

Investigating the Effect of Rosuvastatin on Hippocampal Pyramidal Cells and Oxidative Stress in Male Rats with Alzheimer's Disease

Niloufar Darbandi¹,
Ali Azizi Cheshmeh Kabud²

¹ Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak, Iran

² MSc in Animal Physiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak, Iran

(Received June 12, 2023; Accepted September 10, 2023)

Abstract

Background and purpose: Alzheimer's disease is a neurodegenerative disorder associated with the accumulation of amyloid plaques in neurons. Increase in blood cholesterol leads to an increase in the deposition of these proteins in neurons and results in memory degradation. In the present study, the effect of rosuvastatin as a cholesterol-lowering drug was investigated in Alzheimer's rats.

Materials and methods: Animals were divided into four groups: control, streptozotocin (to induce Alzheimer's), rosuvastatin, and rosuvastatin with streptozotocin. In intracerebroventricular injection, the groups received saline (1 µg/rat) or streptozotocin (3 mg/kg). Daily gavage of saline (1 mg/kg) or rosuvastatin (10, 20 mg/kg) started one day before cannulation and continued for two weeks. At the end of the treatment period, the rats' memory, number of healthy neurons in CA1 area, and serum oxidative stress indices were measured.

Results: Intraventricular injection of streptozotocin significantly decreased memory recall, the number of intact neurons in CA1 area, total antioxidant power, and superoxide dismutase enzyme level; and increased serum malondialdehyde levels compared to the control group ($P < 0.001$). In the group receiving rosuvastatin (20 mg/kg), the above indexes were significantly reversed compared to the streptozotocin group ($P < 0.001$), which means improved memory. In rosuvastatin groups (10 and 20 mg/kg) alone, there was no significant difference in the above indexes compared to the control group ($P > 0.05$).

Conclusion: Streptozotocin leads to cell death in the CA1 region and memory dysfunction through various mechanisms such as increasing oxidative stress. It seems that rosuvastatin is able to prevent the destructive effects of streptozotocin on memory and learning by inhibiting oxidative stress indicators.

Keywords: streptozotocin, oxidative stress, memory, rosuvastatin, hippocampal CA1 neurons

J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33 (226): 1-13 (Persian).

Corresponding Author: Niloufar Darbandi Faculty of Sciences, Arak University, Arak, Iran. (E-mail: N-Darbandi@araku.ac.ir)

بررسی اثر رزوواستاتین بر سلول‌های پیرامیدال هیپوکامپ و استرس اکسیداتیو در رت‌های نر آلزایمری

نیلوفر دربندی¹

علی عزیزی چشمه کبود²

چکیده

سابقه و هدف: بیماری آلزایمر نوعی اختلال تخریب عصبی است که با تجمع پلاک‌های آمیلوئیدی در نورون‌ها همراه است. افزایش کلسترول خون باعث افزایش رسوب این پروتئین‌ها و تحلیل حافظه می‌شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر رزوواستاتین به عنوان داروی کاهنده کلسترول در رت‌های آلزایمری، انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه پژوهشی اصیل (تجربی)، حیوانات به گروه‌های کنترل، استرپتوزوتوسین (جهت القاء آلزایمر)، رزوواستاتین و رزوواستاتین همراه با استرپتوزوتوسین تقسیم شدند. در همه گروه‌ها سالین (1 µg/rat) و یا استرپتوزوتوسین (3 mg/kg) به صورت درون بطن مغزی تزریق شد. گاوآژ سالین (1 ml/kg) یا رزوواستاتین (20 mg/kg) و 10 روزانه از یک روز قبل از کانول گذاری شروع و به مدت دو هفته ادامه یافت. در پایان دوره تیمار آزمون اجتنابی غیرفعال، تعداد نورون‌های سالم در ناحیه CA1 و اندازه گیری شاخص‌های استرس اکسیداتیو در سرم خون انجام شد.

یافته‌ها: استرپتوزوتوسین در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری بازخوانی حافظه، تعداد نورون‌های سالم در ناحیه CA1، قدرت آنتی اکسیدانتی کل و سطح آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را کاهش و میزان مالون دی آلدئید را افزایش داد (P<0/001). گاوآژ رزوواستاتین (20 mg/kg) به مدت 2 هفته شاخص‌های فوق را در گروه استرپتوزوتوسین به طور معنی داری معکوس کرد (P<0/001) که به معنی بهبود حافظه می‌باشد. گاوآژ رزوواستاتین به تنهایی تاثیر معنی داری بر شاخص‌های فوق نداشت (P>0/05).

استنتاج: استرپتوزوتوسین از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله افزایش استرس اکسیداتیو و به دنبال آن مرگ سلولی منجر به کاهش نورون‌های ناحیه CA1 و کاهش حافظه می‌شود. به نظر می‌رسد رزوواستاتین قادر است از طریق مهار شاخص‌های استرس اکسیداتیو از اثرات مخرب استرپتوزوتوسین بر حافظه و یادگیری جلوگیری نماید.

واژه های کلیدی: استرپتوزوتوسین، استرس اکسیداتیو، حافظه، رزوواستاتین، نورون‌های ناحیه CA1

مقدمه

disease) یک بیماری نورودژنراتیو و از علل بسیار شایع زوال عقل به خصوص در افراد مسن می‌باشد (3). در این بیماری افت عملکردهای شناختی، اختلال در فعالیت‌های عادی و روزمره و تغییر در رفتار دیده می‌شود (4).

حافظه و یادگیری از عالی ترین سطوح عملکردی سیستم اعصاب مرکزی محسوب می‌شوند (1). سیستم لیمبیک و هیپوکامپ نقش مهمی در پردازش اطلاعات و شکل گیری حافظه دارند (2). بیماری آلزایمر (AD) (Alzheimer's)

E-mail: N-Darbandi@araku.ac.ir

مؤلف مسئول: نیلوفر دربندی - اراک: دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه

1. استادیار، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران

2. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی جانوری، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: 1402/3/22 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1402/4/24 تاریخ تصویب: 1402/6/19

