



روش‌شناسی فرآیند تصمیم‌گیری با رویکرد زیست‌شناسی مبتنی بر اعصاب

امین سالم قهفرخی^۱، ساهره علیخواه^۲، محسن رستمی^۳،
سید رضا رضایی^۴

چکیده

پژوهش در مورد فرآیند تصمیم‌گیری بر موضوعاتی همچون روانشناسی، زیست‌شناسی عصبی، آسیب‌شناسی و همچنین اقتصاد متکی است و صرف‌نظر از این واقعیت که فرآیند تصمیم‌گیری آگاهانه یا ناخودآگاه خلق می‌شود، شامل عواملی است که هر کدام نقش مهمی را در تصمیم‌گیری در سطوح مختلف مبتنی بر اعصاب ایفا می‌کنند. از دیدگاه روانشناسی، تصمیم‌گیری فرآیندی است که جنبه‌های شناختی، احساسی و انگیزشی نقش حیاتی در آن ایفا می‌کنند. مطالعات انجام پذیرفته بر روی تکنیک تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی مغز نشان می‌دهد که فرآیندهای تصمیم‌گیری قبل از اینکه فرد بتواند آن را درک کند، شروع می‌شود. علم نوروشیمی چندین انتقال‌دهنده عصبی مانند دوپامین، سروتونین، کورتیزول، اکسی‌توسین و پرولاکتین را شناسایی کرده است که با فرآیندهای تصمیم‌گیری از راه‌های گوناگون مرتبط می‌باشند و ماهیت پیچیده‌ای دارند که هنوز به طور کامل شناخته نشده است. از دیدگاه شیمی مبتنی بر اعصاب، کنترل فرآیندهای تصمیم‌گیری توسط ارتباط مطلوب در میان بخش‌های مختلف مغز که توسط سطوح مختلف هورمون سروتونین تنظیم می‌شود تعیین می‌گردد. از نظر آناتومی عصبی، این (قشر پیشانی) است که نقش مهمی در هماهنگ کردن همه فرآیندهای منتهی به تصمیم‌گیری ایفا می‌کند و حاصل ترجیحات و باورهای فردی است و در نهایت علوم اعصاب اجتماعی ما را قادر می‌سازد تا مکانیزم‌های عصبی بنیادی که توانایی انسان برای نشان دادن اهداف و نیات ما را دارند، مشاهده کنیم. مطالعات پیرامون فرآیندهای تصمیم‌گیری مبتنی بر علوم اعصاب به ما بینشی بهتر نسبت به عقلانیت محدود انسان و نقش احساسات، اخلاقیات و همدلی در فرآیند تصمیم‌گیری می‌دهد. همچنین این مطالعات به دانش ما در مورد روند تصمیم‌گیری‌ها و ارزش‌های انطباقی آنها کمک می‌نمایند.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری، روش‌شناسی، علوم اعصاب، زیست‌شناسی عصبی، اقتصاد تجربی

۱- نویسنده مسئول، دکترای اجرایی مدیریت کسب و کار در گردشگری، موسسه آموزش عالی آزاد بهار، ecoamin@gmail.com

۲- کارشناسی ارشد مدیریت جهانگردی، گرایش بازاریابی گردشگری، موسسه آموزش عالی علامه قزوینی

۳- کارشناسی ارشد مدیریت جهانگردی، گرایش بازاریابی گردشگری، موسسه آموزش عالی علامه قزوینی

۴- کارشناسی ارشد مدیریت جهانگردی، گرایش برنامه‌ریزی توسعه گردشگری، موسسه آموزش عالی علامه قزوینی

تصمیم‌گیری یک امر حیاتی، اما در عین حال یک بخش جزئی و کوچک از زندگی انسان است. گاهی اوقات حتی تصمیم‌گیری در مورد ساده‌ترین انتخاب‌ها دشوار می‌شود و در نتیجه ما را مجبور می‌کند در قبال آن انتخاب‌ها تجزیه و تحلیل (سود و زیان) را انجام دهیم. مطالعه در فرآیندهای تصمیم‌گیری، زمینه‌ای علمی است که از یک طرف، دانش روانشناسی، پزشکی، نوروبیولوژی (زیست‌شناسی مبتنی بر اعصاب)، فیزیولوژی (کار اندام‌شناسی) یا آسیب‌شناسی و از طرف دیگر علوم مانند اقتصاد، اخلاق، فلسفه و یا حقوق را با یکدیگر ادغام می‌کند. پژوهش‌های زیست‌شناسی عصبی که در چارچوب فرایند تصمیم‌گیری به طور مداوم در حال پیشرفت هستند و بخش قابل توجهی از نظریه‌های اقتصاد مبتنی بر اعصاب را شکل می‌دهند یک سوال مهم را مطرح می‌نمایند؛ (رفتارهای انسانی، از جمله رفتارهای اقتصادی، تا چه میزان تحت تأثیر عواطف و عقلانیت قرار دارند؟). این نظریه‌ها صرفنظر از این واقعیت که تصمیمات انسان به طور آگاهانه یا ناخودآگاه ایجاد می‌شود، عوامل مبتنی بر سطوح مختلف اعصاب را در فرایند تصمیم‌گیری دخیل می‌دانند. از دیدگاه تطبیقی، تصمیم‌گیری خوب نیاز به ادغام بسیاری از داده‌های مرتبط، انگیزه‌ها و دانش در مورد پیامدهای بالقوه نتایج اعمال انسان، دارند (بایر و همکاران، ۲۰۰۷).

از دیدگاه روانشناسی، تصمیم‌گیری یک فرایند پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط جنبه‌های شناختی، احساسی و انگیزشی تعیین می‌شود. در مرحله پیش تصمیم‌گیری یک مساله یا مشکل تعریف شده و اطلاعات در مورد گزینه‌های موجود جمع‌آوری می‌شود؛ در مراحل بعدی گزینه‌های ترجیحی شناسایی شده و تصمیم درست اتخاذ می‌گردد، در حالی که در مرحله بعد از تصمیم‌گیری، فرایند تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (اسونسون، ۲۰۰۳).

زیست‌شناسی عصبی، مغز انسان را به عنوان یک عضو واحد درک می‌کند که در نتیجه فرایند تکامل، اطلاعات را ذخیره و پردازش می‌نماید. این یک سیستم سازماندهی است که طی آن تعداد زیادی از اقدامات و عملیات‌ها، توسط خود مغز آماده‌سازی و هدایت می‌گردند. تصمیم‌گیری در ارتباط با اقدامات انجام شده در خارج از فرآیندهای عصبی سازمان یافته توسط مغز و نیز توسط تعداد گسترده‌ای از داده‌های حسی که از محیط داخلی و خارجی و همچنین از دانش ذخیره شده در معماری عملکردی مغز، بوجود می‌آیند. فرآیندهای عصبی فیزیکی و شیمیایی پیچیده، متخصصان نوروبیولوژی را به این نتیجه رسانده است که تصمیم‌گیری‌ها با پیش‌شرطی که بر شبکه‌های عصبی خاص تأثیر می‌گذارد، تعیین می‌شوند. مفهوم منشأ عصبی تصمیمات، بر مخالفت قوی با دیدگاه پذیرش حضور اراده آزاد تاکید و اهمیت تصمیم‌گیری «من»، به عنوان سمبل اراده آزاد که به تنهایی قادر به تحریک مغز به منظور آغاز یک سری فرآیندهای تصمیم‌گیری است را زیر سوال می‌برد. طبق گفته‌های متخصصان زیست‌شناسی عصبی، یک انسان می‌تواند همانند هر عملکرد دیگری در مغز، تصمیمات خود را که در نتیجه فرآیندهای عصبی در مغز شکل می‌گیرد به صورت آگاهانه و منطقی تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی قرار دهد. با این وجود، پردازش اطلاعات در مغز که منجر به تصمیم‌گیری آگاهانه می‌شود، شامل سیستم‌های عصبی است که کاملاً متفاوت از آنچه در رویدادهای ناخودآگاه اتفاق می‌افتد، عمل می‌نماید در نتیجه با نتایجی کاملاً متفاوت در مبحث تصمیم‌گیری خودآگاه و ناخودآگاه مواجه می‌شویم که ثابت می‌کند ما همچنان دانش کافی برای این درک کامل این فرآیندها را نداریم (سینگر و همکاران، ۲۰۰۴).

