

اثر محرومیت از بینایی و جنسیت روی استراتژی انتخاب موش صحرایی در ماز شعاعی

محمود سلامی^{۱*} (Ph.D)، علی اکبر علی اصغرزاده^۲ (Ph.D)، معصومه انوری^۳ (B.Sc)

۱- دانشگاه علوم پزشکی کاشان، گروه فیزیولوژی و فارماکولوژی

۲- دانشگاه علوم پزشکی کاشان، گروه فیزیک پزشکی

۳- مرکز آموزش کودکان استثنایی شهید فهمیده کاشان

چکیده

سابقه و هدف: ضمن مراحل اولیه تکامل پس از تولد، پیام‌های حسی از محیط، تکامل سیستم‌های حسی مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سیستم بینایی به‌عنوان یک سیستم مناسب برای ارزیابی نقش تجربه حسی در روند تکامل پس از تولد مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این مطالعه اثرات محرومیت از بینایی روی کاربرد علائم بینایی-فضایی در جستجوی ماز شعاعی هشت‌پر مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: موش‌های صحرایی ۴۰ روزه از هر دو جنس نر و ماده پرورش‌یافته در روشنایی (Light-reared, LR) و تاریکی کامل (Dark-reared, DR)، در ماز شعاعی هشت‌پر در دو جلسه روزانه مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌ها در سه مرحله انجام گردید. در اولین مرحله غذا (به‌عنوان پاداش) در هر هشت بازو قرار می‌گرفت. در مرحله بعد غذا به‌طور ثابت در چهار بازوی مجاور وجود داشت. در آخرین مرحله، مکان چهار بازوی واجد پاداش در دو جلسه روزانه با هم عوض می‌شد. تعداد ورودی‌های صحیح به بازوهای ماز و استراتژی انتخاب بازوهای مجاور در ماز مورد آنالیز قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که هر دو گروه در تعداد ورودی‌های صحیح به بازوها تقریباً یک‌سان عمل می‌کنند. از طرف دیگر در ورود به بازوهای مجاور در ماز، گروه LR برتری واضحی نسبت به گروه DR نشان می‌دهند. هم‌چنین در حالی که برخی اختلافات وابسته به جنس در آزمایش‌های مربوط به تعداد ورودی‌های صحیح و استراتژی انتخاب بازوهای مجاور در گروه LR مشاهده می‌شود، اختلافی بین عملکرد موش‌های نر و ماده در گروه DR وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: در مجموع یافته‌های این تحقیق بیان‌گر آنست که فقدان تجربه بینایی می‌تواند استراتژی انتخاب بازوها در ماز را تحت تأثیر قرار دهد. بعلاوه محرومیت از بینایی می‌تواند موجب پوشانده شدن اختلاف رفتار وابسته به جنسیت در موش‌های صحرایی شود.

واژه‌های کلیدی: استراتژی انتخاب، اختلاف جنسیت، ماز شعاعی، محرومیت از بینایی، موش صحرایی

مقدمه

فعالیت دقیق مدارهای سیناپسی نیاز دارد. این مدارها در ضمن تکامل و با تشکیل ارتباطات سیناپسی بین صدها هزار

سیستم عصبی پستانداران برای عملکرد صحیح خود به

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۳۶۱-۵۵۵۰۰۲۱، نمابر: ۰۳۶۱-۵۵۵۲۹۹۹، E-mail: salami_z@yahoo.com

داشته باشند قادر به تشکیل حافظه‌های کوتاه‌مدت هستند [۶]. در واقع ساختن و استفاده از یک تصویر شناختی در فضا (که می‌تواند به وسیله ماز شعاعی مورد بررسی واقع شود) به علائم محیطی اطراف بستگی دارد [۱۸]، که بدون شک بسیاری از آن‌ها علائم بینایی هستند [۲۴]. البته واضح است که حیوانات می‌توانند علاوه بر علائم بینایی، از علائم شنوایی [۲۶] و بویایی [۲۹] نیز در جستجوی ماز استفاده کنند. با این حال علائم بینایی احتمالاً در تولید یک نقشه توپوگرافیکی دقیق از فضا اهمیت بیش‌تری دارند [۹]. ضمن بررسی حافظه فضایی در مازهایی که بازوهای آن‌ها دارای دریچه می‌باشند، انتخاب بازوها با استراتژی خاص و با استفاده از یک نقشه فضایی صورت می‌گیرد که وابستگی زیادی به عملکرد صحیح هیپوکامپ دارد. از طرف دیگر در مازهایی که بازوهای آن‌ها بدون دریچه است، انتخاب بازوها نیاز به حافظه درازمدت ندارد [۱۱]. در این حالت حیوانات دو استراتژی کلی را برای جستجوی ماز به کار می‌برند: انتخاب طرح‌های بسیار متفاوت از ورود به بازوها و یا ورود به بازوهای مجاور در ماز [۱۲].

در ارتباط با اختلافات رفتاری دو جنس نر و ماده نتایج متناقضی ارائه شده است. در شرایطی که برخی مطالعات به برتری رفتار نرها اشاره دارند [۱۴، ۱۰]، سایرین معتقدند که هیچ اختلافی بین دو جنس مشاهده نمی‌شود [۲۳، ۲].