عوامل ژنتیکی، عوامل محیطی همچون افزایش سن، آسیب به سر، عفونت‌ها، رژیم غذایی نامناسب و برخی بیماری‌های سیستمیک از علل اصلی ایجاد آن می‌باشد. مطالعات نشان داده است چربی‌های غذایی با سطح کلسترول بالا در تولید و رسوب پروتئین آمیلوئید بتا در نورون‌ها دخالت دارد. آمیلوئید بتا، گونه فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species: ROS) و گونه فعال نیتروژن (Reactive Nitrogen Species: RNS) را تولید می‌کند که در سمیت خارج سلولی وابسته به کلسیم، آسیب تنفس سلولی و تغییر در شکل‌گیری سیناپس مرتبط به یادگیری و حافظه نقش دارند (5). علاوه بر آن با مصرف مواد مغذی پرچرب بیان پروتئین APOE4 (Apolipoprotein E4) (ناقل اصلی کلسترول در مغز) افزایش یافته که می‌تواند بر توسعه و پیشرفت AD تأثیر بگذارد. استرپتوزوتوسین (Streptozotocin: STZ) یک آنالوگ سیتوتوکسیک گلوکز است که معمولاً برای ایجاد دیابت نوع 1 در جوندگان استفاده می‌شود. با این حال، دوز کم‌تر از مقدار دیابت‌زای آن (3 mg/kg) برای ایجاد بیماری آلزایمر و به ویژه برای ایجاد ویژگی‌های آلزایمر دیررس استفاده می‌شود. STZ با کاهش قابل توجه متابولیسم گلوکز / انرژی، القای استرس اکسیداتیو و میتواسیون DNA منجر به مرگ نورون‌ها و القاء فراموشی می‌شود (6).

استاتین‌ها قادرند به صورت غیر فعال و یا از طریق ناقل‌های آنیونی آلی (Organic Anionic Transporters: OATs)، ناقل اسید مونوکربوکسیلیک یا ناقل P-گلایکوپروتئین از سد خونی مغزی و سلول‌های مغز عبور کنند (7). رزواستاتین از مهم‌ترین استاتین‌های آبدوست می‌باشد (8). در مسیر ساخت کلسترول ابتدا HMG-CoA (6-Hydroxy-3-Methyl-Glutaryl-Coenzyme A reductase) به موالونات و سپس به واحدهای ایزوپروپنیل کاتالیز و در نهایت کلسترول ایجاد می‌شود. مهار HMG-CoA ردوکتاز توسط استاتین‌ها تولید کلسترول را کاهش می‌دهد (9). با کاهش تولید کلسترول درون‌زا بیان

گیرنده‌های LDL (Low-Density Lipoprotein) افزایش و بازجذب LDL و پیش‌سازهای LDL از گردش خون سیستمیک تقویت می‌شود. بدین ترتیب استاتین‌ها با کاهش ساخت کلسترول به صورت غیرمستقیم منجر به پاک‌سازی LDL از پلاسما می‌شوند (10). به دنبال مصرف مزمن استاتین‌ها، غلظت کلسترول در پلاسما و مایع مغزی نخاعی کاهش یافته و تولید پپتید آمیلوئید بتا مهار می‌شود (8). تیمار با استاتین‌ها در بیماران بدون آسیب شناختی در سنین قبل از پیری نقش محافظتی در شروع بیماری‌های اضمحلال عصبی و حافظه دارند (11). استاتین‌ها هم‌چنین به عنوان عوامل ضد التهابی تولید مولکول‌های پیش‌التهابی مانند اینترلوکین‌ها و فاکتور نکروز تومور آلفا را در شرایط التهاب عصبی کاهش می‌دهند (12). چنانچه دیده شد، چربی‌های غذایی با سطح کلسترول بالا در تولید و رسوب پروتئین آمیلوئید بتا در مغز و ایجاد بیماری آلزایمر دخالت دارند. برخی تحقیقات نشان دادند که از طریق داروهای کاهنده چربی خون می‌توان تولید فاکتورهای خطر ساز مانند آمیلوئید بتا را مهار کرد. از طرفی تحقیقات نشان داده است که استرپتوزوتوسین علائمی شبیه آلزایمر دیررس ایجاد کرده و می‌تواند از روش‌های مختلف از جمله القای استرس اکسیداتیو منجر به مرگ نورون‌ها و تخریب حافظه شود. تاکنون هیچ مطالعه‌ای به بررسی اثر داروهای کاهنده کلسترول بر فراموشی ناشی از استرپتوزوتوسین نپرداخته است. لذا در مطالعه حاضر تاثیر رزواستاتین بر سلول‌های پیرامیدال هیپوکامپ، استرس اکسیداتیو و فرآیند حافظه در رت‌های نر آلزایمری مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه پژوهشی اصیل (تجربی)، از 42 رت نر نژاد ویستار (انستیتو پاستور ایران) با محدوده وزنی 220-250 گرم استفاده شد. جهت ایجاد آلزایمر و تاثیر دوزهای مختلف رزواستاتین بر حافظه حیوانات

آلزایمری شده حیوانات به شش گروه ($n=7$) تقسیم شدند. این 6 گروه شامل، گروه کنترل، گروه استریتوزوتوسین (3 mg/kg)، گروه‌های رزوواستاتین (20 mg/kg و 10 mg/kg) و گروه‌های رزوواستاتین (20 mg/kg و 10 mg/kg) به‌علاوه استریتوزوتوسین (3 mg/kg) می‌باشد. محل نگهداری حیوانات دارای دوره روشنایی- تاریکی 12 ساعته، دمای 22 ± 2 درجه سانتیگراد و دسترسی آسان به آب و غذا بود. آزمایش‌ها در زمان معینی از روز انجام گرفت. در راستای انجام این تحقیق کلیه اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی مد نظر قرار گرفت (کد اخلاق: IR.ARAKMU.REC.1400.238).

جهت کانول گذاری در ناحیه بطن‌های جانبی از دستگاه استریوتاگس مدل Kopf (شرکت stoelting-آمریکا) استفاده شد. ابتدا هر حیوان بر اساس وزن به وسیله تزریق درون صفاقی مخلوطی از کتامین هیدروکلراید 10 mg/kg و زایلزین 5 mg/kg (شرکت Alfasan - هلند) بیهوش شد. کانول گذاری بر طبق اطلس پاکسینوس و واتسون انجام شد ($0/8$ - میلی‌متر از برگما، $1/4$ میلی‌متر در طرفین شکاف سازیتال و $3/5$ میلی‌متر از سطح از جمجمه) (13). محل کانول گذاری در سطح جمجمه توسط مته دندانپزشکی تا پرده منژ سوراخ شد. کانول‌های راهنما به طول 8 میلی‌متر از سر سوزن 22 گیج تهیه و 1 میلی‌متر بالاتر از ناحیه مورد نظر به کمک آکريل دندانپزشکی ثابت شد. جهت تزریق درون بطن مغزی از سر سوزن دندانپزشکی 27 گیج (1 میلی‌متر بلندتر از کانول راهنما)، رابط پلی‌اتیلن و سرنگ هاملتون 25 میکرولیتری استفاده شد. جهت سنجش حافظه از دستگاه Step-Through (شرکت برج صنعت - تهران) استفاده شد که از جنس پلکسی‌گلاس و دارای دو قسمت ($20 \times 20 \times 30$ سانتی‌متر) مجزا یکی به رنگ سیاه و دیگری به رنگ سفید است و توسط یک درب گیوتینی (7×9 سانتی‌متر) به یکدیگر راه دارند. در کف بخش سیاه رنگ میله‌های فلزی به قطر $2/5$ میلی‌متر و فواصل 1 سانتی‌متر از یکدیگر

