The Role of the Primary Information on Importance of the Last Information in Decision Making

Maryam Tohidi-Moghaddam[1, 2], Sajjad Zabbah[2], Reza Ebrahimpour[1*]

[1]Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

[2]School of Cognitive Science, Institute for Research in Fundamental Science (IPM), Tehran, Iran

Article Info:

Received: **18 Apr 2016** ***Accepted*****: 12 Jul 2016**

ABSTRACT

Introduction: Most decisions are based on the accumulation of discrete pieces of evidence. This evidence has usually been separated with the various intervals. Indeed, how the brain gathers and combines distinct pieces of information received at different times is need to be clarified. In order to investigate the kinship between brain function and human behavior, the behavioral experimental studies could be designed. Previous studies demonstrated that subjects gather and effectively combine discrete evidence to improve their accuracy. In addition, it has been shown that the latest information has a larger influence on decisions. However, it remains unclear that why this larger influence of the later pulses occurs and what can affect this influence. ***Materials and Methods:*** Dealing with these questions a perceptual decision-making task has been implemented by the psychophysics' toolbox in MATLAB. Subjects, during the task, were instructed to report the direction of motion in a noisy random dot stimulus with certain keys. Stimuli were presented in continuous (one pulse) or discrete (two continuousness pulses separated with different intervals) form. Each of these two forms of stimuli was presented randomly during each session. Each session has been included 300 trials. Each subject has done 3600 trials. Data have been analyzed by regression models. ***Results:*** We observed that in double-pulse trials, the strength of the second pulse was more crucial in the accuracy of responses compared to the first pulse. In addition, this accuracy was dependent on the differences between the strength of the first and the last pulses. ***Conclusion:*** These findings suggest that a key factor which affects the importance of pulses is the strength of the previous pulse. As the difference between the motion strength increases, the effect of the second pulse on choice accuracy enhanced.

Key words:

1. Psychophysics
2. Neurosciences
3. Decision Making

***Corresponding Author:** Reza Ebrahimpour

E-mail: *rebrahimpour@srttu.edu*

doi: 10.18869/acadpub.shefa.4.4.26

نقش اطلاعات اولیه در اهمیت اطلاعات نهایی در تصمیم‌گیری

مریم توحیدی‌مقدّم[۱،۲]، سجّاد ذبّاح[۲]، رضا ابراهیم‌پور[۱*]

[۱] دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

[۲] پژوهشکده علوم شناختی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۳۰ فروردین ۱۳۹۵
تاریخ پذیرش: ۲۲ تیر ۱۳۹۵

چکیده

مقدمه: بیشترین تصمیم‌ها مبنی بر جمع‌آوری بخش‌های گسسته‌ای از اطلاعات است. این اطلاعات معمولاً با فاصله‌های مختلفی جدا شده‌اند. در واقع چگونگی جمع‌آوری و ترکیب بخش‌های مجزای اطلاعات دریافت شده توسط مغز در زمان‌های مختلف نیاز به توضیح دارد. به‌منظور بررسی رابطهٔ بین عملکرد مغز و رفتار انسان، مطالعات تجربی رفتاری می‌تواند طراحی شود. مطالعات قبلی نشان داده است که افراد به طور مؤثری اطلاعات گسسته را به‌منظور بهبود صحت آن‌ها جمع‌آوری و ترکیب می‌کنند. علاوه بر این نشان داده شده است که اطلاعات نهایی در تصمیم‌گیری تأثیر بیشتری دارند. با این حال این مبهم باقی مانده است که چرا اثر بیشتر پالس‌های نهایی، رخ می‌دهد و چه چیزی می‌تواند این تأثیر را تغییر دهد. **مواد و روش‌ها:** برای پاسخگویی به این پرسش‌ها یک امر تصمیم‌گیری دریافتی به وسیلهٔ جعبه ابزار روان –فیزیک متلب انجام شده است. افراد در طول کار برای گزارش جهت حرکت در یک نقطهٔ تصادفی محرک پر سر و صدا با کلیدهای خاص آموزش داده شدند. محرک در شکل پیوسته (تک پالس) یا گسسته (دو پالس پیوستهٔ جدا شده با فاصله‌های مختلف) ارائه شد. هر یک از این دو شکل از محرک به طور تصادفی در هر جلسه ارائه شد. هر جلسه شامل ۳۰۰ آزمایه بود. هر فرد ۳۶۰۰ آزمایه انجام داد. داده‌ها با مدل‌های رگرسیون مورد بررسی قرار گرفتند. **یافته‌ها:** ما مشاهده کردیم که در آزمایهٔ دو پالس، قدرت پالس دوم در دقت پاسخ‌ها در مقایسه با پالس اول بسیار شدیدتر بود. علاوه بر این، این دقت به تفاوت بین قدرت پالس‌های اول و آخر وابسته بود. **نتیجه‌گیری:** این یافته‌ها پیشنهاد می‌دهد که یک عامل کلیدی که اهمیت پالس‌ها را تغییر می‌دهد، قدرت پالس قبلی است. در نتیجهٔ تفاوت بین افزایش قدرت حرکت، اثر پالس دوم بر دقت انتخاب افزایش یافت.

کلید واژه‌ها:
۱. آزمایش روان –فیزیک
۲. علوم اعصاب
۳. تصمیم‌گیری

* **نویسنده مسئول:** رضا ابراهیم‌پور
آدرس الکترونیکی: *rebrahimpour@srttu.edu*

مقدمه

مطالعهٔ تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلفی مانند روانشناسی، علوم اعصاب‌شناختی، اقتصاد، آمار و علوم کامپیوتری صورت گرفته است. با وجود گستردگی این موضوع در حوزه‌های مختلف، تمام این حوزه‌ها از جوانب بسیاری در پرداختن به مسئلهٔ تصمیم‌گیری مشترک هستند (۱). مطالعات علوم اعصاب‌شناختی نشان می‌دهد مسئلهٔ تصمیم‌گیری و ویژگی‌های آن جزء اساسی‌ترین فعالیت‌های شناختی مغز است. از این رو بررسی چگونگی شناخت مغز و رفتار انسان در استخراج اطلاعات و جمع‌آوری آن‌ها در جهت تصمیم‌گیری بهینه به‌عنوان یک فعالیت شناختی بسیار حائز اهمیت است (۴-۲).

