۷

تمرکز بر فرصت‌های فناوری نانو برای تکامل شناختی و عملکرد انسانی

ادگار گارسیا ـ ریل (*Edgar Garcia - Rill*)

در این فصل مطالب زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱. فناوری نانو به تکامل شناختی ما کمک می‌کند.
۲. کاربردهای فناوری نانو ما را در نظارت بر پریشانی و ارزیابی‌های نقادانه کمک می‌کند و موجب پیشرفت‌های غیرمنتظره در عملکرد انسان می‌شود.

مطالب زیر استدلال‌هایی برای تأیید این دو نظر است که یکی عمومی و دیگری خاص است، و این استدلال‌ها با توجه به کاربردهای فناوری نانو در عملکرد انسانی ارایه شده‌اند. این رویا و راهبرد تحول‌ساز آن نیاز به همگرایی علوم نانو، فناوری زیستی، محاسبات پیشرفته و اصول علم عصب‌شناسی دارد.

تکامل شناختی ما

چگونه مغز انسان به این قدرت بی نظیر دست پیدا کرد؟ گونه‌ی ما کم‌تر از ۲۰۰,۰۰۰ سال پیش پدید آمد، ولی در مقایسه با دیگر پستانداران نخستین هیچ راه حسی جدیدی ندارد. مغز ما آثار به‌جا مانده از اجداد تکاملی خود را حفظ کرده است. سیستم عصبی مهره‌داران (مثل ماهی‌ها) بسیار قدیمی است و ما عناصر مغز مهره‌داران را حفظ کرده‌ایم، خصوصاً در سازماندهی نخاع و سیستم‌های ساقه‌ی مغز. یکی از تحولات اساسی تکامل، در گذر از محیط آبی به محیط خاکی پدید آمد. واحدهای جدیدی به‌وجود آمدند تا نیازهای پیچیده‌تر این محیط را برآورده سازند و این

واحدها به صورت تالاموس،[۱] گره‌های عصبی پایه و واحدهای قشر مخ بودند که در مغز پستانداران مشهود است. تفاوت ساختار مغزی پستانداران نوع عالی و پست، بیش‌تر در اندازه‌ی آن‌هاست تا در داشتن ساختارهای جدید. قشر مغزی پستانداران نوع عالی و میمون‌ها، از نظر اندازه، افزایش زیادی پیدا کرده است. ولی تفاوت میان مغز میمون، مغز میمون بدون دم و مغز انسان هم در اندازه‌ی آن‌هاست. در مقایسه‌ی این سه مغز ما دریافتیم که اندازه‌ی نواحی اولیه‌ی قشر مخ (نواحی‌ای که با عملکردهای حسی و حرکتی سر و کار دارد) اندازه‌ی مشابهی دارند، ولی در گونه‌های عالی‌تر نواحی ثانویه و به‌خصوص نواحی ثالث قشر مخ (نواحی که با پردازش سطح بالاتر اطلاعات حسی و حرکتی سروکار دارد) نواحی هستند که به خصوص در انسان دچار افزایش اندازه‌ی شدیدی شده‌اند؛ یعنی ما یک سری از ساختارهای مغز را در طی روند تکامل حفظ کرده‌ایم، ولی به‌نظر می‌رسد اندازه‌ی این نواحی به‌خصوص قشر مغز در انسان بیش‌تر شده است (Donald 1991).

عواملی که آناتومی قشر مغز انسان را تعیین می‌کنند ژن ها، محیط زیست و فرهنگ‌پذیری هستند (ر. ک. Donald 1991). به‌عنوان نمونه، ساختار واحد اصلی محاسباتی قشر مخ، یعنی ستون قشر مخ به صورت ژنتیکی تعیین می‌شود. ولی اتصال میان ستون‌های قشر مخ که موجب ایجاد قدرت عالی محاسباتی بر مبنای تجربه می‌شود به‌خصوص در طی مراحل بحرانی رشد، به‌وسیله‌ی محیط تعیین می‌شود. علاوه بر این، روند فرهنگ‌پذیری، تغییرات انعطاف‌پذیر کالبدشناسی را ایجاد می‌کند که به کل مدارها امکان می‌دهد در عملکردهای روزانه‌ی انسان شرکت کنند. این امر را می‌توان با آزمایش و تجربه ثابت کرد. جهش‌های ژنتیک موجب نواقص شدید در عملکرد می‌شوند، ولی وقتی هیچ مشکل ژنتیکی وجود نداشته باشد و در عین حال فرد با محیط برخورد نداشته باشد (مثل پوشاندن چشم در دوره‌ی بحرانی رشد) موجب نواقصی (نابینایی) در تمام عمر می‌شود. اگر عوامل ژنتیکی و محیطی هر دو پیشرفت طبیعی داشته باشند ولی فرهنگ‌پذیری نباشد، مهارت‌های نمادین و زبان رشد نمی‌کند و تأثیرات عمیقی ایجاد می‌شود.