قرار گرفته است. هنگامی که دستگاه روشن می‌شود جریان الکتریکی به مدت 3 ثانیه و شدت 1 میلی‌آمپر در میله‌های فلزی برقرار می‌شود. یادگیری اجتنابی غیر فعال در دو روز پشت سر هم انجام می‌شود. روز اول شامل آموزش دادن حیوانات در دستگاه و روز دوم شامل بررسی میزان حافظه حیوانات آموزش دیده است. در مرحله آموزش هر حیوان به آرامی در بخش روشن دستگاه قرار می‌گیرد پس از 10 ثانیه درب گیوتینی باز و به حیوان اجازه داده می‌شود تا وارد بخش تاریک شود، بلافاصله درب گیوتینی بسته شده و حیوان به قفس خود برگردانده می‌شود. 30 دقیقه بعد این مرحله تکرار می‌شود و با ورود حیوان به بخش تاریک، درب گیوتینی بسته و از طریق میله‌های فولادی کف بخش تاریک که در ارتباط با استیمولاتور هستند، تحریک الکتریکی با شدت 1 میلی‌آمپر و به مدت 3 ثانیه به حیوان منتقل می‌گردد. پس از پایان تحریک، موش از دستگاه خارج شده و به قفس نگاه‌داری منتقل می‌شود. 2 دقیقه بعد مجدداً حیوان به بخش سفید دستگاه منتقل شده و پس از 10 ثانیه درب گیوتینی باز می‌شود و میزان تأخیر حیوان در ورود به بخش تاریک ثبت می‌گردد. چنانچه موش به میزان 120 ثانیه در ورود به بخش تاریک تأخیر داشته باشد اصطلاحاً یادگیری موفق برایش ثبت می‌شود. 24 ساعت بعد، در روز آزمون حیوان در بخش سفید دستگاه قرار می‌گیرد و بعد از 10 ثانیه درب گیوتینی باز می‌شود. مدت زمان تأخیر حیوان در ورود به بخش تاریک دستگاه (Step-through Latency: STL) و کل مدت زمانی را که حیوان در قسمت تاریک دستگاه می‌گذراند (Total Time in Dark Chamber: TDC) به عنوان معیاری برای بررسی حافظه ثبت می‌گردد. در مرحله آزمون هیچ گونه شوک الکتریکی به حیوان وارد نمی‌شود. بیش‌ترین مقدار تأخیر برای ورود به بخش تاریک 300 ثانیه است. چنانچه تأخیر حیوان در ورود به بخش تاریک، نسبت به روز آموزش افزایش یابد نشان دهنده افزایش حافظه است (14).

در تمام حیوانات کانول گذاری در ناحیه بطن های جانبی به دقت انجام و در روز اول و سوم پس از کانول گذاری سالین ($1\mu\text{g/rat}$) و یا استریتوزوتوسین (3 mg/kg) (شرکت سیگما-آمریکا) را با حجم 10 ml میکرولیتر در هر بطن دریافت کردند (13). از یک روز قبل از کانول گذاری در همه حیوانات سالین و یا رزوو استاتین (20 mg/kg و 10 mg/kg) (شرکت دکتر عیبی - ایران) متناسب با وزن بدن (1 ml/kg) روزانه و به مدت 14 روز گاوژ شد (15). 24 ساعت پس از پایان تیمار مرحله آموزش و روز بعد آزمون رفتاری انجام گرفت. پس از پایان آزمون رفتار پرفیوژن مغزی انجام شد. بدین منظور پس از بیهوشی حیوان، با ایجاد برش در قفسه سینه و به کمک ست تزریق ابتدا محلول سدیم کلراید $0/9\%$ (200 میلی لیتر) و سپس محلول پارافرمالدهید 40% (200 میلی لیتر) به عنوان فیکساتیو از طریق بطن چپ وارد بدن حیوان شد، در حالی که دهلیز راست برای خروج خون از بدن پاره شده بود. در ادامه سر حیوان جدا و مغز از جمجمه خارج و در محلول فیکساتیو به مدت 24 تا 48 ساعت نگه داری شد. مراحل پاساژ بافتی شامل قرار گیری نمونه ها در دستگاه پاساژ، بلوک گیری و برش گیری توسط میکروتوم انجام شد. مقاطع کروئال به شکل پشت سر هم به ضخامت $7\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر از هیپوکامپ پستی ($3/8 - 4/30$ میلی متر از برگما) تهیه شدند. از این میان چهار برش با فواصل مساوی برای شمارش انتخاب و میانگین آن ها محاسبه و به عنوان تعداد نورون های آن نمونه در نظر گرفته شد. رنگ آمیزی نمونه ها با کمک همتوکسیلین و اتوزین انجام و در نهایت توسط میکروسکوپ نوری (Olympus, BX40، آمریکا) متصل به دوربین (DP12، Olympus) و با استفاده از نرم افزار Image J انجام شد (16). در همه حیوانات خون گیری به کمک سرنک 5 ml میلی لیتر از بطن راست انجام شد. سپس خون داخل میکروتیوب های $1/5\text{ ml}$ ریخته شد و به مدت 10 دقیقه با دور 13300 سانتریفیوژ (مدل universal - آلمان) گردید. در ادامه سرم های

