

An Overview of Drugs Addiction Diagnosis Methods on Brain Activity and Structure Based on Electroencephalogram Signals**Atefeh Tobeiha^{1,2}, Neda Behzadfar^{1,2}, Mohamad Reza Yousefi^{1,3}, Assistant Professor, Homayoun Mahdavi-Nasab^{1,2}, Associated Professor**¹Department of Electrical Engineering- Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran²Digital Processing and Machine Vision Research Center- Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran³Smart Microgrid Research Center- Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
tobeihaatefeh@gmail.com, n.behzadfar@pel.iaun.ac.ir, mr-yousefi@iaun.ac.ir, mahdavinhasab@iaun.ac.ir**Abstract**

Drug addiction causes structural and functional changes in the human brain and can be considered a chronic disease. So far, various studies have been performed to examine addiction on the brain signal, which differs in terms of method, experimental conditions, samples, and results. A review of previous studies and experimental methods is necessary to better examine the issues and challenges in the design of addiction studies. The electroencephalogram (EEG) signal, as a non-invasive instrument, has the potential to monitor the functional and cognitive activity of the brain. EEG can be used to examine the relationship between changes in the brain caused by drug use. This article will review the changes in brain signals caused by substance use as well as after quitting drugs. The results show that the use of narcotic drugs reduces attention processing and causes functional disorders and brain abnormalities. In addicted people, an increase in the activity of the beta subunit and the second alpha subunit, a delay in the event, and a decrease in the amplitude of P300 have been observed. Also, the power ratio of alpha to theta subunit has decreased in T6 and a significant difference has been observed in the power ratio between delta subunit and alpha subunit. The findings showed that people's desire and history of drug consumption affect the power of the electroencephalogram signal. The neural activity in the sub-alpha band of people who quit an addiction is also significantly weaker in the parietal (BA3 and BA7), frontal (BA4 and BA6), and limbic.

Keywords: addiction, electroencephalogram, feature extraction, power spectrum, P300 component**Received:** 12 May 2023**Revised:** 10 September 2023**Accepted:** 4 October 2023**Corresponding Author:** Dr. Neda Behzadfar and Dr. Mohamad Reza Yousefi

<https://dorl.net/dor/20.1001>.....

مقاله مروری

مروری بر تأثیر اعتیاد به مواد مخدر بر روی عملکرد و ساختار مغز بر مبنای تحلیل سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام

عاطفه توبیها^{۱،۲}، دانشجوی دکتری، ندا بهزادفر^{۱،۲}، استادیار، محمدرضا یوسفی^{۱،۳}، استادیار، همایون مهدوی‌نسب^{۱،۲}،
دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۳- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

tobeihaatefeh@gmail.com, n.behzadfar@pel.iaun.ac.ir, mr-yousefi@iaun.ac.ir, mahdavinassab@iaun.ac.ir

چکیده: اعتیاد به مواد مخدر سبب ایجاد تغییرات ساختاری و عملکردی در مغز انسان می‌گردد و می‌توان آن را به عنوان یک بیماری مزمن در نظر گرفت. تاکنون مطالعات مختلفی جهت بررسی اعتیاد بر روی سیگنال الکتروانسفالوگرام (EEG) انجام شده که از نظر روش، شرایط تجربی، نمونه‌ها و نتایج متفاوت هستند. بررسی مطالعات قبلی و روش‌های تجربی جهت بررسی بهتر مسائل و چالش‌های موجود در طراحی مطالعات اعتیاد ضروری است. سیگنال الکتروانسفالوگرام، به عنوان یک ابزار غیرتهاجمی دارای توانایی بالقوه جهت بررسی فعالیت عملکردی و شناختی مغز است. از الکتروانسفالوگرام می‌توان جهت بررسی ارتباط تغییرات ایجاد شده در مغز در اثر مصرف مواد مخدر استفاده کرد. در این مقاله به بررسی تغییرات ایجاد شده در سیگنال الکتروانسفالوگرام در اثر مصرف مواد و همچنین پس از ترک مواد مخدر اشاره خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که مصرف مواد مخدر سبب کاهش پردازش توجه و ایجاد اختلالات عملکردی و ناهنجاری‌های مغزی می‌گردد. در افراد معتاد افزایش فعالیت زیرباند های بتا و دومین زیرباند آلفا، تأخیر در رخداد و کاهش دامنه P300 مشاهده شده است. همچنین نسبت توان زیرباند آلفا به تتا در T6 کاهش نشان داده و اختلاف معنا دار در زیرباند دلتا به زیرباند آلفا در نسبت توان مشاهده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که ولع و سابقه مصرف مواد افراد بر توان سیگنال الکتروانسفالوگرام تأثیر می‌گذارد. فعالیت عصبی در زیرباند آلفای افرادی که اعتیاد را ترک کرده‌اند نیز به‌طور معنی داری در لوب پاریتال (BA3 و BA7)، لوب فرونتال (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک (BA24) ضعیف‌تر است.

کلمات کلیدی: استخراج ویژگی، اعتیاد، سیگنال الکتروانسفالوگرام، طیف قدرت

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۲/۲۲

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۶/۱۹

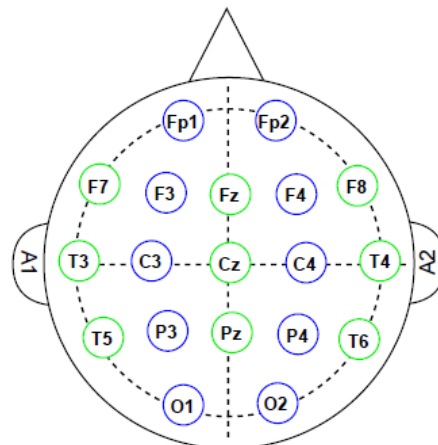
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۷/۱۲

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر ندا بهزادفر- دکتر محمدرضا یوسفی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: نجف‌آباد- بلوار دانشگاه- دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد- دانشکده مهندسی برق

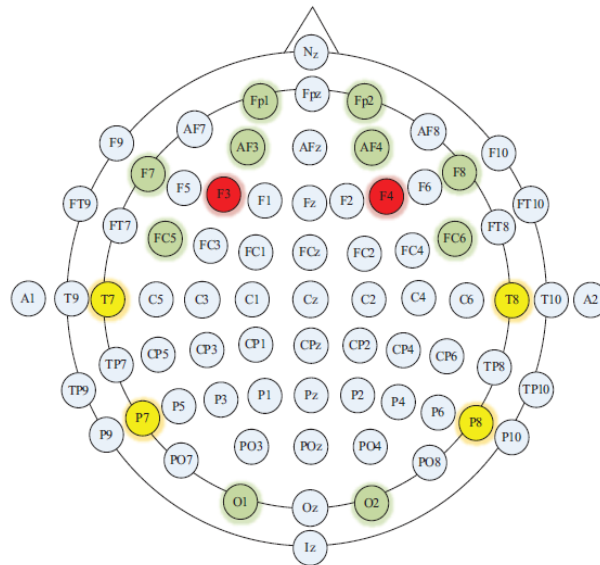
۱- مقدمه

امروزه اعتیاد به مواد مخدر به عنوان یک بیماری پیچیده شناخته می‌شود [۱،۲]. جوانب زیست شناختی، روان شناختی و اجتماعی موجود در بیماری اعتیاد سبب پیچیده شدن شناخت و در نتیجه درمان آن شده است [۳،۴]. اعتیاد به مواد مخدر در مدت زمان طولانی، بدن فرد معتاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۵،۶]. پیامدهایی مانند اختلال جنسی و روانی [۷،۸]، اختلال گوارش [۹،۱۰]، اختلال در عملکرد کبد و کلیه [۱۱،۱۲] و آسیب به عملکرد صحیح مغز [۱۳،۱۴] را می‌توان از جمله آثار زیان‌بار استفاده از مواد مخدر نام برد. مصرف مواد مخدر سیستم ارتباطی عصبی، پردازش اطلاعات توسط نورون‌ها و مغز را دچار نقصان می‌کند [۱۵،۱۶]. واسطه‌های عصبی در نواحی مختلف مغز، مخصوصاً ناحیه پاداش تحت تأثیر مصرف مواد مخدر قرار می‌گیرند و احساس لذت فراوان در فرد ایجاد می‌شود [۱۷،۱۸]. احساس لذت ایجاد شده به‌گونه‌ای است که سایر لذت‌های طبیعی، پاسخ‌گوی نیاز بخش پاداش در مغز نخواهد بود [۱۹،۲۰]. استفاده مزمین از مواد مخدر منجر به اختلالات طولانی مدت در عملکرد شناختی و تغییر در عملکرد سیستم عصبی مرکزی (CNS) می‌شود [۲۱،۲۲]. یافته‌های کلینیکی و تصویربرداری تأثیر مصرف هروئین^۵ بر کورتکس پیش‌پیشانی^۶ [۲۳،۲۴]، کورتکس اینسولار^۷ [۲۵،۲۶]، تالاموس [۲۷،۲۸]، هسته‌های اکامبنس^۸ [۲۹،۳۰] و ساختارهای حسی-حرکتی را تایید کرده‌اند [۳۱،۳۲]. تصاویر تشدید مغناطیسی^۹ (MRIs) کاهش چگالی ماده خاکستری در مناطق پیش‌پیشانی و گیجگاهی^{۱۰} را تایید کرده‌اند [۳۳،۳۴]. ماده خاکستری حاوی سلول‌های عصبی مغز است و کاهش چگالی آن می‌تواند به‌صورت مستقیم بر روی حافظه، کنترل عضله، درک حسی، احساسات، گفتار و توانایی‌های تصمیم‌گیری مغز تأثیر بگذارد [۳۵،۳۶]. سیگنال الکتروانسفالوگرام^{۱۱} (EEG) نشان دهنده فعالیت مغز است و هرگونه تغییر در فعالیت مغز بر روی الکتروانسفالوگرام اثر مستقیم دارد [۳۷،۳۸]. از آنجا که اعتیاد بر روی مغز فرد تأثیر می‌گذارد، با بررسی سیگنال الکتروانسفالوگرام می‌توان به تشخیص اعتیاد افراد پرداخت [۳۹،۴۰]. تأثیر اعتیاد در سیگنال مغزی در مرجع‌های [۴۱] و [۴۲] نیز تایید شده است. برای ثبت سیگنال‌های مغزی از استانداردهای مختلف استفاده می‌شود [۴۳،۴۴]. یکی از این استانداردها، استاندارد ۱۰-۲۰ است [۴۵،۴۶]. شکل‌های (۱) و (۲) یک نمونه از ثبت سیگنال مغزی در استاندارد ۱۰-۲۰ [۴۷،۴۸] و ۱۰-۱۰ را به ترتیب نشان می‌دهند [۴۹،۵۰]. سیگنال‌های EEG افراد در حالت‌های مختلف، همچون فرد سالم و یا معتاد متفاوت است. برای بررسی این تفاوت‌ها می‌توان از تجزیه سیگنال EEG به زیرباندهای مختلف استفاده کرد [۵۱،۵۲]. اگرچه می‌توان سیگنال EEG را به زیرباندهای فرکانس متفاوت تجزیه کرد، اما همه آنها جزئی از یک مجموعه پویا هستند که به‌صورت هماهنگ با هم کار می‌کنند [۵۳،۵۴]. این زیرباندها عبارتند از: زیرباند دلتا در بازه فرکانسی بین ۰/۵ تا ۳/۵ هرتز، زیرباند تتا در فرکانس بین ۴ تا ۷ هرتز، زیرباند آلفا در محدوده فرکانسی ۸ تا ۱۳ هرتز و زیرباند ریتم حسی حرکتی ۱۲ تا ۱۵ هرتز، زیرباندهای بتا در بازه فرکانس‌هایی از ۱۴ تا ۵۰ هرتز، زیرباند گاما در فرکانس ۳۰ هرتز به بالا وجود دارد [۵۵،۵۶]. شکل (۳) زیرباندهای استخراج شده از سیگنال الکتروانسفالوگرام از فرد سالم را نشان می‌دهد [۵۷،۵۸].

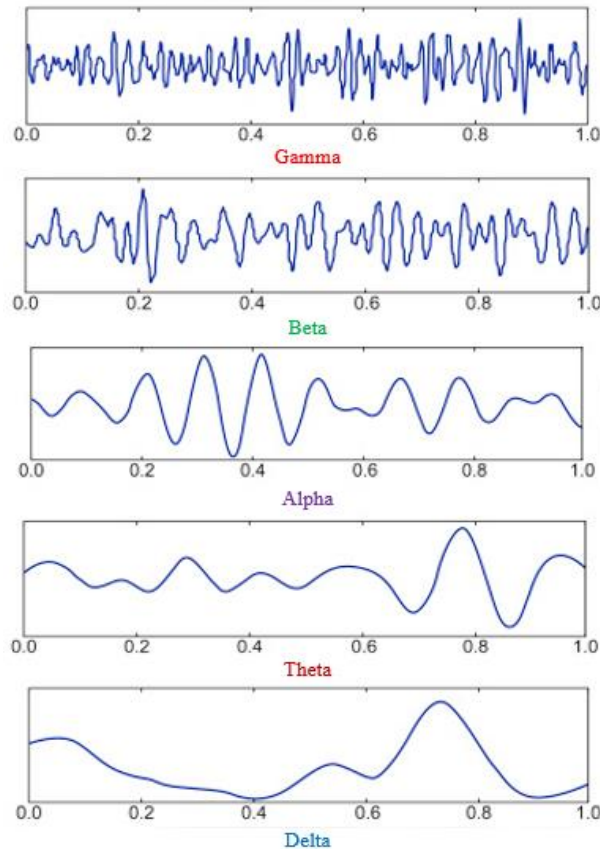


شکل (۱): یک نمونه از ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرام به کمک استاندارد ۱۰-۲۰

Figure (1): An example of electroencephalogram signal recording using standard 10-20

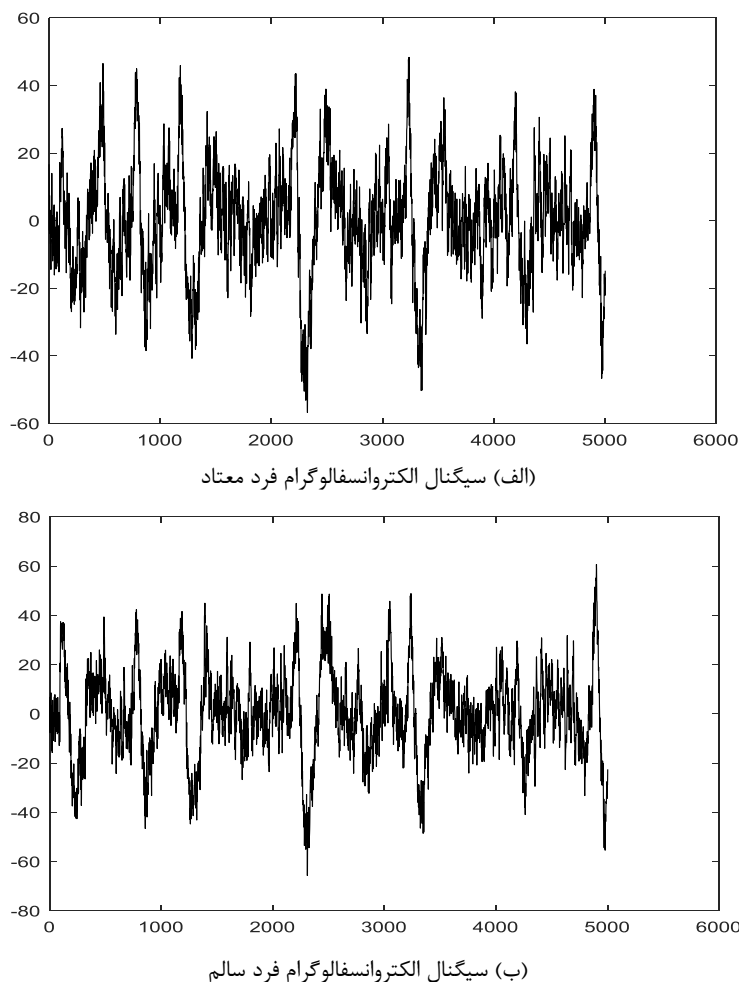


شکل (۲): یک نمونه از ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرام به کمک استاندارد ۱۰-۱۰
 Figure (2): An example of electroencephalogram signal recording using standard 10-10



شکل (۳): زیرباند‌های استخراج شده از سیگنال الکتروانسفالوگرام از فرد سالم
 Figure (3): Sub-bands extracted from EEG signal from healthy person

شکل (۴) یک نمونه از سیگنال EEG در فرد سالم و فرد معتاد را نشان می‌دهد [۵۹،۶۰]. همان‌گونه که قابل مشاهده است، تشخیص یک فرد معتاد از فرد سالم با بررسی چشمی سیگنال EEG، به دلیل مشابهت و البته پیچیدگی سیگنال امکان‌پذیر نیست [۶۱،۶۲]. هدف اساسی مطالعات مغز در تحقیقات اعتیاد ارزیابی تغییرات نوروفیزیولوژیک در افراد معتاد است [۶۳،۶۴].