۲- روش‌های پژوهش برای تصمیم‌گیری

به منظور درک و ارزیابی نقش انفرادی ساختارهای مغزی و نیز انجام فرآیندهای عملکردی مغز، می‌بایست که در علوم بیوالکترونیک^۱ و نوروشیمی^۲ (شیمی مبتنی بر اعصاب) که بنیان و زیرساختار تصمیم‌گیری هستند، مطالعات خاصی انجام شود. روش‌های غیرتهاجمی و به طور پیوسته بهبود یافته تصویربرداری مغز، مشاهده تغییرات فعالیت در ساختارهای مغزی خاص را طی فرآیندهای تصمیم‌گیری، ارزیابی اولویت، ریسک‌پذیری و یا اجرای سایر وظایف امکان‌پذیر می‌نمایند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری‌های به دست آمده از فعالیت مغز در حالت استراحت و نیز در شرایط تجربی، محققان را قادر به تشخیص بخش‌هایی از مغز که در انجام وظایف مختلف فعال شده‌اند، می‌نماید. روش‌های نظارت موجود می‌تواند به دو بخش کلی تقسیم شوند؛ (۱) آنهایی که از ساختار مغز تصویربرداری می‌کنند (برش‌نگاری کامپیوتری (سی‌تی اسکن)^۳، رزونانس مغناطیسی هسته‌ای^۴، آزمایش‌های آسیب‌شناسی کالبدشناختی^۵) و (۲) آنهایی که ناظر بر عملکردهای مغز هستند (رزونانس مغناطیسی هسته‌ای عملکردی^۶، الکتروانسفالوگرافی^۱، برش‌نگاری با گسیل پوزیترون^۲)، علاوه بر این، محققان، روش‌های چالش‌برانگیز

۱- شاخه‌ای از مهندسی پزشکی که می‌توان آن را علم استفاده از اصول الکترونیک، مغناطیسی و الکترومغناطیسی در حوزه پزشکی دانست.

2 Neurochemistry

3 Computed Tomography – CT SCAN

4 Nuclear Magnetic Resonance - NMR

5 Anatomopathological Tests

6 fNMR

دیگری نیز در اختیار دارند که فرصت های جدیدی برای نظارت بر فعالیت نوروشیمیایی و روانشناسی عصبی مغز خلق می کنند (سینگر و همکاران، ۲۰۰۴). در ادامه به بررسی ماهیت برخی از روش های نظارت بر فعالیت های مغزی پرداخته می شود (دمارل، ۱۹۹۷) (دجیس و همکاران، ۲۰۰۱) (چیانگ و همکاران، ۲۰۰۹) (جانسن و برنز، ۲۰۰۶) (گلیمچر، ۲۰۰۳) (بچارا و همکاران، ۲۰۰۰) (کوئیگن و همکاران، ۲۰۰۷):

- امروزه ابتدایی ترین روش تصویر برداری مغز که در مطالعات تجربی و تشخیص های آسیب شناسی مورد استفاده قرار می گیرد، رزونانس مغناطیسی هسته ای می باشد. همچنین تکنیک رزونانس مغناطیسی هسته ای عملکردی، ناظر بر تغییرات در میدان های مغناطیسی مغز و انتقال اکسیژن به بخش های مختلف مغز می باشد، بر همین اساس می توان فعالیت بخش هایی از مغز که در تصمیم گیری دخیل هستند را تجسم نمود. تکنولوژی رزونانس ارزیابی، ضایعات مورفولوژیکی در بافت مغز را تسهیل می کند. ناسازگاری های مربوط به سوخت و ساز سلولی (متابولیکی) با استفاده از طیف سنجی رزونانس مغناطیسی پروتون تشخیص داده می شود که به نوبه خود (۱) امکان اندازه گیری ماندگاری کمی از اجزای شرکت کننده در سوخت و سازهای سلولی (متابولیت ها) مغز را فراهم می کند و (۲) فهم ما از ترکیبات شیمیایی مربوط به این سوخت و سازهای مغزی را افزایش می دهد.
- یکی دیگر از تکنیک های تصویربرداری نسبتاً جدید، روش انتشار رزونانس مغناطیسی هسته ای^۳ است که حرکت جریان آب را در دیگر مایعات درون و بیرون سلولی داخل مغز حل می کند. انتشار مولکول های آب درون مغز ناهمسانگرد^۴ (دارای جهت گیری های مختلف در فضا) است، بنابراین با استفاده از یک روش دگرگونی ریاضی، می توان نقشه های به اصطلاح ضریب اشباع آشکار (یا نقشه های ضریب پخش ظاهری که برآیند جابجایی مولکول ها را در یک بافت نشان می دهد)^۵ را در مغز به دست آورد. با استفاده از این تکنیک تصویر برداری عصبی، تغییرات مغز را می توان در عرض چند دقیقه تشخیص داد. تکنیک های انتشار خود به دو دسته تقسیم بندی می شوند (۱) تصویربرداری تنسور پخش^۶ که ضایعات آناتومی رشته های ماده سفید مغزی را تشخیص می دهد و (۲) تصویربرداری پخش وزنی^۷ که در حل انواع آسیب های مغزی بسیار موثر است. این دو تکنیک اخیراً در مطالعات مربوط به روانشناسی رفتاری و اقتصاد مبتنی بر اعصاب به کار گرفته شده اند.
- برش نگاری با گسیل پوزیترون (PET) یک تکنیک اسکن بسیار دقیق است که در آن یک ردیاب رادیواکتیو به بخش هایی از مغز که فعالیت در آن ها افزایش یافته است منتقل می شود، بنابراین می توان ساختارهایی از مغز که فرد (به خصوص از لحاظ ذهنی) درگیر آن است را به راحتی تشخیص داد. ضعف عملی این روش را می توان در آماده سازی ردیاب رادیواکتیو، ثبات کم فرایند، و هزینه بالای آن ذکر کرد.
- از دیگر روش های تصویر برداری مغز می توان به مدلی اشاره کرد که طی آن از یک پرتو لیزر با طول موج نزدیک به مادون قرمز استفاده می شود و این اجازه را به ما می دهد تا جریان خون بسته به میزان اکسیژن موجود، نورهایی با طول موج های مختلف را که نور آن را از طول موج مختلف جذب کند، آنچه که ثبت می شود نور منعکس شده توسط مغز می باشد. از جمله این روش ها می توان به (۱) طیف سنجی نزدیک مادون قرمز^۸ (۲) پرتونگاری مقطعی نوری منتشر شده^۹؛ که دانشمندان را قادر می سازد تا نقشه های فعال سازی مغز و سیگنال نوری وابسته به رویداد^{۱۰} که نشان دهنده تغییرات در نورون های مغزی است را طراحی و اجرا نمایند. ضعف این روش در میزان فضایی است که پوشش می دهد.
- نوار مغزی یا الکتروانسفالوگرافی^{۱۱} ثبت فعالیت الکتریکی مغز است، این تکنیک شامل اخذ سیگنال توسط الکترودهای سطحی، بهبود سیگنال (معمولاً تقویت و حذف نویز)، چاپ سیگنال و آنالیز آن می شود. این روش ارزان و از نظر زمانی سریع می باشد، با ظهور تکنولوژی های سخت افزاری و نرم افزاری پیشرفته اقبال پژوهشگران نسبت به این روش افزایش یافته است.

