

## اثر سیستمین بر شکل پذیری سیناپسی ناشی از تحریک تتانیک و زوج پالس در ناحیه CA1 هیپوکمپ موش صحرایی

محمد رستم پور، یعقوب فتح الهی، سعید سمنانیان، سهراب حاجی زاده، سید جواد میرنجفی زاده  
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه فیزیولوژی

### چکیده

اثر سیستمین به عنوان عامل تخلیه کننده سوماتواستاتین بر شکل پذیری سیناپسی ناشی از تحریک تتانیک و زوج پالس در ناحیه CA1 مقاطع زنده هیپوکمپ موش صحرایی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها روی مقاطع هیپوکمپ سه گروه Intact، دریافت کننده سالین (۱ ml/kg, s.c.) و دریافت کننده سیستمین (۲۰۰ mg/kg, s.c.) انجام شد. برای القای LTP، از تحریک تتانیک PBs استفاده شد و پتانسیل‌های میدانی شامل پتانسیل پس سیناپسی تحریکی (excitatory post-synaptic potential, pEPSP) و پتانسیل عمل (population spike, PS) تجمعی در ناحیه CA1 ثبت گردید و برای اعمال زوج پالس از تحریکات با فواصل بین پالسی ۱۰، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی ثانیه استفاده شد و شاخص تحریک دوپالسی برای EPI EPSP (EPI) و PPI population spike (PPI) در ناحیه CA1 محاسبه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که در زمان‌های ۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک دامنه PS افزایش یافت و در زمان ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک، افزایش معنی دار دامنه PS برای همه شدت‌های تحریک و در هر سه گروه مشاهده گردید. اندازه LTP در گروه سیستمین نسبت به گروه‌های Intact و سالین کمتر بود و اندازه LTP در گروه سالین نسبت به گروه‌های Intact و سیستمین بیشتر بود. متوسط EPI در فاصله بین پالسی ۱۰ میلی ثانیه برای گروه Intact، بزرگتر از ۱ و برای گروه‌های سالین و سیستمین، کوچکتر از ۱ بود و متوسط EPI در گروه سیستمین به طور معنی داری بین گروه‌ها مشاهده نشد. متوسط PPI در فاصله بین پالسی ۱۰ میلی ثانیه در گروه Intact، افت معنی دار PPI را نشان دادند. متوسط PPI در فاصله بین پالسی ۲۰ میلی ثانیه برای گروه‌های Intact و سالین، بزرگتر از ۱ و برای گروه سیستمین، کوچکتر از ۱ بود و سیستمین نسبت به گروه‌های سالین و Intact، افت معنی دار PPI را نشان دادند. در فواصل بین پالسی ۴۸۰-۶۰ میلی ثانیه، متوسط PPI برای هر سه گروه بزرگتر از ۱ بود و اختلاف معنی داری بین گروه‌ها مشاهده نشد. از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که سیستمین، آمادگی ناحیه CA1 هیپوکمپ موش صحرایی را برای شکل پذیری سیناپسی ناشی از تحریک تتانیک و زوج پالس تغییر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شکل پذیری سیناپسی، LTP، زوج پالس، ناحیه CA1، سیستمین، سوماتواستاتین.

### مقدمه

سوماتواستاتین ترادکاپتیدی حلقوی است که بار اول در هیپوتالاموس گوسفند شناسایی شد، سپس

بخش مهمی از تشکیل حافظه می‌باشد [۱۸]. تسهیل زوج پالس نیز نوعی شکل پذیری کوتاه مدت در CNS می‌باشد [۱۵] و در واقع تحریک زوج پالس به عنوان شاخصی از تحریک پذیری عصبی می‌باشد که در آن تضعیف/تقویت (depression/potentiation) پاسخ ناشی از تحریک دوم نسبت به پاسخ ناشی از تحریک اول به نام مهار یا تسهیل (inhibition/facilitation) موسوم است و شدت آن به فواصل بین پالسی (IPIS) و شدت تحریک بستگی دارد [۹].

با توجه به تأثیر سوماتواستاتین بر یادگیری و حافظه، اثر سیستمین بر مدل‌های مختلف شکل پذیری سیناپسی یعنی LTP ناشی از تحریک تتانیک و شکل‌پذیری ناشی از زوج پالس مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

**حیوانات** - آزمایش‌ها روی موش صحرایی از نژاد NMRI با وزن ۱۶۰-۱۰۰ گرم انجام شد. موش‌ها در اتاقی با درجه حرارت ۲۴ درجه سانتیگراد و دوره ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی نگهداری می‌شدند و آب و غذا بطور آزاد در اختیار آنها قرار داشت. موش‌ها به سه گروه آزمایشی تقسیم می‌شدند: گروه اول، که قبل از جداکردن سر تزریقی دریافت نمی‌کردند و بعد از جداکردن سر مورد بررسی قرار می‌گرفتند. گروه دوم، که سیستمین (۲۰۰ mg/kg) به صورت زیر جلدی دریافت می‌کردند و ۱۳ ساعت پس از دریافت دارو، سر حیوان قطع می‌گردید [۱۹]. سیستمین در سالیین حل می‌شد [۲۰]. گروه سوم، که سالیین (۱ ml/kg) به صورت زیر جلدی دریافت می‌کردند و ۱۳ ساعت پس از دریافت سالیین، سر حیوان قطع می‌گردید [۱۶].

مشخص شد که این پپتید ترشح هورمون رشد را از غده هیپوفیز قدامی مهار می‌کند [۱۷]. امروزه آشکار شده است که این ماده به عنوان میانجی و تعدیل‌کننده عصبی در CNS عمل می‌کند [۱۸، ۱۳، ۱۱، ۳]. سوماتواستاتین بطور گسترده‌ای در بخش‌های مختلف مغز و خصوصاً در هیپوکمپ توزیع شده است [۲۵، ۱۹، ۱۲، ۸]. به ویژه اینکه ناحیه CA1 هیپوکمپ غنی از نورون‌ها و فیبرهای سوماتواستاتین‌ارزیک می‌باشد [۵].

