

Study on the effect of acetyl L-carnitine on cognitive and cellular disorders resulting from lipopolysaccharide-induced inflammation in male rats: emphasis on AKT / mTOR cell pathways and inflammation in the hippocampus

Nida Jamali-Raeufy¹, Motahareh Zeinivand², Fahimeh Alizadeh³, Soraya Mehrabi⁴

¹ Associate Professor, Department of Physiology, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Physiology, School of Medicine, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

³ MSc, Department of Physiology, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Physiology, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background: The brain in exposure to irritating factors may lead to production of some chemical factors and proinflammatory cytokines and neuroinflammation. Over time, the chronic neuroinflammation will cause some cognitive disorders and neurodegenerative diseases. The present study studied the effect of acetyl L - carnitine on cognitive and cellular disorders derived from lipopolysaccharide (LPS)- induced inflammation, with emphasis on cellular pathways in the hippocampus of male rat.

Materials and methods: In this study, we used LPS with dose of 500 µg/kg of animal's weight regarding to the previous studies. Acetyl L carnitine was prescribed with three doses of 30, 60 and 100 mg/kg among rats received LPS. Passive avoidance behavior was used to assess learning and memory, and biochemical and molecular methods were used for mTOR, p-AKT, and inflammatory factors.

Results: Acetyl L carnitine improved passive avoidance memory as well as working memory in a dose-dependent manner. It also prevented the death of hippocampal neurons by inhibiting neuroinflammation by reducing the expression of IL-6 and IL-1B and increasing the levels of mTOR and AKT-p.

Conclusion: The present study showed that acetyl L-carnitine can reduce the destructive effects of lipopolysaccharide, which appears to be through increased levels of mTOR and AKT.

Keywords: *Neuroinflammation, Lipopolysaccharide (LPS), Memory, Acetyl L carnitine.*

Cited as: Jamali-Raeufy N, Zeinivand M, Alizadeh F, Mehrabi S. Study on the effect of acetyl L-carnitine on cognitive and cellular disorders resulting from lipopolysaccharide-induced inflammation in male rats: emphasis on AKT / mTOR cell pathways and inflammation in the hippocampus. Medical Science Journal of Islamic Azad University, Tehran Medical Branch 2022; 31(4): 397-405.

Correspondence to: Nida Jamali-Raeufy

Tel: +98 88622709-021

E-mail: jamali.n@iums.ac.ir

ORCID ID: 0000-0003-2416-0335

Received: 15 May 2021; **Accepted:** 5 Aug 2021

مطالعه اثر استیل ال کارنیتین بر اختلال شناختی و سلولی منتج از التهاب القا شده به وسیله لیپوپولی ساکارید در موش صحرایی نر: با تاکید بر مسیرهای سلولی AKT / mTOR و التهاب در هیپوکامپ

نیدا جمالی رئوفی^۱، مطهره زینی وند^۲، فهیمه علیزاده^۳، ثریا مهرابی^۴

^۱ دانشیار گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
^۲ استادیار گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه
^۳ کارشناس ارشد گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
^۴ استادیار گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران

چکیده

سابقه و هدف: مغز در مواجهه با عوامل محرک باعث ایجاد تغییر در نورون‌ها و تولید عوامل شیمیایی و سایتوکاین‌های پیش التهابی می‌شود و التهاب عصبی مزمن به بروز اختلالات شناختی و بیماری‌های نورودژنراتیو می‌انجامد. مطالعه حاضر به بررسی اثر استیل ال کارنیتین بر اختلالات شناختی و سلولی منتج از التهاب القا شده به وسیله لیپوپولی ساکارید (LPS) با تاکید بر مسیر mTOR در هیپوکامپ موش صحرایی نر پرداخت.

روش بررسی: در این مطالعه برای ایجاد مدل التهابی شناخت از LPS با دوز ۵۰۰ µg/kg حیوان و برای بررسی اثر استیل ال کارنیتین نیز از سه دوز ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ mg/kg در رت‌های دریافت کننده LPS استفاده شد. رفتار اجتنابی غیر فعال برای بررسی یادگیری و حافظه، روش‌های بیوشیمیایی و مولکولی برای میزان mTOR و p-AKT و فاکتورهای التهابی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد که استیل ال کارنیتین در مدل التهابی ناشی از تزریق درون صفاقی LPS، به صورت وابسته به دوز موجب بهبود حافظه غیرفعال اجتنابی شد. همچنین با مهار التهاب نورونی از طریق کاهش بیان IL-6 و IL-1B و افزایش میزان mTOR و p-AKT توانست از مرگ نورون‌های هیپوکامپ جلوگیری کند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که استیل ال کارنیتین می‌تواند موجب کاهش اثرات مخرب لیپوپولی ساکارید شود که به نظر می‌رسد از طریق افزایش میزان mTOR و AKT باشد.

واژگان کلیدی: التهاب عصبی، لیپوپولی ساکارید (LPS)، حافظه، استیل-ال-کارنیتین.

مقدمه

یکی از علایم برجسته بیماری‌های نورودژنراتیو مانند بیماری پارکینسون و بیماری آلزایمر، التهاب و فعال سازی میکروگلیا است (۱). بیماری‌های دژنراتیو و کشنده سیستم عصبی با

افزایش سن، تغییر در سبک زندگی، تغذیه، شرایط فیزیولوژیکی و محیطی همراه است. میکروگلیاها اصلی‌ترین سلول‌های ایمنی مغز در شرایط فیزیولوژیک و پاتولوژیک هستند که در التهاب عصبی فعال می‌شوند (۲). میکروگلیاها سلول‌های ایمنی ذاتی ساکن در بافت مغز هستند که می‌توانند در پاسخ به عوامل سیتوتوکسیک مانند فاکتور نکروز تومور آلفا (TNFα)، سوپراکسید و اکسید نیتریک فعال شوند. اگرچه فعال شدن میکروگلیا برای دفاع از میزبان مهم است، اما فعال

آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده پزشکی، گروه فیزیولوژی، نیدا جمالی رئوفی (email: jamali.n@iums.ac.ir)
ORCID ID: 0000-0003-2416-0335
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۴

شدن بیش از حد میکروگلیا سمیت عصبی دارد (۳) و التهاب عصبی ایجاد می‌کند. لیپوپولی ساکارید (LPS) نوعی اندوتوکسین از باکتریهای گرم منفی است. همچنین لیپو پلی ساکارید آندوتوکسین پایدار و قوی است که قادر است آسیب سلول‌های عصبی دوپامینرژیک را فقط در حضور میکروگلیال افزایش دهد.

