرسشنامه از سه عامل تمایل‌مندی و قصدمندی برای مصرف مواد، باورمندی به رفع مشکلات زندگی و کسب لذت به

کمک مصرف مواد و در نهایت، لذت‌گرایی و فقدان کنترل شدید، تشکیل شده است. در پژوهش فرانکن و همکاران (۲۰۰۲) ضرایب همسانی درونی عامل‌های تمایل‌مندی و قصدمندی برای مصرف مواد، باورمندی به رفع مشکلات زندگی و کسب لذت به کمک مصرف مواد و در نهایت، لذت‌گرایی و فقدان کنترل شدید، به ترتیب برابر با ... به دست آمد. در دهه اخیر در ایران پژوهش موسوی و کافی (۱۳۹۱) مقدار آلفای کرونباخ کلی برای مصرف‌کنندگان متامفتامین (شیشه) ۰/۹۰ و برای مصرف‌کنندگان تزریقی ۰/۹۸ گزارش کرده‌اند که این امر نشان‌دهنده توانایی بالا و اعتبار کافی این آزمون برای سنجش ولع مصرف تمامی موادها می‌باشد. طی پژوهش اختیاری و همکاران (۱۳۸۷) میزان پایایی آزمون ولع مصرف برای هر سه مؤلفه ۴/۵، ۱/۷ و ۱/۴ محاسبه گردید. در پژوهش مکرری، اختیاری، حسنی ابهریان و گنجگاهی (۱۳۸۹) ضرایب همسانی درونی عامل‌های تمایل‌مندی و قصدمندی برای مصرف مواد، باورمندی به رفع مشکلات زندگی و کسب لذت به کمک مصرف مواد و در نهایت، لذت‌گرایی و فقدان کنترل شدید، در بین مصرف‌کنندگان متامفتامین به ترتیب برابر با ۰/۷۸، ۰/۶۵ و ۰/۸۱ به دست آمد. در پژوهش حاضر، ضرایب همسانی درونی عامل‌های تمایل‌مندی و قصدمندی برای مصرف مواد، باورمندی به رفع مشکلات زندگی و کسب لذت به کمک مصرف مواد و در نهایت، لذت‌گرایی و فقدان کنترل شدید، به ترتیب برابر با ۰/۸۰، ۰/۷۵ و ۰/۸۵ به دست آمد.

سیاهه افسردگی بک. بک، بکوارد، مندلسون، مارک و ارباف (۱۹۶۱) این سیاهه را به مثابه یک ابزار خودسنجی، با هدف اندازه‌گیری شدت افسردگی در افراد توسعه دادند. مشارکت‌کنندگان به ۲۱ ماده این سیاهه بر روی طیفی چهار درجه‌ای از ۰ تا ۳، پاسخ می‌دهند. با توجه به تعداد ماده‌های سیاهه، نمرات مشارکت‌کنندگان در بازه ۰ تا ۶۳ قرار می‌گیرد. بنابراین، با افزایش نمره افراد، بر شدت افسردگی در آن‌ها افزوده می‌شود. بک، استیر و گاربین (۱۹۸۸) همسانی درونی سیاهه افسردگی را بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۲ با میانگین ۰/۸۶ گزارش کردند. بک و همکاران (۱۹۸۸) مقادیر آلفای کرونباخ سیاهه افسردگی بک را برای جمعیت‌های بالینی و غیربالینی به ترتیب برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۱، گزارش کردند. در ایران نیز این مقیاس افسردگی بک فراوان به کار بسته شده و ویژگی‌های روان‌سنجی آن تأیید شده است. برای نمونه دابسون و محمدخانی (۱۳۸۶) پایایی باز-آزمایی ۰/۹۳ را گزارش کردند و روایی همگرای آن را در همبستگی میان نمرات مقیاس افسردگی بک با نمرات مقیاس‌های ناامیدی بک، افکار خودکشی و مقیاس هامیلتون برای افسردگی نشان دادند. قاسم‌زاده و همکاران (۲۰۰۵) آلفای کرونباخ ۰/۸۷ را برای همسانی درونی، ضریب همبستگی ۰/۷۴ را برای پایایی بازآزمایی و ضریب همبستگی ۰/۷۷ با پرسش‌نامه افکار

خودآیند منفی را برای روایی این مقیاس گزارش دادند. در این پژوهش، ضریب همسانی درونی سیاهه افسردگی بک ۰/۹۵ به دست آمد.

سیاهه اضطراب بک. بک و همکاران (۱۹۹۰) این سیاهه را با هدف سنجش شدت اضطراب نوجوانان و بزرگسالان توسعه دادند. این سیاهه ۲۱ ماده دارد و مشارکت کنندگان به هر ماده بر روی طیفی چهار درجه‌ای از ۰ تا ۳ پاسخ می‌دهند. نمره مشارکت کنندگان در بازه ۰ تا ۶۳ قرار می‌گیرد. بک و همکاران (۱۹۸۸) ضریب همسانی درونی سیاهه اضطراب را ۰/۹۲ گزارش کردند. در این پژوهش، ضریب آلفای کرانباخ سیاهه اضطراب ۰/۹۳ به دست آمد.

