

Functional Near-Infrared Spectroscopy in Addiction: A Systematic Review of Methodologies and Clinical Insights for Substance Use Disorders

Seyed Mohammad Saeid Sahaf, Farzaneh Vafae*

Neuroscience Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Article Info:

Received: 24 Mar 2025

Revised: 24 May 2025

Accepted: 26 May 2025

ABSTRACT

Introduction: Addiction is a neuropsychological condition characterized by the involvement of brain reward pathways, particularly the dopamine pathway to the prefrontal cortex. Brain imaging has helped identify addiction-related changes, but it has limitations. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) addresses these gaps by providing a portable and cost-effective solution. **Materials and Methods:** This study includes a systematic review of all articles published in Persian and English in the PubMed, Scopus, Web of Science, Science Direct, Scientific Information Database, and Noor Specialized Journal Website up to November 5, 2024. The keywords included "Functional near-infrared spectroscopy," "fNIRS," "Spectroscopy, Near-Infrared," "Substance Abuse," "Substance-Related Disorders," and "addiction," along with their Persian equivalents. Studies involving individuals with substance abuse who performed fNIRS were included. **Results:** The review initially included 102 articles, with findings from 23 studies analyzed. Results indicated a significant increase in fNIRS studies in recent years, with methamphetamine studies making the most use of this method. The prefrontal cortex, particularly the DLPFC, OFC, and FPA regions, was the most frequently measured area by fNIRS. The most common cognitive tasks involved craving-inducing images, whereas tasks related to working memory, attention, movement, and decision-making were used less frequently. **Conclusion:** This review indicates that addiction is associated with impaired executive function and disrupted reward circuits. fNIRS findings are consistent with fMRI and EEG results, emphasizing the role of the prefrontal cortex in cognitive control and craving regulation. Due to its portability and real-time data capabilities, fNIRS is a valuable tool for monitoring treatment progress and assessing the risk of relapse. However, the lack of standardized protocols and variations in experimental designs and data analysis make it difficult to compare results across studies.

Keywords:

1. Neuroimaging
2. Executive Function
3. Frontal Lobe
4. Cognitive Dysfunction
5. Craving

*Corresponding Author: Farzaneh Vafae

Email: Vafaeef@ums.ac.ir

طیف‌نگاری عملکردی نزدیک به مادون قرمز در اعتیاد: بررسی سیستماتیک روش‌ها و بینش‌های بالینی برای اختلالات مصرف مواد

سید محمد سعید صحاف، فرزانه وفایی*

مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۵ خرداد ۱۴۰۴

اصلاحیه: ۳ خرداد ۱۴۰۴

دریافت: ۴ فروردین ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: اعتیاد یک وضعیت عصب-روانشناختی است که با درگیری مسیرهای پاداش مغز، به‌ویژه مسیر دوپامین به قشر پیشانی، شناخته می‌شود. تصویربرداری مغزی به شناسایی تغییرات مرتبط با اعتیاد کمک کرده است، اما محدودیت‌هایی دارد. طیف‌نگاری عملکردی نزدیک به مادون قرمز (fNIRS) با ارائه روشی قابل حمل و مقرون به‌صرفه، این شکاف را پر می‌کند. **مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر شامل یک مرور نظام‌مند کلیه مقالاتی بود که به دو زبان فارسی و انگلیسی در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of Science و Sci-ence Direct و پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی و پایگاه تخصصی مجلات نور تا تاریخ ۵ نوامبر ۲۰۲۴ به چاپ رسیده بودند. کلمات کلیدی شامل «Functional near-infrared spectroscopy»، «fNIRS»، «Spectroscopy, Near-Infrared»، «Substance Abuse»، «Substance-Related Disorders» و «addiction» و معادل فارسی آن‌ها می‌شد. کلیه مطالعاتی که واجد افراد دارای سوء مصرف مواد و بودند و از تصویربرداری عملکردی مادون قرمز استفاده می‌کردند وارد مرور حاضر شدند. **یافته‌ها:** این مرور شامل ۱۰۲ مقاله اولیه بود که یافته‌های ۲۳ مطالعه بررسی شد. نتایج نشان داد مطالعات fNIRS در سال‌های اخیر افزایش یافته‌اند. همچنین مطالعات متامفتمین بیشترین استفاده را از fNIRS کرده بودند. نواحی قشر پیشانی، به‌ویژه DLPFC، OFC و FPA، بیشتر اندازه‌گیری شدند. رایج‌ترین تسک‌های شناختی، تصاویر القای ولع مصرف بود، در حالی که تسک‌های حافظه کاری، توجه، حرکت و تصمیم‌گیری کمتر استفاده شدند. **نتیجه‌گیری:** این مرور نشان می‌دهد که اعتیاد با اختلال در عملکرد اجرایی و مدارهای پاداش مرتبط است. یافته‌های fNIRS با fMRI و EEG همخوانی دارند و بر نقش قشر پیشانی در کنترل شناختی و ولع مصرف تأکید می‌کنند. fNIRS با قابلیت حمل و ارائه داده‌های لحظه‌ای، برای نظارت درمان و ارزیابی خطر بازگشت مفید است، اما نبود پروتکل‌های استاندارد، و تنوع در طراحی آزمایش‌ها و تحلیل داده‌ها مقایسه نتایج را دشوار کرده است.

واژه‌های کلیدی:

- ۱- تصویربرداری عصبی
- ۲- عملکرد اجرایی
- ۳- لوب پیشانی
- ۴- اختلال عملکرد شناختی
- ۵- ولع خوردن

*نویسنده مسئول: فرزانه وفایی

پست الکترونیک: Vafaeefb@mums.ac.ir

مقدمه

اعتیاد یک وضعیت پیچیده عصب-روانشناختی است که علی‌رغم وجود پیامدهای نامطلوب برای فرد، با درگیر شدن وی در محرک‌های پاداش‌دهنده مشخص می‌شود. ویژگی مشترک اعتیاد به مواد مختلف در اختلال عملکردی مسیرهای پاداش مغز، به ویژه مسیر دوپامین به قشر پیشانی، نهفته است (۱، ۲). از منظر علوم اعصاب، اعتیاد نمایانگر اختلال در تعادل میان رفتارهای جویای پاداش^۱، کنترل بازدارنده^۲ و تنظیم هیجانی^۳ است (۳). روش‌های پیشرفته علوم اعصاب، مانند تصویربرداری عملکردی از مغز (fMRI) و تکنیک‌های الکتروفیزیولوژی، در روشن کردن مکانیسم‌های درگیر بسیار مؤثر بوده‌اند. این تکنیک‌ها بینش‌هایی درباره مدارهای عصبی مرتبط با ولع مصرف، تصمیم‌گیری و پردازش پاداش ارائه می‌دهند (۴، ۵). ابزارهای تصویربرداری نقش مهمی در شناسایی تغییرات مرتبط با اعتیاد در مناطقی از مغز مانند قشر پیش‌پیشانی ایفا کرده‌اند و به محققان کمک می‌کنند تا الگوهای عصبی خاص را با رفتارها و پاسخ‌های درمانی مرتبط کنند و در ارتقای درمان مؤثر باشند (۶، ۷). این مجموعه شواهد در حال رشد بر ارزش استفاده از روش‌های علوم اعصاب برای درک پیچیدگی‌های اعتیاد و توسعه مداخلات هدفمند تأکید دارند.