LPS یکی از عواملی است که باعث القای التهاب می‌شود. التهاب القا شده توسط LPS موجب تجمع پروتئین‌های یوبیکوئیتینه شده می‌شود که با مهار پروتئازوم‌ها موجب القای تخریب نورونی می‌شود (۴). در مدل Neuroinflammation القا شده توسط LPS، میکروگلیاها فعال شده و موجب مقاومت در مقابل آسیب نورونی می‌شوند که برابند آن تغییر (Long term potential: LTP) و اختلال عملکرد شناختی خواهد بود (۵). بنابراین التهاب عصبی وابسته به سنتز و ترشح مولکولهای نورواکتیو، به خصوص مولکول‌های تولید شده از سلول‌های گلیال فعال شده شامل سایتوکاین‌ها TNF- α و IL- β ، رادیکال‌های آزاد واکنشی اکسیژن و نیتروژن، آمینواسیدهای تحریکی و پروتئازها است (۶). اتوفازای موجب تجمع چندین مسیر سیگنالینگ جهت تنظیم رشد سلولی، تکثیر سلولی، حرکت سلولی و بقای سلولی می‌شود که از آن جمله می‌توان AMP Kinase (AMPK)، Serine/Threonine Target of rapamycin kinase – mammalian و protein (mTOR) را نام برد (۷). استیل ال کارنیتین (ALC) یک پپتید محلول در آب است که در میتوکندری یافت می‌شود. این آندوژن فرم استیل شده کارنیتین است که به طور طبیعی در بدن تولید می‌شود. گاهی به عنوان مکمل غذایی استفاده می‌شود. ALC باعث تحریک سوخت و ساز بدن توسط میتوکندری‌ها، تثبیت غشای میتوکندری و افزایش عرضه انرژی به سایر اندامک‌ها می‌شود (۸). در صدمات حاد طناب نخاعی که در نتیجه اختلال در فعالیت میتوکندری و التهاب عصبی و همچنین تشکیل سایتوکاین‌های التهابی، گلوتامات و پروکسی نیتريت و رادیکال‌های سوپراکسید در بافت آسیب دیده تولید می‌شود (۹). مشخص شده است که درمان فوری با آنتی‌اکسیدان‌های ALC و NAC، باعث کاهش التهاب عصبی، افزایش جوانه زدن آکسون‌ها، کاهش بیان پروتئین BAX (پروتئین پیش آپوپتوز) و کاهش آپوپتوز، کاهش فعالیت میکروگلیاها، کاهش مرگ زودرس نورون‌های حرکتی و به تاخیر افتادن تحلیل نورون‌های حسی و مهار ROS می‌شود (۱۰). بنابراین با توجه به مطالعات فوق، استیل ال کارنیتین می‌تواند به عنوان کاندید مناسبی برای درمان التهاب

عصبی در نظر گرفته شود. در این مطالعه، ما برای ارزیابی اثرات محافظتی استیل ال کارنیتین در مدل التهاب القا شده به وسیله لیپو پلی ساکارید و کشف مکانیسم‌های احتمالی آن برای اعمال این حفاظت پرداختیم.

مواد و روشها

جهت انجام این تحقیق از ۵۶ سر موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار در محدوده وزنی ۲۰۰-۲۳۰ گرم استفاده شد. حیوانات از مرکز تکثیر و نگهداری حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه علوم پزشکی ایران تهیه شدند و با کد اخلاق IR.IUMS.FMD.REC 1395.29779 این کار تایید شد. در این مطالعه حیوانات در شرایط کنترل شده از نظر نور و دما با دسترسی کافی به آب و غذا نگهداری می‌شدند. همه آزمایشات مطالعه بر اساس قوانین و دستورالعمل‌های توصیه شده توسط انستیتوی ملی بهداشت آمریکا (NIH) انجام شد. موش‌ها به طور تصادفی به ۷ گروه تقسیم شدند (n=۸ حیوان در هر گروه):

۱- گروه کنترل: در این گروه موش‌های سالم مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- گروه کنترل دریافت کننده Acetyl-l-carnitine: در این گروه Acetyl-l-carnitine با دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت داخل صفاقی به مدت شش روز به موش‌های سالم تزریق شد.

۴- گروه لیپو پلی ساکارید: در این گروه برای ایجاد التهاب، لیپو پلی ساکارید به میزان ۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم به فرم داخل صفاقی یک بار به حیوانات تزریق شد.

۵- گروه لیپو پلی ساکارید دریافت کننده Acetyl-l-carnitine: در این گروه Acetyl-l-carnitine با دوز ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت داخل صفاقی به مدت شش روز بعد از تزریق لیپو پلی ساکارید تزریق شد.

۶- گروه لیپو پلی ساکارید دریافت کننده Acetyl-l-carnitine: در این گروه Acetyl-l-carnitine با دوز ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت داخل صفاقی به مدت شش روز بعد از تزریق لیپو پلی ساکارید تزریق شد.

۷- گروه لیپو پلی ساکارید دریافت کننده Acetyl-l-carnitine: در این گروه Acetyl-l-carnitine با دوز ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت داخل صفاقی به مدت شش روز بعد از تزریق لیپو پلی ساکارید تزریق شد.

۸- گروه لیپو پلی ساکارید دریافت کننده دگزامتازون (به عنوان کنترل مثبت): دگزامتازون به میزان ۱۰۰ میکروگرم به ازای

کیلوگرم وزن به صورت داخل صفاقی به مدت شش روز تزریق شد.