1 EEG

2 Positron Emission Tomography - PET

3 Diffusion NMR

4 Anisotropic

5 Apparent Diffusion Coefficient

6 Diffusion Tensor Imaging (DTI)

7 Diffusion-Weighted Imaging (DWI)

8 Near-infrared spectroscopy (NIRS)

9 Diffuse optical imaging (DOI)

10 Event-related optical signal (EROS)

11 Electroencephalography (EEG)

- همچنین روش های تحریک مغزی مانند تحریک مغناطیسی مغز از راه جمجمه^۱ که بر روی نواحی کوچک و محدودی از مغز اعمال می شود. در این روش، یک مولد میدان مغناطیسی یا «سیم پیچ» را در نزدیکی سر بیمار قرار می دهند. این سیم پیچ، از طریق القای الکترومغناطیسی، یک جریان الکتریکی خفیف در ناحیه زیرین خود در مغز ایجاد می کند و بر اساس آن می توان نقشه فعالیت های مغزی انسان را استخراج کرد.
 - روش های روان- فیزیولوژی، عملکردهای گوناگون روان - فیزیکی را با پاسخ های فیزیولوژیک بدن مرتبط می کنند، به عنوان مثال، احساسات مثبت و منفی چه تأثیراتی بر ضربان قلب، میزان تغییر جریان هوا، فشار خون یا هدایت پوست می گذارند. یکی از رایج ترین روش ها در این گروه، واکنش گالوانیک پوست^۲ است که برای ارزیابی واکنش اضطراب مرتبط با تصمیمات خطرناک استفاده شده است. یکی دیگر از روش های جالب توجه، ردیابی چشم^۳ است، این روش سال هاست که شناخته شده و برای ضبط و تفسیر فعالیت های فیزیولوژیکی انسان، بسیار ساده و کاربردی است.
 - و در نهایت از طریق همبستگی میان یافته های آسیب شناسی آناتومی مغز مرتبط با فعالیت های فرایند تصمیم گیری می توان یک سری اطلاعات حیاتی به دست آورد و از آن در آزمایشات مربوط به اختلال در مهارت های تصمیم گیری و ارزیابی ضعیف از پیامدهای تصمیمات به کار برد.
- در روش های تجزیه و تحلیل مربوط به پژوهش های اقتصاد مبتنی بر اعصاب به روشنی می توان مشاهده کرد، اکثر محققان این حوزه است نهایتاً از یک یا دو روش استفاده می نمایند که دلیل آن را می توان در مشکلات مربوط به هزینه ها و مسائل ساختاری و فرهنگی ناشی از این روش ها دنبال نمود.

۳- فعالیت های مغزی و فرایند تصمیم گیری

اولین پاسخ به سؤال این است که چگونه مغز انسان با توجه به فرآیندهای آگاهانه و ارادی کار می کند به دهه ۸۰ میلادی باز می گردد، لیبت (۱۹۸۰)، فعالیت الکتریکی مغز را در طی یک فرایند ساده خم کردن داوطلبانه مچ دست بود مشاهده کرد و کشف کرد که حدود یک ثانیه قبل از اینکه حرکتی اتفاق بیفتد این آمادگی به لحاظ ذهنی و به طور ناخودآگاه در فرد وجود داشته است. در حالی که آگاهی از اراده برای حرکت مجدد مچ دست حدود یک چهارم ثانیه قبل از حرکت ثبت شده بود و این بدان معناست که مغز قبل از اینکه شخص از آن مطلع شود تصمیم خود را گرفته است (سینگر و همکاران، ۲۰۰۴). مشابه این پژوهش در سال ۲۰۰۸ میلادی و توسط پژوهشگران آزمایشگاه علوم شناختی ماکس پلانک آلمان به انجام رسید، در این مطالعه شرکت کنندگان می بایست که یک دکمه را به طور آزادانه با دست چپ یا راست و البته با اعلام قبلی فشار دهند، با ارزیابی های صورت گرفته توسط تکنیک تصویربرداری مغزی این نتیجه حاصل شد که تصمیم گیری اولیه برای فشار دادن دکمه ۷ ثانیه قبل از مرحله خودآگاه انجام شده است. نتیجه این آزمایش تحقیقات لیبت در دهه ۸۰ را تایید و حتی آن را به طور شگفت انگیزی کامل نمود (سوون و همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج این مطالعات و موارد مشابه (هاینس و همکاران، ۲۰۰۷)، باعث بروز اختلاف نظرهای فراوانی در باب حدود اختیارات خودآگاه و ناخودآگاه شد، و این فرضیه مطرح گردید که هیچ گونه اراده آزادی برای تصمیم گیری و انتخاب وجود ندارد. ویلیامز (۲۰۱۳)، در مجله (New Scientist) نوشت: "فرآیندهای ناخودآگاه، تصمیم گیری طولانی تری را پیش از تصمیم گیری های آگاهانه آغاز می کنند"، و "مغز احتمالاً تصمیم خود را اخذ می کند قبل از آنکه صاحب آن مغز تصمیم بگیرد" (ویلیامز، ۲۰۱۳). در واقع می توان گفت که با توجه به همه تصمیمات و انتخاب هایی که داریم، قطعاً یکی از آن ها جنبه آگاهانه و مبتنی بر اراده آزاد نخواهد داشت (کوی، ۲۰۱۲). مفاهیم بالا مبنی بر اینکه تصمیمات ما و برنامه ریزی آن تصمیمات در ارتباط با اعمال آگاهانه صرفاً در ناخودآگاه ما ساخته می شود را می بایست با احتیاط دنبال نمود، زیرا هنوز و در مقیاس بی نهایت می توان نقش اراده آزاد را در تصمیم گیری ها ملاحظه کرد.