مطالعه اعتیاد به دلیل ماهیت پیچیده و پویا بودن فرآیندهای عصبی-زیربنایی آن، چالش‌های منحصر به فردی را ایجاد می‌کند. تکنیک‌هایی مانند fMRI به طور گسترده‌ای برای بررسی فعالیت مغزی در پژوهش‌های مرتبط با اعتیاد استفاده شده‌اند اما محدودیت‌های قابل توجهی دارند. fMRI وضوح فضایی بالایی را ارائه می‌دهد و امکان نقشه‌برداری دقیق از مناطق مغزی مرتبط با رفتارهای مربوط به اعتیاد، مانند ولع مصرف یا تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. با این حال، نیاز دارد که شرکت‌کنندگان در یک اسکین بدون حرکت باقی بمانند، که این امر کاربرد آن را در محیط‌های طبیعی یا شرایط واقعی محدود می‌کند. همچنین هزینه بالا و تدارکات ویژه fMRI انجام مطالعات تکراری یا طولی را، به‌ویژه در جمعیت‌های بالینی، دشوار می‌سازد (۸).

این محدودیت‌ها بر نیاز به یک روش تصویربرداری عصبی غیرتهاجمی، در لحظه^۴ و در دسترس برای طیف گسترده‌ای از پژوهش‌ها تأکید می‌کند. طیف‌نگاری عملکردی نزدیک به مادون قرمز^۵ (fNIRS) این شکاف را با ارائه یک راه‌حل قابل حمل و مقرون به صرفه پر

می‌کند که امکان نظارت بر فعالیت مغزی در محیط‌های معتبرتر از نظر زیست‌محیطی را فراهم می‌سازد. fNIRS یک تکنیک تصویربرداری عصبی غیرتهاجمی است که تغییرات در اکسیژن‌رسانی خون و فعالیت همودینامیکی در مغز را اندازه‌گیری می‌کند. این روش با انتشار نور نزدیک به مادون قرمز از طریق پوست سر و تشخیص جذب آن توسط هموگلوبین اکسیژنه و غیر اکسیژنه، معیاری غیرمستقیم از فعالیت عصبی ارائه می‌دهد. fNIRS با ترکیبی منحصر به فرد از قابلیت حمل، سهولت استفاده و تحمل حرکت شرکت‌کنندگان، به ویژه برای مطالعه جمعیت‌ها و وظایفی که روش‌های تصویربرداری سنتی ممکن است در آن‌ها عملی نباشد، مزایای قابل توجهی دارد. مقرون به صرفه بودن این دستگاه و دریافت پاسخ‌های همودینامیکی از نواحی هدف، آن را به عنوان ابزاری ارزشمند در پیشبرد تحقیقات اعتیاد معرفی می‌کند. امروزه این دستگاه به طور فزاینده‌ای در علوم اعصاب و تحقیقات بالینی مورد توجه قرار گرفته است و آن را به ابزاری قدرتمند برای بررسی فرآیندهای پویا مانند ولع مصرف ناشی از محرک‌ها و اثرات مداخلات درمانی در اعتیاد تبدیل کرده است (۹، ۸).

در سال‌های اخیر fNIRS به شیوه‌های گوناگون و به طور گسترده برای مطالعه ولع مصرف، که ویژگی مرکزی اعتیاد است، از طریق بررسی پاسخ‌های عصبی به محرک‌های مرتبط با اعتیاد مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱، ۱۰، ۵). مطالعات مربوطه، فعالیت همودینامیک تغییریافته‌ای را در قشر پیش‌پیشانی هنگام مواجهه افراد با محرک‌های مرتبط با مواد گزارش کرده‌اند که نشان‌دهنده اختلال در کنترل بازدارنده و حساسیت بالای مدار پاداش است (۵). این کاربرد به روشن شدن مکانیسم‌های عصبی-زیربنایی عود اعتیاد کمک کرده و درمان‌های مبتنی بر مواجهه با محرک را نشان می‌دهد (۴). همچنین از fNIRS برای بررسی اختلالات عملکردی اجرایی و افزایش تکانشگری که از ویژگی‌های برجسته اعتیاد هستند نیز استفاده شده است (۱۳، ۱۲). استفاده از fNIRS باید همراه با یک تسک شناختی در مقایسه با حالت استراحت مغزی انجام شود. تسک شناختی می‌تواند به شکل فعال، پاسخ شرکت‌کننده به صورت یک فعالیت حرکتی (مانند زدن کلید پاسخ) و یا غیرفعال، مثلاً نشان دادن مجموعه‌ای از تصاویر، باشد. بررسی فعالیت‌های مغزی در این زمینه طی انجام تسک‌های شناختی مانند حافظه کاری، تصمیم‌گیری و بازداری مورد استفاده بوده است. انجام این تسک‌ها همزمان با ثبت سیگنال مغزی، نشان از بدکارکردی

¹ Reward-seeking behaviors² Inhibitory control³ Emotional regulation⁴ Real time⁵ Functional Near-Infrared Spectroscopy

«Substance Abuse»، «Spectroscopy, Near-Infrared» و «Substance-Related Disorders» و «addiction» و معادل فارسی آن‌ها در تمام متن مقاله می‌شد. در مرور حاضر کلیه پژوهش‌هایی که واجد افراد دارای سوء مصرف مواد با توجه به تشخیص روانپزشکی استاندارد (DMS-۵ یا ICD-۱۰) بودند، از تصویربرداری عملکردی مادون قرمز استفاده می‌کردند و گروه کنترل سالم داشتند (و یا به صورت پیش و پس آزمون در یک گروه) وارد شدند. همچنین مطالعاتی که حاوی اعتیاد به قمار، اعتیاد به بازی‌های کامپیوتری و یا پرخوری می‌شدند، تصویربرداری‌هایی که به سنجش خانواده افراد مبتلا پرداخته بودند، مطالعاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس نبود و مطالعات مروری، کنفرانسی، مورد منفرد، کتاب‌ها نیز حذف شدند. مرور حاضر با استفاده از کلیدواژه‌های مشخص شده در پایگاه‌های اطلاعاتی انجام شد. در ابتدا کلیه پژوهش‌های مرتبط استخراج شدند و موارد تکراری حذف گردید. سپس با بررسی عناوین مقالات، با توجه به ملاک‌های ورود و خروج، مواردی که شامل ملاک‌های ورود نمی‌شدند کنار گذاشته شدند. بعد از آن با بررسی چکیده مقالات موارد دیگری حذف شدند و در نهایت مطالعات باقی مانده به صورت مطالعه تمام متن مورد بررسی قرار گرفتند (تصویر ۱). از مطالعاتی که به مرحله بررسی تمام متن رسیدند، اطلاعات مربوط به نویسندگان، سال انتشار، نوع و هدف مطالعه (مقطعی، مقطوع، تک گروهی، کارآزمایی بالینی)، ماده مصرفی، گروه مورد (مداخله) و کنترل، محل قرارگیری دیکتورهای fNIRS، تعداد کانال‌ها، تسک انجام شده و نتایج استخراج شد. کلیه مراحل مرور حاضر با توجه به پروتکل پریزما^۶ انجام گرفت (۱۸).

