

Interfaz entre cerebro humano-animal: propuesta para controlar a un roedor usando señales EEG humanas

Presenta: Uriel León Jacinto, Doctor, leonuriel@gmail.com. Escuela de Psicología. Universidad Latina, Campus Sur. Doctorado en Ciencias Biológicas. FES Iztacala. UNAM. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN.

RESUMEN

En este trabajo presento un diseño creado a partir de dos productos comerciales de costo accesible con cuyo acople es posible enviar señales eléctricas provenientes del cerebro humano al cerebro de una rata y lograr que realice una tarea. Este diseño demuestra que la información se codifica en el sistema nervioso en forma de electricidad y que esta electricidad es la base de las funciones cognitivas. Además, es posible enviar la información codificada para que otro organismo opere con ella. Este diseño está pensado para la enseñanza en ciencias básicas y en psicología, para tratar temas como el potencial de acción, el electroencefalograma, el modelo eléctrico de la neurona, métodos de registro de señales cerebrales, las funciones cognitivas, investigación en ciencias cognitivas etc.

CONTEXTO

El sistema nervioso central (SNC) se puede estudiar en diferentes niveles: el encéfalo completo funcionando a través de sus estructuras coordinadas, la función de cada área cerebral por separado, las características de grupos y tipos

celulares, las propiedades de neuronas únicas y las características de los procesos moleculares y genéticos que ocurren en cada célula nerviosa. En todos los casos existen dos aspectos que se pueden estudiar en todos los niveles: la anatomía, que son las características morfológicas y la fisiología, que se refiere a las características funcionales de las neuronas. Actualmente la enseñanza de las bases anatómicas y funcionales del sistema nervioso central en ciencias biológicas básicas y en psicología se auxilia de clases teóricas como de prácticas de laboratorio. En ambas, la anatomía y citoarquitectura del encéfalo en todos los niveles se aborda mediante dibujos, representaciones, fotografías de tejido teñido e incluso de disecciones de animales en las que se extrae el cerebro de pequeños mamíferos para observar, distinguir y estudiar sus características morfológicas macroscópicas y microscópicas con la ayuda de microscopios simples y reactivos comunes. Por otro lado, el estudio de la función cerebral, desde niveles de encéfalo completo hasta niveles de célula única, requiere de tejido nervioso vivo y viable así como de aparatos costosos para registrar la actividad eléctrica de grandes grupos de neuronas (electroencefalograma) pasando por la actividad de pequeños grupos de neuronas (registros de campo) hasta registros de célula única (patch-clamp). Los aparatos para realizar estos registros son extremadamente costosos y delicados, además requieren un entrenamiento de años para su correcto uso e interpretación, por lo que el estudio fisiológico del SNC sólo se ha podido abordar a través de modelos y simuladores de neuronas como el ampliamente usado Neuron de la Universidad de Yale (1).

En esta presentación proponemos un dispositivo de costo moderado fabricado a partir de dos productos disponibles en el mercado, mindflex® y Roboroach®, que

acoplados de acuerdo a nuestro diseño, permiten con mayor facilidad y de manera más didáctica el abordaje teórico y práctico de las bases fisiológicas del cerebro a los diferentes niveles. Este diseño permite abordar una amplia gama de temas con la misma práctica, por ejemplo: a) las funciones cognitivas y sus bases anatomo-fisiológicas (la atención) b) el registro de señales de campo en el cerebro intacto mediante el electroencefalograma c) el correlato encefalográfico de la actividad cognitiva d) código neural e) el modelo eléctrico de la neurona f) el potencial de acción, potencial post-sináptico, transmisión efáptica y transmisión eléctrica de las neuronas g) potencial de membrana en reposo h) propiedades pasivas de la membrana i) canales iónicos j) la estimulación eléctrica cerebral k) el aprendizaje y la memoria l) el condicionamiento operante m) nuevas tecnologías para generar interfaces cerebro-máquina y cerebro-cerebro, etc.

DESARROLLO DE LA PRESENTACIÓN

Interfaces cerebro a máquina

Las interfaces cerebro a máquina, conocidas en inglés como Brain-machine interfaces (BMIs) son nuevas tecnologías que permiten que la información proveniente de señales eléctricas cerebrales controlen actuadores electrónicos de diferente naturaleza (2) que a su vez operan las intenciones del sujeto que las envía sin que el propio sujeto intervenga con actos motores. En la última década han surgido varios estudios que muestran la posibilidad de transducir señales motoras provenientes de encéfalos humanos para controlar una gran variedad de dispositivos mecánicos y electrónicos (3, 4, 5 y 6). Sin embargo, recientemente se

ha logrado incorporar una nueva técnica para modificar las BMI. La microestimulación intracortical (MEIC) consiste en introducir electrodos a diferentes áreas de la corteza cerebral para evocar sensaciones, imágenes o movimientos y combinados con los BMI's permiten retroalimentación sensorial (7 y 8) proveniente de los actuadores artificiales. Así, un sujeto envía información a partir de señales eléctricas cerebrales hacia un actuador que a su vez emite información eléctrica que puede ser recibida como retroalimentación por el sujeto mediante estimulación intracortical (9 y 10).