شکل (۴): نمونه‌ای از سیگنال الکتروانسفالوگرام در فرد معتاد و فرد سالم

Figure (4): An example of an electroencephalogram signal in a healthy person and an addicted person and the extracted sub-bands, a) Electroencephalogram signal of an addicted person, b) Electroencephalogram signal of a healthy person

بر این اساس، پتانسیل‌های مربوط به رویداد^{۱۲} (ERP) که به کمک سیگنال الکتروانسفالوگرام اندازه‌گیری می‌شود، ارزیابی قابل اطمینان‌تری در مقایسه با اقدامات رفتاری جهت مطالعه تغییرات و پردازش اطلاعات ارائه می‌دهند. پتانسیل مربوط به رویدادها از دقت زمانی کافی جهت تشخیص فرآیندهای ادراکی و شناختی سریع که در اثر محرک‌ها رخ می‌دهند، بهره‌مند هستند [۶۵،۶۶]. تاکنون آزمایشات بالینی زیادی به بررسی تغییرات نوروالکتروفیزیولوژیک انسانی در اثر مصرف مواد انجام شده است [۶۷،۶۸]. اگرچه آزمایشات و پژوهش‌های بالینی برای ایجاد تمایز در افراد معتاد و سالم بسیار کمک‌کننده است، اما به نظر می‌رسد نمی‌تواند در تفکیک دقیق کارآمد باشد. روش‌های پردازش سیگنال در این مهم می‌تواند تاثیر تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. در راستای پردازش سیگنال EEG، با استخراج ویژگی به تفکیک افراد سالم و معتاد پرداخته شده است [۶۹،۷۰]. ویژگی‌های متفاوتی از جمله ویژگی‌های حوزه زمان، مکان، فرکانسی، تبدیلات چند رزلوشنه مانند تبدیل موجک و یا غیرخطی جهت تفکیک افراد سالم و معتاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷۱،۷۲]. پژوهش‌های متعددی در راستای تاثیر اعتیاد بر روی سیگنال الکتروانسفالوگرام و استخراج ویژگی در حوزه زمان و فرکانس و یا چند رزلوشنه انجام شده است [۷۳،۷۴].

برای استخراج ویژگی در حوزه فرکانس از سیگنال EEG روش‌های متعددی ارائه شده است. آنالیزهای حوزه فرکانس، همانند آنالیزهای حوزه زمان ضروری است. چرا که نمایش فرکانسی یک سیگنال EEG اطلاعات مفیدی را پیرامون الگوهای سیگنال EEG فراهم می‌آورد [۷۵،۷۶]. چگالی طیفی توان^{۱۳} (PSD) و همچنین PSD نرمال شده با توان کل معمولاً برای استخراج ویژگی‌هایی که توان بخش را در هر فرکانس نشان می‌دهند به کار برده می‌شود [۷۷،۷۸]. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از انرژی در حوزه فرکانس [۷۹،۸۰]، فرکانس میانگین وزن‌دار شدت^{۱۴} (IWMF) [۸۱،۸۲]، پهنای باند وزن‌دار شدت^{۱۵} (IWBW)

[۸۳، ۸۴]، فرکانس لبه طیف^{۱۶} (SEF) [۸۵]، آنتروپی طیفی^{۱۷} (SE) [۸۶، ۸۷]، فرکانس قله^{۱۸} [۸۸، ۸۹]، نسبت توان [۹۰، ۹۱] و پهنای باند [۹۲، ۹۳] است. جدول (۱) این ویژگی‌ها را نشان می‌دهد. ارتباط بین فرکانس‌های خاص الکتروانسفالوگرافی می‌تواند برای تشخیص تفاوت بین سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد سالم و معتاد به کار رود. تفاوت‌هایی در الگوهای فعالیت قشر مغز در افراد سالم و معتاد وجود دارد [۹۴]. یکی از فرکانس‌ها و امواج مغزی قابل ثبت پتانسیل وابسته به رویداد مغزی یا پتانسیل انگیخته^{۱۹} است که مجموعه‌ای از امواج مغزی قابل ثبت در سطح پوست هستند. این امواج همزمان با ارائه یک محرک مجزا بروز می‌شوند. سیگنال‌های وابسته به رویداد دارای دامنه کمی هستند که جهت بهبود کیفیت آن از میانگین‌گیری استفاده می‌شود. سیگنال زمینه‌ای با میانگین‌گیری حذف شده در حالی که سیگنال وابسته به رویداد حفظ می‌شود [۹۵]. این روال میانگین‌گیری، به ERP‌های دارای دامنه محدود اجازه می‌دهد به صورت نمودار کمی ولتاژ بر حسب زمان ترسیم گردند. به طور قراردادی این ERP‌ها عموماً مطابق نهفتگی و قطبیت‌شان نام گذاری می‌شوند. یکی از این موج‌ها که موضوع مطالعه‌های زیادی بوده است P3 یا P300 نامیده می‌شود چرا که هنگام بررسی در ERP میانگین‌گیری شده، به عنوان سومین موج مثبت پدیدار شده و از نهفتگی حدود ۳۰۰ میلی ثانیه برخوردار است [۹۶]. این مولفه‌ها برای تشخیص نقائص حسی در افراد معتاد بسیار مفیدند و می‌توانند در پژوهش‌های تشخیصی انواع مشکلات و اختلالات مورد استفاده قرار بگیرند [۹۷].

Table (1): Frequency characteristics extracted from electroencephalogram signal
جدول (۱): ویژگی‌های فرکانس استخراج شده از سیگنال الکتروانسفالوگرام

توضیحات	زیر مجموعه	مرجع
انرژی از برخی از بازه‌های فرکانس خاص استخراج می‌شود.	انرژی	[۹۸]
$IWMF(x) = \sum_k x(k)f(k)$	فرکانس میانگین وزن دار شدن	[۹۹]
$IWBW(x) = \sqrt{\sum_k [k](f[k] - IWMF(x))}$	پهنای باند وزن دار شدت	[۱۰۰]
$\sum_{k=0}^k x[k] = 0.01$	فرکانس لبه طیف	[۱۰۱]
$SE(x) = -\sum_k x[f] \log(1/x[f])$	آنتروپی طیفی	[۱۰۲]
از این معیار می‌توان برای تفکیک استفاده کرد.	فرکانس قله	[۱۰۳]
پهنای باند فرکانس غالب (حاکم) به صورت باند FWHM متناسب با قله فرکانس تعریف می‌شود.	پهنای باند	[۱۰۴]
توان عملکرد مغز در حالت و دوره غیرطبیعی معمولاً بزرگتر از حالت طبیعی آن است.	نسبت توان	[۱۰۵]

از طرف دیگر از آنجایی که الکتروانسفالوگرام منعکس کننده تعداد نورون‌هایی است که به صورت همزمان فعال می‌شوند. از آنجا که حجم مغز و ضخامت لایه کورتیکال به صورت مثبت با هوش رابطه دارد، می‌توان فرض کرد که توان الکتروانسفالوگرام ابزاری است که می‌تواند ظرفیت کار پردازش اطلاعات قشری را منعکس کند [۱۰۶، ۱۰۷]. البته باید این موضوع را نیز در نظر داشت که اندازه‌گیری توان تا حد زیادی به وسیله انواع متفاوتی از فاکتورها مثل ضخامت جمجمه یا حجم مایع مغزی نخاعی، فاکتورهای وابسته به تکنیک یا مدت تحت تأثیر است [۱۰۸، ۱۰۹]. اما عوامل مشخص تری مثل سن، انگیزه در طول کارکرد عملکرد واقعی بر روی آن موثر است. به نظر می‌رسد یکی دیگر از ابزارهای مناسب برای تشخیص در سیگنال طیف توان است [۱۱۰، ۱۱۱].

در این مقاله به بررسی آزمایشات نوروالکتروفیزیولوژیک انسانی انجام شده در تأثیر اعتیاد بر روی افراد اشاره می‌شود و بر اساس روش مورد استفاده و الگوهای ERP/EEG ارزیابی می‌شوند. همچنین یافته‌های مربوط به اختلالات شناختی و فعالیت‌های غیرطبیعی مغز به دلیل استفاده از مصرف مزمن مواد مخدر مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی ویژگی‌های سیگنال الکتروانسفالوگرام و تغییرات ERP‌های مربوط به جنبه‌های پردازش اطلاعات شناختی و عاطفی و ولع مصرف افراد مورد بررسی قرار گرفته است. با دانستن این تغییرات و تفاوت‌ها در افراد سالم و معتاد، می‌توان روش‌های تشخیصی مناسبی برای تفکیک افراد سالم و معتاد ارائه کرد. همچنین می‌توان برای ارائه پروتوکل‌های درمانی در نورفیدبک از آنها بهره گرفت. از برجستگی‌های این مطالعه می‌توان به موردهای زیر اشاره کرد:

- بررسی استخراج ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس از سیگنال الکتروانسفالوگرام

- بررسی تأثیر اعتیاد بر روی ویژگی‌های سیگنال الکتروانسفالوگرام
- بررسی در سه حوزه اختلال توجه، دینامیک ویژگی‌های استخراج شده، تأثیر در نواحی مختلف مغزی و زیرباند
- ارائه چند توصیه اساسی برای انجام تحقیقات آتی
در ادامه ساختار مقاله به این شرح است. پس از بیان مسئله و اهمیت موضوع در قسمت مقدمه، از آنجایی که به بررسی تغییرات روی سیگنال الکتروانسفالوگرام و همچنین در نواحی مختلف مغزی اشاره شده است، در بخش دوم تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر اعتیاد بر روی سیگنال الکتروانسفالوگرام از سه دیدگاه تغییرات اختلال توجه، تغییرات دینامیکی و تغییرات در نواحی ثبت بیان شده است. تجزیه و تحلیل نتایج در بخش سوم بیان شده است. در بخش چهارم نتیجه‌گیری آمده است.

۲- تأثیر اعتیاد بر سیگنال الکتروانسفالوگرام

اعتیاد به مواد مخدر معمولاً با ایجاد اختلالات روانی همراه است. به عنوان مثال، مصرف همزمان کوکائین با اختلال کمبود توجه بیش‌فعالی و یا مصرف همزمان هروئین با اختلال استرس پس از سانحه همراه است [۱۱۲، ۱۱۳]. در مرجع [۱۱۴] نشان داده شده که مصرف مواد مخدر ایجاد ناهنجاری‌های عملکردی به ویژه برای نوسانات عصبی زیرباند آلفا مخصوصاً بعد از ترک هروئین ایجاد خواهد کرد. همچنین گاهی اوقات، شدت علائم روان‌پزشکی ممکن است در نتیجه سوء مصرف مواد مخدر افزایش [۱۱۵، ۱۱۶] یابد. در مطالعات بی‌شماری تأثیر اعتیاد بر سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱۷، ۱۱۸]. تأثیر اعتیاد بر مغز از دیدگاه‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۱۹]. این تغییرات می‌تواند شامل اختلال توجه، دینامیک ویژگی‌های استخراج شده از الکتروانسفالوگرام، تأثیر در نواحی مختلف مغزی شامل کانال‌های مغزی و نیز زیرباند‌های استخراج شده از سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام باشد. یکی از راه‌های بررسی اختلال در توجه در اثر مصرف مواد مخدر بررسی مولفه P300 در الکتروانسفالوگرام است. همچنین برای بررسی و تحلیل دینامیک ویژگی‌ها، ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس از سیگنال استخراج می‌شود. در نهایت با بررسی این ویژگی‌ها، اختلاف بین نواحی مختلف مغزی و زیرباند‌ها به دست می‌آید. در ادامه این سه دسته تأثیر به‌طور مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- اختلال توجه

اختلال توجه به‌عنوان یکی از آسیب‌های مصرف مواد مخدر در معتادان بیان شده است. مولفه P300 استخراج شده از پتانسیل‌های مرتبط با رویداد می‌تواند جهت آشکارسازی توجه مورد استفاده قرار بگیرد. در مرجع [۱۲۰] مؤلفه P300 در افراد معتاد به هروئین، افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند و افراد سالم در حین آزمون حافظه کوتاه مدت را بررسی نموده‌اند. در هنگام ارزیابی مقدماتی حافظه کوتاه مدت، مؤلفه P300 در ۲۰ بیمار با سابقه وابستگی به مواد مخدر در گذشته (گذشتن حداقل ۶ ماه از ترک اعتیاد آنها)، در ۱۸ مصرف‌کننده فعلی هروئین و در ۲۰ فرد سالم که از نظر سن، جنسیت و میزان تحصیلات با یکدیگر مطابقت داشتند، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که افرادی که هروئین را ترک کرده بودند نسبت به دو گروه دیگر کاهش قابل توجهی از دامنه P300 در ناحیه جلویی مرکزی نشان داده‌اند. اگرچه در این تحقیق اطلاعات دموگرافیک و تأثیر آنها بر سیگنال‌های مغزی مورد بررسی قرار گرفته است، تنها مولفه P300 را مورد بررسی قرار داده است. این در حالی است که تأثیر اعتیاد روی سایر مولفه‌ها هم مشهود است.

در مرجع [۱۲۱] سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افرادی که اقدام به ترک هروئین کرده‌اند، بررسی شده است. در این تحقیق دامنه P300 مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در بررسی گروه افراد سالم و افرادی که ترک کرده‌اند نشان از نرمال شدن P300 ادامه روند ترک هروئین دارند. بررسی صورت گرفته در حوزه زمان و در دامنه سیگنال صورت گرفته است. سیگنال‌های EEG بسیار متأثر از نویز و آرتیفکت هستند، در نتیجه دامنه سیگنال EEG هم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اگرچه روش‌های پیش پردازشی می‌توانند اثر نویز و آرتیفکت را کم کنند، اما بازهم نتیجه بررسی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

در مرجع [۱۲۲] برای افرادی که کاملاً وابسته به کوکائین و هروئین بودند، P300 را مورد بررسی قرار دادند. سه گروه از داوطلبان مرد وابسته به مواد مخدر و کوکائین با استفاده از یک الگوی شنوایی قبل و بعد از ترک اعتیاد مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج

نشان داد زمانی که بیماران برای ترک اعتیاد حاضر می‌شوند هیچ اختلافی بین دامنه P300 افراد معتاد و داوطلبان سالم غیر وابسته به مواد مخدر وجود ندارد. با این حال، پس از دوره ترک اعتیاد، دامنه P300 در گروه وابسته به کوکائین و هروئین به‌طور قابل توجهی از گروه کنترل که افراد سالم غیر وابسته بودند، کمتر بود. درمان بوپرنورفین به‌طور قابل توجهی دامنه P300 را پس از ترک اعتیاد کاهش می‌داد در حالی که دامنه P300 افراد تحت درمان با دارونما همچنان مانند افراد افسرده بود. اثر دارونما به عنوان پدیده‌ای تعریف می‌شود که در آن برخی از افراد بعد از خوردن یک ماده غیر فعال، احساس خوبی پیدا می‌کنند. این داده‌ها نشان می‌دهد که درمان بوپرنورفین در از بین بردن اختلالات ناشی از ترک اعتیاد مؤثر است. این دارو اگرچه در رفع اعتیاد به مواد مخدر به خوبی عمل می‌کند، استفاده از آن اعتیاد آور است. ترک مصرف این دارو نیز با چالش همراه است. در مرجع [۱۲۳] ده نفر از افرادی که مصرف دارو و هروئین دارند و ده فرد سالم در مولفه P300 در سیگنال الکتروانسفالوگرام مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه مولفه P300 با مصرف دارو افزایش پیدا می‌کند. بررسی سایر مولفه‌ها و زیرباندها می‌تواند نتیجه بهتری را در پی داشته باشد.