رشد بی‌سابقه‌ی قشر مغز که در مواجهه با فرهنگ صورت گرفت، موجب شد تا ما بتوانیم مهارت‌های بسیار پیچیده‌تر، زبان و عملکردهای بی‌نظیر انسانی را به دست آوریم. تصور بر این است که ما براساس ظرفیت خود می‌توانیم مهارت‌های نمادینی را که در گذشته منتهی به هوش بالاتر ما شده‌اند، کسب کنیم. زمانی که ما سمبل‌ها، الفبا و ریاضیات را وارد مغز کردیم، حافظه‌ی

---

۱. تالاموس (Thalamus): ماده‌ی خاکستری مغز میانی، م.

زیستی، دیگر برای ذخیره‌سازی دانش کلی کافی نبود. یعنی مغز انسان تبدیل به یک ساختار "هیبرید" شد که از آثار به‌جا مانده‌ی مراحل اولیه‌ی زیستی، واحدهای تکامل‌یافته‌ی جدید و وسایل خارجی (وسایل جانبی فرهنگی) حافظه‌ی نمادین (کتاب‌ها، کامپیوترها و غیره) تشکیل شده است که این هم خود سازماندهی مغز و روش تفکر ما را تغییر می‌دهد (ر. ک. Donald 1991). یعنی زمانی که با قدرت مغز خود به پیشرفت فناوری ادامه می‌دهیم، فرهنگ‌پذیری ناشی از فناوری، بر روش پردازش اطلاعاتی ما و روش شکل پذیری مغز ما تاثیر می‌گذارد. نتیجه آن‌که ما نسبت به موجودات قبلی، پیچیده‌تر هستیم و ممکن است هنوز به فرم نهایی تکاملی خود نرسیده باشیم. از آنجایی‌که هنوز در حال تکامل هستیم، نتیجه‌ی اجتناب‌ناپذیر این است که فناوری نانو موجب سوق دادن این تکامل به جلو می‌شود. شاید مسئولیت دانشمندان نانو این باشد: پدید آوردن فناوری هیبریدی در مقیاس نانو.

ما چه نوع ساختارهای هیبریدی را باید تهیه کنیم؟ وسوسه انگیزترین مسیر، تمرکز تحقیقات فناوری نانو بر ادغام مغز و ماشین برای تهیه‌ی وسایل قابل کاشت (به جای وسایل جانبی) و از این طریق به حداکثر رساندن شناسایی، دریافت و پاسخگویی یا افزایش "قدرت محاسباتی" یا ذخیره‌سازی حافظه است. اگر امید به انجام این کارها داریم، باید بدانیم مغز چگونه اطلاعات را پردازش می‌کند. پیشرفت‌های اخیر در علوم پردازش اطلاعاتی مغز از جهاتی مشابه پیشرفت‌های محاسباتی است. براساس قانون مور پیشرفت‌های سخت‌افزاری موجب دو برابر شدن قدرت محاسباتی و ذخیره‌سازی کامپیوترها در هر ۱۸ ماه می‌شود؛ ولی این امر موجب پیشرفت‌های مشابه در نرم‌افزارها نشده است، چون به‌نظر می‌رسد کامپیوترهای سریع‌تر موجب تشویق نرم‌افزارهای ناکارآمدتر شده است (ر. ک. Pollack 2002) هم‌چنین تحقیقات مغز، اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد سخت‌افزار مغز، اتصال آناتومیکی آن و واکنش‌های سیناپسی به ما ارایه داده، ولی این انفجار اطلاعاتی، مطالب زیادی در مورد نرم‌افزاری که مغز برای پردازش اطلاعات و هدایت حرکات آگاهانه به کار می‌برد، نداده است. علاوه بر این، این باور منطقی است که ما هرچه بیش‌تر رشد کرده و با محیط و فرهنگ ارتباط بیش‌تری پیدا می‌کنیم و "خطوط کد" (Line of Code) مؤثرتر تهیه می‌کنیم، نرم‌افزارهای ما نیز مناسب‌تر می‌شود. برحسب واژگان علم زیست‌شناسی عصب، می‌توانیم بگوییم معماری مغز با ژنتیک تعیین می‌شود، الگوی اتصالات به‌وسیله‌ی تجارب تعیین می‌شود و در روند فرهنگ‌پذیری در طول زندگی تحت تغییرات شکل پذیر قرار می‌گیریم. بنابراین باید مهارت‌های خود را در نرم‌افزار مغز ارتقا دهیم.

