

Effects of Magnesium Sulfate on Pentylenetetrazole-Induced Seizures in Male Wistar Rats

Naghmeh Moghimi¹, Akram Eidi^{1*}, Pejman Mortazavi², Ali Haeri Rohani¹

1. Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Pathology, Faculty of Specialized Veterinary Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: 2017/11/10

Accept: 2018/01/21)

Abstract

Background: Magnesium (Mg^{2+}) is the second most abundant cation (after potassium) in the cell and plays an important role in various biological functions, including cell cycle, channel regulation, ATPase activity, metabolic regulation, etc. Magnesium deficiency increased incidence of cardiovascular diseases, including hypertension, stroke, and atherosclerosis as well as gastrointestinal disorders, such as loss of appetite, nausea, and vomiting. Considering the antioxidant activity of magnesium and the role of oxidative stress in the pathophysiology of epileptic seizures, the present study was conducted to investigate the effect of magnesium sulfate on pentylenetetrazole (PTZ)-induced seizures in adult male Wistar rats.

Methods: In the present experimental study, the rats were randomly divided into eight groups: normal control, magnesium sulfate (0.05, 0.1, and 0.2 g/kg intragastrically, daily) alone, seizuric control rats (PTZ, 35 mg/kg, i.p.), magnesium sulfate (0.05, 0.1, and 0.2 g/kg intragastrically, daily) together with PTZ, and treatment was performed accordingly. Administration of magnesium sulfate (0.05, 0.1 and 0.2 g/kg) was launched 1.5 h before the first dose of PTZ and continued up to 28 days. The rats were sacrificed on day 29 and parameters of oxidative stress, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPX), and malondialdehyde (MDA) activity were measured in liver homogenate. Data were evaluated running one-way analysis of variance.

Results: Administration of magnesium sulfate (0.1 and 0.2 g/kg) significantly increased the levels of antioxidant enzymes, including SOD, CAT, GPX, while it decreased MDA levels ($p < 0.05$).

Conclusion: It seems that presumably magnesium sulfate is effective in providing protection against oxidative stress induced by PTZ.

Keywords: Magnesium sulfate; Pentylenetetrazole; Seizure; Rat

* Corresponding authors: Akram Eidi
E-mail: eidi@srbiau.ac.ir

بررسی تاثیر سولفات منیزیم بر تشنج القا شده با پنتیلن تترازول در موش های صحرائی نر نژاد ویستار

نغمه مقیمی^۱، اکرم عیدی^{۱*}، پژمان مرتضوی^۲، سید علی حائری روحانی^۱

۱- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲- گروه پاتولوژی، دانشکده دامپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۸/۱۹

چکیده:

سابقه و هدف: منیزیم (Mg^{2+})، دومین عنصر فراوان (بعد از پتاسیم) در سلول است و نقش مهمی در عملکردهای زیستی مختلف، شامل چرخه سلولی، تنظیم فعالیت کانال‌ها، فعالیت *ATPase*، تنظیم متابولیک و ... ایفا می‌کند. کمبود منیزیم به افزایش وقوع بیماری قلبی - عروقی، شامل افزایش فشار خون، سکنه مغزی و آترواسکلروز، و اختلال‌های دستگاه گوارش، مانند از دست دادن اشتها، حالت تهوع و استفراغ منجر می‌شود. با در نظر گرفتن فعالیت آنتی اکسیدانی منیزیم و نقش استرس اکسیداتیو در پاتوفیزیولوژی تشنج، در مطالعه حاضر اثر سولفات منیزیم بر تشنج القا شده با پنتیلن تترازول (*PTZ*) در موش‌های صحرائی نر بالغ نژاد ویستار بررسی شد.

مواد و روش بررسی: تحقیق از نوع تجربی است. موش‌های صحرائی به صورت تصادفی به ۸ گروه تقسیم شدند: کنترل سالم، تجربی سالم (دریافت کننده روزانه ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ گرم بر کیلوگرم وزن بدن سولفات منیزیم به صورت گاواژ)، کنترل تشنج یافته (تزریق درون صفاقی ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن پنتیلن تترازول)، تجربی تشنج یافته (دریافت کننده روزانه ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ گرم بر کیلوگرم وزن بدن سولفات منیزیم به صورت گاواژ همراه با پنتیلن تترازول). تیمار سولفات منیزیم (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ گرم بر کیلوگرم وزن بدن) ۱/۵ ساعت پیش از دریافت اولین دوز پنتیلن تترازول آغاز شد و تا ۲۸ روز ادامه یافت. موش‌های صحرائی در روز ۲۹ کشته شدند و پارامترهای استرس اکسیداتیو، فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز (*SOD*)، کاتالاز (*CAT*)، گلوکاتیون پراکسیداز (*GPX*) و مالون دی‌آلدئید (*MDA*) در هموزن بافت کبدی اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون آماری آنالیز واریانس یک عاملی ارزیابی شدند.

یافته‌ها: تیمار با سولفات منیزیم (۰/۱ و ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن) میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، شامل سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتیون پراکسیداز را افزایش داده، در حالی که میزان مالون دی‌آلدئید را کاهش داده است ($p < 0/05$).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد سولفات منیزیم به احتمال به اصلاح پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش میزان رادیکال‌های آزاد منجر شده و در نهایت در ایجاد محافظت در برابر استرس اکسیداتیو القا شده با پنتیلن تترازول مؤثر است.

