

Neuroprotective Effects of α -Pinene on Memory Impairment and Apoptosis in a Pentylenetetrazol-Induced Kindling Model of Epilepsy in Rats

Paria Hashemi¹, Donya Nazarinia^{2*}, Mojtaba Dolatshahi²

¹Neurosciences Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

²Department of Physiology, School of Medicine, Dezful University of Medical Sciences, Dezful, Iran

Article Info:

Received: 9 May 2026

Revised: 28 May 2026

Accepted: 8 July 2026

ABSTRACT

Introduction: Epilepsy is a chronic neurological disorder characterized by recurrent and spontaneous seizures. α -Pinene, a monoterpene found in plant essential oils, has been shown in neuroscience studies to exhibit significant biological activities, particularly anti-inflammatory and antioxidant effects. This study aimed to investigate the neuroprotective effects of α -pinene on memory impairment and neuronal apoptosis in a pentylenetetrazol (PTZ)-induced kindling model of epilepsy in rats. **Materials and Methods:** Male Wistar rats were randomly divided into five groups: Control, PTZ-induced kindling (intraperitoneal injection of 45 mg/kg PTZ for 10 consecutive days), PTZ + α -pinene 50 mg/kg, PTZ + α -pinene 100 mg/kg, and α -pinene 100 mg/kg. Seizure behaviors were assessed using the modified Racine scale. Short-term spatial working memory and passive avoidance memory were assessed using the Y-maze and shuttle box apparatus, respectively. Cytochrome c and caspase-3 levels were measured in hippocampal tissue using ELISA. **Results:** Our findings showed that PTZ-treated rats exhibited more severe seizures and pronounced memory impairment. α -Pinene, at both doses, significantly attenuated seizure intensity and duration compared with the PTZ group. Treatment with α -pinene (100 mg/kg) significantly increased latency to enter the dark chamber in the passive avoidance test and improved spontaneous alternation behavior in the Y-maze test. In addition, cytochrome c and caspase-3 levels were significantly reduced in the α -pinene (100 mg/kg) group compared with the PTZ group. **Conclusion:** Our findings suggest that α -pinene exerts anticonvulsant effects and improves memory performance in the PTZ-induced kindling rat model of epilepsy, potentially through modulation of apoptotic pathways, as evidenced by reduced cytochrome c and caspase-3 levels.

Keywords:

1. Pentylenetetrazole
2. Seizures
3. Hippocampus
4. Caspase 3
5. Spatial Learning

*Corresponding Author: Donya Nazarinia

Email: e_nazarinia@yahoo.com

اثرات محافظت‌کننده عصبی آلفاپاینن بر اختلال حافظه و آپوتوز در مدل صرع کیندلینگ القا شده با پنتیلن تترازول در موش صحرایی

پریا هاشمی^۱، دنیا نظری نیاء^{۲*}، مجتبی دولتشاهی^۳

^۱مرکز تحقیقات علوم اعصاب، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران
^۲گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی دزفول، دزفول، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۱۷ تیر ۱۴۰۵

اصلاحیه: ۷ خرداد ۱۴۰۵

دریافت: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۵

چکیده

مقدمه: صرع یک اختلال مزمن عصبی است که با بروز تشنجهای مکرر و خودبه‌خودی مشخص می‌شود. آلفاپاینن، یک مونوترپن موجود در اسانس گیاهان، در مطالعات علوم اعصاب دارای فعالیت‌های زیستی قابل توجهی، به‌ویژه اثرات ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی، شناخته شده است. این مطالعه با هدف بررسی اثرات نورومحافظتی آلفاپاینن بر اختلال حافظه و آپوتوز نورونی در مدل کیندلینگ صرع القا شده با پنتیلن تترازول (PTZ) در موش صحرایی انجام شد. **مواد و روش‌ها:** موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار به‌طور تصادفی به پنج گروه شامل کنترل، کیندلینگ القا شده با PTZ (تزریق داخل صفاقی PTZ با دوز ۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم به مدت ۱۰ روز متوالی)، PTZ+ آلفاپاینن (۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، PTZ+ آلفاپاینن (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و آلفاپاینن (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) تقسیم شدند. رفتارهای تشنجی با استفاده از مقیاس اصلاح‌شده راسین ارزیابی شد. حافظه کاری فضایی کوتاه‌مدت و حافظه اجتنابی غیرفعال به ترتیب با آزمون Y-maze و دستگاه شاتل‌باکس مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، میزان سیتوکروم c و کاسپاز-۳ در بافت هیپوکامپ با استفاده از روش الیزا اندازه‌گیری شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که موش‌های صحرایی دریافت‌کننده PTZ تشنجهای شدیدتر و اختلال حافظه بارزتری را نسبت به گروه کنترل نشان دادند. تجویز آلفاپاینن در هر دو دوز، شدت و مدت تشنج را در مقایسه با گروه PTZ به‌طور معنی‌داری کاهش داد. درمان با آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم، زمان تأخیر ورود به محفظه تاریک را در آزمون اجتناب غیرفعال به‌طور معنی‌داری افزایش داد و عملکرد تناوب خودبه‌خودی را در آزمون Y-maze بهبود بخشید. علاوه بر این، سطوح سیتوکروم c و کاسپاز-۳ در گروه دریافت‌کننده آلفاپاینن (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با گروه PTZ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. **نتیجه‌گیری:** یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که آلفاپاینن در مدل کیندلینگ صرع القا شده با PTZ دارای اثرات ضد تشنجی است و عملکرد حافظه را بهبود می‌بخشد. این اثرات احتمالاً از طریق تعدیل مسیرهای آپوتوز، که با کاهش سطوح سیتوکروم c و کاسپاز-۳ همراه است، اعمال می‌شوند.

واژه‌های کلیدی:

- ۱- پنتیلن تترازول
- ۲- تشنج
- ۳- هیپوکامپ
- ۴- کاسپاز-۳
- ۵- حافظه فضایی

*نویسنده مسئول: دنیا نظری نیاء

پست الکترونیک: e_nazarinia@yahoo.com

صرع کمک کند (۱۱). محققین از این مدل که یک الگوی کاملاً تثبیت شده است برای بررسی فرآیندهای دخیل در اپی‌لپتوژنز و همچنین اختلالات شناختی و سایکوپاتولوژیک ناشی از تشنج‌ها بهره گرفته‌اند (۱۳، ۱۲).

اختلال عملکرد میتوکندری پس از تشنج‌های طولانی مدت علت دیگر مرگ سلول‌های عصبی است (۱۵). یکی از تظاهرات اختلال عملکرد میتوکندری حین حملات صرع، افزایش نفوذپذیری منافذ انتقالی میتوکندری و آزاد شدن سیتوکروم C به داخل سیتوزول است (۱۶). سیتوکروم C پروتئین کلیدی است که می‌تواند باعث مرگ سلول‌های میتوکندری شود. آزادسازی سیتوکروم C میتوکندری، واقعه‌ای کلیدی در فعال‌سازی کاسپاز-۳ است که یک مرحله اصلی در شروع آپوپتوز به شمار می‌آید (۱۷). فعال شدن کاسپاز-۳ به‌عنوان پروتئاز اجرایی اصلی در آغاز مرگ سلولی آپوپتوز شناخته شده است (۱۸). افزایش فعالیت مسیرهای آپوپتوزی در صرع در مطالعات بسیاری بررسی شده است، که از نشانه‌های بارز آن فعالیت بیش از حد سیتوکروم c و کاسپاز-۳ است (۱۹).

با وجود داروهای ضد تشنج بسیاری از آن‌ها تنها علائم را کنترل می‌کنند و حدود ۳۰ درصد بیماران مقاوم به درمان هستند (۲۰). همچنین، این داروها در حال حاضر عوارض جانبی متعددی مانند اختلالات حافظه، ناراحتی‌های گوارشی، پوکی استخوان، افسردگی، خستگی، تهوع و سرگیجه را به همراه دارند (۲۱). بنابراین، نیاز مبرم و ضروری به تدوین داروهای ضد تشنج با اثربخشی بالا و حداقل عارضه جانبی وجود دارد. داروهای گیاهی می‌توانند منابع امیدوارکننده و ارزشمندی از ترکیبات دارویی را فراهم کنند. اخیراً محققان بر روی نقش ترکیبات گیاهی به ویژه مونوترپن‌ها در اختلالات عصبی از جمله صرع تمرکز کرده‌اند (۲۲).