در جدول (۲) به‌طور خلاصه مقایسه مطالعه اثر اختلال توجه روی الکتروانسفالوگرام در تعدادی از مطالعات گذشته آمده که نوع ویژگی آن دامنه مولفه P300 است. بررسی اطلاعات دامنه سیگنال‌های EEG می‌تواند بسیار تحت تاثیر نویز و ارتیفکت قرار گیرد، هرچند با روش‌های پیش پردازش بر این چالش می‌توان غلبه کرد، بازهم نتایج تحت تاثیر قرار می‌گیرد. استفاده از سایر ویژگی‌های حوزه زمان می‌تواند در بهبود نتایج کمک کننده باشد. از آنجایی که تاثیر اعتیاد به مواد مخدر در مولفه P300 بیشتر خود را نمایان می‌کند، پژوهش‌های انتخاب شده در جدول (۲) این مولفه را مورد بررسی قرار داده‌اند. این بررسی می‌تواند از دیدگاه تجزیه و تحلیل سیگنال باشد، یا از دیدگاه آنالیز آماری. این جدول هر دو حالت را پوشش داده است.

۲-۲- بررسی تغییرات سیگنال الکتروانسفالوگرام

تفاوت‌های عصبی بین افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند و گروه کنترل سالم را با استفاده از آنالیز دینامیکی غیرخطی و آنالیز محلی سازی منبع در داده‌های سیگنال الکتروانسفالوگرام قابل بررسی است. این کار با استخراج ویژگی‌های خطی و غیرخطی در حوزه زمان و فرکانس از سیگنال الکتروانسفالوگرام و مقایسه آنها در افراد معتاد و سالم صورت می‌گیرد [۱۲۴]. در مرجع [۱۲۵] با بررسی سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام در افراد معتاد دریافتند که نسبت توان زیرباند آلفا به تتا در T6 کاهش نشان داده است. این در حالی است که توان زیرباند بتا در T5 به ترتیب برای درک بصری و بهبود عملکرد تصویرسازی ذهنی افراد معتاد افزایش نسبی نشان داده است.

در مرجع [۱۲۶] به تجزیه و تحلیل سیگنال الکتروانسفالوگرام به کمک روش تبدیل فوری به سریع در افراد معتاد به هروئین، افرادی که اخیراً ترک کرده بودند و افراد عادی، با هدف مقایسه و توصیف ویژگی‌های هر گروه اشاره کرده‌اند. داده‌ها شامل ۶۰ ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرام از ۲۰ مصرف کننده فعلی هروئین، ۲۰ فردی که اخیراً ترک کرده بودند و ۲۰ فرد سالم بود. در این پژوهش به بررسی نسبت توان زیرباند دلتا به زیرباند آلفا پرداخته شده و نتایج نشان داده‌اند که افراد معتاد توان زیرباند آلفای بالاتری داشته‌اند. افرادی که ترک کرده بودند توان زیرباند آلفای آنها کاهش یافته و توان زیرباند دلتا و نسبت توان زیرباند دلتا به توان زیرباند آلفا در این گروه نسبتاً زیاد بود. نسبت توان زیرباند دلتا به زیرباند آلفا به عنوان تابعی از زمان از ابتدای ترک اعتیاد، کاهش می‌یافت. بین سیگنال الکتروانسفالوگرام افرادی که بیش از ۸۰ روز ترک کرده بودند و افراد سالم تغییر قابل توجه مشاهده نشده است.

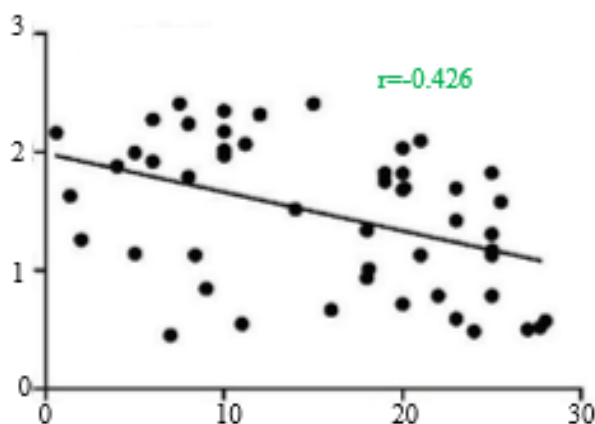
در مرجع [۱۲۷] به بررسی هم‌نوابی توان سیگنال الکتروانسفالوگرام بر روی ۱۸ فرد وابسته به هروئین و ۱۲ فرد سالم پرداختند. نتایج نشان داد که افراد وابسته به هروئین در مقایسه با گروه کنترل توان نسبی بتا ۲ و همبستگی گاما در نیمکره سمت چپ بیشتری دارند.

Table (2): Effect of attention disorder on electroencephalogram signal (P300 component amplitude feature type)

جدول (۲): اثر اختلال توجه روی سیگنال الکتروانسفالوگرام (نوع ویژگی دامنه مولفه P300)

مرجع	توصیف	مزایا	معایب	مشخصات پایگاه داده
[۱۲۰]	- بررسی مؤلفه P300 در افراد معتاد به هروئین و افرادی که ترک کرده‌اند در حین آزمون حافظه کوتاه مدت	- بررسی افراد از دیدگاه اطلاعات دموگرافیک مشابه مانند نظر سن، جنسیت و میزان تحصیلات	- بررسی صورت گرفته تنها در اطلاعات دامنه مولفه (P300) صورت گرفته است.	- ۲۰ فرد معتاد، ۲۰ فرد سالم
[۱۲۱]	- بررسی مؤلفه P300 در افراد معتاد به هروئین و افراد سالم	- بررسی جامع افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند.	- بررسی صورت گرفته تنها در اطلاعات دامنه مولفه (P300) صورت گرفته است.	- ۴۸ فرد معتاد، ۲۰ فرد سالم، ۵۹ فردی معتادی که هروئین را ترک کردند.
[۱۲۲]	- بررسی مؤلفه P300 در سه گروه افراد معتاد به هروئین، افرادی که ترک کرده‌اند و افراد سالم	- بررسی جامع افراد در سه گروه و نشان دادن تفاوت‌های آنان، بررسی اثر دارو روی مولفه P300	- بررسی افراد از دیدگاه اطلاعات دموگرافیک مشابه مانند نظر سن، جنسیت در نظر گرفته نشده است.	- ۱۵ فرد معتاد، ۱۱ فرد سالم
[۱۲۳]	- بررسی مؤلفه P300 در ویژگی دامنه	- بررسی جامع افرادی که هروئین مصرف می‌کنند.	- بررسی صورت گرفته تنها در اطلاعات دامنه مولفه (P300) صورت گرفته است.	- ۱۰ فرد معتاد به هروئین، ۱۰ فرد سالم

در مرجع [۱۲۸] با تمرکز بر روی دینامیک زمانی و ویژگی‌های فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام، به بررسی افراد معتاد پرداخته است. در این پژوهش، مشاهده شد که دامنه نوسانات فرکانس پایین^{۲۰} (ALFF) در افراد معتاد نسبت به افراد سالم غیروابسته به هروئین در قشر سینگولیت پشتی جلویی دو طرفه^{۲۱} (dACC)، قشر پیشانی میانی دو طرفه^{۲۲} (BMFC)، قشر جلوی جانبی پشتی سمت چپ^{۲۳} (dIPFC)، چرخه گیجگاهی میانی سمت چپ، چرخه گیجگاهی سمت چپ، قشر سینگولیت عقبی^{۲۴} و لوب سمت چپ کمتر است. همچنین افزایش ALFF در گوروس زاویه‌ای دو طرفه، فرض‌های دو طرفه، گوروس حاشیه ای دو طرفه، قشر پشتی سینگولیت سمت چپ و گوروس جلویی میانی سمت چپ مشاهده شد. علاوه بر این، افزایش نوسانات فرکانس پایین در لوب پاریتال دو طرفه ارتباط معنی دار مثبتی با دوز متادون مورد استفاده داشت. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاهش ALFF با مصرف هروئین در ارتباط است، با این وجود، افزایش ALFF در لوب پاریتال دو طرفه ممکن است از درمان متادون نتیجه شده باشد. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، طول مدت استفاده از هروئین در افراد معتاد به هروئین به‌طور معنی داری با ALFF در سمت راست شکنج زاویه‌ای همبستگی منفی دارد (p برابر ۰/۰۰۴ و r برابر ۰/۴۲۶).



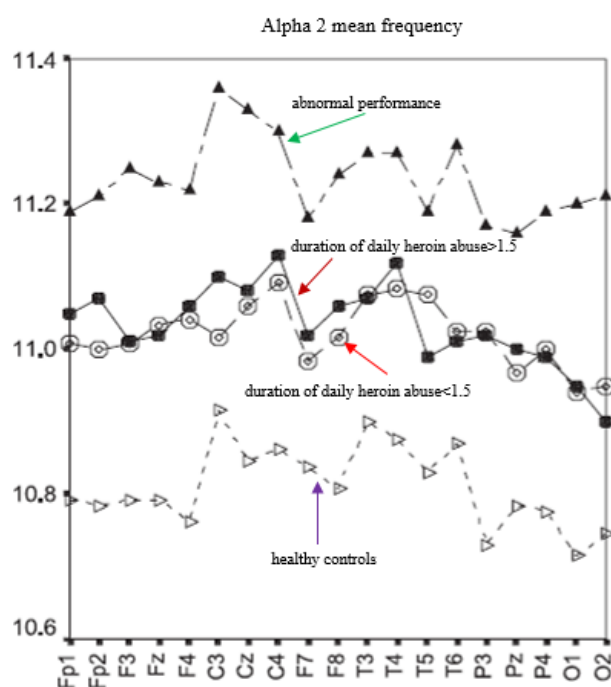
شکل (۵): نمودار پراکنندگی دو متغیره

Figure (5): Bivariate scatter plots

در مرجع [۱۲۹] توان نسبی و فرکانس مرکزی زیرباند آلفا (α) و بتا (β)، در افراد معتاد و افراد سالم بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان از تفاوت معنادار بین ویژگی‌های مورد نظر دیده می‌شود. تجزیه و تحلیل صورت گرفته سیگنال الکتروانسفالوگرام نشان از آن دارد که در بیش از ۷۰ درصد موارد، دامنه نسبتاً پایین از فعالیت زیرباند آلفا، افزایش فعالیت بتا و مقدار قابل توجه از امواج با دامنه کم در مناطق مرکزی مغز در این ویژگی دیده می‌شود. شکل (۶) فرکانس‌های میانگین آلفا ۲ در گروه‌های مورد مطالعه متفاوت توزیع شده‌اند. در گروه کنترل سالم، میانگین فرکانس آلفا ۲ در C3 در مقایسه با فرکانس‌های میانگین آلفا ۲ در اکثر مشتقات دیگر از جمله نزدیک‌ترین آنها F3، Cz، P3 به‌طور قابل توجهی بالاتر بود. با این حال، با این پارامتر EEG در لیدهای دورتر (T4 و T6).

در مرجع [۱۳۰] اثرات هروئین را روی مغز با مطالعه رابطه‌ها بین طیف توان و فرکانس میانگین الکتروانسفالوگرام و مدت استعمال هروئین مورد ارزیابی قرار دادند. افراد مورد مطالعه شامل ۳۳ شخص مصرف کننده هروئین (مدت زمان استعمال هروئین از ۴ تا ۴۴ ماه، مقدار تزریق شده در ورید از ۰/۰۴ تا یک گرم در روز، و مدت ترک اعتیاد از ۶ روز تا ۴/۵ ماه) و ۱۳ شخص سالم که از لحاظ سنی با افراد هروئینی مطابقت داشتند، بود. نتایج تحقیقات نشان داد تغییرات فرکانس در زیرباند آلفا ۲ در نواحی جلویی و مرکزی برجسته‌تر است و با مدت زمان مصرف هروئین در ارتباط است. کاهش میانگین فرکانس زیرباند آلفا یک در نواحی مرکزی، شقیقه‌ای و محوری برجسته‌تر بود که به طور عمده در افراد معتاد به هروئین که دوز بالایی از دارو را استفاده می‌کردند، مشاهده شد. طیف توان فعالیت‌های الکتریکی مغز در افراد بیمار با مدت ترک اعتیاد مطابقت داشت. نتایج حاضر زمینه را برای این فرض فراهم می‌آورد که مصرف هروئین زیاد باعث ایجاد تغییرات فرکانس نوسان عصبی می‌شود که ممکن است باعث پیشرفت روندهای غیراجتماعی شدن و برخی از اختلالات فرآیندهای معنایی در این بیماران می‌شود. در اوایل ترک مصرف هروئین ناهماهنگی در طیف توان سیگنال الکتروانسفالوگرام وجود دارد و طیف توان معمولاً بعد از چند هفته ترک مصرف هروئین به طور کامل عادی می‌شود.

در مرجع [۱۳۱] به بررسی تفاوت در زیرباند بتا (۲۲-۱۲ هرتز) و بررسی روابط فیزیولوژیکی و یا عملیاتی بین باندهای مختلف الکتروانسفالوگرام در افراد معتاد پرداخته شده است. همچنین نتیجه بررسی نشان از اختلاف عملیاتی بین باندهای مختلف الکتروانسفالوگرام در این افراد دارد.

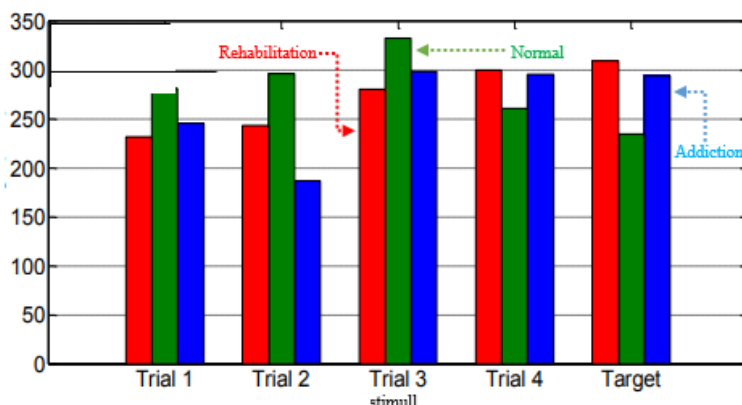


شکل (۶): توزیع میانگین فرکانس آلفا ۲ در ۱۹ لید

Figure (6): Average frequency distribution of alpha2 in 19 leads

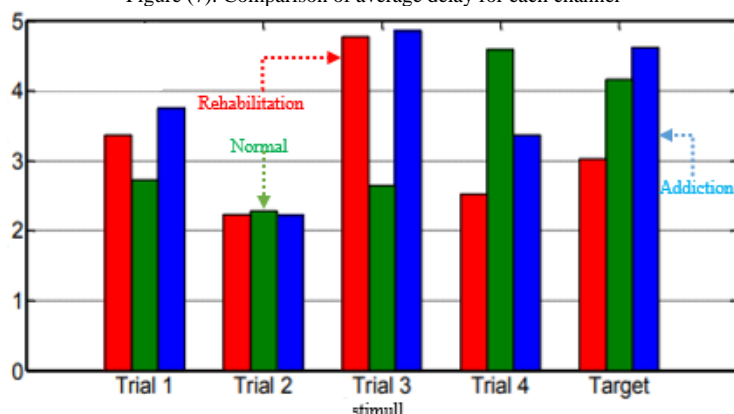
در مرجع [۱۳۲] ارتباط مستقیم زیرباند پایین آلفا در ناحیه مرکزی مغز در کانال‌های C3، C4 و CZ با مدت سوء مصرف هروئین در نیم‌کره راست مغز (کانال C4) نشان داده شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که عملکرد ساختاری مغز بلافاصله پس از شروع مصرف هروئین، ابتدا، نیم‌کره چپ را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سپس به نیم‌کره راست نیز گسترش می‌یابد. در مرجع [۱۳۳] نشان داده شده است که توان نسبی و فرکانس مرکزی زیرباندهای فرکانسی در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد معتاد در مقایسه با افراد سالم در زیرباندهای آلفا و بتا دارای تفاوت معنا داری است. در مرجع [۱۳۴] در بررسی‌های انجام شده در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام به این نتیجه رسیدند که در افراد معتاد به هروئین فعالیت پس زمینه ولتاژ کم با کاهش ریتم زیرباند آلفا، افزایش فعالیت بتا و زیاد شدن موج تتا و دلتا با دامنه کم در مناطق مرکزی وجود دارد.