یکی از عملکردهای سطح بالای مغز، توانایی اندیشیدن در مورد جهان اطراف است. از جمله سوال‌های مهمی که در دههٔ گذشته مورد توجه قرار گرفته این است که فرایند تصمیم‌گیری چگونه آغاز می‌شود و چه نواحی از مغز درگیر این فرایند هستند، اطلاعات در چه چارچوبی و با چه سازوکاری جمع‌آوری می‌شوند، اطلاعات لحظه‌ای جمع‌آوری شده با چه سازوکار نورونی‌ای در طول فرایند تصمیم‌گیری ذخیره می‌شوند (۴). برای بررسی فرضیه‌ها، نواحی مغزی و مدل‌های محاسباتی -توصیفی مربوط به فرایند تصمیم‌گیری، آزمایش‌های روان -فیزیک[1] بر روی برخی از موجودات زنده مانند انسان، میمون، موش و غیره انجام شده است. این آزمایش‌ها عموماً با ثبت فعالیت‌های مغزی همراه است. از جملهٔ این آزمایش‌ها می‌توان به آزمایش حرکت نقاط تصادفی (RDM)[2] اشاره کرد. در این آزمایش، تعدادی نقطهٔ در حال حرکت که تنها بخشی از آن‌ها جهت حرکت یکسانی دارند (به درصد نقاطی که جهت حرکت یکسانی دارند قدرت محرک[3] می‌گویند) به شرکت‌کننده[4] نشان داده می‌شود. در پایان نمایش از شرکت‌کننده خواسته می‌شود که جهت نقاط همسو را گزارش کند (۸-۵).

بدون در نظر گرفتن میزان زمان لازم برای گیرنده‌های حسی و عمل‌کننده‌های موتوری، مغز باید تعیین کند که فرایندهای فکری چه زمانی آغاز و پایان یابد. اطلاعات حسی در طی زمان جمع‌آوری می‌شوند، گزینه‌های مختلف بررسی شده و در نهایت مغز تصمیم می‌گیرد. جواب بسیار دقیق، زمان پاسخ را افزایش داده و افزایش سرعت، دقت جواب را کم می‌کند. سوال‌های اصلی‌ای که در دههٔ گذشته مورد بررسی قرار گرفته است این است که چگونه فرایند تصمیم‌گیری متوقف می‌شود؟ و اینکه بین سرعت و دقت چگونه موازنه برقرار می‌شود؟ در راستای پاسخ به سؤالات این حوزه مطالعات نشان می‌دهد که اطلاعات از طریق سیستم حسی جمع‌آوری شده و زمانی که شواهد به نفع یک نمونهٔ انتخابی برای تصمیم‌گیری به حد آستانه[5] برسد، تصمیم نهایی اخذ می‌شود (۴).

ارائهٔ مدل‌های محاسباتی و توصیفی مبتنی بر فرایند تصمیم‌گیری یکی دیگر از اهداف این حوزه است، از این رو برای ارایهٔ مدلی که بتواند پاسخگوی رفتار در تصمیم‌گیری‌های ادارکی باشد، باید سازوکار نورونی و رفتاری تصمیم‌گیری ادراکی به صورت دقیق بررسی شود. در کنار زمان پاسخ و صحت انتخاب (۱۱-۹)، به‌عنوان دو ویژگی رفتاری مهم یک تصمیم‌گیری، دانشمندان با انجام آزمایش‌های روان -فیزیک و گرفتن ثبت‌های نورونی به بررسی عامل‌های[6] دیگر درگیر در فرایند تصمیم‌گیری پرداختند. از جمله عامل‌های مهم که تاکنون مطرح شده است، علاوه بر زمان پاسخ و صحت انتخاب می‌توان به احتمال پیشین[7]، قطعیت انتخاب[8] و تعداد گزینه‌ها اشاره کرد (۱۴-۱۲).

در این میان مطالعات اخیر به‌منظور بررسی نقش زمان در ارائهٔ اطلاعات حسی مورد نیاز یک تصمیم به بررسی فرایند تصمیم‌گیری در حضور محرک‌های گسسته پرداخته‌اند. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داده است که مغز برای رسیدن به یک تصمیم کارا قابلیت ترکیب و نگهداری اطلاعات ورودی گسسته را دارد و همچنین به شواهد با قطعیت بالا وزن بیشتری می‌دهد (۱۷-۱۵).

کیانی و همکارانش در مطالعه‌ای نشان دادند که در نمایش اطلاعات به صورت پیوسته اطلاعات نهایی (نزدیک به لحظهٔ تصمیم) نقش کمتری نسبت به اطلاعات اولیه در تصمیم‌گیری دارند (۱۸).

با بررسی نتایج حاصل از این مطالعه این مسئله مطرح می‌شود که در صورت نمایش محرک به صورت گسسته در پالس‌هایی با فاصلهٔ زمانی مشخص کدام پالس نقش مهم‌تری در گرفتن تصمیم بازی می‌کند. کیانی و همکارانش با انجام آزمایش روان -فیزیک بر روی انسان به بررسی تصمیم‌گیری در مواجه با پالس‌های گسستهٔ اطلاعاتی پرداختند. آزمایش آن‌ها به این صورت بود که محرک‌های RDM را به صورت تک پالس و دو پالس گسسته به افراد شرکت‌کننده نشان می‌دادند و از آن‌ها می‌خواستند که تصمیم خود را با توجه به مجموع اطلاعات هر دو پالس و مبتنی بر جهت حرکت محرک‌ها اخذ کنند. آن‌ها نشان دادند که اگر دو بستهٔ اطلاعاتی با فواصل زمانی از صفر تا ۱ ثانیه از هم جدا شوند، صحت انتخاب پاسخ نسبت به زمانی که فقط یک پالس به شرکت‌کننده نشان

[1] Psychophysics
[2] Random dot motion
[3] Coherency
[4] Subject
[5] Threshold
[6] Parameter
[7] Prior probability
[8] Choice certainty

داده می‌شود، افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه نشان دهندهٔ جمع‌آوری اطلاعات توسط فرد است. علاوه بر این نشان دادند که پالس دوم نقش بیشتری در تصمیم گرفته شده دارد (۱۷). لازم به ذکر است که این مطالعه به بررسی تأثیر قدرت محرک‌های نشان داده شده و فاصله‌های زمانی متفاوت بین محرک‌ها بر روی اهمیت پالس دوم پرداخته نشده است. یافتن و بررسی عواملی که بتواند اهمیت پالس نهایی را دستخوش تغییر قرار دهد منجر به شناخت بیشتر دلایل ایجاد وزن‌های متفاوت در پالس‌های اطلاعاتی خواهد شد.