آلفاپاینن یک مونوترپن با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدتشنجی است که در مدل‌های مختلف عصبی اثرات مفیدی نشان داده است (۲۶-۲۲). آلفاپاینن سبب بهبود عملکرد حافظه با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مهار استیل کولین استراز و افزایش دوپامین به واسطه مهار مونوآمین اکسیداز شده است (۲۵). همچنین، آلفاپاینن در مدل صرع القا شده با کاینیک اسید که یک مدل القایی صرع لوب گیجگاهی است، عملکرد

صرع به‌عنوان یک نوع شایع از بیماری مزمن و پیش‌رونده سیستم عصبی مرکزی شناخته شده است که با برانگیختگی غیر طبیعی نورون‌های مغز منجر به بروز تشنج‌های مداوم و غیرقابل پیش‌بینی می‌شود (۱). صرع به طور جدی بر وضعیت سلامت و کیفیت زندگی افراد مبتلا تأثیر می‌گذارد. این بیماری، در فهرست بیماری‌های مهم نیازمند کنترل قرار دارد (۲). سالانه حدود پنج میلیون نفر به این بیماری مبتلا می‌شوند و بیش از ۶۵ میلیون نفر در سراسر جهان به صرع و بیماری‌های همراه آن مبتلا هستند (۳). اختلالات روانی و عصبی همراه مانند اضطراب، افسردگی، اختلالات شناختی و کاهش عملکرد حافظه در ۳۰ تا ۵۰ درصد بیماران مصروع شایع است (۴). به‌ویژه، مشکلات حافظه در صرع لوب تمپورال گزارش شده است که به علت درگیری نواحی و ساختارهای مغزی مرتبط با فرآیندهای حافظه از جمله هیپوکامپ و قشر مغزی در حین حملات تشنجی می‌باشد (۵). بیماران مبتلا به صرع اختلال حافظه را به صورت فراموشی گذرا، طولانی مدت که در آن خاطرات کسب شده جدید طی روزها تا هفته‌ها از بین می‌روند و اختلال حافظه راه دور^۲ که در آن حقایق مربوط به زندگی گذشته فرد فراموش می‌شود، تجربه می‌کنند (۸-۶).

عوامل زمینه‌ساز اختلالات شناختی مرتبط با صرع کاملاً مشخص نیستند. برخی از گزارش‌ها گویای آن است که وقوع تشنجات مزمن و مکرر در بیماران مبتلا به صرع از علل اصلی نواقص شناختی به شمار می‌رود (۹). همچنین، عوامل زمینه ساز دیگر این اختلالات به مرگ سلول‌های عصبی، دژنراسیون نورونی و التهاب عصبی ربط داده شده است. کاهش حافظه با تخریب عصبی در هیپوکامپ مرتبط است (۱۰).

مدل‌های حیوانی متعددی برای القای صرع در جوندگان معرفی شده است. از میان آن‌ها، مدل القای صرع کیندلینگ با پنتیلن‌تترازول (PTZ^۳)، مدلی معتبر برای بررسی اختلالات شناختی است. کیندلینگ القا شده توسط PTZ، سبب القای مدل طولانی مدت صرع با افزایش تدریجی شدت تشنج‌ها می‌شود و می‌تواند تغییراتی را در سطوح سلولی و مولکولی ایجاد کند که به درک و فهم مکانیسم‌های اپی‌لپتوژنیک

^۱ Episodic amnesia

^۲ Remote memory impairment

^۳ Pentylentetrazol

مشابه گروه قبل با دوز بالاتر آلفاپاینن. آلفاپاینن (۱۰۰ میلی گرم/کیلوگرم) به تنهایی: بدون دریافت PTZ، فقط آلفاپاینن در همان زمان بندی.

در گروه های ۳ و ۴، تزریق آلفاپاینن یک ساعت قبل از هر تزریق PTZ انجام شد.

حدود ۳-۵ دقیقه پس از تزریق PTZ، رفتارهای تشنجی حیوانات طی ۳۰ دقیقه توسط دوربین فیلم برداری و مشاهده ثبت شده و بر اساس مقیاس تعدیل شده تشنج راسین امتیازبندی شدند (۲۸):

مرحله ۰: بدون تشنج

مرحله ۱: لرزش سبیل ها و گوش ها

مرحله ۲: توقف حرکتی همراه با لرزش های آشکارتر

مرحله ۳: حرکات پرشی میوکلونیک

مرحله ۴: تشنج تونیک-کلونیک در حالی که حیوان هنوز روی پاهایش ایستاده است

مرحله ۵: تشنج تونیک-کلونیک همراه با از دست دادن

رفلکس راست کننده بدن

مرحله ۶: تشنج تونیک-کلونیک همراه با بالا رفتن و

پریدن های بی هدف و شدید

مرحله ۷: تشنج کشنده

همانطور که توسط معیارهای راسین ذکر شد پس از تزریق PTZ، موش ها به مدت ۳۰ دقیقه از نظر امتیازدهی رفتاری حیوانات تحت نظر قرار گرفتند و در مورد ساعت اولین پرش میوکلونیک (FMJ^۵)، ساعت شروع تشنج های تونیک-کلونیک عمومی (oGTCS^۶) و مدت زمان تشنج های تونیک-کلونیک عمومی (dGTCS^۷) داده ها ثبت شد. در روزهای هفتم تا دهم آزمون های رفتاری سنجش حافظه بازشناختی و اجتنابی غیرفعال به ترتیب با استفاده از ماز وای و دستگاه شاتل باکس انجام شد.

آزمون ماز وای و اندازه گیری رفتار تناوب

برای تعیین حافظه کاری فضایی کوتاه مدت با نظارت بر تغییرات خودجوش در رفتار، از دستگاه ماز وای^۸ استفاده شد. این دستگاه متشکل از سه بازوی هم اندازه به نام های A، B و C با ابعاد ۳۰ سانتی متر ارتفاع، ۱۵ سانتی متر عرض و ۴۰ سانتی متر طول است. هر موش در انتهای بازوی A قرار داده شد و اجازه یافت که به مدت ۱۰ دقیقه آزادانه بازوهای ماز را کاوش کند. رفتار حیوانات توسط یک آزمایشگر که از گروه های درمانی بی اطلاع بود، ارزیابی گردید. بازوهای ماز بین آزمایش ها با ۱۰ درصد اتانول تمیز می شد تا آثار باقیمانده بویایی حذف شوند. رفتار تناوب خودبه خودی به عنوان ورود متوالی

حافظه بازشناختی و اجتنابی را با فعال سازی مسیر سیگنالینگ BDNF/TrkB/CREB افزایش داده و شدت تشنجات را از طریق افزایش سطح فعالیت فاکتورهای آنتی اکسیدانی و مهار فعالیت مسیرهای آپوپتوتیک به طرز قابل توجهی کاهش داده است (۲۷).

تاکنون مطالعه ای که نقش آلفاپاینن را در مقابله با اختلال حافظه در مدل صرع کیندلینگ القا شده با پنتیلن تترازول بررسی کرده باشد انجام نشده است. بنابراین، با توجه به اثرات محافظت کننده قابل توجه آلفاپاینن در پژوهش های اخیر، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر آلفاپاینن بر عملکرد حافظه و سطوح پروتئین های سیتوکروم C و کاسپاز-۳ در بافت هیپوکامپ موش های صحرایی تحت مدل صرع کیندلینگ القا شده با پنتیلن تترازول بود.