از آنجائیکه فقدان آنتاگونیست‌های اختصاصی گیرنده سوماتواستاتین، محدودیت مهمی برای مطالعه نقش عملکردی این پپتید در مغز به شمار می‌رود [۲۹، ۲۵، ۳]، لذا سیستمین به عنوان عامل تخلیه‌کننده سوماتواستاتین، ابزار مفیدی را جهت متوقف کردن اعمال این پپتید در CNS فراهم ساخته است [۲۵، ۱۳]. سیستمین به صورت وابسته به دوز به القای حافظه در یادگیری احترازی غیر فعال (passive avoidance learning) آسیب می‌رساند و این نشان دهنده نقش تسهیل‌کننده سوماتواستاتین درون زاد مغز در فرآیند وابسته به حافظه (mnemonic) یادگیری احترازی غیر فعال می‌باشد. به علاوه تجویز داخل مغزی سوماتواستاتین به صورت بارزی فراموشی ایجاد شده به وسیله سیستمین را بر می‌گرداند [۱۸]، در عین حال در اختلالات شناختی و عارضه فراموشی از جمله بیماری آلزایمر کاهش میزان سوماتواستاتین مشاهده شده است [۲۶، ۲۰، ۱۰].

LTP افزایش پایدار در کارایی سیناپسی (synaptic efficacy) است که در اثر تحریک کوتاه مدت با فرکانس بالای یک مسیر آوران ایجاد می‌شود [۲] و به عنوان اساس سلولی برای بعضی اشکال یادگیری و حافظه مطرح شده است [۱۸، ۱۳] و در واقع نوعی شکل‌پذیری سیناپسی وابسته به فعالیت (use dependent) است که

میکروآمپر (۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروآمپر) و فرکانس ۰/۱ هرتز استفاده می‌شد و جهت تحریک کزاز می‌فرکانس پالس‌ها به ۱۰۰ هرتز تغییر می‌یافت. تعدادی تحریک بر روی برش زنده اعمال می‌شد تا پاسخ‌ها پایدار گردند. در صورتی که در یک برش زنده، پاسخ پایدار وجود نداشت، از مجموعه داده‌ها حذف می‌گردید. سپس پاسخ‌های مربوطه دریافت، تقویت و پالایش (۱ تا ۱۰ کیلوهرتز) می‌گردید. شکل نهایی پاسخ با استفاده از جدول سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال (Analogue to Digital) (A/D) به صورت رقمی تبدیل می‌شد و با آهنگ ۱۰ کیلوهرتز نمونه برداری می‌شد و در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌گردید. برای القای LTP از Primed bursts (PBs) استفاده شده است. این نوع از تحریک متشکل از هشت PBs است که هر PB شامل پالس اولیه‌ای می‌باشد که ۱۷۰ میلی ثانیه بعد با قطاری از ۱۰ پالس با تواتر ۱۰۰ هرتز دنبال می‌شود و در مجموع ۸۸ پالس به بافت اعمال می‌گردد.

تحریکات زوج پالس هم در فواصل بین پالسی ۱۰، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی ثانیه و با فرکانس ۰/۱ هرتز اعمال می‌گردید. پتانسیل‌های میدانی ناشی از پالس اول و پالس دوم به ترتیب به نام Conditioning response و Test response در نظر گرفته می‌شد.

تجزیه و تحلیل اطلاعات - متوسط پاسخ‌های ثبت شده پس از هر هم نهادن ۱۰ پاسخ متوالی تعیین و از روی امواج متوسط شاخص‌های زیر اندازه‌گیری می‌شد:

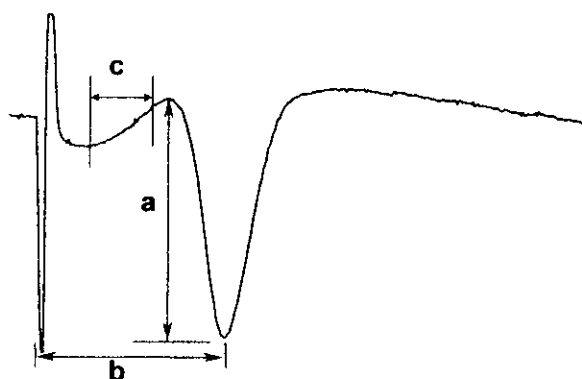
دامنه PS که اختلاف بین ارتفاع قله اولین موج مثبت و قعر موج منفی متعاقب آن می‌باشد به صورت درصد تسهیل پاسخ مورد محاسبه قرار گرفت:

$$\times 100 = \frac{\text{دامنه PS قبل از تحریک تتابیک} - \text{دامنه PS بعد از تحریک تتابیک}}{\text{دامنه PS قبل از تحریک تتابیک}}$$

تهیه مقاطع زنده هیپوکمپ - حیوانات با استفاده از اتر بیهوش می‌شدند و سپس سر آنها سریعاً جدا می‌گردید. پس از باز کردن استخوان جمجمه، مغز به سرعت خارج می‌شد و در مایع مغزی - نخاعی مصنوعی (ACSF; Artificial cerebrospinal fluid) سرد (۰ تا ۴ درجه سانتیگراد) و اکسیژنه قرار می‌گرفت. هیپوکمپ پس از خارج شدن روی قطعه آگار قرار داده می‌شد و سپس این قطعه آگار روی پایه دستگاه Vibroslice نصب می‌گردید و این پایه درون محفظه‌ای که حاوی ACSF سرد و اکسیژنه بود، قرار می‌گرفت. عمل برش‌گیری عمود بر محور طولی هیپوکمپ انجام می‌گرفت و مقاطع زنده‌ای با ضخامت ۴۵۰ میکرون تهیه و به محفظه بافتی منتقل می‌گردیدند. در محفظه بافتی این برش‌های زنده روی توری نایلونی و در فصل مشترک مایع مغزی - نخاعی گرم و اکسیژنه و گاز مرطوب قرار می‌گرفت. جریان ACSF توسط یمپ پرستالتیک به میزان ۲ میلی‌لیتر در دقیقه برقرار بود. سپس دمای محفظه به صورت تدریجی افزایش می‌یافت و توسط دستگاه کنترل کننده درجه حرارت، دمای آن در محدوده  $32 \pm 2$  درجه سانتیگراد حفظ می‌گردید. بعد از حدود ۲ ساعت، الکترودهای تحریکی و ثبات در محل مورد نظر قرار می‌گرفت و پس از گذشت ۲۰ دقیقه، کار ثبت پاسخ‌ها آغاز می‌گردید.