واژگان کلیدی: سولفات منیزیم، پنتیلن تترازول، تشنج، موش صحرائی

مقدمه:

نقش گسترده‌ای در شکستن و سنتز کلسترول دارند. کبد محل ذخیره‌سازی قندها، چربی‌ها و ویتامین‌هاست (۱). کبد در بدن به عنوان ارگان دفع مسمومیت، محافظت بدن از رژیم غذایی، داروها و سموم محیطی و متابولیک عمل می‌کند. بنابراین در این مطالعه از بافت کبد به علت حساس بودن به استرس اکسیداتیو استفاده شده است (۲).

فعالیت الکتریکی، همواره در مغز در جریان است. تشنج زمانی رخ می‌دهد که

کبد بزرگ‌ترین اندام داخلی بدن و دارای گردش خون دوگانه است. کبد متابولیت‌های مضر مانند استامینوفن، الکل و دیگر داروها را به موادی با زیان کمتر می‌شکند. سلول‌های کبدی یا هپاتوسیت‌ها، اکثر پروتئین‌های موجود در خون شامل آلبومین و پروتئین‌های انعقادی را می‌سازند. همچنین صفرا را که برای هضم و جذب چربی‌ها و ویتامین‌ها ضروری است سنتز و دفع می‌کند و

نویسنده مسئول: اکرم عیدی

پست الکترونیکی: eedi@srbiau.ac.ir

میان دریافت کردند و روزانه توسط سولفات منیزیم به ترتیب با دوزهای ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ گرم بر کیلوگرم وزن بدن موش به صورت گاوژ تحت تیمار قرار گرفتند. تزریق در این گروه‌ها ۹۰ دقیقه پس از گاوژ ۰/۵ میلی لیتر محلول سولفات منیزیم انجام شد.

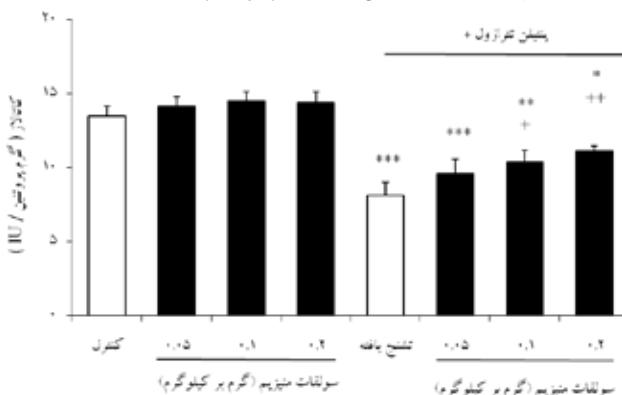
پس از پایان دوره ۲۸ روزه آزمایش، حیوانات تمامی گروه‌ها پس از ۱۲ ساعت ناشتایی با اتر بیهوش شده و پس از شکافتن بدن، کبد آن‌ها خارج و با استفاده از روش همونیزاسیون در بافر فسفات ۵۰ mM (pH ۷,۴) (۵۰ mg/ml) همونیزه شده و در ۳۲۰۰ g برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد، سوپرناتانت جدا شده و تا زمان اندازه‌گیری آنزیمی و پراکسیداسیون بافتی با دمای °C ۸۰- در فریزر نگهداری شد. آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase, SOD)، کاتالاز (Catalase, CAT)، مالون دی‌آلدئید (Malondialdehyde, MDA) و گلوتاتیون پراکسیداز (Glutathione peroxidase) با استفاده از کیت خریداری شده از Randox (Crumlin, UK) به روش الیزا به صورت اسپکتروفتومتریک بررسی شد (۱۴-۱۱).

اندازه‌گیری‌ها براساس سه بار تکرار بوده است. تمامی داده‌ها به صورت Mean ± S.E.M ارائه شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون آماری آنالیز واریانس یک عاملی (one-way ANOVA) ارزیابی شدند. ملاک استنتاج آماری $P < 0,05$ است.

یافته‌ها:

تحقیق روی ۴۸ نمونه و در ۸ گروه ۶ نمونه‌ای انجام شد. میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به صورت معناداری در موش‌های کنترل تشنج یافته در مقایسه با موش‌های کنترل سالم کاهش یافته است. سولفات منیزیم در دوزهای ۰/۱ و ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن افزایش معناداری در میزان فعالیت کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در موش‌های تشنج یافته تیمار شده با سولفات منیزیم در مقایسه با گروه کنترل تشنج یافته ایجاد می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سولفات منیزیم در دوزهای ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن بر میزان فعالیت کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در حیوانات سالم تیمار شده با سولفات منیزیم در مقایسه با کنترل سالم تاثیر معناداری نشان نداده است (نمودارهای ۱-۳).

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد میزان آنزیم مالون دی‌آلدئید به صورت معناداری در موش‌های کنترل تشنج یافته در مقایسه با موش‌های کنترل سالم افزایش معناداری یافته است. سولفات منیزیم در دوز ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن کاهش معناداری در میزان مالون دی‌آلدئید در موش‌های تشنج یافته تیمار شده با سولفات منیزیم در مقایسه با گروه کنترل تشنج یافته ایجاد می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد سولفات منیزیم در دوزهای ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن بر میزان مالون دی‌آلدئید در حیوانات سالم تیمار شده با سولفات منیزیم در مقایسه با کنترل سالم تاثیر معناداری نشان نداده است (نمودار ۴).