مقالهٔ پیش‌رو در جهت بسط یافته‌های مطالعهٔ کیانی و همکارانش به بررسی عوامل تغییر اهمیت پالس‌های اول و دوم در فرایند اخذ تصمیم می‌پردازد (۱۷). در این مطالعه با انجام آزمایش روان -فیزیک RDM بر روی انسان نتایج مطالعات قبلی تأیید شد و از سویی دیگر تغییر اهمیت پالس دوم به‌عنوان بسته‌ای از اطلاعات که با تأخیر به واحد تصمیم‌گیرنده می‌رسد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بین قدرت محرک‌های نشان داده شده و اهمیت پالس دوم رابطهٔ معنی‌داری وجود دارد. به عبارت دیگر قدرت اطلاعات نشان داده شده در پالس اول اهمیت پالس دوم را دستخوش تغییر قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

روان -فیزیک، رشته‌ای علمی است که در حوزهٔ روانشناسی مطرح بوده و هدف آن، مطالعهٔ کمّی ظرفیت‌ها و قابلیت‌های ادراکی -شناختی مغز به وسیلهٔ اندازه‌گیری پاسخ انسان و موجودات زندهٔ قابل آزمایش است. در انجام این آزمایش‌ها برای اطمینان حاصل کردن از اینکه شرکت‌کننده به درستی آزمایش را انجام داده است، از معیاری تحت عنوان "تابع روانسنجی[9]" بهره می‌گیرند. این تابع احتمال انتخاب یک گزینه را به ازای سختی‌های مختلف محرک ورودی نشان می‌دهد. به طور مثال در RDM، احتمال انتخاب گزینهٔ حرکت به سمت راست با افزایش قدرت محرک به سمت راست، افزایش می‌یابد.

در این مطالعه آزمایش روان -فیزیک به کمک جعبه ابزار روان -فیزیک[10] نرم‌افزار متلب R2013a پیاده‌سازی شده است.

جمع‌آوری داده

آزمایش رفتاری روان -فیزیک مانند کار کیانی و همکارانش، طراحی و اخذ شده است (۱۷). در این آزمایش از چهار شرکت‌کننده شامل دو خانم و دو آقا که در محدودهٔ سنی ۲۴ تا ۲۹ سال قرار داشتند، استفاده شده است. تمامی شرکت‌کنندگان بینایی سالم داشتند و قبل از شروع آزمایش از تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامهٔ کتبی دریافت شده است. در آزمایش کنترلی شرکت‌کننده‌ها آموزش می‌بینند و بعد از ارزیابی کارایی و زمان پاسخ آن‌ها، آزمایش اصلی را انجام می‌دهند. هر جلسه از انجام آزمایش اصلی شامل ۳۰۰ آزمایه[11] است و هر فرد در طی روز یک یا دو جلسه از آزمایش را انجام داده است تا زمانی که تعداد کل آزمایه‌ها از هر شرکت‌کننده به ۳۳۰۰ آزمایه برسد. به‌منظور ثابت بودن شرایط آزمایش برای تمامی شرکت‌کنندگان، یک دستورالعمل مشخص از چگونگی انجام آزمایش در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفته است و تمامی شرکت‌کنندگان قبل از شروع آزمایش دستورالعمل چگونگی انجام آزمایش را مطالعه کرده‌اند.

چگونگی انجام آزمایش

تمامی شرکت‌کنندگان در یک اتاق نسبتاً تاریک و عایق در برابر نور و صدا با قرار گرفتن بر روی یک صندلی به فاصلهٔ ۵۷ سانتی‌متر از یک صفحه نمایش آزمایش خود را شروع می‌کردند. محرک‌های آزمایش بر روی یک صفحه نمایش CRT به اندازهٔ ۱۹ اینچ، وضوح تصویر ۶۰۰ در ۸۰۰ و با فرکانس ۷۵ هرتز نشان داده شده است. هر جلسه از آزمایش شامل ۳۰۰ آزمایه است. روش انجام هر آزمایه به صورت زیر است:

۱- نمایش نقطهٔ ثابت[12]: در طی اجرای آزمایش یک نقطهٔ ثابت قرمز رنگ به قطر ۰/۳ درجهٔ بینایی[13] در مرکز صفحه نمایش به‌منظور ثابت نگه‌داشتن تمرکز شرکت‌کننده وجود دارد. برای شروع هر آزمایه، شرکت‌کننده به این نقطهٔ ثابت نگاه می‌کند و پس از اینکه آمادهٔ انجام آزمایش بود با فشردن کلیدی وارد گام بعدی می‌شود.

۲- نمایش نقاط هدف[14]: در این گام دو نقطهٔ هدف به قطر ۰/۵ درجهٔ بینایی در سمت راست و چپ صفحه نمایش با فاصلهٔ برابر ۱۰ درجهٔ بینایی از نقطهٔ ثابت ظاهر می‌شوند، پس از گذشت زمانی (تصادفی با توزیع نمایی در بازهٔ ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌ثانیه) وارد گام سوم می‌شود.

۳- نمایش محرک: در این گام محرکی شامل نقاط تصادفی متحرک با قدرت محرک مشخصی به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود، این قدرت محرک بیانگر درصد نقاطی است که به سمت یکسانی حرکت می‌کنند و باقی نقاط حرکتی تصادفی دارند. این گام از انجام آزمایش دو نوع است:

نوع اوّل: نمایش محرک در یک پالس و رفتن به گام

[9] Psychometric function
[10] Psychometric toolbox
[11] Trial
[12] Fixation point
[13] Visual angle
[14] Target

بعدی. در این حالت قدرت محرک از بین قدرت‌های صفر، ۳/۲، ۶/۴، ۱۲/۸، ۲۵/۶ و ۵۱/۲ درصد، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و محرک به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه بر روی صفحه نمایش نشان داده می‌شود، برای درک بهتر در تصویر (۱) قسمت (الف) این گام‌ها به صورت نمایشی نشان داده شده است.