مطالعات بر روی انسان ها و میمون ها نشان می دهد که عمدتاً دو سیستم عصبی در تصمیم گیری های مالی و اقتصادی دخیل بودند (مک کلور و همکاران، ۲۰۰۴). اولین سیستم شامل ساختارهای سیستم "لیمبیک"^۴ و پارالیمبیک^۵ است که شامل بخش قوسی از قاعده استریاتوم، قشر پیشانی و قاعده اوربیتوفرونتال^۶ و بخشی از هیپوکامپ^۷ است و هنگامی فعال می شود که مساله ای

1 Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

2 Galvanic skin Response

3 Eye-tracking

4 Limbic system

5 Paralimbic cortex

6 Frontal Cortex

7 Orbitofrontal Cortex

دارای فوریت باشد و یا گزینه ای در دسترس به زودی از بین می رود. اما زمانی که این تصمیم مربوط به گزینه تاخیر و تعلل بود، سیستم دوم، که شامل قشر آهیانه ای خلفی^۱ و قشر پیش پیشانی جنبی^۲، فعال می شود. با این حال، این فرضیه که مبتنی بر دو سیستم فوق استوار شده بود در مطالعات بعدی تأیید نشد. در عوض، نشان داده شده است که سیستم لیمبیک به طور خاص در تصمیم‌گیری در مورد گزینه های فوری درگیر نیست (بایر و همکاران، ۲۰۰۷)، و تصمیمات فوری را می توان در فعالیت در جسم مخطط شکمی^۴ و قشر ساقه خلفی و قدامی^۵ مشاهده شد. این ساختارها همچنین در تصمیم‌گیری مبتنی بر تاخیر و تعلل نیز مشارکت داشتند، اما فعالیت آنها بسیار ضعیف تر از تصمیمات مربوط به منافع فوری افراد بود (کیبل و گلیمچر، ۲۰۰۷).

۴- زیست شیمی (بیوشیمی) مبتنی بر اعصاب در تصمیم‌گیری

بیوشیمی مبتنی بر اعصاب چندین ترکیب مختلف از انتقال دهنده های عصبی را تعریف می کند که مربوط به فرایندهای تصمیم‌گیری است. مهمترین آنها دوپامین^۶، سروتونین^۷، کورتیزول^۸، اکسی توسین^۹ و پرولاکتین^{۱۰} است که در واقع مواد شیمیایی برای کنترل انتقال ضربان های الکتریکی بین نورون ها هستند و نقش آنها تجهیز کردن مغز برای متعهد شدن به انجام وظایفی خاص می باشد (بایر و همکاران، ۲۰۰۷) (راجرز، ۲۰۱۱). تحقیقات متعددی به منظور ارزیابی رابطه دوپامین با عوامل اقتصادی مختلف مانند به تاخیر انداختن زیان یا سود، انجام شده و یافته ها نشان دهنده آن است که نورون های دوپامین در مغز میانی^{۱۱} بر تصمیمات مربوط به مصرف مواد غذایی (خوراک و نوشیدنی) و همچنین پیش بینی خطا و به تاخیر انداختن منافع تأثیر می گذارند (شولتز، ۲۰۰۶) (کوبایاشی و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات مربوط به روابط سروتونین با رفتار اقتصادی مبتنی بر مداخلات دارویی در انسان بود. محققان از تقلیل سریع تریپتوفان^{۱۲} به عنوان تکنیکی برای کاهش موقت سروتونین مغز با مصرف بیش از حد آمینو اسیدهای خنثی در حضور پیش ماده سروتونین، یعنی تریپتوفان، بهره بردند. مطالعات نشان داد که تقلیل سریع تریپتوفان، توانایی برخی افراد در تشخیص دادن حجم پاداش های مورد انتظار نسبت به انتخاب های خاص را ضعیف تر نمود. از سوی دیگر یافته های تحقیق در مورد ارتباط میان سروتونین مغز و رویکرد به خطر و زیان، نتیجه خاصی در بر نداشت و برخی مطالعات همبستگی بین میزان ریسک و سطح سروتونین را تایید نمی کنند (تالبوت و همکاران، ۲۰۰۶) (راجرز و همکاران، ۲۰۰۳). در حالی که برخی پژوهش ها شواهدی مبنی بر وابستگی بین سطوح سروتونین و روان رنجوری (ترس از دست دادن یا نوعی بیزاری که بخشی از ویژگی های فردی مرتبط با اجتناب از ریسک هستند) را نشان می دهند (مورفی و همکاران، ۲۰۰۸). یک پروژه علمی دیگر، تأثیر دو انتقال دهنده عصبی، سروتونین و دوپامین را در مورد ریسک پذیری و نقش حیاتی متقابل آنها را تأیید کرده است (کونن و چپای، ۲۰۰۹). به طور کلی فرض می شود که سروتونین در تعامل متقابل با دوپامین سیگنال هایی برای راه اندازی فرآیند پیش بینی ایجاد می کنند (دنک و همکران، ۲۰۰۷). مشاهده شده است که با کاهش سطح سروتونین اهمیت پاداش هایی که به لحاظ زمانی دچار تاخیر می شوند، کاهش یافته است (شوایگوفر و همکاران، ۲۰۰۸). فعالیت های دوپامینرژیک و سروتونرژیک با افزایش سن، روند نزولی می یابند، و این امر منجر به اختلالات شناختی شدید می شود. این پدیده توضیح می دهد که اگر تغییرات خاصی در رفتار اقتصادی انسان ها رخ می دهد یکی از دلایل مهم آن می تواند مربوط به شرایط سنی همراه با شرایط انحطاط عصبی مانند بیماری آلزایمر یا سایر سندرم های زوال عقل باشد (مور و همکاران، ۲۰۱۰).

همچنین، بخشی از هسته های زیر قشری متعدد در ساقه مغز و هیپوتالاموس وجود دارند که کنترل تولید و جابجایی انتقال دهنده های عصبی به بخش های مختلف مغز را بر عهده دارند و علاوه بر آن قسمت های خاصی از بدن را به طور جداگانه از مغز کنترل می نمایند. با توجه به ویژگی پیچیده این ترکیبات شیمیایی، هنوز مشخص نشده است که چه ساز و کارهایی تولید آنها را تایید می کند و چه تأثیری دارند. در شیمی مبتنی بر اعصاب، شرایط کنترل پروسه های تصمیم‌گیری و ارتباط خوب بین بخش های مختلف مغز توسط غلظت سروتونین تنظیم می شود. سطح سروتونین در هنگام دریافت رضایتمندی از اخذ یک تصمیم

- 1 Hippocampus
- 2 Posterior parietal cortex
- 3 lateral prefrontal cortex
- 4 Ventral Striatum
- 5 Posterior and Anterior Cingulate Cortex
- 6 Dopamine
- 7 Serotonin
- 8 Cortisol
- 9 Oxytocin
- 10 Prolactin
- 11 Midbrain
- 12 Tryptophan

مهم افزایش می یابد در حالی که کمبود آن می تواند باعث کاهش توان خود کنترلی شود. سطوح مختلفی از انتقال دهنده های عصبی در هر نیمکره مغزی وجود دارد. در نیمکره راست، غلظت نورآدرنالین^۱ و سروتونین که دارای نقش اساسی در فعال کردن و سرکوب احساسات دارند، بالاتر است. نیمکره چپ در دوپامین غنی تر است که مسئول تمرکز و توجه است و در تصمیم گیری حیاتی می باشد. همچنین دوپامین، نیمکره راست مغزی را به لحاظ اقداماتی که از نقطه نظر اجتماعی نادرست هستند کنترل می نماید. هر چند که نیمکره راست شخصیت فرد را کنترل می کند، فرد نسبت به برانگیختگی و احساسات خود در تصمیم گیری آسیب پذیر خواهد بود (راجرز، ۲۰۱۱) (دنک و همکاران، ۲۰۰۵). نفوذ در فرایندهای تصمیم گیری از سوی سایر مواد شیمیایی موجود در سیستم عصبی مرکزی، مانند نوراپی نفرین (نورآدرنالین)، به طور فزاینده ای به رسمیت شناخته شده است (اکوف و همکاران، ۲۰۰۹).