تست رفتاری

بررسی رفتار اجتنابی غیر فعال با استفاده از Shuttle Box

برای بررسی رفتار اجتنابی غیر فعال، از یک دستگاه با ابعاد ۲۰×۸۰×۲۰ سانتی متر (شامل باکس) دارای یک محفظه روشن و یک محفظه تاریک استفاده شد. میله‌های فلزی موجود در کف محفظه تاریک برای شوک دادن به پای حیوان به کار گرفته شدند. برای اعمال تحریک از یک دستگاه استیمولاتور استفاده شد که تک تحریکی با شدت ۱ میلی آمپر و به مدت ۱ ثانیه اعمال می‌کرد. در این مطالعه روش بررسی رفتار اجتنابی غیر فعال به شرح زیر بود:

الف) سازش: در این مرحله، قبل از آغاز آزمایش، هر حیوان برای دو روز متوالی و دست کم به مدت ۵ دقیقه در داخل دستگاه قرار داده شد.

ب) اکتساب: در این مرحله (روز سوم)، حیوان در محفظه روشن قرار داده می‌شد، درب گیوتینی (ارتباط دهنده محفظه روشن و تاریک) باز می‌شد، به محض باز کردن در کورنومتر به کار انداخته می‌شد و مدت زمانی که طول می‌کشید تا حیوان از محفظه روشن به محفظه تاریک برود، یادداشت می‌شد که مدت زمان این تاخیر اولیه، به عنوان تاخیر اولیه یا IL نامیده می‌شود. بعد از آن در گیوتینی پایین آورده می‌شد و یک تک شوک به حیوان وارد می‌آمد. در پایان کار پس از ۱ دقیقه حیوان به قفس منتقل می‌شد. در این مرحله موش‌های دارای تاخیر اولیه بیشتر از ۶۰ ثانیه از آزمایش حذف شدند.

ج) نگهداری اطلاعات: این مرحله ۲۴ ساعت پس از مرحله دوم در روز چهارم انجام شد. این مرحله مشابه مرحله پیشین بود با این تفاوت که وقتی حیوان به محفظه تاریک وارد می‌شد، هیچ گونه شوکی دریافت نمی‌کرد؛ در این مرحله تاخیر در حین عبور یا STL (مدت زمانی که طول می‌کشد که حیوان وارد محفظه تاریک شود) اندازه‌گیری شد. زمان قطع آزمایش (Cut off) نیز ۳۶۰ ثانیه در نظر گرفته شد.

تهیه هموزن بافتی

پس از اتمام مطالعات رفتاری، موش‌ها را با کتامین و زایلازین بیهوش، سر آنها را با گیوتین جدا کرده و مغزشان را از حفره جمجمه خارج کردیم و بر روی یخ منجمد قرار دادیم تا هنگام آزمایشات اصلی به فریزر ۸۰- درجه منتقل کرد. برای تهیه بافت هموزن، پس از جداسازی هیپوکمپ، آن را وزن کرده و ۱۰ برابر وزن آن محلول بافر فسفات (PBS) به آن اضافه کرده و با استفاده از دستگاه هموزنایزر (۵۰۰۰ دور در دقیقه) بر روی یخ

هموزنیزه کردیم. پس از سانتریفیوژ کردن محلول هموزنیزه شده، محلول رویه که شفاف‌تر بود را جدا کرده و برای سنجش فاکتورهای مورد نظر مورد استفاده قرار دادیم. بخش رسوب کرده زیرین دور ریخته شد.

ارزیابی فاکتور التهابی (IL-6, IL-1B)، MTOR و P-AKT با استفاده از کیت الایزا

IL-6، IL-1B، MTOR و P-AKT با استفاده از روش‌های ایمون جذب متصل به آنزیم (ELISA) در منطقه هیپوکامپ طبق دستورالعمل سازنده تعیین شد (Ulm ZellBio GmbH، آلمان). به طور خلاصه، نمونه‌ها و استانداردها به داخل چاه‌هایی که از قبل با آنتی بادی‌های مخصوص IL-6، IL-1B و MTOR و P-AKT و مارک‌های اتوفلوریسنت پوشش داده شده‌اند، پیپت داده شدند. سپس، چاه‌ها شسته و آنتی بادی‌های متصل به آنزیم مخصوص IL-1B، IL-6، نشانگرهای MTOR و P-AKT به چاه‌ها اضافه شدند. سپس، سه بار چاه‌ها شسته شدند. پس از آخرین شستشو، اسپیراسیون برای از بین بردن باقی مانده بافر شستشو انجام شد. صفحه در مقابل حوله های کاغذی تمیز و هر آنزیم آنتی بادی غیرمستقیم معکوس شد. معرف حذف شد. سرانجام، یک محلول سوپسترا شامل حجم مساوی معرف A و B به چاه‌ها اضافه شد و محلول با استفاده از دستگاه ریزپلاک با سرعت ۴۵۰ نانومتر خوانده شد.

تحلیل آماری

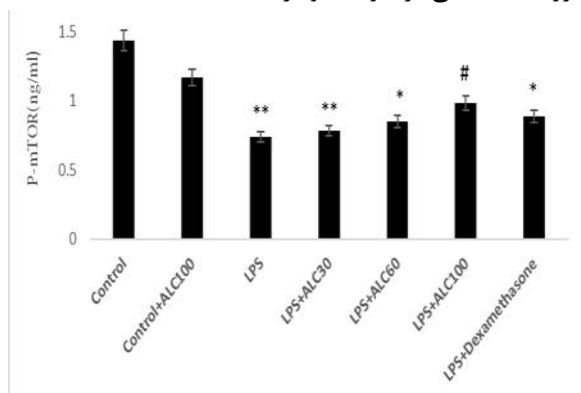
تمام داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار بیان می‌شوند. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار آماري GraphPad Prism-5 انجام شد. تحلیل داده‌ها با ANOVA یک طرفه انجام شد و به دنبال آن آزمون توکی برای مقایسه تفاوت بین سه یا چند گروه انجام شد.