نمودار ۱: میزان فعالیت کاتالاز بر حسب گروه‌های مطالعه شده. $P < 0,05$ *، $P < 0,01$ **، $P < 0,001$ ***. اختلاف از گروه کنترل سالم را نشان می‌دهد. $P < 0,05$ *، $P < 0,01$ **، $P < 0,001$ ***.

انفجار ناگهانی و شدید فعالیت الکتریکی در مغز وجود داشته باشد. پنتیلن تترازول (Pentylenetetrazole, PTZ) دارویی است که سابقاً به عنوان محرک گردش خون و تنفس استفاده می‌شد. دوزهای بالای آن ایجاد تشنج می‌کند (۳). PTZ و تترازول‌های تشنج‌زای مربوطه، آثار دارویی خود را توسط اتصال مستقیم به جایگاه شناسایی پیکروتوکسین بر کمپلکس رسپتور یونوفور بنزودیازپین، گابا و کلراید اعمال می‌کنند (۴).

تولید بیش از اندازه رادیکال‌های آزاد در بدن انسان در پاتوژن بیماری‌های مختلف شامل آترواسکلروزیس، دیابت شیرین، سکنه مغزی، بیماری‌های التهابی، سرطان و صرع دخیل است (۵). PTZ ممکن است انواعی از پردازش‌های بیوشیمیایی شامل فعال کردن فسفولیپازها، پروتئازها و نوکلئازهای غشاء را تحریک کند. تغییرهای مشخص شده در متابولیسم فسفولیپید غشاء به آزاد شدن لیپید پراکسیدازها و رادیکال‌های آزاد منجر می‌شود (۶). تشنج صرعی حاد القا شده با PTZ به افزایش استرس اکسیداتیو، شاخص پراکسیداسیون لیپید در اریتروسیت‌ها و بافت‌های کلیه و کبد منجر می‌شود. در مان با داروهای ضد صرع می‌تواند سطوح گلوتاتیون داخل سلولی را تغییر دهد، دوزهای زیاد و ترکیب‌های هر یک از این داروهای ضد صرع برای خالی کردن ذخیره‌های گلوتاتیون کبدی است و هیپاتوسیت‌ها را نسبت به استرس اکسیداتیو آسیب‌پذیرتر می‌کنند (۷). استرس اکسیداتیو در نتیجه عدم تعادل در هومئوستازی اکسیدان و آنتی‌اکسیدان به نفع تولید ROS ایجاد می‌شود. ROS ها در پردازش‌هایی مانند excitotoxicity و آپوپتوز که به آسیب القا شده با تشنج کمک می‌کنند، دخالت دارند (۸).

منیزیم (Mg^{2+})، دومین عنصر فراوان (بعد از پتاسیم) در سلول است و نقش مهمی در عملکردهای زیستی مختلف، شامل چرخه سلولی، تنظیم فعالیت کانال‌ها، فعالیت ATPase، تنظیم متابولیک و... ایفا می‌کند. کمبود منیزیم به افزایش وقوع بیماری قلبی-عروقی، شامل افزایش فشار خون، سکنه مغزی و آترواسکلروز، و اختلال‌های دستگاه گوارش، مانند از دست دادن اشتها، حالت تهوع و استفراغ منجر می‌شود. این ریز مغزی در مواد غذایی مانند سبزیجات برگ تیره، لبنیات، آجیل، سویا، آرد گندم و... یافت می‌شود (۹).

هدف از انجام تحقیق حاضر که در بهار سال ۱۳۹۶ در مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات انجام شد، بررسی اثر سولفات منیزیم بر تغییر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بافت کبدی ناشی از تشنج در موش‌های صحرایی نر بالغ نژاد ویستار است.

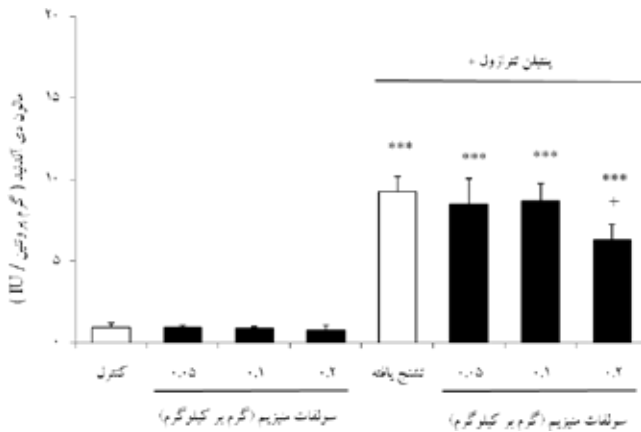
روش بررسی:

در تحقیق حاضر که به روش تجربی انجام شد، تعداد ۴۸ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار (Wistar) با وزن حدود ۲۵۰ تا ۲۰۰ گرم از انستیتو پاستور خریداری، به اتاق پرورش حیوانات مجتمع آزمایشگاهی رازی واحد علوم و تحقیقات منتقل شد و در قفس‌های فایبرگلاس به ابعاد ۱۵×۳۰×۳۵ سانتی‌متر تقسیم‌بندی و در شرایط استاندارد با درجه حرارت 22 ± 3 درجه سانتی‌گراد و سیکل نوری ۱۲ ساعت روشنایی، ۱۲ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰-۴۰ درصد نگهداری شدند. آب لوله‌کشی تهران توسط شیشه‌های آب‌خوری و غذای مخصوص موش که از شرکت خوراک دام پارس تهران تهیه شده بود به میزان کافی در اختیار تمامی گروه‌ها قرار گرفت. تحقیق با رعایت اصول اخلاقی در ارتباط با پرورش حیوانات آزمایشگاهی انجام شد. در تمام مراحل انجام کار، اصول اخلاقی مصوب NIH رعایت شده است (۱۰).