غلظت مطلوب گلوکز (قند) برای عملکرد مواد شیمیایی عصبی مغز ضروری است و کمبود آن می تواند منجر به اضطراب، پریشانی و رفتار پرخاشگرانه شود. لازم به ذکر است که در فرایند تصمیم گیری، نه تنها حالت عملکردی مغز بلکه وضعیت تمام بدن اهمیت دارد. عواملی مانند خستگی، فرسودگی، کم آب شدن بدن، عدم تعادل هم ایستایی^۲ (عدم حفظ شرایط پایدار و ثابت در محیط داخلی بدن)، باعث انتخاب های اشتباه می شوند.

۵- آناتومی عصبی تصمیم گیری

تصمیم گیری یک فرآیند پیچیده است و به این دلیل اتفاق می افتد که حاصل فرایندی در تمام نقاط مغز است (لی و همکاران، ۲۰۰۷). با این حال، از دیدگاه عصب شناسی، این قشر پیشانی است که نقش مهمی در هماهنگی همه فعالیت های تصمیم گیری در مغز ایفا می کند [۳۰]. مطالعات عصبی - روانشناختی، بویژه از نوع تصویربرداری مغزی، زمینه هایی از قشر پیشانی را مشخص کرده اند که برای تصمیم گیری حیاتی و محوری هستند. همچنین تحقیق در رابطه با ضایعات مربوط به آناتومی آسیب شناسی با ایجاد تغییرات در عملکرد افراد امکان ارزیابی اهمیت تصمیم گیری در مناطق قشری خاص مغز مانند قشر اوربیتوفرونتال، قشر خلفی جانبی پیش پیشانی^۳ و قشر سینگولای قدامی را فراهم می آورد (کراوچیک، ۲۰۰۲) (وولز و کرامون، ۲۰۰۹) (لی و سئو، ۲۰۰۷).

۵-۱- قشر اوربیتوفرونتال

قشر اوربیتوفرونتال ارتباطات گسترده ای با ساختارهای تجزیه و تحلیل حسی مانند بویایی، چشایی، بینایی، قشر حس تنی^۴ (بخشی از سیستم اعصاب حسی که شامل یک سیستم پیچیده از نورون های حساس و مسیریایی از آن ها به سلول های گیرنده های مختلف بوده که به تغییرات در سطح یا درون بدن پاسخ می دهند) و همچنین با جسم مخطط^۵ که بخشی از سیستم پاداش است، دارد. چنین شرایطی از نظر اندام شناسی عصبی اجازه می دهد تا قشر اوربیتوفرونتال در درک و تولید پاسخ به محرک ارزش پاداش اولیه شرکت کنند. این نتیجه ارتباط تصمیم گیری با نیاز به رضایتمندی است (راشوورت و برنز، ۲۰۰۸) (رولز، ۲۰۰۴). علاوه بر این، قشر اوربیتوفرونتال، مسئول تجزیه و تحلیل ارزش محرک فردی است. به طور مثال فردی که به با وجود حفظ سطح بالای دانش و مهارت حل مسئله در قشر اوربیتوفرونتال دچار آسیب می باشد، در تصمیم گیری های ساده، روزمره و همچنین در تطبیق با محیط اطراف دچار مشکل می شود و این موضوع باعث شکل گیری فرضیه نشانگر پیکری^۶ شد که بر اساس آن پاسخ هیجانی مربوط به گزینه های انتخاب شده ممکن است به دلیل ارتباط بین قشر اوربیتوفرونتال با هسته های آمیگدال و هیپوکامپ باشد (بچارا و هماران، ۲۰۰۰). ثابت شده است که قشر اوربیتوفرونتال در تولید پاسخ به نشانه های انتزاعی، مانند مسائل مالی، و جایی که به اشیاء منفرد، ارزشی نسبت داده می شود مشارکت می کند. آزمایشات تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI) به وضوح نشان می دهند که کدام قسمت های قشر اوربیتوفرونتال در پاسخ به مزایا و ضررهای مالی فعال می شود، به خصوص که این ناحیه مغزی زمانی به سطح فعالیت بالا می رشد که تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان صورت گیرد (پلاسمان و همکاران، ۲۰۰۷) (اودوهرتی و همکاران، ۲۰۰۱) (هسو و همکاران، ۲۰۰۵).

1 Norepinephrine (NE), also called noradrenaline (NA)

2 Homeostasis

3 Dorsolateral prefrontal cortex

4 Somatosensory Cortices

5 Corpus Striatum

6 Somatic Marker Hypothesis

۷- این فرضیه توسط آنتونیو داماسیو متخصص علوم اعصاب عنوان شد و نشان می دهد چگونه هیجان ها و پایه های بیولوژی آن در تصمیم گیری (هم بصورت مثبت و منفی و اغلب ناآگاهانه) درگیر هستند.

فعال شدن قوی قشر اوربیتوفرنال با اتصال به سیستم پاداش، تشخیص فعال و حمایت از رفتار سودمند را تسهیل و رفتار منجر به زیان مالی را متوقف می‌کند. در واقع این اتفاق زمانی رخ می‌دهد که تصمیمات با پاداش‌های مالی قابل توجه یا مجازات‌های موثر همراه باشد (الیوت و همکاران، ۲۰۰۰). حساسیت نوروں‌ها در قشر اوربیتوفرنال به یک محرک پاداش، منجر به ایجاد ارزش محرک در مقیاس مداوم می‌شود و گزینه‌هایی که انتخاب می‌شوند را جداسازی می‌کند (گرابنه‌ورست و رولز، ۲۰۰۹). آنچه در این قشر اتفاق می‌افتد، سازگاری با تغییرات محیطی، نظارت طولانی مدت بر اثرات آن و خاموش کردن پاسخ به محرک‌هایی است که ارزش پاداش آنها کاهش می‌یابد (کراوچیک، ۲۰۰۲) (گرین و میرسون، ۲۰۰۴).

۵-۲- قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی

قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی که روند تصمیم‌گیری در آنجا به رسمیت شناخته شده است و در آنجاست که اطلاعات به دست آمده برای کنترل تصمیمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. چیزی که برای تصمیم‌گیری ضروری است، این است که قشر مورد نظر اطلاعات مربوط به محیط تصمیم‌گیرنده را در حافظه کوتاه مدت ذخیره و سپس پردازش می‌کند. پویایی فرایندهای تصمیم‌گیری انسان بستگی به ارزیابی فکری و سازگاری با محیطی دارد که در آن تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد. در قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی، دیگر کارهای مرتبط با حافظه عملیاتی مانند ذخیره اطلاعات، از جمله موارد عاطفی، به انجام می‌رسد که بوسیله آن اهداف و گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند (کراوچیک، ۲۰۰۲) (لی و سو، ۲۰۰۷) (گیگزورز، ۲۰۰۷). سایر وظایف قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی عبارتند از:

شکل دادن به قواعد تصمیم‌گیری مناسب و ارجاع آنها به موقعیت‌های جدید بر اساس تجربه قبلی (والیس و میلر، ۲۰۰۳).

پردازش همزمان اطلاعات در مورد شرایط محیطی و ارزش پاداش محرک‌های محرک (تالوت و همکاران، ۲۰۰۶).