گرچه تحقیقات الکتروفیزیولوژیک اثرات تجربه حسی در تکامل مغز را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۰]، اما شواهد مربوط به دخالت تجربه حسی در پدیده‌های رفتاری بسیار کم است [۳۱]. از این‌رو در این مطالعه نقش ورودی‌های حسی بینایی در روند استراتژی انتخاب جهت در ماز شعاعی هشت‌پر به وسیله موش‌های صحرایی ۴۰ روزه مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این، نقش جنسیت نیز مورد بررسی واقع شده است.

مواد و روش‌ها

حیوانات. ۳۶ موش صحرایی ۴۰ روزه نژاد Wistar از هر دو جنس نر و ماده مورد مطالعه قرار گرفتند. موش‌های

نورون شکل می‌گیرند [۱۸]. تحقیقات گسترده اهمیت دو مکانیسم متفاوت اما برنامه‌ریزی شده در تکامل سیستم عصبی یعنی تکامل وابسته به فعالیت الکتریکی ذاتی نورون‌ها و تکامل وابسته به تجربه حسی را آشکار کرده است [۱۹]. تحول در ارتباطات سیناپسی در مراحل ابتدایی تکامل به مقدار زیادی تحت تأثیر فعالیت خود نورون‌ها قرار می‌گیرد [۲۳]. پس از آن با افزایش ورودی‌های حسی به سیستم‌های حسی، مغز تکیه کم‌تری روی فعالیت پایه نورون‌ها دارد و در عوض، تجربه حسی نقش برجسته‌تری را به عهده می‌گیرد. بنابراین، در مجموع، ترکیبی از فعالیت خودبه‌خودی نورون‌ها و تجربه حسی توانایی انطباق با تغییرات محیطی را به مغز می‌بخشد [۱۸]. هر گونه تغییر در ورودی حسی می‌تواند اثرات عمیقی روی عملکرد مدارهای نورونی داشته باشد [۹، ۱۳، ۳۰، ۴]. نقش تجربه حسی در تشکیل مدارهای عصبی به‌مقدار زیادی در سیستم بینایی پستانداران مطالعه شده است [۱۸]. وجود سیگنال‌های بینایی برای بلوغ ساختمانی و عملی ارتباطات در سیستم بینایی امری حیاتی است [۳، ۱۱، ۱۸، ۳۲]. به‌گونه‌ای که نورون‌های محروم از فعالیت الکتریکی و یا فاقد انتقال سیناپسی ندرتاً به سازمان‌یابی کاملی می‌رسند [۱۹]. تغییرات وابسته به تجربه، اغلب محدود به دوره‌های بحرانی مشخصی در اوایل زندگی است. ضمن دوره بحرانی تکامل پس از تولد مدارهای نورونی در سیستم‌های مختلف حسی شکل‌پذیری قابل توجهی را نسبت به ورودی‌های حسی به نمایش می‌گذارند [۸، ۲۱]. از نقطه‌نظر رفتاری چشمی که در دوره بحرانی از تحریک حسی محروم بوده در هنگام بلوغ ناکارآمد است و با هر میزان از تجربه حسی نیز نمی‌تواند به حالت طبیعی بازگردد [۲۴، ۲۸، ۳۵]. مطالعات زیادی بیان‌گر آنست که عملکرد صحیح در ماز شعاعی وابسته به وجود علائم بینایی [۱۳، ۱۷، ۳۵] و جامعیت تشکیلات هیپوکامپ [۱۵] است. یافته‌های نوروسایکولوژیک، آناتومیک و فیزیولوژیک از اینتراکسیون قشری-هیپوکامپی در برقراری پدیده‌های یادگیری و حافظه حمایت می‌کنند. با این‌حال، نواحی ارتباطی قشری بدون این‌که به پردازش هیپوکامپی نیاز

الف) استراتژی انتخاب در ماز دارای ۸ بازوی پاداش‌دار،
ب) استراتژی انتخاب بازوهای پاداش‌دار و ثابت در ماز و ج)
استراتژی انتخاب بازوهای پاداش‌دار و متغیر در ماز.

الف) استراتژی انتخاب در ماز دارای ۸ بازوی پاداش‌دار. طی این مرحله موش‌ها می‌بایست به‌طور کامل به هر هشت بازوی ماز و تنها یک بار به هر بازو وارد شوند. در هر روز دو بار آزمایش انجام می‌شد که فاصله‌ای حدود ۳ تا ۴ ساعت داشت. هر مرحله از آزمایش با قرار گرفتن یک موش در محفظه مرکزی ماز شروع می‌شد. در مدخل بازوها دریچه‌ای وجود نداشت و حیوان آزادانه قادر بود تا هر یک از بازوهای هشت‌گانه ماز را انتخاب و غذا را در انتهای ماز به‌دست آورد. در این آزمایش نحوه انتخاب بازوهای مجاور در ماز و نیز ورود به بازوهای صحیح قابل ارزیابی خواهد بود. این مرحله طی ۸ روز متوالی و روزی دو جلسه (جمعاً ۱۶ جلسه) انجام گردید.