در مرجع [۱۳۵] پس از استخراج مولفه P300، از تبدیل چند رزلوشنه موجک استفاده کرده است. هدف اصلی هم بررسی تغییرات در کانال‌های ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرام بوده است. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که کانال P3 در افرادی که هروئین مصرف می‌کنند، تغییرات بیشتری در تبدیل موجک آنها وجود دارد. شکل‌های (۷) و (۸) مقایسه میانگین تاخیر و دامنه مولفه P300 (اعتیاد، کنترل و توانبخشی) برای هر کانال است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آزمودنی‌های کنترل در مقایسه با سایر گروه‌ها تأخیر کمتری روی هدف دارند. بنابراین آزمودنی کنترل سریعتر در تصمیم‌گیری است و دیگران به زمان بیشتری برای تصمیم‌گیری نیاز دارند. در مقایسه با کنترل، سوژه اعتیاد به قدرت بیشتری برای تمرکز نیاز دارد. دامنه بالا توسط افراد معتاد و دامنه پایین توسط افراد توانبخشی ارائه می‌شود که نشان دهنده بیشتر بودن فعالیت‌های مغز گروه اعتیادآور است.



شکل (۷): مقایسه میانگین تاخیر برای هر کانال

Figure (7): Comparison of average delay for each channel



شکل (۸): مقایسه میانگین دامنه برای هر کانال

Figure (8): Comparison of mean amplitude for each channel

Table (3): Examining changes in the frequency characteristic of the electroencephalogram signal (type of characteristics in the time and frequency domain)

جدول (۳): بررسی تغییرات ویژگی فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام (نوع ویژگی حوزه زمان و فرکانس)

مرجع	توصیف	مزایا	معایب	پایگاه داده	نوع ویژگی
[۱۲۵]	- بررسی نسبی نسبت توان زیرباند آلفا به بتا در T5 و T6	- تعیین تفاوت بین افراد سالم و معتاد	- در نظر گرفتن تنها یک ویژگی (توان طیف)	- ۱۸ فرد معتاد، ۱۸ فرد سالم	- حوزه زمان و فرکانس
[۱۲۶]	- استفاده از روش تبدیل فوریه سریع در افراد معتاد به هروئین و افرادی ترک کردند	- تعیین تفاوت بین افراد سالم و افراد ترک کرده با بررسی تمام زیرباندها - جامعه آماری بزرگ به- منظور بررسی تفاوتها	- در نظر گرفتن تنه‌های یک ویژگی (توان طیف) - ناتوانی تبدیل فوریه سریع در تشخیص تغییرات در سیگنال مغزی	- ۲۰ فرد معتاد، ۲۰ فرد سالم، ۲۰ فردی معتادی که هروئین را تک کردند.	- استفاده از تبدیل فوریه و چگالی طیف توان
[۱۲۷]	- بررسی هم‌نوایی چگالی طیف توان سیگنال مغزی در تعیین تفاوت بین دو نیمکره	بررسی تمام زیرباندها برای تعیین تفاوت بین افراد سالم و معتاد در نیمکره‌ها	- بررسی تنها ویژگی هم‌نوایی توان سیگنال (یک ویژگی کافی نیست)	- ۱۸ فرد معتاد، ۱۲ فرد سالم	- چگالی طیف توان
[۱۲۸]	- دینامیک و ویژگی‌های فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام	- بررسی ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس در تمام نقاط سر و بخش‌های مغز - بررسی تاثیر مصرف دارو در افراد معتاد و سالم	- عدم تعیین میزان متادون مصرفی برای درمان	- ۵۱ فرد معتاد، ۴۰ فرد سالم	- حوزه فرکانس
[۱۲۹]	- بررسی توان نسبی و فرکانس مرکزی زیرباند آلفا و بتا	بررسی هم‌زمان دو ویژگی در حوزه فرکانس	- بررسی تفاوتها در افراد سالم و معتاد تنها دو زیرباند انجام شده است.	- ۳۳ فرد معتاد، ۱۲ فرد سالم، ۱۴ فرد معتاد ترک کرده	توان نسبی و فرکانس مرکزی
[۱۳۰]	- بررسی ارتباط بین طیف توان و فرکانس میانگین الکتروانسفالوگرام و مدت زمان استعمال هروئین	- بررسی تمام زیرباندها برای تعیین ارتباط	- در نظر گرفتن تنها یک ویژگی برای بررسی ارتباط	- ۲۰ فرد معتاد، ۱۲ فرد سالم	- بررسی چگالی طیف توان
[۱۳۱]	- توان نسبی و فرکانس مرکزی زیرباند آلفا و بتا	- بررسی تمام زیرباندها برای تعیین ارتباط	- فقط ویژگی فرکانس مرکزی بررسی شده است.	- ۳۳ فرد معتاد، ۱۳ فرد سالم	- فرکانس مرکزی
[۱۳۲]	- بررسی تفاوت در زیرباند بتا و بررسی روابط فیزیولوژیکی	- بررسی تاثیر فیزیولوژیکی و یا عملیاتی بین باندها	- بررسی تفاوت تنها دزیرباند بتا	- ۱۸ فرد معتاد، ۱۸ فرد سالم	- فرکانس مرکزی
[۱۳۳]	- زیرباند آلفا در بازه فرکانسی ۱۰ الی ۱۳ هرتز در لوب پیشانی و مرکزی	- بررسی ارتباط بین مقیاس هوشی و کسلر برای بزرگسالان و تغییرات قدرت سیگنال الکتروانسفالوگرام	- اختلال در نیمکره راست وجود دارد. ولی نیمکره چپ هم گاهی درگیر شده است.	- ۳۰ فرد معتاد، ۱۸ فرد سالم	- طیف توان
[۱۳۴]	- بررسی افراد معتاد به هروئین فعالیت پس زمینه ولتاژ	- مصرف مواد مخدر در کانال‌های سیگنال مغزی، بررسی تمامی نواحی سر در تمام زیرباندهای موجود	- بررسی تفاوتها با پتانسیل‌های برانگیخته، عدم کارایی ویژگی پس زمینه ولتاژ کم	- ۱۹ فرد معتاد، ۱۴ فرد سالم	- طیف توان
[۱۳۵]	- بررسی تبدیل چند رزولوشن موجک در مؤلفه P300 در ویژگی دامنه	- بررسی جامع افرادی که هروئین مصرف می‌کنند.	- بررسی صورت گرفته تنها تبدیل موجک اعمال شده روی (P300) صورت گرفته است.	- ۱۰ فرد معتاد به هروئین، ۱۰ فرد سالم	- اطلاعات چند رزولوشن حاصل از تبدیل موجک مؤلفه P300
[۱۳۶]	- بررسی توان نسبی و فرکانس مرکزی زیرباندهای فرکانسی	- بررسی تمامی نواحی سر، در تمام زیرباندهای موجود.	- بررسیها تنها در یک ویژگی صورت گرفته است.	- ۱۹ فرد معتاد به هروئین، ۱۹ فرد سالم	- طیف توان فرکانس در مؤلفه P300 و P600s

در مرجع [۱۳۶] با استخراج مولفه P300 و P600 به بررسی طیف توان در این مولفه‌ها پرداخته است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که طیف توان فرکانسی در زیرباند آلفا ۲ در نواحی جلویی و مرکزی بزرگتر از سایر بخش‌ها است. همچنین تفاوت فاحش بین افراد سالم و معتاد در این ناحیه دیده می‌شود. در جدول (۳) به‌طور خلاصه مقایسه مطالعه اثر تغییرات سیگنال الکتروانسفالوگرام در مطالعات انجام شده آمده است. بر اساس نتایج ارائه شده، اگرچه ویژگی‌های متعددی برای ویژگی‌های فرکانس خطی و غیرخطی در نظر گرفته شده است، با این حال چالش اصلی تبدیل فوریه، یعنی عدم کارایی برای سیگنال‌های غیر ایستاد مطرح است. برای غلبه بر این چالش در این پژوهش‌ها سیگنال‌های EEG به بازه‌های کوتاه زمانی و دارای هم‌پوشانی تقسیم‌بندی می‌شوند، اما به نظر می‌رسد تبدیل‌های چند رزولوشن مانند تبدیل موجک و تبدیل فوریه نسخه کوتاه می‌تواند بررسی موثرتری انجام دهد.

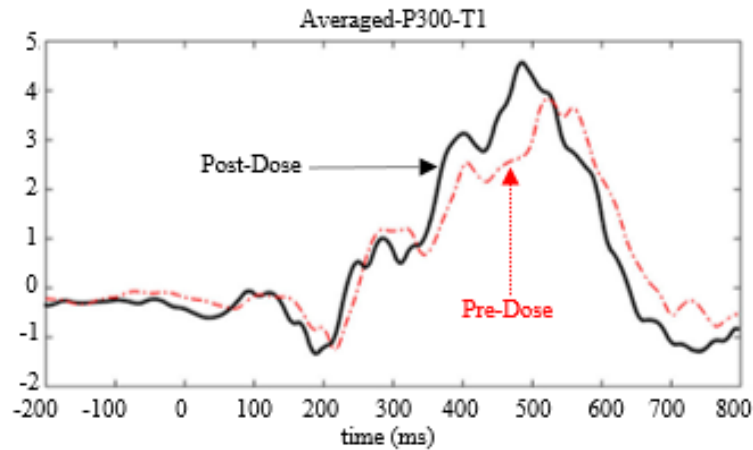
۲-۳- تغییرات در نواحی مغزی

همان‌گونه که بیان شد سیگنال الکتروانسفالوگرام الکتروانسفالوگرام، یک ابزار قابل اعتماد برای ارزیابی تغییرات مناطق تحت تأثیر در مصرف مواد مخدر است [۱۳۷، ۱۳۸].

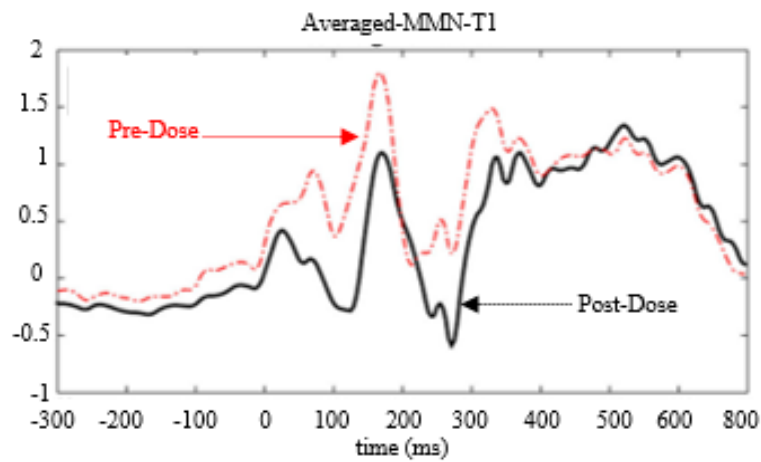
در مرجع [۱۳۹] تفاوت ایجاد شده در اثر مصرف مواد مخدر در کانال‌ها و زیرباندهای سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام ثبت شده از افراد معتاد و سالم مطالعات متعددی صورت گرفته است. به‌صورت خلاصه می‌توان بیان کرد که در نواحی مرکزی (کانال‌های C3، C4 و CZ) مغز افراد معتاد به هروئین نسبت به افراد سالم موج آهسته پتانسیل‌های برانگیخته دارای بیشینه دامنه است. بررسی رفتار تکنانشی حالت استراحت معتادان به هروئین مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه تمامی نواحی سر در این بررسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان از تغییر در نواحی C3، C4 و CZ در مغز افراد معتاد به هروئین در مقایسه با افراد سالم دارای موج آهسته پتانسیل‌های برانگیخته بیشتری هستند.

در مرجع [۱۴۰] ویژگی‌های غیرخطی در زیرباند آلفا در حالت استراحت در افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند در مقایسه با گروه سالم، مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده در افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند نوسانات نامنظم نوروها سبب دینامیک غیرخطی بالاتر خواهد شد. نتایج آنالیز غیرخطی با استفاده از ویژگی‌های ابعاد همبستگی، آن‌تروپی کولوموگروف و پیچیدگی لمپل زیو نشان داد که سیگنال الکتروانسفالوگرام در زیرباند آلفای افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند به‌طور معنی داری نامنظم‌تر است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فعالیت‌های عصبی در زیرباند آلفای افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند به‌طور معنی داری در لوب پاریتال^{۲۵} (BA3 و BA7)، لوب فرونتال^{۲۶} (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک^{۲۷} (BA24) ضعیف‌تر است. بنابراین پس از ترک هروئین ناهنجاری‌های عملکردی در مغز به ویژه برای نوسانات عصبی زیرباند آلفا ایجاد می‌شود. برای بررسی اثرات حاد و کوتاه مدت دوز متادون، جلسه‌های EEG در دو بازه زمانی T1 و T2 ثبت شده است. یکی در هفته اول درمان نگهدارنده متادون و دومی بعد از ۱۰ هفته. در هر بازه، دو جلسه EEG با استفاده از پارادایم توصیف شده ثبت شده است. میانگین آزمایش‌های پتانسیل مرتبط با رویداد قبل و بعد از مصرف متادون در فاصله زمانی T1 که نشان دهنده افزایش میانگین دامنه پتانسیل مرتبط با رویداد در پس از دوز در مقایسه با اندازه‌گیری قبل از دوز است، در شکل (۹) نشان داده شده‌اند.

در مرجع [۱۴۱] ایجاد اختلالاتی در مخچه جلویی و مدارهای پیشانی-مختلط در افراد وابسته به هروئین مشاهده شد که نشان‌دهنده ایجاد عدم تعادل بین فعالیت عصبی محلی و شبکه ارتباطی نوروها است. در این تحقیق فعالیت‌های غیرطبیعی در لوب پس سری، راست آهیانه، گیجگاهی و پیشانی افراد معتاد به مواد مخدر در مقایسه با افراد سالم اثبات شده است. این تأثیر به تدریج با مصرف بیشتر مواد و اجباری شدن مصرف مواد بیشتر می‌شود. اتصالات کارکردی^{۲۸} (FC) قوی‌تری را بین هسته اکومبنس^{۲۹} (NAc) و هر دو جنبه شکمی/شکلی قشر سینگولیت قدامی^{۳۰} (ACC) و قشر مداری داخلی پیشانی^{۳۱} (OFC) و همچنین بین OFC جانبی و آمیگدال در افراد معتاد مقایسه با گروه کنترل گزارش شده است. در جدول (۴) مرور پژوهش‌های صورت گرفته مزایا معایب هر کدام در بررسی تغییرات در نواحی مغزی و زیرباندها نشان داده شده است. لازم به ذکر است که همبستگی بین نواحی مغزی و تأثیر نواحی بر یکدیگر در افراد معتاد به هروئین در این پژوهش‌ها لحاظ نشده است. آنالیزهای مبتنی بر چند ویژگی هم می‌تواند نتیجه تجزیه و تحلیل را بهبود دهد.