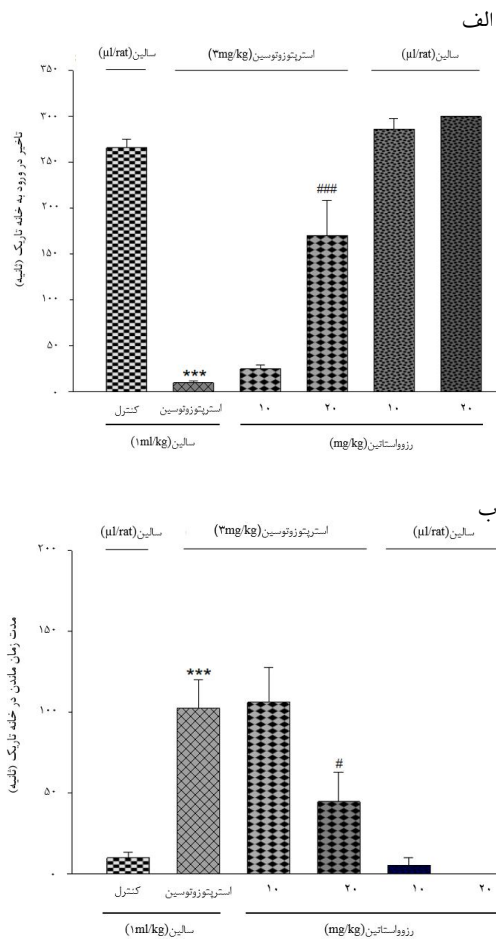
خون بر حسب مقادیر مورد نیاز در میکروتیوب های کوچک تر ریخته و در یخچال فریزر -80°C درجه سانتی گراد نگه داری شد. این نمونه سرم ها برای اندازه گیری میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide Dismutase: SOD)، مالون دی آلدیید (Malondialdehyde: MDA) و سنجش میزان قدرت آنتی اکسیدانتی کل (Total Antioxidant Capacity: TAC) مورد استفاده قرار گرفتند. جهت اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از ترکیبی به نام پیرو گالول استفاده شد که در محیط های آبی و قلیایی به صورت خود به خود اکسید می شود. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مانع از اکسیداسیون خود به خودی پیرو گالول می شود. از این موضوع برای اندازه گیری میزان فعالیت این آنزیم به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV/Vis - انگلیس) در طول موج 420 nm نانومتر استفاده می شود (17). در آزمون تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدی (MDA) آلدییدها با تیوباریتوریک اسید در دمای 100°C درجه سانتی گراد و در شرایط اسیدی واکنش داده و کمپلکس صورتی رنگی تولید می شود که مقدار آن در طول موج 532 nm نانومتر قابل اندازه گیری است (18). سنجش قدرت آنتی اکسیدانتی کل (TAC) براساس تغییرات جذب نوری ناشی از واکنش یون فرو (Fe^{2+}) با تری پیریدیل تریازین در طول موج 593 nm نانومتر انجام شد (19).

آنالیز داده ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و آنالیز مکمل Tukey انجام گرفت. سطح معنی دار بودن آماری $P < 0/05$ در نظر گرفته شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار آماری SPSS و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Sigmaplot انجام شد. نتایج به دست آمده به صورت ($\text{Mean} \pm \text{S.E.M}$) گزارش شده است.

یافته ها

نتایج داده های رفتاری نشان دهنده ی اختلاف معنی داری در زمان ورود به اتاق تاریک (STL)

را نسبت به گروه استرپتوزوتوسین افزایش دهد (تصویر شماره 1-C) و تصویر شماره 1-D. در گروه‌های دریافت‌کننده رزوواستاتین (10 و 20 mg/kg) به تنهایی تعداد، شکل و ویژگی‌های سلول‌های ناحیه CA1 هیپوکامپ بسیار شبیه به گروه کنترل بود (تصویر شماره 1-E) و (تصویر شماره 1-F). تصویر میکروسکوپی از سلول‌های سالم و ناسالم در این نواحی با بزرگنمایی 100 در تصویر شماره 2 ارائه شده است.



نمودار شماره 1: مقایسه حافظه اجتنابی غیرفعال بین گروه‌های آزمایشی. الف) تأخیر در ورود به خانه تاریک، ب) مدت زمان باقی ماندن در خانه تاریک. آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون مکمل توکی انجام شد و نتایج به صورت $(Mean \pm SEM)$ برای 7 سر حیوان می‌باشد. $P < 0/001$ *** تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل و $P < 0/001$ ### و $P < 0/05$ # تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه STZ می‌باشد.

[$F(5,38) = 59/547, P < 0/001$] و مجموع مدت زمان باقی ماندن حیوان در اتاق تاریک (TDC) [$F(3,8,5) = 12/494, P < 0/05$] در گروه‌های آزمایشی است. تزریق داخل بطنی استرپتوزوتوسین در روزهای اول و سوم پس از جراحی باعث کاهش زمان ورود به اتاق تاریک ($P < 0/001$) (نمودار شماره 1-الف) و همچنین افزایش مجموع مدت زمان باقی ماندن حیوان در اتاق تاریک ($P < 0/001$) (نمودار شماره 1-ب) نسبت به گروه کنترل شد که به معنی تخریب و کاهش حافظه است.

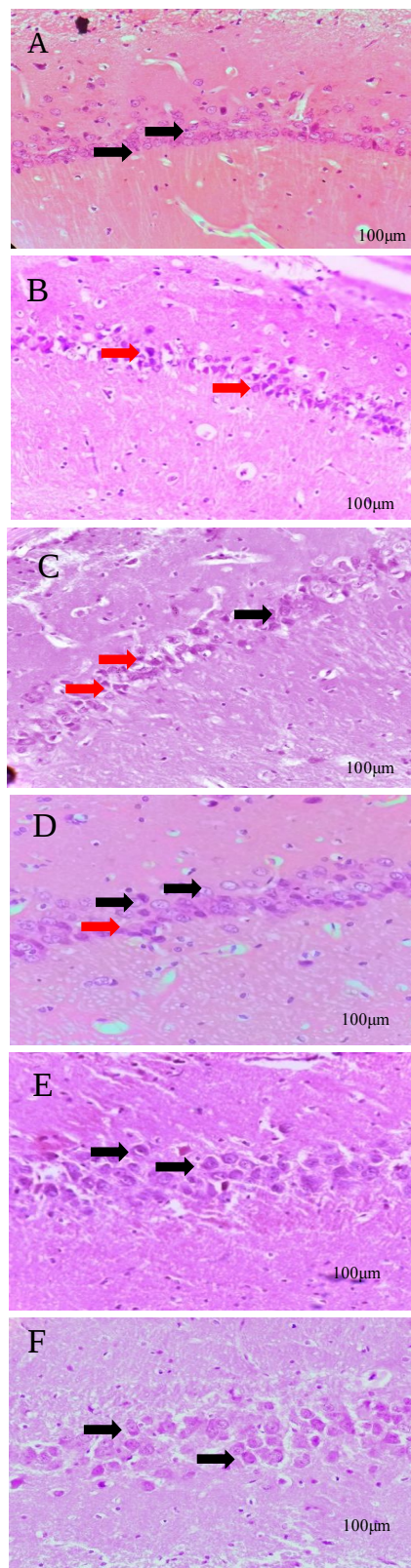
همچنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد در گروه رزوواستاتین (20 mg/kg) به همراه استرپتوزوتوسین گاوآژ رزوواستاتین از یک روز قبل از جراحی به مدت 2 هفته حافظه را به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه استرپتوزوتوسین بهبود بخشید. به‌طوری‌که در این گروه نسبت به گروه STZ نسبت به گروه STZ به‌طور معنی‌داری تأخیر در ورود به اتاق تاریک افزایش ($P < 0/001$) (نمودار شماره 1-الف) و مدت زمان ماندن حیوان در خانه سیاه کاهش یافت ($P < 0/05$) (نمودار شماره 1-ب) که به معنی بهبود حافظه است. گاوآژ رزوواستاتین (10 و 20 mg/kg) به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر بازخوانی حافظه نسبت به گروه کنترل نداشت ($P > 0/05$) (نمودار شماره 1-الف و ب).