ب) استراتژی انتخاب بازوهای پاداش‌دار و ثابت در ماز. پس از ۱۶ جلسه از آزمایشات ذکر شده در بالا، ۴ بازو (بازوهای ۱، ۲، ۳ و ۴) به رنگ سفید و ۴ بازو (بازوهای ۵، ۶، ۷ و ۸) به رنگ سیاه در آمد. غذا تنها در بازوهای سفید قرار گرفت. بازوهای سفید در تمام جلسات آزمایش ثابت بودند. حیوان می‌توانست حداکثر ۵ انتخاب داشته باشد و مدت زمان جستجوی ماز نیز بیش از ۵ دقیقه طول نمی‌کشید. این مرحله نیز طی ۴ روز و روزی ۲ جلسه (جمعاً ۸ جلسه) انجام گرفت. آنالیز داده‌ها نیز با روشی مشابه مرحله اول صورت می‌گیرد، با این تفاوت که انتخاب‌های صحیح و بازوهای مجاور تنها براساس انتخاب بازوهای سفید قضاوت می‌شود. این آزمایش تعیین خواهد کرد که آیا موش‌ها برای عدم ورود مجدد به یک بازو و نیز انتخاب بازوهای مجاور تنها از موقعیت فضایی خود و بازوهای ماز بهره می‌گیرند یا این‌که علائم درون ماز نیز در نحوه انتخاب نقش دارند.

صحرائی در دو گروه تقسیم‌بندی شدند. یک گروه در شرایط نوری استاندارد (۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی) پرورش یافتند (Light reared, LR). گروه دیگر از لحظه تولد تا هنگام آزمایش (Dark reared, DR)، به‌جز در مواقع ضروری (در زمان مراقبت‌های روزانه و یا در جریان آزمایش‌ها) که از نور قرمز یک لامپ ۵ وات استفاده می‌شد در تاریکی کامل به‌سر می‌بردند. در هر گروه ۶ موش نر و ۶ موش ماده وجود داشت تا بتوان یک مقایسه منطقی از نحوه رفتار موش‌های نر و ماده در گروه‌ها صورت داد. به‌طور کلی در طول نگهداری از موش‌ها آب و غذا در دسترس آن‌ها بود. ضمن دوره آزمایش، موش‌ها دسترسی آزاد به آب داشتند اما غذای خود را به‌عنوان پاداش از انتهای بازوها (هنگام انجام آزمایش) کسب می‌کردند. بعلاوه هر روز پس از اتمام دومین مرحله از آزمایش، به‌مدت حدود یک‌ساعت غذا در دسترس موش‌ها قرار می‌گرفت. در هر صورت سعی می‌شد تا وزن موش‌ها از حدود ۸۵٪ وزن موش‌های مشابه با دسترسی آزاد به غذا کم‌تر نشود.

مرحله آشنایی با ماز. دو روز قبل از شروع آزمایش‌ها موش‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و با ماز آشنا می‌شدند. در روز اول هر موش در محفظه مرکزی ماز قرار داده می‌شد و می‌توانست حبه‌های غذایی حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم که در نواحی مختلف ماز پراکنده بود را جمع‌آوری کند. این مرحله دو بار تکرار می‌شد. در روز دوم نیز انجام هر دو مرحله مانند روز بود با این تفاوت که غذا تنها در حفره انتهایی بازوها قرار می‌گرفت. مدت آشنایی با ماز حداکثر ۵ دقیقه در هر مرحله بود.

مراحل انجام آزمایش. پس از اینکه حیوانات با ماز و شرایط آزمایشگاه آشنا شدند، مراحل مختلف آزمایش روی حیوانات شروع شد. آزمایشات شامل ۳ مرحله بود که عبارتند از:

آزمایش) بدون امتیاز خواهد بود و به اولین انتخاب صحیح پس از آن نیز یک امتیاز اختصاص می‌یابد. آزمون‌های Unpaired t-test و آنالیز واریانس به ترتیب جهت مقایسه نتایج بین دو گروه و مقایسه نتایج بین موش‌های نر و ماده در هر گروه مورد استفاده قرار گرفته است. تمام نتایج، به صورت $Mean \pm SEM$ ارائه گردیده و در آزمون‌ها $P < 0.05$ معنی‌دار تلقی شده است.