الکتروفیزیولوژی - به منظور ثبت خارج سلولی، الکتروده شیشه‌ای پر از سالی که دارای مقاومت ظاهری ۲ تا ۱۰ مگا اهم بود در لایه پیرامیدال ناحیه CA1 قرار می‌گرفت تا پتانسیل میدانی ثبت گردد. از طرفی دیگر، یک الکتروده تحریکی دو قطبی در ناحیه Schaffer collateral قرار می‌گرفت. به منظور تحریک الکتریکی از پالس‌های مربعی به پهنای ۲۰۰ میکروثانیه با جریان ثابت ۲۵ تا ۲۰۰

پیرامیدال ناحیه CA1 می‌شد که به طریقه خارج سلولی اندازه‌گیری می‌گردید (شکل ۱). تقویت وابسته به فرکانس در فرکانس تحریک ۰/۱ هرتز وجود نداشت. دامنه PS در هر شدت اندازه‌گیری شد و منحنی‌های input-output مقاطع هر سه گروه بدست آمد. در همه گروه‌ها، دامنه PS وابسته به شدت تحریک بود.



شکل ۱- نمونه پاسخ لایه پیرامیدال ناحیه CA1 که اندازه‌گیری تأخیر (از شروع stimulus artifact تا قله موج منفی، b)، دامنه PS (از قله موج مثبت تا قله موج منفی متعاقب آن، a) و شیب pEPSP (۱۰ تا ۹۰ درصد شیب فاز صعودی pEPSP، c) را نشان می‌دهد.

**القای LTP** - پس از پایداری پاسخ‌های پایه، جهت القای LTP، تحریک تتانیک PBS مورد استفاده قرار گرفت. ۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک دامنه PS افزایش یافت. ۶۰ دقیقه بعد از اعمال PBS، افزایش معنی‌دار دامنه PS برای همه شدت‌های تحریک و در هر سه گروه Intact [ $F(1, 20) = 50.75, P < 0.0001$ ], سالمین [ $F(1, 16) = 37.47, P < 0.0001$ ] و سیستمین [ $F(1, 28) = 131.26, P < 0.0001$ ] مشاهده گردید. افزایش معنی‌دار دامنه PS، ۶۰ دقیقه بعد از اعمال PBS نسبت به ثبت پایه برای همه شدت‌های تحریک و در همه

در رابطه با زوج پالس نیز نسبت PS مربوط به تحریک دوم به PS مربوط به تحریک اول (Spike ratio) طبق فرمول زیر اندازه‌گیری شد و این متغیر در واقع ایندکسی از زوج پالس بوده و به نام PPI موسوم است:

$$PPI = \frac{\text{Test PS Amplitude (mV)}}{\text{Conditioning PS Amplitude (mV)}}$$

همچنین نسبت شیب pEPSP دوم به pEPSP اول (EPSP slope ratio) طبق فرمول زیر اندازه‌گیری شد که بنام EPI موسوم است:

$$EPI = \frac{\text{Test pEPSP slope (mV/ms)}}{\text{Conditioning pEPSP slope (mV/ms)}}$$

قدرت سیناپسی از طریق اندازه‌گیری شاخص‌های pEPSP (شاخصی از سطح فعالیت سیناپسی) و اندازه‌گیری PS (شاخصی از فعالیت پس سیناپسی و تخلیه سلولی) تعیین می‌گردد. PPI و EPI به عنوان نمادی از تسهیل یا مهار در نظر گرفته می‌شوند. PPI و EPI مساوی یک به معنی عدم تغییر مهار یا تسهیل است و PPI و EPI کوچکتر از یک نشانه افزایش مهار می‌باشد و PPI و EPI بزرگتر از یک نشانه تسهیل یا کاهش مهار است. تمام داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار بیان گردیدند و برای آنالیز آماری از آنالیز واریانس دو طرفه و به دنبال آن برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون توکی استفاده شد. اختلاف در سطح  $P < 0.05$  معنی‌دار تلقی گردید.