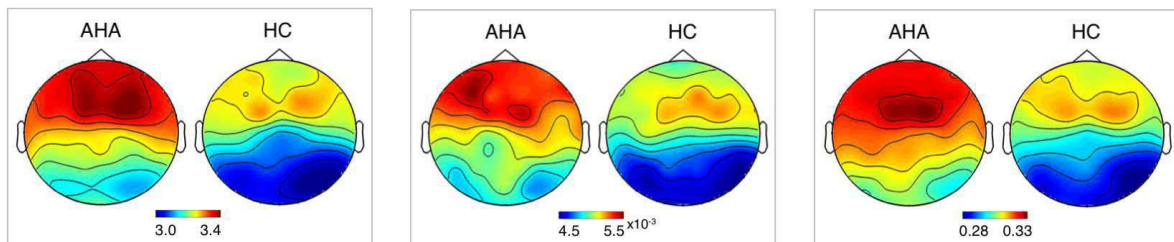
(الف) متوسط مولفه P300



(ب) متوسط مولفه منفی ناساگاری

شکل (۹): میانگین آزمایش پتانسیل مرتبط با رویداد برای اندازه‌گیری قبل و بعد از دوز در فاصله زمانی T1

Figure (9): Mean test event-related potential for pre- and post-dose measurements at time interval T1



شکل (۱۰): مقایسه تغییرات ایجاد شده در نواحی مختلف سر در مقایسه با فرد معتاد

Figure (10): Comparison of the changes made in different areas of the head compared to an addicted person

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

یک ابزار برای بررسی تغییرات مغزی در افراد سالم و معتاد، سیگنال الکتروانسفالوگرام است. مطالعات و پژوهش‌های متعددی با استفاده از سیگنال الکتروانسفالوگرام بر روی افراد معتاد به انواع مختلف صورت گرفته است. در این مطالعه، مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تاثیر اعتیاد بر روی سیگنال الکتروانسفالوگرام انجام شده است. جدول (۵) نتایج را به‌طور مختصر نشان می‌دهد. این بررسی به‌صورت بررسی اثر اختلال توجه روی سیگنال الکتروانسفالوگرام، تغییرات ویژگی فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام و تغییرات در نواحی مغزی و زیرباند‌ها صورت گرفته است.

Table (4): Examination of changes in brain areas and sub-bands

جدول (۴): بررسی تغییرات در نواحی مغزی و زیرباند‌ها

مرجع	توصیف	مزایا	معایب	مشخصات پایگاه داده	نوع ویژگی
[۱۳۹]	- بررسی تفاوت ایجاد شده در اثر مصرف مواد مخدر در کانال‌ها و زیرباند‌های سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام	- ارائه آنالیز غیرخطی به صورت جامع در تمام زیرباند‌ها - بررسی تمام نواحی مغزی	- ویژگی‌های مبتنی بر آنالیز غیرخطی تنها در حوزه زمان استخراج شده است.	- ۳۳ فرد معتاد، ۱۳ فرد سالم	- آنالیز غیرخطی در حوزه زمان
[۱۴۰]	- بررسی ویژگی‌های غیرخطی در زیرباند آلفا در حالت استراحت در افرادی که هروئین را ترک کرده‌اند و افراد سالم	- نواحی تحت تأثیر در این تحقیق به صورت کامل تعیین شده است. - بررسی اتصالات در تمام نواحی مغزی	- بررسی‌ها تنها در زیرباند آلفا صورت گرفته است.	- ۱۸ فرد معتاد، ۱۸ فرد سالم	- توان نسبی
[۱۴۱]	- بررسی ایجاد اختلالاتی در مخچه جلویی و مدارهای پیشانی-مخطط	- اثبات ارتباط فعالیت عصبی محلی و شبکه ارتباطی نورون‌ها	- نواحی مغز با یکدیگر در عملکرد همبستگی دارند، در این تحقیق همبستگی در نظر گرفته نشده است.	- ۱۷ فرد معتاد، ۱۵ فرد سالم	- همبستگی زمانی

Table (5): summary of the results analysis

جدول (۵): خلاصه تجزیه و تحلیل نتایج

بررسی نوع تغییر	نتیجه حاصل شده
- اثر اختلال توجه روی سیگنال الکتروانسفالوگرام	- کاهش دامنه P300 در حین مصرف و افزایش پس از ترک - افزایش دامنه P300 در صورت استفاده مجدد از مواد مخدر در زیرباند‌های بتا و دومین زیرباند آلفا
- تغییرات ویژگی فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام	- اثبات تغییرات طیف توان در افراد معتاد به هروئین حتی پس از ترک - کاهش دامنه نوسانات فرکانس پایین - رابطه معنادار بین توان طیف و فرکانس میانگین الکتروانسفالوگرام و مدت استعمال هروئین
- تغییرات در نواحی مغزی و زیرباند‌ها	- فعالیت عصبی ضعیف در زیرباند آلفا در لوب پاریتال (BA3 و BA7)، لوب فرونتال (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک (BA24) - افزایش دامنه نوسانات در افراد معتاد در سمت راست نواحی از تمپورال و فرونتال - کاهش دامنه در نواحی همچون قشر خلفی شامل سمت چپ اکسیپیتال پریئوس

نمایش تغییرات در ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال EEG و همچنین تأثیر در نواحی مختلف در شکل (۱۰) نشان داده شده که نتایج ارزیابی برای سه آزمون مختلف است. همانگونه که مشاهده می‌شود در مقایسه با فرد سالم HC، در فرد معتاد AHA تغییرات ایجاد شده نشان از تأثیر بالای مواد مخدر در فرد دارد. تغییرات ویژگی فرکانسی سیگنال الکتروانسفالوگرام مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که پیداست، در تمامی موارد تغییرات مورد نظر متمایل به رنگ قرمز در ناحیه فرونتال مشاهده می‌شود. نتایج نشان داده شده با مطالعات مربوطه و نتایج بدست آمده در جدول (۵) مطابقت دارد. فعالیت عصبی در بخش پاریتال (BA3 و BA7)، لوب فرونتال (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک (BA24) در تصاویر برای آزمودنی‌ها قابل رویت است. همچنین در نواحی سمت راست نواحی از تمپورال و فرونتال تغییرات مشاهده می‌شود که در این شکل مشهود است. ساختار سیگنال الکتروانسفالوگرام در زیرباند‌های مختلف در نواحی مختلف مغز، در پژوهش‌های انجام شده بررسی شده است. برای بررسی سیگنال الکتروانسفالوگرام در افراد سالم و معتاد، ویژگی‌هایی همچون دامنه P300، طیف توان فرکانسی، تغییرات فرکانسی در دامنه در زیرباند‌های مختلف، توان موجود در زیرباند‌های مختلف در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. قابل بیان است که این ویژگی‌ها از نواحی مختلف و در زیرباند‌های مختلف استخراج می‌شوند. به‌منظور بررسی تفاوت‌ها در

زیرباند‌ها و نواحی مختلف قرارگیری الکتروود، از روش‌های آماری یا سایر روش‌ها همچون بررسی اتصالات بین نواحی استفاده شده است. آنچه از نتایج این پژوهش‌ها مشخص است، اختلاف‌هایی بین نواحی و همچنین زیرباند‌ها در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد سالم و معتاد وجود دارد. این اختلاف می‌تواند بسیار فاحش و یا حتی اندک باشد. تفاوت‌های موجود هم در افرادی که اعتیاد به مواد مخدر را ترک کرده‌اند، و هم در افرادی که در حال مصرف هستند در مقایسه با افراد سالم وجود دارد. برای نمونه در مرور صورت گرفته روی پژوهش‌ها، مشهود است که دامنه P300 در دوره ترک افراد، کاهش قابل توجهی داشته است. همچنین در صورت استفاده مجدد، دامنه P300 افزایش نشان داده است. همچنین بررسی‌ها حاکی از افزایش دامنه P300 در صورت استفاده مجدد از مواد مخدر در زیرباند‌های بتا و دومین زیرباند آلفا بوده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان تمایل افراد و بازه زمانی مصرف مواد نیز روی توان سیگنال الکتروانسفالوگرام اثر گذار است. فعالیت عصبی بسیار ضعیف‌تری در زیرباند آلفا در لوب پاریتال (BA3 و BA7)، لوب فرونتال (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک (BA24) را ترک کرده‌اند، مشاهده شده است. پژوهش‌ها نشان از کاهش دامنه نوسانات فرکانس پایین در افراد معتاد دارد. این در حالی است که کاهش دامنه در نواحی همچون قشر خلفی شامل سمت چپ اکسیپیتال پریئتوس مشاهده شده است. در بررسی‌های صورت گرفته افزایش دامنه نوسانات در افراد معتاد نیز دیده شده است. این افزایش در سمت راست نواحی از تمپورال و فرونتال وجود دارد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با مصرف داروهای مرتبط با اعتیاد و بهبود علائم اعتیاد در آن نیز اثبات شده است. بنابراین مصرف مواد بر روی سیگنال الکتروانسفالوگرام افراد تاثیر می‌گذارد.

علاوه بر تفاوت الکتروانسفالوگرام در نواحی مختلف سر، تفاوت در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد سالم و معتاد در زیرباند‌های مختلف هم مشاهده شده است. در افراد معتاد نسبت توان زیرباند آلفا به بتا در T6 کاهش نشان داده است. در بررسی توان طیف، اختلاف معنا دار در زیرباند دلتا به زیرباند آلفا مشاهده شده است. این تفاوت‌ها در افرادی که اعتیاد را ترک کرده‌اند در کاهش توان طیف زیرباند آلفا مشهود است. همچنین توان طیف و فرکانس میانگین الکتروانسفالوگرام و مدت استعمال هروئین نیز با هم رابطه معناداری نشان می‌دهند. هر پژوهش سطح معناداری را بر اساس شرایط موجود جامعه آماری متفاوت در نظر گرفته است. سطح معناداری بر اساس شرایط جامعه آماری ممکن است مقدار ۰/۰۵ یا ۰/۰۱ باشد. از آنجایی که در هر پژوهش، بسته به جامعه آماری مورد نظر این مقدار متفاوت است، تنها به بیان معنا داری بسنده شده است. تغییرات فرکانسی در زیرباند آلفا ۲ در نواحی جلویی و مرکزی برجسته‌تر بوده و با مدت زمان مصرف هروئین در ارتباط است. از طرفی دیگر کاهش میانگین فرکانس زیرباند آلفا ۱ در نواحی مرکزی، شقیقه‌ای و محوری در افرادی که اعتیاد بیشتری دارند، بسیار مشهود بوده است. تفاوت‌های موجود در سیگنال الکتروانسفالوگرام در تجزیه و تحلیل دینامیکی غیرخطی و آنالیز محلی هم قابل مشاهده است. تفاوت‌های موجود نشان از بالاتر بودن نوسانات نامنظم نوروها در دینامیک غیرخطی دارد. ویژگی‌هایی مثل ابعاد همبستگی، آنتروپی کولوموگروف، پیچیدگی لمپل زیو در زیرباند آلفا برای اثبات این بی‌نظمی استفاده شده است.

۴- نتیجه‌گیری

هنگامی که تغییر در سیستم عصبی رخ می‌دهد، تغییر مرتبط با آن در رفتار یا عملکرد روانی مانند یادگیری، حافظه، اعتیاد، بلوغ، و بهبودی معمولاً اتفاق می‌افتد. مصرف مواد مخدر بر روی قسمت‌های مختلف بدن تاثیرهای خاص خود را دارد. مهمترین اثر مصرف مواد مخدر در بدن انسان روی مغز نمایان می‌شود. یکی از راه‌های بررسی این تاثیرها در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام، زیرنظر قرار دادن سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام است که نیاز به استخراج ویژگی دارد. هدف این مقاله بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در تاثیر اعتیاد بر روی سیگنال‌های مغزی افراد معتاد به هروئین است. تشخیص تفاوت بین سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام افراد سالم و معتاد با بررسی ارتباط بین فرکانس‌های خاص الکتروانسفالوگرافی دارد امکان پذیر است. همچنین ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس از سیگنال الکتروانسفالوگرام در افراد معتاد و سالم متفاوت است. در این مقاله تاثیر اعتیاد بر الکتروانسفالوگرام بر روی این ویژگی‌ها از سه دیدگاه اختلال توجه، بررسی دینامیک ویژگی‌های استخراج شده، و تاثیر در نواحی مختلف مغزی و زیرباند‌ها تحلیل شده است. شناختن تغییرات و تفاوت‌های ایجاد شده در سیگنال‌های مغزی افراد معتاد و مقایسه با افراد سالم، می‌تواند در ارائه روش‌های تشخیصی در تفکیک افراد سالم و معتاد کمک کننده باشد. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که

در اثر مصرف مواد مخدر، پردازش توجه و اختلالات عملکردی و ناهنجاری‌های مغزی ایجاد می‌شود. اختلالات عملکردی شامل اختلال توجه است. بررسی اختلال در توجه در اثر مصرف مواد مخدر با بررسی مولفه P300 در الکتروانسفالوگرام صورت می‌گیرد. نتایج بررسی مقالات حاکی از آن است کاهش قابل توجهی در دامنه P300 در ناحیه جلویی مرکزی در افرادی که هروئین را ترک کرده اند مشاهده شده است. همچنین دامنه P300 افرادی که در روند ترک قرار می‌گیرند با گذشت زمان به حالت نرمال نزدیک می‌شود. از آنجایی که اطلاعات دامنه سیگنال مغزی بسیار تحت تأثیر نویز قرار می‌گیرد، برای بررسی بیشتر اطلاعات سیگنال، از اطلاعات حوزه فرکانس می‌توان استفاده کرد. ویژگی‌های فرکانس خطی و غیرخطی برای بررسی تغییرات در افراد سالم و معتاد در نظر گرفته شده است. هر چند تبدیل فوری از یک چالش بسیار مهم یعنی عدم کارایی برای سیگنال‌های غیر ایستان، گریز ناپذیر است. از این رو تبدیل موجک گسسته و خانواده آن برای بررسی‌های بیشتر در تغییرات ایجاد شده در سیگنال مغزی توصیه می‌شود. تغییرات در سیگنال‌های مغزی با افزایش فعالیت در زیرباند‌های بتا و دومین زیرباند آلفا در رخداد و کاهش دامنه P300، تأثیر بر توان سیگنال الکتروانسفالوگرام و اثر در لوب‌های مختلف مغزی همراه است. نتیجه بررسی پژوهش‌های پیشین نشان از تغییرات در سیگنال مغزی فرد معتاد به هروئین با کاهش در نسبت توان زیرباند آلفا به بتا در T6 دارد. این اختلاف معنا دار در زیرباند دلتا به زیرباند آلفا نیز همراه است. همچنین نتایج بررسی پژوهش‌ها نشان از این موضوع دارد توان سیگنال الکتروانسفالوگرام تحت تأثیر ولع و سابقه مصرف مواد قرار دارد. تأثیر استفاده مواد مخدر حتی با ترک نیز از بین نمی‌رود و تنها کاهش پیدا می‌کند به گونه‌ای که فعالیت عصبی افرادی که ترک کرده‌اند در زیرباند آلفای به‌طور معنی داری در لوب پاریتال (BA3 و BA7)، لوب فرونتال (BA4 و BA6) و لوب لیمبیک (BA24) ضعیف‌تر است. با توجه به مطالعه انجام شده پیشنهاد می‌گردد که تحقیقات در زمینه طراحی پروتکل درمانی با نورو فیدبک انجام شود و از داده‌های این تحقیق استفاده گردد. همچنین می‌توان از مولفه P300 به عنوان ویژگی مورد استفاده در نروفیدبک برای درمان افراد معتاد استفاده نمود. گسترش روش یادگیری ماشین برای تست افراد معتاد با استفاده از سیگنال مغزی در ناحیه مشخص شده می‌تواند مورد علاقه محققان قرار گیرد. همبستگی بین نواحی مغزی و تأثیر نواحی و نیز تأثیر زیرباند‌های مختلف بر یکدیگر در افراد معتاد به هروئین چالشی است که در مقالات به آن پرداخته نشده است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دوره دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد است. نویسندگان لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاران حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی و داوران محترم که ما را در انجام و ارتقای کیفی این مقاله یاری نموده‌اند، اعلام نمایند

