

Effects of Pre-pregnancy Chronic Valproate Administration in Female Rats on Avoidance Memory and Hippocampal Gene Expression of Offspring

Masoumeh Gholami^{1,2},
Tina Rahjoo³,
Faranak Jafari¹,
Jamal Amri⁴,
Mehdi Sadegh^{5,6}

¹ Assistant Professor, Neuroscience Research Center, Torbat Heydaryeh University of Medical Sciences, Torbat Heydaryeh, Iran

² Assistant Professor, Department of Physiology, School of Paramedical Sciences, Torbat Heydaryeh University of Medical Sciences, Torbat Heydaryeh, Iran

³ MSc in Physiology, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

⁴ MSc in Biochemistry, Traditional and Complementary Medicine Research Center, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

⁵ Molecular and Medicine Research Center, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

⁶ Associate Professor, Department of Physiology, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

(Received December 11, 2019 ; Accepted January 29, 2020)

Abstract

Background and purpose: Valproic acid derivatives are histone deacetylases (HDACs) inhibitors. HDACs are important in epigenetic processes. Some epigenetic modifications are inherited. This study aimed at investigating the intergenerational effects of pre-pregnancy chronic valproate consumption on offspring.

Materials and methods: In this experimental study, twelve female Wistar rats were randomly divided into two groups of control and valproate. For 30 days, the control group received saline and the valproate group received sodium valproate (300 mg/kg) intraperitoneally (i.p.). After mating, pregnancy, and nursing, two males and two females pup were randomly selected from the mothers and placed in the following groups: 1) male offspring of the control group, 2) female offspring of the control group, 3) male offspring of the valproate group, and 4) female offspring of the valproate group. Future experiments were followed using these groups. Avoidance memory was assessed using the shuttle box. Offspring's hippocampus were extracted and used for MECP2, HDAC2, BDNF genes expression study by qRT-PCR.

Results: No significant differences were detected in avoidance memory between male and female offspring of the mothers in valproate group and that of the controls ($P > 0.05$). There were no significant differences in MECP2, HDAC2, and BDNF genes expression between male offspring of the mothers in control and valproate groups ($P > 0.05$). But, expression levels of these genes significantly decreased in female offspring of valproate mothers compared with those of the female offspring of the controls ($P < 0.05$).

Conclusion: Pre-pregnancy chronic valproate consumption did not affect avoidance memory in offspring. But, it seems to affect hippocampus gene expression sex-dependently.

Keywords: avoidance memory, BDNF, HDAC2, MeCP2, valproate

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 29(182): 99-105 (Persian).

* Corresponding Author: Mehdi Sadegh- Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran
(E-mail: m.sadegh@arakmu.ac.ir)

بررسی اثرات تجویز مزمن والپروات پیش از بارداری در رت های ماده بر حافظه اجتنابی و بیان ژن ها در بافت هیپوکمپ فرزندان

معصومه غلامی^{2,1}تینا رهجو³فرانک جعفری¹جمال امری⁴مهدی صادق^{5,6}

چکیده

سابقه و هدف: مشتقات والپروات، مهارگر هیستون داستیلازها هستند. هیستون داستیلازها در فرایند اپی ژنتیک مهم می باشند. برخی تغییرات اپی ژنتیک به ارث می رسند. در این مطالعه، اثرات بین نسلی مصرف مزمن والپروات پیش از بارداری، در فرزندان بررسی شد.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی، 12 رت ماده تصادفی در دو گروه مادران کنترل و والپروات قرار گرفتند. مدت 30 روز، روزانه مادران کنترل، سالین و مادران والپروات، سدیم والپروات (300 mg/kg) را داخل صفاقی دریافت کردند. پس از جفت گیری، بارداری و شیردهی از فرزندان نر و ماده هر مادر، 2 حیوان تصادفی انتخاب و گروه های زیر ایجاد شد: (1) فرزندان نر مادران کنترل، (2) فرزندان ماده مادران کنترل، (3) فرزندان نر مادران والپروات و (4) فرزندان ماده مادران والپروات. این گروه ها برای آزمایش های بعدی استفاده شدند. حافظه اجتنابی با شاتل باکس اندازه گیری شد. هیپوکمپ فرزندان استخراج و بیان ژن های BDNF، HDAC2، MECP2 با روش qRT-PCR بررسی شد.