مواد و روش ها

در این پژوهش ۳۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار، با سن ۸ هفته و وزن 270 ± 30 گرم از مرکز تحقیقات تجربی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز تهیه شدند. حیوانات در دوره های متناوب ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و در دمای میانگین 22 ± 3 درجه سانتی گراد در طول مراحل آزمایش نگهداری شدند. دسترسی آن ها به آب و غذا آزاد بود. محیط آزمایشگاه پیش از انجام آزمایش ها برای موش ها آماده سازی شد تا حیوانات با شرایط آن سازگار شوند. تمامی مراحل مربوط به نگهداری و آزمایش حیوانات در این مطالعه بر اساس «راهنمای مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی» مصوب مؤسسه ملی سلامت (NIH^۴) ایالات متحده انجام شد و توسط مؤسسه ملی توسعه تحقیقات پزشکی ایران نیماد در سال ۲۰۱۷ (شماره گواهی ۹۵۸۶۹۲) و نیز کمیته اخلاق در تحقیقات حیوانی دانشگاه علوم پزشکی دزفول (دزفول، ایران) تأیید گردید. حیوانات به صورت تصادفی به ۵ گروه (۶ تایی) تقسیم شدند.

کنترل: دریافت کننده حلال آلفاپاینن (نرمال سالین حاوی ۱۰ درصد دی متیل سولفوکسید) به صورت داخل صفاقی.

PTZ+ سالین: القای کیندلینگ شیمیایی با تزریق داخل صفاقی PTZ (۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم) به مدت ۱۰ روز متوالی.

آلفاپاینن (۵۰ میلی گرم/کیلوگرم) + PTZ: تزریق آلفاپاینن یک ساعت پیش از PTZ (همان دوز و دوره کیندلینگ).

آلفاپاینن (۱۰۰ میلی گرم/کیلوگرم) + PTZ:

^۴ National Institutes of Health

^۵ First myoclonic jerk

^۶ Onset of the generalized tonic-clonic seizures (sec)

^۷ Duration of the generalized tonic-clonic seizures(sec)

^۸ Y-maze

مدت زمانی که حیوان پس از باز شدن در، در محفظه روشن باقی می ماند تا وارد محفظه تاریک شود به عنوان «تأخیر عبور»^{۱۳} ثبت گردید. اگر حیوان طی مدت ۴۸۰ ثانیه (Cutoff time) وارد محفظه تاریک نمی شد، زمان مذکور به عنوان حد نهایی در نظر گرفته شد (۳۰).

سنجش فرم فعال کاسپاز ۳ و سیتوکروم C

بیست و چهار ساعت پس از پایان آزمون یادگیری اجتنابی غیرفعال، حیوانات با مخلوطی از کتامین و زایلازین تحت بیهوشی عمیق قرار گرفته و ناحیه هیپوکامپ مغز آن ها برای انجام بررسی های مولکولی و اندازه گیری سطح پروتئین های آپوپتوتیک سیتوکروم C و فرم فعال کاسپاز-۳ استخراج گردید. سطح این پروتئین ها به روش الایزا بر اساس دستورالعمل کیت های تهیه شده از شرکت Abcam اندازه گیری شد.

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده های پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری GraphPad Prism 9 انجام گرفت. از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (one way ANOVA) و تست تکمیلی توکی (Tukey) در سطح معنی داری $P < 0.05$ استفاده شد. نتایج به دست آمده به صورت $\text{Mean} \pm \text{SEM}$ بیان شده اند.

یافته ها

ارزیابی اثر آلفاپاینن بر پارامترهای تشنج در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ

نتایج پژوهش ما نشان داد با توجه به روند افزایشی میانگین نمره تشنج در گروه القا شده با PTZ، پیش درمان با آلفاپاینن در دوز ۵۰ میلی گرم/کیلوگرم وزن بدن در روز ۴ علیرغم روند کاهشی از لحاظ آماری معنی دار نبود ($P > 0.05$)، اما در روزهای ۷ ($P < 0.05$) و ۱۰ ($P < 0.01$) به طور معنی داری شدت تشنج های صرعی را در مقایسه با گروه PTZ کاهش داد. همچنین بر اساس داده های نمودار ۱ در گروه دریافت کننده آلفاپاینن با دوز ۱۰۰ میلی گرم/کیلوگرم، کاهش معنی دار شدت تشنج در روز ۴ ($P < 0.05$)، روز ۷ و ۱۰ ($P < 0.01$) نسبت به گروه PTZ ثبت گردید که نشان دهنده اثر محافظتی قوی تر این دوز است (نمودار ۱).

به هر سه بازو در مجموعه های سه تایی هم پوشان تعریف شد. زمانی که یک حیوان به سه بازوی مختلف به ترتیب وارد می شد، این ورودها ثبت می شد. معیار ورود به هر بازو زمانی انجام می شد که انتهای دم موش و پاهای عقبی حیوان به طور کامل در بازو قرار می گرفت. درصد رفتار تناوب خودبه خودی با استفاده از نسبت تناوب مشاهده شده به حداکثر تناوب (۲- تعداد کل بازوهای وارد شده) $\times 100$ محاسبه گردید (۲۹).

آزمون یادگیری اجتنابی غیرفعال

برای ارزیابی رفتاری اجتنابی غیرفعال از دستگاه شاتل باکس با ابعاد تقریبی $20 \times 20 \times 80$ سانتی متر استفاده شد. این دستگاه شامل دو محفظه ای مجزا بود: یکی روشن و دیگری تاریک که توسط درب گیوتینی از یکدیگر جدا می شد. در کف محفظه تاریک، میله های فلزی تعبیه شده بودند تا امکان اعمال شوک الکتریکی خفیف به پنجه های حیوان فراهم شود. تحریک الکتریکی توسط استیمولاتور با شدت جریان ۱ میلی آمپر و به مدت ۱ ثانیه اعمال شد. آزمون در سه مرحله اصلی و از روز هفتم انجام گرفت. ۱. مرحله سازگاری^۹: در این مرحله، هر حیوان به مدت ۵ دقیقه در دو روز متوالی قبل از شروع آزمون اصلی، در داخل دستگاه قرار داد شد تا با محیط آزمایش سازگار شود. ۲. مرحله کسب^{۱۰}: در روز سوم این آزمون، حیوان ابتدا در محفظه روشن قرار داده شد و پس از ۲ دقیقه، در گیوتینی بین دو محفظه به طور کامل باز شد. مدت زمانی که طول می کشید تا حیوان از محفظه روشن وارد محفظه تاریک شود به عنوان شاخص «تأخیر اولیه»^{۱۱} ثبت شد. به محض ورود کامل حیوان به محفظه تاریک، شوک خفیف ۱ میلی آمپر، به مدت ۱ ثانیه اعمال گردید. بلافاصله پس از پایان شوک، حیوان به قفس نگهداری خود انتقال داده شد و پس از ۱ دقیقه دوره ای استراحت در آن قرار داده شد. آزمون هایی که تأخیر اولیه بیش از ۶۰ ثانیه داشتند، از تحلیل حذف شدند. ۳. مرحله یادآوری و نگهداری^{۱۲}: این مرحله ۲۴ ساعت پس از مرحله کسب (روز چهارم) انجام شد و مشابه مرحله قبل بود، با این تفاوت که هنگام ورود حیوان به محفظه تاریک هیچ شوک الکتریکی ای اعمال نمی شد.