دستگاه tACS و tDCS. دستگاه تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با نام تجاری NEUROSTIM2 توسط تیم تحقیق و توسعه شرکت مدیناطب برای اولین بار در ایران به صورت صنعتی طراحی و در سال ۲۰۱۵ روانه بازار شد. این دستگاه دارای دو کانال کاملاً مجزا (تحریک با جریان متناوب tACS و تحریک با جریان مستقیم tDCS) است که این کانال‌ها از لحاظ الکتریکی از یکدیگر کاملاً متفاوت بوده و می‌توان هر کانال را به طور مستقل از دیگری تنظیم تا تحریک‌هایی مجزا، اعمال شود. شدت جریان خروجی این دستگاه از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر بر روی نمایشگر قابل تنظیم است. دستگاه NEUROSTIM2 از قابلیت اعمال تحریک sham که متفاوت از تحریک الکتریکی است، برخوردار است. ابتدا دستگاه را روشن و سپس الکترودها (کاتد و آند)، که در واقع اسفنج‌های کوچکی هستند و در آب نمک (سدیم ۹ درصد) خیس شده‌اند، روی قسمت‌های خاصی از سر قرار می‌گیرند. با آغشته کردن اسفنج‌ها در نمک، ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی، از افزایش حرارت نیز پیشگیری می‌کند. الکترودها به کمک یک کش یا سربند لاستیکی، در محل مورد نظر تثبیت شدند. جریان الکتریکی از طریق الکترودها به پوست سر بیمار نفوذ و جریان الکتریکی را در مغز ایجاد می‌کند. شدت و زمان تحریک، به طور کامل، در کنترل محققان بوده است.

روش اجرای پژوهش. پروتکل اجرا در این مطالعه، پس از واگذاری تصادفی افراد در گروه‌های مختلف، طی ۵ روز و در ۵ جلسه، و هر جلسه دو بار و هر بار به مدت ۲۰ دقیقه، مشارکت کنندگان گروه‌های tACS و tDCS در معرض تحرک قرار گرفتند. البته، در هر جلسه، مشارکت کنندگان پس از دریافت تحریک نخست، مدت ۲۰ دقیقه نیز استراحت می‌کردند. در جلسه یکم، قبل از تحریک (مرحله پیش‌آزمون)، از تمامی مشارکت کنندگان تقاضا شد به سوالات بسته سنجش که شامل سیاهه افسردگی و اضطراب بک و ولع مصرف و آزمون کانتب بود، پاسخ دهند. در تمامی جلسات، پس از هر تحریک، از مشارکت کنندگان تقاضا شد تا به سوالاتی درباره عوارض احتمالی تحریک، پاسخ دهند. علاوه بر این، در تمامی جلسات، نقاط تحریک توسط الکترود آند

در منطقه f ۳ (نیمکره چپ) و الکتروود کاتد در منطقه f ۴ (نیمکره راست)، تعیین شد. پس از آنکه، در پنجمین جلسه، افراد دهمین بار در معرض تحریک قرار گرفتند، مجدد بسته مشتمل بر ابزارهای سنجش در مرحله پس آزمون، جهت پاسخ در اختیار تمامی مشارکت کنندگان قرار گرفت. با فاصله یک ماه از پنجمین جلسه، در مرحله پیگیری نیز بسته سنجش، مجدد جهت پاسخ در اختیار تمامی مشارکت کنندگان قرار گرفت. در مرحله پیگیری، پس از حضور مجدد محققان در کمپ ترک اعتیاد بهارن، از مجموع ۴۵ مشارکت کننده، تعداد ۳۹ نفر حضور داشتند. بنابراین، با مساعدت کمپ، فایل بسته سنجش، جهت پاسخ دهی، به صورت آنلاین در اختیار ۶ نفر مشارکت کننده ترخیص شده از کمپ، قرار گرفت. این مطالعه بر اساس بیانیه هلسینکی انجام شد و از کمیته اخلاق در پژوهش زیستی دانشگاه شهید بهشتی کد اخلاق IR.SBU.REC.1402.134 را دریافت کرد. از شرکت کنندگان تقاضا شد قبل از مشارکت، فرم رضایت آگاهانه را کامل کنند و البته به آن‌ها یادآوری شد هر زمان خواستند می‌توانند از ادامه همکاری در این پژوهش، کناره‌گیری نمایند.

یافته‌ها

جدول ۲، اندازه‌های توصیفی میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای پژوهش را در سه گروه و در سه مقطع زمانی پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری نشان می‌دهد.

جدول ۲. اندازه‌های توصیفی متغیرها در سه گروه و در سه مقطع زمانی

tACS		tDCS		شم			
SD	M	SD	M	SD	M		
۳/۹۰	۷۵/۶	۳/۹	۷۵/۲۶	۳/۲۶	۷۵/۷۳	پیش‌آزمون	ولع مصرف
۴/۱۸	۷۰/۵۳	۴/۴۱	۶۷/۷۳	۳/۵۳	۷۵/۳۳	پس‌آزمون	
۹/۵۲	۶۷/۹۳	۴/۲۶	۶۷/۰۶	۳/۳۷	۷۵/۴	پیگیری	
۲/۷۶	۵۱/۳۳	۲/۶۳	۵۱/۷۳	۳/۴۱	۴۹/۴۶	پیش‌آزمون	اضطراب
۴/۶۹	۴۰	۳/۳۴	۴۵/۷۳	۳/۵۴	۴۹/۲	پس‌آزمون	
۴/۳۴	۴۰	۲/۹۰	۴۵	۳/۱۵	۴۹/۲۶	پیگیری	
۵/۳۸	۴۰/۸	۴/۰۸	۴۳/۶۶	۳/۶۲	۴۴	پیش‌آزمون	افسردگی
۶/۱۲	۳۰	۴/۴۷	۳۷/۱۳	۳/۸۶	۴۳/۶	پس‌آزمون	
۵/۸۹	۲۹/۸	۴/۲۴	۳۶/۸	۳/۴۸	۴۳/۵۳	پیگیری	
۸/۵۵	۲۹/۶	۱۹/۳۶	۳۸/۵۳	۵/۸۴	۳۰/۸	پیش‌آزمون	حافظه فضایی
۸/۴۳	۳۸/۷۳	۱۷/۲۰	۴۵/۸	۵/۷۷	۳۰/۷۳	پس‌آزمون	