نوع دوم: نمایش محرک در دو پالس که بین دو پالس یک فاصلهٔ زمانی ۰، ۱۲۰، ۳۶۰ و یا ۱۰۸۰ میلی‌ثانیه‌ای وجود دارد و سپس رفتن به گام بعدی آزمایش. قدرت محرک هر پالس در این نوع از بین قدرت‌های ۳/۲، ۶/۴ و ۱۲/۸ درصد، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و هر پالس به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه بر روی صفحه نمایش نشان داده می‌شود. برای درک بهتر در تصویر (۱) قسمت (ب) این گام‌ها به صورت نمایشی نشان داده شده است.

۱- زمان تأخیر[15] پایان آزمایش: در این قسمت نقطهٔ ثابت و نقاط هدف به مدت زمانی تصادفی با توزیع نمایی در فاصلهٔ ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه ظاهر می‌شوند و شرکت‌کننده در این مدت باید صبر کند تا سیگنال پاسخ‌دهی[16] ظاهر شود.

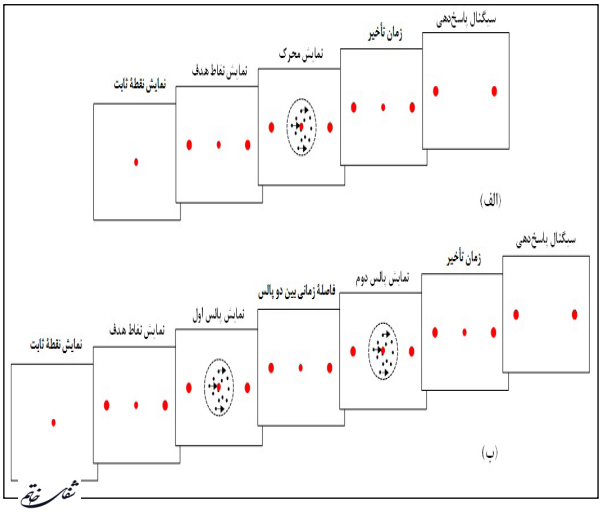
۲- سیگنال پاسخ‌دهی: پس از گذشت زمان تأخیر، نقطهٔ ثابت حداکثر به مدت یک ثانیه نشان داده می‌شود و در این مدت شرکت‌کننده باید با فشردن کلیدی (کلید "J" برای جهت حرکت به سمت راست و کلید "F" برای جهت حرکت به سمت چپ) جهت حرکت محرک را مشخص کند.

۳- سیگنال آگاهی از صحت پاسخ[17]: در این قسمت با پخش شدن صدای بوق (فرکانس پایین برای پاسخ درست و فرکانس بالا برای پاسخ غلط) شرکت‌کننده از درستی یا نادرستی تصمیمش آگاه می‌شود.

به صورت کلی تعداد حالت‌های آزمایه‌ها (تک پالسه ۶ حالت و دو پالسه ۴×۹ حالت)، ۴۲ حالت است. در تمام طول آزمایش این ۴۲ حالت ۳۰۰ بار به صورت تصادفی نشان داده می‌شوند.

محرک بینایی

محرک بینایی استفاده شده در این آزمایش، همان نقاط متحرک تصادفی یا RDM هستند. ویژگی‌های RDM استفاده شده در این آزمایش به این صورت است که نقاط متحرک سفید رنگی در سایز ۲ در ۲ پیکسل (هر ضلع به اندازهٔ ۰/۰۸۸ درجهٔ بینایی است) در یک دایره به قطر ۵ درجهٔ بینایی در مرکز تصویر، حول نقطهٔ ثابت ظاهر می‌شوند. زمینهٔ محرک مشکی رنگ است و میانگین تراکم نقاط ظاهر شده ۱۶/۷ نقطه بر درجهٔ بینایی در واحد مربع در هر ثانیه[18] است. هر محرک از مجموعه‌های مستقل نقاط متحرک تشکیل شده است



تصویر ۱- روش انجام آزمایه‌ها، الف) در این قسمت از تصویر، روش آزمایه‌ای تک پالس نشان داده شده است که بعد از نمایش نقاط هدف، محرک به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه به شرکت‌کننده نشان داده می‌شود و پس از آن به ترتیب زمان تأخیر، سیگنال پاسخ‌دهی و در انتها دریافت پاسخ قرار گرفته است. ب) در این قسمت از تصویر گام‌های آزمایه‌ی دو پالسه نشان داده شده است که بعد از نمایش نقاط هدف، پالس اول به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه، فاصلهٔ زمانی بین دو پالس و سپس پالس دوم به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه نمایش داده می‌شود و بعد از آن به ترتیب نمایش زمان تأخیر، سیگنال پاسخ‌دهی و در انتها دریافت پاسخ می‌باشد.

که به صورت فریم‌های ویدیویی[19] متوالی بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند. هر مجموعهٔ مستقل شامل سه فریم به مدت ۴۰ میلی‌ثانیه است و نقاط تعیین شده برای حرکت منسجم، با توجه به قدرت محرک، در این سه فریم به صورت پیوسته به جهت راست یا چپ، حرکت می‌کنند. به این صورت که، نقاط تعیین شده به‌منظور نشان دادن حرکت پس از سه فریم با سرعت ۶ درجهٔ بینایی بر ثانیه حرکت کرده و بر روی صفحه نمایش پدیدار می‌شوند و بقیهٔ نقاط به صورت تصادفی حرکت می‌کنند (۷، ۸، ۱۷).