بررسی‌های بافتی برش‌های مغز به کمک رنگ آمیزی همتاکسیلین-آئوزین نشان داد. نورون‌های موجود در ناحیه CA1 (Cornu Ammonis 1) هیپوکامپ در گروه کنترل کاملاً سالم بوده، به صورت دایره‌هایی منظم با هسته گرد در مرکز آن دیده می‌شود و دارای تراکم بالایی است (تصویر شماره 1-A). در گروه استرپتوزوتوسین (3 mg/kg)، تعداد سلول‌های سالم کاهش یافت و در عوض سلول‌هایی تیره‌تر با اشکال دوکی و مثلی و بدون هسته واضح دیده شد (تصویر شماره 1-B). در گروه‌های دریافت‌کننده استرپتوزوتوسین همراه با رزوواستاتین (10 و 20 mg/kg)، رزوواستاتین توانست به صورت وابسته به دوز تعداد سلول‌های سالم

(A) کنترل، (B) استرپتوزوتوسین، (C) گروه استرپتوزوتوسین و رزوواستاتین (10mg/kg)، (D) گروه استرپتوزوتوسین و رزوواستاتین (20mg/kg)، (E) گروه رزوواستاتین (10mg/kg) به تنهایی و (F) گروه رزوواستاتین (20mg/kg) به تنهایی. فلش‌های سیاه نشان دهنده نورون‌های سالم و فلش‌های قرمز نشان‌دهنده نورون‌های مرده است. (رنگ آمیزی H&E، بزرگنمایی $\times 400$)

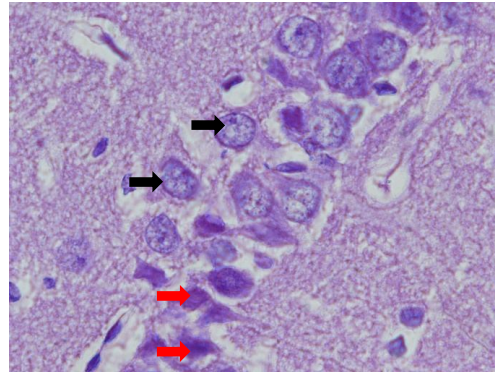
بر اساس شمارش نورونی صورت گرفته در ناحیه CA1 هیپوکامپ تعداد نورون‌های سالم در ناحیه CA1 گروه دریافت کننده استرپتوزوتوسین به طور معناداری ($P<0/001$) در مقایسه با گروه کنترل کاهش یافت. هم‌چنین براساس داده‌های به‌دست آمده تیمار با رزوواستاتین (10mg/kg و 20) به صورت وابسته به دوز تعداد نورون‌های سالم را در مقایسه با گروه دریافت کننده استرپتوزوتوسین افزایش داد ($P<0/05$) و ($P<0/001$). در گروه تیمار شده با رزوواستاتین (10 mg/kg و 20) به تنهایی تفاوت معناداری در تعداد نورون‌های سالم در مقایسه با گروه کنترل دیده نشد [$F(23,5)=19/553$, $P>0/05$] (نمودار شماره 2).

نتایج آزمون آماری تحلیل واریانس یک طرفه تفاوت معنی‌داری را در میزان پراکسیداسیون لیپیدی [$F(38,5)=9/676$, $P<0/001$]، سطح آنزیم سوپراکسید دیسموتاز [$F(38,5)=49/03$, $P<0/001$] و قدرت آنتی اکسیدانتی کل سرم خون [$F(38,5)=9/676$, $P<0/001$] در گروه‌های آزمایشی مختلف نشان داد. مطابق با نتایج در گروه STZ به طور معنی‌داری میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش و سطح آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و قدرت آنتی اکسیدانتی کل سرم خون نسبت به گروه کنترل کاهش یافت ($P<0/001$) (جدول شماره 1). در گروه‌های تیمار همزمان، رزوواستاتین (10 و 20 mg/kg) توانست نسبت به گروه استرپتوزوتوسین میزان مالون‌دی‌آلدهید سرم خون را به‌طور معنی‌داری کاهش و سطح آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و قدرت آنتی اکسیدانتی کل سرم خون را افزایش دهد ($P<0/001$) (جدول شماره 1). تیمار رزوواستاتین (10 و 20 mg/kg) به تنهایی نسبت

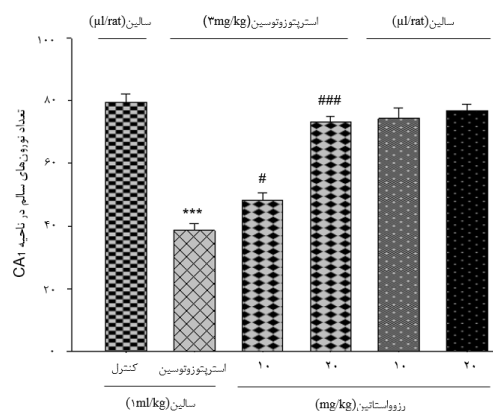


تصویر شماره 1: مقایسه نورون‌های ناحیه CA1 هیپوکامپ رنگ آمیزی شده به روش هِماتو_کسیلین - اتوزین در گروه‌های

به گروه کنترل تاثیر معنی‌داری در شاخص‌های فوق نداشت ($P>0/05$) (جدول شماره 1).