شم	tDCS	tACS				
پیگیری	۳۱	۶/۱۱	۴۶/۶	۲۱/۲۱	۴۱/۲	۱۰/۳۳
بازداری پاسخ	۱۳/۶۶	۱/۰۶	۱۳/۷۳	۱/۲۰	۱۳/۴۷	۰/۹۸
پس‌آزمون	۱۳/۸۰	۱/۱۲	۱۷/۴۶	۳/۶۲	۱۹/۸۰	۲/۹۶
پیگیری	۱۳/۶۰	۱/۱۸	۱۸/۰۶	۳/۲۴	۲۱/۱۳	۲/۴۱
تغییر توجه	۷/۳۳	۱/۵۸	۷/۳۳	۱/۰۴	۷/۵۳	۰/۹۹
پس‌آزمون	۷/۴	۱/۴۵	۱۰/۲۶	۱/۴۸	۱۰/۸۶	۱/۶۸
پیگیری	۷/۲۶	۱/۱۶	۱۰/۶۶	۱/۸۷	۱۱/۴	۱/۷۶

در این بخش، به منظور آزمون اثر عامل بین‌آزمودنی (گروه) و عامل درون‌آزمونی (زمان) بر اندازه‌های جمع‌آوری شده متغیرهای ولع مصرف، اضطراب، افسردگی، حافظه فضایی، بازداری پاسخ و تغییر توجه طرح عاملی مختلط ساده^۱ استفاده شد. قبل از بکارگیری این فن آماری، آزمون ام‌باکس برای همگنی ماتریس‌های کواریانس^۲، مفروضه کرویت موخلی^۳ با هدف تعیین همگنی واریانس‌ها و تشابه در واحد مقداری ضریب همبستگی بین زوج سطوح عامل درون‌آزمودنی، آزمون لون برای تعیین همگنی واریانس‌های خطا^۴ و آزمون کولموگروف - اسمیرنوف برای بهنجاری توزیع نمرات متغیرها، آزمون و تایید شدند.

در این بخش، نتایج فن آماری تحلیل واریانس مختلط ساده نشان داد که اثر اصلی عامل درون‌گروهی بر ولع مصرف ($F(۲, ۳۱) = ۳۱/۳۹, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۴۳$)، اضطراب ($F(۲, ۱۳) = ۰/۸۴, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۰۸$)، افسردگی ($F(۲, ۲۱) = ۲۱۷/۸۱, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۸۸$)، حافظه فضایی ($F(۲, ۱۳) = ۱۳۶/۹۳, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۷۷$)، بازداری پاسخ ($F(۲, ۱۳) = ۱۰۶/۷۰, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۷۲$) و تغییر توجه ($F(۲, ۱۳) = ۵۷/۹۲, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۵۸$) از لحاظ آماری معنادار بود. علاوه بر این، نتایج فن آماری تحلیل واریانس مختلط ساده نشان داد که اثر تعاملی عوامل درون‌گروهی و بین‌گروهی نیز بر ولع مصرف ($F(۲, ۱۳) = ۰/۲۶, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۰۲$)، اضطراب ($F(۲, ۱۳) = ۷/۳۲, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۷۵$)، افسردگی ($F(۲, ۲۱) = ۷۵/۴۰, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۷۸$)، حافظه فضایی ($F(۲, ۱۳) = ۰/۶۳, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۰۶$)، بازداری پاسخ ($F(۲, ۱۳) = ۳۲/۵۰, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۶۱$) و تغییر توجه ($F(۲, ۱۳) = ۱۴/۸۹, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۴۲$) از لحاظ آماری معنادار بود.

^۱ simple mixed factorial design

^۲ box's M test of equality of covariance matrices

^۳ mauchly's test of sphericity

^۴ levene's test of equality of error variance

در نهایت، نتایج طرح عاملی آمیخته ساده نشان داد که اثر اصلی عامل بین گروهی بر ولع مصرف $(F(۲ و ۴۲) = ۳/۳۹, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۱۳)$ ، اضطراب $(F(۲ و ۴۲) = ۳/۵۲, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۱۴)$ ، افسردگی $(F(۲ و ۴۲) = ۳/۲۰, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۱۲)$ ، حافظه فضایی $(F(۲ و ۴۲) = ۷/۲۶, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۲۶)$ ، بازداري پاسخ $(F(۲ و ۴۲) = ۱۶/۵۲, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۴۴)$ و تغییر توجه $(F(۲ و ۴۲) = ۱۶/۵۲, P < ۰/۰۵, \eta^2 = ۰/۴۴)$ از لحاظ آماری معنادار بود.