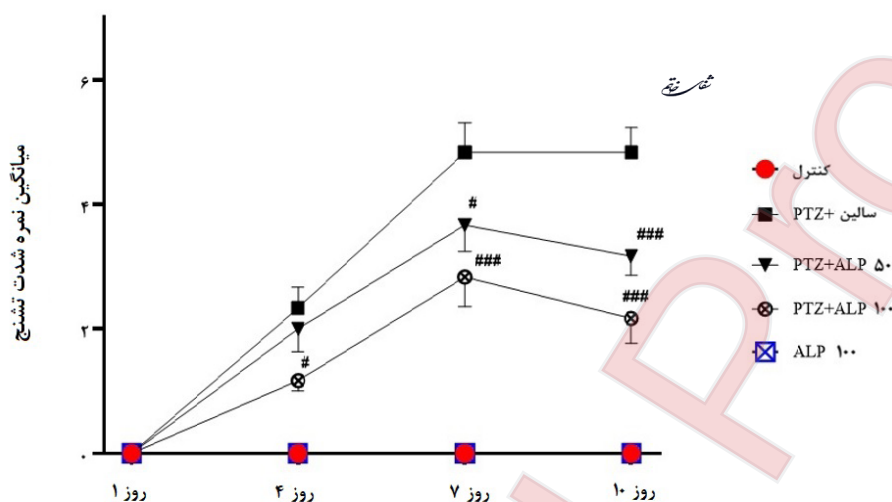
⁹ Adaptation

¹⁰ Acquisition

¹¹ Initial Latency = IL

¹² Retention and Recall

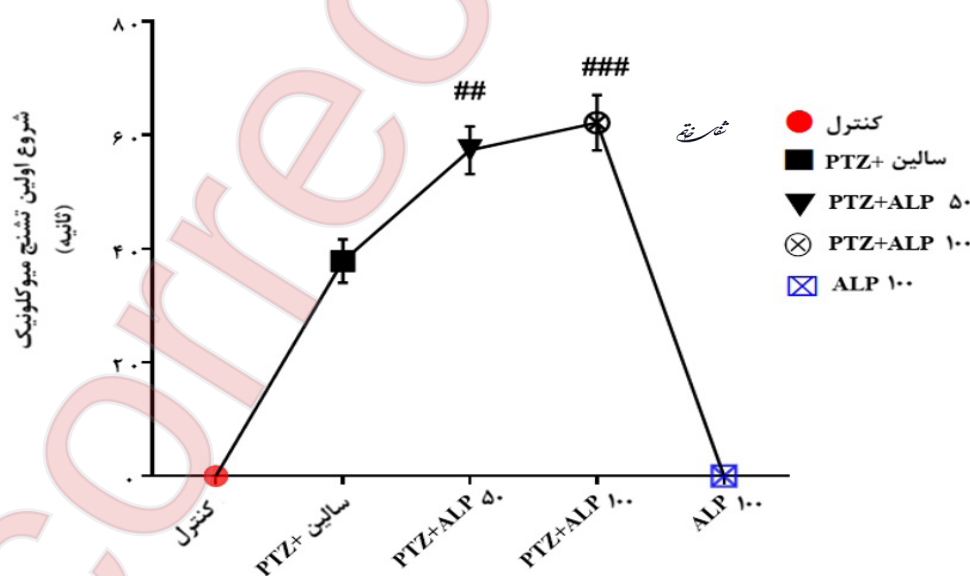
¹³ Step Through Latency = STL



نمودار ۱- ارزیابی اثر آلفاپاینن بر شدت تشنج در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). # $P<0/05$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ. ### $P<0/001$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.

نتایج ما همچنین نشان دادند پیش درمان با آلفا پینن در دوز ۵۰ ($P<0/05$) و ۱۰۰ ($P<0/01$) میلی‌گرم/کیلوگرم توانست زمان شروع تشنجهای تونیک-کلونیک ژنرالیزه (oGTCS) در مقایسه با گروه PTZ به طور قابل توجهی به تأخیر بیندازد (نمودار ۳). این نتایج حاکی از

نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد وقوع اولین تشنج میوکلونیک (FMJ) در گروه‌های تحت درمان با آلفاپاینن در دوز ۵۰ ($P<0/01$) و ۱۰۰ ($P<0/001$) میلی‌گرم/کیلوگرم در مقایسه با گروه PTZ به طور قابل توجهی به تأخیر افتاد (نمودار ۲).

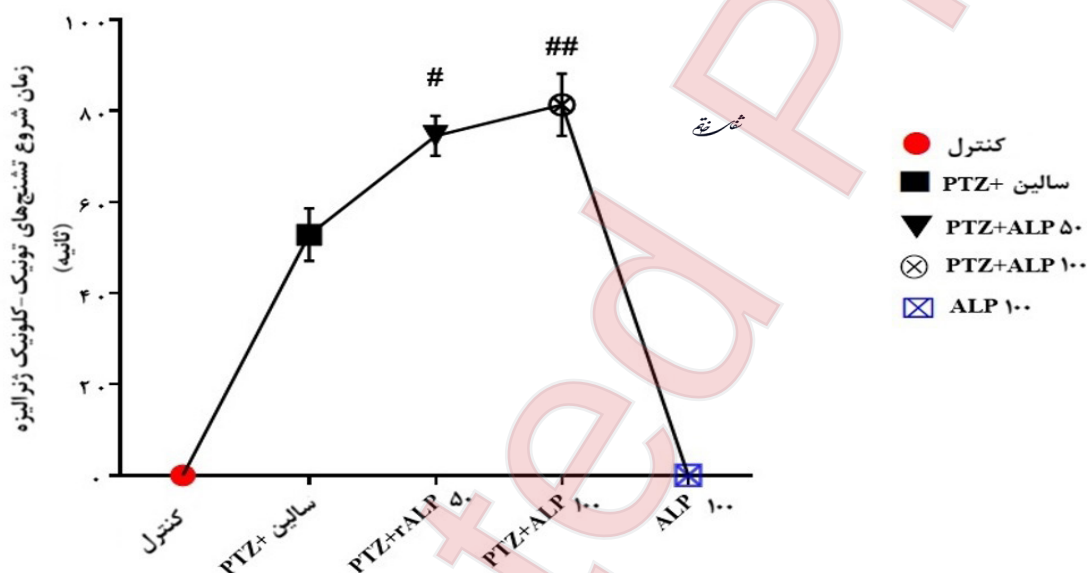


نمودار ۲- ارزیابی اثر آلفاپاینن بر وقوع اولین تشنج میوکلونیک (FMJ) در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). ## $P<0/01$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ. ### $P<0/001$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.

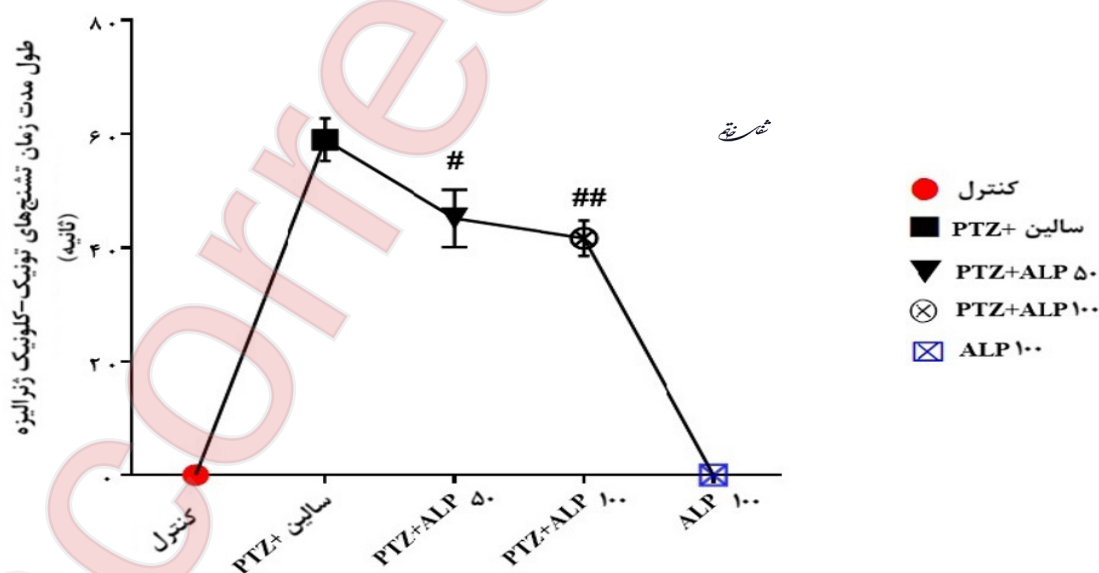
نسبت به گروه سالین+PTZ کاهش داد؛ به گونه‌ای که این کاهش در گروه PTZ+50ALP معنی‌دار ($P<0/05$) و در گروه PTZ+100ALP برجسته‌تر و با سطح معنی‌داری بالاتر ($P<0/01$) بود. این نتایج بیانگر آن است که آلفاپاینن به صورت وابسته به دوز، مدت‌زمان تشنج‌های تونیک-کلونیک ژنرالیزه القاشده با PTZ را کاهش می‌دهد.

