



آینه های درون ذهن؟

نورون های آینه ای الگوها و قالب هایی برای اعمال خاصی را رمزنگاری می کنند. این خاصیت به فرد اجازه می دهد، نه تنها عملکردهای پایه را بدون فکر کردن انجام دهد، بلکه آن اعمال را هنگام مشاهده درک کند. جان عمل مری را درک می کند، زیرا زمانی که عمل در برابر او در حال اجراست، در مغز او هم در حال روی دادن است. جالب است که فیلسوفان از مدت ها پیش در مبحث پدیده شناسی عنوان کرده بودند که شخص باید یک عمل را درون خود تجربه کند تا بتواند آن را درک کند. ولی برای دانشمندان عصب شناس، کشف پایه ی فیزیکی این اندیشه در نورون های آینه ای، تغییری مهیج در ادراک ما از چگونگی درک پدیده هاست.

شناخت آنی

گروه ما در حال بررسی قشر حرکتی، به خصوص قسمتی از آن بود که F۵ نام دارد

با این که این عملکردهای قیاسی پیچیده در شرایط خاصی اتفاق می افتند، به خصوص شرایطی که رفتار شخصی قابل درک نباشد، ولی راحتی و سرعتی که ما این گونه رفتارهای ساده را درک می کنیم، بیش تر از سایر موارد است. در اوایل دهه ی ۹۰، گروه تحقیقاتی ما در دانشگاه پارمای ایتالیا جواب را به طور تصادفی یافت. این جواب در گروهی از نورون های مغز میمون که هنگام انجام اعمال ساده، مانند گرفتن یک تکه میوه، فعالیت را آغاز می کنند، کشف شد. شگفت انگیز این بود که این نورون ها هنگام مشاهده ی فرد دیگری در حین انجام همان کار، نیز فعالیت را شروع می کردند. نورون های یاد شده به این علت که عملکرد دیگران را در مغز منعکس می کنند، «نورون های آینه ای» نام گرفتند. بسیاری از مدارهای نورون ها، خاطره های خاصی را در مغز ذخیره می کنند. به نظر می آید، مجموعه هایی از

جان به مری نگاه می کند. مری گلی را در دست می گیرد. جان می داند که مری در حال انجام چه کاری است؛ در حال چیدن گل. جان می داند که او برای چه دارد این کار را می کند؛ مری در حال لبخند زدن به اوست. جان حدس می زند که مری گل ها را به او خواهد داد. این صحنه ی ساده چند لحظه بیش تر طول نمی کشد. درک جان از اتفاق در حال وقوع آنی است. ولی او چگونه عمل و قصد مری را بدون هیچ زحمتی، درک می کند؟

یک دهه ی قبل، بیش تر عصب شناسان و روان شناسان، درک شخص از عمل دیگران را به استدلالی سریع و متفاوت با حل مسائل منطقی نسبت می دادند. ماشین پیچیده ی ادراک کننده در مغز جان، اطلاعات دریافتی از حواس او را بررسی و با تجربه های قبلی ذخیره شده مقایسه می کند و به این ترتیب، جان را از قصد و عمل مری آگاه می سازد.

و با حرکت دست و پا ارتباط دارد. هدف از این بررسی دریافت چگونگی رمزنگاری فرمان برای اجرای یک سلسله اعمال توسط الگوی شروع به کار نورون‌ها بود. ما برای این کار فعالیت نورون‌ها را به صورت تکی در مغز میمون «ماکاک» ثبت می‌کردیم. آزمایشگاه ما فهرست کاملی از محرک‌ها را برای کنش‌های متفاوت مغز میمون در اختیار داشت. ما می‌توانستیم تخلیه‌ی بار مجموعه‌های متفاوتی از نورون‌ها را در زمان اجرای اعمال حرکتی خاصی ببینیم.

حین کار متوجه چیز عجیبی شدیم. وقتی یک میمون از ما مقداری غذا در دست گرفت، نورون‌های میمون به همان صورت که انگار خود میمون غذا را می‌گیرد، کنش را آغاز کرد. ابتدا فکر کردیم، شاید این اتفاق به حرکتی مشاهده نشده از طرف میمون، هنگامی که عمل ما را می‌بیند، مربوط باشد. هنگامی که موفق شدیم، انتظار غذا توسط میمون را حذف کنیم، متوجه شدیم که الگوی عمل نورون در مورد این مشاهده یک تجسم واقعی از خود عمل در مغز، بدون توجه به فاعل عمل است.