در ادامه، از آزمون بنفرونی با هدف تعیین معناداری آماری مقایسه‌های زوجی سطوح عامل درون گروهی زمان استفاده شد. نتایج نشان داد که در تمامی مقایسه‌های انجام شده بر اساس متغیرهای ولع مصرف، اضطراب، افسردگی، حافظه فضایی، بازداري پاسخ و تغییر توجه، تفاوت بین متوسط نمرات مشارکت کنندگان در مرحله پیش آزمون با متوسط نمرات آن‌ها در پس آزمون و پیگیری از لحاظ آماری معنادار و نتایج مربوط به مقایسه‌های زوجی متوسط نمرات پس آزمون و پیگیری از لحاظ آماری معنادار نبود (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج آزمون بنفرونی برای مقایسه‌های زوجی متوسط نمرات متغیرهای پژوهش

متغیرها	مقایسه نمرات	تفاوت میانگین	خطای معیار	معناداری
ولع مصرف	پیش آزمون/ پس آزمون	۱/۷۹	۰/۲۴	۰/۰۰۱
	پیش آزمون/ پیگیری	۱/۹۰	۰/۲۶	۰/۰۰۱
	پس آزمون/ پیگیری	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۷۰
اضطراب	پیش آزمون/ پس آزمون	۱/۹۶	۰/۲۴	۰/۰۰۱
	پیش آزمون/ پیگیری	۲/۲۲	۰/۲۵	۰/۰۰۱
	پس آزمون/ پیگیری	-۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۱۰
افسردگی	پیش آزمون/ پس آزمون	۲/۵۲	۰/۲۲	۰/۰۰۱
	پیش آزمون/ پیگیری	۰/۷۸	۰/۲۱	۰/۰۰۱
	پس آزمون/ پیگیری	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۷۵
حافظه فضایی	پیش آزمون/ پس آزمون	-۱/۶۲	۰/۱۷	۰/۰۰۱
	پیش آزمون/ پیگیری	-۱/۷۹	۰/۲۰	۰/۰۰۱
	پس آزمون/ پیگیری	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۶۷
بازداري پاسخ	پیش آزمون/ پس آزمون	-۲/۵۱	۰/۱۶	۰/۰۰۲
	پیش آزمون/ پیگیری	-۲/۶۷	۰/۱۹	۰/۰۱
	پس آزمون/ پیگیری	-۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۹۰

متغیرها	مقایسه نمرات	تفاوت میانگین	خطای معیار	معناداری
تغییر توجه	پیش‌آزمون/ پس‌آزمون	-۱/۹۵	۰/۱۶	۰/۰۰۱
	پیش‌آزمون/ پیگیری	-۲/۱۱	۰/۱۷	۰/۰۰۱
	پس‌آزمون/ پیگیری	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۶۴

علاوه بر این، در این بخش، به منظور انجام مقایسه‌های زوجی بین میانگین‌های متغیرهای چندگانه بر اساس عامل بین‌گروهی، از آزمون توکی، به مثابه یک راهبرد تحلیل پسین، استفاده شد. نتایج در این بخش نشان داد که تفاوت بین زوج میانگین‌ها در گروه تحریک شم با گروه‌های تحریک tACS و tDCS از نظر آماری معنادار و مقایسه میانگین‌ها در دو گروه تحریک tDCS و tACS، از نظر آماری، غیرمعنادار بود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این طرح عاملی تصادفی شده، اثربخشی گروه‌های تحریک tACS و tDCS با گروه تحریک شم بر قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی مغز در سه قلمرو کارکردهای شناختی، تجارب هیجانی منفی و ولع مصرف مواد، در افراد با بیماری استفاده از مت‌آفتامین، مقایسه شد. نتایج نشان داد که مداخلات به طور معناداری در بهبود کارکردهای اجرایی شامل حافظه فضایی، تغییر توجه و بازداری پاسخ و کاهش ولع مصرف مواد و البته، کاهش تجارب هیجانی منفی اضطراب و افسردگی، در افراد با بیماری استفاده از مت‌آفتامین، موثر بودند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که بهبود کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف و هیجانات منفی، حداقل برای یک ماه بعد از مداخله نیز تداوم یافت.

نتایج موافق با یافته‌های مطالعات لی و همکاران (۲۰۲۴)، ژو و همکاران (۲۰۲۳) و لیو و همکاران (۲۰۲۲)، نشان داد که نقصان در کارکردهای شناختی در ایجاد و تداوم اعتیاد به مواد مخدر و نشانه‌های آن موثرند. علاوه بر این، موافق با شواهد موجود، فقدان کنترل و فرایندهای شناختی زیربنایی تصمیم‌گیری‌های مخاطره‌آمیز و تکانشورانه در زمره تعیین‌کننده‌ترین همبسته‌های شناختی خصیصه وابستگی به مواد یا اعتیاد به مواد مخدر تلقی می‌شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴؛ لاوی و همکاران، ۲۰۲۴). بر اساس مفهوم‌پردازی سه‌مرحله‌ای اعتیاد به مواد مخدر، مرحله پیش‌اشتغالی/انتظار (ولع) شامل تغییراتی نوروپلاستیسیتیک در نظام‌های کارکرد اجرایی، استرس و پاداش مغز است (ییلماز و همکاران، ۲۰۲۴). بر این اساس، محققان یادآوری