تحلیل آماری داده‌ها

تحلیل داده‌های این آزمایش به کمک نرم‌افزار متلب R2013a انجام شده است و برای تحلیل‌هایی که در ادامه آمده است از توابع آمادهٔ این نرم‌افزار استفاده شده است. به‌منظور بررسی تأثیر عامل‌های محرک بر روی یک خروجی دودویی (صحت و عدم صحت پاسخ شرکت‌کننده) از یکسری مدل‌های رگرسیون استفاده شده است. در ادامه به اختصار عبارت Logit[P] به جای log(P/1-P) بیان شده است و β_i بیانگر ضرایب تأثیر هر یک از عوامل (قدرت محرک اول، قدرت محرک دوم و یا فاصله‌های زمانی) هستند.

برای آزمایه‌های تک‌پالسه، احتمال انتخاب درست با استفاده از فرمول زیر تخمین زده شده است.

$$\text{Logit}[P_{correct}] = \beta_0 + \beta_1 C$$

در این معادله، C قدرت محرک است و به‌منظور بررسی

[15] Delay
[16] Go signal
[17] Feedback
[18] Dots/degree2/sec
[19] Video Frame
[20] Bias

نداشتن تمایل[20] به سمت چپ و راست، از نسخهٔ تغییر یافتهٔ فرمول قبلی استفاده شده است که در فرمول زیر آمده است.

$$\text{Logit}[P_{correct}] = \beta_0 + \beta_1 C_{\pm}$$

در فرمول بالا $C_{\pm}$ قدرت محرکِ علامت‌دار است، مثبت برای جهت حرکت به سمت راست و منفی برای جهت حرکت به سمت چپ است. فرضیهٔ صفر نداشتن تمایل به سمت خاصی است (H_0:β_0=0).

به‌منظور بررسی تأثیر فاصله‌های زمانی مختلف بر روی میزان کارایی، از فرمول زیر استفاده شده است.

$$\text{Logit}[P_{correct}] = \beta_0 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \beta_3 T + \beta_4 C_1 T + \beta_5 C_2 T$$

در این رابطه C_1 و C_2 به ترتیب قدرت محرک پالس اول و دوم است و T فاصلهٔ زمانی بین دو پالس است. فرضیهٔ صفر نبودن وابستگی بین میزان کارایی و فاصلهٔ زمانی بین دو پالس است (H_0:$\beta_{3\text{-}5}$=0).

به‌منظور بررسی میزان اهمیت پالس‌ها در آزمایه‌های دو پالسه، نیز از فرمول زیر استفاده شده است.

$$\text{Logit}[P_{correct}] = \beta_0 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2$$

در این رابطه C_1 و C_2 به ترتیب قدرت محرک پالس اول و دوم است و بزرگ‌تر بودن β_2 نسبت به β_1 به معنی اهمیت بیشتر پالس دوم نسبت به پالس اول است.

برای بررسی رابطهٔ بین قدرت محرک دو پالس و تغییر کارایی نیز از فرمول زیر استفاده شده است.

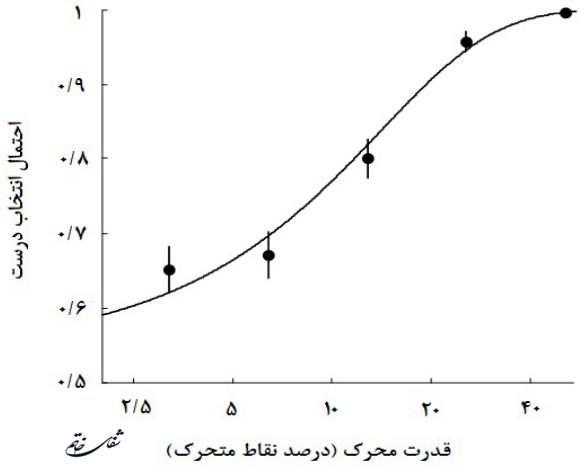
$$\text{Logit}[P_{correct}] = \beta_0 + \beta_1[C_1 + C_2] + \beta_2 C_2/C_1$$

در این رابطه C_1 و C_2 به ترتیب قدرت محرک پالس اول و دوم است و فرضیهٔ صفر نبودن وابستگی بین میزان کارایی و نسبت بین قدرت محرک دو پالس است (H_0:β_2=0).

یافته‌ها

قبل از شروع آزمایش اصلی، شرکت‌کنندگان آزمایش کنترلی را تا زمانی انجام می‌دهند که کارایی و زمان پاسخ سطح بالایی را کسب کنند. در هر جلسه از آزمایش اصلیِ آزمایه‌های تک پالسه و دو پالسه به صورت تصادفی با یکدیگر ترکیب شده و نشان داده می‌شوند. قدرت محرک‌ها، جهت حرکت و فاصلهٔ زمانی بین دو پالس نیز به صورت تصادفی در کل آزمایه‌ها تغییر می‌کنند. این نکته قابل توجه است که در آزمایه‌های دو پالسه جهت حرکت هر دو پالس یکسان است و شرکت‌کننده نسبت به این مسئله آگاه است.

در نمودار ۱، تابع روانسنجی احتمال انتخاب درست در آزمایه‌های تک پالسه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود و انتظار می‌رود روند توابع روانسنجی کارایی به صورتی است که هر چقدر، محرک آسان‌تر می‌شود احتمال پاسخ درست نیز بیشتر می‌شود (در این آزمایش میزان سختی محرک، با قدرت محرک که همان تعداد نقاط متحرک به یک سمت هستند کنترل می‌شود. قدرت محرک ۲۵/۶ درصد به این معنا است که از کل نقاط نمایش داده شده روی صفحه ۲۵/۶ درصد آن‌ها به یک سمت حرکت می‌کنند و باقی نقاط حرکتی تصادفی دارند). میزان صحت انتخاب در آزمایه‌های تک پالسه در محدودهٔ ۰/۶۵۱ برای قدرت محرک ۳/۲ درصد و ۰/۹۹۶ برای محرک با قدرت ۵۱/۲ درصد است و شرکت‌کننده‌ها تمایل به جهت خاصی نداشته‌اند (در فرمول ۲، β_0=۱/۴۸ و P>۰/۰۵).



نمودار ۱- تابع روانسنجی صحت انتخاب، نشانگرهای خطا بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین هستند و منحنی منطبق شده بر نقاط حاصل از فرمول ۱ است.