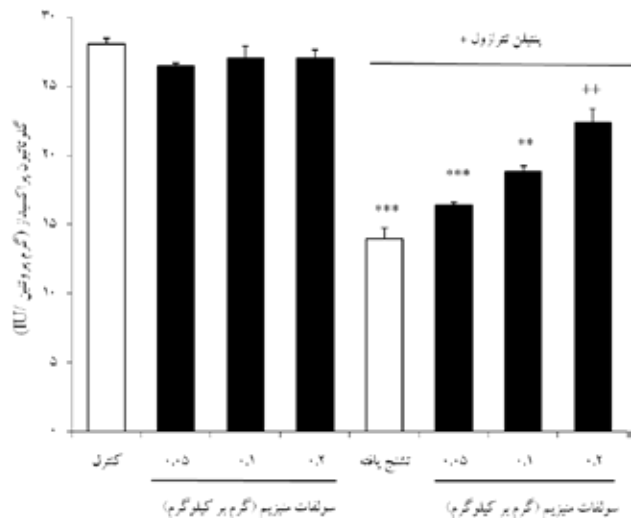
موش‌ها به صورت تصادفی به ۸ گروه ۶ تایی تقسیم شدند. ۱- گروه کنترل سالم: حیوانات این گروه سالم و بدون تیمار هستند. ۲- گروه کنترل تشنج یافته: حیوانات این گروه PTZ (خریداری شده از شرکت سیگما) را با غلظت ۳۵ mg/kg به میزان ۰/۵ میلی لیتر، به صورت تزریق درون صفاقی (interaperitoneal, i.p.) دریافت کردند.

۳- گروه‌های تجربی سالم: حیوانات این گروه‌ها با سولفات منیزیم ($MgSO_4$) به ترتیب با دوزهای ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ گرم بر کیلوگرم وزن بدن به صورت گاوژ تحت تیمار قرار گرفتند.

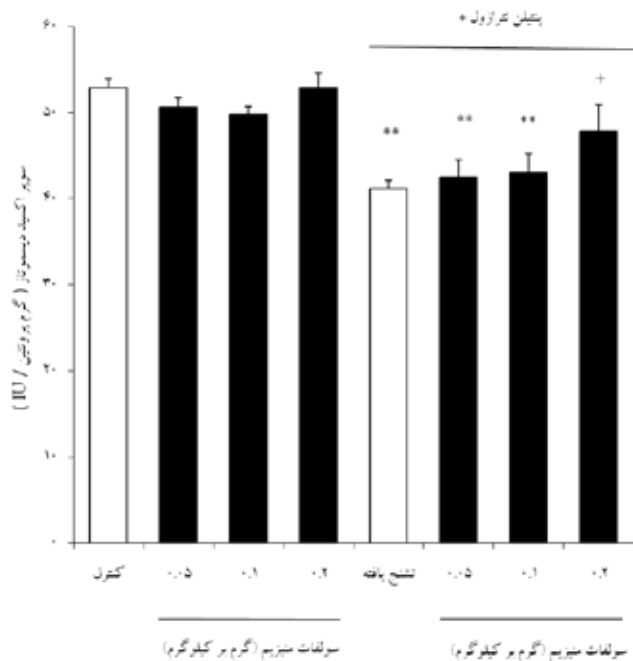
۴- گروه‌های تجربی تشنج یافته: حیوانات این گروه‌ها PTZ با غلظت mg/kg ۳۵ را به میزان ۰/۵ میلی لیتر به صورت تزریق درون صفاقی (i.p.) یک روز در



نمودار ۴: میزان مالون دی‌آلدئید بر حسب گروه‌های مطالعه شده. $P < 0.001$ *** اختلاف از گروه کنترل سالم را نشان می‌دهد. $P < 0.05$ + اختلاف از گروه کنترل تشنج یافته را نشان می‌دهد.



نمودار ۲: میزان فعالیت گلوتاتیون پر اکسیداز بر حسب گروه‌های مطالعه شده. $P < 0.001$ *** اختلاف از گروه کنترل سالم را نشان می‌دهد. $P < 0.01$ ++ اختلاف از گروه کنترل تشنج یافته را نشان می‌دهد.



نمودار ۳: میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز بر حسب گروه‌های مطالعه شده. $P < 0.01$ ** اختلاف از گروه کنترل سالم را نشان می‌دهد. $P < 0.05$ + اختلاف از گروه کنترل تشنج یافته را نشان می‌دهد.

بحث:

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد میزان فعالیت آنزیم‌های GPX، CAT، SOD در گروه‌های کنترل تشنج یافته نسبت به گروه کنترل سالم به صورت معناداری کاهش یافته است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد میزان MDA در گروه کنترل تشنج یافته نسبت به گروه کنترل سالم افزایش معناداری یافته است. منیزیم یکی از املاح مورد نیاز هر سلول است و از نظر فراوانی درون سلولی بعد از پتاسیم در جایگاه دوم قرار می‌گیرد (۹). مصرف منیزیم یکی از راه‌های بهبود و کاهش کرامپ (انقباض‌های و گرفتگی غیرارادی و دردناک عضلات)، تغییر روند پوکی استخوان، جلوگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی، تنظیم فشار خون، درمان

میزان MDA که محصول تجزیه پراکسیدهای اسید چرب غیراشباع است را کاهش (۳۷) و به افزایش فعالیت‌های SOD و GST در رت‌های دیابتی منجر می‌شود(۳۸).