یکپارچه سازی اطلاعات در مورد ویژگی‌های فیزیکی و انتزاعی گزینه‌های تصمیم‌گیری فردی و اهمیت انگیزشی آنها (ساگاکامی و واتانابه، ۲۰۰۷).

تشخیص و دسته‌بندی محرک‌های تازه درک شده و در نتیجه، انتخاب گزینه‌هایی با ویژگی‌های مشابه و قابلیت استفاده ذهنی مشابه (کراوچیک، ۲۰۰۲)

طبقه‌بندی محرک‌های جدید و اختصاص ارزش پاداش به آنها (پن و همکاران، ۲۰۰۸).

برنامه‌ریزی، کنترل و انطباق رفتار به قوانین مهم موقت و آینده‌نگر و عواقب آن‌ها (ساگاکامی و واتانابه، ۲۰۰۷).

انتخاب واکنش مناسب برای محرک فعلی، پیش‌بینی ارزش پاداش و برنامه‌ریزی پاسخ آن (والیس و میلر، ۲۰۰۳).

اصلاح رفتار بر اساس تصمیمات قبلی (هیر و همکاران، ۲۰۰۹).

۵-۳- قشر سینگولای قدامی

قشر سینگولای قدامی مغز نقش خاصی را در تصمیم‌گیری آن‌هم در شرایط عدم اطمینان، به عنوان مسئول انتخاب بین پاسخ به دو یا چند محرک رقابتی بازی می‌کند. سطح فعالیت این قشر به طور مستقیم با شدت درگیر بودن فرد در موضوع متناسب است. بر اساس مشاهدات صورت پذیرفته از افزایش فعالیت در قشر سینگولا پس از اتخاذ تصمیم اشتباه متوجه شدند که با توجه به این مکانیزم، انسان قادر به نظارت بر صحت رفتار خود می‌باشد (کارتر و همکاران، ۱۹۹۸). سایر وظایف حیاتی قشر سینگولای قدامی عبارتند از:

- تغییر فعالیت انتخاب شده پس از اینکه تصمیم اشتباه تشخیص داده شد؛ پیش‌بینی ارزش بالقوه انتخاب انتخاب شده و ارزیابی هزینه‌ها و پرداخت آنها (واتون و همکاران، ۲۰۰۷).
- انتخاب بین یک پاداش کوچک در دسترس و قابل توجه اما مبتنی بر تلاش (واتون و همکاران، ۲۰۰۷).
- کاهش عدم قطعیت تصمیم‌گیری (یوشیدا و ایشی، ۲۰۰۶).
- شروع انتخاب به تصمیم‌گیری مبتنی بر دقیق‌ترین شرایط (راشوورت و همکاران، ۲۰۰۷).
- مشاهده و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به رفتار افراد دیگر که منجر به تصمیم‌گیری‌های بین فردی یا وسیع اجتماعی می‌شود (ریلینگ و همکاران، ۲۰۰۲).
- پیش‌بینی پیامدهای منفی تصمیمات اتخاذ شده و تحلیل عدم قطعیت ارزیابی پیامد (ریلینگ و همکاران، ۲۰۰۲).
- ادغام جنبه‌های شناختی عدم قطعیت تصمیم‌گیری با تحریک خود به خودی که همراه با پیامد منفی برای تصمیم‌گیری است؛ ایجاد شرایط برای تأیید و اصلاح تصمیم (کریچلی و همکاران، ۲۰۰۵).

۶- فرایندهای مغز: پیش بینی و همدلی رفتار مردم در مقابل تصمیم‌گیری

تصمیم‌گیری به نوعی بر این فرض استوار است که مردم قادر به پیش بینی رفتار دیگران و احساس همدلی با آنها هستند. این توانایی حاصل از ترجیحات و باورهای فردی است. علوم اعصاب اجتماعی بینشی را به مکانیسم‌های عصبی که ظرفیت ما را برای نشان دادن قصدها، باورها و خواسته‌های دیگران و همچنین به اشتراک گذاشتن احساسات دیگران و همدلی کردن آنها می‌بخشد، فراهم می‌کند. همدلی، خودخواهی را در بین مردم کم می‌کند و به آنها امکان می‌دهد احساسات خود را با دیگران به اشتراک بگذارند، بنابراین این موضوع به ایشان انگیزه می‌دهد تا تصمیمات خود را به سوی دیگران هدایت نمایند. مطالعات در مورد همدلی نشان می‌دهد که مدارهای عصبی احساسی مشابه وقتی احساس درد می‌کنیم و یا زمانی که درد را در دیگران میبینیم به طور خودکار فعال می‌شوند. بنابراین، هنگام تصمیم‌گیری، همدلی، اغلب احساسات ما را به سوی دیگران هدایت می‌کند. روانشناسی اجتماعی و همچنین علوم اعصاب شناختی بر توانایی انسان برای ارزیابی و پیش بینی وضعیت‌های مختلف، مانند خواسته‌ها، عقاید، نیت‌ها، و دیگر افراد تمرکز می‌کنند. بر همین اساس مطالعات صورت پذیرفته بر روی فعالیت مغز در مورد فرایندهای مربوط به انتخاب و باور انجام شد که نتایج نشان دهنده دخالت قسمت میانی بخش پیش پیشانی، یعنی قشر سینگولای قدامی است. این بخش از مغز نه تنها در خواندن افکار، نیت و اعتقادات دیگران مشارکت می‌کند، بلکه به دیدگاه‌های ذهنی خود ما نیز کمک می‌کند. این موضوع به ایجاد کمک به ایجاد بازنمودهایی جداگانه از باورهای ما در مورد وضعیت جهان اطراف یاری می‌رساند (بات و کامرر، ۲۰۰۵) (فریت و فریت، ۲۰۰۳).

تحقیقات مشابه تمرکز خود را بر روی جستجوی بنیادی مکانیزم‌های عصبی قرار دادند که توانایی انسان در نشان دادن اهداف و قصدهای دیگران را صرفاً با مشاهده فعالیت‌های حرکتی نشان می‌دهد. چنین رویکردی ناشی از مشاهداتی است که طی آن نورون‌ها در بخش پیش حرکتی^۱ مغز میمون‌ها فعال می‌شوند. این کشف قابل توجه نشان دهنده این واقعیت بود که نورون‌های مورد نظر منعکس‌کننده منشا عصبی تقلید می‌باشند و در زمینه تصمیم‌گیری نقش حیاتی بازی می‌کنند. سیستم نورون‌های آینه‌ای^۲ ممکن است بنیادی برای توانایی‌هایی ما در همدلی با حالت‌های ذهنی دیگران باشد و این اطمینان را حاصل می‌نماید که ما به طور خودکار اعمال، اهداف و نیت‌های خود را شبیه‌سازی و تصمیمات خود را به این شکل سازگار می‌کنیم. به استثنای توانایی درک وضعیت دیگر ذهن‌ها، افراد قادر به همدل نیز هستند، یعنی اینکه می‌توان احساسات را بدون هرگونه انگیزتگی عاطفی به اشتراک گذاشت. علاوه بر این، انسان‌ها می‌توانند حس همدلی نسبت به دیگران را موقعیت‌های مختلف مانند خشم، ترس، ناراحتی، شادی، رنج، آرزو و پیچیده‌تر از آن مانند حس گناه، شرم و عشق احساس کنند. محققان با تکیه بر مدل‌های ادراکی که رفتار و تقلید را توضیح می‌دهند، یک مدل علمی عصبی از همدلی را پیشنهاد دادند، این مدل نشان می‌دهد که مشاهدات محض و یا تصویری از یک فرد در یک وضعیت احساسی خاص، به طور خودکار حالتی از وی را همراه با پاسخ‌های مربوط به سیستم‌های عصبی خودگردان و پیکری^۳ ارائه می‌دهد، به طوری که تصمیمات دیگر فرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد (پرستون و وال، ۲۰۰۲).