نتایج

رفتار موش‌های LR و DR در انتخاب بازوهای

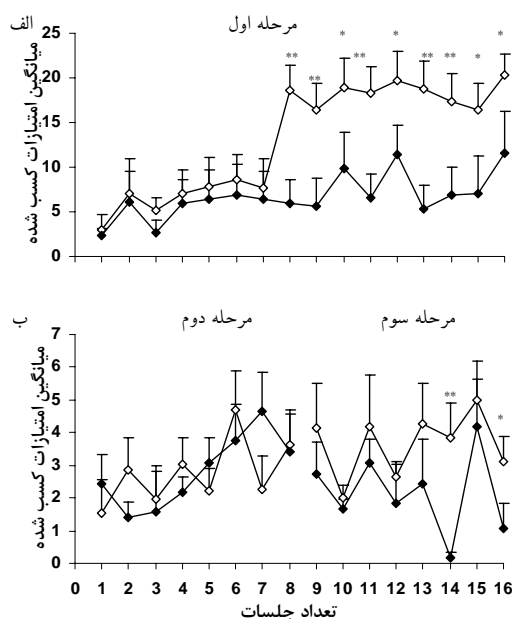
صحیح. طی ۱۶ جلسه مرحله اول، تمام بازوها شکل مشابه داشته و واجد پاداش بودند و موش‌ها پس از قرار گرفتن در محفظه مرکزی اجازه ورود آزادانه به هر بازو را داشتند. شکل ۱- الف نشان می‌دهد که گروه LR و DR به‌طور مشابهی ورود به بازوهای صحیح را در این مدت بهبود بخشیدند. در ادامه، غذا در ۴ بازوی سفید مجاور هم در بازو قرار داده می‌شد و موش‌ها باید تنها وارد ۴ بازوی سفید می‌شدند. درحالی‌که هر دو گروه تعداد خطاهای خود را طی ۸ جلسه مرحله دوم کاهش دادند، در سومین مرحله تغییر قابل توجهی در عملکرد آن‌ها مشاهده نگردید. با این حال به دلیل عملکرد ضعیف‌تر گروه DR در این مرحله بین دو گروه مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود (شکل ۱- ب). به‌طور کلی آنالیز آماری، بیان‌گر اختلاف معنی‌داری در رفتار موش‌ها ضمن انتخاب بازوهای صحیح نیست.

رفتار موش‌های LR و DR در انتخاب بازوهای

مجاور. توجه به عملکرد حیوانات در انتخاب بازوهای مجاور ماز مشخص می‌کند که در نیمه دوم اولین مرحله از آزمایشات گروه LR برجستگی قابل توجهی را نسبت به گروه DR نشان می‌دهد، به طوری که امتیازات به‌دست آمده توسط گروه اول، تا ۳ برابر بیش‌تر از گروه دوم است (شکل ۲- الف). در مرحله دوم که موش‌ها برای ورود به بازوهای مجاور بر اساس علامت ثابت داخل ماز مورد آزمایش قرار

ج) استراتژی انتخاب بازوهای پاداش‌دار و متغیر در ماز. پس از کامل شدن مرحله قبل، آزمایشات برای ۴ روز دیگر (جمعاً ۸ جلسه) به روشی مشابه با مرحله دوم ادامه یافت؛ با این تفاوت که محل بازوهای سفید پاداش‌دار در دو جلسه روزانه جابه‌جا می‌شد. بدین ترتیب که در اولین جلسه، بازوهای ۱، ۲، ۳ و ۴ سفید بودند و در جلسه دوم بازوهای ۵، ۶، ۷ و ۸. تجزیه و تحلیل نتایج این مرحله دقیقاً مشابه با مرحله "ج" صورت می‌گیرد. در این آزمایش، با جابه‌جایی بازوهای دارای پاداش در هر جلسه، نقش واقعی علائم درون ماز در نحوه انتخاب مشخص می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری. اطلاعات مربوط به ورود حیوانات به بازوهای ماز در دو بخش آنالیز شده است. ۱- تعداد بازوهای صحیحی که حیوان انتخاب کرده و ورود مجدد به آن‌ها صورت نگرفته است. در مرحله "الف" هر موش می‌توانست حداکثر ۹ انتخاب (ظرف حداکثر ۱۰ دقیقه) انجام دهد. در مراحل اول و دوم حداکثر تعداد انتخاب‌ها ۵ بار ظرف حداکثر ۵ دقیقه بود. ۲- ورود به بازوهای مجاور در مقابل انتخاب تصادفی بازوها. در این مورد نحوه کمی کردن رفتار حیوانات براساس امتیازاتی بود که متناسب با ورود به بازوهای مجاور به‌دست می‌آوردند. بدین ترتیب که ورود به اولین بازو بدون امتیاز است. اگر دومین بازوی انتخاب شده یک بازوی مجاور (در جهت یا خلاف جهت عقربه ساعت) باشد یک امتیاز اختصاص می‌یابد. اگر انتخاب سوم موش نیز یک بازوی مجاور باشد دو امتیاز می‌گیرد. به همین ترتیب با انتخاب‌های صحیح متوالی امتیازهای اختصاصی افزایش می‌یابد تا این‌که حیوان به هر ۸ بازو در مرحله "الف" و یا ۴ بازو در مراحل اول و دوم وارد شود. بر اساس این محاسبه اگر موش تمام بازوهای مجاور را در جهت خاصی انتخاب کند، در مرحله "الف" ۲۸ امتیاز و در مراحل اول و دوم ۶ امتیاز به‌دست می‌آورد. به‌هرحال اگر انتخاب‌های درست و نادرست به‌طور تصادفی انجام شود، نحوه امتیازدهی متفاوت خواهد بود. یعنی اولین انتخاب نادرست (در هر مرحله از



شکل ۲. امتیازات کسب شده به وسیله موش‌های صحرایی LR (مربع) توخالی) و DR (مربع توبر) ضمن آزمایش بررسی استراتژی انتخاب بازوهای مجاور در ماز شعاعی. الف- در اولین مرحله هر ۸ بازوی ماز دارای پاداش بوده است. آنالیز آماری نشان‌گر اختلاف معنی‌دار بین دو گروه ضمن نیمه دوم دوره آزمایش است. ب- در مرحله دوم، ۴ بازوی پاداش‌دار ثابت بوده‌اند. درحالی‌که در مرحله سوم جای ۴ بازوی دارای پاداش در جلسات اول و دوم روزانه جابه‌جا شده است.

