

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر پاداش بر ویژگی‌های حرکت ساکادیک چشم در میمون ماکاک

فاطمه دیده‌ور، علی اسداللهی*

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پذیرش: ۵ اردیبهشت ۱۴۰۱

دریافت: ۲۹ بهمن ۱۴۰۰

چکیده

زمینه و هدف: یکی از عوامل تاثیرگذار در فرآیند توجه میزان پاداش محرک مورد توجه است. از این‌رو، این پژوهش به بررسی تاثیر مقادیر مختلف پاداش بر ویژگی‌های حرکت ساکادیک چشم به عنوان شاخصی برای توجه به محرک می‌پردازیم.

روش‌ها: از دو میمون ماکاک نر بالغ در یک تکلیف رفتاری مبتنی بر ساکاد استفاده شد. پس از خیره‌شدن میمون به وسط نمایشگر، یک محرک بینایی در سمت راست یا چپ نمایشگر نمایش داده شده و میمون باید به محرک بینایی نمایش داده شده ساکاد بزند و میزان پاداش دریافتی براساس رنگ محرک می‌تواند کم، متوسط یا زیاد باشد. شاخص‌های ساکاد شامل: زمان پاسخ، بیشینه سرعت و دقت ساکاد در سه دسته مجموع ساکادها، ساکادهای سریع و ساکادهای کند در مقادیر مختلف پاداش با یکدیگر مقایسه شدند. برای تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس سه راهه و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد.

یافته‌ها: زمان پاسخ در محرک‌های با پاداش بیشتر در مقایسه با محرک با پاداش کمتر در دو دسته مجموع ساکادها و ساکادهای کند کاهش یافت ($p < 0/001$). افزایش پاداش باعث افزایش معنادار ($p < 0/001$) سرعت ساکاد در یکی از حیوانات شد و در سرعت ساکاد دیگری تاثیر معناداری نداشت. میزان دقت ساکاد با افزایش میزان پاداش در هردو حیوان افزایش یافت اما بهبود دقت فقط در یک میمون معنادار بود ($p < 0/05$).

نتیجه‌گیری: افزایش میزان پاداش متناسب به یک محرک باعث کاهش زمان پاسخ به محرک و افزایش دقت ساکاد و بیشینه سرعت شد. البته اثر پاداش بر بیشینه سرعت در دو حیوان یکسان نبود که می‌تواند ناشی از تفاوت بین فردی باشد.

واژه‌های کلیدی: پاداش، زمان پاسخ، ساکاد

مقدمه

بینایی یکی از مهمترین حواس و چشم یکی از کارآمدترین ابزار موجودات برای شناخت و تعامل با محیط اطراف است. حرکات سر به تغییر میدان بینایی کمک می‌کند و با حرکات چشمی می‌توان در یک میدان بینایی جستجو و به قسمت‌های مختلف آن توجه کرد. حرکات موسوم به حرکات ساکادیک چشم که حرکتی سریع و پرشی از یک نقطه میدان بینایی به نقطه‌ای دیگر است، نقش مهمی در این امر دارد به طوری که یکی از شاخصه‌هایی که غالباً برای ارزیابی توجه به یک محرک مورد توجه قرار می‌گیرد، ساکاد زدن به آن محرک است [۱، ۲].

انتخاب هدف برای حرکات چشم‌ها و توجه به یک قسمت از میدان بینایی می‌تواند به صورت ارادی و مرتبط با هدف ما

انجام شود که به آن توجه از بالا به پایین^۱ گفته می‌شود یا می‌تواند به صورت غیرارادی و به دلیل جذابیت فیزیکی یک گزینه مانند رنگ یا اندازه نامتعارف و یا متحرک بودن آن، انجام پذیرد که به آن توجه از پایین به بالا^۲ گفته می‌شود [۳، ۴]. علاوه بر موارد ذکر شده میزان پاداش متناسب به یک محرک هم از عوامل تاثیرگذار در انتخاب محرک به عنوان هدف است به طوری که بعضی از نظریات، بیشینه‌کردن میزان پاداش دریافتی را معیار توجه به یک محرک می‌دانند و بر همین اساس، نوع دیگری از توجه که توجه ناشی از میزان پاداش است را تعریف کرده‌اند [۵، ۶].

¹ Top-down attention² Bottom-up attention

دقت پاسخ با تغییر در میزان پاداش مشاهده شد [۱۶]. به این ترتیب، در مطالعات انجام شده تاکنون، نشان داده شده است که افزایش پاداش متناسب به یک محرک باعث افزایش احتمال انتخاب آن محرک، کاهش زمان پاسخ به آن محرک و تغییر در سرعت و دقت انتخاب آن محرک در مقابل محرکی با میزان پاداش کمتر می‌شود.

در مطالعاتی که تا کنون انجام شده، بررسی تاثیر میزان پاداش بر حرکات ساکادیک در شرایطی انجام شده که پاداش متناسب به محرک‌ها تنها در دو سطح پاداش کم یا فاقد پاداش و پاداش زیاد یا دارای پاداش تغییر می‌کرده و در اکثر این مطالعات انتخاب به صورت رقابتی بین دو محرک بوده و شاخصه‌های رفتاری متفاوت بررسی شده است. در این مطالعه قصد داریم تغییرات شاخصه‌های حرکت ساکادیک را به عنوان شاخص‌هایی از میزان توجه در سه سطح متفاوت پاداش بررسی کنیم و به این پرسش پاسخ دهیم که نحوه تغییرات شاخص‌های رفتاری در سطوح مختلف پاداش نسبت به یکدیگر چگونه است و آیا میزان تفاوت شاخص‌ها متناسب با سطوح مختلف پاداش تغییر می‌کند یا مطابق مطالعات قبلی در دو سطح ثابت هستند و آیا تغییرات شاخص‌های رفتاری مشاهده شده در مطالعات گذشته مختص حالت انتخاب رقابتی بین دو محرک است یا در شرایطی که رقابتی وجود ندارد و میزان پاداش برای هر حالت ثابت و تضمین شده است نیز میزان پاداش متناسب به محرک می‌تواند باعث تغییر در رفتار شود.

مواد و روش‌ها

حیوانات

در این تحقیق، از دو میمون ماکاک نر بالغ (میمون L و میمون J، ۱۰ تا ۱۲ کیلوگرم، ۸ تا ۱۰ سال) استفاده شده است. حیوانات از باغ وحش مشهد تهیه شده و در حیوانخانه آزمایشگاه بینایی حرکتی دانشگاه فردوسی مشهد نگهداری می‌شدند و تمامی آزمایش‌ها با رعایت اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی مصوب کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد با شناسه اخلاق IR.UM.REC.1399.147 انجام شده است. حیوانات در طول دوره آموزش و انجام آزمایش در طول هفته دسترسی آزاد به غذا و محدودیت دسترسی به آب بر اساس دستورالعمل‌های رایج و مصوب کمیته اخلاق دانشگاه داشتند.

در مطالعات حوزه توجه مبتنی بر پاداش چه در سطح نورونی و چه در سطح رفتاری، سوژه‌ها در یک تکلیف رفتاری که در آن میزان پاداش متناسب به محرک (ها) دستکاری می‌شود، آزموده می‌شوند. نحوه گزارش محرکی که مورد توجه واقع شده می‌تواند به صورت بیان شفاهی ویژگی محرک (اگر سوژه‌ها انسان باشند)، حرکت چشم به سمت محرک هدف، فشار دکمه یا اهرم و یا حرکت دست به سمت محرک باشد. با توجه به ساختار عصبی خاص سیستم بینایی و نقش چشم‌ها در توجه و انتخاب یک محرک، مخصوصاً در تکالیفی که زمان پاسخ به عنوان یک شاخصه بررسی می‌شود، از حرکات چشمی برای نشان دادن توجه استفاده می‌شود.