یافته‌ها

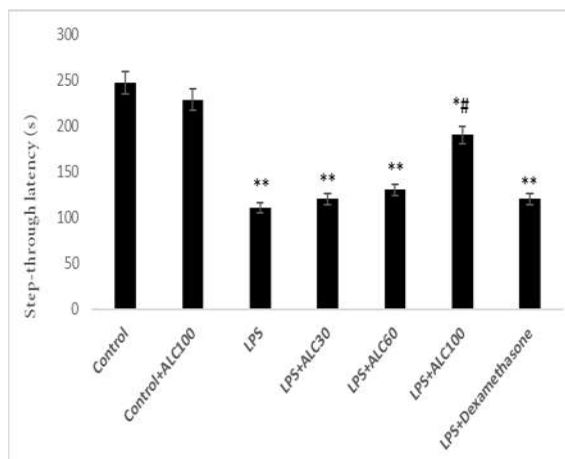
اثرات استیل-ال-کارنیتین بر میزان حافظه و یادگیری

در مورد نتایج حاصل از آزمون اجتنابی غیر فعال، کاهش قابل توجهی در STL در موش‌های گروه LPS در مقایسه با گروه کنترل و کنترل + دگزاتازون مشاهده شد. درمان با بالاترین غلظت استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) به طور معنی‌داری STL را در مقایسه با گروه LPS افزایش داد، در حالی که سایر دوزهای استیل-ال-کارنیتین (ALC30, ALC60) و دگزاتازون نتوانستند این اثر را اعمال کنند (نمودار ۱).

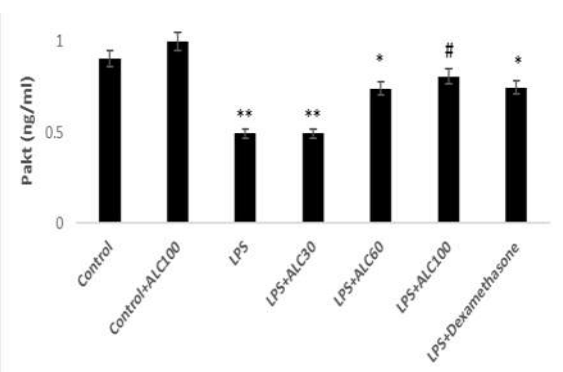
افزایش میزان p AKT شدند، اما این افزایش در مقایسه با گروه LPS معنی دار نبود (نمودار ۳).



نمودار ۲. مقایسه میانگین فعالیت پروتئین p- m TOR بین گروه‌های مختلف. نتایج بر اساس Mean ± SEM گزارش شده‌اند. * $P < 0.05$ و ** $P < 0.01$ در مقایسه با گروه کنترل، # $P < 0.05$ در مقایسه با گروه LPS



نمودار ۱. مقایسه میانگین تاخیر در حین عبور (STL) در گروه‌های مختلف مطالعه. نتایج بر اساس Mean ± SEM گزارش شده‌اند. * $P < 0.05$ و ** $P < 0.01$ در مقایسه با گروه کنترل، # $P < 0.05$ در مقایسه با گروه LPS



نمودار ۳. مقایسه میانگین فعالیت مسیر سیگنالینگ p AKT بین گروه‌های مختلف مطالعه. نتایج بر اساس Mean ± SEM گزارش شده‌اند. * $P < 0.05$ و ** $P < 0.01$ در مقایسه با گروه کنترل، # $P < 0.05$ در مقایسه با گروه LPS

بررسی میزان IL-6 در بافت هیپوکمپ

به منظور تأیید بیشتر اثر محافظتی استیل-ال-کارنیتین در التهاب عصبی ناشی از LPS، بیان IL-6 در گروه‌های مختلف آزمایشی بررسی شد. LPS به طور قابل توجهی بیان IL-6 را در بافت مغز موش افزایش داد. پس از درمان با کمترین دوز آزمایشی شده استیل-ال-کارنیتین (ALC 30) بیان IL-6 حیوانات مورد مطالعه را در مقایسه با گروه LPS تغییر نداد. اگرچه دوز آزمایشی شده میانی استیل-ال-کارنیتین (ALC-60) به طور قابل توجهی بیان IL-6 را کاهش داد، بالاترین دوز آزمایشی شده از استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) بیشترین تأثیر را در کاهش بیان IL-6 اعمال کرد. بین بالاترین دوز آزمایشی شده از استیل-ال-

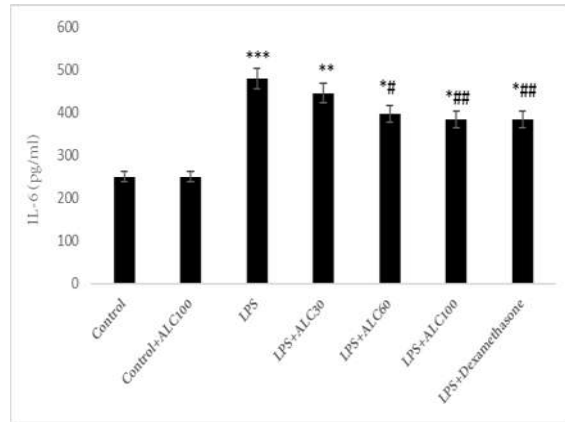
اثرات استیل-ال-کارنیتین بر میزان m TOR

برای بررسی اثرات استیل-ال-کارنیتین روی مسیر سیگنالینگ عصبی ایجاد شده توسط LPS، میزان m TOR بافت هیپوکمپ اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که میزان m TOR پس از تجویز داخل صفاقی یک دوز واحد LPS به مدت ۶ روز در مقایسه با گروه کنترل و کنترل + دگزامتازون کاهش قابل توجهی دارد. میزان m TOR پس از درمان با دوز بالای استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) در مقایسه با گروه LPS به طور معنی داری افزایش یافت. اگرچه کمترین دوز و دوز متوسط استیل-ال-کارنیتین (ALC-60) باعث افزایش میزان m TOR شدند اما این افزایش در مقایسه با گروه LPS معنی دار نبود (نمودار ۲).