می‌کنند که نواحی PFC و به طور ویژه، DLPFC از نقش حساسی برخوردارند (زیریکیدز و همکاران، ۲۰۲۳). نقصان در کارکردهای اجرایی افراد با اختلال مصرف مواد که اساساً از طریق کاهش در فعالیت قشر فرونتال مغز آن‌ها مشخص می‌شود، ضمن تداخل با کارکردهایی مانند تصمیم‌گیری، خودنظم‌دهی، پاسخ‌بازداری و تغییر توجه، به استفاده اجباری از مواد و فقدان کنترل در اعتیاد، منجر می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۲۴؛ ژائو و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس شواهد موجود فرض می‌شود که تحریک DLPFC از طریق گروه‌های تحریک tACS و tDCS، با افزایش تحریک‌پذیری و پیوند کارکردی در این ناحیه و دیگر شبکه‌های درگیر در اعتیاد، بر احتمال کنترل رفتار جستجوی مواد در افراد می‌افزاید (وارد و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، فرض بر این است که تحریک DLPFC از طریق بازگرداندن کنترل بازدارنده کاهش یافته بر رفتارها/تکانه‌های نامناسب، کاهش سوگیری توجه نسبت به نشانه‌های مربوط به مواد مخدر، ارتقای نظارت‌گری رفتاری و توانایی تشخیص خطاها، کاهش رفتار ریسک‌پذیری و در نهایت، افزایش کنترل بر هیجانات منفی مربوط به ترک مواد، سبب افزایش کنترل شناختی بر رفتار جستجوی مواد مخدر می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ ویلکا و همکاران، ۲۰۲۴). بر اساس شواهد موجود، اثرات فزاینده تحریک DLPFC در بافتار اختلال مصرف مواد با اثرات تحریک غیرتهاجمی نواحی پیش‌پیشانی در اختلالات عصب‌روانپزشکی مانند افسردگی، وسواس فکری عملی، ADHD و اسکیزوفرنیا، به دلیل مشابهت در نقش‌آفرینی بدکارکردهای اجرایی، همسو است (گانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ فرانکی و همکاران، ۲۰۲۳؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ استاسی و همکاران، ۲۰۲۴؛ ما و همکاران، ۲۰۲۰).

در این پژوهش، نتایج نشان داد که علاوه بر بهبود در کارکردهای شناختی افراد استفاده‌کننده از مت‌آمفتامین، بلافاصله بعد از مداخلات tDCS و tACS و یک ماه پس از استفاده از این راهبردها، ولع مصرف در آن‌ها نیز کاهش یافت. نتایجی از این دست موافق با دیگر مطالعات انجام شده در قلمرو نورومدلاسیون نشان می‌دهد که متعاقب تحریک DLPFC و بهبود کارکردهای شناختی و همچنین کنترل هیجانی، کاهش ولع مصرف نیز آشکار می‌شود (اختیاری و همکاران، ۲۰۱۹؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۲؛ سیرانو و همکاران، ۲۰۲۲). اما، ولع مصرف چگونه با نظام کنترل اجرایی و کارکردهای شناختی رابطه نشان می‌دهد؟

از منظر نوروبیولوژیک، ولع مصرف مواد مخدر دربردارنده یک مدار قشری - زیرقشری پری‌فرونتال گسترده و پیچیده است که ضمن شمول DLPFC، با قشر سینگیولیت قدامی و قشر اوربیتوفرونتال با عملکردهای لوب اینسیولار (جزیره‌ای)، نیز رابطه دارد (کاسای و همکاران، ۲۰۲۴؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات تصویربرداری فانکشنال نشان داده‌اند که همبستگی

مثبت بین نرخ بالای ولع و فعالیت لوبِ اینسیولار (جزیره‌ای) نشان می‌دهد که ولع مصرف از طریق فعالیت عصبی نظام پاداش درون‌زا، مشخص می‌شود (اختیاری و همکاران، ۲۰۲۱). پس از تحریک DLPFC و متعاقب آن تعدیل فعالیت اینسیولار از طریق تعدیل/تنظیم پیش‌پیشانی جهت‌مند بالا به پایین^۱ و نظم‌دهی رو به پایین شناختی ولع مصرف^۲، کاهش در ولع مصرف مشاهده می‌شود (پارکین و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعات پیشین دربارهٔ اعتیاد به مواد مخدر نشان داده‌اند که کارکردهای اجرایی مانند مهارگری شناختی و سرکوب نشانه‌های مربوط به مواد مخدر با کاهش متابولیسم در اینسولا و ساختارهای زیرقشری مانند جسم مخطط شکمی، مرتبط است (کای و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، جریان‌های الکتریکی تولید شده به وسیلهٔ tDCS و tASC به نواحی عمیق‌تر قشر مغز نیز می‌رسند. در مجموع، اعتیاد به مواد مخدر نتیجهٔ افزایش فعالیت سیستم پاداش زیرقشری در پاسخ به نشانه‌های مربوط به مواد مخدر و کاهش فعالیت شبکه کنترل شناختی مربوط به پیش‌پیشانی است که از نظر عملکردی مرتبط هستند (مروی و همکاران، ۲۰۲۴). مداخلهٔ مستقیم با هدف قرار دادن نواحی مربوط به tDCS و tASC می‌تواند این شبکهٔ عصبی را متعادل و از این طریق، رفتار جستجوی مواد را نیز تعدیل کند (کاظمی‌تبار و همکاران، ۲۰۲۲).