بر اساس نظریه توجه مبتنی بر پاداش، افزایش پاداش متناسب به یک محرک، توانایی آن محرک برای جلب توجه را بالا می‌برد [۶، ۵] به طوری که شاخصه‌های ساکاد در حرکت ساکادیک به سمت محرک شامل پاداش به میزان چشم‌گیری متفاوت از ساکاد به محرک فاقد پاداش است. مطالعات نورونی نشان داده که میزان فعالیت نواحی درگیر در حرکات ساکادیک چشم مانند برجستگی فوقانی، FEF^۳ و LIP^۴ در حرکات ساکادیک منتهی به محرک شامل پاداش، بیشتر از محرک بدون پاداش است [۱۱-۷]. پاداش متناسب به یک محرک باعث سوگیری نسبت به آن محرک می‌شود به طوری که اگر به عنوان محرک غیر هدف در تکلیف دیگری استفاده شود باعث افزایش زمان پاسخ به محرک هدف نسبت به زمانی می‌شود که یک محرک خنثی به عنوان محرک غیرهدف استفاده شود [۱۳، ۱۲]. هم‌چنین اگر به محرکی قبلاً میزان پاداش زیادی متناسب شده باشد، در صورتی که در یک تکلیف رفتاری به عنوان محرک غیر هدف استفاده شود اگرچه انتخاب آن دربرگیرنده پاداش نیست، اما باعث انحراف مسیر حرکات ساکادیک انتخاب محرک هدف به سمت خود می‌شود [۱۴]. در انتخاب آزادانه که سوژه می‌تواند از بین چند گزینه مختلف یکی را انتخاب کند، در شرایطی که پاداش متناسب به همه محرک‌ها یکسان است احتمال انتخاب محرکی که قبلاً پاداش بیشتری داشته است بیشتر از سایر محرک‌هاست [۱۵]. علاوه بر حرکات ساکادیک، در مطالعاتی که در آن‌ها توجه به محرک با حرکت دست به سمت محرک بوده نیز تغییرات زمان پاسخ، سرعت و

³ Frontal eye field

⁴ Lateral intra parietal

آماده سازی حیوانات

جراحی کاشت هدپست

پیش از انجام آزمایش یک هدپست تیتانیومی (طراحی و ساخت شرکت زیست کنکاش توس ایران) در قسمت جلویی سر و با سیمان ارتوپدی (ساخت شرکت ایمپلنتیت، المان) بر روی سر کاشته شد. جراحی در شرایط بیهوشی کامل با گاز ایزوفلوران (ساخت شرکت تروییکا، هند) انجام شده و پس از طی دوره نقاهت، فرآیند آموزش تکلیف رفتاری آغاز گردید.

آموزش تکالیف رفتاری

در طی انجام تکلیف رفتاری حیوان در داخل صندلی نخستیان رو به یک نمایشگر محرک‌های بینایی، نشانده شده و سر حیوان با استفاده از میله‌ای که هدپست را دربر می‌گیرد ثابت می‌شد. تکلیف رفتاری بر مبنای ساکاد به محرک بینایی با میزان پاداش مختلف طراحی شد. برای طراحی و اجرای تکلیف از نرم افزار متلب (The MathWorks Inc., Natick, MA) و جعبه ابزار مانکی لاجیک^۵ استفاده شد. محرک‌ها با استفاده از جعبه ابزار مانکی لاجیک طراحی و نمایش داده شده و مکان چشم در هر لحظه توسط این نرم‌افزار دریافت شده و برای کنترل تکلیف استفاده می‌شد. برای تعیین مکان چشم از یک دستگاه رهگیر چشمی (Eye Link 1000 plus) -ساخت شرکت SR Research کانادا) با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده شده که مکان چشم را در هر لحظه گزارش می‌کند. میزان پاداش متناسب با هر محرک به صورت مقادیر متفاوتی از آبمیوه به‌وسیله پمپ سرنگی (ساخت شرکت زیست کنکاش توس، مشهد، ایران) در اختیار حیوان قرار گرفته است. محرک‌ها بر روی صفحه نمایشگر ۲۷ اینچی ViewSonic, Model VX2776-smhd resolution (1920 x 1080 pixels (60 Hz, 16-bit color depth) که در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از حیوان قرار داشت، نمایش داده می‌شد. نمایشگر دقیقاً مقابل نقطه وسط دو چشم قرار گیرد.

هدف از انجام این آزمایش پاسخ دادن به این سوال بود که میزان پاداش متناسب به محرک چه تاثیری بر شاخصه‌های مختلف حرکات ساکادیک چشمی دارد. به‌همین منظور در این تکلیف محرک‌های بینایی با رنگ متفاوت و بنابراین میزان

⁵ Monkey logic

پاداش متناسب متفاوت نمایش داده شده و میمون با حرکت ساکادیک چشم به محرک هدف میزان پاداش متناسب به آن محرک را دریافت می‌کرد (شکل ۱ الف). در ابتدای هر آزمایش یک نقطه سفید رنگ به قطر ۰/۲ درجه در وسط صفحه روشن می‌شد، حیوان باید چشم خود را به سمت نقطه برده و به آن خیره می‌شد، چشم می‌بایست به مدت ۳۰۰ میلی‌ثانیه درون یک پنجره دایره‌ای به قطر ۳ درجه در اطراف نقطه قرار می‌گرفت و سپس محرکی به‌صورت دایره رنگی به قطر ۰/۵ درجه و با کانتراست ۷۰٪ با فاصله مشخص (۵ تا ۱۶ درجه) نسبت به مرکز صفحه نمایش داده می‌شد. مدت نمایش محرک ۶۰۰ میلی‌ثانیه بوده و میمون باید در طول این مدت چشم خود را روی نقطه ثابت وسط صفحه نگه می‌داشت. پس از ۶۰۰ میلی‌ثانیه نقطه ثابت خاموش می‌شد، خاموش شدن نقطه ثابت به‌معنی اجازه حرکت چشم به سمت محرک بوده و پس از آن میمون باید با ساکادزدن به محرک هدف خیره می‌شد. حالت‌های مختلف به‌صورت کاملاً تصادفی نمایش داده می‌شدند. رنگ محرک‌ها در تکرارهای مختلف متفاوت و هر رنگ نشان‌دهنده مقدار خاصی از پاداش بوده، به‌این‌صورت که قرمز برابر با ۰/۰۴ میلی‌لیتر آبمیوه (پاداش کم)، بنفش برابر با ۰/۱۲ میلی‌لیتر آبمیوه (پاداش متوسط) و زرد برابر با ۰/۴ میلی‌لیتر آبمیوه (پاداش زیاد) بوده است. برای میمون J میزان پاداش متناسب به رنگ‌های بنفش و زرد جابه‌جا شد (بنفش ۵ قطره و زرد ۱/۵ قطره) اما برای نمایش ساده‌تر در این مقاله پاداش متوسط و زیاد برای هر دو حیوان به ترتیب با رنگ‌های بنفش و زرد نمایش داده می‌شوند.

پس از پایان آزمایش با تحلیل داده‌های چشمی شاخص‌های مختلف ساکاد استخراج و در شرایط مختلف با هم مقایسه شدند.