مغز از چه نوع نرم‌افزاری استفاده می‌کند؟ کار مغز شبیه کامپیوتر نیست. مغز یک دستگاه دیجیتالی نیست، یک دستگاه آنالوگ است. عمده محاسبات مغز با فورمت آنالوگ و به صورت

گیرنده‌های درجه‌بندی شده و پتانسیل‌های سیناپسی انجام می‌شود، و به صورت پتانسیل‌های کاری همه یا هیچ نیست که در نهایت موجب پتانسیل‌های درجه بندی شده‌ی دیگر می‌شود. حتی گروه نورون‌ها، کل راه‌های حسی و سیستم‌های چند حسی همه، موج‌های فعالیتی ایجاد می‌کنند که از ریتم Hz ۴۰ که زیربنای اتصال رویدادهای حسی است، شروع می‌شود و تا پتانسیل‌های آهسته که زیربنای روندهای طولانی‌مدت است ادامه دارد. قبل از این‌که حتی امید کاشت یا هدایت ماشین‌هایی در مقیاس ماکرو، میکرو یا نانو را داشته باشیم، علوم فناوری اطلاعات و محاسبات پیشرفته باید مهارت‌های ما را در محاسبات آنالوگ قوی کنند. این مسئولیت به عهده‌ی همکاران ما در فناوری اطلاعات است؛ یعنی، تهیه‌ی نرم‌افزارهای محاسباتی آنالوگ. ولی ما نباید منتظر باشیم تا به پیشرفت‌های مهمی در آن مسیر برسیم، چون می‌توانیم به پیش برویم و در این میان وسایل جانبی مقیاس نانو را تهیه کنیم.

بهبود عملکرد انسان

تنظیم ورود حسی

عملکرد انسان که تحت کنترل مستقیم مغز است، وابسته به هرم روندهاست. عملکرد دقیق انسان وابسته به تجربه‌ی کسب شده از یادگیری و حافظه است، و یادگیری و حافظه هم وابسته به توجه انتخابی ما به عملکرد کارهای در حال انجام ماست و این توجه هم وابسته به مکانیسم‌های انگیزه‌ای قبل از توجه است که سطح توجه را تعیین می‌کند (مثلا من برای توجه کردن باید بیدار باشم). عملکرد انسان را می‌توان با آموزش، بهبود بخشید و این آموزش شامل روندهای سطح بالاتر نظیر یادگیری و حافظه است. ولی رایج‌ترین عاملی که موجب عملکرد ضعیف انسان می‌شود روندهای سطح پایین، عدم توجه یا پریشانی حواس است. پریشانی حواس نتیجه‌ی خستگی، استرس، بیماری و موارد دیگر است. آیا می‌توان میزان پریشانی حواس را کاهش داد یا حداقل بر سطح پریشانی حواس نظارت کرد؟ آیا فناوری نانو می‌تواند خدمت مهمی در حوزه‌ی مهم پریشانی حواس انجام دهد؟

کمیته‌ی شورای ملی تحقیقات زیست‌شناسی فضایی و پزشکی در سال ۱۹۹۸ چنین نتیجه‌گیری می‌کند که:

استرس فزاینده دارای تاثیرات قطعی معینی است که عبارتند از: تغییرات روان فیزیولوژیکی مربوط به دگرگونی سیستم سمپاتیک ـ آدرنال ـ مدولار و محور هیپوتالاموس ـ هیپوفیز ـ آدرنال (ترشحات هورمونی، گرفتگی عضلات، سرعت تنفس و ضربان قلب، نشانه‌های گوارشی)،

ناراحتی‌های درونی (نگرانی، افسردگی، تغییر در خواب، تغذیه و سلامت)، ناسازگاری با دیگـران و آسیب دیدن عملکردهای مداوم شناختی. ارزیابی شخص از استرس‌زایی محیط اطـراف و میـزان توانایی غلبه بر این استرس‌ها اغلب مهم‌تر از خصوصیات عینی تهدیدات است.