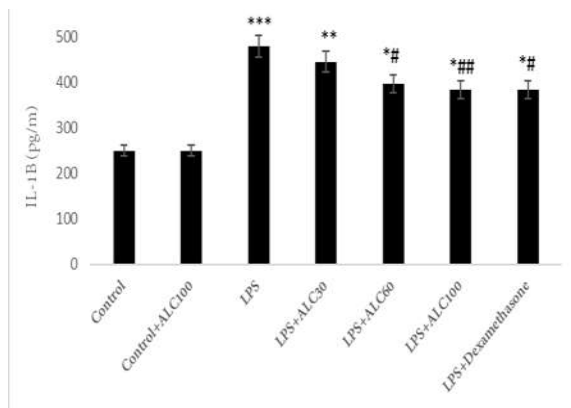
بررسی اثرات استیل-ال-کارنیتین بر میزان p AKT

بافت هیپوکمپ برای بررسی اثرات استیل-ال-کارنیتین روی مسیر سیگنالینگ عصبی ایجاد شده توسط LPS، میزان p AKT بافت هیپوکمپ اندازه گیری شد. میزان p AKT پس از تجویز داخل صفاقی یک دوز واحد LPS به مدت ۶ روز در مقایسه با گروه کنترل و کنترل + دگزامتازون کاهش قابل توجهی را نشان داد. میزان p AKT پس از درمان با دوز بالای استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) در مقایسه با گروه LPS به طور معنی داری افزایش یافت. اگرچه کمترین دوز و دوز متوسط استیل-ال-کارنیتین (ALC-60) باعث

کارنیتین (ALC-100) و گروه دگزامتازون تفاوت معنی داری وجود نداشت (نمودار ۴).



نمودار ۴. مقایسه میانگین IL-6 بین گروه‌های مورد مطالعه. نتایج بر اساس Mean \pm SEM گزارش شده‌اند. * $P < 0.05$ و ** $P < 0.01$ در مقایسه با گروه کنترل، # $P < 0.05$ و ## $P < 0.01$ در مقایسه با گروه LPS



نمودار ۵. مقایسه میانگین IL-1B بین گروه‌های مورد مطالعه میزان IL-1B در گروه‌های مورد مطالعه. * $P < 0.05$ و ** $P < 0.01$ در مقایسه با گروه کنترل، # $P < 0.05$ و ## $P < 0.01$ در مقایسه با گروه LPS

بررسی میزان IL-1B در بافت هیپوکامپ

به منظور تأیید بیشتر اثر محافظتی استیل-ال-کارنیتین در التهاب عصبی ناشی از LPS، بیان IL-1B در گروه‌های مختلف آزمایشی بررسی شد. LPS به طور قابل توجهی بیان IL-1B را در بافت مغز موش افزایش داد. پس از درمان با کمترین دوز آزمایش شده استیل-ال-کارنیتین (ALC-30) بیان IL-1B حیوانات مورد مطالعه را در مقایسه با گروه LPS تغییر نداد. اگرچه دوز آزمایش شده میانی استیل-ال-کارنیتین (ALC-60) به طور قابل توجهی بیان

IL-1B را کاهش داد، بالاترین دوز آزمایش شده از استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) بیشترین تأثیر را در کاهش بیان IL-1B اعمال کرد. بین بالاترین دوز آزمایش شده از استیل-ال-کارنیتین (ALC-100) و گروه دگزامتازون تفاوت معنی داری وجود نداشت (نمودار ۵).

بحث

نتایج ما در این تحقیق نشان داد که استیل ال کارنیتین به صورت وابسته به دوز منجر به از بین بردن اثرات مخرب ناشی از تزریق LPS به عنوان ماده تولید کننده التهاب عصبی و از بین برنده حافظه و یادگیری در رت از طریق مهار عوامل ایجاد کننده التهاب عصبی و همچنین بهبود فاکتورهای التهابی در رت‌های دریافت کننده استیل ال کارنیتین می‌شود.

تخریب حافظه با القای LPS به عنوان یک ابزار تحقیقاتی مناسب برای توضیح مکانیسم پاتولوژی بسیاری از اختلالات نورودژنراتیو مانند آلزایمر (۱۱)، پارکینسون (۱۲)، MS (۱۳) و غیره همراه با تغییرات رفتاری مرتبط در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تزریق LPS به داخل مغز منجر به التهاب نواحی مختلف مغزی از جمله نواحی مانند هیپوکامپ که با حافظه و یادگیری در ارتباطند، می‌شود و در نتیجه سبب از دست رفتن حافظه می‌شود (۱۴). در این مطالعه ما از آزمون‌های رفتاری رفتار اجتنابی غیر فعال استفاده کردیم. در تمام آزمون‌های رفتاری نشان دادیم که استفاده از LPS منجر به از بین رفتن حافظه در موش‌هایی شد که آن ماده را دریافت کردند. این اثر در بسیاری از تحقیقات انجام شده در این زمینه نیز مورد تأیید است، به عنوان مثال Anaigoudari و همکارانش در سال ۲۰۱۵ نشان دادند که استفاده از LPS با دوز ۱ mg/kg باعث کاهش تأخیر در ورود رت‌ها به اتاق تاریک می‌شود (۱۵). نتایج مشابهی نیز در استفاده از LPS مشاهده شده است، به طوری Sun و همکارانش در سال ۲۰۱۵ با تزریق ۵۰۰ ug/kg به صورت درون صفاقی در رت‌های نژاد Sprugo duoly نشان دادند که تجویز LPS منجر به اختلال شناختی معنی داری نسبت به رت‌های کنترل می‌شود (۱۶، ۱۷).