محاسبه شاخص‌های ساکاد

حرکت ساکادیک، حرکت پرشی چشم از یک جهت در میدان بینایی به جهت دیگر می‌باشد. برای استخراج شاخص‌های ساکاد لازم است ابتدا حرکت ساکادیکی که از نقطه وسط به محرک هدف انجام شده است از میان حرکات چشمی حیوان شناسایی شود، برای این‌منظور، مسیر حرکت چشم در دو محور افقی و عمودی در بازه زمانی ۳۰۰ میلی‌ثانیه قبل از شروع محرک تا ۱۰۰ میلی‌ثانیه بعد از خاموش شدن

شاخص‌ها استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار متلب (Matlab R2018a) استفاده شده است. سطح معناداری در این مطالعه $p < 0.05$ تعیین شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه به تاثیر میزان پاداش منتسب به محرک‌های بینایی بر ویژگی‌های مختلف ساکاد در تکلیف مبتنی بر ساکاد پرداختیم. پیش از محاسبه میانگین تکرارهایی از آزمایش که میزان دقت ساکاد آن‌ها بیشتر از میانگین داده‌های گروه مربوطه به اضافه سه برابر انحراف معیار (آستانه مثبت) آن گروه بود و یا میزان زمان پاسخ، بیشینه سرعت ساکاد آن‌ها بیشتر از میانگین به اضافه سه برابر انحراف معیار یا کوچکتر از میانگین منهای سه برابر انحراف معیار (آستانه منفی) داده‌های گروه مربوطه بود، از داده‌های مورد تحلیل حذف شدند. پس از اعمال این تغییرات، تعداد داده‌ها در سه گروه مختلف پاداش و برای هر یک از دو میمون به این شرح بود: میمون L میزان پاداش کم، ۶۵۲ تکرار، میزان پاداش متوسط، ۶۷۵ تکرار و میزان پاداش زیاد ۷۳۷ تکرار (۵٪ تکرارها با میزان زمان پاسخ بیشتر از آستانه مثبت و ۹٪ با زمان پاسخ کمتر از آستانه منفی، ۵٪ تکرارها با بیشینه سرعت کمتر از آستانه منفی و ۷٪ تکرارها خطای بیشتر از آستانه مثبت داشتند). میمون J میزان پاداش کم، ۷۱۵ تکرار، میزان پاداش متوسط، ۷۲۶ تکرار و میزان پاداش زیاد، ۷۲۳ تکرار (۱٪ از تکرارها زمان پاسخی بیشتر از آستانه مثبت، ۴٪ تکرارها بیشینه سرعت بیشتر از آستانه مثبت، ۱٪ بیشینه سرعت کمتر از آستانه منفی و ۲٪ تکرارها خطای بیشتر از آستانه مثبت داشتند).

با در نظر گرفتن زمان پاسخ، ساکادها در دو دسته ساکاد سریع و ساکاد کند، دسته‌بندی شدند. با توجه به شکل ۲الف که نمودار فراوانی زمان واکنش برای مقادیر مختلف پاداش را نشان می‌دهد، نمودار فراوانی دارای دو قله است که یکی از آن‌ها در حدود ۱۰۰ میلی‌ثانیه قرار دارد. به همین منظور ساکادهای سریع، ساکادهایی با زمان پاسخ کمتر یا مساوی ۱۵۰ میلی‌ثانیه و ساکادهای کند ساکادهایی با زمان پاسخ بیشتر از ۱۵۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شد. تعداد ساکادهای کند به ترتیب برای پاداش کم تا زیاد ۱۰۵۷، ۹۷۰ و ۷۸۲ بوده است.

محرک، یعنی بازه زمانی که ساکاد در آن اتفاق افتاده است، در نظر گرفته شد. برای شناسایی نقطه شروع ساکاد، میزان سرعت حرکت چشم در دو محور عمودی و افقی در هر میلی‌ثانیه محاسبه شده، اولین نقطه‌ای که در آن میزان جابجایی در هر کدام از دو محور بیشتر از ۰/۱ درجه در هر میلی‌ثانیه و سرعت در هر کدام از دو محور برای مدت حداقل ۱۰ میلی‌ثانیه بالاتر از ۷۰ درجه بر ثانیه بود به عنوان نقطه شروع ساکاد در نظر گرفته شد. همه نقاطی که از نظر زمانی بعد از نقطه شروع قرار داشته و شرایط ذکر شده را دارا بودند به عنوان نقاط مسیر حرکت ساکاد در نظر گرفته شده و آخرین نقطه به عنوان نقطه پایانی یا نقطه فرود ساکاد در نظر گرفته شد [۱۷].

زمان پاسخ

زمان پاسخ، فاصله زمانی از لحظه خاموش شدن نقطه وسط که به معنی اجازه برای حرکت چشم است تا لحظه شروع ساکاد، در نظر گرفته شده است. نقطه شروع ساکاد به روشی که در قبل توضیح داده شده است محاسبه شد (شکل ۱ب).

دقت ساکاد

برای محاسبه دقت ساکاد قدرمطلق تفاوت محل نقطه فرود ساکاد با محل نمایش مرکز محرک محاسبه شده و به عنوان دقت ساکاد و بر حسب درجه بینایی گزارش می‌شود (شکل ۱ج).

بیشینه سرعت ساکاد

برای محاسبه سرعت ساکاد میزان جابجایی چشم در مسیر ساکاد و در هر لحظه نسبت به لحظه قبل محاسبه شده و با تقسیم بر واحد زمان میزان سرعت در هر لحظه محاسبه شد، بیشترین سرعت در طول مسیر ساکاد به عنوان بیشینه سرعت ساکاد محاسبه شد (شکل ۱د).

تجزیه و تحلیل آماری

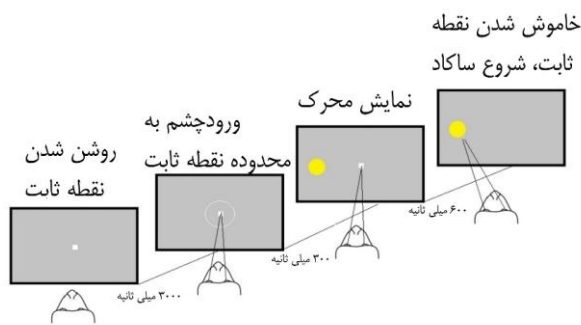
پس از انجام آزمایش و استخراج شاخصه‌های ساکاد، از آزمون واریانس سه‌راهه بادر نظر گرفتن میزان پاداش، سرعت ساکاد و میمون به عنوان متغیرهای مستقل و آزمون تعقیبی بونفرونی برای تعیین تاثیر میزان پاداش بر هر کدام از

اثر میزان پاداش بر تأخیر پاسخ

در این قسمت زمان پاسخ به محرک‌هایی با میزان متفاوت پاداش را استخراج و تأثیر میزان پاداش بر آن را در دو میمون بررسی کردیم. میانگین و انحراف معیار زمان پاسخ برای پاداش کم 96 ± 224 ، پاداش متوسط 97 ± 205 و برای پاداش زیاد 85 ± 163 میلی‌ثانیه بوده است. هرچه میزان پاداش متناسب به محرک بیشتر بوده است، میانگین تأخیر پاسخ کمتر بوده است (شکل ۲ب). براساس آنالیز واریانس سهرامه (در سه بعد مقدار پاداش x زمان پاسخ کند و سریع x میمون)، زمان پاسخ به محرک‌های با میزان پاداش مختلف متفاوت بود و افزایش میزان پاداش متناسب به محرک باعث کاهش میزان میانگین زمان پاسخ شده است $[F_{2,4223} = 33/3, p < 0/001]$ آنالیز

واریانس سهرامه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین زمان پاسخ برای دو میمون $[F_{1,4223} = 0, p > 0/05]$ بود. برای میمون L میانگین و انحراف معیار زمان پاسخ برای پاداش کم 97 ± 220 ، پاداش متوسط 103 ± 211 و برای پاداش زیاد 80 ± 188 میلی‌ثانیه بوده است. هرچه میزان پاداش متناسب به محرک بیشتر بوده است، میانگین تأخیر پاسخ کمتر بوده است (شکل ۲ب). آزمون تعقیبی بونفرونی تفاوت زمان پاسخ را برای محرکی با پاداش کم $(p < 0/05)$ و ساکاد به محرک با پاداش زیاد در مقایسه با ساکاد به محرک با پاداش متوسط $(p < 0/05)$ معنادار نشان داد درحالی‌که تفاوت در زمان پاسخ به محرک با پاداش متوسط در مقایسه با زمان پاسخ به محرک با پاداش کم، معنی‌دار نبود $(p > 0/05)$.