یافته‌ها

پس از جستجوی اولیه در پایگاه‌ها، در مجموع ۱۰۲ مقاله مرتبط یافت شد. بر اساس عنوان ۳۹ مقاله حذف شد. از بین ۶۳ مطالعه باقی مانده، طبق بررسی چکیده مقالات تعداد ۲۵ مقاله کنار گذاشته شد و در نهایت ۳۸ مطالعه وارد مرحله تحلیل متن کامل شدند. در این مرحله بعد از بررسی مبسوط مطالعات، ۱۵ مطالعه به دلایلی از جمله عدم دسترسی به متن کامل (۲ مطالعه)، بررسی خانواده افراد مبتلا (۴ مطالعه)، ولع مصرف غذا (۱ مطالعه)، نوع مطالعه (۲ مطالعه)، اعتیاد به اینترنت (۱ مطالعه) و عدم سنجش مصرف مواد (۵ مطالعه) از پژوهش کنار گذاشته شدند و یافته‌های مربوط به ۲۳ مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (تصویر ۱). بررسی ۲۳ مطالعه نهایی نشان داد که پراکندگی مطالعات در سال‌های اخیر

قشر پیش‌پیشانی و کنترل شناختی مختل‌شده ناشی از اعتیاد بوده است (۱۴). همچنین کاربرد fNIRS بینش‌هایی درباره تغییرات عصبی مرتبط با پرهیز و پیش‌بینی‌های مربوط به احتمال عود مجدد ارائه داده است (۸). این تکنولوژی در انواع مختلف اعتیاد، از جمله الکل، نیکوتین، اوبیوئیدها و محرک‌ها، مورد استفاده قرار گرفته است و یافته‌های مشترک و افتراق آن‌ها در الگوهای همودینامیکی فعالیت قشر پیشانی به قدرت تشخیصی در اختلالات اعتیاد کمک کرده است (۱۶، ۱۵).

علیرغم افزایش علاقه به استفاده از fNIRS در مطالعه اختلالات اعتیاد درک جامع از کاربردها و یافته‌های آن همچنان محدود است. اگرچه مطالعات جداگانه fNIRS را در زمینه‌های مختلف مانند واکنش به محرک‌ها، عملکرد شناختی و پایش درمان بررسی کرده‌اند، اما فقدان ترکیبی نظام‌مند که روش‌ها، نتایج و پیامدهای بالینی را در میان مواد مختلف و طراحی‌های آزمایشی بررسی کند، مشهود است. این پراکندگی، ارزیابی تاثیر کلی fNIRS بر تحقیقات اعتیاد و شناسایی الگوها یا شکاف‌های سازگار را دشوار کرده است. بررسی‌های محدود انجام شده اغلب به امکان سنجی استفاده از fNIRS در زمینه اعتیاد پرداخته است و یا به یک ماده مشخص محدود شده است (۸، ۱۷). این مرور نظام‌مند با جمع‌آوری و تحلیل مطالعاتی که از fNIRS برای بررسی اختلالات اعتیاد استفاده کرده‌اند، سعی در ارائه تصویری جامع دارد. با تمرکز بر جنبه‌های کلیدی مانند الگوهای آزمایشی، تعداد کانال‌ها، مکان‌های آشکارساز و نتایج گزارش‌شده، این مرور به دنبال ارائه یک نمایه ساختاریافته از این حوزه است و تلاش می‌کند به پیشبرد کاربرد آن در تنظیمات تحقیقاتی و بالینی کمک کند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر برای بررسی ادبیات مربوط به کاربرد دستگاه fNIRS در مطالعات مربوط به مصرف مواد با روش مرور نظام‌مند انجام شد. جامعه آماری این مطالعه شامل کلیه مقالاتی بودند که به دو زبان فارسی و انگلیسی در این حوزه به چاپ رسیده بودند. بررسی حاضر شامل جستجوی ادبیات در پایگاه‌های PubMed، Science Direct و Web of Science، Scopus انگلیسی تا تاریخ ۵ نوامبر ۲۰۲۴ بود. هیچ مطالعه‌ای در جست‌وجو به زبان فارسی در پایگاه‌های مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی و پایگاه تخصصی مجلات نور یافت نشد. کلمات کلیدی جست‌وجو شامل: «fNIRS»، «Functional near-infrared spectroscopy»

^۶ PRISMA

در نمودار ۲ قابل مشاهده است. بیشترین استفاده از تصویربرداری fNIRS در مطالعات مربوط به مصرف متامفتامین بوده است (۶ مطالعه) و از هر کدام از مواد اکستازی، نیکوتین، سیگار، THC تنها یک مطالعه یافت شد.

```

graph TD
    A[شناسایی] --> B[بررسی عنوان (پس از حذف موارد تکراری)  
Pubmed + scopus + Web of Science  
تعداد: ۱۰۲]
    B --> C[بررسی چکیده  
تعداد: ۶۳]
    C --> D[بررسی متن کامل  
تعداد: ۳۸]
    D --> E[مطالعات وارد شده  
تعداد: ۲۳]
    B --> B1[مطالعات خارج شده  
تعداد: ۳۹]
    C --> C1[مطالعات خارج شده  
تعداد: ۲۵]
    D --> D1[مطالعات خارج شده  
تعداد: ۱۵]
  