هنگام تحقیقات زیستی، سرراست ترین راه برای بررسی اثر یک ژن، یک پروتئین یا گروهی از سلول‌ها، حذف آن و بررسی نقص در سلامت جاندار، بعد از آن است. در این جا نمی‌توانستیم از این روش در بررسی اثر نورون‌های آینه‌ای استفاده کنیم، زیرا در مناطق مهمی در دو سمت مغز پراکنده بودند. این مناطق شامل مناطقی چون قشر پیش حرکتی^۲ و آهیانه‌ای^۳ بودند. از بین بردن نورون‌های آینه‌ای، نقص مغزی گسترده‌ای در میمون به وجود می‌آورد و باعث می‌شد، اثر مورد نظر ما غیر قابل تشخیص باشد.

بنابراین راهبرد دیگری را به کار گرفتیم. برای آزمایش این که آیا نورون‌های آینه‌ای فقط به عنوان ثبت کننده‌ی دیداری اطلاعات عمل می‌کنند یا در درک عمل هم نقش دارند، عکس العمل نورون‌ها را زمانی که

میمون می‌توانست یک عمل را بدون دیدن درک کند، تعیین کردیم. با چنین استنباطی، اگر نورون‌های آینه‌ای واقعاً در درک تأثیر داشتند، آن وقت فعالیت آن‌ها بیش تر منعکس کننده‌ی معنا بود تا ویژگی‌های بصری. بنابراین دو مجموعه آزمایش انجام دادیم.

آزمایش اول برای بررسی این بود که آیا نورون‌های آینه‌ای F5 می‌توانند صرفاً صدا را تشخیص دهند. ما فعالیت نورون‌های آینه‌ای را هنگامی که حرکتی با دست، مانند پاره کردن کاغذ یا شکاندن پوست آجیل، را می‌دیدند، ثبت کردیم. این حرکات با صدای مشخصی همراه هستند. سپس میمون را تنها در معرض صدای این حرکات قرار دادیم. نتیجه این شد که بسیاری از نورون‌های آینه‌ای F5 که به مشاهده بصری حرکت به همراه صدا پاسخ داده بودند، به صدای تنها نیز پاسخ دادند. بدین ترتیب این زیر مجموعه‌ی سلولی را نورون‌های آینه‌ای شنیداری-بینایی^۴ نامیدیم.

ثوری ما این بود که اگر نورون‌های آینه‌ای واقعاً در درک یک عمل دخالت دارند، پس باید هنگامی که میمون حرکت را نمی‌بیند، ولی سر نخ‌های کافی برای تجسم ذهنی آن حرکت را دارد، باز هم تخلیه‌ی بار در آن‌ها صورت گیرد. بنابراین، میمون ابتدا آزمایشگر را دید که دستش را دراز می‌کند و یک تکه غذا را در دست می‌گیرد. سپس یک صفحه جلوی میمون قرار گرفت، به طوری که نمی‌توانست دست آزمایشگر را در حال گرفتن غذا ببیند، ولی می‌توانست نتیجه‌ی عمل را حدس بزند. به هر حال، بیش از نیمی از نورون‌های آینه‌ای F5، هنگامی که میمون فقط می‌توانست رخداد پشت صفحه را تصور کند، تخلیه‌بار داشتند.

آزمایش‌ها تأیید کردند که فعالیت نورون‌های آینه‌ای در درک اعمال حرکتی دخالت دارند: درک یک عمل با محرک‌های غیر بینایی، مانند صدا یا تجسم ذهنی زمانی

ممکن است که این محرک‌ها موجب تخلیه‌ی بار نورون‌های آینه‌ای شوند.