یافته ها: تغییر معنی داری در حافظه اجتنابی فرزندان نر و ماده مادران والپروات نسبت به فرزندان نر و ماده کنترل مشاهده نشد ($P>0/05$). بیان ژن های BDNF، HDAC2، MECP2 در فرزندان نر مادران کنترل و والپروات با هم تفاوت معناداری را نشان نداد ($P>0/05$)، در حالی که بیان این ژن ها در فرزندان ماده والپروات، کاهش معنی داری در مقایسه با فرزندان ماده کنترل داشت ($P<0/05$).

استنتاج: مصرف مزمن والپروات پیش از بارداری تاثیری در یادگیری اجتنابی فرزندان نداشت. هر چند به نظر می رسد می تواند به صورت وابسته به جنس بیان ژن های تنظیمی را در هیپوکمپ متاثر بسازد.

واژه های کلیدی: حافظه اجتنابی، BDNF، HDAC2، MECP2، والپروات

مقدمه

والپروویک اسید و مشتقات آن در کنترل صرع و تشنج به کار می روند، همچنین برای کنترل سایر بیماری های سیستم عصبی نظیر سردردهای میگرنی، مانیا، افسردگی و اختلال دو قطبی کاربرد دارند (1،2). والپروویک اسید یک اسید چرب 8 کربنه است که از سد خونی مغزی عبور می کند (2). والپروویک اسید به عنوان

Email: p.m.sadegh@arakmu.ac.ir

مؤلف مسئول: مهدی صادق - اراک؛ دانشگاه علوم پزشکی اراک، دانشکده پزشکی

1. استادیار، مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

2. استادیار، گروه فیزیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

3. کارشناس ارشد فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

4. کارشناس ارشد بیوشیمی، مرکز تحقیقات طب سنتی و مکمل، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

5. مرکز تحقیقات پزشکی مولکولی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

6. دانشیار، گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: 1398/9/20 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1398/9/25 تاریخ تصویب: 1398/10/29

مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی، 12 رت ماده و یک رت نر نژاد ویستار بالغ جوان (9-10 هفته) به عنوان والد وارد مطالعه شدند. حیوانات در دما و شرایط 12 ساعت روشنایی و 12 ساعت تاریکی با دسترسی آزاد به آب و غذا نگهداری شدند. مواجهه پیش از بارداری با دارو و آماده سازی نسل فرزندان برای اساس مطالعات قبلی (14، 15) صورت گرفت. در شروع مطالعه، رت های ماده به صورت تصادفی در دو گروه قرار گرفتند:

- 1- گروه مادران والپروات (n=6): رت ها روزانه 0/5 میلی لیتر والپروات سدیم با دوز 300 mg/kg به مدت 30 روز و داخل صفاقی دریافت می کردند (16).
 - 2- مادران کنترل (n=6): روزانه 0/5 میلی لیتر نرمال سالین به مدت 30 روز داخل صفاقی دریافت می کردند.
- دو هفته پس از پایان تزریقات (برای پاک شدن والپروات از بدن و تماس نداشتن مستقیم جنین با والپروات)، جفت گیری و لقاح رت نر با رت های ماده انجام شد. برای جلوگیری از اثر احتمالی تفاوت ژنوم پدری در نتایج، ماده های دو گروه با یک رت نر جفت گیری شدند. بارداری با مشاهده پلاک بارداری تأیید شد. بعد از پایان شیردهی، دو فرزند نر و دو فرزند ماده از هر مادر به صورت تصادفی انتخاب و در چهار گروه آزمایشی (n=12) به صورت زیر قرار گرفتند:

- 1- فرزندان ماده مادران کنترل (female cnt)،
- 2- فرزندان نر مادران کنترل (male cnt)،
- 3- فرزندان ماده مادران والپروات (female valp)،
- 4- فرزندان نر مادران والپروات (male valp).

نیمی از فرزندان هر گروه در آزمون حافظه اجتنابی با شاتل باکس و نیم دیگر برای بررسی بیان ژن مورد استفاده قرار گرفتند. آزمایش ها روی چهار گروه فرزندان در محدوده سنی 6 هفته انجام شد.