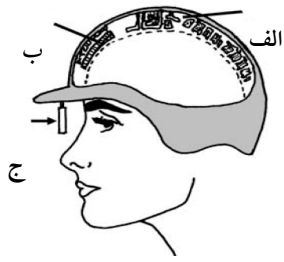
بنابراین تهیه‌ی روشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ما در شرایط استرس‌زا و پاسخ دادن نامناسب به ویژگی‌های محیط، بسیار مهم است. مفهوم "تنظیم ورود حسی" (Sensory Gating) به معنـای عملکرد حساس سیستم مرکزی عصبی در فیلتر کردن اطلاعـات زمینـه‌ای نـامربوط و معطـوف کردن توجه به محرک‌های جدیدتر و مهم‌تر است. با نظارت بر توانایی تنظیم ورود حسی، توانایی ما در ارزیابی و فیلتر کردن محرک‌های ناخواسته ارزیابی می‌شود و شـانس موفقیـت‌آمیـز بـودن عملکرد بعدی تعیین می‌شود.

یکی از اقدامات پیشنهاد شده برای اندازه‌گیری توانایی تنظیم ورود حسـی، پتانسـیل P50 اسـت. پتانسیل P50 یک پتانسیل برانگیخته شده و نیمه‌پنهان شنوایی است که الف ـ به سرعت عـادت می‌کند؛ ب ـ وابسته به وضعیت خواب است و ج ـ تا حـدی بـه‌وسـیله‌ی عناصـر اسـتیل کـولین سیستم فعـال‌کننـده‌ی شـبکه‌ای (Reticular Activating System) ایجـاد مـی‌شـود (سیسـتم فعال‌کننده‌ی شبکه‌ای وضعیت‌های خواب و بیداری، برانگیخته شدن و پاسخ‌های جنگیدن یا فرار کردن را تنظیم می‌کند). به‌وسیله‌ی الگوی جفت محرک‌ها ثابـت شـده کـه تنظـیم ورود حسـی پتانسیل P50 در اختلال‌هایی نظیر اختلال‌های نگرانی (به‌خصـوص اخـتلال فشـار روانـی پـس آسیبی) (Post- traumatic stress disorder)، افسردگی و اسکیزوفرنی کاهش می‌یابـد. (ر. ک. Garcia - Rill 1997). یک معیار پیش ـ توجهی (Preattentional) دیگر را نیز می‌توان به کـار برد که واکنش یکه خوردن (Startle Response) است؛ ولی چون زمان عادت کردن به آن و در نتیجه زمان اندازه‌گیری بسیار طولانی است (بیش‌تر از ۲۰ دقیقه) و چون پـذیرش محـرک‌هـای بلند و ترساننده هم یک مشکل محسوب می‌شود، استفاده از پتانسیل P50 بهتر است.

استرس موجب نقص در تنظیم ورود حسی می‌شود، و بنابراین یک مانع جدی بر سر عملکردهای درست در شرایط پیچیده‌ی کاری است. ما پیشنهاد می‌کنیم یک واحد مقیاس نانو برای پتانسیل P50**طراحی** شود تا معیاری برای تنظیم ورود حسی باشد (تصویر ج ـ ۹).

روش‌های ارزیابی آمادگی عملکرد انسان می‌توانند موفقیـت در عملکردهـا را پـیش‌بینـی کننـد، به‌خصوص اگر این روش‌ها غیرآسیب رسان و مطمئن باشـد و وقـت‌گیـر نباشـد. اگـر اسـترس و عوامل دیگر موجب کاهش تنظـیم ورود حسـی شـوند، در ایـن صـورت راه‌هـای درمـانی مثـل راهبردهای روبه‌رو شدن با مشکلات، تکنیک‌های آرامـش (Relaxtion) و درمـان‌هـای دارویـی می‌تواند ایجاد شود تا تنظیم ورود حسی را به سطوح قابل قبول برساند. باید یادآور شـد کـه ایـن