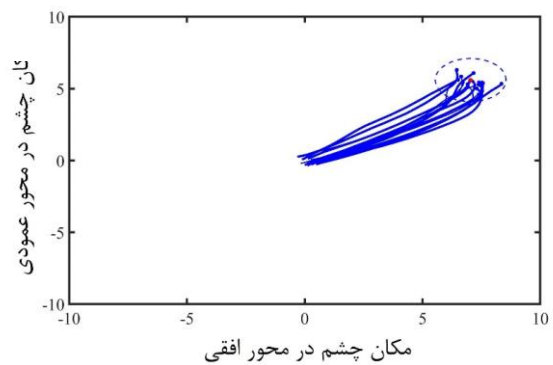
الف



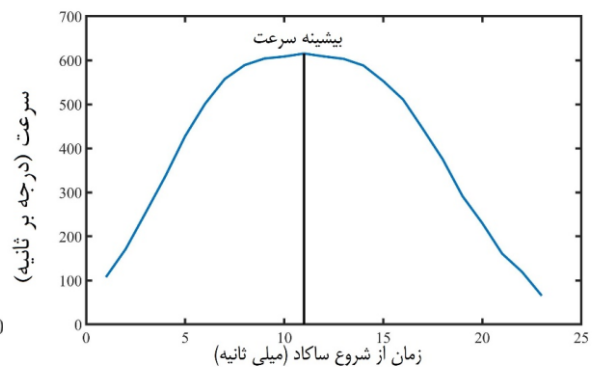
ب



ج



د

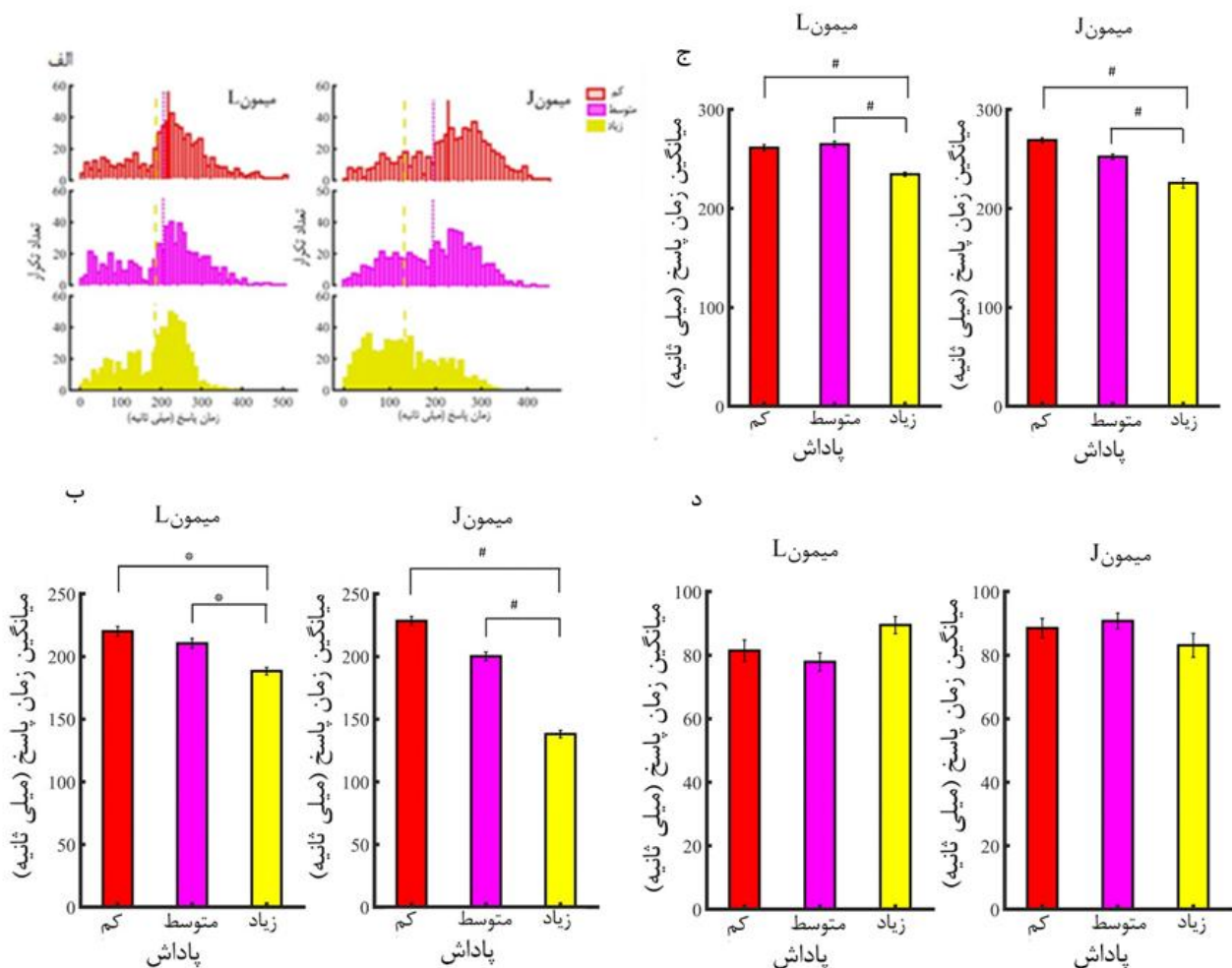


شکل ۱- زمان‌بندی تکلیف رفتاری و نمایش نحوه محاسبه شاخص‌های ساکاد: (الف) زمان‌بندی تکلیف رفتاری پس از روشن شدن نقطه وسط، ظرف مدت ۳ ثانیه حیوان باید چشم خود را روی نقطه وسط ثابت کند، پس از ۳۰۰ میلی‌ثانیه محرکی با رنگ‌های مختلف (قرمز، بنفش و یا زرد) در صفحه نمایش داده می‌شود و میمون باید ۶۰۰ میلی‌ثانیه چشم خود را بر روی نقطه وسط نگه دارد پس از آن نقطه وسط خاموش شده و میمون می‌تواند به محرک ساکاد بزند، (ب) مسیر حرکت چشم در دو محور افقی (رنگ آبی) و محور عمودی (رنگ قرمز) برحسب زاویه بینایی. لحظه شروع ساکاد بر اساس اولین لحظه‌ای که سرعت ساکاد از ۷۰ درجه بر ثانیه و جابه‌جایی از ۰/۱ درجه بیشتر شود و برای حداقل ۱۰ میلی‌ثانیه این شرایط برقرار باشد، محاسبه می‌شود، (ج) مسیر حرکت ساکادیک چشم برای چند تکرار مختلف. خطای نقطه فرود بر اساس اندازه‌گیری فاصله نقطه فرود (نقاط توپر آبی) تا مرکز محرک (نقطه قرمز رنگ) محاسبه می‌شود، (د) نمایش سرعت ساکاد در هر لحظه از شروع ساکاد. میزان سرعت براساس میزان جابه‌جایی در دو محور افقی و عمودی در هر لحظه محاسبه شده است.