آزمون شاتل باکس در سه روز متوالی انجام شد (17). روز اول آشنایی و حیوان با دستگاه بود. روز دوم حیوان ابتدا درون اتاق روشن قرار گرفت و در جداکننده دو اتاق

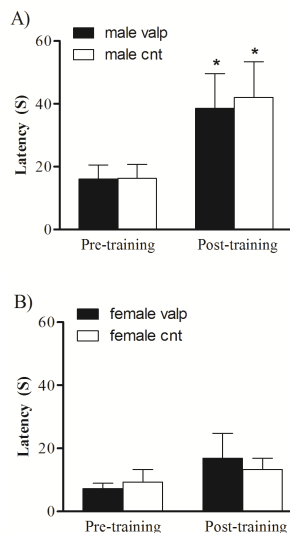
مهارکننده هیستون داستیلاز با تغییر استیلایسیون هیستون ها سبب تغییر ساختار کروموزوم و تغییر بیان ژن ها می شود (3، 4). زنان حامله ای که در دوران بارداری والپرویک اسید استفاده می کنند، با احتمال زیادی کودکان دارای اختلالات عصبی شبه اوتیسم به دنیا می آورند (5-7). با این وجود برای مصرف آن پیش از بارداری منعی وجود ندارد. هیستون داستیلازها (HDAC) جزو آنزیم هایی هستند که منجر به داستیلایسیون هیستون ها و تغییر وضعیت کروماتین می شوند (8). فاکتور مهارگر نسخه برداری methyl-CpG binding protein 2 (MeCP2) با فراخواندن HDAC به نواحی متیله DNA سبب داستیل شدن هیستون ها در این نواحی و در نتیجه غیرفعال شدن کروماتین می شود (9). والپرویک اسید هیستون داستیلازها را مهار می کند. بنابراین مواجهه با والپرویک اسید می تواند ژن های خاموش را بازفعال کند. هیستون داستیلاز نوع دو (HDAC2) از جمله فاکتورهای مهم در تغییرات اپی ژنتیک می باشند (10). مطالعات بیانگر نقش مهم HDAC2 و MeCP2 در فرایندهای اپی ژنتیک است و مشخص شده تغییر فعالیت آن ها سبب تغییر بیان سایر ژن های تنظیمی سلول از جمله فاکتور نوروتروفیک مغزی (BDNF) به ویژه در هیپوکمپ می شود (11). BDNF در تنظیم بیان ژن ها طی فرایندهای رشد و تمایز نورونی و همچنین طی فرایندهای شکل پذیری سیناپسی هیپوکمپ که منجر به یادگیری و حافظه می شوند، نقش قابل توجهی دارد (12، 13).

با توجه به اثرات اپی ژنتیک والپروات و همچنین احتمال انتقال بین نسلی این اثرات اپی ژنتیک، این سوال مطرح می شود که آیا مصرف مزمن والپروات پیش از بارداری درجنس ماده و علی رغم عدم مصرف حین بارداری، می تواند عوارضی را در فرزندان ایجاد کند. برای پاسخ به این پرسش در مطالعه حاضر، پیامدهای یک دوره مزمن مصرف والپروات سدیم در رت های ماده پیش از بارداری را بر بیان ژن های تنظیمی در هیپوکمپ فرزندان و همچنین حافظه اجتنابی فرزندان بررسی کردیم.

صورت $\text{Mean} \pm \text{SEM}$ ارائه شده‌اند. $P < 0/05$ شاخص معنی‌داری در نظر گرفته شد.

یافته‌ها و بحث

تاخیر زمانی ورود از اتاق روشن به اتاق تاریک در روز اول (pre-training) و دوم (post-training) آزمون شاتل باکس بین گروه‌های آزمایش با آزمون آماری two-way ANOVA و پس آزمون Bonferroni مقایسه شده است (نمودار شماره 1). در هر دو گروه، نرهای کنترل و والپروات (نمودار شماره 1-A) تاخیر زمان ورود از اتاق روشن به اتاق تاریک در روز دوم آزمون (Post-training) به صورت معنی‌داری بیش‌تر از تاخیر زمانی روز اول (Pre-training) است ($P < 0/05$)، درحالی‌که در دو گروه ماده‌های کنترل و والپروات (نمودار شماره 1-B)، تاخیر زمانی روز دوم در مقایسه با تاخیر روز اول تفاوت معنی‌داری ندارد. با این وجود در روز دوم تفاوت معنی‌داری بین نرهای کنترل و نرهای والپروات و همچنین بین ماده‌های کنترل و ماده‌های والپروات وجود ندارد.