تکنیک را می‌توان برای شناسایی روند کند نواقص مزمن تنظیم ورود حسی که ناشی از افسردگی بالینی یا اختلال نگرانی است به کار برد که در این مورد، راه‌های درمانی نیاز به تشخیص داروهای روانی مثل داروهای از بین برنده‌ی نگرانی یا داروی ضد افسردگی دارد.
اجرای این روش به توانایی ثبت پاسخ‌های برانگیخته شده‌ی نیمه پنهان شنوایی در محیط‌های مختلف محدود می‌شود. روش پیش‌بینی شده برای اجرا، استفاده از کلاه الکترونیکی حفاظ‌دار (تصویر ج‌ـ۹) است که حاوی موارد زیر می‌باشد:
الف ـ الکترودهای ثبت پتانسیل P50 در بالای سر، گیجگاه و زمین؛ ب ـ ثبت حرکات چشم به‌وسیله‌ی یک صفحه‌ی نمایش شفاف و متحرک برای نظارت بر حرکات یک چشم و تا حدودی قابل قبول که مانع کسب پتانسیل P50 نشود؛ ج ـ الکترودهای روی پیشانی برای نظارت بر انقباض‌های عضلانی که مانع کسب پتانسیل P50 می‌شوند. کلاه شامل یک تحریک‌کننده‌ی شنوایی برای رساندن محرک‌های کلیک زن، آمپلی فایرهای سالم برای انجام سه اندازه‌گیری، نرم‌افزار برای میانگین گرفتن، نرم‌افزار شناسایی موج (که در حال حاضر وجود ندارد) و محاسبات و نمایش ساده‌ی تنظیم ورود حسی به صورت درصد روی صفحه‌ی نمایش متحرک است. در مقایسه با شرایط کنترل، درصدهای بالا نشانگر فقدان تنظیم ورود حسی (نشانگر افزایش پریشانی و نگرانی مهارنشده و غیره) است. هر فردی می‌تواند این کلاه را بپوشد و در عرض ۷ـ۵ دقیقه تنظیم ورود حسی را اندازه‌گیری کند.



تصویر ج ـ ۹ . کاربرد فناوری نانو: کلاهی که شامل ثبت پتانسیل برانگیخته شده و نیمه‌نهفته‌ی شنوایی، یعنی P50 و شناسایی نزدیک به مادون قرمز جریان خون در بخش قدامی مغز است تا به ترتیب تنظیم ورود حسی و کاهش جریان خون فرونتال اندازه‌گیری شوند. الف ـ واحد پتانسیل برانگیخته‌شده شامل محرک شنوایی (گوشی‌ها)، الکترودهای سطحی (در بالای سر، گیجگاه، پیشانی)، آمپلی فایرها، میانگین‌گیرهای مجهز به نرم‌افزارهای شناخت موج و دستگاه ذخیره‌سازی اطلاعات برای دانلود کردن است. ب ـ واحد شناسایی نزدیک مادون قرمز برای اندازه‌گیری جریان خون در بخش قدامی مغز. ج ـ صفحه‌ی نمایش متحرک برای مسیریابی حرکات چشم و نمایش نتایج اندازه‌گیری تنظیم ورود حسی و نتایج جریان خون در بخش قدامی مغز.

کاربردهای این فناوری نانو قابل ملاحظه است و عبارتند از: کاربردهای نظامی برای خود نظارتی بر عملکرد انسان در قبل و حین مانورهای مهم، برای خود نظارتی به‌وسیله‌ی فضانوردان در طی مأموریت‌های فضایی طولانی‌مدت و برای خلبانان و رانندگان و اپراتورهای تجهیزات حساس و پیچیده. باید یادآور شد که در این اندازه‌گیری فیزیولوژیکی نمی‌توان تقلب کرد و برای همه‌ی زبان‌ها و فرهنگ‌ها کاربرد دارد.

کاهش جریان خون در قسمت قدامی مغز

به طور کلی نقش قشر قدامی مغز کنترل بخش‌های قدیمی مغز است که ما از اجداد اولیه‌ی خود به ارث برده‌ایم؛ یعنی، ساقه‌ی مغز که مربوط به عواطف است و این کنترل از طریق بازداری انجام می‌شود (ر. ک. Damasio 1999). اگر قسمت قدامی مغز، بخشی از قدرت بازداری خود را از دست بدهد، رفتارهای آغازین ابراز می‌شوند. این امر زمانی انجام می‌شود که قشر مغز دچار کمبود جریان خون باشد که به آن هیپوفرونتالیتی (Hopfrontality) می‌گویند. در این صورت رفتارهای غریزی ابراز می‌شود، از جمله در شدیدترین حالت، واکنش‌های افراطی جنگیدن یا فرار کردن نسبت به تهدیدات، یعنی رفتار تند و خشن در تلاش برای حمله یا فرار. هیپوفرونتالیتی در اختلال‌هایی نظیر اسکیزوفرنی، اختلال فشار روانی پس آسیبی و افسردگی و هم‌چنین در اختلال‌های فرسودگی عصبی نظیر آلزایمر مشهود است. کاهش جریان خون در قسمت قدامی ممکن است در اثر الکل ایجاد شود. آسیب، کاهش جذب گلوکز، کاهش جریان خون و کاهش عملکرد در قسمت قدامی مغز افراد خشن و قاتلان مشاهده شده است.