در این گزارش نشان دادیم که استیل ال کارنیتین می‌تواند اختلال در به خاطر سپاری و به خاطر آوری را در موش‌هایی که LPS دریافت کرده‌اند را بهبود بخشد. نتایج ما در این مطالعه نشان داد که تجویز استیل ال کارنیتین با دوزهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم / کیلوگرم می‌تواند باعث افزایش تأخیر

هانتیگتون و ALS هستند که التهاب در پیشرفت این بیماری‌ها نقش مهمی ایفاء می‌کند (۲۳). بر اساس مطالعات انجام شده مشخص شده است که اتوفازی ممکن است فعالیت میکروگلیاها را نیز تحت تاثیر قرار دهد (۲۴). فعالیت میکروگلیاها در اثر ورود محرک‌های آندوژن یا اگزوژن نقش کلیدی را در بیماری‌های نورودژنراتیو ایفاء می‌کند. تحت تاثیر LPS فعالیت اتوفازی به واسطه فعال شدن ILC3, Beclin-1 ممکن است با تغییر مسیر سیگنالینگ mTOR و یا مستقل از آن صورت بگیرد که این مسئله ممکن است مربوط به بافت و محل تهیه نمونه از آن، نوع بیماری (۲۷-۲۵)، زمان تزریق LPS و سپس اندازه گیری بیان این پروتئین‌ها در نمونه بافتی تهیه شده، و یا در ارتباط با سایر مسیرهای اتوفازی مانند Tyrosine Kinase (RTK)/Phosphoinositide 3-(kinase/Phosphoinositide-dependent kinase-1 (PDK1 باشد. همان گونه که François و همکارانش در مطالعه‌ای بر روی موش سوری نشان دادند، تزریق LPS در زمان‌های مختلف می‌تواند مستقل از مسیر mTOR فاکتورهای التهابی را در کورتکس مغز و هیپوکامپ تغییر دهد (۲۸).

التهاب عصبی عمدتاً از طریق فعالیت استروسیت‌ها و میکروگلیاها ایجاد شده (۲۹) و باعث تکثیر میکروگلیاهای فعال شده در برخی از نقاط مغز شده و همچنین باعث افزایش نسخه برداری فاکتورهایی مانند NFκB و افزایش ایجاد سیتوکاین‌های سیتوتوکسیک مانند IL-6 و اینترلوکین B۱ می‌شود. حذف رادیکال‌های آزاد و کلات شدن آهن می‌تواند از فعالیت لیبوپلی ساکارید و آهن آزاد القاء کننده NFκB جلوگیری کند. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که تزریق LPS منجر به افزایش سایتوکین‌های پیش التهابی و یا واسطه‌های آن مانند TNF-α, IL-1B, TLR4, و IL6 از سلول‌های گلیا شود (۳۰, ۳۰). از دست رفتن حافظه یکی از مهم‌ترین علائم بیماری‌های نورودژنراتیو همچون بیماری آلزایمر و برخی دیگر از بیماری‌های مرتبط با التهاب مغزی مانند پارکینسون است (۳۱, ۳۲). از آنجایی که کاهش mTOR، فرایندهای حافظه وابسته به هیپوکامپ را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۳۳)، تضعیف بخش یادگیری و حافظه در مطالعات ما نیز ممکن است به دلیل کاهش بیان mTOR, PAKT باشد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که LPS به طور موثری باعث افزایش سطح IL-1B, TNF-α و IL-6 و mTOR در ناحیه هیپوکامپ رت‌ها می‌شود که بیانگر آسیب جدی نورون‌های این ناحیه پس از تزریق LPS است. این نتایج در استفاده از LPS مشابه

در ورود حیوان اتاق تاریک در آزمون رفتاری اجتنابی غیرفعال شود، با این حال استفاده از دوز ۱۰۰ میلی گرم / کیلوگرم به طور معنی‌داری این تاخیر را افزایش داده و نشان دهنده اثر استیل ال کارنیتین به صورت وابسته به دوز است (۱۸, ۱۹). همچنین مطالعات نشان دادند که استفاده از دوز ۱۰۰ میلی گرم / کیلوگرم بهترین پاسخ را در مقایسه با دو دوز دیگر استیل ال کارنیتین دارد. zarezadeh و همکارانش در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که گارلیک فعال می‌تواند موجب بهبود حافظه در استفاده از آزمون‌های رفتاری مشابه با پژوهش ما باشد. می‌توان گفت که استیل ال کارنیتین با تعدیل پلاستیسیته سیناپسی و متاپلاستیسیته منجر به تعدیل اثر LPS می‌شود. اثرات مثبت استیل ال کارنیتین به دلیل اثرات مثبت آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و خواص تغییر استیل کولین استرازی آن است (۲۰). بر اساس یافته‌های مطالعات دیگران می‌توان نتیجه گرفت که تعدیل مسیرهای مختلف سلولی به ویژه مسیرهای سیگنالینگ التهابی توسط عوامل دارویی را می‌توان به عنوان روش معتبری برای درمان بیماری‌ها در نظر گرفت و آن را مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

گزارش شده که mTOR نقش پیچیده‌ای را در شروع، ادامه و خاتمه اتوفازی بازی می‌کند. از طرفی اتوفازی می‌تواند وابسته به mTOR و یا مستقل از آن صورت گیرد. از سوی دیگر mTOR نقش ضروری در تنظیم رشد و تکثیر سلول، طول عمر، عملکردهای نورونی، پلاستیسیته سیناپسی و شکل گیری حافظه دارد؛ چنان چه در مطالعه‌ای مروری که در سال ۲۰۱۹ توسط Zhou و همکارانش صورت گرفت، نقش سیگنالینگ mTOR و اتوفازی در درمان بیماری پارکینسون بررسی شد (۲۱). از آنجایی که سیگنالینگ mTOR تنظیم کلیدی در سنتز پروتئین، تکثیر سلولی و بقاء آن دارد و مهار mTOR منجر به دژنراسیون پیشرفته نورونی می‌شود، لازم است فعالیت سیگنالینگ mTOR برای نقش حفاظتی آن در نورون دوباره بازگردد (۲۲). در مطالعه ما استفاده از استیل ال کارنیتین باعث افزایش میزان بیان mTOR و Akt شد که ممکن است از طریق مکانیسمی مشابه سبب فعال شدن سیگنالینگ mTOR و پروتئین‌های مربوط به مسیر سیگنالینگ آن در نورون‌های هیپوکامپ گشته و باعث حفاظت نورونی یا رژنراسیون آنها شده باشد. البته تعیین مکانیسم دقیق آن نیاز به مطالعه بیشتری دارد. از نگاهی دیگر مطالعات نشان می‌دهند که تغییرات اتوفازی و التهاب عصبی دو نشانه رایج بسیاری از بیماری‌های نورودژنراتیو مانند آلزایمر، پارکینسون،