نمودار ۲ و ۳ در تأیید اثبات یافته‌های قبلی که توسط کیانی و همکارانش گزارش شده بود، آمده است. در نمودار ۲ نشان داده شده است که میزان کارایی با افزایش تعداد پالس‌ها افزایش یافته است و این میزان افزایش مستقل از فاصلهٔ زمانی بین دو پالس است. در فرمول ۳، برای ضرایب β_3 ،β_4 و β_5 داشتن P>۰/۱ به این معنی است که اطلاعات حاصل از پالس اول در طی زمان نگهداری می‌شود و با گذشت زمان کاهش پیدا نمی‌کند.

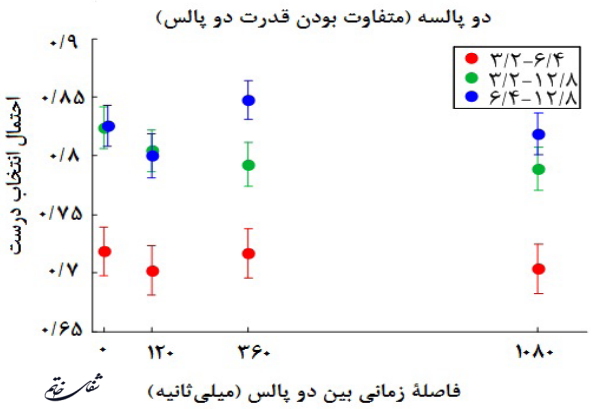
در ادامه و در نمودار ۳ نشان داده شده است که ترتیب نمایش محرک‌های ضعیف و قوی باعث تغییر کارایی در آزمایه‌های دو پالسه شده است. در نمودار ۳ آزمایه‌ها بر روی فاصله زمانی‌های مختلف ترکیب شده‌اند.

با توجه به نمودار ۲ و مبتنی بر فرمول ۳ اینگونه بیان شد که در آزمایه‌های دو پالسه اطلاعات پالس اول از دست نرفته است و اطلاعات حاصل از دو پالس بر روی

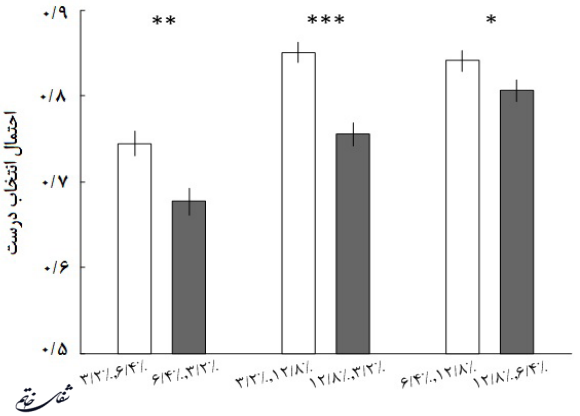
[20] Bias

یکدیگر جمع شده و تصمیم نهایی شده است. از طرفی در نمودار ۳ نشان داده شده است که در تصمیم نهایی اطلاعات پالس دوم اهمیت بیشتری داشته است (در فرمول ۴، β_1=۰/۰۴، β_2=۰/۱> و P<۱E-۳).

با دقت در نمودار ۳ این نکته دریافت می‌شود که تفاوت کارایی در ترتیب نمایش محرک‌های "قوی -ضعیف" و "ضعیف -قوی" در محرک‌های ۳/۲ و ۱۲/۸ درصد خیلی بیشتر است نسبت به ۶/۴ و ۱۲/۸ درصد و ۶/۴ و ۳/۲ درصد و از طرفی با توجه به جمع‌آوری اطلاعات بر روی یکدیگر و اهمیت پالس دوم در تصمیم‌گیری سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که آیا عاملی می‌تواند این اهمیت پالس دوم را دستخوش تغییر کند یا خیر؟ فرضیه‌ای که مطرح می‌شود این است که نسبت و یا میزان تفاوت محرک‌های دو پالس شاید عامل تأثیرگذاری باشد. تفاوت معنی‌دار شدن ضرایب β_1 و β_2 از صفر در فرمول ۵ حاکی از آن است که علاوه بر مجموع قدرت محرک‌ها، نسبت آن‌ها نیز در تغییر



نمودار ۲- کارایی در آزمایه‌های دو پالسه، زمانی که قدرت محرک دو پالس متفاوت است. هر نقطه حاصل ترکیب آزمایه‌ها با ترتیب نمایش بیان شده در نمودار و معکوس آن است (به‌عنوان مثال نقاط قرمز رنگ از ترکیب تمامی آزمایه‌های ۳/۲-۶/۴ و ۶/۴-۳/۲ است.)، نشانگرهای خطا بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین هستند.



نمودار ۳- در آزمایه‌های دو پالسه تغییر کارایی وابسته به ترتیب نمایش محرک‌های ضعیف و قوی است. میزان کارایی بر روی فاصله‌های زمانی تمام آزمایه‌ها ترکیب شده است. به طور کلی زمانی که ترتیب نمایش محرک‌ها "ضعیف -قوی" است، کارایی نسبت به زمانی که "قوی -ضعیف" است، بیشتر است. "*" بیانگر P<۰/۰۵، "**" بیانگر P<۰/۰۱ و "***" بیانگر P<۰/۰۰۱ است، نشانگرهای خطا بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین هستند.

مقدار کارایی نقش دارد، مثبت بودن ضریب β_2 نشان می‌دهد که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد، اهمیت پالس دوم بیشتر است (در فرمول ۵، β_2=۰/۱۷ و P<۱E-۳).

بحث و نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری معمولاً حاصل جمع‌آوری اطلاعات گسسته‌ای است که در فواصل زمانی مختلف به واحد تصمیم‌گیرنده می‌رسد. برای گرفتن تصمیم مغز باید قابلیت ترکیب و نگهداری این اطلاعات را داشته باشد (۱۷-۱۵).