۴۹ ± ۸۵ میلی ثانیه بوده است آنالیز واریانس سهراسه نشان داد تغییر در مقدار پاداش اثر متفاوتی روی ساکادهای سریع و کند دارد [$F_{2,4223} = 7/39$ ، $p < 0/001$ (پاداش × سرعت)]. آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در ساکادهای کند زمان پاسخ به محرک با پاداش زیاد و متوسط در مقایسه با زمان پاسخ به محرک با پاداش کم به صورت معناداری متفاوت است (در هر دو حالت $p < 0/001$) اما این تفاوت برای محرک با پاداش متوسط در مقایسه با پاداش کم معنی دار نبود ($p > 0/05$). برای ساکادهای سریع زمان پاسخ به محرک با پاداش زیاد، متوسط و کم تفاوت معناداری نداشت (برای همه حالتها $p > 0/05$).

برای میمون J میانگین و انحراف معیار زمان پاسخ برای مقادیر پاداش از کم به زیاد به ترتیب 228 ± 95 ، 200 ± 91 ، 200 ± 91 میلی ثانیه بوده است. و آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که تفاوت زمان پاسخ برای ساکاد به محرک با میزان ساکاد به محرک با میزان پاداش زیاد در مقایسه با ساکاد به محرک با میزان پاداش زیاد در مقایسه با ساکاد به محرک با میزان پاداش کم و متوسط معنادار است (در هر دو حالت $p < 0/001$) ولی تفاوت زمان پاسخ به محرک با میزان پاداش کم نسبت به محرک با پاداش متوسط معنادار نبود ($p > 0/05$).

در ساکادهای کند (شکل ۲) میانگین زمان پاسخ برای پاداش کم 265 ± 64 ، پاداش متوسط 258 ± 62 و پاداش زیاد 231 ± 46 و در ساکادهای سریع 85 ± 39 ، 85 ± 40 و



شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف پاداش بر زمان پاسخ ساکادیک چشم میمون. (الف) نمودار پراکندگی زمان پاسخ برای دو میمون مختلف برای مقادیر مختلف پاداش (از بالا به پایین به ترتیب پاداش کم، متوسط و زیاد)، (ب) میانگین زمان پاسخ برای همه ساکادها برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (ج) میانگین زمان پاسخ برای ساکادهای کند برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (د) میانگین زمان پاسخ برای ساکادهای سریع برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش. *: تفاوت معنی دار بین دو گروه با $p < 0/05$ و #: تفاوت معنی دار بین دو گروه با $p < 0/001$. ستون‌ها: میانگین ± خطای استاندارد.

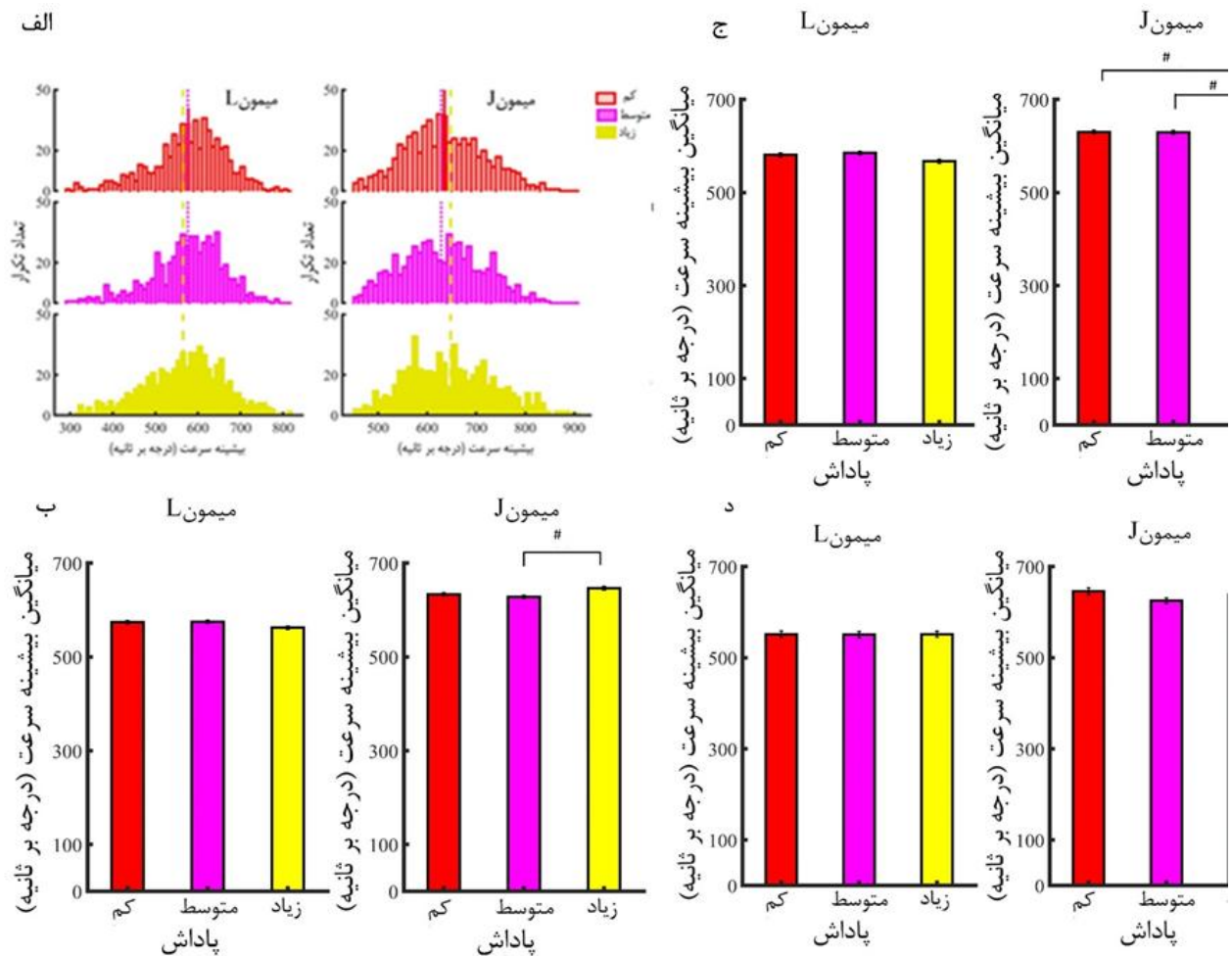
مقایسه میانگین زمان پاسخ ساکادهای سریع برای مقادیر مختلف پاداش در میمون L (شکل ۲) روند مشخصی را نشان نمی‌دهد، میانگین زمان پاسخ برای پاداش‌های کم تا زیاد به ترتیب 41 ± 81 ، 40 ± 78 و 41 ± 89 میلی‌ثانیه است. آنالیز واریانس یک‌راهه برای این داده‌ها تفاوت معنی‌داری بین میانگین زمان پاسخ در سه مقدار مختلف پاداش را نشان می‌دهد ($p < 0.05$). آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد زمان پاسخ در ساکاد به محرک با میزان پاداش زیاد نسبت به ساکاد به محرک با میزان پاداش متوسط به‌طور معناداری متفاوت است ($p < 0.05$)، اما تفاوت زمان پاسخ در ساکاد به محرک با میزان پاداش متوسط نسبت به ساکاد به محرک کم و ساکاد به محرک با پاداش زیاد نسبت به محرک با پاداش کم معنی‌دار نبود (در هر دو حالت $p > 0.05$). برای میمون J نیز در ساکادهای سریع (شکل ۲)، روند تغییر میزان پاسخ به‌ازای افزایش میزان پاداش کاهشی بوده است. میانگین زمان پاسخ برای انتخاب محرک با پاداش کم تا زیاد به ترتیب 39 ± 88 ، 38 ± 90 و 40 ± 83 میلی‌ثانیه بوده است. تفاوت زمان پاسخ در میزان پاداش مختلف بر اساس آنالیز واریانس یک‌راهه معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