پس از این کشف در مغز میمون، این موضوع بررسی شد که آیا نورون‌های مذکور در مغز انسان هم وجود دارند یا خیر. ابتدا از طریق آزمایش‌هایی که براساس روش‌های نمایان سازی تغییرات فعالیت قشر حرکتی بودند، شواهد محکمی به دست آوردیم که نشان می‌دادند، انسان نیز دارای نورون‌های آینه‌ای است. هنگامی که داوطلبان، آزمایشگری را می‌دیدند که اشیایی را در دست می‌گرفت، یا حرکات بی‌معنایی را با دست انجام می‌داد، فعال سازی نورون‌ها در دست یا ماهیچه‌های دست افزایش می‌یافت و این فعالیت‌ها به همان حرکات مربوط می‌شد. این موضوع، واکنش یک نورون آینه‌ای را در بخش حرکتی مغز پیشنهاد می‌کرد. پژوهش‌های بعدی با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری فعالیت قشر مغز از خارج، مانند الکتروانسفالوگراف^۵ نیز، وجود یک سیستم نورون آینه‌ای را در مغز انسان نشان می‌داد. ولی هیچ کدام از این فناوری‌ها، اجازه‌ی شناسایی مناطق دقیق مغزی را که هنگام مشاهده فعال می‌شدند، به ما ندادند. بنابراین برای بررسی این پرسش به روش تصویربرداری مستقیم روی آوردیم. در این آزمایشات که در بیمارستان سن رافائل در میلان انجام شد، ما از دستگاه PET^۶ استفاده کردیم و فعالیت نورونی در مغز داوطلبان را، هنگامی که عمل در دست گرفتن را می‌دیدند، ثبت کردیم. داوطلبان در گروه شاهد، فقط اشیای ثابت را می‌دیدند. در این شرایط، دیدن اعمالی که به وسیله‌ی افراد دیگر انجام می‌شد، سه منطقه‌ی مهم قشر مغزی را فعال می‌کرد. یکی از این مناطق، منطقه‌ی STS^۷ بود. این منطقه نورون‌هایی دارد که به مشاهده‌ی حرکات قسمت‌های متفاوت بدن واکنش می‌دهند. دو قسمت دیگر IPL^۸ و IFG^۹ هستند که به ترتیب با مناطق IPL و قشر پیش حرکتی شکمی^{۱۰} (شامل F5) میمون

متناظرند.

نتایج به دست آمده، پیشنهاددهنده‌ی یک سیستم نورون‌آینه‌ای در مغز انسان بود، ولی به صورت کامل مفاد آن را روشن نمی‌کرد. اگر نورون‌های آینه‌ای اجازه می‌دادند که یک عمل دیده‌شده به صورت مستقیم و توسط تجربه درک شود، این سؤال پیش می‌آمد که تا چه حدی هدف نهایی یک عمل، جزئی از درک آن است.

از روی عمل

برمی‌گردیم به مثال خودمان در مورد جان و مری. گفتیم که جان می‌داند، مری می‌خواهد شاخه‌گلی را بچیند و به او بدهد. لبخند مری، به جان سرنخی در مورد قصد او می‌دهد. در این شرایط، آگاهی جان از قصد مری، برای درک جان از قصد او بنیادی است، زیرا دادن گل به او پایان‌دهنده‌ی حرکتی است که عمل او را تشکیل می‌دهند.

وقتی خودمان این گونه رفتارها را بروز می‌دهیم، در واقع سلسله‌ای از اعمال حرکتی به هم پیوسته را انجام می‌دهیم که ترتیب آن‌ها، توسط هدف ما تعیین می‌شود. طی یک سلسله از اعمال، گلی چیده و برای بوییدن به سمت بینی برده می‌شود، ولی یک مجموعه حرکات که تا حدی متفاوت‌اند، گلی را می‌چینند و به دست فرد دیگری می‌دهند. بنابراین، گروه ما بررسی این موضوع را آغاز کرد که: آیا نورون‌های آینه‌ای می‌توانند، باعث درک قصد نهایی با قائل شدن تمایز بین اعمال مشابه با هدف‌های یکسان شوند یا خیر؟

به این منظور، باز هم برای ثبت فعالیت نورون‌های آینه‌ای تحت شرایط متفاوت، به سراغ میمون‌هایمان رفتیم. در دسته‌ای از این آزمایشات، میمونی باید یک تکه غذا را می‌گرفت و به طرف دهان می‌برد. در آزمایش دیگری، میمون همان جسم را می‌گرفت و درون یک ظرف قرار می‌داد. با شکفتی بسیار دریافتیم، بسیاری از نورون‌ها