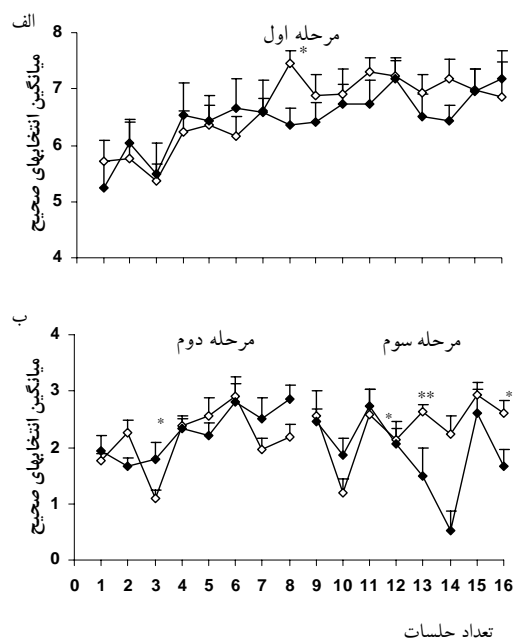
* $P < 0.05$, ** $P < 0.005$

اختلاف رفتار موش‌های صحرایی نر و ماده. در

این مطالعه اختلاف رفتار موش‌های نر و ماده در دو گروه LR و DR نیز مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در رفتار موش‌های نر و ماده در ارتباط با تعداد ورودی‌های صحیح در مرحله اول می‌باشد ($F_{3,60} = 4.322, P = 0.008$). به‌هرحال در این مرحله تنها در گروه LR، موش‌های نر نسبت به موش‌های ماده برتری نشان دادند ($P < 0.01$). در مراحل دوم و سوم گرچه در هر دو گروه نرها عملکرد بهتری نسبت به ماده‌ها داشتند اما این اختلاف رفتار معنی‌دار نبود (شکل ۳-الف).

در آزمایش‌های مربوط به انتخاب بازوهای مجاور در ماز، موش‌های نر عموماً امتیاز بیشتری در مقایسه با موش‌های ماده به‌دست آوردند. ANOVA معرف آنست که

گرفتند، بهبود کمی در رفتار خود طی ۸ جلسه نشان دادند و رفتار هر دو گروه تقریباً مشابه بود (شکل ۲-ب). در سومین مرحله، حیوانات ماز با بازوهای سفید متغیر را جستجو کردند. طی این مرحله نه تنها پیشرفتی در عملکرد موش‌ها مشاهده نشد بلکه جابه‌جایی بازوهای واجد علامت سفید در دو جلسه روزانه موجب سردرگمی آن‌ها می‌گردید. همان‌گونه که در شکل ۲-ب نشان داده شده است، حیوانات معمولاً در اولین جلسه روزانه امتیازات بیشتری کسب می‌کردند. موقعیت بازوهای سفید واجد پاداش در جلسات اول مرحله سوم مشابه با جلسات مرحله دوم آموزش موش‌ها بود.



شکل ۳. تعداد انتخاب‌های صحیح موش‌های صحرایی در گروه‌های LR (مربع توخالی) و DR (مربع توبر) ضمن بررسی تعداد انتخاب‌های صحیح در ماز. الف- مرحله اول که طی تمام بازوهای ماز واجد پاداش بوده‌اند. ب- مرحله دوم با پاداش در بازوهای ثابت و مرحله سوم با پاداش در بازوهایی که جای آن‌ها در آزمایش‌های انجام شده در دو جلسه روزانه عوض می‌شد.

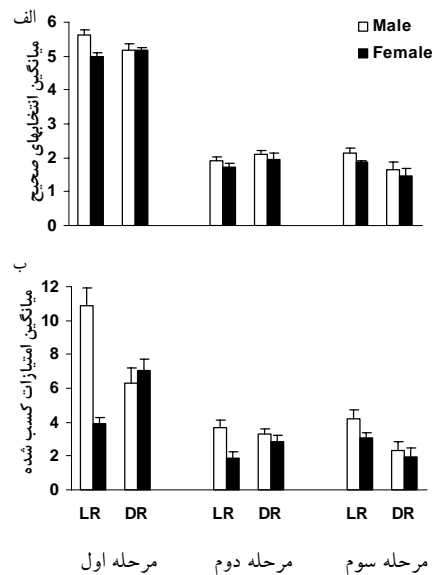
* $P < 0.05$, ** $P < 0.005$

انتخاب می‌کنند. در مورد استراتژی انتخاب بازوهای مجاور، موش‌های LR نسبت به موش‌های DR برتری واضحی دارند. هم‌چنین در دو روش رفتاری ذکر شده وابستگی به جنس تنها در گروه LR مشاهده می‌شود.