۹۳ ± 607 و 94 ± 606 و در ساکادهای سریع 108 ± 608 ، 104 ± 590 و 104 ± 600 درجه بر ثانیه بود، از طرفی بیشینه سرعت [$F_{1,4223} = 509/7$, $p < 0/001$] و اثر مقدار پاداش بر بیشینه سرعت در دو میمون متفاوت بود [$F_{2,4223} = 7/74$, $p < 0/001$]. برای میمون L بیشینه سرعت به‌ترتیب از پاداش کم به زیاد 95 ± 574 ، 92 ± 575 و 104 ± 562 و برای میمون J به ترتیب 88 ± 633 ، 94 ± 628 و 98 ± 646 درجه بر ثانیه بوده است.

آزمون تعقیب بونفرونی در میمون L نشان داد بیشینه سرعت در مقادیر مختلف پاداش تفاوت معناداری با یکدیگر نداشت (برای همه حالت‌ها $p > 0.05$). برای میمون J بیشینه سرعت در ساکاد به محرک با میزان پاداش زیاد در مقایسه با ساکاد به محرک با میزان پاداش متوسط به‌طور معناداری بیشتر بود ($p < 0.001$) در حالیکه بیشینه سرعت در ساکاد به محرک با پاداش متوسط در مقایسه با محرک با پاداش کم تفاوت معناداری نداشت ($p > 0.05$). در ساکادهای کند (شکل ۳) برای میمون L میانگین بیشینه سرعت در میزان پاداش کم تا زیاد به ترتیب 96 ± 581 ، 88 ± 585 و 104 ± 567 درجه بر ثانیه بود که تغییر در میزان پاداش تفاوت معناداری در بیشینه سرعت ایجاد نکرد ($p > 0.05$). در میمون J میانگین بیشینه سرعت به ترتیب برای مقادیر پاداش کم تا زیاد برابر 85 ± 630 ، 94 ± 629 و 97 ± 659 درجه بر ثانیه بود. آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که بیشینه سرعت در ساکاد به محرک با پاداش زیاد نسبت به محرک با پاداش کم و محرک با پاداش متوسط به‌طور معناداری افزایش یافت ($p < 0.001$) ولی بیشینه سرعت ساکاد در پاداش متوسط نسبت به پاداش کم معنادار نبود ($p > 0.05$). مقدار بیشینه سرعت ساکاد در ساکادهای سریع (شکل ۳) برای میمون L برای پاداش کم تا زیاد به ترتیب 88 ± 551 ، 99 ± 550 و 103 ± 551 درجه بر ثانیه بود که در مقادیر مختلف پاداش تفاوت معناداری نداشت ($p > 0.05$). برای میمون J بیشینه سرعت ساکاد در سرعت ساکاد در ساکادهای سریع برای مقادیر پاداش کم تا زیاد به ترتیب 98 ± 646 ، 96 ± 626 و 99 ± 638 در ($p > 0.05$).

اثر میزان پاداش بر بیشینه سرعت ساکاد

شکل ۳ الف پراکندگی بیشینه سرعت و شکل ۳ ب میانگین بیشینه سرعت ساکاد به محرک‌هایی با میزان پاداش متناسب متفاوت را در دو میمون به‌صورت جداگانه نمایش داده است که میانگین برای هر دو میمون 96 ± 605 ، 97 ± 602 و 109 ± 603 درجه بر ثانیه بوده است و آنالیز واریانس سه‌راهه (در سه بعد مقدار پاداش X زمان پاسخ کند و تند X میمون)، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بیشینه سرعت ساکاد در مقادیر پاداش مختلف است [$F_{2,4223} = 1/39$, $p > 0.05$]. باتوجه‌به آنالیز واریانس سه‌راهه بیشینه سرعت در ساکادهای کند و سریع متفاوت بود [$F_{1,4223} = 20/43$, $p < 0.001$]، میانگین بیشینه سرعت در ساکادهای کند 108 ± 605 و در ساکادهای سریع 106 ± 601 درجه بر ثانیه بود اثر مقدار پاداش بر بیشینه سرعت در ساکادهای کند و سریع متفاوت نبود [$F_{2,4223} = 1/32$, $p > 0.05$] میانگین بیشینه سرعت در پاداش زیاد تا کم به ترتیب در ساکادهای کند 110 ± 560 ،



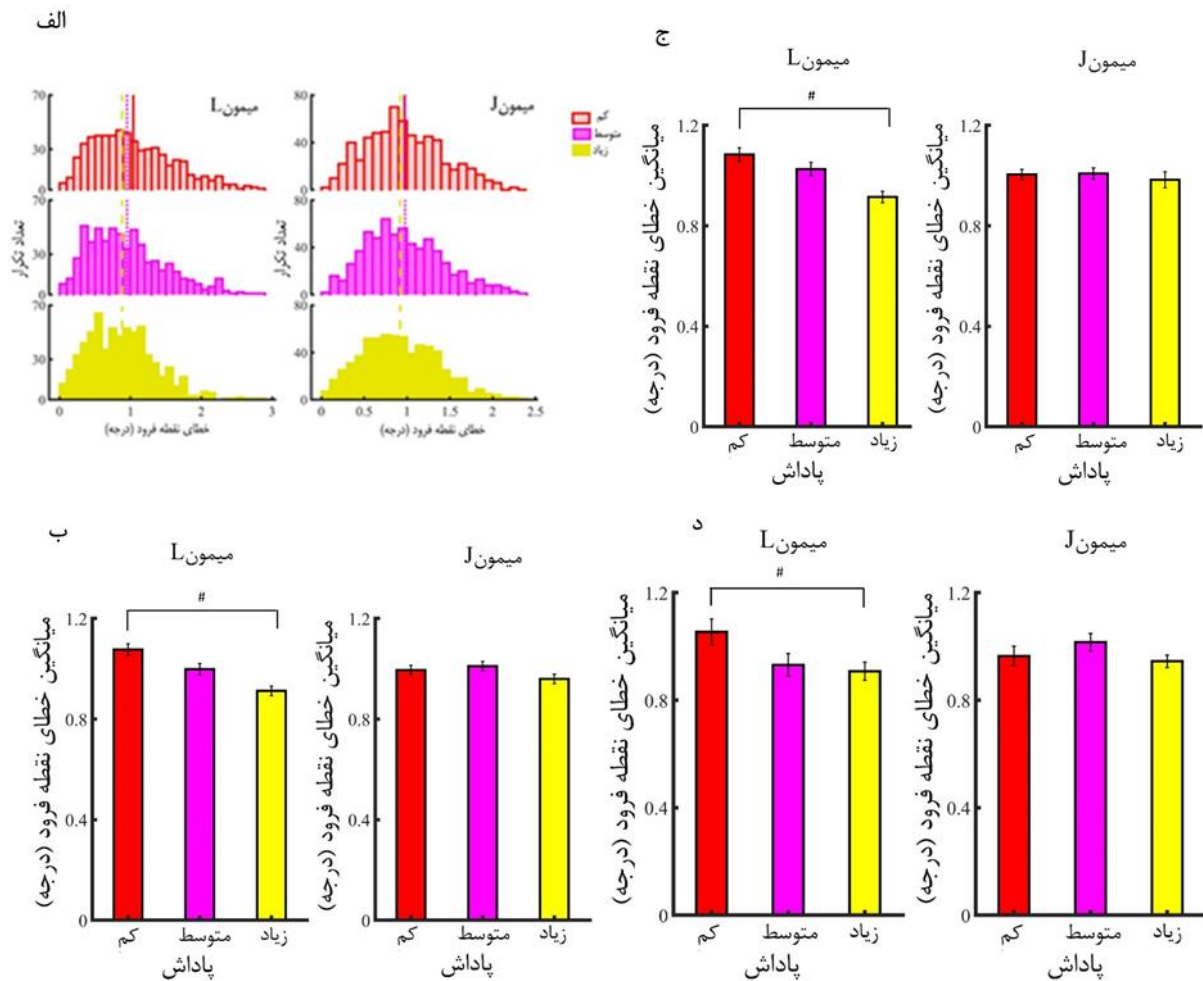
شکل ۳- تأثیر مقادیر مختلف پاداش بر بیشینه سرعت ساکاد در میمون. (الف) نمودار پراکندگی بیشینه سرعت برای دو میمون مختلف برای مقادیر مختلف پاداش (از بالا به پایین به ترتیب پاداش کم، متوسط و زیاد)، (ب) میانگین بیشینه سرعت برای همه ساکادها برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (ج) میانگین بیشینه سرعت برای ساکادهای کند برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (د) میانگین بیشینه سرعت برای ساکادهای سریع برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش. #: تفاوت معنی دار بین دو گروه با $p < 0.001$. ستون‌ها: میانگین \pm خطای استاندارد.