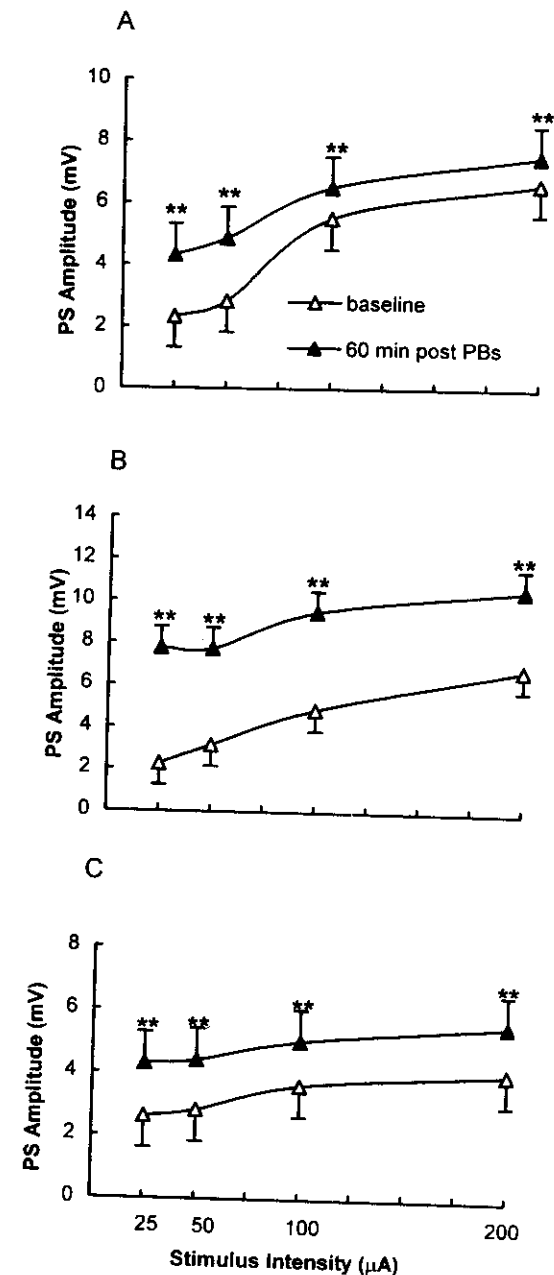
## نتایج

**ثبت پاسخ پایه** - تحریک الکتریکی فیبرهای آوران Striatum radiatum، باعث تخلیه همزمان سلول‌های

میکروآمپر بین سه گروه وجود داشت. به طوریکه گروه سالیین نسبت به گروه Intact افزایش معنی‌داری را در مقدار LTP با  $P < 0.01$  نشان داد در حالیکه گروه سیستمین کاهش معنی‌دار مقدار LTP را با  $P < 0.01$  نسبت به گروه سالیین و  $P < 0.05$  نسبت به گروه Intact آشکار ساخت. در شدت جریان ۵۰ میکروآمپر گروه سالیین نسبت به گروه Intact افزایش معنی‌دار مقدار LTP را با  $P < 0.05$  نشان داد در حالیکه گروه سیستمین نسبت به گروه سالیین کاهش معنی‌دار مقدار LTP را با  $P < 0.01$  نشان داد و در شدت تحریک ۱۰۰ میکروآمپر گروه سیستمین نسبت به گروه سالیین کاهش معنی‌دار مقدار LTP را با  $P < 0.05$  آشکار ساخت.

ثبت پاسخ‌های زوج پالس - ثبت پاسخ‌های زوج پالس از ناحیه CA1 مقاطع سه گروه Intact، سالیین و سیستمین در فواصل بین پالسی ۱۰، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی ثانیه انجام گرفت و EPI و PPI آنها محاسبه شد که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است و نمایی از زوج پالس ثبت شده در فواصل بین پالسی ۱۰ و ۲۰ میلی ثانیه برای سه گروه مذکور در شکل شماره ۴ آمده است. همانطوریکه در جدول شماره ۱ آمده است EPI متوسط در فواصل بین پالسی ۱۰ میلی‌ثانیه برای گروه Intact، بزرگتر از ۱ و برای گروه‌های سالیین و سیستمین کوچکتر از ۱ بود و گروه سیستمین نسبت به گروه Intact، افت معنی‌دار EPI را با  $P < 0.05$  نشان داد. در فاصله بین پالسی ۲۰-۴۸۰ میلی‌ثانیه، EPI متوسط برای هر سه گروه بزرگتر یا مساوی ۱ بود و اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نمی‌شد. در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که PPI متوسط در فاصله بین پالسی ۱۰ میلی‌ثانیه در گروه Intact، بزرگتر از ۱ و در گروه‌های سالیین و سیستمین کوچکتر از ۱ می‌باشد و گروه‌های

گروه‌ها با  $P < 0.01$  کاملاً محرز بود (شکل ۲). اختلاف معنی‌دار درصد افزایش دامنه PS، ۶۰ دقیقه بعد از اعمال PBs نسبت به پاسخ پایه، در شدت جریان ۲۵



شکل ۲- منحنی‌های input/output متوسط دامنه PS پاسخ‌های پایه و ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک در گروه‌های Intact ( $n=6$ ) (A)، سالیین ( $n=5$ ) (B) و سیستمین ( $n=8$ ) (C) هر نقطه معرف میانگین  $\pm$  خطای معیار می‌باشد.

فاصله بین پالسی (میلی ثانیه)							گروه
۴۸۰	۳۶۰	۲۴۰	۱۲۰	۶۰	۲۰	۱۰	
۰/۹۴±۰/۱	۱/۰۶±۰/۰۲	۱/۰۸±۰/۰۴	۱/۲۴±۰/۰۶	۱/۳۴±۰/۱	۱/۲±۰/۱۱	۱/۱۲±۰/۰۸	Intact
۱/۱۴±۰/۱۳	۱/۰۸±۰/۱۱	۱/۱۶±۰/۰۷	۱/۳۲±۰/۰۹	۱/۴۱±۰/۱۱	۱/۳۶±۰/۱۴	۰/۹۳±۰/۰۶	سالین
۱/۰۸±۰/۱۳	۱/۰۴±۰/۰۳	۱/۱۸±۰/۰۸	۱/۰۷±۰/۰۸	۱/۵۱±۰/۰۹	۱/۳۴±۰/۱۹	۰/۸±۰/۰۸†	سیستامین

† P<۰/۰۵ در مقایسه با گروه Intact می باشد.