```

شناسایی

بررسی عنوان (پس از حذف موارد تکراری)
Pubmed + scopus + Web of Science
تعداد: ۱۰۲

مطالعات خارج شده
تعداد: ۳۹

بررسی چکیده
تعداد: ۶۳

مطالعات خارج شده
تعداد: ۲۵

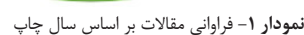
بررسی متن کامل
تعداد: ۳۸

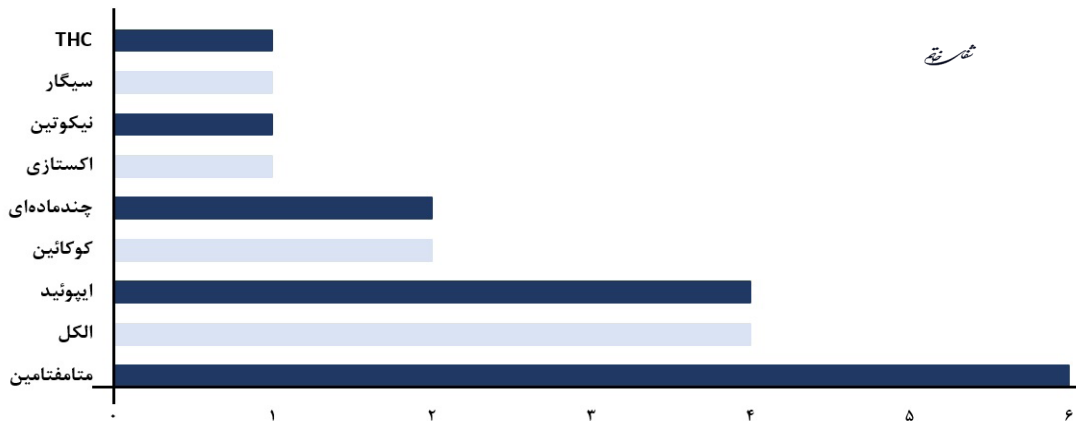
مطالعات خارج شده
تعداد: ۱۵

مطالعات وارد شده
تعداد: ۲۳

غیربالگری

وارد شده



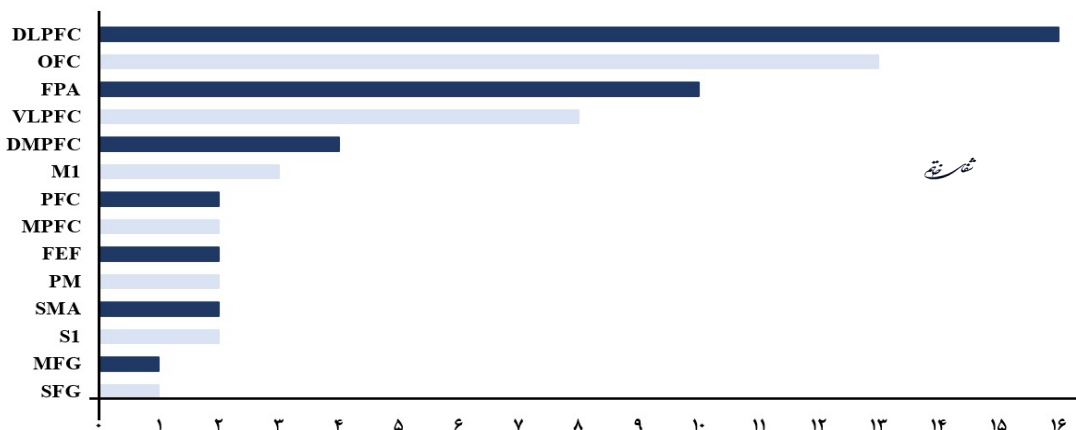


نمودار ۲- فراوانی مطالعات باتوجه به نوع ماده مصرفی

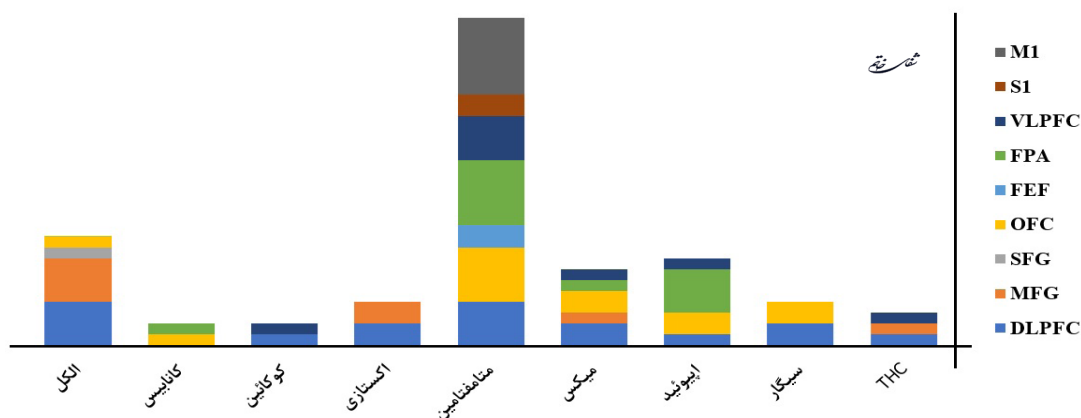
تحتانی-جانبی) از نواحی مهم دیگری هستند که مورد توجه بوده اند. همچنین در برخی از مطالعات، به‌ویژه آن‌هایی که بر جنبه‌های حرکتی و حسی اعتیاد تمرکز داشته‌اند، نواحی مرتبط با قشر حرکتی و قشر حسی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند (نمودار ۳).

بررسی همزمان محل قرارگیری دیتکتور و ماده مصرفی مرتبط نشان می‌دهد که در رابطه با مطالعات مصرف متامفتامین، اکثر نواحی مغزی مورد توجه بوده‌اند و مطالعات مرتبط با متامفتامین و الکل بیشتر از مطالعات دیگر بر ناحیه DLPFC تمرکز کرده‌اند (نمودار ۴).

محل قرارگیری دیتکتورهای fNIRS بسته به نوع مطالعه، هدف پژوهش، و تسک اجرا شده متفاوت بوده است. نتایج بررسی محل قرارگیری دیتکتورها نشان می‌دهد که قشر پیشانی بیش از سایر نواحی مغز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. همچنین در رابطه با قشر پیشانی، نواحی مختلفی بررسی شده است؛ از پر تکرارترین نواحی، ناحیه DLPFC (قشر پیش پیشانی پستی-جانبی) است که در بسیاری از مطالعات ثبت سیگنال مورد توجه قرار بوده است. به علاوه نواحی OFC (قشر پیشانی اوربیتال) و FPA (قشر پیش پیشانی) و VLPFC (قشر پیش پیشانی



نمودار ۳- نواحی قرارگیری دیتکتورهای fNIRS با توجه به فراوانی آن‌ها

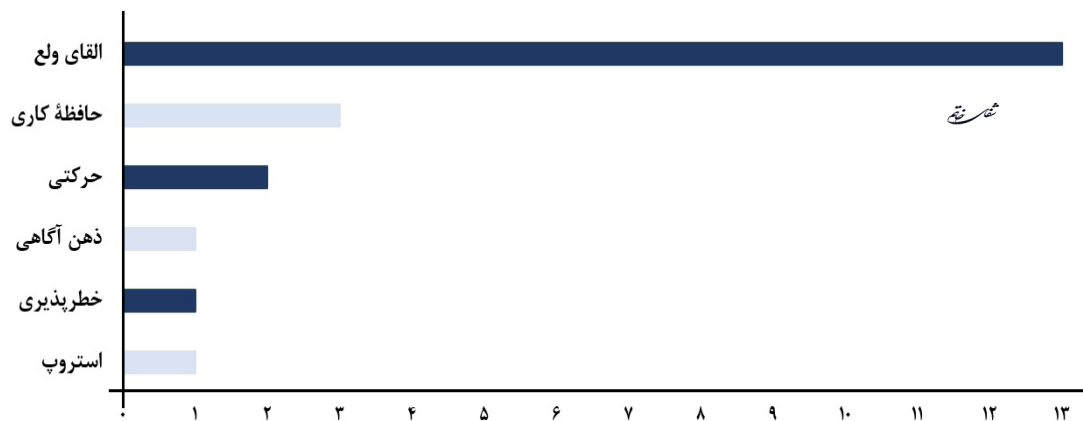


نمودار ۴- نواحی قرارگیری دیتکتورهای fNIRS باتوجه به ماده مصرفی

بحث و نتیجه‌گیری

مرور سیستماتیک حاضر شامل مطالعاتی بود که از fNIRS برای بررسی فرآیندهای مرتبط با اعتیاد به مواد مختلف از جمله الکل، نیکوتین، مواد افیونی و محرک‌ها استفاده کرده‌اند. نتایج به‌طور مداوم فعالیت همودینامیک تغییر یافته در بخش‌های مختلف قشر مغز، به‌ویژه قشر پیشانی را نشان داده است. از این نظر، مطالعات را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ارزیابی همراه با انجام تسک شناختی و ارزیابی در حالت استراحت. چندین مطالعه نیز به بررسی اثربخشی مداخلات درمانی با

همانطور که گفته شد، ثبت سیگنال fNIRS در هنگام انجام یک تسک شناختی، مقایسه سیگنال مغزی در حال فعالیت و استراحت را ممکن می‌سازد، مطالعات مختلف از تسک‌های مختلفی برای این ارزیابی استفاده کرده‌اند (نمودار ۵). بررسی فراوانی تسک‌های انجام شده نشان می‌دهد که تصاویر القای ولع مصرف در حالت اندازه‌گیری Rest بیش از همه در مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین تسک‌های حافظه کاری، توجه، حرکت و تصمیم‌گیری از دیگر حوزه‌های هستند که مورد توجه بوده‌اند. نتایج مربوط یافته‌های حاصل از مرور مطالعات در جدول ۱ قابل مشاهده است.