Zhang و همکارانش در سال ۲۰۰۳ گزارش کردند که Mg^{2+} از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری می‌کند (۳۹) و پراکسیداسیون لیپید را در شرایط آزمایشگاهی (۴۰ و ۴۱) و داخل بدن (۴۲ و ۴۳) مهار می‌کند. همچنین نشان داده شده است که کمبود آن پراکسیداسیون لیپید را القا می‌کند(۴۴) و به کاهش معنادر در سطوح گلووتاتیون و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و گلووتاتیون ردوکتاز در سلول‌های فرمز خونی منجر می‌شود(۴۵).

Eshraghi و همکارانش در سال ۲۰۱۵ نشان دادند که انسداد مجرای صفراوی به کاهش معنادر فعالیت SOD و CAT کبدی منجر می‌شود و تیمار با $MgSO_4$ فعالیت آن‌ها را بازسازی می‌کند(۴۶). این نتایج ممکن است در نتیجه پاسخ دفاعی SOD به استرس اکسیداتیو القا شده با پیوند رخ داده باشد(۴۷). نشان داده شده است که کمبود Mg^{2+} ممکن است میزان محافظت آنتی‌اکسیدانی را تعدیل کند و بر تعادل اکسیدان - آنتی‌اکسیدان در سلول‌ها اثر بگذارد(۴۸). در مطالعه‌های حیوانی، کمبود Mg^{2+} به افزایش آزادسازی ماده P و دیگر واسطه‌ها از پایانه عصبی منجر می‌شود، سلول‌های ایمنی را برای آزادسازی هیستامین و سیتوکین‌ها فعال می‌کنند که باعث القای مرحله پیش‌تهابی شده و میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن، نیتریک اکساید و استرس اکسیداتیو را افزایش می‌دهد(۴۹ و ۵۰).

سولفات منیزیم قادر است با ایجاد تغییرهای معنادر در پراکسیداسیون لیپید و در نتیجه افزایش پراکسیداسیون لیپید و به عبارت دیگر فراهمی زیستی رادیکال‌های آزاد را به واسطه تشکیل کمپلکس‌هایی با رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسید لیپید در محیط‌زیست هیدروفوبیک میکرو در غشای سلول مهار کند(۵۱) و از طرف دیگر می‌تواند با اتصال به غشاهای و تغییر ماهرانه ترکیب‌بندی آن‌ها میزان پراکسیداسیون را اصلاح کند(۵۲). تیمار با $MgSO_4$ به کاهش معنادر MDA سرم، مارکر پراکسیداسیون لیپید منجر می‌شود. بنابراین پیشنهاد بر این است که اثر درمان با $MgSO_4$ بر میزان MDA با کاهش رادیکال‌های آزاد مرتبط است. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که این نوع درمان، میزان آنیون‌های واکنشی را که بیش از رادیکال‌های آزاد هستند، کاهش می‌دهد(۵۳). کمبود منیزیم در ارتباط با افزایش میزان MDA و رادیکال‌های آزاد در رت‌هاست(۵۴)، در حالی که مکمل منیزیم این اثرها را معکوس می‌کند (۵۱). لازم به ذکر است، $MgSO_4$ شرایطی را فراهم می‌کند که طی آن از سیستم عصبی مرکزی در برابر سمیت اکسیژن و ایسکمی محافظت می‌شود(۵۵). به بیان دیگر تولید ROS توسط $MgSO_4$ سرکوب می‌شود(۵۶).

نتیجه‌گیری:

بنابراین با توجه و استناد به موارد ذکر شده بالا، به احتمال می‌توان منیزیم را به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در نظر گرفت که با دارا بودن این خاصیت قادر به افزایش پارامترهای استرس اکسیداتیو در کبد در شرایط تشنج شده است.

که گلووتاتیون ممکن است نقش حیاتی در مبارزه با استرس اکسیداتیو ایفا کند. تغییر غیر قابل توجه در فعالیت کاتالاز ممکن است به این علت باشد که فعالیت CAT در مغز جوندگان بسیار پایین است و CAT آنزیم کلیدی دخیل در سیستم آنتی‌اکسیدانی مغز نیست(۲۱). PTZ با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد باعث کاهش مکانیسم دفاعی بدن می‌شود و این امر به نقص عملکرد سلولی توسط حمله به سایت‌های غیر اشباع غشاهای بیولوژیکی منجر شده و پراکسیداسیون لیپید را به راه می‌اندازد که با کاهش میزان گلووتاتیون و افزایش میزان MDA در بافت مغز همراه است(۲۲). Hassanzadeh در سال ۲۰۱۶ گزارش کرد که PTZ با کاهش بیان رسپتور $GABA_{B1}$ و در نتیجه کاهش انتقال عصبی گاباژیک و تنظیم افزایشی فعالیت کولین‌استراز باعث آپوپتوز القا شده با نیتریک اکساید شده و با راه‌اندازی فعالیت MAO-A میزان سروتونین و نوراپی نفرین را در قشر پیشانی و هیپوکمپ کاهش می‌دهد و کیندیلینگ ایجاد می‌کند که با افزایش MDA و کاهش معنادر GSH در مغز همراه است(۲۳). Júnior و همکارانش در سال ۲۰۱۱ گزارش کردند که PTZ به دلیل حضور همزمان میزان بالای اسید چرب غیر اشباع و آهن، ایجاد تشنج می‌کند و به تولید ROS منجر می‌شود، در مکانیسم دفاعی پایین پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع را موجب می‌شود و در نهایت افزایش میزان MDA و کاهش میزان SOD و CAT را در جسم مخطط بافت مغز رت نشان می‌دهد(۲۴).