جدول ۲- متوسط PPI در گروه های Intact (n=۹)، سالین (n=۸) و سیستامین (n=۸) در فواصل بین پالسی ۱۰-۴۸۰ میلی ثانیه

فاصله بین پالسی (میلی ثانیه)							گروه
۴۸۰	۳۶۰	۲۴۰	۱۲۰	۶۰	۲۰	۱۰	
۱/۰۲±۰/۰۲	۱/۰۲±۰/۰۲	۱/۰۶±۰/۰۲	۱/۱۴±۰/۰۳	۱/۱۸±۰/۰۵	۱/۱۸±۰/۰۶	۱/۰۲±۰/۱۵	Intact
۱/۰۳±۰/۰۱	۱/۰۵±۰/۰۲	۱/۰۰±۰/۰۷	۱/۱۳±۰/۰۳	۱/۲۴±۰/۰۷	۱/۲۲±۰/۰۷††	۰/۶۸±۰/۰۹**	سالین
۱/۰۰±۰/۰۴	۱/۰۴±۰/۰۳	۱/۰۴±۰/۰۲	۱/۱۱±۰/۰۳	۱/۱۳±۰/۱۴	۰/۹۶±۰/۱۹†	۰/۶۵±۰/۱۸††	سیستامین

†† P<۰/۰۱ در مقایسه با گروه سیستامین می باشد.

† P<۰/۰۵ در مقایسه با گروه Intact می باشد.

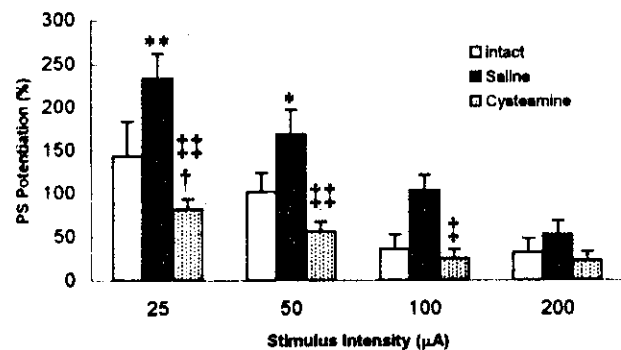
\*\* P<۰/۰۱ در مقایسه با گروه Intact می باشد.

†† P<۰/۰۱ در مقایسه با گروه Intact می باشد.

سالین و سیستامین نسبت به گروه Intact، افت معنی دار PPI را با  $P<۰/۰۱$  نشان دادند. متوسط در فاصله بین پالسی ۲۰ میلی ثانیه برای گروه های Intact و سالین، بزرگتر از ۱ و برای گروه سیستامین، کوچکتر از ۱ بود و سیستامین نسبت به گروه سالین، افت معنی دار PPI را با  $P<۰/۰۱$  نشان داد و در عین حال گروه سیستامین نسبت به گروه Intact نیز موجب افت معنی دار PPI با  $P<۰/۰۵$  شده است و در فواصل بین پالسی ۶۰-۴۸۰ میلی ثانیه، PPI متوسط برای هر سه گروه بزرگتر از ۱ بود و اختلاف معنی داری بین گروه ها مشاهده نمی شد.

## بحث

تحریک تتانیک PBS برای القای LTP استفاده می شود [۱۴]. به نظر می رسد که این نوع تحریک مشابه با



شکل ۳- LTP در مقاطع گروه های Intact (n=۶)، سالین (n=۵) و سیستامین (n=۸). ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک. هر ستون معرف میانگین ± خطای معیار می باشد.

( $P<۰/۰۵$  و  $P<۰/۰۱$  \*\* مقایسه بین گروه های سالین و Intact)

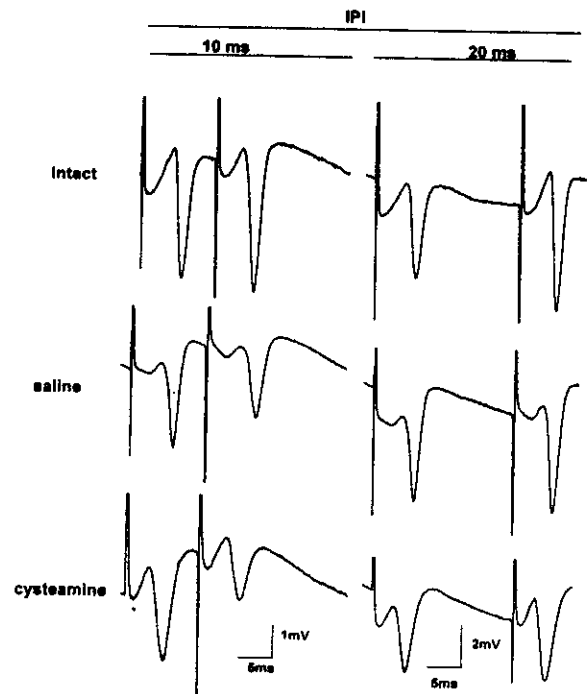
( $P<۰/۰۵$  † مقایسه بین گروه های سیستامین و Intact)

( $P<۰/۰۵$  † و  $P<۰/۰۱$  †† مقایسه بین گروه های سیستامین و

سالین)

In vitro شرایط در Schaffer collaterals PBs به LTP ایجاد می‌شود. همانطوریکه قبلا به وسیله Leung و Ambrose [۱۴] گزارش شده بود و همانطوریکه در منحنی‌های Input/output (شکل ۲) مشاهده می‌شود، مقدار LTP بدست آمده ۶۰ دقیقه بعد از اعمال PBs نسبت به baseline در همه شدت‌های تحریک و در هر سه گروه Intact، سالین و سیستامین بطور معنی‌داری متفاوت است و بیشترین افزایش دامنه PS در همه گروه‌ها در شدت تحریک پایین دیده می‌شود اما همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود، درصد افزایش دامنه PS، ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک، در مقاطع مربوط به گروه سیستامین کمتر از مقاطع مربوط به گروه‌های Intact و سالین، در همه شدت‌های تحریک اعمال شده بود و این تفاوت در شدت‌های تحریک ۲۵ و ۵۰ میکروآمپر نسبت به هر دو گروه Intact و سالین معنی‌دار است و در شدت تحریک ۱۰۰ میکروآمپر فقط نسبت به گروه سالین معنی‌دار می‌باشد.