در این بخش، استلزامات بالینی مستخرج از یافته‌های این پژوهش، خلاصه می‌شوند. یکی از تلویحات بر کارایی بالینی پروتکل‌های مورد استفاده در این پژوهش مربوط می‌شود (تحریک دوطرفه DLPFC). در این مطالعه، نتایج از تاثیر مثبت دوره‌های بلندمدت تحریک DLPFC، از طریق گروه‌های تحریک tDCS و tASC بر ولع مصرف، حمایت کرد. بر این اساس، نتایج این پژوهش، شواهد متقنی را در دفاع از اهمیت گروه‌های تحریک tDCS و tASC در بازتوانی (توانبخشی) اعتیاد به مواد، فراهم آورد. اگر چه، نتایج این پژوهش از تداوم تاثیر گروه‌های تحریک tDCS و tASC بر قلمروهای چندگانهٔ کارکردهای شناختی و ولع مصرف حمایت کرد اما همچنان نیاز است که به منظور فزونی تاثیر گروه‌های تحریک مزبور، در تلاش‌های پژوهشی آتی، به طریقی نظام‌دارتر دربارهٔ فراوانی بهینه، طول مدت و فواصل بین جلسات تحریک، اطلاعاتی به دست آید. دوم، نتایج این پژوهش نشان داد که نقصان در کارکردهای شناختی برای مداخلات درمانی و به ویژه، پیشگیری از عود، یک هدف اساسی محسوب می‌شود. در این بخش نتایج مطالعات نشان داده‌اند که یکی از تعیین‌کننده‌ترین پیش‌بین‌های پاسخ به مداخلات درمانی بر شمول و ارتقای کارکردهای شناختی مصرف‌کنندگان مواد متمرکز است (هی و همکاران، ۲۰۲۲؛

¹ prefrontal-directed top-down modulation

² cognitive down-regulation of craving

گورین و همکاران، ۲۰۲۳). در این بخش، نتایج مطالعات معطوف بر اندازه‌های عصب تصویربرداری و شناختی^۱ نشان داده‌اند که نقصان در کارکردهای شناختی در مقایسه با ولع مصرف در پیش‌بینی بازگشت به مصرف مواد، کارآمدتر است (حداد و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، به منظور درمان اعتیاد به مواد مخدر، ارتقای شناختی در مقایسه با ولع مصرف، در اولویت قرار می‌گیرد. در نهایت، اگر چه بدکارکردی DLPFC و کاهش ضخامت قشر مغز در مصرف‌کنندگان مواد مخدر مبرهن است، اما در مطالعات آتی، شناسایی مکانیزم‌هایی که مشابهت در تاثیر گروه‌های تحریک tDCS و tASC را بر کارکردهای شناختی و ولع مصرف سبب می‌شود، از اهمیت پژوهشی زیادی برخوردار است.

این پژوهش چند محدودیت دارد. اول، اگر چه متعاقب استفاده از تکنیک‌های معطوف بر تحریک DLPFC از طریق گروه‌های تحریک tDCS و tACS، محققان نسبت به عدم استفاده از مواد مخدر در فریند آزمایش و تا یک ماه بعد از آن، به وسیله مشارکت کنندگان اطمینان یافتند، اما توسعه فرضیاتی پیرامون اثربخشی مداخلات در بلندمدت، که از اهمیت زیادی برخوردار است، نیازمند آن است که نقاط داده‌ای با فاصله‌ای بیشتر از یک ماه، ثبت شوند. دوم، اگر چه فرض محققان در این پژوهش این است که اثرات تحریک حاصل از گروه‌های tDCS و tACS با هدف ارتقای کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف، معطوف بر DLPFC است اما ابهام ناشی از تحدیدشدگی اثرات مداخلات، در تلاش‌های تحقیقاتی آتی، استفاده از روش‌های عصب تصویربرداری را با هدف تشخیص دقیق نواحی تاثیرپذیر از گروه‌های تحریک، گریزناپذیر می‌کند.

در مجموع، در این مطالعه، بهبود در کارکردهای شناختی و کاهش ولع مصرف در بیماران مصرف‌کننده مت‌آفتمین نشان داد که رویکرد درمانی معطوف بر تحریک مکرر DLPFC در بافتار ترک اعتیاد به مواد، واجد اهمیتی بلامنازع است. با این وجود، نیاز است که چنین یافته‌هایی از طریق انجام مطالعاتی با شمول اندازه‌گیری‌های طولانی‌تری در مرحله پیگیری، با حمایتی مضاعف، همراه شوند.

موازین اخلاقی

در این پژوهش موازین اخلاقی شامل اخذ رضایت آگاهانه حریم خصوصی و رازداری رعایت شد.

^۱ cognitive and neuroimaging measures

مشارکت نویسندگان

پژوهش حاضر با حمایت مالی نویسنده مسئول انجام شد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض با منافع ندارد.

سپاسگزاری

سپاس فراوان دارم از اساتید گرانقدرم که در مسیر این پژوهش بی‌منت مرا یاری نمودند و راهنمای من بودند.