انتخاب بر اساس علائم فضایی - بینایی. نتایج آزمایش‌های ما نشان می‌دهند که بین گروه‌های LR و DR اختلافی در تعداد انتخاب‌های صحیح وجود ندارد. وقتی که پاداش تنها در ۴ بازوی مجاور به رنگ سفید قرار گرفت و موش‌ها باید فقط بازوهای سفید را انتخاب می‌کردند، اختلافی بین گروه‌ها مشاهده نشد. بعلاوه تغییر جای بازوهای سفید واجد پاداش در جلسات متوالی نیز تفاوت معنی‌داری بین رفتار موش‌ها در دو گروه مورد آزمایش آشکار نداشت. این نتایج بیانگر آنست که هر چند موش‌های صحرایی در دو گروه در استفاده از علائم بیرون ماز (برای ورود به هر ۸ بازو) به‌طور متفاوت عمل می‌کنند، اما در استفاده از علائم درون ماز (برای ورود به بازوهای سفید) مشابه هم عمل می‌کنند. این یافته‌ها با نتایج مربوط به بررسی حافظه فضایی در ماز شعاعی دارای درجه متفاوت است. در واقع ورود به بازوهای بدون درجه به‌عنوان یک رفتار کلیشه‌ای شناخته می‌شود که طی آن حیوان نیازی به استفاده از حافظه خود ندارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد، زمانی‌که نیاز چندانی به استفاده از اطلاعات قبلی وجود ندارد حیوانات در دو گروه LR و DR تقریباً هم‌سان عمل می‌کنند.

استراتژی انتخاب بازوهای مجاور. در این مرحله از مطالعه، ورود به بازوهای مجاور مد نظر قرار گرفته است. ابتدا موش‌ها برای ورود به هر ۸ بازو مورد آزمایش قرار گرفتند. در این مرحله عملکرد موش‌ها در ورود به بازوهای مجاور از صفر تا حداکثر ۲۸، امتیازبندی می‌شد. بررسی امتیاز حیوانات در دو گروه بر مبنای ورود به بازوهای مجاور هشت‌گانه نشان می‌دهد که موش‌های گروه LR تفاوت برجسته‌ای با گروه DR دارند. در مرحله‌ای که حیوانات برای ورود به بازوهای سفید و مجاور هم تحت آزمایش قرار

در اولین مرحله برتری نرها بر ماده‌ها کاملاً واضح است ($F(3,60) = 13.20, P < 0.0001$). آزمون توکی وابستگی به جنس را تنها در گروه LR تأیید می‌کند ($P < 0.001$). در مرحله دوم نیز امتیازات کسب شده توسط نرها در گروه LR بیش‌تر بود ($F(3,36) = 3.501, P = 0.0251; P < 0.05$). آنالیز آماری، اختلافی را بین عملکرد موش‌های نر و ماده در دو گروه مورد آزمایش در مرحله سوم نشان نداد (شکل ۳-ب).



شکل ۳. بررسی رفتار موش‌های صحرایی نر و ماده در گروه‌های LR و DR طی مراحل سه‌گانه آزمایش براساس آنالیز واریانس. منحنی "الف" نشان می‌دهد که در اولین مرحله از آزمایشات، موش‌های نر گروه LR نسبت به موش‌های ماده عملکرد بهتری داشته‌اند. موش‌های نر و ماده در گروه DR رفتار مشابهی داشته‌اند. منحنی "ب" نمایانگر برتری نسبی نرها بر ماده‌ها در گروه LR در مراحل اول و دوم آزمایش است.

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه استراتژی انتخاب بازوها و نقش تجربه حسی در آن و هم‌چنین اختلافات مربوط به جنس، بررسی شده است. یافته‌های این تحقیق بیانگر آنست که هنگام استفاده از علائم فضایی خارج ماز موش‌ها در دو گروه LR و DR در تعداد انتخاب‌های صحیح اختلافی نشان نمی‌دهند. به‌رحال ضمن استفاده از علائم درون ماز موش‌های LR بهتر

گرفتند، هر حیوان می‌توانست حداکثر ۶ امتیاز به‌دست آورد. در اولین مرحله بین رفتار موش‌ها در دو گروه اختلافی مشاهده نمی‌شود، اما در مرحله بعد که طی آن جای بازوهای سفید دارای پاداش و سیاه فاقد پاداش عوض می‌شد و موش‌ها باید تنها با اتکا به علائم بینایی درون ماز (رنگ سفید) وارد بازوهای صحیح شوند؛ گروه LR امتیاز بیشتری نسبت به گروه DR کسب کرد. بنابراین می‌توان گفت که در مجموع موش‌های گروه LR در انتخاب بازوهای مجاور در ماز شعاعی نسبت به گروه موش‌های DR عملکرد بهتری داشته‌اند. مطالعات انجام شده در این زمینه معرف آنست که برای داشتن انتخاب‌های صحیح در ماز شعاعی نیاز به علائم بینایی [۲۴،۲۵] و جامعیت تشکیلات هیپوکامپ [۱۵،۲۶،۲۹] است. در مورد انتخاب بازوهای مجاور و حرکات کلیشه‌ای، Lanke و همکارانش معتقدند که رفتار کلیشه‌ای در ماز ناشی از عملکرد هیپوکامپ نیست بلکه بر خلاف آن با تخریب هیپوکامپ و حذف تقریباً کامل رفتارهای هدفمند این نوع از رفتارهای کلیشه‌ای امکان بروز می‌یابند [۲۰]. هم‌چنین پیشنهاد شده است که تخریب هیپوکامپ منجر به بروز رفتارهای کلیشه‌ای می‌شود [۵]. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که رفتار ضعیف‌تر موش‌ها در گروه DR در انتخاب بازوهای مجاور می‌تواند با عملکرد هیپوکامپ در ارتباط باشد. لازم به‌ذکر است که پیام‌های حسی (از جمله بینایی) از طریق قشر اتورینال به هیپوکامپ ارسال می‌گردد. به‌هرحال اینتراکسیون بین تحریکات بینایی و مکانیسم‌های ذاتی تکامل که تکامل پدیده انتخاب جهت را در حیوان شکل می‌دهند ناشناخته مانده است [۳۴].