تحقیقات ثابت کرده است که یک محرک قوی (مانند درد) و عاملی همچون آگاهی از اینکه کسی که برای ما مهم است احساس درد می‌کند، همان مدارهای عصبی درد را در ما نیز فعال می‌کند، در واقع رنج آن فرد در مغز ما نیز ظاهر می‌شود. این امر نمایانگر وضعیت درونی انسانهاست که به پیش بینی و درک احساسات دیگران در ارتباط با برخی رویدادها (مانند تصمیم‌گیری) کمک می‌نماید (سینگر و همکاران، ۲۰۰۴).

۷- زیست‌شناسی عصبی معضلات اخلاقی در مقابل تصمیم‌سازی

از گذشته‌های دور تا به امروز نظریه‌های فلسفی اخلاقی می‌گویند که مغز نقش اصلی در تصمیم‌گیری‌های اخلاقی دارد. در پرتو روانشناسی توسعه مدرن، عقلانیت به عنوان پایه‌ای از انتخاب‌های اخلاقی استنباط می‌شود. از طرف دیگر، احساسات گرایان ادعا کردند که احساسات در تصمیم‌گیری اخلاقی نقش اصلی دارند. اسمیت در سال ۱۷۵۹ گفت که اخلاق از ادراک دیگران و احساس همدردی نسبت به آنها حاصل می‌شود. عصب‌شناسی تلاش می‌کند تا به این سطح از درک برسد که چگونه تصمیم‌های اخلاقی در مغز ظاهر می‌شود و چگونه این تصمیم‌ها توسط احساسات تغییر می‌یابد. پزشکانی هستند که در کارهای روزمره خود به طور خاص با معضلات اخلاقی بسیار دشوار روبرو هستند و باید بین دو راه حل بد، انتخاب کنند، مثلاً آن‌ها آگاه هستند که اگر به قربانی یک حادثه رسیدگی شود، شانس زنده ماندن بقیه قربانیان آن حادثه با این تصمیم کاهش می‌یابد. اقتصاددانان نیز باید تصمیم بگیرند که از بین یک شرکت ضعیف یا یک بانک، کدامیک باید به بودجه دسترسی داشته باشد. مطالعات در مورد

1 Premotor Cortex

2 mirror neurons

3 Autonomic and Somatic Systems

تصمیماتی با اثرات بد کمتر بر اساس آزمایش احساسات اخلاقی^۱ به انجام رسیده است. این آزمایش، مجموعه ای از شرایط فرضی است که در آن افراد از چندین راه حل دشوار انتخاب یکی را می کنند. مورد جالب اینکه، آزمون های تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی نشان می دهد، زمانی که پاسخ ها به انتخاب یک راهکار سودمند منتهی می شود زمان بیشتری می برند تا زمانی که انتخاب ها نیاز به نقض استانداردهای اخلاقی شخصی دارند. به طور کلی دیدگاه هایی که در آن ها میل به انجام اعمال اخلاقی وجود دارد، در میان مردم محبوب تر هستند (هایت، ۲۰۰۶). یک عمل که به طور قطعی موجب اثرات منفی اخلاقی می شود، اگر به صورت عمدی انجام شود از نظر اخلاقی غیر قابل قبول خواهد بود، اما همین عمل در صورتی که با هدف ایجاد یک اثر اخلاقی موجه انجام شود یک اتفاق غیر عمدی و ناخواسته خواهد بود، هرچند اثر آن قابل پیش بینی باشد (گالویکز، ۲۰۰۱). به طور کلی هنگامی که با تصمیماتی مواجه می شویم که ممکن است منجر به عواقب شدید و عمومی شود، اکثر افراد نقض غیرعادی از استانداردهای اخلاقی را رد می کنند و با آن مخالفند، در حالی که به صورت فردی نقض این قوانین را می پذیرند.

نتیجه گیری

تصمیم گیری با مکانسیم های زیست شناسی عصبی، ساختارهای عصبی، شیمی مبتنی بر اعصاب و روان شناختی ارتباط نزدیکی دارد. آنها را در قسمت های خاصی از مغز، به ویژه در قشر پیش پیشانی، که منطقه یکپارچه سازی ارتباطات با گزینه های تصمیم گیری فردی است قرار می گیرند. این فرایند ترجیحات مربوطه را با مرجع آماده می کند. نیازهای فعلی یک تصمیم گیرنده. مطالعات بر روی پیش زمینه های عصبی شناختی تصمیم گیری، بینش بهتر راجع به عقلانیت محدود شده انسان و نقش احساسات، اخلاق و همدلی را نشان می دهد. علاوه بر این، این مطالعات به دانش در مورد دوره های تصمیم گیری و ارزش انطباق آنها کمک می کند.

این فرایند، ترجیحات را با اشاره به نیازهای فعلی فرد تصمیم گیرنده تهیه می کند. مطالعات بر روی پیش زمینه های زیست شناسی عصبی تصمیم گیری، بینش بهتر راجع به عقلانیت محدود شده انسان و نقش احساسات، اخلاق و همدلی را نشان می دهد. علاوه بر این، این مطالعات به دانش موجود در مورد دوره های تصمیم گیری و ارزش انطباق آنها کمک می کند.

- 1- Bayer HM, Lau B, Glimcher PW (2007) Statistics of midbrain dopamine neuron spike trains in the awake primate. *J Neurophysiol* 98:1428–1439.
- 2- Bechara A, Tranel D, Damasio H (2000) Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain* 123:2189–2202.
- 3- Bhatt M, Camerer CF (2005) Self-referential thinking and equilibrium as states of mind in games: fMRI evidence. *Games Econ Behav* 52:424–459.
- 4- Carter CS, Braver TS, Barch DM et al (1998) Anterior and the online monitoring of performance. *Science* 280:747–749.
- 5- Chiang MC, Barysheva M, Shattuck DW et al (2009) Genetics of brain fiber architecture and intellectual performance. *J Neurosci* 29(7):2212–2224.
- 6- Coyne JA (2012) Column: why you don't really have free will, *US Today*. <http://usatoday30.usatoday.com/news/opinion/forum/story/2012-01-01/free-will-science-religion/52317624/1>. Accessed 1 Jan 2012.
- 7- Critchley HD, Tang J, Glaser D et al (2005) Anterior cingulate activity during error and autonomic response. *NeuroImage* 26:885–895.
- 8- Demaerel P (1997) In vivo localized single-voxel proton magnetic resonance spectroscopy of intracranial tumors. *Int J Neuroradiol* 3:94–100.
- 9- Denk F, Walton ME, Jennings KA, Sharp T et al (2005) Differential involvement of serotonin and dopamine systems in cost-benefit decisions about delay or effort. *Psychopharmacology* 179:587–596.
- 10- Eckhoff P, Wong-Lin K-F, Holmes P (2009) Optimality and robustness of a biophysical decision-making model under norepinephrine modulation. *J Neurosci* 29(13):4301–4311.
- 11- Elliott R, Friston K, Dolan R (2000) Dissociable neural responses in human reward systems. *J Neurosci* 20:6159–6165.
- 12- Frith U, Frith CD (2003) Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Biol Sci* 358:459–473.
- 13- Galewicz W (2001) Tomasz z Akwinu o zabijaniu. *Znak* 7(554):81–97.
- 14- Gigerenzer G (2007) Gut feelings. *The intelligence of the unconscious*. Allen Lane, London.
- 15- Glimcher P (2003) The neurobiology of visual-saccadic decision making. *Annu Rev Neurosci* 26:133–179.
- 16- Grabenhorst F, Rolls ET (2009) Different representations of relative and absolute subjective value in the human brain. *NeuroImage* 48:258–268.
- 17- Green L, Myerson J (2004) A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. *Psychol Bull* 130:769–792.
- 18- Haidt J (2006) *The happiness hypothesis: finding modern truth in ancient wisdom*. Basic Books, New York.
- 19- Hare TA, Camerer CF, Rangel A (2009) Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science* 324:646–648.
- 20- Haynes JD, Sakai K, Rees G et al (2007) Reading hidden intentions in the human brain. *Curr Biol* 17:323–328.
- 21- Hsu M, Bhatt M, Adolphs R et al (2005) Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science* 310:1680–1683.
- 22- Johansen-Berg H, Behrens TE (2006) Just pretty pictures? What diffusion tractography can add in clinical neuroscience. *Curr Opin Neurol* 19(4):379–385.
- 23- Kable JW, Glimcher PW (2007) The neural correlates of subjective value during intertemporal choice. *Nat Neurosci* 10(12):1625–1633.