References

مراجع

- [1] Y. Olsen, "What is addiction? History, terminology, and core concepts", *Medical Clinics of North America*, vol. 106, no. 1, pp. 1-12, Jan. 2022 (doi: 10.1016/j.mcna.2021.08.001).
- [2] A. Sanna, L. Fattore, P. Badas, G. Corona, M. Diana, "The hypodopaminergic state ten years after: transcranial magnetic stimulation as a tool to test the dopamine hypothesis of drug addiction", *Current Opinion in Pharmacology*, vol. 56, pp. 61-67, Feb. 2021 (doi: 10.1016/j.coph.2020.11.001).
- [3] A.P. Meysamie, B. Faramarzi, K.H. Naieni, "How addicts think about addiction and community problems?" , *Tehran University Medical Journal*, vol. 64, no. 5, pp.34-43, Jan. 2006.
- [4] E.J. Hawkins, J.S. Baer, D.R. Kivlahan, "Concurrent monitoring of psychological distress and satisfaction measures as predictors of addiction treatment retention", *Journal of Substance Abuse Treatment*, vol. 35, no. 2, pp. 207-216, Sept. 2008 (doi: 10.1016/j.jsat.2007.10.001).
- [5] M.Y. Melnikov, "The current evidence levels for biofeedback and neurofeedback interventions in treating depression: A narrative review", *Neural Plast*, Article Number: 8878857, Feb. 2012 (doi: 10.1155/2021/8878857).
- [6] C. Sripada, "Impaired control in addiction involves cognitive distortions and unreliable self-control, not compulsive desires and overwhelmed self-control", *Behavioural Brain Research*, vol. 418, Article Number: 113639, Feb. 2021 (doi: 10.1016/j.bbr.2021.113639).
- [7] N. Del Cacho, R. Vila-Badia, A. Butjosa, D. Cuadras, E. Rubio-Abadal, M.J. Rodriguez-Montes, D. Muñoz-Samons, M. Dolz, J. Usall, "Sexual dysfunction in drug-naïve first episode nonaffective psychosis patients.

- Relationship with prolactin and psychotic symptoms. Gender differences", *Psychiatry Research*, vol. 289, Article Number: 112985, July 2020 (doi: 10.1016/j.psychres.2020.112985).
- [8] B. Hunt, D. Zarate, P. Gill, V. Stavropoulos, "Mapping the links between sexual addiction and gambling disorder: A Bayesian network approach", *Psychiatry Research*, vol. 327, Article Number: 115366, Sept. 2023 (doi: 10.1016/j.psychres.2023.115366).
- [9] M. Camilleri, "New drugs on the horizon for functional and motility gastrointestinal disorders", *Gastroenterology*, vol. 161, no. 3, pp. 761-764, May 2021 (doi: 10.1053/j.gastro.2021.04.079).
- [10] L. Keefer, C.W. Ko, A.C. Ford, "AGA clinical practice update on management of chronic gastrointestinal pain in disorders of gut-brain interaction: Expert review", *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, vol. 19, no. 12, pp. 2481-2488.e1, Dec. 2021 (doi: 10.1016/j.cgh.2021.07.006).
- [11] Y. Zhang, Y. Jia, M. Yang, P. Yang, Y. Tian, A. Xiao, A. Wen, "The impaired disposition of probe drugs is due to both liver and kidney dysfunctions in CCl₄-model rats", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 33, no. 3, pp. 453-458, May 2012 (doi: 10.1016/j.etap.2012.01.002).
- [12] N. Agustanti, N.N.M. Soetedjo, F.A. Damara, M.R. Iryaningrum, H. Permana, M.B. Bestari, R. Supriyadi, "The association between metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis", *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 17, no. 5, Article Number: 102780, May 2023 (doi: 10.1016/j.dsx.2023.102780).
- [13] S. Liang, K. Xue, W. Wang, W. Yu, X. Ma, S. Luo, J. Zhang, X. Sun, X. Luo, F. Liu, Y. Zhang, "Altered brain function and clinical features in patients with first-episode, drug naïve major depressive disorder: A resting-state fMRI study", *Psychiatry Research: Neuroimaging*, vol. 303, Article Number: 111134, Sept. 2020 (doi: 10.1016/j.pscychresns.2020.111134).
- [14] A.B. Konova, S.J. Moeller, R.Z. Goldstein, "Common and distinct neural targets of treatment: Changing brain function in substance addiction", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol. 37, no. 10, pp. 2806-2817, Dec. 2013 (doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.10.002).
- [15] E. Bellotti, A.L. Schilling, S.R. Little, P. Decuzzi, "Injectable thermoresponsive hydrogels as drug delivery system for the treatment of central nervous system disorders: A review", *Journal of Controlled Release*, vol. 329, pp. 16-35, Jan. 2021 (doi: 10.1016/j.jconrel.2020.11.049).
- [16] M. Corominas-Roso, I. Ibern, M. Capdevila, R. Ramon, C. Roncero, J. Ramos-Quiroga, "Benefits of EEG-neurofeedback on the modulation of impulsivity in a sample of cocaine and heroin long-term abstinent inmates: A pilot study", *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, vol. 64, no. 12, pp. 1275-1298, Sept. 2020 (doi: 10.1177/0306624X20904704).
- [17] E. C. Warren and A. Kolodny, "Trends in heroin treatment admissions in the united states by race, sex, and age", *JAMA Network Open*, vol. 4, no. 2, pp. e2036640-e2036640, Feb. 2021 (doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.36640).
- [18] M. Cañedo, E. Moral, "Risky pleasures and drugged assemblages: Young people's consumption practices of AOD in Madrid", *International Journal of Drug Policy*, vol. 49, pp. 102-108, Nov. 2017 (doi: 10.1016/j.drugpo.2017.08.002).
- [19] K. Yuan, W. Qin, M. Dong, J. Liu, J. Sun, P. Liu, Y. Zhang, W. Wang, Y. Wang, Q. Li, L. Zhao, K.M. Deneen, Y. Liu, M.S. Gold, J. Tian, "Gray matter deficits and resting-state abnormalities in abstinent heroin-dependent individuals", *Neurosci Letters*, vol. 482, no. 2, pp. 101-105, Sept. 2010 (doi: 10.1016/j.neulet.2010.07.005).
- [20] J. Kennett, S. Matthews, A. Snoek, "Pleasure and addiction", *Frontiers in Psychiatry*, vol. 4, Article Number: 117, Spet. 2013 (doi: 10.3389/fpsy.2013.00117).
- [21] B. Tamrazi, J. Almast, "Your brain on drugs: imaging of drug-related changes in the central nervous system", *Radiographics*, vol. 32, no. 3, pp. 701-719, May/June 2012 (doi: 10.1148/rg.323115115).
- [22] J. Borne, R. Riascos, H. Cuellar, D. Vargas, R. Rojas, "Neuroimaging in drug and substance abuse part II: opioids and solvents", *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, vol. 16, no. 3, pp. 239-45, June 2005 (doi: 10.1097/01.rmr.0000192154.34563.6b).
- [23] A. Schmidt, M. Walter, H. Gerber, O. Schmid, R. Smieskova, K. Bendfeldt, G.A. Wiesbeck, A. Riecher-Rössler, U.E. Lang, K. Rubia, P. McGuire, S. Borgwardt, "Inferior frontal cortex modulation with an acute dose of heroin during cognitive control", *Neuropsychopharmacology*, vol. 38, no. 11, pp. 2231-2239, Oct. 2013 (doi: 10.1038/npp.2013.123).
- [24] D. Roura-Martínez, P. Díaz-Bejarano, M. Ucha, R.R. Paiva, E. Ambrosio, A. Higuera-Matas, "Comparative analysis of the modulation of perineuronal nets in the prefrontal cortex of rats during protracted withdrawal from cocaine, heroin and sucrose self-administration", *Neuropharmacology*, vol. 180, Article Number: 108290, Dec. 2020 (doi: 10.1016/j.neuropharm.2020.108290).
- [25] M. Dorvashi, N. Behzadfar, G. Shahgholian, "Classification of alcoholic and non-alcoholic individuals based on frequency and non-frequency features of electroencephalogram signal", *Iranian Journal of Biomedical Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 109-119, July 2020 (doi: 10.1109/BHI.2012.6211580).

- [26] D.D. Joshi, M. Puaud, M. Fouyssac, A. Belin-Rauscent, B. Everitt, D. Belin, "The anterior insular cortex in the rat exerts an inhibitory influence over the loss of control of heroin intake and subsequent propensity to relapse", *European Journal of Neuroscience*, vol. 52, no. 9, pp. 4115-4126, Nov. 2020 (doi: 10.1111/ejn.148-89).
- [27] J. Wei, L. Wang, J. Zhang, H. Wei, Y. Zhang, X. Cheng, Z. Li, F. Yang, Y. Zhu, "Quantitative susceptibility mapping for drug-addicted human brain", *Proceeding of the IEEE/ICSP*, pp. 1184-1188, Beijing, China, Aug. 2018, doi: 10.1109/ICSP.2018.8652449.
- [28] S. Liu, S. Wang, M. Zhang, Y. Xu, Z. Shao, L. Chen, W. Yang, J. Liu, K. Yuan, "Brain responses to drug cues predict craving changes in abstinent heroin users: A preliminary study", *NeuroImage*, vol. 237, Article Number: 118169, Aug. 2021 (doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.118169).
- [29] M.D. Scofield, J.A. Heinsbroek, C.D. Gipson, Y.M. Kupchik, S. Spencer, A.C. Smith, D. Roberts-Wolfe, P.W. Kalivas, "The nucleus accumbens: Mechanisms of addiction across drug classes reflect the importance of glutamate homeostasis", *Pharmacological Reviews*, vol. 68, no. 3, pp. 816-871, July 2016 (doi: 10.1124/p-r.116.012484).
- [30] C.L. Seifert, S. Magon, T. Sprenger, U.E. Lang, C.G. Huber, N. Denier, M. Vogel, A. Schmidt, E.W. Radue, S. Borgwardt, M. Walter, "Reduced volume of the nucleus accumbens in heroin addiction", *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, vol. 265, no. 8, pp. 637-645, Dec. 2015 (doi: 10.1007/s0-0406-014-0564-y).
- [31] M. Hassanpour-Ezatti, "Comparison of acute effects of heroin and Kerack on sensory and motor activity of honey bees (*Apis mellifera*)", *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, vol. 18, no. 4, pp. 364-369, April 2015 (doi: 10.22038/ijbms.2015.4285).
- [32] D. Perekopskiy, A. Afzal, S.N. Jackson, L. Muller, A.S. Woods, E.A. Kiyatkin, "The role of peripheral opioid receptors in triggering heroin-induced brain hypoxia", *Scientific Reports*, vol. 10, Article number: 833, Jan. 2020 (doi: 10.1038/s41598-020-57768-3).
- [33] K. Hua, T. Wang, C. Li, S. Li, X. Ma, C. Li, M. Li, S. Fu, Y. Yin, Y. Wu, M. Liu, K. Yu, J. Fang, P. Wang, G. Jiang, "Abnormal degree centrality in chronic users of codeine-containing cough syrups: A resting-state functional magnetic resonance imaging study", *NeuroImage: Clinical*, vol. 19, pp. 775-781, 2018 (doi: 10.1016/j.nicl.2018.06.003).
- [34] A.G. Polunina, D.M. Davydov, A.A. Kozlov, "Brain disintegration in heroin addicts: the natural course of the disease and the effects of methadone treatment", *Heroin Addiction and Related Clinical Problems*, vol. 9, no. 2, pp. 17-26, June 2007 (doi: 10.1007/s00213-003-1542-7).
- [35] N. Behzadfar, H. Soltanian-Zadeh, "Automatic segmentation of brain tumors in magnetic resonance images", *Proceedings of the IEEE/EMBS-BHI*, pp. 329-332, Hong Kong, China, Jan. 2012 (doi: 10.1109/BHI.2011-2.6211580).
- [36] P.P. Lunardelo, M.T.H. Fukuda, P.A. Zuanetti, Â.C. Pontes-Fernandes, M.I. Ferretti, S. Zanchetta, "Cortical auditory evoked potentials with different acoustic stimuli: Evidence of differences and similarities in coding in auditory processing disorders", *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 151, Article Number: 110944, Sept. 2021 (doi: 10.1016/j.ijporl.2021.110944).
- [37] N. Behzadfar, S.M.P. Firoozabadi, K. Badie, "Analysis of regularity in the EEG before/after working memory task", *Proceeding of the IEEE/ICBME*, pp. 1-5, Tehran, Iran, Nov./Dec. 2017 (doi: 10.1109/ICBME.20-17.8430260).
- [38] N. Behzadfar, S.M.P. Firoozabadi, K. Badie, "Low-complexity discriminative feature selection from EEG before and after short-term memory task", *Clinical EEG and Neuroscience*, vol. 47, no. 4, pp. 291-297, Feb. 2016 (doi: 10.1177/1550059416633951).
- [39] X. Kang, I.M.A. Agastya, D.O.D. Handayani, M.H. Kit, A.W.B.A. Rahman, "Electroencephalogram (EEG) dataset with porn addiction and healthy teenagers under rest and executive function task", *Data in Brief*, vol. 39, Article Number: 107467, Dec. 2021 (doi: 10.1016/j.dib.2021.107467).
- [40] A. Mengad, J. Dirkaoui, M. Ertel, M. Chakkouch, F. Elomari, "The Contribution of Numerical EEG Analysis for the Study and Understanding of Addictions with Substances", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, no. 5, pp. 326-333, June 2023 (doi: 10.14569/IJACSA.2023.0140534).
- [41] N. Marvi, J. Haddadnia, M.R.F. Bordbar, "An automated drug dependence detection system based on EEG", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 158, Article Number: 106853, May 2023 (doi: 10.1016/j.compbiomed.2023.106853).
- [42] L. Yang, Y. Du, W. Yang, J. Liu, "Machine learning with neuroimaging biomarkers: Application in the diagnosis and prediction of drug addiction," *Addiction Biology*, vol. 28, no. 2, Article Number: e13267, Feb. 2023 (doi: 10.1111/adb.13267).
- [43] E.M. Rad, M. Azarnoosh, M. Ghoshuni, M.M. Khalilzadeh, "Early detection of alzheimer's disease with nonlinear features of eeg signal and mri images by convolutional neural network", *International Clinical Neuroscience Journal*, vol. 9, no. 1, Article Number: e20, Jan. 2022 (doi: 10.34172/icnj.2022.20).