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد میزان فعالیت آنزیم‌های GPX، CAT و SOD در گروه‌های تشنج‌یافته تیمار شده با سولفات منیزیم با دوزهای ۰/۱ و ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن نسبت به گروه تشنج یافته به صورت معنی‌داری افزایش یافته است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد میزان MDA در گروه تشنج یافته تیمار شده با سولفات منیزیم با دوز ۰/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن نسبت به گروه تشنج یافته کاهش معناداری یافته است.

در توافق با نتایج حاضر Djukic Cosic و همکارانش در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که پیشگیری با Mg^{2+} از میزان GSH کبد و کلیه در مقابل تغییرهای القا شده با کادمیوم محافظت می‌کند(۲۵). در این راستا Matovic و همکارانش در سال ۲۰۱۲ بیان کردند که تیمار خوراکی Mg^{2+} از آثار القا شده با کادمیوم بر میزان O_2^- و MDA و همچنین فعالیت SOD در کبد رت محافظت می‌کند(۲۶). کمبود Mg^{2+} ، تولید گونه‌های اکسیژن واکنشی (ROS) و آسیب اکسیداتیو هیپاتوسیت‌ها(۲۷) و سلول‌های اندوتلیال (۲۸) جنینی جوجه را افزایش می‌دهد.

Rodríguez-Hernández و همکارانش در سال ۲۰۰۵ گزارش کردند Mg^{2+} ، نفوذپذیری غشای داخلی میتوکندری را افزایش و میزان اکسیداسیون و فسفریلاسیون را کاهش می‌دهد (۲۹)، بنابراین کاهش آن می‌تواند در پراکسیداسیون لیپیدی، استاتوهپاتیت (steatohepatit) و فیبروزیس دخیل باشد(۳۰ و ۳۱). کمبود Mg^{2+} به عنوان القاکننده استرس اکسیداتیو، افزایش حساسیت به پراکسیداسیون در اندام‌های متنوع مانند قلب، کبد و ماهیچه اسکلتی (۳۲-۳۴) و همچنین کاهش فعالیت گلووتاتیون پراکسیداز (۳۵ و ۳۶) شناخته شده است. در مقابل، مکمل Mg^{2+}

منابع:

- Joseph Ahn. Assessment of Liver Function and Diagnostic Studies. Section of Hepatology. Chicago: Loyola; 2011. 45 pages.
- Seyhan N, Canseven AG. In vivo effects of ELF MFs on collagen synthesis, free radical processes, natural antioxidant system, respiratory burst system, immune system activities, and electrolytes in the skin, plasma, spleen, lung, kidney, and brain tissues. Electromagn Bio Med 2006; 25 (4): 291-305.
- Huang RQ, Bell-Horner CL, Dibas MI, Covey DF, Drewe JA, Dillon

GH. Pentylentetrazole-Induced Inhibition of Recombinant Gamma-aminobutyric acid Type A (GABA(A)) Receptors Mechanism and Site of Action. J Pharmacol Exp Ther 2001; 298 (3): 986-95.

- Barrett Kim E, Barman Susan M, Boitano Scott, Brooks Heddwen, editors. Ganong's Review of Medical Physiology. 24th ed. McGraw Hill Professional; 2012; 768 pages.
- Plachta H, Bartnikowska E, Obara A. Lipid Peroxides in Blood from Patients with Atherosclerosis of Coronary and Peripheral Arteries. Clin Chim Acta 1992; 211 (1-2): 101-12.
- Costa LG. Cell Signalling and Neurotoxic Events. In Chang LW, editor, Marcel Dekker: New York. Principles of Neurotoxicology 1994;