چنانچه قبلا توسط WQ و همکارانش [۳۰] گزارش شده بود، تزریق داخل هیپوکمپ سوماتواستاتین موجب افزایش معنی‌دار مقدار LTP نسبت به گروه کنترل می‌گردد و از طرفی دیگر GABA، مقدار LTP افزایش یافته به وسیله سوماتواستاتین را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در عین حال، مطالعه انجام شده به وسیله Scharfman و همکارانش [۲۴] نشان داده است که سوماتواستاتین باعث کاهش انتخابی IPSPs ناشی از GABA در ناحیه CA1 مقاطع هیپوکمپ خرگوش می‌گردد. همچنین McCormick و Prince [۲۱] گزارش کرده‌اند که تزریق Ach به طریقه Iontophoresis در نزدیکی اجسام سلولی پیرامیدال نئوکورتکس، موجب پیدایش هیپرپولاریزاسیونی می‌گردد



شکل ۴- نمونه پاسخ (زوج - پالس در گروه‌های Intact، سالین و سیستامین در فواصل بین پالسی ۱۰ و ۲۰ میلی ثانیه که با شدت بالا تحریک ایجاد شده است.

الگوی طبیعی تخلیه نورون‌ها در بعضی از رفتارهایی است که با امواج تتای هیپوکمپ همراه می‌باشد [۲۳]. برای مطالعه LTP می‌توان از ثبت پاسخ‌های تجمعی خارج سلولی استفاده نمود. بزرگی پتانسیل تجمعی نشان‌دهنده میزان تسهیل می‌باشد و این امر منعکس کننده تعداد نورون‌های تخلیه شده و همزمانی این تخلیه می‌باشد [۲۲]. اگر افزایش پاسخ به مدت بیش از ۳۰ دقیقه بعد از اعمال تحریک تتانیک پایدار ماند به عنوان LTP موسوم است [۱۴] و لذا در مطالعه ما، مقدار LTP، ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک به عنوان تقویت واقعی در نظر گرفته شده است.

در این مطالعه نشان داده شده است که با اعمال

۱۰۰ میکروآمپر فقط نسبت به گروه سیستمین معنی دار می باشد. به نظر می آید که بزرگتر بودن مقدار LTP در گروه سالیین نسبت به دو گروه دیگر، مربوط به تجربه استرس زای تزریق زیر جلدی روز قبل حیوان باشد [۱۶]. شواهدی وجود دارد که شرایط استرس زا موجب افزایش رهایش سوماتواستاتین می گردد. گزارش های ضد و نقیضی در باره اثرات استرس بر شکل پذیری سیناپسی وجود دارد. Akirav و Richter-Levin [۱] متذکر می شوند که فعالیت هسته قاعده ای جانبی آمیگدال (در اثر استرس هیجانی و یا با تحریک الکتریکی مستقیم) دارای اثر دو مرحله ای بر شکل پذیری هیپوکمپ می باشد. اثر تحریکی که بلافاصله بروز می کند و اثر مهاری که طولانی مدت است. Shors و همکارانش [۲۷] گزارش کرده اند که عوامل استرس زا بطور پایدار موجب افزایش پاسخ سیناپسی به الگوی تحریک تتانیک ریتم تتا می شود و توقف استرس بطور موقتی باعث کاهش کارایی سیناپسی می گردد. Diamond و همکارانش [۶] معتقدند که ارتباط U شکل معکوسی بین میزان کورتیکوسترون محیطی و میزان تقویت ناشی از Primed burst هیپوکمپ وجود دارد. آنها گزارش کرده اند که در آزمایش اول ارتباط منفی خطی معنی داری بین افزایش میزان سرمی کورتیکوسترون (بیشتر از ۲۰ میکروگرم بر دسی لیتر) و تقویت ناشی از Primed burst وجود دارد ولی در آزمایش دوم رابطه عمل کورتیکوسترون - تقویت ناشی از Primed burst در غلظت های کم و متوسط کورتیکوسترون رابطه مثبتی با تقویت ناشی از Primed burst دارد ولی در غلظت بالای کورتیکوسترون این رابطه بصورت منفی در می آید و لذا کورتیکوسترون دارای اثر دو مرحله ای (U شکل) وابسته به غلظت بر بروز شکل پذیری هیپوکمپ می باشد. همچنین Diamond و

که به وسیله دپولاریزاسیون دنبال می شود. این هیپولاریزاسیون به وسیله نورون های واسطه ای ایجاد می شود که سیناپس های گابا ارژیک با سلول های پیرامیدال برقرار ساخته اند (در حالیکه دپولاریزاسیون ناشی از اثر مستقیم Ach بر سلول های پیرامیدال می باشد). پاسخ مشابهی از سلول های پیرامیدال CA1، در اثر کاربرد Ach نزدیک به جسم سلولی پیرامیدال CA1، به دست می آید. وقتی که سوماتواستاتین همزمان با Ach، اعمال گردد، هیپرپولاریزاسیون اولیه از بین می رود. در حالیکه دپولاریزاسیون بعدی بدون تغییر باقی می ماند. لذا مشخص می شود که سوماتواستاتین موجب سرکوب هیپرپولاریزاسیون ناشی از CABA شده است.