تصویر شماره 2: تصویر میکروسکوپی از نورون‌های هرمی هیپوکامپ با رنگ امیزی همتاکسیلین و انوزین. فلش‌های سیاه سلول‌های هرمی سالم و فلش‌های قرمز سلول‌های هرمی ناسالم را نشان می‌دهند (بزرگمایی $\times 1000$)



نمودار شماره 2: مقایسه تعداد نورون‌های سالم در ناحیه CA1 هیپوکامپ در مغز گروه‌های کنترل، استرپتوزوتوسین و تیمار شده با رزواستاتین. آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون مکمل توکی انجام شد و نتایج به صورت ($\text{Mean} \pm \text{SEM}$) برای 7 سر حیوان می‌باشد. $P<0/001$ *** تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل و $P<0/001$ ### و $P<0/05$ # تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه STZ می‌باشد.

بحث

بر اساس نتایج این پژوهش تزریق درون بطن مغزی استرپتوزوتوسین (3 mg/kg) منجر به کاهش بازخوانی

حافظه شد. در تحقیقات گذشته نیز استفاده از استرپتوزوتوسین منجر به تخریب حافظه و ایجاد علائم آلزایمر شده است (14, 25-20). استرپتوزوتوسین با کاهش فعالیت استیل کولین در مغز منجر به اختلالات شناختی می‌شود (26). استرپتوزوتوسین همچنین با کاهش جذب گلوکز باعث تغییر عملکرد میتوکندری و افزایش سطح سیتوکروم C در سیتوزول و شکل‌گیری آپوپتوزوم‌ها (پروتئین‌هایی حاصل از فرایند آپوپتوزیس) می‌شود که بیان کاسپاز 3 را افزایش داده و منجر به آسیب DNA و مرگ نورون‌ها می‌شود (27). شواهد بالینی نشان می‌دهد تزریق درون بطنی STZ باعث اختلال در عملکرد سیستم انسولین مغز شده و پروتئین تائو هاپر فسفریله تولید می‌کند. STZ همچنین باعث ایجاد کلاف‌های نوروفیبریلاری، رسوب درون سلولی پروتئین تائو و اختلالات شناختی می‌گردد (28). تجویز STZ از طریق استرس اکسیداتیو/نیتروژاتیو از یک طرف منجر به کاهش سطوح گلوکاتایون، کاهش متابولیسم گلوکز و اختلال در متابولیسم انرژی و از طرف دیگر باعث آزاد شدن واسطه‌های پیش‌التهابی از جمله فاکتور نکروزکننده تومور، اینترلوکین‌ها، کموکاین‌ها، اینترفرون گاما، پروتئین‌های التهابی و رادیکال‌های آزاد مانند نیتریک اکساید و سوپراکسید شده و در مجموع منجر به اختلال در عملکرد پروتئین‌ها و DNA و آسیب عصبی می‌شود (29, 30).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر همچنین نشان داد رزواستاتین با دوز 20 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن از یک روز قبل از کانول گذاری به مدت 14 روز توانست از اثرات استرپتوزوتوسین بر کاهش تعداد نورون‌های سالم در ناحیه CA1 هیپوکامپ و کاهش حافظه جلوگیری کند. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد تجویز رزواستاتین قادر به بهبود عملکرد عصبی و کاهش پاسخ‌های التهابی سرم خون، کاهش فاکتورهای التهابی در هیپوکامپ و کاهش سیگنال‌های آپوپتوزیس، ممانعت از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و

جدول شماره 1: مقایسه میزان مالون دی آلدئید (MDA)، قدرت آنتی اکسیدانتی کل (TAC) و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) سرم خون در گروه های آزمایشی مختلف

گروه	گروه کنترل	گروه STZ	گروه STZ و رزوواستاتین (10 mg/kg)	گروه STZ و رزوواستاتین (20 mg/kg)	گروه رزوواستاتین (10 mg/kg)	گروه رزوواستاتین (20 mg/kg)
فاکتور						
MDA (nmol/ml)	2/38±0/55 ^a	5/22±0/37 ^b	3/67±2/65 ^a	2/97±1/67 ^a	2/90±0/59 ^a	2/13±0/70 ^a
TAC (mmol/l)	0/804±0/08 ^a	0/381±0/04 ^b	0/774±0/15 ^a	0/794±0/18 ^a	0/812±0/13 ^a	0/827±0/17 ^a
SOD (U/ml)	10/66±0/93 ^a	3/20±0/27 ^b	10/17±1/38 ^a	10/64±1/51 ^a	10/94±0/97 ^a	11/06±0/90 ^a

مقادیر به صورت (Mean±SEM) بیان شده و میانگین ها با کد حرف های مختلف در هر ردیف دارای تفاوت معناداری نسبت به یکدیگر می باشند. سطح معنی داری $p < 0/05$ می باشد.

جلوگیری از نقص در نورونز هیپوکامپ، کاهش اضطراب در آزمون میدان باز و بهبود حافظه کوتاه مدت و بلند مدت در آزمون تشخیص شی جدید، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، کاهش استرس اکسیداتیو و کاهش فعالیت کاسپاز 3 و 9، کاهش رسوب آمیلوئید بتا در قشر مغز و هیپوکامپ، افزایش سرعت میلینه شدن فیبرهای عصبی محیطی، افزایش فاکتور رشد عصبی (Nerve Growth Factor: NGF) و افزایش فاکتور نوروتروفیک مشتق شده از مغز (Brain-Derived Neurotrophic Factor: BDNF) می شود (31-37).

به نظر می رسد استاتین ها با افزایش سطح استیل کولین قادرند کمبود این نوروترنسمیتر را در بیماری آلزایمر بهبود دهند و به این ترتیب از اختلال عملکرد حافظه جلوگیری نمایند (38). به این ترتیب یک احتمال دیگر آن است که رزوواستاتین با افزایش محتوای نیتریک اکساید در مغز قادر است از مرگ سلولی ناشی از استرپتوزوتوسین جلوگیری کند. رزوواستاتین از طریق مسدود کردن ایزوپرنیلاسیون در مسیر مولونات منجر به مهار سنتز GTPase شده و اثرات مفید و درمانی خود را بروز می دهد. GTPase ها مسئول رونویسی از ژن فاکتور هسته ای کاپا بتا (Nuclear factor kappa-light chain-enhancer of activated B cells: NF- κ B) در سلول عصبی و ایجاد التهاب عصبی است. افزایش GTPase ها همچنین باعث فاگوسیتوز غیر اختصاصی و آپوپتوزیس سلول های عصبی می شود. علاوه بر آن افزایش GTPase ها پلیمریزاسیون میکروفیلانمنت های اکتین