در مطالعهٔ پیش رو به بررسی این ویژگی از مغز به صورت ساده پرداخته شده است. با در نظر گرفتن محرک‌های گسسته، به طوری که در هر آزمایه اطلاعات در دو پالس گسسته به شرکت‌کننده نشان داده شده است، این ویژگی مورد مطالعه قرار گرفته است. نمودار ۲ نشان می‌دهد، میزان کارایی با تغییر فاصلهٔ زمانی بین پالس‌های گسسته تغییر معنی‌داری نمی‌کند و همچنین میزان کارایی همواره از حالت تک پالسه نیز بیشتر است. بنابراین می‌توان به این نکته پی برد که شرکت‌کننده از اطلاعات دو پالس در راستای افزایش کارایی خود استفاده کرده است. در مطالعهٔ کیانی و همکاران نشان داده شده است که در نمایش محرک به صورت پیوسته، شرکت‌کننده به اطلاعات ارائه شده در زمان‌های اولیه وزن بیشتری می‌دهد و زمانی که اطلاعات لازم برای اخذ تصمیم را دریافت کرد، اطلاعات ورودی بعدی را نادیده می‌گیرد. در این مطالعه بدون اطلاع شرکت‌کننده در زمان‌های مختلفی از نمایش محرک حسی، قدرت محرک ورودی را به صورت لحظه‌ای افزایش داده و اثر آن را بر پاسخ شرکت‌کننده بررسی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد افزایش قدرت محرک در زمان‌های ابتدایی باعث بهبود کارایی شرکت‌کننده‌ها می‌شود درحالی‌که در آزمایه‌هایی که افزایش قدرت محرک در زمان‌های نزدیک به لحظهٔ تصمیم رخ داده است بهبود معنی‌داری در کارایی دیده نمی‌شود (۱۸).

بر خلاف این یافته، در این مطالعه و همچنین مطالعهٔ کیانی و همکاران مشاهده می‌شود زمانی که اطلاعات ورودی به شرکت‌کننده به صورت پالس‌های گسسته و در فواصل زمانی مختلف داده شود، شرکت‌کننده ضمن استفاده از اطلاعات حاصل از هر دو پالس به اطلاعات اخیر وزن بیشتری نیز می‌دهد (۱۷). دلیلی که در مورد رفتار متفاوت شرکت‌کننده‌ها در دو نوع آزمایش اشاره شده می‌توان ذکر کرد این است که آگاهی شرکت‌کننده از حضور اطلاعات در آینده، باعث به تعویق انداختن تصمیم‌گیری برای گرفتن یک تصمیم بهینه می‌شود. به عبارت دیگر در آزمایش پالس‌های گسسته که شرکت‌کننده از حضور پالس دوم آگاه بوده است به اطلاعات در هر دو پالس برای دست یافتن به کارایی بهینه توجه می‌کند در حالی‌که زمانی که

شرکت‌کننده از حضور اطلاعات آگاهی ندارد هر چند هنوز تصمیم خود را اعلام نکرده لیکن تصمیم اخذ شده و حضور اطلاعات جدید تأثیری در بهبود کارایی نخواهد داشت.

در مطالعاتی از گروه یانگ و همکاران مشاهده شده است، زمانی که اطلاعات را به صورت گسسته به شرکت‌کننده نشان می‌دهند و از او می‌خواهند که هر زمان مطمئن بود تصمیمی را اخذ کند، صرفاً قدرت اطلاعات وزن اثرگذاری آن‌ها را تعیین می‌کند (۱۶). پس این فرضیه بیان می‌شود که در این مطالعه نباید تفاوتی در کارایی با جابجایی ترتیب نمایش محرک‌ها مشاهده شود. اما نکته‌ای که قابل توجه است این است که آزمایش انجام شده توسط Kira و همکاران به صورت زمان آزاد بوده است. به این صورت که شرکت‌کننده اطلاعات گسسته را در طی زمان دریافت می‌کند تا زمانی که بتواند تصمیم بهینه را اخذ کند (۱۵). درحالی‌که در این آزمایش محرک برای مدت بسیار کوتاهی به شرکت‌کننده نمایش داده می‌شود و او در انتخاب مدت زمان نمایش محرک‌ها مختار نیست. با توجه به این نکته می‌توان پی برد که شواهد نهایی دارای اطلاعات تأثیرگذارتری برای تصمیم‌گیری هستند و نقش موثرتری در کارایی دارند.

در مطالعهٔ کیانی و همکاران نشان داده شد که در کارایی تصمیم‌گیری‌های ادراکی اهمیت اطلاعات نهایی بیشتر است و به ترتیب نمایش محرک‌ها نیز وابسته است (۱۷). اما مهم‌ترین نتیجه و یافتهٔ مطالعهٔ پیش رو نشان می‌دهد که اهمیت اطلاعات پالس دوم در تصمیم‌گیری به اطلاعات دریافتی اولیه وابسته است. به این صورت که با افزایش اختلاف قدرت محرک‌های دو پالس، میزان اهمیت پالس دوم بر روی کارایی انسان افزایش پیدا می‌کند.

با توجه به تأثیر مهم تصمیم‌گیری در رفتار و زندگی روزمره و همچنین استفاده از اطلاعات گسسته در طی زمان برای رسیدن به یک تصمیم کارا، بررسی سازوکار و ویژگی فرایند تصمیم‌گیری در این شرایط بسیار حائز اهمیت است. با استفاده از نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان به این نکته پی برد که میزان تفاوت اطلاعات دریافتی در طی زمان، تأثیر اهمیت اطلاعات نهایی را دستخوش تغییر می‌کند. این نتیجه می‌تواند حاصل سازگاری نورون‌ها در لایه‌های اولیهٔ بینایی باشد (۲۱-۱۹). به عبارت دیگر اعمال محرک قوی در پالس اول منجر به سازگار شدن نورون‌ها شده و لذا پاسخ آن‌ها به محرک در پالس دوم کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی نتایج، فرضیهٔ دیگری برای علت افزایش کارایی در محرک‌هایی ضعیف -قوی (ترتیب قدرت محرک در پالس اول و دوم) نسبت به قوی -ضعیف مطرح می‌شود. بنا به این فرضیه در محرک‌های ضعیف -قوی که پالس اول، محرک ضعیفی است میزان اطلاعات جمع‌آوری شده کم است و لذا شرکت‌کننده اطلاعات کمی را در جهت تصمیم جمع‌آوری کرده، لذا از آنجا که به وضعیت اطلاعات جمع آوری شدهٔ خود آگاه است سعی در افزایش توجه خود و کسب حداکثری اطلاعات در پالس دوم می‌کند. این در حالی است که در محرک‌های قوی -ضعیف از آنجا که شرکت‌کننده در پالس اول حجم خوبی از اطلاعات را جمع‌آوری کرده است نیاز به توجه زیاد به پالس دوم را در خود احساس نمی‌کند. بنابراین فرضیهٔ میزان اطلاعات جمع‌آوری شده در هر لحظه قدرت سیگنال توجه در لحظات آتی را دستخوش تغییر قرار می‌دهد.