نمودار شماره 1: اثر مصرف والپروات قبل از بارداری بر حافظه اجتنابی فرزندان. تفاوت معنی‌داری بین نرهای کنترل با نرهای والپروات و همچنین بین ماده‌های کنترل با ماده‌های والپروات وجود ندارد. داده‌ها به صورت $\text{mean} \pm \text{SEM}$ ارائه شده‌اند. * بیانگر $P < 0/05$ در مقایسه با روز اول است. برای همه گروه‌ها $n=6$ می‌باشد.

باز شد و مدت زمان ورود به اتاق تاریک برای هر حیوان ثبت شد. سپس شوک الکتریکی (2 میلی‌آمپر به مدت 2 ثانیه) به حیوان اعمال شد. در روز سوم، آزمایش مشابه پروتکل روز اول ولی بدون شوک الکتریکی تکرار شد. برای بررسی بیان ژن، استخراج RNA از بافت هیپوکمپ توسط محلول ترایزول انجام شد. کمیت RNA استخراج شده توسط نانودراپ تعیین شد. سنتز cDNA توسط کیت شرکت Pars tous (خراسان، ایران) انجام شد. یک میکروگرم از cDNA سنتز شده وارد واکنش Real time PCR گردید. توالی پرایمرهای مورد استفاده در جدول شماره 1 ارائه شده است.

جدول شماره 1: توالی پرایمرهای مورد استفاده در واکنش qRT-PCR

ژن	توالی پرایمر	شماره دسترسی
GAPDH	F: TCCCATCTCTCCACCTTTGATGCT R: ACCCTGTTGCTGTAGCCATATTCAT	NM-017008.4
BDNF	F: CCATAAGGACGCGGACTTGT R: GAGGCTCCAAAGGCACTTGA	NM_012513.4
HDAC2	F: TGAAGGAGAAGGAGGTGCGAA R: GGATTTATCTTCTTAAACGTCTG	NM_053447.1
Mecp2	F: ATGGTAGCTGGGATGTTAGGG R: TGAGCTTCTGATGTTTCTGCTT	NM_022673.2

پرایمر GAPDH به عنوان کنترل داخلی استفاده شد. برای انجام qRT-PCR از روش سایبر گرین (دستگاه Roche سوئیس) استفاده شد. مخلوط مواد برای 40 چرخه شامل واسرشتگی 10 ثانیه در دمای 95 درجه سانتی‌گراد و اتصال 10 ثانیه برای دمای 58 درجه سانتی‌گراد و بسط 10 ثانیه در دمای 72 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. مقدار ΔCT از تفاضل Ct ژن هدف و ژن GAPDH محاسبه شد. سپس $\Delta\Delta\text{CT}$ نسبت به گروه کنترل محاسبه شد. برای به دست آوردن میزان تغییرات بیان ژن (Fold change) از روش $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$ استفاده شد. از نرم افزار آماری GraphPad Prism (نسخه 5) برای تحلیل آماری استفاده شد. ابتدا توزیع نرمال داده‌ها در هر گروه با آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد بررسی قرار گرفت و سپس مقایسه پارامترهای آماری بین چهار گروه آزمایشی با استفاده از آزمون‌های ANOVA یکطرفه یا دوطرفه انجام شد. داده‌ها به