اندوتلیال، تولید iNOS (Inducible nitric oxide synthase) و التهاب بافت را افزایش داده، با تحریک NADPH (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) اکسیداز گونه های فعال اکسیژن و استرس اکسیداتیو را افزایش و با مهار بازسازی آکسون منجر به زوال عقل می شود (39). رزوواستاتین از طریق سرکوب آنیون های سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) و افزایش سطح گلو تاتیون (Glutathione: GSH) و کاتالاز (Catalase: CAT) موجب مهار تولید پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال های آزاد هیدروکسیل ($OH^{\cdot}$) شده و از پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب به غشای سلول و میتوکندری جلوگیری می کند. کاهش یون های هیدروکسیل از اکسیداسیون DNA و فعالیت کاسپاز 3 جلوگیری کرده و مانع آپوپتوزیس می شود (39). مطالعات نشان داده اند رزوواستاتین با سرکوب آنزیم NADPH اکسیداز، استرس اکسیداتیو را کاهش می دهد. درمان بالینی رزوواستاتین باعث کاهش بیومارکرهای استرس اکسیداتیو همراه با کاهش کلسترول می شود (40). رزوواستاتین اثرات ضد میتوژنیک و ضد فاگوسیتیک را افزایش، سنتز سیتو کین های پیش التهابی مانند IL-1 β (Interleukin 1 beta) و TNF- α (Tumor Necrosis Factor alpha) را مهار، تولید سیتو کین های ضد التهابی مانند IL-10 (Interleukin 10) را تحریک و بیان تعدادی از ژن های ضد التهابی را افزایش می دهد (41). به این ترتیب یک احتمال دیگر آن است که رزوواستاتین با مهار سیتو کین های پیش التهابی و تحریک بیان ژن های ضد

استرپتوزوتوسین جلوگیری می‌نمایند به مطالعات بیش‌تری نیاز است.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان گفت که، در این پژوهش تنها حافظه اجتنابی غیرفعال و شاخص‌های استرس اکسیداتیو سنجش شده است. بهتر است در مطالعات دیگر از روش‌های دیگر اندازه‌گیری حافظه و یادگیری نیز استفاده شود و سایر جنبه‌های احتمالی تاثیر استاتین‌ها مانند تاثیر بر مسیرهای التهابی و بیان ژن‌های درگیر در حافظه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

از زحمت‌های کارشناسان و مسئولان آزمایشگاه تحقیقاتی فیزیولوژی جانوری دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه اراک تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله بر گرفته از پایان‌نامه آقای علی عزیزی چشمه‌کبود دوره کارشناسی ارشد است.

References

- Shahinfar J, Zeraati H, Ghorbanzadeh M, Nasimi F, Shojaei S. Effect of medical Plants on memory and learning, A review article. *JIITM* 2017; 8(3): 347-362 (Persian).
- Mohammadi T, Mohammadian B, Fatemi Tabatabaee SR, Kolahi M. Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) Hydroalcoholic Extract Effects on Histological Structure of Hippocampus in Ovariectomized Mice. *Jundishapur Sci Med J* 2016; 15(1): 73-83 (Persian).
- Ju Y, Tam KY. Pathological mechanisms and therapeutic strategies for Alzheimer's disease. *Neural Regen Res* 2021; 17(3): 543-549.
- Amani M. Pathophysiology of Alzheimer's Disease. *J Ardabil Univ Med Sci* 2017; 16(4): 452-463 (Persian).
- Breijyeh Z, Karaman R. Comprehensive Review on Alzheimer's Disease: Causes and Treatment. *Molecules* 2020; 25(24): 5789.
- Mazzura WCh, Nur AR, Nurul AMNH, Gurmeet KSS. Streptozotocin mechanisms and its role in rodent models for Alzheimer's disease. *Toxin Reviews* 2023; 42(1): 491-502.
- Wood WG, Eckert GP, Igbavboa U, Muller WE. Statins and neuroprotection: a prescription to move the field forward. *Ann N Y Acad Sci* 2011; 1199: 69-76.
- Sodero AO, Barrantes FJ. Pleiotropic effects of statins on brain cells. *Biochim Biophys Acta Biomembr* 2020; 1862(9): 183340.
- Alsubaie N, Al-kuraishy HM, Al-Gareeb AI, Alharbi B, De Waard M, Sabatier JM, et al. Statins Use in Alzheimer Disease: Bane or Boon from Frantic Search and Narrative Review. *Brain Sci* 2022; 12(10): 1290.

10. German CA, Liao JK. Understanding the molecular mechanisms of statin pleiotropic effects. *Arch Toxicol* 2023; 97(6): 1529-1545.
11. Shinohara M, Sato N, Shimamura M, Kurinami H, Hamasaki T, Chatterjee A, et al. Possible modification of Alzheimer's disease by statins in midlife: interactions with genetic and non-genetic risk factors. *Front Aging Neurosci* 2014; 6:71.
12. Fracassi A, Marangoni M, Rosso P, Valentina P, Marco F, Silvia S M, et al. Statins and the Brain: More than Lipid Lowering Agents? *Curr Neuroparmacol* 2019; 17(1): 59- 83.
13. Paxinos G, Watson C. The rat brain in stereotaxic Coordinates. 4th ed. San Diago: Academic Press; 1998.
14. Darbandi N, Ramezani M, Noori M. Mespilus germanica Flavonoids Attenuate Cognitive Dysfunction in the Streptozotocin-induced Rat Model of Alzheimer's Disease. *Ind J Pharma Sci* 2018, 80(4): 668-675.
15. Yazdanimehr S, Mohammadi MT. Evaluation of the Protective Effects of Rosuvastatin Through the Antioxidant Capacity and Oxidative Damage of Liver Tissue in Streptozotocin-induced Diabetic Rats. *IJEM* 2018; 19(6): 399-409 (Persian).
16. Darbandi N, Komijani M, Tajiani Z. New findings about comparing the effects of antibiotic therapy and phage therapy on memory and hippocampal pyramidal cells in rats. *J Clin Lab Anal* 2023; 37(11-12): e24942.
17. Mesa-Herrera F, Quinto-Aleman D & Díaz M. A Sensitive, Accurate, and Versatile Method for the Quantification of Superoxide Dismutase Activities in Biological Preparations. *React Oxyg Species* 2019; 7(19): 10-20.
18. Farjad E, Momeni HR. Silymarin ameliorates oxidative stress and enhances antioxidant defense system capacity in cadmium-treated mice. *Cell J* 2018; 20(3): 422-426.
19. Etemadi T, Momeni H.R, Darbandi N, Abnosi MH. Silymarin modulates cadmium-induced oxidative stress in human spermatozoa. *Andrologia* 2022; 54(8): e14475.
20. Manickam R, Murugesan S, Kottaisamy S, Ramasundaram T, Kannan S. Galantamine tethered hydrogel as a novel therapeutic target for streptozotocin-induced Alzheimer's disease in Wistar rats. *Curr Res Pharmacol Drug Discov* 2022; 3: 100100.
21. Shukla D, Srivastava S, Jawaid T. Learning and Memory Enhancing Activity of Polyherbal Formulation on Streptozotocin Induced Memory Impairment in Rats via Reducing Mitochondria-Targeted Cytochrome. *Pharmacogn J* 2021; 13(1): 230-240.
22. Anjomani M, Eliassi A, Ghasemi R, Fahanik-Babaei J. Effect of intracerebroventricular injection of streptozotocin on memory, reactive oxygen species of brain mitochondria, and β -amyloid plaques in rat hippocampus. *Ir J Physiol Pharmacol* 2020; 4 (3,4): 130-118 (Persian).
23. Fereidooni F, Komeili G, Fanaei H, Safari T, Khorrami S, Khazaei Feizabad A. Protective effects of ginseng on memory and learning and prevention of hippocampal oxidative damage in streptozotocin-induced Alzheimer's in a rat model. *Neur Psychi Br Res* 2020; 37(9): 116-122.
24. Rimpi A, Rahul D. Chebulinic Acid Negated the Development of Streptozotocin- Induced Experimental Dementia in Rats. *Int J Pharm Investigation* 2020; 10(1): 24-31.
25. Darbandi N, Momeni HR, Tajiani M. The Effect of N-acetyl-cysteine on Memory Retrieval and the Number of Intact Neurons of Hippocampal CA1 Area in Streptozotocin-