براساس هدف نهایی هنگام گرفتن جسم، به طرز متفاوتی تخلیه‌ی بار داشتند. این مدارک نشان می‌داد که سیستم حرکتی در زنجیره‌های نورونی متفاوتی دسته‌بندی شده‌اند که هر کدام هدف مشخصی را رمزنگاری می‌کنند. سپس این سؤال مطرح شد که: آیا ساز و کار مورد بحث توضیح می‌دهد که ما چگونه هدف دیگران را می‌فهمیم یا خیر؟

ما همان نورون‌هایی را که در گرفتن دخالت داشتند، برای تشخیص خواص آینه‌ای آن‌ها آزمایش کردیم. برای این کار میمون، یک آزمایشگر را در حال انجام همان حرکتی که خودش قبلاً انجام داده بود، مشاهده می‌کرد. هر بار، نورون‌های آینه‌ای بیش‌تری به طرز متفاوتی فعال می‌شدند و بستگی به این داشت که آزمایشگر غذا را به دهان می‌برد یا در ظرف قرار می‌دهد. الگوی شلیک در مغز میمون دقیقاً با همان حالتی که خود میمون عمل را انجام می‌داد، یکسان بود. نورون‌هایی که در زمان در دهان گذاشتن، فعالیت بیش‌تری داشتند، در زمان دیدن آن عمل هم بیش‌تر فعالیت نشان می‌دادند.

به نظر می‌آید، ارتباط محکمی بین سازمان‌دهی اعمال حرکتی اختیاری و ظرفیت درک اعمال دیگران وجود دارد. وقتی میمون یک عمل را با یک مفهوم خاص می‌بیند، فقط با دیدن اولین مؤلفه‌ی بخشی از یک عمل کامل، نورون‌های آینه‌ای را فعال می‌کند و باعث رمزنگاری یک قصد خاص می‌شود. این که کدام زنجیره هنگام دیدن ابتدای عمل فعال می‌شود، به عوامل بسیاری بستگی دارد؛ عواملی مانند طبیعت جسمی که بر آن عمل انجام شده است، یا مفهوم و خاطره‌ای که از عمل قبلی شخص مشاهده‌شونده وجود دارد.

برای فهم این موضوع که آیا ساز و کار مشابهی در انسان وجود دارد یا خیر، ما با مارکو یاکوبونی^{۱۱} و همکارانش از دانشگاه کالیفرنیا، لوس‌آنجلس، همکاری کردیم.

در این بررسی از fMRI^{۱۲} بهره‌گرفتیم. شرکت‌کنندگان در این آزمایش در معرض سه محرک قرار گرفتند. همه‌ی این محرک‌ها حاوی کلیپ‌های ویدیویی بودند. اولین مجموعه‌ی تصاویر، دستی را نشان می‌داد که در حال گرفتن فنجانی در یک پس‌زمینه‌ی خالی بود. در این حالت از دو نوع گرفتن استفاده شد. دومین مجموعه شامل دو صحنه‌ی متفاوت شامل اجسامی مثل بشقاب و کارت و چنگال بود. در صحنه‌ی اول اجسام طوری روی میز چیده شده بودند که انگار شخصی می‌خواهد، جای عصرانه بخورد. صحنه‌ی دوم حالت باقی‌مانده‌ی یک عصرانه‌ی خورده‌شده را داشت و میز آماده تمیز شدن بود. سومین مجموعه دستی را نشان می‌داد که یک لیوان را در یکی از این دو نوع پس‌زمینه گرفته بود.

ما می‌خواستیم دریابیم که: آیا نورون‌های آینه‌ای، بین گرفتن یک فنجان برای خوردن قهوه (در پس‌زمینه‌ی عصرانه آماده) و گرفتن فنجان برای بردن (در پس‌زمینه‌ی عصرانه خورده‌شده)، تمایز قائل می‌شوند یا خیر؟ نتایج نشان دادند، نه تنها تفاوت قائل می‌شوند، بلکه سیستم نورون‌های آینه‌ای در مورد قصد یک عمل به شدت پاسخ می‌دهند. آزمایش‌شوندگان در حال دیدن اعمال حرکتی دست در زمینه‌ی خوردن و یا پاک کردن، الگوهای متفاوتی را از فعالیت سیستم نورون‌های آینه‌ای نشان دادند و فعالیت نورون‌های آینه‌ای در هر دوی این موارد، تمیز کردن یا خوردن، از حالت عمل بدون پس‌زمینه یا فقط پس‌زمینه، بسیار قوی‌تر بود.