نمودار ۵- تسک استفاده شده طی ثبت سیگنال fNIRS و فراوانی آن

جدول ۱- خلاصه یافته‌های حاصل از مرور مطالعات

شماره مطالعه	نویسنده	نوع مطالعه	هدف	ماده مصرفی	گروه مورد (مداخله)	گروه کنترل	مداخله	محل دیتکتور	تسک	تعداد کانال‌ها	نتیجه
۱	بو و همکاران (۲۰۲۰) (۱۰)	مقطعی	تغییرات مغزی	متمامتامین	متمامتامین (تعداد: ۳۰)	کنترل سالم (تعداد: ۳۰)	ندارد	PFC M1	پروانه نرم و لانچ	۲۴	مصرف متمامتامین به طور معنی‌داری بر فعالیت مغزی طی فعالیت و استراحت موثر است.
۲	کیو و همکاران (۲۰۲۱) (۱۹)	تک گروهی	مقایسه تغییرات مغزی	متمامتامین	متمامتامین (تعداد: ۳۰)	ندارد	ورزش با واقعیت مجازی	FPA OFC VLPFC FEF PM SMA M1 S1	استروپ	۴۲	افزایش فعالیت مغزی در نتیجه ورزش با واقعیت مجازی
۳	هانگ و همکاران (۲۰۲۴) (۵)	تک گروهی	تغییرات مغزی قشر پیشانی	نیکوتین	مصرف کنندگان سیگار (تعداد: ۶۱)	ندارد	سیگار الکترونیک	شبکه کنترل اجرایی شبکه مدل پیش فرض	۱۰ پاف مصرف سیگار الکترونیک	۳۸	افزایش فعالیت شبکه پیش فرض و کنترل اجرایی و کاهش ولع مصرف.
۴	گو و همکاران (۲۰۲۴) (۱۱)	مقطعی	تغییرات مغزی قشر پیشانی	متمامتامین	متمامتامین (تعداد: ۱۴)	کنترل سالم (تعداد: ۱۴)	ندارد	VLPFC DLPFC OFC FPA	القای ولع مصرف (تصاویر مواد) و تصاویر خنثی	۲۶	تفاوت معنادار فعالیت مغزی بین شرکت کنندگان سالم و مصرف کننده

۵	گیلمن و همکاران (۲۰۱۹) (۶)	مقطعی	تغییرات مغزی قشر پیشانی	THC intoxication (dronabinol)	پاسخ کم (تعداد: ۲۷)	پاسخ بالا (تعداد: ۲۷)	سم زدایی با THC	MPFC DLPFC VLPFC	حافظه کاری (ان بک)	۲۰	افزایش فعالیت قشر پیشانی طی ۱۰۰ دقیقه پس از تجویز THC
۶	گی و همکاران (۲۰۲۲) (۲۰)	تک گروهی	اثر فعالیت بدن بر ولع مصرف	متامفتامین	متامفتامین (تعداد: ۳۰)	ندارد	ورزش با واقعیت مجازی	FPA OFC DLPFC VLPFC FEF PM SMA M1 S1	القای ولع مصرف	۴۲	کاهش پاسخ قشر پیشانی به تصاویر مواد بعد از مداخله
۷	گائو و همکاران (۲۰۲۲) (۲۱)	کارآزمایی بالینی	بررسی تأثیر شدت های مختلف تمرین هوازی حاد بر فعال سازی مغز	متامفتامین	فعالیت بدنی شدید (تعداد: ۱۰)	فعالیت بدنی متوسط (تعداد: ۱۰)	ورزش هوازی	VLPFC DLPFC FPA OFC	۲۵ دقیقه ورزش	۲۰	افزایش تغییرات اکسیژن رسانی در قشر پیشانی طی ورزش هوازی شدید در مقایسه با ورزش متوسط
۸	کروچک و همکاران (۲۰۱۶) (۲۲)	کارآزمایی بالینی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	مصرف سیگار	تحریک الکتریکی حقیقی (تعداد: ۱۲)	تحریک الکتریکی شم (تعداد: ۱۲)	تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه ای	OFC DLPFC	القای ولع سیگار	۵۸	عدم تغییر فعالیت مغزی طی تحریک الکتریکی
۹	لئونگ و همکاران (۲۰۱۸) (۲۳)	مقطعی	فعالیت قشر پیشانی	هروئین و نیکوتین	هروئین و نیکوتین (تعداد: ۷)	کنترل سالم (تعداد: ۷)	ندارد	OFC DLPFC MPFC	نظریه ذهن	۱۴	کاهش فعالیت قشر پیشانی در تسک نظریه ذهن در گروه هروئین و نیکوتین
۱۰	هان و همکاران (۲۰۱۶) (۲۴)	مقطعی	عدم لذت	اپیونید	اپیونید (تعداد: ۳۶)	کنترل سالم (تعداد: ۱۰)	ندارد	PFC VLPFC	واکنش به سرخ خشی	۱۶	کاهش فعالیت قشر پیشانی چپ در پاسخ به تصاویر غذا و موقعیت های اجتماعی
۱۱	وانگر و همکاران (۲۰۱۷) (۲۵)	تک گروهی	فعالیت قشر پیشانی و اضطراب تونیک	الکل	سوء مصرف الکل (تعداد: ۴۲)	ندارد	ندارد	DLPFC DMPFC	تصاویر هیجان مثبت، منفی و خشی القای ولع مصرف	۱۶	ارتباط مثبت بین سطح اضطراب و فعال سازی قشر پیشانی چپ
۱۲	دمپسی و همکاران (۲۰۱۵) (۹)	تک گروهی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	الکل	سوء مصرف الکل (تعداد: ۱۵)	ندارد	ندارد	MFG SFG DLPFC DMPFC	تصاویر هیجان مثبت، منفی و خشی القای ولع مصرف	۱۶	ارتباط بین تعداد روزهای پرهیز و کاهش فعالیت قشر پیشانی
۱۳	اسپنسر و همکاران (۲۰۱۷) (۱۴)	مقطعی	امید، مهارت های مقابله ای	الکل	سوء مصرف الکل (تعداد: ۴۲)	کنترل سالم (تعداد: ۴۱)	ندارد	DLPFC DMPFC	تصاویر هیجان مثبت، منفی و خشی القای ولع مصرف	۱۶	ارتباط بین مهارت های مقابله و فعال سازی قشر پیشانی در پاسخ به نشانه های الکل
۱۴	هان و همکاران (۲۰۱۹) (۲۶)	مقطعی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	کوکائین	کوکائین (تعداد: ۱۵)	کوکائین (تعداد: ۱۵)	ندارد	VLPFC DLPFC	آزمون خطرپذیری بارت	۱۶	فعالیت کمتر قشر پیشانی راست در مصرف کنندگان مواد طی تصمیم گیری
۱۵	پیئونگ و همکاران (۲۰۱۹) (۲۷)	مقطعی	فعالیت عصبی در اثر مصرف مزمن	اپیونید	هروئین (تعداد: ۸)	کنترل سالم (تعداد: ۱۰)	ندارد	DLPFC FPA	ندارد	۱۴	کاهش اتصالات قشر پیشانی
۱۶	وانگ و همکاران (۲۰۱۹) (۲۸)	کارآزمایی بالینی	اثر ورزش بر پاداش غذایی	متامفتامین	ورزش با شدت متوسط (تعداد: ۲۸)	ورزش با شدت بالا (تعداد: ۲۸)	ورزش هوازی	DLPFC OFC FPA	القای ولع غذا	۲۰	تحریک فعالیت قشر پیشانی مرتبط با تصاویر غذایی پرکالری