در مطالعه حاضر نقش عملکردی سوماتواستاتین درون زاد در گسترش پدیده LTP، در ناحیه CA1 هیپوکمپ موش صحرایی در شرایط In vitro مورد بررسی قرار گرفت. یافته عمده مطالعه حاضر این است که تجویز سیستمین به موش صحرایی موجب کاهش معنی دار مقدار LTP پتانسیل عمل جمععی در سیناپس های Schaffer collateral-CA1 مقاطع هیپوکمپ موش صحرایی می شود که این به موازات تخلیه سوماتواستاتین در هیپوکمپ می باشد. به نظر می آید که سیستمین با تخلیه سوماتواستاتین و با خارج ساختن سیستم گابا ارژیک از مهار سوماتواستاتین، موجب کاهش LTP شده است. در عین حال، همانطور که در شکل شماره ۳ دیده می شود، درصد افزایش دامنه PS، ۶۰ دقیقه بعد از تحریک تتانیک در مقاطع مربوط به گروه سالیین بیشتر از مقاطع مربوط به گروه های Intact و سیستمین در همه شدت های تحریکی بود و این تفاوت در شدت های ۲۵ و ۵۰ میکروآمپر نسبت به هر دو گروه Intact و سیستمین معنی دار است و در شدت جریان



و این یافته با گزارش Zhao [۳۱] انطباق دارد که نشان داده است PPI نسبت به EPI در رابطه با تغییرات مهار حساس تر است و این حساسیت به ارتباط غیر خطی PS نسبت به EPSP مربوط است. در این مطالعه، به نظر می‌رسد که سیستمین با تخلیهٔ سوماتواستاتین موجب برداشته شدن مهار سیستم سوماتواستاتین ارژیک از سیستم گابا ارژیک شده باشد و بدین وسیله تقویت مدار مهاری راجعه موجب کاهش EPI و PPI شده است. این اثر کاهش سیستمین بر EPI و PPI با اثر کاهش آن بر LTP هم‌خوانی دارد.

لذا بررسی حاضر آشکار می‌سازد که سیستمین به صورت معنی‌داری موجب کاهش LTP ناشی از تحریک تتانیک و شکل‌پذیری سیناپسی ناشی از زوج پالس در ناحیهٔ CA1 هیپوکمپ می‌گردد و احتمالاً با این عمل به فرآیند حافظه آسیب می‌رساند و این به موازات تخلیهٔ سوماتواستاتین درون‌زاد می‌باشد. از آنجائیکه LTP هیپوکمپ فرآیند اساسی یادگیری و حافظه می‌باشد [۱۳] و تسهیل زوج پالس نیز نوعی از شکل‌پذیری کوتاه مدت در CNS می‌باشد [۱۵]؛ بنابراین سوماتواستاتین درون‌زاد ممکن است فعالیت شناختی را با تعدیل فعالیت عصبی هیپوکمپ تنظیم کند. در مجموع، نتایج حاضر، پیشنهاد می‌کنند که سوماتواستاتین درون‌زاد دارای نقش تسهیلی در شکل‌پذیری سیناپسی ناشی از تحریک تتانیک و زوج پالس مسیر Schaffer collateral-CA1 هیپوکمپ می‌باشد.

### منابع

- [1] Akirav, I. And Richter-Levin, G., Biphase modulation of hippocampal plasticity by behavioral stress and basolateral amygdala stimulation in the rat, *J. Neurosci.*, 19 (1991) 10530-10535.
- [2] Bliss, T.V.P. and Collingridge, G.L., A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus, *Nature*, 361 (1993) 31-38.

همکارانش [۷] در گزارش دیگری نشان داده‌اند که استرس به working memory وابسته به هیپوکمپ آسیب می‌رساند. در عین حال Bramham و همکارانش [۴] متذکر می‌شوند که ایجاد استرس ناشی از سرما که با افزایش کورتیکوسترون همراه است نه باعث القای شبه LTP در کارآیی سیناپسی می‌گردد و نه به LTP ناشی از تتانوس در ژيروس دندان‌های موش‌های بهوش، آسیب می‌رساند، لذا آسیب به working memory در طول استرس سرما، از عدم توانایی سیناپس‌های Perforant path برای بروز LTP، ناشی نمی‌شود.

در مطالعهٔ حاضر، تجویز سیستمین موجب کاهش EPI ناحیهٔ CA1 در فاصلهٔ بین پالسی ۱۰ میلی‌ثانیه شد که نسبت به گروه Intact معنی‌دار می‌باشد. در عین حال سیستمین موجب کاهش معنی‌دار PPI ناحیهٔ CA1 در فواصل بین پالسی ۱۰ و ۲۰ میلی‌ثانیه نسبت به گروه‌های Intact و سالین می‌شود که این کاهش PPI در فاصلهٔ بین پالسی ۱۰ میلی‌ثانیه نسبت به گروه Intact معنی‌دار است و در فاصلهٔ بین پالسی ۲۰ میلی‌ثانیه نسبت به گروه‌های Intact و سالین معنی‌دار است.

همانطور که می‌دانیم مهار راجعه در فواصل بین پالسی ۱۰ و ۲۰ میلی‌ثانیه رخ می‌دهد [۲۸] و در مطالعهٔ حاضر، سیستمین با کاهش EPI و PPI موجب تقویت مهار راجعه شده است، اما EPI را فقط در فاصلهٔ بین پالسی ۱۰ میلی‌ثانیه کاهش می‌دهد و PPI را در فواصل بین پالسی ۱۰ و ۲۰ میلی‌ثانیه کاهش می‌دهد و PPI حساسیت بیشتری نسبت به سیستمین نشان می‌دهد