- 475-93.
7. Storto M, Grazia U, Knopfel T. Selective Blockade of mGlu5 Metabotropic Glutamate Receptors Protect Rat Hepatocytes Against Hypoxic Damage. *Hepatology* 2000;31(3):649-55.
 8. Bruce AJ, Baudry M. Oxygen Free Radicals in Rat Limbic Structures After Kainate-Induced Seizures. *Free Radic Biol Med* 1995;18 (6): 993-1002.
 9. Durlach J, Bac P. Mechanisms of Action in the Nervous System in Magnesium Deficiency and Dementia in Mineral and Neurotoxicity. CRR Press Boca Raton 1997; 27-38.
 10. National Institutes of Health. NIH Policy Manual Chapter 3040-2: Animal Care and Use in the Intramural Program. NIH Publication No. 85-23. Revised 1985.
 11. Maklund S, Marklund. Involvement of superoxide anion radical in autoxidation of pyrogallol and a convenient assay of superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 1974; 46: 469-474.
 12. Goth L. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta* 1991; 196: 143-152.
 13. Buege JA, Aust SD. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymo* 1978; 30: 302-310.
 14. Paglia DE, Valentine WN. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *J Lab Clin Med* 1967; 70: 158-169.
 15. Nechifor M, Văideanu C, Borza C. Variation of magnesium concentration in psychosis. In: Porr PJ, Nechifor M, Durlach J, eds. *Advances in Magnesium Research – New Data*. Paris: John Libbey Eurotext 2006; 25-30.
 16. Dilliogluligil MO, Kir HM, Demir C, Ilbay G, Sahin D, Dilliogluligil O. Effect of Pentylene-tetrazole and Sound Stimulation Induced Single and Repeated Convulsive Seizures on the MDA GSH and NO Levels and SOD Activities in Rat Liver and Kidney Tissues. *Brain Res Bull* 2010; 83(6): 356-9.
 17. Taiwe GS, Tchoya TB, Menanga JR, Dabole B, De Waard M. Anticonvulsant Activity of an Active Fraction Extracted from *Crinum jagus* L. (Amaryllidaceae), and its Possible Effects on Fully Kindled Seizures, Depression-Like Behaviour and Oxidative Stress in Experimental Rodent Models. *J Ethnopharmacol* 2016; 194:421-433.
 18. Kir HM, Sahin D, Oztaş B, Musul M, Kuskay S. Effects of Single-Dose Neuropeptide Y on Levels of Hippocampal BDNF, MDA, GSH, and NO in a Rat Model of Pentylene-tetrazole-Induced Epileptic Seizure. *Bosn J Basic Med Sci* 2013; 13 (4): 242-7.
 19. Halliwell B, Gutteridge JMC, editors. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Fifth ed. Oxford New York; 2015.
 20. Zhu X, Dong J, Shen K, Bai Y, Zhang Y, Lv X, Chao J, Yao H. NMDA Receptor NR2B Subunits Contribute to PTZ-Kindling-Induced Hippocampal Astrocytosis and Oxidative Stress. *Brain Res Bull* 2015; 114: 70-8.
 21. Agarwal NB, Agarwal NK, Mediratta PK, Sharma KK. Effect of Lamotrigine, Oxcarbazepine and Topiramate on Cognitive Functions and Oxidative Stress in PTZ-Kindled Mice. *Seizure* 2011; 20(3): 257-62.
 22. Agarwal NB, Jain S, Agarwal NK, Mediratta PK, Sharma KK. Modulation of Pentylene-tetrazole-Induced Kindling and Oxidative Stress by Curcumin in Mice. *Phytomedicine* 2011; 18(8-9): 756-9.
 23. Hassanzadeh P, Arbabi E, Atyabi F, Dinarvand R. Ferulic acid Exhibits Antiepileptogenic Effect and Prevents Oxidative Stress and Cognitive Impairment in the Kindling Model of Epilepsy. *Life Sci* 2017; 179: 9-14.
 24. Júnior JS, de Almeida AA, Tomé Ada R, Citó AM, Saffi J, de Freitas RM. Evaluation of Possible Antioxidant and Anticonvulsant Effects of the Ethyl Acetate Fraction from *Platonia Insignis* Mart. (Bacuri) on Epilepsy Models. *Epilepsy & Behav* 2011; 22(4): 678-84.
 25. Djukic Cosic D, Ninkovic M, Malic evic Z, Matovic V , Soldatovic D. Effect of magnesium pretreatment on reduced glutathione levels in tissues of mice exposed to acute and subacute cadmium intoxication: a time course study. *Magnes Res* 2007; 20(3): 177-86.
 26. Matovic V, Buha A, Bulat Z, Đukic-Cosic D, Miljkovic M, Ivanisevic J, et al. Route-dependent effects of cadmium/cadmium and magnesium acute treatment on parameters of oxidative stress in rat liver. *Food Chem Toxicol* 2012; 50(3-4): 552-7.
 27. Yang Y, Wu Z, Chen Y, Qiao J, Gao M, Yuan J, et al. Magnesium deficiency enhances hydrogen peroxide production and oxidative damage in chick embryo hepatocyte in vitro. *Biometals* 2006; 19(1): 71-81.
 28. Dickens BF, Weglicki WB, Li YS, Mak IT. Magnesium deficiency in vitro enhances free radical-induced intracellular oxidation and cytotoxicity in endothelial cells. *FEBS Letters* 1992; 311(3): 187-91.
 29. Rodríguez-Hernández H, Gonzalez JL, RodríguezMorán M, Guerrero-Romero F. Hypomagnesemia, insulin resistance, and non-alcoholic steatohepatitis in obese subjects. *Arch Med Res* 2005; 36(4): 362-6.
 30. Angulo P. Nonalcoholic fatty liver disease. *N Engl J Med* 2002; 346(16): 1221-31.
 31. Sanyal A, Campbell-Sargent C, Mirshahi F, Rizzo WB, Contos MJ, Sterling RK, et al. Non-alcoholic steatohepatitis: association of insulin resistance and mitochondrial abnormalities. *Gastroenterology* 2001; 120(5): 1183-92.
 32. Freedman AM, Mak IT, Stafford RE, Dickens BF, Cassidy MM, Muesing RA, et al. Erythrocytes from magnesium deficient hamsters display an enhanced susceptibility to oxidative stress. *Am J Physiol* 1992; 262(6 Pt 1): 1371-5.
 33. Zhu Z, Kimura M, Itokawa Y. Selenium concentration and glutathione peroxidase activity in selenium and magnesium deficient rats. *Biol Trace Elem Res* 1993; 37(2-3): 209-17.
 34. Merker HJ, Gunther T, Hollriegl V, Vormann J, Schumann K. Lipid peroxidation and morphology of rat testis in magnesium deficiency. *Andrologia* 1996; 28(1): 43-51.
 35. Kuzniar A, Kurys P, Florianczyk B, SzymonikLesiuk S, Pasternak K, Stryjecka-Zimmer M. The changes in the antioxidant status of heart during experimental hypomagnesemia in Balb/c mice. *Biometals* 2001; 14(2): 127-33.
 36. Vernet P, Britan A, Gueux E, Mazur A, Drevet JR. Dietary magnesium depletion does not promote oxidative stress but targets apical cells within the mouse caput epididymis. *Biochem Biophys Acta* 2004; 1675(1-3): 32-45.