ارتباط تجربه حسی و اختلافات جنسی در کاربرد علائم فضایی - بینایی. آنالیز نتایج برای انتخاب صحیح بازوها با استفاده از علائم فضایی (بیرون از ماز) یا بینایی (درون ماز) یا هر دو نشان می‌دهد که در مرحله انتخاب ۸ بازویی (علائم فضایی)، تنها بین موش‌های نر و ماده گروه LR اختلاف وجود دارد، بدین ترتیب که موش‌های نر

انتخاب‌های صحیح بیشتری داشته‌اند. در مرحله انتخاب بازوهای سفید ثابت و یا متغیر هر چند در هر دو گروه نرها عملکرد بهتری داشته‌اند، اما اختلاف معنی‌دار نبوده است. در مورد امتیازات کسب شده در رابطه با انتخاب بازوهای مجاور نیز تقریباً در هر دو گروه، نرها نسبت به ماده‌ها برتری نشان داده‌اند. به‌رحال اختلاف بین رفتار موش‌های نر و ماده تنها در گروه LR معنی‌دار است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در حالی که در مراحل مختلف آزمایش اختلاف رفتاری بین دو جنس در گروه DR مشاهده نمی‌شود، حداقل در برخی از مراحل آزمایش موش‌های نر و ماده در گروه LR عملکرد متفاوتی از نظر تعداد انتخاب‌های صحیح و نحوه انتخاب بازوها دارند.

در برخی مطالعات، اختلافات جنسی در انتخاب بازوهای مجاور مورد ارزیابی قرار گرفته است [۳۶]. چندین مطالعه اشاره کرده‌اند که با کاربرد ماز شعاعی این اختلاف قابل مشاهده نبوده است [۷،۱۶،۲۷،۳۱،۳۶]. به‌رحال نتایج تحقیق حاضر به‌وضوح اختلاف در عملکرد موش‌های نر و ماده در گروه LR را نشان می‌دهند. اهمیت این نتایج در این است که پروتکل مورد استفاده، توانایی بروز اختلافات جنسی در جستجوی ماز شعاعی را در حیوانات با زمینه پرورش متفاوت آشکار کند. بعلاوه نکته جالب توجه در این نتایج آنست که اختلاف جنسی، تنها در گروهی ظاهر شده است که در روشنایی استاندارد پرورش یافته‌اند. بنابراین می‌توان گفت که فقدان سیگنال‌های بینایی به‌نحوی باعث می‌شود که اختلافات جنسی در عملکرد حیوانات در ماز شعاعی آشکار گردد. بنابراین در گروه‌های پرورش یافته در تاریکی باید عامل بازدارنده‌ای وجود داشته باشد تا این اختلاف را مخفی نگاه دارد. حداقل یک عامل پیش‌نهادی می‌تواند تغییر در میزان یا عملکرد یا متابولیسم هورمونهای جنسی (استروژن‌ها) باشد که در مطالعات مختلف به اثربخشی آن روی نواحی درگیر در حافظه‌های مربوط به بینایی اشاره شده است [۲۲،۲۸]. این‌که آیا پرورش حیوان در تاریکی منجر به تغییرات هورمونی مورد

[14] Hyde LA, Sherman GF, Denenberg VH. Non-spatial water radial arm maze learning in mice. *Brain Res*, 2000; 863:151-9.

[15] Jarrard LE. Selective hippocampal lesions and behavior: effects of kainic acid lesions on performance of place and cue tasks. *Behav Neurosci*, 1983; 97:873-89.

[16] Juraska JM, Henderson C, Muller J. Differential rearing experience, gender, and radial maze performance. *Dev Psychobiol*, 1984; 17:209-15.

[17] Katz LC. What's critical for the critical period in visual cortex? *Cell*, 1999; 99:673-6.

[18] Katz LC, Shatz CJ. Synaptic activity and the construction of cortical circuits. *Science*, 1996; 274:1133-8.

[19] Scott EK, Reuter JE, Luo L. Dendritic development of *Drosophila* high order visual system neurons is independent of sensory experience. *BMC Neurosci*, 2003; 4:14.

[20] Lanke J, Mansson L, Bjerkemo M, Kjellstrand P. Spatial memory and stereotypic behaviour of animals in radial arm mazes. *Brain Res*, 1993; 605:221-8.