- [44] H. Hakkak, M.M.K. Zade, M. Azarnoosh, "Analyzing the impact of neuromarketing to promote brand image based on EEG signals", *Journal of Biomedical Imaging and Bioengineering*, vol. 3, no. 1, pp. 95-105, Jan. 2019.
- [45] G.M. Rojas, C. Alvarez, C.E. Montoya, M. Iglesia-Vayá, J.E. Cisternas, M. Gálvez, "Study of resting-state functional connectivity networks using EEG electrodes position as seed", *Frontiers in Neuroscience*, vol. 12, Article Number: 235, April 2018 (doi: 10.3389/fnins.2018.00235).
- [46] T. Mwata-Velu, J.G. Avina-Cervantes, J. Ruiz-Pinales, T.A. Garcia-Calva, E.A. González-Barbosa, J.B. Hurtado-Ramos, J.J. González-Barbosa, "Improving motor imagery EEG classification based on channel selection using a deep learning architecture", *Mathematics*, vol. 10, no. 13, Article Number: 2302, July 2022 (doi: 10.3390/math10132302).
- [47] M.A. Vázquez, A. Maghsoudi, I.P. Mariño, "An interpretable machine learning method for the detection of schizophrenia using EEG signals", *Frontiers in Systems Neuroscience*, vol. 15, Article Number: 652662, May 2021 (doi: 10.3389/fnsys.2021.652662).
- [48] A. Subasi, "EEG signal classification using wavelet feature extraction and a mixture of expert model", *Expert Systems with Applications*, vol. 32, no. 4, pp. 1084-1093, May 2007 (doi: 10.1016/j.eswa.2006.02.005).
- [49] J. Wang, M. Wang, "Review of the emotional feature extraction and classification using EEG signals", *Cognitive Robotics*, vol. 1, pp. 29-40, Jan. 2021 (doi: 10.1016/j.cogr.2021.04.001).
- [50] A. Al-Saegh, S.A. Dawwd, J.M. Abdul-Jabbar, "Deep learning for motor imagery EEG-based classification: A review", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 63, Article Number: 102172, Jan. 2021 (doi: 10.1016/j.bspc.2020.102172).
- [51] M.H.Y. Long, E.H.L. Lim, G.A. Balanza, J.C. Allen, P.L. Purdon, C.L. Bong, "Sevoflurane requirements during electroencephalogram (EEG)-guided vs standard anesthesia care in children: A randomized controlled trial", *Journal of Clinical Anesthesia*, vol. 81, Article Number: 110913, Oct. 2022 (doi: 10.1016/j.jclinane.2022.110913).
- [52] N. Dashti, M. Khezri, "Recognition of motor imagery based on dynamic features of EEG signals", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 11, no. 43, 13-27, Dec. 2020 (doi: 20.1001.1.23223871-1399.11.43.2.5).
- [53] M. Dorvashi, N. Behzadfar, G. Shahgholian, "An efficient method for classification of alcoholic and normal electroencephalogram signals based on selection of an appropriate feature", *Journal of Medical Signals & Sensors*, vol.13, no. 1, pp. 11-20, March 2023 (doi: 10.4103/jmss.jmss_183_21).
- [54] H. Ullah, S. Mahmud, R. H. Chowhury, "Identification of brain disorders by sub-band decomposition of EEG signals and measurement of signal to noise ratio", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 4, no. 3, pp. 568- 579, Dec. 2016 (doi: 10.11591/ijeecs.v4.i3.pp568-579).
- [55] T.F. Zaidi, O. Farooq, "EEG sub-bands based sleep stages classification using Fourier Synchrosqueezed transform features", *Expert Systems with Applications*, vol. 212, Article Number: 118752, Feb. 2023 (doi: 10.1016/j.eswa.2022.118752).
- [56] Z. Fodor, A. Horváth, Z. Hidasi, A.A. Gouw, C.J. Stam, G. Csukly, "EEG Alpha and Beta Band Functional Connectivity and Network Structure Mark Hub Overload in Mild Cognitive Impairment During Memory Maintenance", *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 13, Article Number: 680200, Oct. 2021 (doi: 10.3389/fnagi.2021.680200).
- [57] H.U. Amin, W. Mumtaz, A.R. Subhani, M.N.M. Saad, A.S. Malik, "Classification of EEG signals based on pattern recognition approach", *Frontiers in Computational Neuroscience*, vol. 11, Article Number: 103, Nov. 2017, doi: 10.3389/fncom.2017.00103.
- [58] M. Abo-Zahhad, S. M. Ahmed, S. N. A. Seha, "A new EEG acquisition protocol for biometric identification using eye blinking signals", *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, vol. 7, no. 6, pp. 48-54, May 2015 (doi: 10.5815/ijisa.2015.06.05).
- [59] A. Miljevic, N.W. Bailey, O.W. Murphy, M.P.N. Perera, P.B. Fitzgerald, "Alterations in EEG functional connectivity in individuals with depression: A systematic review", *Journal of Affective Disorders*, vol. 328, pp. 287-302, May 2023 (doi: 10.1016/j.jad.2023.01.126).
- [60] S.M. Nancy, S.N. Kbah, H.A. Jafer, I. Al-Shaalan, "Controlling a servo motor using EEG signals from the primary motor cortex", *American Journal of Biomedical Engineering*, vol. 6, no. 5, pp. 139-146, May 2016 (doi:10.5923/j.ajbe.20160605.02).
- [61] B.M.S. Inguscio, G. Cartocci, E. Modica, D. Rossi, A.C. Martinez-Levy, P. Cherubino, L. Tamborra, F. Babiloni, "Smoke signals: A study of the neurophysiological reaction of smokers and non-smokers to smoking cues inserted into antismoking public service announcements", *International Journal of Psychophysiology*, vol. 167, pp. 22-29, Dec. 2021 (doi: 10.1016/j.ijpsycho.2021.06.010).
- [62] A.K. Jaiswal, H. Banka, "Local pattern transformation based feature extraction techniques for classification of epileptic EEG signals", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 34, pp. 81-92, April 2017 (doi: 10.1016/j.bspc.2017.01.005).

- [63] M.A. Herman, M. Roberto, "The Addicted Brain: understanding the neurophysiological mechanisms of addictive disorders", *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 9, no. 45, Article Number: 18, March 2015 (doi: 10.3389/fnint.2015.00018).
- [64] A.H. Meghdadi, C. Berka, C. Richard, G. Rupp, S. Smith, M.S. Karić, K. McShea, E. Sones, K. Marinković, T. Marcotte, "EEG event related potentials in sustained, focused and divided attention tasks: Potential biomarkers for cognitive impairment in HIV patients", *Clinical Neurophysiology*, vol. 132, no. 2, pp. 598-611, Feb. 2021 (doi: 10.1016/j.clinph.2020.11.026).
- [65] C. Kamarajan, B. Porjesz, "Advances in electrophysiological research", *Alcohol Research*, vol. 37, no. 1, pp. 53-87, 2015.
- [66] Y. Wang, Z. Fan, M. Wang, J. Liu, S. Xu, Z. Lu, H. Wang, Y. Song, Y. Wang, L. Qu, Y. Li, X. Cai, "Research on the specificity of electrophysiological signals of human acupoints based on the 90-day simulated weightlessness experiment on the ground", *IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 29, pp. 2164-2172, Oct. 2021 (doi: 10.1109/TNSRE.2021.3120756).
- [67] A. Mirifar, J. Beckmann, F. Ehrlenspiel, "Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol. 75, pp. 419-432, April 2017 (doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.005).
- [68] H. Wang, J. Liu, Z. Lu, S. Xu, J. Xie, Y. Dai, G. Xiao, Y. Song, Y. Zhang, L. Qu, X. Cai, "Effects of long-term and acute hindlimb unloading model on neuroelectrophysiological signals of hippocampal interneurons and pyramidal cells using microelectrode arrays", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 198822-198831, Oct. 2020 (doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034959).
- [69] B. Zou, Y. Liu, M. Guo, Y. Wang, "EEG -based assessment of stereoscopic 3D visual fatigue caused by vergence-accommodation conflict", *Journal of Display Technology*, vol. 11, no. 12, pp. 1076-1083, Dec. 2015 (doi: 10.1109/JDT.2015.2451087).
- [70] M.G. Dobarjeh, G.Y. Wang, N.K. Kasabov, R. Kydd, B. Russell, "A spiking neural network methodology and system for learning and comparative analysis of EEG data from healthy versus addiction treated versus addiction not treated subjects", *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 63, no. 9, pp. 1830-1841, Sept. 2016 (doi: 10.1109/TBME.2015.2503400).
- [71] S. Karimi-Shahraki, M. Khezri, "Identification of attention deficit Hyperactivity disorder patients using wavelet-based features of EEG signals", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 12, no. 47, pp. 1-11, Dec. 2021 (dor: 20.1001.1.23223871.1400.12.3.1.1).
- [72] S.B. Emami, N. Nourafza, S. Fekri-Ershad, "A method for diagnosing of Alzheimer's disease using the brain emotional learning algorithm and wavelet feature", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 13, no. 52, pp. 65-78, March 2023 (for: 20.1001.1.23223871.1401.13.52.5.0);
- [73] X. Kang, D.O.D. Handayani, P.P. Chong, U.R. Acharya, "Profiling of pornography addiction among children using EEG signals: A systematic literature review", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 125, Article Number: 103970, Oct. 2020 (doi: 10.1016/j.compbimed.2020.103970).
- [74] A. Kermanshahian, M. Khezri, "Evaluation of deep neural networks in emotion recognition using electroencephalography signal patterns", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 16, no. 64, pp. 31-46, March 2026.
- [75] M. Seif, M.R. Yousefi, N. Behzadfar, "EEG spectral power analysis: A comparison between heroin dependent and control groups", *Clinical EEG and Neuroscience*, vol. 53, no. 4, Article Number: 15500594221089366, March 2022 (doi: 10.1177/15500594221089366).
- [76] M. Dorvashi, N. Behzadfar, G. Shahgholian, "Detection of fatigue from electroencephalogram signal during neurofeedback training", *Signal and Data Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 163-174, Dec. 2022 (doi: 10.5254-7/jsdp.19.3.163).
- [77] W.A.W Azlan, Y.F. Low, "Feature extraction of electroencephalogram (EEG) signal- A review", *Proceeding of the IEEE/IECBES*, pp. 801-806, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2014 (doi: 10.1109/IECBES.2014.7047620).
- [78] M. Bardeci, C.T. Ip, S. Olbrich, "Deep learning applied to electroencephalogram data in mental disorders: A systematic review", *Biological Psychology*, vol. 162, Article Number: 108117, May 2021 (doi: 10.1016/j.biopsycho.2021.108117).
- [79] E. Huang, X. Zheng, Y. Fang, Z. Zhang, "Classification of motor imagery EEG based on time-domain and frequency-domain dual-stream convolutional neural network", *Innovation and Research in BioMedical engineering*, vol. 43, no. 2, pp. 107-113, April 2022 (doi: 10.1016/j.irbm.2021.04.004).
- [80] C. Liu, Y. Fu, J. Yang, X. Xiong, H. Sun, Z. Yu, "Discrimination of motor imagery patterns by electroencephalogram phase synchronization combined with frequency band energy", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 4, no. 3, pp. 551-557, 2017 (doi: 10.1109/JAS.2016.7510121).

- [81] M. Mazher, A.A. Aziz, A.S. Malik, "Evaluation of rehearsal effects of multimedia content based on EEG using machine learning algorithms", *Proceeding of the IEEE/ICIAS*, pp. 1-6, Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2016 (doi: 10.1109/ICIAS.2016.7824134).
- [82] N. Anantharaman, A.K. Krishnamurthy, L.L. Feth, "Intensity-weighted average of instantaneous frequency as a model for frequency discrimination", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 94, pp. 723-729, Aug. 1993 (doi: 10.1121/1.406889. PMID: 8370877).
- [83] B.R. Greene, S. Faul, W.P. Marnane, G. Lightbody, I. Korotchkova, G.B. Boylan, "A comparison of quantitative EEG features for neonatal seizure detection", *Clinical Neurophysiology*, vol. 119, no. 6, pp. 1248-1261, June 2008 (doi: 10.1016/j.clinph.2008.02.001).
- [84] S.A. Intiaz, S. Saremi-Yarahmadi, E. Rodriguez-Villegas, "Automatic detection of sleep spindles using Teager energy and spectral edge frequency", *Proceeding of the IEEE/BioCAS*, pp. 262-265, Rotterdam, Netherlands, Oct./Nov. 2013 (doi: 10.1109/BioCAS.2013.6679689).
- [85] K. Kobayashi, N. Mimaki, F. Endoh, T. Inoue, H. Yoshinaga, Y. Ohtsuka, "Amplitude-integrated EEG colored according to spectral edge frequency", *Epilepsy Research*, vol. 96, no. 3, pp. 276-282, Oct. 2011 (doi: 10.1016/j.eplepsyres.2011.06.012).
- [86] Y. Mi, A. Lin, D. Gu, X. Zhang, X. Huang, "Bubble transfer spectral entropy and its application in epilepsy EEG analysis", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 110, Article Number: 106294, July 2022 (doi: 10.1016/j.cnsns.2022.106294).
- [87] H. Helakari, J. Kananen, N. Huotari, L. Raitamaa, T. Tuovinen, V. Borchardt, A. Rasila, V. Raatikainen, T. Starck, T. Hautaniemi, T. Myllylä, O. Tervonen, S. Rytty, T. Keinänen, V. Korhonen, V. Kiviniemi, H. Ansakorpi, "Spectral entropy indicates electrophysiological and hemodynamic changes in drug-resistant epilepsy – A multimodal MREG study", *NeuroImage: Clinical*, vol. 22, Article Number: 101763, 2019 (doi: 10.1016/j.nicl.2019.101763).
- [88] A. Buccellato, D. Zang, F. Zilio, J. Gomez-Pilar, Z. Wang, Z. Qi, R. Zheng, Z. Xu, X. Wu, P. Bisiacchi, A.D. Felice, Y. Mao, G. Northoff, "Disrupted relationship between intrinsic neural timescales and alpha peak frequency during unconscious states- A high-density EEG study", *NeuroImage*, vol. 265, Article Number: 119802, Jan. 2023 (doi: 10.1016/j.neuroimage.2022.119802).
- [89] P. Boonyakitantont, A. Lek-uthai, K. Chomtho, J. Songsiri, "A review of feature extraction and performance evaluation in epileptic seizure detection using EEG", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 57, Article Number: 101702, March 2020 (doi: 10.1016/j.bspc.2019.101702).
- [90] A.K. Singh, S. Krishnan, "Trends in EEG signal feature extraction applications", *Frontiers in Artificial Intelligence*, vol. 5, Article Number: 1072801, Jan. 2023 (doi: 10.3389/frai.2022.1072801).
- [91] D.P. Wulandari, N.G.P. Putriz, Y.K. Suprpto, S.W. Purnami, A.I. Juniani, W.R. Islamiyah, "Epileptic Seizure Detection Based on Bandwidth Features of EEG Signals", *Procedia Computer Science*, vol. 161, pp. 568-576, 2019 (doi: 10.1016/j.procs.2019.11.157).
- [92] J. Zamani, A.B. Naieni. "Best feature extraction and classification algorithms for EEG signals in neuromarketing", *Frontiers Biomed Technol*, vol. 7, no. 3, pp. 186-191, Dec. 2020 (doi: 10.18502/fbt.v7i3.4621).
- [93] X. Qin, Y. Zheng, B. Chen, "Extract EEG features by combining power spectral density and correntropy spectral density", *Proceeding of the IEEE/CAC*, pp. 2455-2459, Hangzhou, China, Nov. 2019 (doi: 10.1109/CAC48633.2019.8996873).
- [94] A. Bhattacharyya, R.K. Tripathy, L. Garg, R.B. Pachori, "A novel multivariate-multiscale approach for computing EEG spectral and temporal complexity for human emotion recognition", *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 3579-3591, Feb. 2021 (doi: 10.1109/JSEN.2020.3027181).
- [95] I.M. Colrain, S. Turlington, F.C. Baker, "Impact of alcoholism on sleep architecture and EEG power spectra in men and women", *Sleep*, vol. 32, no. 10, pp. 1341-1352, Oct. 2009 (doi: 10.1093/sleep/32.10.1341).
- [96] K. Wang, Y.L. Zhao, S.P. Tan, J.G. Zhang, D. Li, J.X. Chen, L.G. Zhang, X.Y. Yu, D. Zhao, E.F.C. Cheung, B.I. Turetsky, R.C. Gur, R.C.K. Chan, "Semantic processing event-related potential features in patients with schizophrenia and bipolar disorder", *PsyCh Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 247-257, April 2020 (doi: 10.1002/pchj.321).
- [97] T. Zeng, S. Li2, L. Wu, Z. Feng, X. Fan, J. Yuan, X. Wang, J. Meng, H. Ma, G. Zeng, C. Kang, J. Yang. "A comparison study of impulsiveness, cognitive function, and P300 components between gamma-hydroxybutyrate and heroin-addicted patients: Preliminary findings", *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 16, Article Number: 835922, April 2022 (doi: 10.3389/fnhum.2022.835922).
- [98] N. Accornero, M. Capozza, L. Pieroni, S. Pro, L. Davì, O. Mecarelli, "EEG mean frequency changes in healthy subjects during prefrontal transcranial direct current stimulation", *Journal of Neurophysiology*, vol. 112, no. 6, pp. 1367-1375, June 2014 (doi: 10.1152/jn.00088.2014).
- [99] P. Zarjam, J. Epps, F. Chen, "Spectral EEG features for evaluating cognitive load", *Proceeding of the IEEE/IEMBS*, pp. 3841-3844, Boston, MA, USA, Aug. 2011 (doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090954).