آن است که آلفاپاینن با به تعویق انداختن طول مدت زمان تشنج‌های تونیک-کلونیک ژنرالیزه، می‌تواند شدت پیشرفت حملات صرعی را در مدل PTZ کاهش دهد.

مطابق با نمودار ۴ آلفاپاینن مدت زمان تشنج‌های تونیک-کلونیک ژنرالیزه (dGTCS) را به طور معنی‌داری



نمودار ۳- ارزیابی اثر آلفاپاینن بر زمان شروع تشنج‌های تونیک-کلونیک ژنرالیزه (dGTCS) در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ ($n=6$). # $P<0/05$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ. ## $P<0/01$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.



نمودار ۴- اثر آلفاپاینن بر طول مدت زمان تشنج‌های تونیک-کلونیک ژنرالیزه (dGTCS) در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ ($n=6$). # $P<0/05$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ. ## $P<0/01$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.

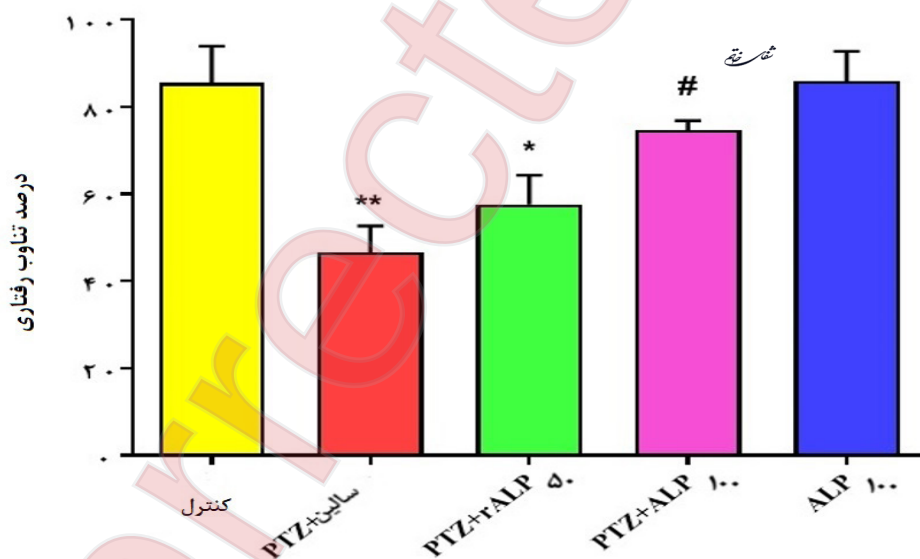
اثر محافظتی آلفاپینن در این دوز است. علاوه بر این، تجویز آلفاپینن با دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به تنهایی (۱۰۰ALP) تفاوت معنی داری با گروه کنترل نشان نداد ($P>0/05$)، که بیانگر عدم تأثیر نامطلوب این ترکیب بر عملکرد حافظه در شرایط فیزیولوژیک است.

ارزیابی اثر آلفاپینن بر آزمون یادگیری اجتنابی غیر فعال در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ

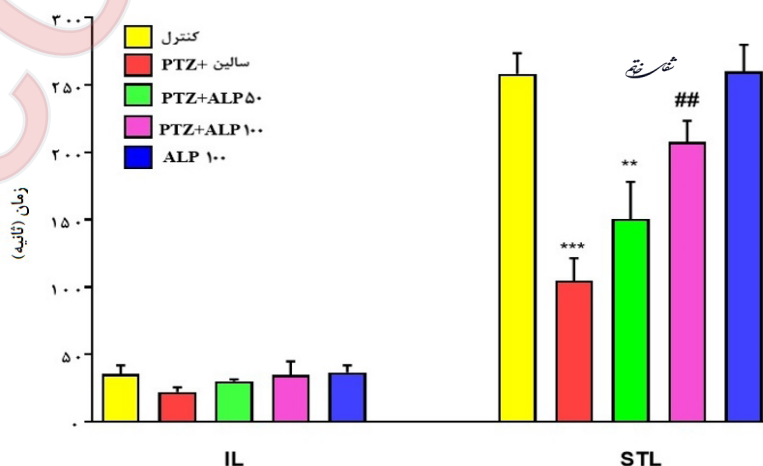
آلفاپینن می تواند نقش مهمی در بهبود اختلال حافظه اجتنابی غیر فعال ناشی از تزریق PTZ ایفا کند. در هیچکدام از گروه های آزمایش تغییر معنی داری در مورد تاخیر اولیه در مقایسه با گروه کنترل وجود ندارد. مطابق با نمودار ۶ میزان تاخیر اولیه در حین عبور (STL) در گروه سالین+PTZ ($P<0/001$) و گروه PTZ+۵۰ALP ($P<0/01$) به طور معنی داری کمتر از گروه کنترل بود. درمان با آلفاپینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم باعث افزایش مدت زمان STL شد ($P<0/01$) که نشان دهنده بهبود یادگیری اجتنابی غیر فعال است.

ارزیابی اثر آلفاپینن بر آزمون Y-maze و بررسی رفتار تناوب در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ

نتایج حاصل از درصد تناوب رفتاری (%Alternation)، که شاخصی از حافظه کاری فضایی کوتاه مدت از نوع بازشناختی در جوندگان است، در تصویر ۵ نشان داده شده است. تحلیل داده ها نشان داد که القای تشنج توسط PTZ موجب کاهش معنی دار درصد تناوب رفتاری در گروه سالین+PTZ نسبت به گروه کنترل شد ($P<0/01$)، که بیانگر اختلال در حافظه کاری فضایی است. همچنین، گروه پیش درمان شده با آلفاپینن در دوز ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم (PTZ+۵۰ALP) در مقایسه با گروه کنترل کاهش معنی داری در درصد تناوب رفتاری نشان داد ($P<0/05$)، اگرچه میانگین این گروه نسبت به گروه سالین+PTZ افزایش یافته بود. در مقابل، پیش درمان با آلفاپینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم (PTZ+۱۰۰ALP) موجب افزایش معنی دار درصد تناوب رفتاری نسبت به گروه سالین+PTZ شد ($P<0/05$)، که نشان دهنده بهبود حافظه کاری فضایی و



نمودار ۵- اثر آلفاپینن بر آزمون Y-maze و بررسی رفتار تناوب در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). * $P<0/05$ سطوح معنی داری در مقایسه با گروه کنترل. ** $P<0/01$ سطوح معنی داری در مقایسه با گروه کنترل. # $P<0/05$ سطوح معنی داری در مقایسه با گروه PTZ.



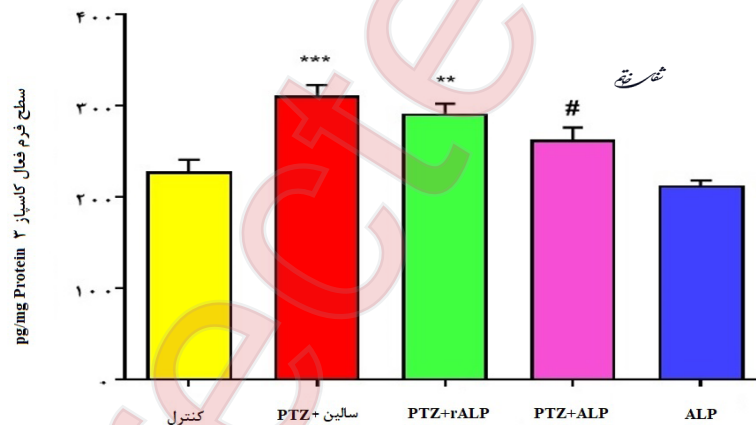
نمودار ۶- اثر آلفاپینن بر میزان تاخیر اولیه و تاخیر در حین عبور در آزمون یادگیری اجتنابی غیر فعال در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). * $P<0/01$ و *** $P<0/001$ سطوح معنی داری در مقایسه با گروه کنترل. ## $P<0/01$ سطوح معنی داری در مقایسه با گروه PTZ.