[21] Lee WC, Nedivi E. Extended plasticity of visual cortex in dark-reared animals may result from prolonged expression of *cpg15*-like genes. *J Neurosci*, 2002; 22:1807-15.

[22] Luine V, Rodriguez M. Effects of estradiol on radial arm maze performance of young and aged rats. *Behav Neural Biol*, 1994; 62:230-6.

[23] Niraj SD, Robert HC, Sacha BN, Gina GT. Critical periods for experience-dependent synaptic scaling in visual cortex. *Nat Neurosci*, 2002; 5:783-9.

[24] O Keefe J, Nadel L. *Hippocampus as a cognitive map*. 1st ed. Oxford: Oxford University Press, 1987.

[25] Olton DS, Collison C. Intramaze cues and odour trials fail to direct choice behaviour on an elevated maze. *Anim Learn Behav*, 1980; 7:221-3.

[26] Riley DA, Rosenzweig MR. Echolocation in rats. *J Comp Physiol Psychol*, 1957; 50:323-8.

[27] Roof RL. Neonatal exogenous testosterone modifies sex difference in radial arm and Morris water maze performance in prepubescent and adult rats. *Behav Brain Res*, 1993; 53:1-10.

[28] Roof RL, Havens MD. Testosterone improves maze performance and induces development of a male hippocampus in females. *Brain Res*, 1992; 572:310-13.

[29] Rosen JJ, Stein DG. Spontaneous alternation behaviour in the rat. *J Comp Physiol Psychol*, 1969; 68:420-6.

[30] Stern EA, Maravall M, Svoboda K. Rapid development and plasticity of layer 2/3 maps in rat barrel cortex in vivo. *Neuron*, 2001; 31:305-15.

[31] Tees RC, Midgley G, Nesbit JC. The effect of early visual experience on spatial maze learning in rats. *Dev Psychobiol*, 1981; 14:425-38.

[32] Tessier-Lavigne M, Goodman CS. The molecular biology of axon guidance. *Science*, 1996; 274:1123-33.

[33] Voikar M, Koks S, Vasar E, Rauvala H. Strain and gender differences in the behavior of mouse lines commonly used in transgenic studies. *Physiol Behav*, 2001; 72:271-81.

[34] White LE, Coppola DM, Fitzpatrick D. The contribution of sensory experience to the maturation of orientation selectivity in ferret visual cortex. *Nature*, 2001; 411:1049-52.

[35] Wiesel TN. Postnatal development of the visual cortex and the influence of environment. *Nature*, 1982; 299:583-91.

[36] Williams C, Meck WH. The organizational effects of gonadal steroids on sexually dimorphic spatial ability. *Psychoneuroendoc*, 1991; 16:155-76.

اشاره می‌گردد یا نه، موضوعی است که نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

تشکر و قدردانی

هزینه انجام این تحقیق به‌وسیله معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان تأمین شده است. از آقایان دکتر منصور کشاورز، دکتر مهدی نورالدینی، علی‌اکبر رشیدی و خانم زهرا آقانووری که در انجام این مطالعه هم‌کاری نمودند سپاس‌گزاریم.

منابع

[1] Bimonte HA, Hyde LA, Hoplight BJ, Denenberg VH. In two species, females exhibit superior working memory and inferior reference memory on the water radial-arm maze. *Physiol Behav*, 2000; 70:311-7.

[2] Bucci DJ, Chiba AA, Gallagher M. Spatial learning in male and female Long-Evans rats. *Behav Neurosci*, 1995; 109:180-3.

[3] Crowley JC, Katz LC. Development of ocular dominance columns in the absence of retinal input. *Nat Neurosci*, 1999; 2:1125-30.

[4] Daw NW, Fox K, Sato H, Czepita D. Critical period for monocular deprivation in the cat visual cortex. *J Neurophysiol*, 1992; 67:197-202.

[5] Devenport LD, Merriman VJ. Ethanol and behavioral variability in the radial-arm maze. *Psychopharmacology (Berl)*, 1983; 79:21-4.

[6] Eichenbaum H, Otto T, Cohen NJ. Two functional components of the hippocampal memory system. *Behav Brain Sci*, 1994; 17:449-517.

[7] Einon D. Spatial memory and response strategies in rats: age, sex and rearing differences in performance. *Q J Exp Psych*, 1980; 32:473-89.

[8] Fagiolini M, Hensch TK. Inhibitory threshold for critical-period activation in primary visual cortex. *Nature*, 2000; 404:183-6.

[9] Foreman N, Srevens R. Visual lesions and radial maze performance in rats. *Behav Neural Biol*, 1982; 36:126-36.

[10] Fox K. A critical period for experience-dependent synaptic plasticity in rat barrel cortex. *J Neurosci*, 1992; 12:1826-38.

[11] Gresack JE, Frick KM. Male mice exhibit better spatial working and reference memory than females in a water-escape radial arm maze task. *Brain Res*, 2003; 982:98-107.

[12] Hall JL, Berman RF. Juvenile experience alters strategies used to solve the radial arm maze in rats. *Psychobiology*, 1995; 23:195-8.

[13] Hubel DH, Wiesel TN. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *J Physiol*, 1970; 206:419-36.