با دانستن این موضوع که میمون و انسان گونه‌های اجتماعی هستند، سودی را که این موضوع برای بقا دارد، به آسانی درمی‌یابیم. این درک براساس نورون‌های آینه‌ای است که اعمال حرکتی پایه را به شبکه‌ی معنایی حرکتی بزرگ‌تری وصل می‌کند. این موضوع، درک مستقیم و آنی رفتار دیگران را بدون استفاده از ماشین ادراکی پیچیده میسر

می‌سازد. در زندگی اجتماعی، درک احساسات دیگران بسیار مهم است. درحقیقت احساسات، کلیدی اصلی هستند که قصد را نشان می‌دهند. به همین خاطر، ما و چند گروه دیگر در حال بررسی این موضوع هستیم که: آیا نورون‌های آینه‌ای به ما اجازه می‌دهند که احساسات دیگران را علاوه بر اعمالشان درک کنیم یا خیر؟

ارتباط و یادگیری

انسان‌ها بدون شک احساسات را با بیش از یک روش درک می‌کنند. مشاهده‌ی فرد دیگری در حال تجربه‌ی یک حس می‌تواند، موجب بسط شناختی آن اطلاعات حسی شود که در نهایت به نتیجه‌گیری منطقی در مورد حس دیگران منتهی می‌شود. هم‌چنین می‌تواند، به پیاده‌شدن مستقیم آن اطلاعات حسی بر ساختار حرکتی منجر شود که باعث تجربه‌ی آن احساس در مشاهده‌گر شود. این دو روش درک احساسات در اساس متفاوت‌اند. در حالت اول، مشاهده‌گر احساس را استنباط می‌کند، ولی احساس نمی‌کند. در حالت دوم، درک در درجه‌ی اول است، زیرا ساز و کار آینه‌ای باعث به‌وجود آمدن همان حالت احساسی در مشاهده‌گر می‌شود. بنابراین، وقتی شخصی برای نشان دادن درک و هم‌دردی‌اش می‌گوید: «احساسات را درک می‌کنم»، ممکن است متوجه نباشد که گفته‌اش در عمل، با واقعیت چه قدر فاصله دارد.

در این مورد می‌توان احساس «انزجار» را مثال زد. انزجار احساسی پایه‌ای است که در بقای اعضای یک گونه تأثیر به‌سزایی دارد. در ابتدایی‌ترین شکل، انزجار نشان می‌دهد که آن‌چه فرد بو کرده یا چشیده، بد و به احتمال زیاد خطرناک است. یک بار دیگر با استفاده از نتایج fMRI، ما با گروهی از عصب‌شناسانی فرانسوی همکاری کردیم. هدف از این همکاری نشان دادن این موضوع بود که: تجربه‌ی انزجار منتج از استنشاق بوهای نامطلوب، و دیدن حالت

انزجار بر چهره‌ی دیگران، باعث فعال شدن یک ساختار نورونی می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد، گروه‌هایی از نورون‌های آینه‌ای در این محدوده در هر دو حالت فعال می‌شوند. به زبان دیگر، مشاهده‌گر و مشاهده‌شونده دارای ساز و کار نورونی یکسانی هستند که یک حالت درک مستقیم تجربی را به‌وجود می‌آورد.

تانیا سینگر^{۱۳} و همکارانش در کالج لندن^{۱۴} دریافتند، بین مشاهده‌گر و مشاهده‌شونده در مورد درد نیز هم‌تایی یکسانی وجود دارد. در آزمایش آن‌ها، آزمایش‌شوندگان دردی را توسط الکترودهای نصب‌شده بر دست‌هایشان حس می‌کردند. سپس شاهد آن بودند که الکترودها بر دست شخص دیگری نصب شده است و نشانه‌های تحریک دردآور را مشاهده می‌کردند.