ارزیابی اثر آلفاپاینن بر سطح سیتوکروم C در بافت هیپوکامپ در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ

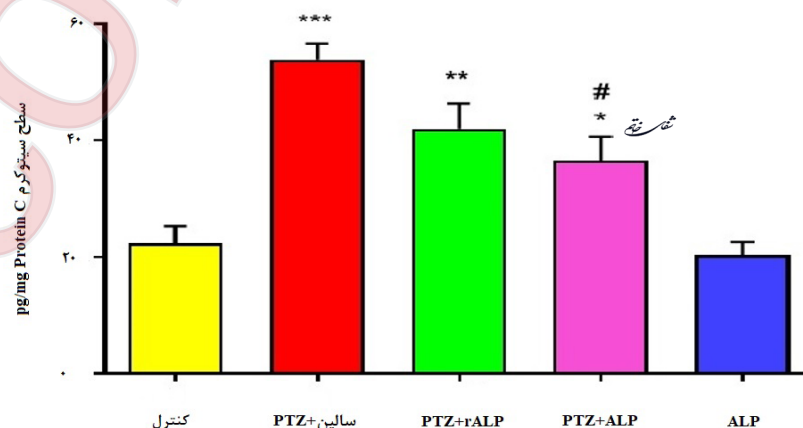
آنالیز بیوشیمیایی بافت هیپوکامپ نشان داد که القای تشنج توسط PTZ منجر به اختلال جدی در تمامیت غشای میتوکندری و متعاقباً نشت گسترده سیتوکروم C به فضای سیتوزولی در گروه سالین+PTZ در مقایسه با گروه کنترل شده است ($P<0/001$) (نمودار ۸). با این حال، پیش‌تیمار با آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی‌گرم (PTZ+۱۰۰ALP) توانست به طور معنی‌داری سطح این شاخص را نسبت به گروه تشنجی کاهش دهد ($P<0/05$). اگرچه دوز ۵۰ میلی‌گرم (PTZ+۵۰ALP) نیز روند کاهش را نشان داد، اما سطح سیتوکروم C در این گروه همچنان تفاوت معنی‌داری با گروه کنترل داشت ($P<0/01$). شایان ذکر است که تجویز آلفاپاینن به تنهایی در گروه ۱۰۰ALP هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری در شاخص سیتوکروم C نسبت به گروه کنترل ایجاد نکرد.

ارزیابی اثر آلفاپاینن بر سطح فرم فعال کاسپاز ۳ در بافت هیپوکامپ در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ

به منظور بررسی میزان آپوپتوز سلولی، سطح فرم فعال کاسپاز ۳ در بافت هیپوکامپ اندازه‌گیری شد (نمودار ۷). نتایج نشان داد که القای تشنج با PTZ منجر به افزایش معنی‌دار سطح این پروتئین در گروه مدل نسبت به گروه کنترل شده است ($P<0/001$). در مقابل، تجویز دوز ۱۰۰ میلی‌گرم آلفا پینن به طور معنی‌داری مانع از افزایش سطح این شاخص آپوپتوتیک شد ($P<0/05$). شایان ذکر است که دوز ۵۰ میلی‌گرم علی‌رغم کاهش نسبی، همچنان سطح بالاتری از کاسپاز ۳ را نسبت به گروه کنترل نشان داد ($P<0/01$). همچنین، سطح فرم فعال پروتئین کاسپاز ۳ در گروه ۱۰۰ALP تفاوت آماری معنی‌داری با گروه کنترل نشان نداد، که تأییدکننده عدم القای مسیرهای آپوپتوتیک توسط این ترکیب در بافت سالم است.



نمودار ۷- اثر آلفاپاینن بر سطح فرم فعال کاسپاز ۳ در بافت هیپوکامپ در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). ** $P<0/01$ و *** $P<0/001$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه کنترل. # $P<0/05$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.



نمودار ۸- اثر آلفاپاینن بر سطح سیتوکروم C در بافت هیپوکامپ در مدل صرع ناشی از تزریق PTZ (n=۶). ** $P<0/05$ و *** $P<0/001$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه کنترل. # $P<0/05$ سطوح معنی‌داری در مقایسه با گروه PTZ.

وابسته به سیکلین نوع ۵ شده است (۴۲). این مونوترپن در مدل القای حیوانی بیماری پارکینسون نیز اثرات بهبود دهنده حافظه را با ایجاد اثرات آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌کولین استراز نشان داده است (۲۵). خوش‌نظر و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان دادند که آلفاپاینن می‌تواند عملکرد حافظه فضایی را در آزمون ماز آبی موریس از طریق اعمال خواص ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی در مدل حیوانی آلزایمر افزایش دهد (۲۳). بنابراین، این گزارشات به همراه مطالعه حاضر تأیید کننده این مطلب است که آلفاپاینن می‌تواند قابلیت اعمال خواص درمانی مطلوب در جهت بهبود و پیشبرد عملکرد حافظه را در مدل‌های متعدد تخریب کننده عصبی داشته باشد.

از سویی دیگر، مطالعات محققان در سال‌های اخیر نشان داده است که مرگ نورونی ممکن است ناشی از تشنج‌های مکرر باشند که منجر به وقوع تغییرات نوروپاتولوژیک وسیع در سطح مولکولی ناحیه هیپوکامپ مغز می‌گردد (۴۳). از دست رفتن نورون‌ها را می‌توان به تحریک پروتئین‌های پیش‌آپوپتوتیک، مانند کاسپاز-۳ و سیتوکروم C نسبت داد (۴۴). کاسپاز-۳ به‌عنوان کاسپاز اصلی مسئول پیشبرد و اجرای آپوپتوز است که مسئول تغییرات هسته‌ای در آپوپتوز بوده و هم مسیرهای خارجی و هم داخلی می‌توانند منجر به فعال شدن آن شوند (۴۵). هنگامی که کاسپاز-۳ فعال می‌شود، تحت شکافت پروتئولیتیک^{۱۴} قرار می‌گیرد و کاسپاز-۳ شکسته^{۱۵} را ایجاد می‌کند که این فرم فعال برای واسطه‌گری آپوپتوز ضروری است (۴۶). در طول آپوپتوز، کاسپاز-۳ به دو قطعه (p17 و p12) شکافته می‌شود و به هسته سلول منتقل می‌گردد. پس از شکافت و فعال‌سازی، کاسپاز-۳ می‌تواند کاسپازهای دیگر (مانند ۶، ۷ و ۹) را فعال کرده و منجر به بروز آشناری از آپوپتوز شود (۴۷). تشخیص کاسپاز-۳ شکسته به همین دلیل یک نشانگر قابل اعتماد برای سلول‌هایی است که از طریق آپوپتوز در حال مرگ هستند (۴۶). بنابراین، ما در این پژوهش سطح این فرم از کاسپاز-۳ را در بافت هیپوکامپ گروه‌های مختلف آزمایشی بررسی نمودیم. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تجویز PTZ منجر به افزایش غلظت کاسپاز-۳ شکسته و سیتوکروم C در بافت هیپوکامپ موش‌های صرعی شده می‌شود. با این حال، این افزایش پس از تیمار با آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به طور قابل توجهی مهار گردید. برخی از مطالعات، اثرات ضدآپوپتوزی آلفاپاینن را در مدل‌های مختلف عصبی بررسی کرده‌اند. مطالعه خوش‌نظر و همکاران در سال ۲۰۱۹ نشان داده است که

در مطالعه حاضر اثرات مفید بالقوه تیمار با آلفاپاینن در دوزهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم بر رفتارهای تشنجی و عملکرد حافظه در مدل صرع کیندلینگ القا شده با PTZ مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که آلفاپاینن می‌تواند سبب اعمال اثرات ضد تشنجی و محافظت کننده عصبی در مقایسه با گروه صرعی شود. همچنین، آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم قادر به بهبود عملکرد حافظه بازدارنده غیرفعال و حافظه فضایی کاری کوتاه مدت از طریق تضعیف فاکتورهای آپوپتوتیک سیتوکروم C و کاسپاز-۳ شد.