۱۷	ارنست و همکاران (۲۰۱۴) (۲۹)	مقطعی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	الکل	سوء مصرف الکل (تعداد: ۲۱)	کنترل سالم (تعداد: ۲۱)	ندارد	DLPFC OFC	آزمون گرایش اجتناب با ۱۰ تصویر الکلی و ۱۰ تصویر غیر الکلی	۵۲	تفاوت‌های گروهی در فعالیت قشر پیشانی در تصاویر الکلی
۱۸	پتری و همکاران (۲۰۲۲) (۳۰)	تک گروهی	عدم لذت	ایپوئید	هروئین (تعداد: ۷۱)	ندارد	ندارد	OFC FPA	واکنش به سرنخ	۱۶	ارتباط پاسخ کمتر فعالیت قشر پیشانی به تجربیات مثبت اجتماعی با سطوح بالا تر عدم لذت
۱۹	گو و همکاران (۲۰۲۱) (۱۵)	مقطعی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	متامفتامین هروئین ترکیب هر دو	متامفتامین؛ هروئین؛ ترکیب هر دو (تعداد: ۳۰)	ندارد	ندارد	DLPFC VLPFC FPA OFC	الفای ولع مصرف	۴۵	بیشترین فعالیت قشر پیشانی در مصرف کنندگان مختلط و کمترین میزان فعالیت در مصرف کنندگان هروئین
۲۰	کروچک و همکاران (۲۰۱۷) (۳۱)	مقطعی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	نیکوتین	سیگار (تعداد: ۱۲)	کنترل سالم (تعداد: ۱۲)	ندارد	OFC DLPFC	الفای ولع سیگار	۵۲	افزایش فعالیت مغزی در مصرف کنندگان سیگار
۲۱	هان و همکاران (۲۰۲۱) (۳۲)	مقطعی	عدم لذت و تضعیف روحیه	ایپوئید	بدون علائم عدم لذت (تعداد: ۲۰)	علائم عدم لذت (تعداد: ۹)	ندارد	OFC FPA	سرنخ خنثی	۱۶	نقش قشر پیشانی در پاتوفیزیولوژی عدم لذت و تضعیف روحیه
۲۲	موننگومری و همکاران (۲۰۱۷) (۳۳)	مقطعی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	اکستازی	اکستازی (تعداد: ۲۰)	کنترل سالم (تعداد: ۲۰)	ندارد	DLPFC DMPFC	حافظه کاری فضایی و کلامی	۱۶	فعالیت بیشتر قشر پیشانی
۲۳	کلس و همکاران (۲۰۱۷) (۱۲)	تک گروهی	ارتباط کارکردی قشر پیشانی	کانابیس	کانابیس (تعداد: ۱۸)	ندارد	سم زدایی با THC	FPA OFC	حافظه کاری (ان بک)	۲۰	افزایش فعالیت مغزی مرتبط با مسمومیت

یک وضعیت عصب-روانشناختی که با اختلال در عملکردهای اجرایی و ناهماهنگی در مدارهای پاداش مشخص می‌شود، همسو بوده و آن را گسترش می‌دهد.

به علاوه این یافته‌ها با یافته‌های حاصل از fMRI و EEG مبنی بر تغییر فعالیت الکتریکی و همودینامیک در نواحی قشر پیشانی هم راستاست و نقش این نواحی را در کنترل شناختی، تصمیم‌گیری و ولع مصرف برجسته‌تر می‌کند (۳۴-۳۶). باتوجه به این مشابهت در نتایج، به نظر می‌رسد امکانات دستگاه fNIRS در بررسی پویایی‌های عصبی در محیط‌های طبیعی‌تر، با اعتبار زیست‌محیطی بیشتر و پاسخ‌های عصبی در لحظه در حین انجام تسک می‌تواند به عنوان یک روش جدید بینش‌هایی مهمی را در مطالعات اعتیاد ایجاد کند. این مرور همچنین نشان می‌دهد که چگونه fNIRS شروع به پر کردن شکاف‌های موجود در ادبیات کرده است؛ از جمله استفاده از آن در انواع مختلف اعتیاد، پایش‌های طولی، مطالعات مداخله‌ای، پیش‌بینی عود و حوزه‌هایی که سایر روش‌های تصویربرداری با محدودیت‌هایی مواجه بوده‌اند این مقایسه‌ها نقش رو به رشد fNIRS را در پیشبرد تحقیقات اعتیاد برجسته کرده و پتانسیل آن را برای پر کردن شکاف‌های روش‌شناختی در مطالعه این اختلال پیچیده نشان می‌دهد (۱۷).

پیامدهای بالینی و پژوهشی

دستگاه fNIRS پتانسیل بالینی قابل توجهی در هدایت روش‌های درمانی برای اعتیاد ارائه می‌دهد. شناسایی الگوهای خاص فعالیت مغزی، به‌ویژه در قشر پیشانی،

استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری fNIRS به صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون پرداخته‌اند؛ اگرچه این نوع مطالعات کمتر مورد توجه بوده است تمامی مطالعات در اندازه‌گیری فعالیت مغزی بر ناحیه قشر پیشانی تمرکز داشته‌اند و هیچ مطالعه‌ای بدون توجه به این ناحیه انجام نشده است. چگونگی فعالیت همودینامیک قشر پیشانی بیماران مبتلا به سوءمصرف مواد، طی سال‌های اخیر یک موضوع مهم و مورد توجه بوده است. مرور حاضر نشان می‌دهد که شروع این دسته از مطالعات از سال ۲۰۱۲ بوده است و تعداد آن‌ها در سال‌های بعدی به طور مستمر افزایش یافته است. به علاوه اکثر مطالعات به بررسی امواج مغزی مصرف‌کنندگان متامفتامین اختصاص داشته است.

همان‌طور که اشاره شد، قشر پیشانی و به ویژه ناحیه DLPFC مهم‌ترین ناحیه مغزی بود که بیشتر مورد توجه بود. به استثنای مطالعه مربوط به کانابیس، ناحیه DLPFC در تمامی مصرف‌کنندگان مواد حداقل در یک مطالعه بررسی شد. همچنین، در همه انواع مصرف حداقل یک مطالعه همراه با تسک شناختی وجود داشته است. بنابراین، توجه به ناحیه DLPFC و طراحی مطالعاتی که شامل انجام تسک شناختی هم‌زمان با اندازه‌گیری fNIRS باشند، از اهمیت و فراوانی ویژه‌ای برخوردار هستند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که fNIRS می‌تواند به‌طور قابل اعتمادی تغییرات فعالیت قشری مرتبط با ولع مصرف و اختلالات اجرایی را طی استراحت و انجام فعالیت ثبت و تحلیل کند. یافته‌های این مرور با درک کنونی از اعتیاد به‌عنوان