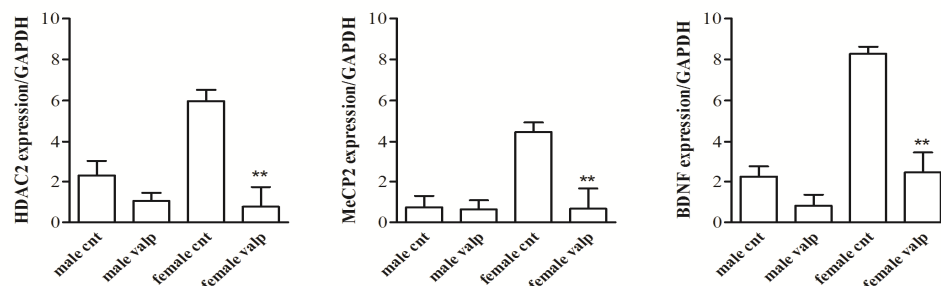
توجه به این که هر سه ژن از سری ژن‌های تنظیمی می‌باشند و در کنترل سایر ژن‌های دخیل در فرایندهای سلولی به خصوص در سیستم عصبی نقش دارند، می‌توان انتظار داشت کارکردهای سیستم عصبی را نیز تغییر دهند. با این حال بین نتایج ما در بررسی بیان ژن و بررسی رفتاری همخوانی مشاهده نشد. یک دلیل این عدم همخوانی می‌تواند در نوع آزمون رفتاری و محدودیت اطلاعات قابل استخراج از آن باشد. دلیل دیگر می‌تواند به زمان و اثرات محیط بر کارکردهای سیستم برگردد. به عبارتی، همان‌طور که در بخش روش کار نوشته شد، بررسی رفتاری در فرزندان بعد از طی دوره شیرخواری انجام شد. این فاصله زمانی و اثرات محیط بر تغییرات اپی‌ژنتیک با توجه به انعطاف‌پذیری بودن این تغییرات متأثر بودنشان از شرایط محیط می‌تواند برخی تغییرات احتمالی را جبران کند. در همین راستا یک مطالعه نشان داده برخی از اثرات والپروات بر کارکردهای سیستم عصبی و تغییرات ناشی از آن به صورت وابسته به زمان برگشت‌پذیر است (18).

یک مطالعه جالب بر پایه اثرات اپی‌ژنتیک والپروات و احتمال انتقال بین نسلی این اثرات نشان داد که فرزندی که طی دوره جنینی در مواجهه با والپروات قرار داشته‌اند، نه تنها اختلال شبه اوتیسم را نشان می‌دهند، بلکه این اختلال را به نسل بعدی خود منتقل می‌کنند (16). این نتایج بیانگر وراثت اپی‌ژنتیک و انتقال

نتایج بررسی کمی بیان ژن‌های تنظیمی MECP2, HDAC2, BDNF در بافت هیپوکمپ بین گروه‌های آزمایشی با آزمون one-way ANOVA و پس آزمون Bonferroni مقایسه شده است (نمودار شماره 2).

بیان هر سه ژن مورد مطالعه بین فرزندان نر والپروات و فرزندان نر کنترل، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما بین فرزندان ماده کنترل و فرزندان ماده والپروات تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که بیان هر سه ژن در هیپوکمپ فرزندان ماده والپروات در مقایسه با فرزندان ماده کنترل کاهش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/01$). بنابراین به نظر می‌رسد والپروات پیش از بارداری به صورت وابسته به جنس بیان ژن‌های تنظیمی را در هیپوکمپ فرزندان دستخوش تغییر کرده است.

نتایج مطالعه ما در سطح رفتار یادگیری اجتنابی فرزندان اثرات معنی‌داری از والپروات نشان نداد اما با توجه به فقدان مطالعات دیگر در این زمینه و محدودیت‌های مطالعه ما، رد یا قبول فرضیه فوق نیاز به سنجش سایر ابعاد رفتاری دارد، به خصوص که نتایج ما در بررسی بیان ژن‌های ناحیه هیپوکمپ فرزندان نشان داد که فرزندان ماده مادران والپروات، الگوی بیان ژنی متفاوتی را در مقایسه با فرزندان ماده کنترل دارند. بنابراین به نظر می‌رسد در سطح بیان ژن اثرات بین نسلی والپروات قابل ردیابی است و در مورد سه ژن مورد بررسی در مطالعه ما این اثرات به صورت وابسته به جنس بروز می‌کنند. با



نمودار شماره 2 اثر مصرف والپروات قبل از بارداری بر بیان ژن‌های تنظیمی هیپوکمپ فرزندان. بیان هر سه ژن در هیپوکمپ فرزندان ماده والپروات در مقایسه با فرزندان ماده کنترل کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P < 0/01$). داده‌ها به صورت $\text{mean} \pm \text{SEM}$ ارائه شده‌اند. ** بیانگر $P < 0/01$ در مقایسه با ماده‌های کنترل (female cnt) است. برای همه گروه‌ها $n=6$ می‌باشد.

سپاسگزاری

این مطالعه برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی اراک می باشد. تضاد منافی برای نویسندگان وجود ندارد.

بین نسلی اثرات والپروات می باشد و نشان می دهد تماس سلول های جنسی ماده با والپروات پیش از لقاح و تشکیل جنین، بر فنوتیپ فرزندان در نسل های بعدی اثر گذار است.