تعداد زیادی از افراد مبتلا به صرع از کاهش یادگیری، اختلال حافظه و اختلالات رفتاری رنج می‌برند (۳۲، ۳۱). اثرات منفی این بیماری کیفیت زندگی را کاهش داده و منجر به اختلال در عملکرد حافظه کوتاه مدت و بلند مدت می‌شود (۳۳). تزریق PTZ منجر به مرگ نورون‌ها و فعال‌سازی سلول‌های گلیال در نواحی خاصی از هیپوکامپ می‌شود (۳۴). مدل صرع کیندلینگ القا شده با PTZ یک الگوی کاملاً تثبیت شده و معتبر برای بررسی فرآیندهای زمینه‌ساز صرع‌زایی اختلالات شناختی ناشی از تشنجه‌ها به کار می‌رود (۳۶، ۳۵). مطالعاتی، اختلالات یادگیری و حافظه ناشی از کیندلینگ PTZ را نشان داده‌اند که در آزمون ماز آبی موریس عملکرد ضعیفی دارند (۳۹-۳۷). مطابق با یافته‌های پژوهش‌های پیشین، مطالعه حاضر نیز نشان داد که گروه‌های صرعی شده با PTZ دچار افت عملکرد حافظه بازدارنده غیرفعال شدند که از طریق کاهش معنی‌دار زمان تأخیر ورود به بخش تاریک نسبت به گروه کنترل مشخص گردید (۴۰). همچنین، نتایج آزمون ماز وای نشان داد که درصد رفتار تناوب خود به خودی در این گروه در مقایسه با گروه کنترل کاهش یافت. در حالی که، تیمار با آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم عملکرد هر دو نوع حافظه مورد بررسی در مطالعه حاضر را در مقایسه با گروه دریافت کننده PTZ به طور معنی‌داری بهبود بخشید. پژوهش ما از این نظر با یافته‌های مطالعات دیگر مطابقت و هم خوانی دارد. در همین راستا، مطالعات متعددی اثرات محافظت کننده عصبی آلفاپاینن را در مدل‌های عصبی بررسی کرده‌اند. آلفاپاینن در مدل نقص حافظه ناشی از اسکوپولامین، منجر به بهبود یادگیری و حافظه با افزایش سنتز استیل‌کولین و مهار پاسخ‌های اکسیداتیو گردید (۴۱). آلفاپاینن در مدل حیوانی هانتینگتون القا شده با تری‌نیتروپروپیونیک اسید سبب مهار تضعیف حافظه بازدارنده غیرفعال از طریق کاهش سطح بیان ژن کیناز

¹⁴ Proteolytic Cleavage

¹⁵ Cleaved Caspase-3

آلفاپاینن نه تنها به عنوان یک عامل تعدیل کننده قوی ضد تشنج عمل می کند، بلکه با حفاظت از نورون ها در برابر مرگ برنامه ریزی شده آپتوز، مکانیسم های محافظت عصبی را فعال می سازد که منجر به بهبود پایدار عملکرد حافظه می شود. این یافته ها، آلفاپاینن را به عنوان یک ترکیب اثربخش برای توسعه درمان های کمکی جدید در رفع اختلالات شناختی همراه با صرع معرفی می کند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی دزفول بابت حمایت های مالی و تامین امکانات انجام مطالعه حاضر تشکر و قدردانی می گردد. این مقاله مستخرج از طرح مصوب با کد IR.DUMS.AEC.1402.008 است. هیچ کدام از نویسندگان این مطالعه، افراد و یا دستگاه ها تعارض منافی برای انتشار این مقاله ندارند.

آلفاپاینن در مدل اسکمیک مغزی سبب مهار آپتوز بر اساس این شواهد، آلفاپاینن ممکن است با کاهش سطوح پروتئین های کاسپاز-۳ و سیتوکروم C، افت شناختی ناشی از PTZ را در موش ها مهار کند. موش های صرعی شده با PTZ، همانطور که با تغییراتی در درجه بندی شدت و مدت تشنجات طبق مقیاس راسین آزمون ماز وای، آزمون بازدارنده غیرفعال و سطوح افزایش یافته پروتئین های آپپتوتیک کاسپاز-۳ و سیتوکروم C نشان داده شد، دچار اختلال شناختی بودند. تیمار با آلفاپاینن در دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد شناختی از طریق کاهش سطح این پروتئین های آپپتوتیک در مقایسه با گروه PTZ شد. این امر نشان می دهد که آلفاپاینن پتانسیل کمک به نقص های شناختی مرتبط با صرع را دارد. نتایج حاصل از داده های مطالعه حاضر نشان می دهد که

منابع

1. Scheffer IE, Berkovic S, Capovilla G, Connolly MB, French J, Guilhoto L, et al. ILAE classification of the epilepsies: Position paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017; 58(4): 512–21.
2. Thome-Souza S, Kuczynski E, Assumpção Jr F, Rzezak P, Fuentes D, Fiore L, et al. Which factors may play a pivotal role on determining the type of psychiatric disorder in children and adolescents with epilepsy? *Epilepsy & Behavior*. 2004; 5(6): 988–94.
3. González-H G, Contreras-García JJ, Sánchez-Huerta K, Queiroz CM, Gallardo Gudiño LR, Mendoza-Torreblanca JG, et al. Levetiracetam reduced the basal excitability of the dentate gyrus without restoring impaired synaptic plasticity in rats with temporal lobe epilepsy. *Brain Sciences*. 2020; 10(9): 634.
4. Hermann BP, Struck AF, Busch RM, Reyes A, Kaestner E, McDonald CR. Neurobehavioural comorbidities of epilepsy: towards a network-based precision taxonomy. *Nature Reviews Neurology*. 2021; 17(12): 731–46.
5. Tramoní-Negre E, Lambert I, Bartolomei F, Felician O. Long-term memory deficits in temporal lobe epilepsy. *Revue neurologique*. 2017; 173(7-8): 490–7.
6. Novak A, Vizjak K, Rakusa M. Cognitive impairment in people with epilepsy. *Journal of clinical medicine*. 2022; 11(1): 267.
7. Blake R, Wroe S, Breen E, McCarthy RA. Accelerated forgetting in patients with epilepsy: evidence for an impairment in memory consolidation. *Brain*. 2000; 123(3): 472–83.
8. Butler C, Zeman A. Recent insights into the impairment of memory in epilepsy: transient epileptic amnesia, accelerated long-term forgetting and remote memory impairment. *Brain*. 2008; 131(9): 2243–63.
9. Sahraei M, Rezaei F, Papi F. A Survey on the impact of metacognitive beliefs, anxiety, and depression on the stigma of epilepsy in Khoram-Abad, Iran. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2020; 8(3): 20–8.
10. Moghadam BB, Shirian S, Karimzadeh MH, Mashaei KS. The Effect of Astaxanthin on the Treatment of Epilepsy and Brain-Spinal Cord Injury. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2025; 13(3): 101–114.
11. Khodabandeh H, Keshavarzi S, Moradian P, Edalatmanesh MA. The Effect of Hesperidin on the Cognitive-Behavioral Deficit in a Rat Model of Pentylentetrazole-Induced Perinatal Seizures. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2020; 8(4): 1–11.
12. Aghdash SN, Nasirifard S. The Effect of Equeous Datura Stramonium L Seed Extract on Chemical Kindling Induced by Intraperitoneal Injection of Pentylentetrazole in Mice. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2015; 3(2): 35–40.
13. Aghdash SN, Nasirifard S. Assessment of aqueous extract of Humulus lupulus effects on seizure induced by intraperitoneal injection of pentylentetrazole in mice. *Neurosci J Shefaye Khatam*. 2015; 3: 49–54.
14. Jeżowska-Jurczyk K, Kotas R, Jurczyk P, Nowakowska-Kotas M, Budrewicz S, Pokryszko-Dragan A. Mental disorders in patients with epilepsy. *Psychiatr Pol*. 2020; 54(1): 51–68.