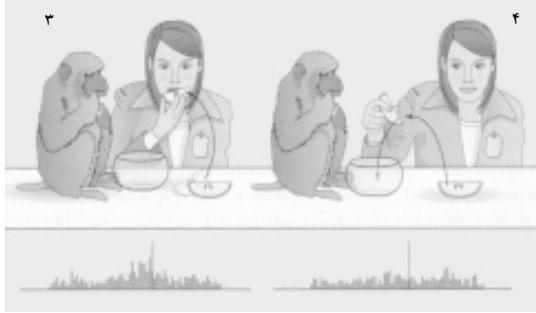
با کنار هم گذاشتن این داده‌ها، نشان داده شد که انسان‌ها می‌توانند احساسات یا حداقل احساسات منفی قوی را حس کنند. این کار از طریق یک ساز و کار نگاهشت مستقیم که در آن، قسمت‌های تولیدکننده‌ی پاسخ حرکتی احساسی مغز دخالت دارند، صورت می‌گیرد. چنین ساز و کار آینه‌ای برای درک احساسات، البته نمی‌تواند تمام شناخت‌های اجتماعی را توضیح دهد، ولی برای اولین بار توضیحی عملی با پایه‌ی عصبی برای تعدادی از روابط بین انسان‌ها می‌دهد. رفتارهای پیچیده‌تر اجتماعی بر این روابط بنا شده‌اند. این می‌تواند، یک ماده‌ی اولیه برای اظهار هم‌دردی با دیگران باشد. اختلال در عملکرد سیستم نورون‌های آینه‌ای می‌تواند بر کمبود احساس هم‌دردی دلالت کند. این حالت به‌عنوان مثال، در کودکان دارای «اتیسم»^{۱۵} دیده می‌شود.

بسیاری از آزمایشگاه‌ها در حال بررسی این سؤالات، برای یافتن علل و خواص درمانی بالقوه‌ی ساز و کار مورد بحث هستند. اگر الگوی نورون آینه‌ای یک عمل حرکتی، به صورت نسبی در مغز براساس

تجربه ثبت شده باشد، آن وقت باید به صورت نظری ممکن باشد که اختلالات عصبی را کاهش دهد. برای مثال، در افرادی که سکت کرده‌اند، می‌توان با نیرومند ساختن الگوهای سالم، اثرات بعد از سکت را کاهش داد. مدارک اخیر نشان می‌دهند، در حقیقت ساز و کار آینه‌ای هنگامی که ما توانایی‌های جدیدی را فرامی‌گیریم، وارد عمل می‌شود.

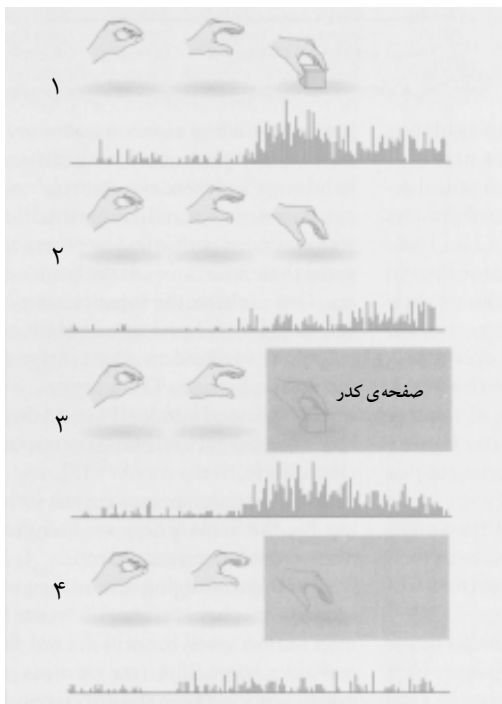
با این‌که واژه‌ی «میمون»، تقلید را تداعی می‌کند، تقلید توانایی کاملی در نخستی‌های غیر انسان نیست. این توانایی در میمون‌ها نادر است و فقط در میمون‌های بزرگ مانند شامپانزه و گوریل دیده می‌شود. تقلید در انسان، روشی مهم برای یادگیری و انتقال توانایی، زبان و فرهنگ است. آیا این پیشرفت نسبت به خویشاوندان نخستی‌مان، تکامل یافته بر پیش‌ماده‌ی عصبی سیستم نورون‌های آینه‌ای است؟ یا کوبانی و گروهش مدارک اولیه‌ای در مورد درستی این نظر یافته‌اند. برای این کار آن‌ها از fMRI برای مشاهده‌ی انسان‌هایی که حرکات انگشتان را می‌دیدند و تقلید می‌کردند، استفاده کردند. هر دو عمل، قسمتی از سیستم نورون‌های آینه‌ای به نام IFG را تحریک کرد. این تحریک مخصوصاً زمانی روی می‌داد که حرکات هدف مشخصی داشتند.