- [100] U.R. Acharya, S.V. Sree, G. Swapna, R.J. Martis, J.S. Suri, "Automated EEG analysis of epilepsy: A review", *Knowledge-Based Systems*, vol. 45, pp. 147-165, June 2013 (doi: 10.1016/j.knosys.2013.02.014).
- [101] V.S. Marks, K.V. Saboo, Ç. Topçu, M. Lech, T.P. Thayib, P. Nejedly, V. Kremen, G.A. Worrell, M.T. Kuciewicz, "Independent dynamics of low, intermediate, and high frequency spectral intracranial EEG activities during human memory formation", *NeuroImage*, vol. 245, Article Number: 118637, Dec. 2021 (doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.118637).
- [102] U.R. Acharya, H. Fujita, V.K. Sudarshan, S. Bhat, J.E.W. Koh, "Application of entropies for automated diagnosis of epilepsy using EEG signals: A review", *Knowledge-Based Systems*, Vol. 88, pp. 85-96, Nov. 2015 (doi: 10.1016/j.knosys.2015.08.004).
- [103] J.P. Zöllner, A. Strzelczyk, F. Rosenow, R. Kienitz, "Valproate but not levetiracetam slows the EEG alpha peak frequency- A pharmaco-EEG study", *Clinical Neurophysiology*, vol. 132, no. 6, pp. 1203-1208, June 2021 (doi: 10.1016/j.clinph.2021.02.392).
- [104] S. Motamedi-Fakhr, M. Moshrefi-Torbati, M. Hill, C.M. Hill, P.R. White, "Signal processing techniques applied to human sleep EEG signals- A review", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 10, pp. 21-33, March 2014 (doi: 10.1016/j.bspc.2013.12.003).
- [105] Y. Kan, H. Duan, Y. Bo, Y. Wang, H. Yan, J. Lan, "The effect of acute stress on spatial selectivity in dual-stream emotion induced blindness: The role of cortisol and spontaneous frontal EEG theta/beta ratio", *International Journal of Psychophysiology*, vol. 183, pp. 71-80, Jan. 2023 (doi: 10.1016/j.ijpsycho.2022.11.014).
- [106] S. Lashkari, M. Azarnoosh, "Optimal feature space selection in detecting epileptic seizure based on recurrent quantification analysis and genetic algorithm", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 7, no. 26, pp. 35-44, July 2016 (dor: 20.1001.1.23223871.1395.7.26.4.5).
- [107] C. Dell'Acqua, S. Ghiasi, S. M. Benvenuti, A. Greco, C. Gentili, G. Valenza, "Increased functional connectivity within alpha and theta frequency bands in dysphoria: A resting-state EEG study", *Journal of Affective Disorders*, vol. 281, pp. 199-207, Feb. 2021 (doi: 10.1016/j.jad.2020.12.015).
- [108] X. Xi, S. Pi, Y. Zhao, H. Wang, Z. Luo, "Effect of muscle fatigue on the cortical-muscle network: A combined electroencephalogram and electromyogram study", *Brain Research*, vol. 1752, Article Number: 147221, Feb. 2021 (doi: 10.1016/j.brainres.2020.147221).
- [109] D. Koshiyama, K. Kirihara, K. Usui, M. Tada, M. Fujioka, S. Morita, S. Kawakami, M. Yamagishi, H. Sakurada, E. Sakakibara, Y. Satomura, N. Okada, S. Kondo, T. Araki, S. Jinde, K. Kasai, "Resting-state EEG beta band power predicts quality of life outcomes in patients with depressive disorders: A longitudinal investigation", *Journal of Affective Disorders*, vol. 265, pp. 416-422, 2020 (doi: 10.1016/j.jad.2020.01.030).
- [110] N. Khanahmadi, M.R. Yousefi, "Prediction of success in neurofeedback treatment for attention-deficit hyperactivity disorder before starting treatment", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 16, no. 63, pp. 39-60, Dec. 2025
- [111] N. Behzadfar, "A brief overview on analysis and feature extraction of electroencephalogram signals", *Signal Processing and Renewable Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 39-64, March 2022 (dor: 20.1001.1.25887-327.2022.6.1.3.9).
- [112] M. Corominas-Roso, I. Ibern, M. Capdevila, R. Ramon, C. Roncero, J. Ramos-Quiroga, "Benefits of EEG -neurofeedback on the modulation of impulsivity in a sample of cocaine and heroin long-term abstinent inmates: A pilot study", *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, vol. 64, no. 12, pp. 1275-1298, Sept. 2020 (doi: 10.1177/0306624X20904704).
- [113] F. Motlagh, F. Ibrahim, J.M. Menke, R. Rashid, T. Seghatoleslam, H. Habil, "Neuroelectrophysiological approaches in heroin addiction research: A review of literatures", *Journal of Neuroscience Research*, vol. 94, pp. 297-309, Jan. 2016 (doi: 10.1002/jnr.23703).
- [114] M. Heilig, J. MacKillop, D. Martinez, J. Rehm, L. Leggio, L.J. Vanderschuren, "Addiction as a brain disease revised: why it still matters, and the need for consilience", *Neuropsychopharmacology*, vol. 46, pp. 1715-1723, Feb. 2021 (doi: 10.1038/s41386-020-00950-y)
- [115] N.D. Volkow, J.S. Fowler, G.J. Wang, "The addicted human brain: insights from imaging studies", *Journal of Clinical Investigation*, vol. 111, no. 10, pp. 1444-1451, May 2003 (doi: 10.1172/JCI18533).
- [116] N.D. Volkow, J.S. Fowler, G.J. Wang, "The addicted human brain viewed in the light of imaging studies: brain circuits and treatment strategies", *Neuropharmacology*, vol. 47, pp. 3-13, 2004 (doi: 10.1016/j.neuropharm.2004.07.019).
- [117] X. Ding, X. Li, M. Xu, Z. He, H. Jiang, "The effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on electroencephalography microstates of patients with heroin-addiction", *Psychiatry Research: Neuroimaging*, vol. 329, Article Number: 111594, March 2023 (doi: 10.1016/j.psychresns.2023.111594).
- [118] T.S. Bel-Bahar, A.A. Khan, R.B. Shaik, M.A. Parvaz, "A scoping review of electroencephalographic (EEG) markers for tracking neurophysiological changes and predicting outcomes in substance use disorder

- treatment", *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 16, pp. 1-31, Oct. 2022 (doi: 10.3389/fnhum.2022.9955-34).
- [119] A. Tobeiha, N. Behzadfar, M.R. Yousefi-Najafabadi, H. Mahdavi-Nasab, G. Shahgholian, "Choosing the distinguishing frequency feature of people addicted to heroin from healthy while resting", *Signal and Data Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 49-64, Dec. 2022 (doi: 10.52547/jsdp.19.3.49).
- [120] C.C. Papageorgiou, I.A. Liappas, E.M. Ventouras, C.C. Nikolaou, E.N. Kitsonas, N.K. Uzunoglu, A.D. Rabavilas, "Long-term abstinence syndrome in heroin addicts: indices of P300 alterations associated with a short memory task", *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, vol. 28, no. 7, pp. 1109-1115, Nov. 2004 (doi: 10.1016/j.pnpbp.2004.05.049).
- [121] N. Ma, Y. Liu, X.M. Fu, N. Li, C.X. Wang, H. Zhang, R.B. Qian, H.S. Xu, X. Hu, D.R. Zhang, "Abnormal brain default-mode network functional connectivity in drug addicts", *PloS One*, vol. 6, no. 1, Article Number: e16560, Jan. 2011 (doi: 10.1371/journal.pone.0016560).
- [122] E.M. Kouri, S.E. Lukas, J.H. Mendelson, "P300 assessment of opiate and cocaine users: Effects of detoxification and buprenorphine treatment", *Biological Psychiatry*, vol. 40, no. 7, pp. 617-628, Oct. 1996 (doi: 10.1016/0006-3223(95)00468-8).
- [123] G.Y. Wang, R. Kydd, T.A. Woules, M. Jensen, B.R. Russell, "Changes in resting EEG following methadone treatment in opiate addicts", *Clinical Neurophysiology*, vol. 126, no. 5, pp. 943-950, May 2015 (doi: 10.1016/j.clinph.2014.08.021).
- [124] Y. Liu, Y. Chen, G. Fraga-González, V. Szpak, J. Laverman, R.W. Wiers, K.R. Ridderinkhof, "Resting-state EEG, substance use and abstinence after chronic use: A systematic review", *Clinical EEG and Neuroscience*, vol. 53, no. 4, pp. 344-366, July 2022 (doi: 10.1177/15500594221076347).
- [125] N. Shourie, M. Firoozabadi, and K. Badie, "Neurofeedback training protocols based on spectral EEG feature subset and channel selection for performance enhancement of novice visual artists", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 43, pp. 117-129, May 2018 (doi: 10.1016/j.bspc.2018.02.017).
- [126] E. Shufman, E. Perl, M. Cohen, M. Dickman, D. Gandaku, D. Adler, A. Veler, R. Baramburger, Y. Ginath, "Electro-encephalography spectral analysis of heroin addicts compared with abstainers and normal controls", *The Israel journal of psychiatry and related sciences*, vol. 33, no. 3, pp. 196-206, 1996.
- [127] I.H. Franken, C.J. Stam, V.M. Hendriks, W. Brink, "Electroencephalographic power and coherence analyses suggest altered brain function in abstinent male heroin-dependent patients", *Neuropsychobiology*, vol. 49, no. 2, pp. 105-110, 2004 (doi: 10.1159/000076419).
- [128] J. Luo, R. Yang, W. Yang, C. Duan, Y. Deng, J. Zhang, J. Chen, J. Liu, "Increased amplitude of low-frequency fluctuation in right angular gyrus and left superior occipital gyrus negatively correlated with heroin use", *Frontiers in Psychiatry*, vol. 11, Article Number: 492, July 2020 (doi: 10.3389/fpsy.2020.00492).
- [129] D.M. Davydov, A.G. Polunina, "Heroin abusers' performance on the tower of London test relates to the baseline EEG alpha2 mean frequency shifts", *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, vol. 28, no. 7, pp. 1143-1152, Nov. 2004 (doi: 10.1016/j.pnpbp.2004.06.006).
- [130] A.G. Polunina, D.M. Davydov, "EEG spectral power and mean frequencies in early heroin abstinence", *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, vol. 28, no. 1, pp. 73-82, Jan. 2004 (doi: 10.1016/j.pnpbp.2003.09.022).
- [131] K. Jurewicz, K. Paluch, E. Kublik, J. Rogala, M. Mikicin, A. Wróbel, "EEG -neurofeedback training of beta band (12–22 Hz) affects alpha and beta frequencies– A controlled study of a healthy population", *Neuropsychologia*, vol. 108, pp. 13-24, Jan. 2018 (doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.11.021).
- [132] I.H. Franken, C.J. Stam, V.M. Hendriks, W.V. Brink, "Neurophysiological evidence for abnormal cognitive processing of drug cues in heroin dependence", *Psychopharmacology*, vol. 170, no. 2, pp. 205-212, July 2003 (doi: 10.1007/s00213-003-1542-7).
- [133] B. Hu, Q. Dong, Y. Hao, Q. Zhao, J. Shen, F. Zheng, "Effective brain network analysis with resting-state EEG data: A comparison between heroin abstinent and non-addicted subjects", *Journal of Neural Engineering*, vol. 14, no. 4, Article Number: 046002, Aug. 2017 (doi: 10.1088/1741-2552/aa6c6f).
- [134] T.M. Sokhadze, R.L. Cannon, D.L. Trudeau, "EEG biofeedback as a treatment for substance use disorders: review, rating of efficacy and recommendations for further research", *Journal of Neurotherapy*, vol. 12, no. 1, pp. 1-28, Jan. 2008 (doi: 10.1007/s10484-007-9047-5).
- [135] A. Turnip, K. Esti, M. Faizal Amri, A.I. Simbolon, M.A. Suhendra, S. Iskandarand, F.F. Wirakusumah, "Detection of drug effects on brain activity using EEG-P300 with similar stimuli", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 220, no. 1, pp. 1-12, 2017 (doi: 10.1088/1757-899X/220/1/012042).
- [136] F. Motlagh, F. Ibrahim, R. Rashid, T. Seghatoleslam, H. Habil, "Investigation of brain electrophysiological properties among heroin addicts: Quantitative EEG and event-related potentials", *Journal of Neuroscience Research*, vol. 95, no. 7, pp. 1633-1646, Aug. 2017 (doi: 10.1002/jnr.23988).
- [137] P.P. Lunardelo, M.T.H. Fukuda, P.A. Zuanetti, Â.C. Pontes-Fernandes, M.I. Ferretti, S. Zanchetta, "Cortical auditory evoked potentials with different acoustic stimuli: Evidence of differences and similarities in coding

- in auditory processing disorders", *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 151, Article Number: 110944, Sept. 2021 (doi: 10.1016/j.ijporl.2021.110944).
- [138] K. Race, "Thinking with pleasure: Experimenting with drugs and drug research", *International Journal of Drug Policy*, vol. 49, pp. 144-149, Nov. 2017 (doi: 10.1016/j.drugpo.2017.07.019).
- [139] T.M. Lee, W. Zhou, X. Luo, K.S. Yuen, X. Ruan, X. Weng, "Neural activity associated with cognitive regulation in heroin users: a fMRI study", *Neuroscience Letters*, vol. 382, no. 3, pp. 211-216, July 2005 (doi: 10.1016/j.neulet.2005.03.053).
- [140] F. Motlagh, F. Ibrahim, R. Rashid, N. Shafiabady, T. Seghatoleslam, H. Habil, "Acute effects of methadone on EEG power spectrum and event-related potentials among heroin dependents", *Psychopharmacology*, vol. 235, pp. 3273-3288, Nov. 2018 (doi: 10.1007/s00213-018-5035-0).
- [141] J. Wang, R. Peng, Q. Liu, H. Peng, "A hybrid classification to detect abstinent heroin-addicted individuals using EEG microstates", *IEEE Trans. on Computational Social Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 700-709, June 2022 (doi: 10.1109/TCSS.2021.3135425).

زیر نویس ها

1. Sexual and mental disorders
2. Gastrointestinal disorders
3. Liver and kidney dysfunction
4. Central nervous system
5. Heroin
6. Prefrontal cortex
7. Insular cortex
8. Nucleus acumens
9. Magnetic resonance images
10. Temporal
11. Electroencephalogram
12. Event related potential
13. Power spectrum density
14. Intensity weighted mean frequency
15. Intensity weighted bandwidth
16. Spectral edge frequency
17. Spectral entropy
18. Peak frequency
19. Event-related potential
20. Amplitude low frequency fluctuation
21. Bilateral dorsal anterior cingulate cortex
22. Bilateral medial frontal cortex
23. Left dorsal lateral prefrontal cortex
24. Posterior cingulate cortex
25. Parietal lobe
26. Frontal lobe
27. Limbic lobe
28. Functional connections
29. Nucleus acumens
30. Anterior cingulate cortex
31. Frontal orbital cortex