روش پیشنهادی زیر را می‌توان برای موارد زیر به کار برد: برای شناسایی سوء رفتار قبل از آزمایش‌های کلینیکی (یعنی برای غربال کردن و انتخاب کارکنان نظامی یا کارکنان عملیات سفرهای فضایی)؛ برای تعیین عملکرد افراد در شرایط استرس‌زا (برای ارزیابی آینده‌نگرانه‌ی عملکرد افراد در شبیه‌سازی پرواز یا شرایط اضطراری مجازی) و برای نظارت بر تأثیرات عوامل استرس‌آور مزمن (یعنی نظارت بر تنظیم ورود حسی در طی مأموریت‌های طولانی‌مدت). این روش نانو تقریباً فوری است، نیاز به اقدامات آسیب‌رسان به بدن (نظیر نمونه‌برداری سطوح کورتیزول خون که انجام دقیق آن کاری دشوار است و با تغییرات همراه بوده و با تأخیر انجام می‌شود) ندارد و بسیار مطمئن‌تر از مثلاً سطوح کورتیزول ادرار است (که معطلی دارد و یا ممکن است در طی استرس مزمن جبران شود). آموزش به صورت راهبردهای فردی و جمعی برای برطرف کردن پیامدهای استرس‌های مزمن بسیار ضروری است، و میزان تأثیر این راهبردها را

می‌توان از راه تنظیم ورود حسی پتانسیل P50 و هم‌چنین جریان خون قسمت قدامی مغز به طور کمی ارزیابی کرد؛ یعنی، این اقدامات را می‌توان برای تعیین ثمربخشی هر راهبرد درمانی یا نتایج اقدامات به کار برد.

یک واحد شناسایی که در نواحی قدامی مغز قرار داده شده و نمایش آن با یک صفحه‌ی نمایش متحرک انجام می‌شود، در کلاه جای داده می‌شود تا یک معیار راحت و غیرآسیب‌رسان برای اندازه‌گیری جریان خون سمت قدامی در خود نظارتی‌های قبل از مانورهای مهم باشد. قبلاً در مورد امکان استفاده از فناوری نانو برای این اندازه‌گیری‌ها صحبت کرده‌ایم. (ر.ک. Chance & Lang n.d) خلاصه این‌که هموگلوبین یک ماده‌ی جذب‌کننده‌ی قوی است؛ بنابراین با شناسایی نزدیک مادون قرمز می‌توان بر تغییرات این مولکول نظارت کرد. این رشته می‌تواند برای نظارت بر تغییرات جریان خون و هم‌چنین اشباع هموگلوبین که معیاری برای مصرف انرژی است، به کار رود.

کاربردهای جانبی فناوری نانو، نظیر ثبت‌های پتانسیل P50 و اندازه‌گیری جریان خون قسمت قدامی مغز، موجب پیشرفت‌های نزدیک، کارآمد و مفید در عملکرد انسان می‌شود. فناوری نانو با ادغام شفاف در عملکردهای اجرایی به بخشی از روند فرهنگ‌پذیری تبدیل می‌شود و ساختار مغزی را تنظیم و تکامل ما را بیش‌تر می‌کند.

منابع

- Chance, B., Kang, K. Optical identification of cognitive state. *Converging technology (NBIC) for improving human performance* (this volume).{PJ70}.
- Damasio, A. *The Feeling of What Happens, Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt Brace & Co., New York, NY, 1999.
- Donald, M.W. *Origins of the Modern Mind, Three Stages in the Evolution of Culture and Cognition*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1991.
- Garcia-Rill, E. Disorders of the Reticular Activating System. *Med. Hypoth.* 49, 379-387,1997.
- Pollack, J. 2002. The limits of design complexity. *Converging technology (NBIC) for improving human performance* (this volume). {PJ71}.
- Strategy for Research in Space Biology and Medicine into the Next Century. National Research Council Committee on Space Biology and edicine. 1998.