در تمام این آزمایشات، حرکتی که باید تقلید می‌شد، ساده و بسیار تمرین شده بود. اما وقتی می‌خواهیم یک عمل جدید پیچیده‌ی حرکتی را انجام دهیم، نورون‌های آینه‌ای چه نقشی می‌توانند داشته باشند؟ برای پاسخ به این سؤال، جیوانی بوچینو^{۱۶} در دانشگاه ما، و همکارانش در آلمان، با استفاده از fMRI رفتار شرکت‌کنندگان را بررسی کردند. در این آزمایش، آزمایش‌شوندگان یک نوازنده‌ی گیتار را در حال نواختن می‌دیدند و باید حرکات دست او را تقلید می‌کردند. وقتی آزمایش‌شوندگان نوازنده را می‌دیدند، نورون‌های آینه‌ای آهانه‌ای پیشانی فعال می‌شد. هم‌چنین



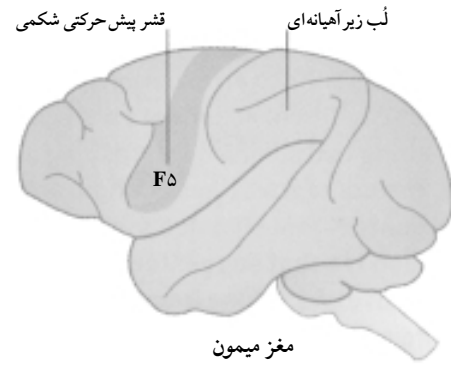
تشخیص قصد

در لوب آهیانه‌ی تحتانی، نورون‌ها فعالیت شدیدی هنگام گرفتن میوه برای آوردن به دهان، از خود نشان می‌دادند (۱). زمانی که میمون میوه را برای قرار دادن در محفظه می‌گرفت، فعالیت نورون‌ها ضعیف‌تر بود (۲). همان نورون‌های آینه‌ای هنگامی که میمون شاهد یک عمل گرفتن برای خوردن توسط آزمایشگر بود، به شدت واکنش نشان می‌دادند (۳) و در زمان مشاهده‌ی گرفتن برای قرار دادن، ضعیف واکنش نشان می‌دادند (۴). در تمام این موارد، واکنش مربوط به عمل گرفتن نشان می‌داد که فعالیت اولیه‌ی نورون، رمز درک قصد نهایی است.



تمایز هدف

زمانی که آزمایشگر برای گرفتن یک جسم دستش را به طرف آن می‌برد، نورون آینه‌ای F5 به شدت فعالیت می‌کند (۱). ولی هنگامی که چیزی به عنوان هدف وجود نداشت، این نورون فعالیت چندانی نشان نمی‌داد (۲). همان نورون، زمانی که حرکت هدف‌دار بود و میمون می‌دانست که پشت صفحه‌ی کدر جسمی قرار دارد، ولی گرفتن جسم را نمی‌دید، واکنش نشان می‌داد (۳). نورون زمانی که میمون می‌دانست پشت صفحه چیزی قرار ندارد، ضعیف پاسخ می‌داد (۴).



انعکاس واقعیت

نویسندگان مقاله در آزمایش با میمون‌ها، زیرمجموعه‌هایی از نورون‌ها را در ناحیه‌های حرکتی مغز کشف کردند. فعالیت این نورون‌ها مانند آن بود که خود عمل روی داده است (عکس بالا). بنابراین، شروع کار این نورون‌ها ممکن است باعث شناخت درونی حرکت عمل شخص دیگری شود. به این علت که واکنش نورون‌ها منعکس کننده‌ی درک هدف عمل هم بود، نویسندگان مقاله نتیجه گرفتند که نقش اصلی سازوکار آینه‌ای، درک عمل است. نقش نورون‌های آینه‌ای در درک قصد نهایی فاعل عمل نیز دیده شد. مشاهده‌کننده، بین عمل‌های مشابه در دست گرفتن که با اهداف مشابه انجام می‌شوند، تمایز قابل می‌شود.



درک عمل

در آزمون‌های اولیه، نورونی در ناحیه‌ی پیش حرکتی F5 که با حرکات دست و دهان در ارتباط است، فعالیت زیادی از خود نشان می‌دهد (۱). نورون مشابهی نیز هنگامی که آزمایشگر در برابر چشم میمون کشمش در دست می‌گرفت، فعالیت زیادی پیدا می‌کرد.