References

1. Gottlicher M. Valproic acid: an old drug newly discovered as inhibitor of histone deacetylases. *Ann Hematol* 2004; 83 (Suppl 1): S91-S92.
2. Lagace DC, Timothy O'Brien W, Gurvich N, Nachtigal MW, Klein PS. Valproic acid: how it works. Or not. *Clin Neurosci Res* 2004; 4(3-4): 215-225.
3. Cohen OS, Varlinskaya EI, Wilson CA, Glatt SJ, Mooney SM. Acute prenatal exposure to a moderate dose of valproic acid increases social behavior and alters gene expression in rats. *Int J Dev Neurosci* 2013; 31(8): 740-750.
4. Romoli M, Mazzocchi P, D'Alonzo R, Siliquini S, Rinaldi VE, Verrotti A, et al. Valproic acid and epilepsy: from molecular mechanisms to clinical evidences. *Curr Neuropharmacol* 2019; 17(10): 926-946.
5. Zhang J, Zhang JX, Zhang QL. PI3K/AKT/mTOR-mediated autophagy in the development of autism spectrum disorder. *Brain Res Bull* 2016; 125: 152-128.
6. Tomson T, Battino D, Perucca E. Valproic acid after five decades of use in epilepsy: time to reconsider the indications of a time-honoured drug. *Lancet Neurol* 2016; 15(2): 210-218.
7. Ornoy A. Valproic acid in pregnancy: how much are we endangering the embryo and fetus? *Reprod Toxicol* 2009; 28(1): 1-10.
8. Federman N, Zalcman G, de la Fuente V, Fustinana MS, Romano A. Epigenetic mechanisms and memory strength: a comparative study. *J Physiol Paris* 2014; 108(4-6): 278-285.
9. El-Osta A, Wolffe AP. DNA methylation and histone deacetylation in the control of gene expression: basic biochemistry to human development and disease. *Gene Expr* 2000; 9(1-2): 63-75.
10. Kawanai T, Ago Y, Watanabe R, Inoue A, Taruta A, Onaka Y, et al. Prenatal Exposure to Histone Deacetylase Inhibitors Affects Gene Expression of Autism-Related Molecules and Delays Neuronal Maturation. *Neurochem Res* 2016; 41(10): 2574-2584.
11. Lv J, Xin Y, Zhou W, Qiu Z. The epigenetic switches for neural development and psychiatric disorders. *J Genet Genomics* 2013; 40(7): 339-346.
12. Mitchelmore C, Gede L. Brain Derived Neurotrophic Factor: epigenetic regulation in psychiatric disorders. *Brain Res* 2014; 1586: 162-172.
13. Cortes-Mendoza J, Diaz de Leon-Guerrero S, Pedraza-Alva G, Perez-Martinez L. Shaping synaptic plasticity: the role of activity-mediated epigenetic regulation on gene transcription. *Int J Dev Neurosci* 2013; 31(6): 359-369.
14. Amri J, Sadegh M, Moulai N, Palizvan MR. Transgenerational modification of hippocampus TNF-alpha and S100B levels in the offspring of rats chronically exposed to morphine during adolescence. *Am J Drug*

- Alcohol Abuse 2018; 44(1): 95-102.
15. Moulaei N, Mondanizadeh M, Salmani ME, Palizvan MR, Khansarinejad B, Sadegh M. Transgenerational consequences of pre-pregnancy chronic morphine use on spatial learning and hippocampal Mecp2 and Hdac2 expression. *Neuroreport* 2018; 29(9): 739-744.
16. Choi CS, Gonzales EL, Kim KC, Yang SM, Kim JW, Mabunga DF, et al. The transgenerational inheritance of autism-like phenotypes in mice exposed to valproic acid during pregnancy. *Sci Rep* 2016; 6(36250): 1-11.
17. Zareie P, Gholami M, Amirpour-Najafabadi B, Hosseini S, Sadegh M. Sodium valproate ameliorates memory impairment and reduces the elevated levels of apoptotic caspases in the hippocampus of diabetic mice. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol* 2018; 391(10): 1085-1092.
18. Filgueiras CC, Pohl-Guimaraes F, Krahe TE, Medina AE. Sodium valproate exposure during the brain growth spurt transiently impairs spatial learning in prepubertal rats. *Pharmacol Biochem Behav* 2013; 103(3): 684-691.