علی‌رغم پیچیده بودن فرایند اخذ تصمیم، به‌عنوان یکی از سطح بالاترین فعالیت‌های شناختی مغز همچنان برخی از عامل‌های درگیر در تصمیم‌گیری به صورت کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. از طرفی دیگر، مدلی جامع که بتواند پاسخگوی ارتباط بین گسستگی اطلاعات و فرایند اخذ تصمیم باشد، تاکنون ارائه نشده است. با انجام این مطالعه عامل دیگری در اخذ تصمیم مطرح شد، که در آینده می‌توان با بررسی مدل‌های محاسباتی این حوزه آن‌ها را به سمت داشتن این عامل بهبود داد.

نتایج حاکی از آزمایش به این صورت بود، زمانی که محرک در دو پالس نشان داده می‌شود، اهمیت پالس دوم بیشتر است و به ترتیب نمایش محرک‌ها وابسته است. علاوه بر این اهمیت پالس دوم به میزان تفاوت قدرت محرک‌های دو پالس وابسته است به این صورت که با افزایش تغییر قدرت محرک‌های دو پالس، میزان اهمیت پالس دوم بر روی کارایی انسان افزایش پیدا می‌کند. در این مطالعه تفاوت بین محرک‌های دریافتی فقط بر روی میزان قدرت محرک آن‌ها بوده است و مدت زمان نمایش دو پالس برابر بوده است، سؤالی که مطرح می‌شود این است که: اگر میزان اطلاعات هر محرک به شیوهٔ دیگری تغییر داده شود آیا این نتایج را می‌توان دوباره مشاهده کرد یا خیر؟ با تغییر دادن زمان نمایش محرک و همچنین متفاوت نمودن جهت حرکت نقاط می‌توان در کارهای آینده این سؤال را مورد بررسی قرار داد. همچنین امید است که نتایج حاصل از این مطالعه کمک شایانی در جهت توسعه و بهبود مدل‌های محاسباتی -شناختی کند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی به شمارهٔ قرارداد ۲۸۲۳۸ و ستاد توسعهٔ علوم و فناوری‌های شناختی انجام گردیده است.

منابع

1. Gold JI, Shadlen MN. The neural basis of decision making. Annu Rev Neurosci. 2007; 30: 535-74.

2. Gardelle Vd, Summerfield C. Robust averaging during perceptual judgment. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011; 108(32): 13341-6.

3. Glimcher PW. Decisions, uncertainty, and the brain: the science of neuroeconomics. Cambridge: A Bradford Book; 2004.

4. Kiani R, Hanks TD, Shadlen MN. When is enough enough? Nat Neurosci. 2006; 9(7): 861-3.

5. Britten K, Newsome W, Shadlen M, Celebrini S, Movshon J. A relationship between behavioral choice and the visual responses of neurons in macaque MT. Vis Neurosci. 1996; 13(1): 87-100.

6.Newsome WT, Britten KH, Movshon JA. Neuronal correlates of a perceptual decision. Nature. 1989; 341(6237): 52-4.

7. Shadlen MN, Newsome WT. Neural basis of a perceptual decision in the parietal cortex (area LIP) of the rhesus monkey. J Neurophysiol. 2001; 86(4): 1916-36.

8. Roitman JD, Shadlen MN. Response of neurons in the lateral intraparietal area during a combined visual discrimination reaction time task. J Neurosci. 2002; 22(21): 9475-89.

9. Wang XJ. Probabilistic decision making by slow reverberation in cortical circuits. Neuron. 2002; 36(5): 955-68.

10. Lo C-C, Wang X-J. Cortico-basal ganglia circuit mechanism for a decision threshold in reaction time tasks. Nat Neurosci. 2007; 9(7): 956-63.

11. Hanks T, Kiani R, Shadlen MN. A neural mechanism of speed-accuracy tradeoff in macaque area LIP. Elife. 2014; 3: doi: 10.7554/eLife.02260.

12. Kiani R, Shadlen MN. Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex. Science. 2009; 324(5928): 759-64.

13. Churchland AK, Kiani R, Shadlen MN. Decision-making with multiple alternatives. Nat Neurosci. 2008; 11(6): 693-702.

14. Hanks TD, Mazurek ME, Kiani R, Hopp E, Shadlen MN. Elapsed decision time affects the weighting of prior probability in a perceptual decision task. The Journal of Neuroscience. 2011; 31(17): 6339-52.

15. Kira S, Yang T, Shadlen MN. A neural implementation of wald's sequential probability ratio test. Neuron. 2015; 85: 861–73.

16. Yang T, Shadlen MN. Probabilistic reasoning by neurons. Nature. 2007; 447: 1075-80.

17. Kiani R, Churchland AK, Shadlen MN. Integration of direction cues is invariant to the temporal gap between them. The Journal of Neuroscience. 2013; 33(42): 16483-9.

18. Kiani R, Hanks TD, Shadlen aMN. Bounded integration in parietal cortex underlies decisions even when viewing duration is dictated by the environment. The Journal of Neuroscience. 2008; 28(12): 3017–29.

19. Clifford CW, Webster MA, Stanley GB, Stocker AA, Kohn A, Sharpee TO, et al. Visual adaptation: neural, psychological and computational aspects. Vision Res. 2007; 47(25): 3125–31.

20. Webster MA. Visual Adaptation. Annu Rev Vis Sci. 2015; 1: 547-67.

21. Wang XJ, Liu Y, Sanchez-Vives MV, McCormick DA. Adaptation and temporal decorrelation by single neurons in the primary visual cortex. J Neurophysiol. 2003; 89(6): 3279-93.