15. Zhang X, Wu Z, Zhou X, Tao H. Mitochondrial dysfunction in epilepsy: mechanistic insights and clinical strategies. *Molecular Biology Reports*. 2025; 52(1): 470.
16. Cock H. The role of mitochondria in status epilepticus. *Epilepsia* (Series 4). 2007; 48.
17. Glover HL, Schreiner A, Dewson G, Tait SW. Mitochondria and cell death. *Nature cell biology*. 2024; 26(9): 1434–46.
18. Olney JW, Tenkova T, Dikranian K, Muglia LJ, Jermakowicz WJ, D'Sa C, et al. Ethanol-induced caspase-3 activation in the in vivo developing mouse brain. *Neurobiology of disease*. 2002; 9(2): 205–19.
19. Chuang Y-C. Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in seizure-induced neuronal cell death. *Acta Neurol Taiwan*. 2010; 19(1): 3–15.
20. Löscher W, Potschka H, Sisodiya SM, Vezzani A. Drug resistance in epilepsy: clinical impact, potential mechanisms, and new innovative treatment options. *Pharmacological reviews*. 2020; 72(3): 606–38.
21. De Bellis M, d'Orsi G, Rubino EM, Arigliano C, Carella M, Sciruicchio V, et al. Adverse effects of antiseizure medications: a review of the impact of pharmacogenetics and drugs interactions in clinical practice. *Frontiers in pharmacology*. 2025; 16: 1584566.
22. Hashemi P, Ahmadi S. Alpha-pinene exerts antiseizure effects by preventing oxidative stress and apoptosis in the hippocampus in a rat model of temporal lobe epilepsy induced by kainate. *Molecular Neurobiology*. 2023; 60(6): 3227–38.
23. Khan-Mohammadi-Khorrami MK, Asle-Rousta M, Rahnema M, Amini R. Neuroprotective effect of alpha-pinene is mediated by suppression of the TNF- α /NF- κ B pathway in Alzheimer's disease rat model. *Journal of biochemical and molecular toxicology*. 2022; 36(5): e23006.
24. Khoshnazar M, Parvardeh S, Bigdeli MR. Alpha-pinene exerts neuroprotective effects via anti-inflammatory and anti-apoptotic mechanisms in a rat model of focal cerebral ischemia-reperfusion. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*. 2020; 29(8): 104977.
25. Goudarzi S, Rafieirad M. Evaluating the effect of α -pinene on motor activity, avoidance memory and lipid peroxidation in animal model of Parkinson disease in adult male rats. *Research Journal of Pharmacognosy*. 2017; 4(2): 53–63.
26. Saeedipour S, Rafieirad M. Anti-anxiety effect of Alpha-pinene in comparison with Diazepam in adult male rats. *Feyz Medical Sciences Journal*. 2020; 24(3): 253–45.
27. Hashemi P, Ahmadi S. Alpha-pinene moderates memory impairment induced by kainic acid via improving the BDNF/TrkB/CREB signaling pathway in rat hippocampus. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. 2023; 16: 1202232.
28. Lüttjohann A, Fabene PF, van Luijtelar G. A revised Racine's scale for PTZ-induced seizures in rats. *Physiology & behavior*. 2009; 98(5): 579–86.
29. Kraeuter A-K, Guest PC, Sarnyai Z. The Y-maze for assessment of spatial working and reference memory in mice. *Pre-clinical models: Techniques and protocols*: Springer; 2018. p. 105–11.
30. Taskiran AS, Ergul M. The modulator action of thiamine against pentylentetrazole-induced seizures, apoptosis, nitric oxide, and oxidative stress in rats and SH-SY5Y neuronal cell line. *Chemico-biological interactions*. 2021; 340: 109447.
31. Guo L, Gao T, Jia X, Gao C, Tian H, Wei Y, et al. SKF83959 attenuates memory impairment and depressive-like behavior during the latent period of epilepsy via allosteric activation of the sigma-1 receptor. *ACS Chemical Neuroscience*. 2022; 13(22): 3198–209.
32. Maslarova A, Schröter S, Buchfelder M, Brandner S. FV 16 Long-term potentiation of synaptic plasticity in the temporal cortex of epilepsy patients—in search of a mechanism for memory impairment. *Clinical Neurophysiology*. 2022; 137: e9.
33. Jung A-r, Park C-h, Choi YS, Yoo JH, Lee HW. Functional brain connectivity and memory impairment in temporal lobe epilepsy (I7. 007). *Neurology*. 2016; 86(16_supplement): I7. 007.
34. Kaur H, Patro I, Tikoo K, Sandhir R. Curcumin attenuates inflammatory response and cognitive deficits in experimental model of chronic epilepsy. *Neurochemistry international*. 2015; 89: 40–50.
35. Choudhary KM, Mishra A, Poroikov VV, Goel RK. Ameliorative effect of Curcumin on seizure severity, depression like behavior, learning and memory deficit in post-pentylentetrazole-kindled mice. *European journal of pharmacology*. 2013; 704(1-3): 33–40.
36. Safar MM, Shahin NN, Mohamed AF, Abdelkader NF. Suppression of BACE1 and amyloidogenic/RAGE axis by sitagliptin ameliorates PTZ kindling-

- induced cognitive deficits in rats. *Chemico-Biological Interactions*. 2020; 328: 109144.
37. Alachkar A, Ojha SK, Sadeq A, Adem A, Frank A, Stark H, et al. Experimental models for the discovery of novel anticonvulsant drugs: focus on pentylenetetrazole-induced seizures and associated memory deficits. *Current pharmaceutical design*. 2020; 26(15): 1693–711.
38. Wang L, Ding J, Zhu C, Guo B, Yang W, He W, et al. Semaglutide attenuates seizure severity and ameliorates cognitive dysfunction by blocking the NLR family pyrin domain containing 3 inflammasome in pentylenetetrazole-kindled mice. *International journal of molecular medicine*. 2021; 48(6): 219.
39. Pahuja M, Mehla J, Reeta K, Tripathi M, Gupta YK. Effect of Anacyclus pyrethrum on pentylenetetrazole-induced kindling, spatial memory, oxidative stress and rho-kinase II expression in mice. *Neurochemical research*. 2013; 38(3): 547–56.
40. Erdoğan F, Gölgeli A, Arman F, Ersoy AÖ. The effects of pentylenetetrazole-induced status epilepticus on behavior, emotional memory, and learning in rats. *Epilepsy & Behavior*. 2004; 5(3): 388–93.
41. Lee G, Lee C, Park G, Jang J. Amelioration of scopolamine-induced learning and memory impairment by multiple bioactivities of traditional medicinal herbs for treatment of neurodegenerative diseases. *Evid Based Complement Alternat Med Available from*. 2017; 2017.
42. Hashemi P, Moloudi MR, Rahmani H, Vahabzadeh Z, Izadpanah E. Alpha-Pinene Effect on Passive Avoidance Memory and CDK5 Gene Expression in the Rat Model of Huntington's Disease Induced by 3-Nitropropionic Acid. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*. 2024; 29(1): 34–45.
43. Kotloski R, Lynch M, Lauersdorf S, Sutula T. Repeated brief seizures induce progressive hippocampal neuron loss and memory deficits. *Progress in brain research*. 2002; 135: 95–110.
44. Tobon-Aroyave S, Villegas-Acosta F, Ruiz-Restrepo S, Vieco-Duran B, Restrepo-Misas M, Londoño-López M. Expression of caspase-3 and structural changes associated with apoptotic cell death of keratinocytes in oral lichen planus. *Oral diseases*. 2004; 10(3): 173–8.
45. Bascones-Ilundain C, Gonzalez-Moles M, Campo-Trapero J, Gil-Montoya J, Esparza-Gómez G, Cano-Sánchez J, et al. No differences in caspase-3 and Bax expression in atrophic-erosive vs. reticular oral lichen planus. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2008; 22(2): 204–12.
46. Silva FFVE, Padín-Iruegas ME, Caponio VCA, Lorenzo-Pouso AI, Saavedra-Nieves P, Chamorro-Petronacci CM, et al. Caspase 3 and cleaved caspase 3 expression in tumorigenesis and its correlations with prognosis in head and neck cancer: a systematic review and meta-analysis. *International journal of molecular sciences*. 2022; 23(19): 11937.
47. Huang J-S, Yang C-M, Wang J-S, Liou H-H, Hsieh I-C, Li G-C, et al. Caspase-3 expression in tumorigenesis and prognosis of buccal mucosa squamous cell carcinoma. *Oncotarget*. 2017; 8(48): 84237.