می‌کند. یکی از شکاف‌های برجسته، تعداد محدود مطالعات طولی است که تغییرات فعالیت مغزی را در طول زمان، به‌ویژه در پاسخ به درمان یا در طول پیشرفت اعتیاد، بررسی کنند. اکثر مطالعات به‌صورت مقطعی انجام شده‌اند و تلاش می‌کنند تفاوت‌های عملکردی با گروه کنترل سالم را نشان دهند. به علاوه، برخی مواد مانند کانابیس در مقایسه با مواد پرمطالعه‌تری مانند مت‌آمفتامین و الکل کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جمعیت‌هایی مانند نوجوانان و مصرف‌کنندگان چند ماده‌ای کمتر بررسی شده‌اند، در حالی که از اهمیت بالینی بالایی برخوردار هستند. همچنین، مطالعه حاضر به بررسی مطالعات متمرکز بر اعتیادهای رفتاری مانند قمار یا اعتیاد به اینترنت پرداخته است. مرورهای آینده می‌توانند این جمعیت‌های بالینی را بیشتر مورد توجه قرار دهند و درک عمیق‌تری از این نوع اختلالات ارائه کنند. از طرفی دیگر پتانسیل fNIRS در تحقیقات اعتیاد می‌تواند تحت تاثیر پیشرفت‌های تکنولوژی قرار بگیرد. توسعه سیستم‌های ترکیبی می‌توانند درک غنی‌تری از پویایی‌های عصبی مرتبط با اعتیاد فراهم کنند و به نقشه‌برداری دقیق‌تر از فعالیت‌های مغزی کمک کنند. اگرچه سیستم fNIRS مورد توجه تحقیقات می‌باشد، اما محدودیت‌هایی را شامل می‌شوند؛ نبود پروتکل‌های استاندارد برای استفاده از fNIRS در پژوهش‌های اعتیاد یک مشکل اصلی قلمداد می‌شود.

تنوع در طراحی‌های آزمایشی، انتخاب تسک‌ها و روش‌های تحلیل داده، مقایسه یافته‌ها بین مطالعات یا دستیابی به نتایج سازگار را دشوار می‌کند. تدوین دستورالعمل‌های توافقی برای پروتکل‌های اندازه‌گیری، مانند استانداردسازی محل قرارگیری دیتکتورها، مراحل پیش‌پردازش داده‌ها، و تفسیر تغییرات همودینامیکی، می‌تواند قابلیت اطمینان و تکرارپذیری یافته‌ها را بهبود بخشد. با پرداختن به این سوالات و بهره‌گیری از پیشرفت‌های تکنولوژیکی و روش‌شناختی، تحقیقات آینده می‌توانند استفاده بیشتری از پتانسیل fNIRS برای کمک به درک و درمان اعتیاد داشته باشد.

می‌تواند به توسعه مداخلات هدفمند کمک کند. برای مثال، مطالعاتی که کاهش فعالیت DLPFC حین انجام تکالیف تصمیم‌گیری نشان می‌دهند، به نقش حیاتی این ناحیه در کنترل مهارتی و ولع مصرف اشاره می‌کنند (۲۱). این بینش می‌تواند به طراحی برنامه‌های آموزش شناختی منجر شود که با هدف تقویت مکانیسم‌های کنترل مهارتی در افراد مبتلا به اعتیاد ارائه می‌شوند. به علاوه امکان استفاده از برنامه‌های درمانی شخصی‌سازی‌شده بر اساس الگوهای فعالیت عصبی هر فرد، که با استفاده از fNIRS اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند نتایج درمانی را بهینه کرده و اثربخشی مداخلات را بهبود بخشد. علاوه بر پتانسیل بالینی که fNIRS می‌تواند ایجاد کند، پتانسیل نظارتی آن بر پیشرفت درمان و ارزیابی خطر بازگشت به اعتیاد حایز اهمیت است (۸). قابلیت حمل و امکان ارائه داده‌های در لحظه، آن را به گزینه‌ای مناسب برای ردیابی تغییرات عصبی در طول دوره درمان تبدیل می‌کند. برای مثال، اندازه‌گیری‌های مکرر با fNIRS می‌تواند بهبود فعالیت قشر پیشانی را در تسک‌هایی که نیاز به کنترل شناختی دارند، ارزیابی کنند و عملکرد اجرایی ارتقایافته را پس از درمان نشان دهند (۱۹). علاوه بر این، fNIRS می‌تواند با تشخیص تغییر در الگوهای فعالیت مغزی، مانند افزایش حساسیت به محرک‌های مرتبط با مواد یا کاهش فعالیت در نواحی مرتبط با خودتنظیمی، برای شناسایی علائم اولیه بازگشت به اعتیاد مفید باشد (۳۷). این قابلیت به پزشکان امکان مداخله پیشگیرانه را می‌دهد تا برنامه‌های درمانی را برای مقابله با خطرات نوظهور تطبیق دهند. استفاده از fNIRS به‌عنوان ابزار نظارتی نه تنها از مراقبت‌های فردی پشتیبانی می‌کند، بلکه معیارهای عینی برای ارزیابی اثربخشی مداخلات درمانی ارائه می‌دهد و به روش‌های مبتنی بر شواهد در درمان اعتیاد کمک می‌کند.

جهت‌گیری‌های آینده

این مرور به شکاف‌های قابل توجهی در پژوهش‌های موجود درباره استفاده از SRINF در تحقیقات اعتیاد اشاره

منابع

- Walia P, Ghosh A, Singh S, Dutta A. Portable Neuroimaging-Guided Noninvasive Brain Stimulation of the Cortico-Cerebello-Thalamo-Cortical Loop-Hypothesis and Theory in Cannabis Use Disorder. *Brain Sciences*. 2022; 12(4): 10.3390/brainsci12040445
- Atadokht A, mohamadnezhad devin a. Evaluation of the Mediating Role of Social Competence in the Relationship between Brain-Behavioral Systems and Readiness for Addiction. *The Neuroscience Journal of Shafaye Khatam*. 2023; 12(1): 13-21.
- Ghazvini H, Seyedhoseini Tamijani SM, Rafaiee R. Animal Models of Addiction: A Review. *The Neuroscience Journal of Shafaye Khatam*. 2022; 10(4): 92-103.
- Ekhtiari H, Soleimani G, Kuplicki R, Yeh HW, Cha YH, Paulus M. Transcranial direct current stimulation to modulate fMRI drug cue reactivity in methamphetamine users: A randomized clinical trial. *Human Brain Mapping*. 2022; 43(17): 5340-57.
- Huang X, Qi Y, Zhang R, Pu Y, Chen X, Chen S, et al. Altered executive control network and default model network topology are linked to acute electronic cigarette use: A resting-state fNIRS