References

- Alasmari, A., Alhejaili, A., Alharbi, H., Alzahrani, M., & Zughaibi, T. (2024). Challenges and insights: Methamphetamine analysis in post-mortem putrefied human tissues in a hot climate.
- Alizadehgoradel J, Nejati V, Sadeghi Movahed F, Imani S, Taherifard M, Mosayebi-Samani M, Vicario CM, Nitsche MA, Salehinejad MA. Repeated stimulation of the dorsolateral-prefrontal cortex improves executive dysfunctions and craving in drug addiction: A randomized, double-blind, parallel-group study. *Brain Stimul.* 2020 May-Jun;13(3):582-593. doi: 10.1016/j.brs.2019.12.028. Epub 2020 Jan 3. Erratum in: *Brain Stimul.* 2021 Jan-Feb;14(1):182.
- Alizadehgoradel J, Imani S, Nejati V, Vanderhasselt MA, Molaei B, Salehinejad MA, Ahmadi S, Taherifard M. Improved Executive Functions and Reduced Craving in Youths with Methamphetamine Addiction: Evidence from Combined Transcranial Direct Current Stimulation with Mindfulness Treatment. *Clin Psychopharmacol Neurosci.* 2021 Nov 30;19(4):653-668.
- Anderson, E. C., Cantelon, J. A., Holmes, A., Giles, G. E., Brunye, T. T., & Kanarek, R.
- APA, 2013. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*:
- Beck, A.T., Ward, C. H., Mendelson, M., Mock, J., & Erbaugh, J. (1961).
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Garbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation.
- Bikk, A., Chaudhari, J., Navaran, P., Johnson, L Pandit, V., & HI, H. (2024).
- Bodeker, R. R. H., & Grace, R. C. (2024). Effects of methamphetamine on probability discounting in rats using concurrent chains.

- Cui, Z., Norton, A., & Karamouzian, M. (2023). Characterizing methamphetamine use among people who use opioids:
- Droutrmana, V., Xue, F., Barkley-Levenson, E., Lam, H. Y., Bechara, A., Smith, B., Lu, Z. L., Xue, G., Miller, L. C., & Read, S. J. (2019). Neurocognitive decision-making processes of casual methamphetamine Users. *NeuroImage: Clinical*, 21, 101643.
- Ekhtiari, H., Kuplicki, R., Aupperle, R. L., & Paulus, M. P. (2021). It is never as good the second time around: Brain areas involved in salience processing habituate during repeated drug cue exposure in treatment engaged abstinent methamphetamine and opioid users.
- Ekhtiari, H., Tavakoli, H., Addolorato, G., Baeken, C., Bonci, A., Bikson, M., & Hanlon, C. A. (2019). Transcranial electrical and magnetic stimulation (tES and TMS) for addiction medicine: A consensus paper on the present state of the science and the road ahead.
- Gong, M., Liang, W., He, C., Shen, Y., Zhang, Z., Lou, M., & Xu, Z. (2023). Neuroimaging mechanisms in short-term heroin- and methamphetamine-abstinent users:
- Guerin, A. A., Bridson, T., Plapp, H. M., & Bedi, G. (2023). A systematic review and meta-analysis of health, functional, and cognitive outcomes in young people who use methamphetamine.
- Haddad, Y. W., Korcari, E., Polsinelli, G. N., & Yuchuan, D. (2021). The effect of cocaine and methamphetamine on saccular aneurysm formation and rupture: A literature review.
- He, H., Zhou, S., Peng, C., Ran, W., Tong, S., Hong, L., Cai, F., Jin, W., Jiang, Y., Li, M., Wang, X., Luo, M., Wang, W., & Zhao, K. (2022). Effects of resilience on impulsivity, cognition and depression during protracted withdrawal among Chinese male methamphetamine users.
- Hendrickson, K., & Strauss, W. (2020). Characterization and treatment challenges of pulmonary hypertension in methamphetamine users.
- Jaehne, E. J., Semaan, H., Grosman, A., Xu, X., Schwarz, Q., & van den Buuse, M. (2023). Enhanced methamphetamine sensitisation in a rat model of the brain-derived neurotrophic factor Val66Met variant: Sex differences and dopamine receptor gene expression.
- Jarrett, O., London, E. D., Mahmoudie, T., Suh, J., Ghahremani, D., & Dean, A. C. (2023). Mindfulness and clinical correlates in methamphetamine use disorder.
- Kaviyani, F., Khorrami, M., Heydari, H., & Namvar, M. (2023). Understanding the laps and relapse process: In-depth interviews with individual who use methamphetamine.