اثر میزان پاداش بر دقت ساکاد

شکل ۴ الف پراکندگی خطای ساکاد و شکل ۴ ب میانگین خطای ساکاد را برای سه مقدار مختلف پاداش و دو میمون مختلف نشان می‌دهد، این میزان برای میمون L به ترتیب از پاداش کم به زیاد 0.6 ± 0.07 ، 0.59 ± 0.099 و 0.5 ± 0.091 و برای میمون J به ترتیب 0.47 ± 0.099 ، 0.49 ± 0.101 و 0.48 ± 0.095 درجه بود.

آنالیز واریانس سهرابه حاکی از این بود که بین دو میمون دقت ساکاد متفاوت نیست [$F_{1,4223} = 0.01$, $p > 0.05$]. همچنین دقت در ساکادهای کند (شکل ۴ ج) و سریع (شکل ۴ د) تفاوت معنی داری ندارد [$F_{1,4223} = 3/49$, $p > 0.05$]. البته

همان‌طور که در شکل نشان داده میزان خطای نقطه فرود ساکاد برای مقادیر مختلف پاداش متفاوت است [$F_{2,4223} = 8/39$, $p < 0.001$]. آنالیز واریانس سهرابه نشان‌دهنده اثر متفاوت پاداش بر دقت ساکاد در دو میمون می‌باشد [$F_{2,4223} = 5/1$, $p < 0.05$]. برای میمون L آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد خطای نقطه فرود در ساکاد به محرکی با میزان پاداش زیاد در مقایسه با ساکاد به محرک با میزان پاداش کم در کاهش معنی داری داشته است ($p < 0.001$). برای میمون J خطای نقطه فرود در حالت‌های مختلف پاداش متفاوت نبود ($p > 0.05$).



شکل ۴- تأثیر مقادیر مختلف پاداش بر میانگین خطای نقطه فرود ساکاد میمون. (الف) نمودار پراکندگی خطای نقطه فرود برای دو میمون مختلف برای مقادیر مختلف پاداش (از بالا به پایین به ترتیب پاداش کم، متوسط و زیاد)، (ب) میانگین خطای نقطه فرود برای همه ساکادها برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (ج) میانگین خطای نقطه فرود برای ساکادهای کند برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش، (د) میانگین خطای نقطه فرود برای ساکادهای سریع برای دو میمون مختلف در مقادیر متفاوت پاداش. #: تفاوت معنی‌دار بین دو گروه با $p < 0.001$. ستون‌ها: میانگین \pm خطای استاندارد.

بحث

براساس آنچه در قسمت یافته‌های این پژوهش ذکر شد، تغییر در میزان پاداش باعث تغییر در میزان زمان پاسخ به محرک شد. افزایش میزان پاداش متناسب به یک محرک باعث کاهش زمان پاسخ به آن محرک می‌شود که با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های مشابه گذشته که در آن‌ها زمان پاسخ به محرک حاوی پاداش، کمتر از زمان پاسخ به محرک بدون پاداش بود همسو بوده است [۱۸-۲۴]. عدم تفاوت میان یافته‌های حاصل از دو میمون، نشان‌دهنده تأثیر یکسان پاداش در هردو حیوان است. از آنجایی که مکانیزم تولید و کنترل ساکادهای سریع و کند در مغز متفاوت است، تأثیر میزان پاداش

بر هر کدام از این دو دسته به صورت جداگانه هم مورد بررسی قرار گرفت. تغییر میزان پاداش در زمان پاسخ ساکادهای سریع تغییری ایجاد نکرد در حالی که افزایش میزان پاداش متناسب به محرک در ساکادهای کند باعث کاهش زمان پاسخ به آن محرک می‌شود که با یافته‌های پیشین همسو است [۲۱]. در این مطالعه، بر خلاف مطالعات مشابه که در نخستین انجام شده و در آن‌ها میزان پاداش محرک بین دو مقدار بدون پاداش و با پاداش تغییر می‌کند، میزان پاداش در سه سطح کم و متوسط و زیاد متفاوت بود و نتایج نشان داد نحوه تغییر زمان پاسخ تابع میزان پاداش متناسب به محرک است. این تفاوت رویکرد در ساکادهای سریع و کند می‌تواند ناشی از عدم دسترسی قسمت‌های درگیر در تولید ساکادهای سریع به

محدودتر شده است این جابه‌جایی محدود باعث کاهش تفاوت میانگین‌ها و در نتیجه عدم معناداری آنالیز واریانس بشود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تغییر در میزان پاداش متناسب به یک محرک پاسخ‌دهی به آن محرک را سریع‌تر می‌کند و به‌نظر می‌رسد سیستم درگیر در فعالیت ساکادیک سریع به داده‌های مربوط به میزان پاداش محرک‌ها دسترسی ندارد زیرا این تغییر زمان پاسخ متناسب با میزان پاداش در ساکادهای کند اتفاق می‌افتد.

سپاسگزاری

نویسندگان سپاسگزار صندوق حمایت از پژوهشگران و دانشگاه فردوسی بخاطر حمایتشان از این تحقیق حمایت می‌باشند.

ملاحظات مالی

این پروژه با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد از رساله دکتری فاطمه دیده‌ور و حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران کشور از طرح پژوهشی با کد ۹۶۰۰۳۵۶۸ انجام شده است.

تعارض در منافع

نویسندگان این مقاله تعارض در منافع ندارند.

نقش نویسندگان

ف.د. طراحی آزمایشات، جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها و نگارش مقاله؛ ع.ا. طراحی آزمایشات، طراحی و آنالیز داده‌ها و نگارش مقاله.

فهرست منابع

- [1] Shepherd M, Findlay JM, Hockey RJ, The relationship between eye movements and spatial attention. *Q J Exp Psychol A* 38 (1986) 475-491.
- [2] Jonikaitis D, Klapetek A, Deubel H, Spatial attention

اطلاعات میزان پاداش متناسب به محرک‌ها باشد. البته تفاوت در مورد عدم تأثیر میزان پاداش بر زمان پاسخ در ساکادهای سریع باید با احتیاط صورت گیرد. از آنجاکه افزایش مقادیر پاداش می‌تواند باعث تسریع در زمان پاسخ ساکادهای کند شود و آن‌ها را جزو ساکادهای سریع دسته‌بندی کند در مجموع می‌تواند منجر به عدم تغییر در میانگین زمان پاسخ ساکادهای سریع با افزایش پاداش شود.