کیلوگرم می‌تواند موجب کاهش بیان $\text{NF-}\kappa\text{B}$ ، $\text{TNF-}\alpha$ و IL-6 در نورون‌های دوپامینرژیک در رت‌های مدل پارکینسون ۶-HDO شود و بدین ترتیب به عنوان یک عامل محافظت کننده نورونی عمل کند (۳۱). یافته‌های این مطالعه نشان داد که استیل ال کارنیتین به صورت وابسته به دوز و با دوز موثر ۱۰۰ میلی گرم/کیلوگرم وزن حیوان در مدل التهاب ناشی از تزریق درون صفاقی لیپوپلی ساکارید (LPS)، موجب بهبود حافظه فضایی و حافظه غیرفعال اجتنابی و همچنین حافظه کاری می‌شود. استیل ال کارنیتین از طریق مهار التهاب نورونی با کاهش بیان IL-6 و IL-1B و افزایش بیان فاکتورهای اتوفازی mTOR و AKT می‌تواند از مرگ نورن‌های هیپوکامپ جلوگیری کند. با توجه به یافته‌های به دست آمده می‌توان گفت که استیل ال کارنیتین می‌تواند یک ترکیب پیشگیری کننده از بیماری‌های التهاب نورونی باشد.

نتایج سایر محققین در استفاده از آن به عنوان یک ماده ایجاد کننده التهاب عصبی است (۲۰، ۳۴). نتایج ما نشان داد که استفاده از استیل ال کارنیتین با دوزهای ۱۰۰ و ۶۰ میلی گرم/کیلوگرم برای IL-6، mTOR و PAKT سبب تغییر معنی داری در بیان آنها می‌شود. به نظر می‌رسد که استیل ال کارنیتین با مهار خاصیت نوروتوکسیکی LPS مانع از بیان این فاکتورهای التهابی می‌شود. در تائید یافته‌های ما Ahmed و همکارانش در سال ۲۰۱۲ نشان دادند که استیل ال کارنیتین (با دوز ۱۰۰ میلی گرم / کیلوگرم) می‌تواند موجب کاهش بیان IL-6، IL-1B و mTOR در موش‌های مدل آلزایمری با AIC3 شود (۳۵). Blanca و همکارانش در سال ۲۰۱۶ اثر کارنیتین و ال کارنیتین را بر کاهش اثر LPS در نسخه برداری فاکتور $\text{NF}\kappa\text{B}$ نشان دادند (۳۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر Afshin Majd و همکارانش در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که استیل ال کارنیتین با دوز ۱۰۰ میلی گرم /

REFERENCES

1. Ransohoff RM. How neuroinflammation contributes to neurodegeneration. *Science* 2016;353:777-83.
2. Gavilán MP, Revilla E, Pintado C, Castaño A, Vizuete ML, Moreno González I, et al. Molecular and cellular characterization of the age-related neuroinflammatory processes occurring in normal rat hippocampus: potential relation with the loss of somatostatin GABAergic neurons. *J Neurochem* 2007;103:984-96.
3. Poustchi F, Amani H, Ahmadian Z, Niknezhad SV, Mehrabi S, Santos HA, et al. Combination therapy of killing diseases by injectable hydrogels: from concept to medical applications. *Adv Healthc Mater* 2021;10:2001571.
4. Pintado C, Gavilán MP, Gavilán E, García-Cuervo L, Gutiérrez A, Vitorica J, et al. Lipopolysaccharide-induced neuroinflammation leads to the accumulation of ubiquitinated proteins and increases susceptibility to neurodegeneration induced by proteasome inhibition in rat hippocampus. *J neuroinflammation* 2012;9:1-10.
5. Cunningham C. Microglia and neurodegeneration: the role of systemic inflammation. *Glia* 2013;61:71-90.
6. Gahtan E, Overmier JB. Inflammatory pathogenesis in Alzheimer's disease: biological mechanisms and cognitive sequeli. *Neurosci Biobehav Rev* 1999;23:615-33.
7. Kim J, Kundu M, Viollet B, Guan K-L. AMPK and mTOR regulate autophagy through direct phosphorylation of Ulk1. *Nat Cell Biol* 2011;13:132-41.
8. Pillich RT, Scarsella G, Risuleo G. Reduction of apoptosis through the mitochondrial pathway by the administration of acetyl-L-carnitine to mouse fibroblasts in culture. *Exp Cell Res* 2005;306:1-8.
9. Hall ED. Antioxidant therapies for acute spinal cord injury. *Neurotherapeutics* 2011;8:152-67.
10. Karalija A, Novikova LN, Kingham PJ, Wiberg M, Novikov LN. The effects of N-acetyl-cysteine and acetyl-L-carnitine on neural survival, neuroinflammation and regeneration following spinal cord injury. *Neuroscience* 2014; 269:143-51.
11. Bagyinszky E, Van Giau V, Shim K, Suk K, An SSA, Kim S. Role of inflammatory molecules in the Alzheimer's disease progression and diagnosis. *J Neurol Sci* 2017;376:242-54.
12. Rocha EM, De Miranda B, Sanders LH. Alpha-synuclein: pathology, mitochondrial dysfunction and neuroinflammation in Parkinson's disease. *Neurobiol Dis* 2018;109:249-57.
13. Koudriavtseva T, Mainero C. Neuroinflammation, neurodegeneration and regeneration in multiple sclerosis: intercorrelated manifestations of the immune response. *Neural Regen Res* 2016;11:1727.
14. Hsing C-H, Hung S-K, Chen Y-C, Wei T-S, Sun D-P, Wang J-J, et al. Histone deacetylase inhibitor trichostatin a ameliorated endotoxin-induced neuroinflammation and cognitive dysfunction. *Mediat Inflamm* 2015;2015:163140.
15. Anaeigoudari A, Soukhtanloo M, Reisi P, Beheshti F, Hosseini M. Inducible nitric oxide inhibitor aminoguanidine, ameliorates deleterious effects of lipopolysaccharide on memory and long term potentiation in rat. *Life Sci* 2016;158:22-30.