- Kazemitabar, M., Kheirkhah, M. T., Mokarrami, M., & Garcia, D. (2022). Does auditory attentional bias determine craving for methamphetamine?
- Li, D., Wang, D., Tian, Y., Chen, J., Zhu, R., Li, Y., Wang, L., & Zhang, X. Y. (2024). Association between drug craving and aggression in Chinese male methamphetamine-dependent patients with and without depressive symptoms.
- Liu, Y., Wang, L., Yu, C., Liu, Li, H., Zhang, Y., Yu, Y., Bao, J., Wang, T., Qi, Y., & Zhou, Q. (2022). How drug cravings affect metacognitive monitoring in methamphetamine abusers.
- Love, S., Nicolls, M., Rowland, B., & Davey, J. (2024). The impact of methamphetamine use and dependence: A systematic review on the cognitive-behavioral implications for road safety.
- Ma, C. H., Lin, K. F., Chen, T. T., Yu, U. F., Chien, H. F., & Huang, W. L. (2020). Specific personality traits and associated psychosocial distresses among individuals with heroin or methamphetamine use disorder in Taiwan.
- Marvi, N., Haddadnia, J., & Fayyazi Bordbar, M. R. (2024). Modeling functional brain connections in methamphetamine and opioid abusers.
- McHugh, K. K., Trinh, C. D., Griffin, M. L., & Weiss, D. (2020). Validation of the Craving Scale in a large sample of adults with substance use disorders. *Addictive Behaviors*
- Northrup, T. F., Green, C., Walker, R., Greer, T. L., & Trivedi, M. H. (2015). On the invariance of the Stimulant Craving Questionnaire (STCQ) across cocaine and methamphetamine users.
- Parkin, B. L., Ekhtiari, H., & Walsh, V. F. (2015). Non-invasive human brain stimulation in cognitive neuroscience:
- Qi, X., Wang, Y., Lu, Y., Zhao, Q., Chen, Y., Zhou, C., & Yu, Y. (2022). Enhanced brain network flexibility by physical exercise in female methamphetamine users.
- Rosen, A. D., Javanbakht, M., Shoptaw, S. J., Seamans, M. J., Lloyd-Smith, J. O., & Gorbach, P. M. (2024). Association of current substance use treatment with future reduced methamphetamine use in an observational cohort of men who have sex with men in Los Angeles.
- Serrano, J. I., Iglesias, A., Woods, S. P., & del Castillo, M. D. (2022). A computational cognitive model of the Iowa Gambling Task for finely characterizing decision making in methamphetamine users.
- Stacy, P., Frantz, J., Miller, G., Merrill, B., & Gainer, D. (2024). A Narrative Review of the Pathophysiology and Treatment of Methamphetamine-Associated Psychosis. *International Journal of Mental Health and Addiction*.

- Stalgaitis, C. A., Jordan, J. W., Tate, B., Cruse, B., Bellon, M., Oruga, R., & Hurley, B. (2023). There is hope and help: Reach and reception of a methamphetamine education campaign in Los Angeles County, California. Substance Abuse and Mental Health Services Administration. (2023). *Treatment episode data set admissions (TEDS-A) 2021: Public use file (PUF) codebook*. Center for Behavioral Health Statistics and Quality, Substance Abuse and Mental Health Services Administration.
- Tameh HA, Imani S, Alizadehgoradel J, Noroozi A. Effect of Intensified Transcranial Direct-current Stimulation Targeting Bilateral Dorsolateral Prefrontal Cortex on Craving Reduction in Patients with Opioid (Heroin) Use Disorder. Clin Psychopharmacol Neurosci. 2024 Aug 31;22(3):512-519.
- Vilca, S. J., Margetts, A. V., Hoglund, L., Fleites, I., Bystrom, L. L., Pollock, T. A., Bourgain-Guglielmetti, F., Wahlestedt, C., & Tuesta, L. M. (2024)..
- Wang, Y., Wang, M., Xie, B., Wen, D., Li, W., Zhou, M., Wang, X., Lu, Y., Cong, B., Ni, Z., & Ma, C. (2023). Effects of molecular hydrogen intervention on the gut microbiome in methamphetamine abusers with mental disorder.
- Ward, H. B., Mosquera, M. J., Suzuki, J., & Mariano T.Y. (2020). A systematic review of noninvasive brain stimulation for opioid use disorder. Neuromodulation,
- Xing, D. G., Horan, T., Bhuiyan, S., Faisal, A. S. M., Densmore, K., Murnane, K. S., Goeders, N. E., Bailey, S. R., Conrad, S. A., Vanchiere, J. A., Patterson, J. C., Kevil, C. G., & Bhuiyan, M. A. N. (2023). Social-geographic disparities in suicidal ideations among methamphetamine users in the USA.
- Xu, W., & Zhao, S. X. (2023). Cases of phenotypic switching from dilated cardiomyopathy to pulmonary arterial hypertension in chronic methamphetamine users..
- Xue, M., Li, F., Feng, S., Liu, S., & Gao, L. (2024). A rare incidence of acute ischaemic stroke with reversible middle cerebral artery occlusion in a methamphetamine addict:
- Yilmaz, S., Erdogan, Y. E., Tursun, M. Z., Tatliparmak, A. C., & Ak, R. (2024). Unsupervised self-treatment of methamphetamine abuse leading to gastric perforation in the emergency department:
- Zerekidze, A., Li, M., Javaheripour, N., Huff, L., Weiss, T., Walter, M., & Wagner, G. (2023). Neural correlates of impaired cognitive control in individuals with methamphetamine dependence:
- Zhang, M., Chen, L., Ren, Z., Wang, Z., & Luo, W. (2024). Applications of TMS in individuals with methamphetamine use disorder:
- Zhao, Q., Liu, J., Zhou, C., & Liu, T. (2024).

- Zhao, X., Wang, L., & Maes, J. H. R. (2021). Training and transfer effects of working memory updating training in male abstinent long-term methamphetamine users. *Addictive Behaviors Reports*, 14, 100385.
- Zhou, Y., Hu, Y., Wang, Q., Yang, Z., Li, J., Ma, Y., & Yang, W. F. Z. (2023). Association between white matter microstructure and cognitive function in patients with methamphetamine use disorder.