- study. *Addiction Biology*. 2024; 29(7): e13423.
6. Gilman JM, Yücel MA, Pachas GN, Potter K, Levar N, Broos H, et al. Delta-9-tetrahydrocannabinol intoxication is associated with increased prefrontal activation as assessed with functional near-infrared spectroscopy: A report of a potential biomarker of intoxication. *Neuroimage*. 2019; 197: 575-85.
 7. Rigi Kooteh B, Mahdavi A, Rigi A, Borhani T, Hashemzahi Z, Seyednejad M, Sarani yaztappeh J. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Electrical Stimulation on Reducing Craving: a Meta-Analytic Study. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2021; 10(1): 99-110.
 8. Carollo A, Cataldo I, Fong S, Corazza O, Esposito G. Unfolding the real-time neural mechanisms in addiction: Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) as a resourceful tool for research and clinical practice. *Addiction Neuroscience*. 2022; 4: 100048.
 9. Dempsey JP, Harris KS, Shumway ST, Kimball TG, Herrera JC, Dsauza CM, Bradshaw SD. Functional near infrared spectroscopy as a potential biological assessment of addiction recovery: preliminary findings. *American Journal of Drug and Alcohol Abuse*. 2015; 41(2): 119-26.
 10. Bu L, Qi L, Yan W, Yan Q, Tang Z, Li F, et al. Acute kick-boxing exercise alters effective connectivity in the brain of females with methamphetamine dependencies. *Neuroscience Letters*. 2020; 720: 134780.
 11. Gu X, Li X, Yang B. Comparison of brain functions between healthy participants and methamphetamine users with various addiction histories: Data analysis based on EEG and fNIRS. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2024; 17(03): 2350029.
 12. Keles HO, Radoman M, Pachas GN, Evins AE, Gilman JM. Using Functional Near-Infrared Spectroscopy to Measure Effects of Delta 9-Tetrahydrocannabinol on Prefrontal Activity and Working Memory in Cannabis Users. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017; 11: 488.
 13. Sahaf SMS, Heydari Yazdi AS, Ramezani F, Kamrani M. Effectiveness of Transcranial-Direct Current Stimulation in Individuals with Methamphetamine Use Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of High Risk Behaviors and Addiction*. 2024; 13(3): e146021.
 14. Bradshaw SD, Shumway ST, Dsauza CM, Morris N, Hayes ND. Hope, coping skills, and the prefrontal cortex in alcohol use disorder recovery. *American Journal of Drug and Alcohol Abuse*. 2017; 43(5): 591-601.
 15. Gu X, Yang B, Gao S, Yan LF, Xu D, Wang W. Prefrontal fNIRS-based clinical data analysis of brain functions in individuals abusing different types of drugs. *Journal of Biomedical Semantics*. 2021; 12(1): 21.
 16. Okada N, Takahashi K, Nishimura Y, Koike S, Ishii-Takahashi A, Sakakibara E, et al. Characterizing prefrontal cortical activity during inhibition task in methamphetamine-associated psychosis versus schizophrenia: a multi-channel near-infrared spectroscopy study. *Addiction Biology*. 2016; 21(2): 489-503.
 17. Chen YH, Yang J, Wu H, Beier KT, Sawan M. Challenges and future trends in wearable closed-loop neuromodulation to efficiently treat methamphetamine addiction. *Frontiers in Psychiatry*. 2023; 14: 1085036.
 18. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *British Medical Journal*. 2021; 372: n71.
 19. Qi L, Yin Y, Bu L, Tang Z, Tang L, Dong G. Acute VR competitive cycling exercise enhanced cortical activations and brain functional network efficiency in MA-dependent individuals. *Neuroscience Letters*. 2021; 757: 135969.
 20. Qi L, Tian ZH, Yue Y, Guan S, Tang L, Dong G. Effects of acute exercise on craving and cortical hemodynamics under drug-cue exposure in MA-dependent individuals. *Neuroscience Letters*. 2022; 781: 136672.
 21. Gao S, Zhou C, Chen Y. Effects of Acute Moderate- and High-Intensity Aerobic Exercise on Oxygenation in Prefrontal Cortex of Male Methamphetamine-Dependent Patients. *Frontiers in Psychology*. 2022; 13: 801531.
 22. Krocze AM, Häußinger FB, Rohe T, Schneider S, Plewnia C, Batra A, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on craving, heart-rate variability and prefrontal hemodynamics during smoking cue exposure. *Drug and Alcohol Dependence*. 2016; 168: 123-7.
 23. Jeong HF, Yuan Z. Emotion recognition and its relation to prefrontal function and network in heroin plus nicotine dependence: a pilot study. *Neurophotonics*. 2018; 5(2): 025011.
 24. Huhn AS, Meyer RE, Harris JD, Ayaz H, Deneke E, Stankoski DM, Bunce SC. Evidence of anhedonia and differential reward processing in prefrontal cortex among post-withdrawal patients with prescription opiate dependence. *Brain Research Bulletin*. 2016; 123: 102-9.

25. Wagner AN, Bradshaw SD, Dawson JA, Shumway ST. Examining Prefrontal Cortex Activity and Tonic Anxiety in Alcohol Use Disorder Recovery: A Functional Near Infrared Spectroscopy Study. *Alcoholism Treatment Quarterly*. 2017; 35(3): 243-59.
26. Huhn AS, Brooner RK, Sweeney MM, Yip SW, Ayaz H, Dunn KE. Increased neural activity in the right dorsolateral prefrontal cortex during a risky decision-making task is associated with cocaine use in methadone-maintained patients. *Drug and Alcohol Dependence*. 2019; 205: 107650.
27. Jeong HF-h, Gao F, Yuan Z. Machine learning: assessing neurovascular signals in the prefrontal cortex with non-invasive bimodal electro-optical neuroimaging in opiate addiction. *Scientific Reports*. 2019; 9(1): 18262.
28. Wang H, Chen Y, Li X, Wang J, Zhou Y, Zhou C. Moderate-Intensity Aerobic Exercise Restores Appetite and Prefrontal Brain Activity to Images of Food Among Persons Dependent on Methamphetamine: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019; 13: 400.
29. Ernst LH, Plichta MM, Dresler T, Zesewitz AK, Tupak SV, Haeussinger FB, et al. Prefrontal correlates of approach preferences for alcohol stimuli in alcohol dependence. *Addiction Biology*. 2014; 19(3): 497-508.
30. Petrie DJ, Knapp KS, Freet CS, Deneke E, Brick TR, Cleveland HH, Bunce SC. Prefrontal cortical response to natural rewards and self-reported anhedonia are associated with greater craving among recently withdrawn patients in residential treatment for opioid use disorder. *Brain Research Bulletin*. 2022; 190: 32-41.
31. Krocze AM, Haeussinger FB, Fallgatter AJ, Batra A, Ehli AC. Prefrontal functional connectivity measured with near-infrared spectroscopy during smoking cue exposure. *Addiction Biology*. 2017; 22(2): 513-22.
32. Huhn AS, Brooner RK, Sweeney MM, Antoine D, Hammond AS, Ayaz H, Dunn KE. The association of prefrontal cortex response during a natural reward cue-reactivity paradigm, anhedonia, and demoralization in persons maintained on methadone. *Addictive Behaviors*. 2021; 113: 106673.
33. Montgomery C, Fisk JE, Roberts CA. Updating of working memory in ecstasy polydrug users: Findings from fNIRS. *Human Psychopharmacology*. 2017; 32(3).
34. Dakhili A, Sangchooli A, Jafakesh S, Zare-Bidoky M, Soleimani G, Batouli SAH, et al. Cue-induced craving and negative emotion disrupt response inhibition in methamphetamine use disorder: Behavioral and fMRI results from a mixed Go/No-Go task. *Drug and Alcohol Dependence*. 2022; 233: 109353.
35. Huang Y, Mohan A, De Ridder D, Sunaert S, Vanneste S. The neural correlates of the unified percept of alcohol-related craving: a fMRI and EEG study. *Scientific Reports*. 2018; 8(1): 923.
36. Morawetz C, Berboth S, Chirokoff V, Chanraud S, Misdrabi D, Serre F, et al. Mood Variability, Craving, and Substance Use Disorders: From Intrinsic Brain Network Connectivity to Daily Life Experience. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*. 2023; 8(9): 940-55.
37. Lucero Jones R, Zielinski M, Bradshaw S, Schleiden C, Shumway ST. The Effect of Past Abuse on PFC Recovery from an Alcohol Use Disorder. *Alcoholism Treatment Quarterly*. 2020; 38(3): 325-45.