- induced Alzheimeric Male Rats. *J Arak Uni Med Sci* 2018; 20(127): 40-51 (Persian).
26. Agrawal M, Perumal Y, Bansal S, Arora S, Chopra K. Phycocyanin alleviates ICV-STZ induced cognitive and molecular deficits via PI3-Kinase dependent pathway. *Food Chem Toxicol* 2020; 145: 111684.
 27. Biswas J, Gupta S, Verma DK, Gupta P, Singh A, Tiwari S, et al. Involvement of glucose related energy crisis and endoplasmic reticulum stress: Insinuation of streptozotocin induced Alzheimer's like pathology. *Cell Signal* 2018; 42: 211-226.
 28. Mishra S.K, Singh S, Shukla S, Shukla R. Intracerebroventricular streptozotocin impairs adult neurogenesis and cognitive functions via regulating neuroinflammation and insulin signaling in adult rats. *Neurochem Int* 2017; 113: 56-68.
 29. Kamat PK, Kalani A, Rai S, Tota KS, Kumar A, Ahmad AS. Streptozotocin Intracerebroventricular-Induced Neurotoxicity and Brain Insulin Resistance: a Therapeutic Intervention for Treatment of Sporadic Alzheimer's Disease (sAD)-Like Pathology. *Mol Neurobiol* 2015; 53(7): 4548-4562.
 30. Bagamery F, Varga K, Kecsmar K, Vincze I, Szoko E, Tabi T. Lack of insulin resistance in response to streptozotocin treatment in neuronal SH-SY5Y cell line. *J Neural Transm* 2019; 127(1): 71-80.
 31. Zhu J, Wang S, Chen Z, Cheng Q. Efficacy of Rosuvastatin Combined with rt-PA Intravenous Thrombolytic Therapy for Elderly Acute Ischemic Stroke Patients. *Comput Math Methods Med* 2022; 2022: 9403693
 32. Saad MA, Al-Shorbagy MY, Arab HH. Targeting the TLR4/NF- κ B Axis and NLRP1/3 Inflammasomes by Rosuvastatin: A Role in Impeding Ovariectomy-Induced Cognitive Decline Neuropathology in Rats. *Mol Neurobiol* 2022; 59(7): 4562-4577.
 33. Al-Allaf L.I, Attarbashee R.K.A, Mammdoh J.K. The Effect Of Cyclophosphamide On Hippocampal Structure Of Adult Male Rats (Role Of Rosuvastatin). *Mil Med Sci Lett* 2022; 91(3): 256-264.
 34. Evangelista FF, Ferreira WC, Mantelo FM, Beletini LF, de Souza AH, de Laet Sant'Ana P, et al. Rosuvastatin revert memory impairment and anxiogenic-like effect in mice infected with the chronic ME-49 strain of *Toxoplasma gondii*. *PLoS One* 2021; 16(4): e0250079.
 35. Eslami SM, Khorshidi L, Ghasemi M, Rashidian A, Mirghazanfari M, Nezhadi A, et al. Protective effects of atorvastatin and rosuvastatin on 3,4-methylenedioxymethamphetamine (MDMA)-induced spatial learning and memory impairment. *Inflammopharmacology* 2021; 29(6): 1807-1818.
 36. Zheng L, Cai Y, Qiu B, Lan L, Lin J, Fan Y. Rosuvastatin Improves Cognitive Function of Chronic Hypertensive Rats by Attenuating White Matter Lesions and Beta-Amyloid Deposits. *Biomed Res Int* 2020; 2020: 4864017.
 37. Abdolmaleki A, Zahri S, Bayrami A. Rosuvastatin enhanced functional recovery after sciatic nerve injury in the rat. *Eur J Pharmacol* 2020; 882:173260.
 38. Ranaei M S, Farokhi F, Babaei Balderlou F. The Effect of Simvastatin and Vitamin D Co-Administration on Rats Brain Function and Behavior: A Behavioral and Biochemical Study. *JABS* 2022; 12 (1): 60-68 (Persian).
 39. Husain I, Khan S, Khan S, Madaan T, Kumar S, Najmi AK. Unfolding the pleiotropic facades of rosuvastatin in therapeutic intervention of myriads of neurodegenerative disorders. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2019; 46(4): 283-291.

40. Abdeen A, Aboubakr M, Elgazzar D, Abdo M, Abdelkader A, Ibrahim S, et al. Rosuvastatin attenuates piroxicam-mediated gastric ulceration and hepato-renal toxicity in rats. *Biomed Pharmacother* 2019; 110: 895-905.
41. Kata D, Foldesi I, Feher LZ, Hackler LJr, Puskas LG, Gulya K. Rosuvastatin enhances anti-inflammatory and inhibits pro-inflammatory functions in cultured microglial cells. *Neuroscience* 2016; 314: 47-63.