تغییر بیشینه سرعت ساکاد در دو میمون روند یکسانی نداشت. اگرچه افزایش میزان پاداش متناسب به محرک باعث افزایش میزان سرعت در میمون L شد اما عدم تغییر در سرعت ساکاد با تغییر میزان پاداش در میمون L با یافته‌های مطالعات پیشین [۲۴، ۲۲، ۲۱، ۱۸] همسو نیست. این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت بین فردی یا تفاوت در مکانیزم تصمیم‌گیری دو حیوان باشد. علاوه بر این میزان ادراک هر حیوان از میزان پاداش متناسب به محرک منحصر به فرد است که می‌تواند باعث تفاوت در نتایج باشد. در مطالعه‌ای تأثیر طول ساکاد بر تغییر سرعت ناشی از تفاوت میزان پاداش نشان داد که هرچه طول ساکاد بیشتر باشد این تفاوت سرعت کمتر است [۲۳]. با توجه به این که محل نمایش محرک‌ها و در نتیجه طول ساکاد برای روزهای مختلف متفاوت بوده است این عامل هم می‌تواند دلیلی برای عدم همسویی داده‌های این تحقیق با مطالعات گذشته باشد.

با وجود این که میزان خطا برای هردو حیوان با افزایش میزان پاداش متناسب به محرک کاهش یافت اما این افزایش دقت تنها برای میمون L معنادار بود که همسو با مطالعات گذشته است [۱۸]. این تفاوت علاوه بر تفاوت‌های فردی می‌تواند به دلیل تفاوت در نحوه آموزش حیوان باشد. میمون L قبل از آموزش در این تکلیف رفتاری در تکلیف دیگری آموزش دیده بود که در آن میزان فضای مجاز اطراف محرک برای ساکادزدن محدودتر از این تکلیف بود به همین دلیل ممکن است میزان جابه‌جایی نقطه فرود ساکاد برای این حیوان

during saccade decisions. *J Neurophysiol.* 118 (2017) 149-160.

- [3] Theeuwes J, Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychol (Amst)* 135 (2010) 77-99.
- [4] Awh E, Belopolsky AV, Theeuwes J, Top-down versus bottom-up attentional control: a failed theoretical dichotomy. *Trends Cogn Sci* 16 (2012) 437-443.

- [5] Anderson BA, Laurent PA, Yantis S, Value-driven attentional capture. *Proc Natl Acad Sci USA* 108 (2011) 10367–10371.
- [6] Anderson BA, A value-driven mechanism of attentional selection. *J Vis* 13 (2013) 7.
- [7] Ikeda T, Hikosaka O, Reward-dependent gain and bias of visual responses in primate superior colliculus. *Neuron* 39 (2003) 693-700.
- [8] Isoda M, Hikosaka O, A neural correlate of motivational conflict in the superior colliculus of the macaque. *J Neurophysiol* 3 (2008) 1332-1342.
- [9] Platt M, Glimcher PW, Neural correlates of decision variables in parietal cortex. *Nature* 400 (1999) 233-238.
- [10] Bourgeois A, Sterpenich V, Iannotti GR, Vuilleumier P, Reward-driven modulation of spatial attention in the human frontal eye-field. *NeuroImage* 247 (2022) 118846.
- [11] Griggs WS, Amita H, Gopal A, Hikosaka O, Visual neurons in the superior colliculus discriminate many objects by their historical values. *Front Neurosci* 12 (2018) 396.
- [12] Libera CD, Chelazzi L, Visual selective attention and the effects of monetary rewards. *Psychol Sci* 17 (2006) 222-227.
- [13] Theeuwes J, Belopolsky AV, Reward grabs the eye: Oculomotor capture by rewarding stimuli. *Vision Res* 74 (2012) 80-85.
- [14] Hickey C, Zoest W, Reward creates oculomotor saliency. *Curr Biol* 22 (2012) 219-220.
- [15] Liao MR, Anderson BA, Reward learning biases the direction of saccades. *Cognition* 196 (2020) 104145.
- [16] Erik M, Summerside ME, Shadmehr R, Ahmed AA, Vigor of reaching movements: reward discounts the cost of effort. *J Neurophysiol* 119 (2018) 2347-2357.
- [17] Schafer RJ, Moore T, Attention governs action in the primate frontal eye field. *Neuron* 56 (2007) 541-551.
- [18] Takikawa Y, Kawagoe R, Itoh H, Modulation of saccadic eye movements by predicted reward outcome. *Exp Brain Res* 142 (2002) 284–291.
- [19] Dunne S, Ellison A, Smith DT, Rewards modulate saccade latency but not exogenous spatial attention. *Front Psychol* 6 (2015) 1080.
- [20] Shams-Ahmar M, Their P, Differential Effects of Value and Saliency on Saccade Latencies. *bioRxiv* (2020) under review.
- [21] Xu-Wilson M, Zee DS, Shadmehr R, The intrinsic value of visual information affects saccade velocities. *Exp Brain Res* 4 (2009) 475–481.
- [22] Chen LL, Chen YM, Zhou W, Mustain WD, Monetary reward speeds up voluntary saccades. *Front Integr Neurosci* 8 (2014) 48.
- [23] Chen L, Hung L, Quinet J, Kosek K, Cognitive regulation of saccadic velocity by reward prospect. *Eur J Neurosci* 38 (2013) 2434-2444.
- [24] Tehrim Y, Jaleel A, Ahmed A, Shadmehr R, Saccade vigor and the subjective economic value of visual stimuli. *J Neurophysiol* 123 (2020) 2161-2172.

Research paper

Investigating the effect of reward on saccadic eye movement parameters in macaque monkeys

Fatemeh Didehvar, Ali Asadollahi*

Department of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 18 February 2022

Accepted: 25 April 2022

Abstract

Background and Aim: One of the most effective factors in control of attention is the amount of reward associated with the target stimulus. The aim of this study was to investigate effects of different reward magnitudes on saccadic eye movement parameters as a behavioral index of attention.

Methods: We used two male macaque monkeys in a saccadic behavioral task. Monkeys trained to saccade to a presented stimulus that was associated with low, medium, or high reward magnitudes. For two monkeys, latency, peak velocity and accuracy of saccades in two separate groups (fast and slow) in three reward regimes were analyzed using three ways ANOVA and Bonferroni post-hoc tests.

Results: Latency of the saccades to stimuli associated with higher reward magnitude was lower compared to latency of saccades to the stimuli associated with smaller reward magnitudes. The saccades were more accurate when targeting stimuli associated with higher reward magnitudes than targeting low reward stimuli. Changes in the reward associated with the saccadic targets did not consistently affect the saccadic peak velocity.

Conclusion: The reward associated with saccadic target stimuli resulted in a decrease in saccadic reaction times and improvement in accuracy of saccades, with inconsistent effects on saccade velocity. Our observations are consistent with current literature showing value as a main component in guiding attention.

Keywords: Reward, Reaction Time, Saccade

Please cite this article as follows:

Didehvar F, Asadollahi A, Investigating the effect of reward on saccadic eye movement parameters in macaque monkeys. *Iran J Physiol Pharmacol* 6 (2022) 61-72.

*Corresponding author: asadollahia@um.ac.ir (ORCID: 0000-0002-7915-6846)