- [3] Boehm, S. and Betz, H., Somatostatin inhibits excitatory transmission at rat hippocampal synapses via presynaptic receptors, *J. Neurosci.*, 17 (1997) 4066-4075.
- [4] Bramham, C. R., Southard, T., Ahlers, S.T. and Sarvey, J.M., Acute cold stress leading to elevated corticosterone neither enhances synaptic efficacy nor impairs LTP in the dentate gyrus of freely moving rats, *Brain Res.*, 789 (1998) 245-255.
- [5] Chan-Palay, V., Somatostatin immunoreactive neurons in the human hippocampus and cortex shown by immunogold/silver intensification on vibratome sections: coexistence with neuropeptide Y neurons, and effects in alzheimer-type dementia, *J. Comp. Neurol.*, 260 (1987) 201-223.
- [6] Diamond, D.M., Bennet, M.C., Fleshner, M.C., Fleshner, M. and Rose, G.M., Inverted-U relationship between the level of peripheral corticosterone and the magnitude of hippocampal primed burst potentiation, *Hippocampus*, 2 (1992) 421-430.
- [7] Diamond, D. M., Fleshner, M., Ingersoll, N. and Rese, G.M., Psychological stress impairs spatial working memory: relevance to electrophysiological studies of hippocampal function, *Behav. Neurosci.*, 110 (1996) 661-672.
- [8] Dodd, J. and Kelly, J.S., Is somatostatin an excitatory transmitter in hippocampus? *Nature*, 273 (1978) 674-675.
- [9] Fueta, Y., Kawano, H., Ono, T., Mita, T., Fukata, K. and Ohno, K., Regional differences in hippocampal excitability manifested by paired-pulse stimulation of genetically epileptic El mice, *Brain Res.*, 779 (1998) 324-328.
- [10] Gillies, G., Somatostatin: the neuroendocrine story, *Tips*, 18 (1997) 87-94.
- [11] Ishibashi, H. and Akaike, N., Somatostatin modulates high-voltage-activated  $Ca^{2+}$  channel in freshly dissociated rat hippocampal neurons, *J. Neurophysiol.*, 74 (1995) 1028-1036.
- [12] Iversen, L.L., Iversen, S.D., Bloom, F., Douglas, C., Brown, M. and Vale, W., Calcium-dependent release of somatostatin and neurotensin from rat brain in vitro, *Nature*, 273 (1978) 161-163.
- [13] Kaneke, S., Maeda, T. and Satoh, M., Cognitive enhancers and hippocampal long-term potentiation in vitro, *Behav. Brain Res.*, 83 (1997) 45-49.
- [14] Leung, L.S. and Ambrose, S.A.U., Long-term potentiation as a function of test pulse intensity: a study using input/output profiles, *Brain Res. Bull.*, 33 (1994) 453-460.
- [15] Leung, L.S. and Fu, X-W., Factors affecting paired-pulse facilitation in hippocampal CA1 neurons in vitro, *Brain Res.*, 650 (1994) 75-84.
- [16] Matsuoka, N., Kaneko, S. and Satoh, M., A facilitatory role of endogenous somatostatin in long-term potentiation of the mossy fiber-CA3 system in guinea-pig hippocampus, *Neurosci. Lett.*, 129 (1991) 177-180.
- [17] Matsuoka, N., Kaneko, S. and Satoh, M., Somatostatin augments long-term potentiation of the mossy fiber-CA3 system in guinea-pig hippocampal slices, *Brain Res.*, 553 (1991) 188-194.
- [18] Matsuoka, N., Maeda, N., Yamaguchi, I. And Satoh, M., Possible involvement of brain somatostatin in the memory formation of rats and the cognitive enhancing action of FR12196 in passive avoidance task, *Brain Res.*, 642 (1994) 11-19.
- [19] Matsuoka, N. and Satoh, M., FK960, a novel potential anti-dementia drug, augments long-term potentiation in mossy fiber-CA3 pathway of guinea-pig hippocampal slices, *Brain Res.*, 794 (1998) 248-254.
- [20] Matsuoka, N., Yamaguchi, I. And Satoh, M., Role of somatostatin in the augmentation of hippocampal long-term potentiation by FR12196, a putative cognitive enhancer, *Eur. J. Pharmacol.*, 241 (1993) 27-34.
- [21] McCormick, D.A. and Prince, D.A., Mechanisms of action of acetylcholine in the guinea pig cerebral cortex in vitro, *J. Physiol. (Lond.)*, 375 (1986) 169-194.
- [22] McEchern, J. and Shaw, C.A., An alternative to the LTP orthodoxy: a plasticity-pathology continuum model, *Brain Res. Rev.*, 22 (1996) 51-92.

- [23] Otto, T., Eichenbaum, H., Wiener, S.I. and Wible, C.G., Learning-related patterns of CA1 spike trains parallel stimulation parameters optimal for inducing hippocampal long-term potentiation, *Hippocampus*, 1 (1991) 181-192.
- [24] Scharfman, H.E. and Schwartzkroin, P.A., Selective depression of GABA-mediated IPSPs by somatostatin in area CA1 of rabbit hippocampal slices, *Brain Res.*, 493 (1989) 205-211.
- [25] Schettini, G., Brain somatostatin: receptor-coupled transducing mechanisms and role in cognitive functions, *Pharmacol. Res.*, 23 (1991) 203-215.
- [26] Schweitzer, P., Madamba, S.G. and Siggins, G.R., Somatostatin increases a voltage-insensitive  $k^+$  conductance in rat CA1 hippocampal neurons, *J. Neurophysiol.*, 79 (1998) 1230-1238.
- [27] Shors, T.J., Gallegos, R.A. and Breindl, A., Transient and persistent consequences of acute stress on long-term potentiation (LTP), synaptic efficacy, theta rhythms and bursts in area CA1 of hippocampus, *Synapse*, 26 (1997) 209-217.
- [28] Sloviter, R.S., Feedforward and feedback inhibition of hippocampal principal cell activity evoked by perforant path stimulation: GABA-mediated mechanisms that regulate excitability in vivo, *Hippocampus*, 1 (1991) 31-40.
- [29] Tallent, M.K. and Siggins, G.R., Somatostatin depresses excitatory but not inhibitory neurotransmission in rat CA1 hippocampus, *J. Neurophysiol.*, 78 (1997) 3008-3018.
- [30] WQ, J.I., Zhang, C.C. and Zhang, G.H., Effect of somatostatin and GABA on long-term potentiation in hippocampal CA1 area in rats, *Chung. Kuo. Yao. Li. Hsueh. Pao.*, 16 (1995) 380-382.
- [31] Zhao, D. and Leung, L.S., Effects of hippocampal kindling on paired-pulse response in CA1 in vitro, *Brain Res.*, 564 (1991) 220-229.