16. Song X, Zhou B, Zhang P, Lei D, Wang Y, Yao G, et al. Protective effect of silibinin on learning and memory impairment in LPS-treated rats via ROS–BDNF–TrkB pathway. *Neurochem Res* 2016;41:1662-72.
17. Sun J, Zhang S, Zhang X, Zhang X, Dong H, Qian Y. IL-17A is implicated in lipopolysaccharide-induced neuroinflammation and cognitive impairment in aged rats via microglial activation. *J Neuroinflammation* 2015;12:1-12
18. Khalili M, Alavi M, Esmail-Jamaat E, Baluchnejadmojarad T, Roghani M. Trigonelline mitigates lipopolysaccharide-induced learning and memory impairment in the rat due to its anti-oxidative and anti-inflammatory effect. *Int Immunopharmacol* 2018;61:355-62.
19. Czerniawski J, Miyashita T, Lewandowski G, Guzowski JF. Systemic lipopolysaccharide administration impairs retrieval of context–object discrimination, but not spatial, memory: evidence for selective disruption of specific hippocampus-dependent memory functions during acute neuroinflammation. *Brain Behav Immun* 2015;44:159-66.
20. Zarezadeh M, Baluchnejadmojarad T, Kiasalari Z, Afshin-Majd S, Roghani M. Garlic active constituent s-allyl cysteine protects against lipopolysaccharide-induced cognitive deficits in the rat: possible involved mechanisms. *Eur J Pharmacol* 2017;795:13-21.
21. Zhu Z, Yang C, Iyaswamy A, Krishnamoorthi S, Sreenivasamurthy SG, Liu J, et al. Balancing mtor signaling and autophagy in the treatment of parkinson's disease. *Int J Mol Sci* 2019;20:728.
22. Domanskyi A, Geißler C, Vinnikov IA, Alter H, Schober A, Vogt MA, et al. Pten ablation in adult dopaminergic neurons is neuroprotective in Parkinson's disease models. *FASEB J* 2011;25:2898-910.
23. Tan C-C, Yu J-T, Tan M-S, Jiang T, Zhu X-C, Tan L. Autophagy in aging and neurodegenerative diseases: implications for pathogenesis and therapy. *Neurobiol Aging* 2014;35:941-57.
24. Su P, Zhang J, Wang D, Zhao F, Cao Z, Aschner M, et al. The role of autophagy in modulation of neuroinflammation in microglia. *Neuroscience* 2016;319:155-67.
25. Zhang S, Xue Z-F, Huang L-P, Fang R-M, He Y-P, Li L, et al. Dynamic expressions of Beclin 1 and tyrosine hydroxylase in different areas of 6-hydroxydopamine-induced Parkinsonian rats. *Cell Mol Neurobiol* 2013;33:973-81.
26. Weis S, Toniazzo A, Ander B, Zhan X, Careaga M, Ashwood P, et al. Autophagy in the brain of neonates following hypoxia–ischemia shows sex-and region-specific effects. *Neuroscience* 2014;256:201-9.
27. Pérez-Rodríguez D, Anuncibay-Soto B, Llorente IL, Pérez-García CC, Fernández-López A. Hippocampus and cerebral cortex present a different autophagic response after oxygen and glucose deprivation in an ex vivo rat brain slice model. *Neuropathol Appl Neurobiol* 2015;41:e68-e79.
28. François A, Terro F, Quellard N, Fernandez B, Chassaing D, Janet T, et al. Impairment of autophagy in the central nervous system during lipopolysaccharide-induced inflammatory stress in mice. *Mol Brain* 2014;7:56.
29. Bales KR, Du Y, Dodel RC, Yan G-M, Hamilton-Byrd E, Paul SM. The NF- κ B/Rel family of proteins mediates A β -induced neurotoxicity and glial activation. *Brain Res Mol* 1998;57:63-72.
30. Hedde JR, Hanks AN, Schmidt CJ, Hughes ZA. The isozyme selective phosphodiesterase-4 inhibitor, ABI-4, attenuates the effects of lipopolysaccharide in human cells and rodent models of peripheral and CNS inflammation. *Brain Behav Immun* 2017;64:285-95.
31. Afshin-Majd S, Bashiri K, Kiasalari Z, Baluchnejadmojarad T, Sedaghat R, Roghani M. Acetyl-L-carnitine protects dopaminergic nigrostriatal pathway in 6-hydroxydopamine-induced model of Parkinson's disease in the rat. *Biomed Pharmacother* 2017;89:1-9.
32. Ownby RL. Neuroinflammation and cognitive aging. *Curr Psychiatry Rep* 2010;12:39-45
33. Okun E, Barak B, Saada-Madar R, Rothman SM, Griffioen KJ, Roberts N, et al. Evidence for a developmental role for TLR4 in learning and memory. *PloS One* 2012;7:e47522.
34. Joshi R, Garabadu D, Teja GR, Krishnamurthy S. Silibinin ameliorates LPS-induced memory deficits in experimental animals. *Neurobiol Learn Mem* 2014;116:117-31.
35. Ahmed HH. Modulatory effects of vitamin E, acetyl-L-carnitine and α -lipoic acid on new potential biomarkers for Alzheimer's disease in rat model. *Exp Toxicol Pathol* 2012;64:549-56.
36. Blanca AJ, Ruiz-Armenta MV, Zambrano S, Miguel-Carrasco JL, Arias JL, Arévalo M, et al. Inflammatory and fibrotic processes are involved in the cardiotoxic effect of sunitinib: protective role of L-carnitine. *Toxicol Lett* 2016;241:9-18.