37. Boujelbena M, Ghorbela F, Vincentb C, MakniAyadic F, Guermazic F, Crouteb F, et al. Lipid peroxidation and HSP72/73 expression in rat following cadmium chloride administration: Interactions of magnesium supplementation. *Exp Toxicol Pathol* 2006; 57(5-6): 437-43.
38. Hans CP, Chaudhary DP, Bansal DD. Effect of magnesium supplementation on oxidative stress in alloxanic diabetic rats. *Magnes Res* 2003; 16(1): 13-9.
39. Zhang Y, Davies LR, Martin SM, Bawaney IM, Buettner GR, Kerber TE. Magnesium reduces free radical concentration and preserves left ventricular function after direct current shocks. *Resuscitation* 2003; 56(2): 199-206.
40. Kostellow AB, Morrill GA. Iron-catalyzed lipid peroxidation in aortic cells in vitro: protective effect of extracellular magnesium. *Atherosclerosis* 2004; 175(1): 15-22.
41. Regan RF, Jasper E, Guo Y, Panter SS. The effect of magnesium on oxidative neuronal injury in vitro. *J Neurochem* 1998; 70(1): 77-85.
42. Peker S, Abacioglu U, Sun I, Konya D, Yüksel M, Pamir NM. Prophylactic effects of magnesium and vitamin E in rat spinal cord radiation damage: evaluation based on lipid peroxidation level. *Life Sci* 2004; 75(12): 1523-30.
43. Yamaguchi Y, Kitagawa S, Kunitomo M, Fujiwara M. Preventive effects of magnesium on raised serum lipid peroxide levels and aortic cholesterol deposition in mice fed an atherogenic diet. *Magnes Res* 1994; 7(1): 31-7.
44. Merker HJ, Günther T, Höllriegl V, Vormann J, Schümann K. Lipid peroxidation and morphology of rat testis in magnesium deficiency. *Andrologia* 1996; 28(1): 43-51.
45. Kuzniar A, Mitura P, Kurys P, Szymonik-Lesiuk S, Florianczyk B, Stryjecka-Zimmer M. The influence of hypomagnesemia on erythrocyte antioxidant enzyme defense system in mice. *Bio Metals* 2003; 16(2): 349-57.
46. Eshraghi T, Eidi A, Mortazavi P, Asghari A, Tavangar SM. Magnesium protects against bile duct ligation induced liver injury in male Wistar rats. *Magnes Res* 2015; 28(1): 32-45.
47. Abraham S, Hermes E, Szabo A, et al. Effects of Kupffer cell blockade on the hepatic expression of metallothionein and heme oxygenase genes in endotoxemic rats with obstructive jaundice. *Life Sci* 2012; 90(3-4): 140-6.
48. Freedman AM, Mak T, Stafford RE, et al. Erythrocytes from magnesium-deficient hamsters display an enhanced susceptibility to oxidative stress. *Am J Physiol* 1992; 262(6 Pt 1): C1371-5.
49. Mazur A, Maier JA, Rock E, Gueux E, Nowacki W, Rayssiguier Y. Magnesium and the inflammatory response: Potential physiopathological implications. *Arch Biochem Biophys* 2007; 458(1): 48-56.
50. Maier JA. Endothelial cells and magnesium: implications in atherosclerosis. *Clin Sci (Lond)* 2012; 122(9): 397-407.
51. Bariskaner H, Ustun ME, Ak A, Yosunkaya A, Ulusoy HB, Gurbilek M. Effects of Magnesium Sulfate on Tissue Lactate and Malondialdehyde Levels After Cerebral Ischemia. *Pharmacology* 2003; 68(3): 162-8.
52. Chiarello DI, Marín R, Proverbio F, Benzo Z, Piñero S, Botana D, et al. Effect of Hypoxia on the Calcium and Magnesium Content, Lipid Peroxidation Level, and Ca²⁺-ATPase Activity of Syncytiotrophoblast Plasma Membranes from Placental Explants. *Biomed Res Int* 2014; 2014: 9 pages.
53. Davidge ST, Hubel CA, Brayden RD, Capeless EC, McLaughlin MK. Sera Antioxidant Activity in Uncomplicated and Preeclamptic Pregnancies. *Obstet Gynecol* 1992; 79(6): 897-901.
54. Kharb S, Singh V. Magnesium Deficiency Potentiates Free Radical Production Associated with Myocardial Infarction. *J Assoc Physicians India* 2000; 48(5): 484-5.
55. Katz A, Kerem D, Sherman D. Magnesium Sulfate Suppresses Electroencephalographic Manifestations of CNS Oxygen Toxicity. *Undersea Biomed Res* 1990; 17(1): 45-9.
56. Kaoru K, Kondoh E, Chigusa Y, Mai S, Takai H, Kiyokawa H, et al. Magnesium Sulfate may Ameliorate Oxidative Stress Through Increasing Glutathione Synthesis Gene in Preeclampsia. *Placenta* 2016; 46: 119.