- 24- Kobayashi S, Kawagoe R, Takikawa Y et al (2007) Functional differences between macaque. prefrontal cortex and caudate nucleus during eye movements with and without reward. *Exp Brain Res* 176:341–355.
- 25- Koenigs M, Young L, Adolphs R et al (2007) Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgements. *Nature* 446(7138):908–911.
- 26- Krawczyk D (2002) Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making. *Neurosci Biobehav Rev* 26:631–664.
- 27- Kuhnen CM, Chiao JY (2009) Genetic determinants of financial risk taking. *PLoS One* 4: e4362
- Lee D, Rushworth MF, Walton ME et al (2007) Functional specialization of the primate frontal cortex during decision making. *J Neurosci* 27:8170–8173.
- 28- Lee D, Rushworth MF, Walton ME et al (2007) Functional specialization of the primate frontal cortex during decision making. *J Neurosci* 27:8170–8173.
- 29- Lee D, Seo H (2007) Mechanisms of reinforcement learning and decision making in the primate dorsolateral prefrontal cortex. *Ann N Y Acad Sci* 1104:108–122.
- 30- McClure SM, Laibson DI, Loewenstein G, Cohen JD (2004) Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science* 306:503–507.
- 31- Mohr P, Li S-C, Heekeren HR (2010) Neuroeconomics and aging: neuromodulation of economic decision making in old age. *Neurosci Biobehav Rev* 34:678–688.
- 32- Murphy SE, Longhitano C, Ayres RE et al (2008) The role of serotonin in non-normative risky choice: the effects of tryptophan supplements on loss-aversion in healthy adult volunteers. *J Cogn Neurosci* 21:1709–1719.
- 33- O'Doherty J, Kringelbach ML, Rolls ET et al (2001) Abstract reward and punishment representations in the human orbitofrontal cortex. *Nat Neurosci* 4:95–102.
- 34- Pan X, Sawa K, Tsuda I et al (2008) Reward prediction based on stimulus categorization in primate lateral prefrontal cortex. *Nat Neurosci* 11:703–712.
- 35- Plassmann H, O'Doherty J, Rangel A (2007) Orbitofrontal cortex encodes willingness to pay in everyday economic transactions. *J Neurosci* 27:9984–9988.
- 36- Preston SD, de Waal FB (2002) Empathy: its ultimate and proximate bases. *Behav Brain Sci* 25 (1):1–20.
- 37- Rilling J, Gutman D, Zeh T, Pagnoni G, Berns G, Kilts C (2002) A neural basis for social cooperation. *Neuron* 35:395–405.
- 38- Rogers RD (2011) The roles of dopamine and serotonin in decision making: evidence from pharmacological experiments in humans. *Neuropsychopharmacology* 36(1):114–132.
- 39- Rogers RD, Tunbridge EM, Bhagwagar Z et al (2003) Tryptophan depletion alters the decision making of healthy volunteers through altered processing of reward cues. *Neuropsychopharmacology* 28:153–162.
- 40- Rolls ET (2004) The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain Cogn* 55:11–29.
- 41- Rushworth MF, Behrens TE (2008) Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. *Nat Neurosci* 11:389–397.
- 42- Rushworth MF, Behrens TE, Rudebeck PH, Walton ME (2007) Contrasting roles for cingulate and orbitofrontal cortex in decisions and social behavior. *Trends Cogn Sci* 11:168–176.
- 43- Sakagami M, Watanabe M (2007) Integration of cognitive and motivational information in the primate lateral prefrontal cortex. *Ann N Y Acad Sci* 1104:89–107.
- 44- Schultz W (2006) Behavioral theories and the neurophysiology of reward. *Annu Rev Psychol* 57:87–115.
- 45- Schweighofer N, Bertin M, Shishida K et al (2008) Low-serotonin levels increase delayed reward discounting in humans. *J Neurosci* 28:4528–4532.
- 46- Singer T, Seymour B, O'Doherty J et al (2004) Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science* 303(5661):1157–1162.
- 47- Soon S Chun, Brass, Marcel et al (2008) Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience* volume 11, pages 543–545.

- 48- Svenson O (2003) Values, affect and processes in human decision making: a differentiation and consolidation theory perspective. In: Schneider SL, Shanteau J (eds) Emerging perspectives on judgment and decision research. Cambridge University Press, New York, pp 287–326.
- 49- Talbot PS, Watson DR, Barrett SL, Cooper SJ (2006) Rapid tryptophan depletion improves decision-making cognition in healthy humans without affecting reversal learning or set shifting. *Neuropsychopharmacology* 31:1519–1525.
- 50- Thijs VN, Adami A, Neumann-Haefelin T et al (2001) Relationship between severity of MR perfusion deficit and DWI lesion evolution. *Neurology* 57:1205–1211.
- 51- Volz KG, von Cramon DY (2009) How the orbitofrontal cortex contributes to decision making—a view from neuroscience. *Prog Brain Res* 174:61–71.
- 52- Wallis JD, Miller EK (2003) Neuronal activity in primate dorsolateral and orbital prefrontal cortex during performance of a reward preference task. *Eur J Neurosci* 18:2069–2081.
- 53- Walton ME, Bannerman DM, Rushworth MF (2002) The role of rat medial frontal cortex in effort based decision making. *J Neurosci* 22:10996–11003.
- 54- Walton ME, Rudebeck PH, Bannerman DM, Rushworth MF (2007) Calculating the cost of acting in frontal cortex. *Ann N Y Acad Sci* 1104:340–356.
- 55- Williams C (2013) Brain imaging spots our abstract choices before we do. *New Sci* 218(2913):16.
- 56- Yoshida W, Ishii S (2006) Resolution of uncertainty in prefrontal cortex. *Neuron* 50:781–789