Interfaces cerebro-cerebro

No obstante, recientemente han surgido estudios novedosos que han logrado generar crear interfaces entre dos cerebros no humanos (11) y humano-animal (12). Esta tecnología cerebro-cerebro se conoce como brain to brain interface (BBI) y puede ser invasiva o no invasiva, esto se refiere a la necesidad ingresar un electrodo directamente en el cerebro de los sujetos.

El laboratorio de Miguel Nicolelis se desarrolló una interfaz BBI que de manera invasiva, introduciendo electrodos en la corteza sensorial de dos ratas, logró transferir información sensorial relevante para resolver una tarea de condicionamiento operante (11). Uno de los animales actuó como codificadora (CD) y logró realizar una tarea que requería seleccionar uno de dos estímulos táctiles o visuales, mientras realizaba la tarea, su actividad cortical fue transmitida a las mismas áreas sensoriales en una rata decodificadora (DC) usando MEIC (Figura 1). La rata DC aprendió a seleccionar los mismos estímulos guiada solamente por la información proveniente de la rata CD, lo que demostró que es

posible acoplar los cerebros de animales de manera que la información adquirida por un organismo se puede compartir, procesar, almacenar y puede ser de utilidad para otro organismo: “dos cabezas piensan mejor que una”.

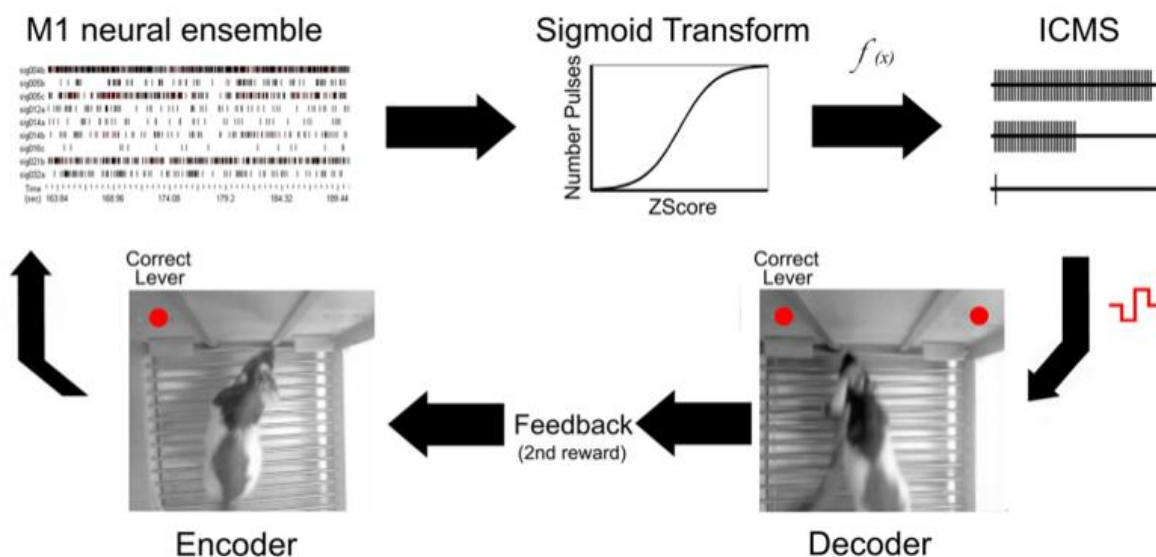


Figura 1. Configuración del ensemble BBI rata-rata

Un segundo estudio logró realizar una BBI entre dos especies distintas, humano y rata. Esta vez se usó a un humano como sujeto CD registrando su actividad eléctrica cortical con una vieja técnica no invasiva: el electroencefalograma. Por otro lado el sujeto DC fue una rata conectada por MEIC en la corteza motora. Este acople BBI logró transducir la intención del humano y estimular el área motora de la rata logrando que ésta moviera la cola (12). Este experimento demostró que es posible vincular señales cerebrales entre especies distintas (Figura 2).

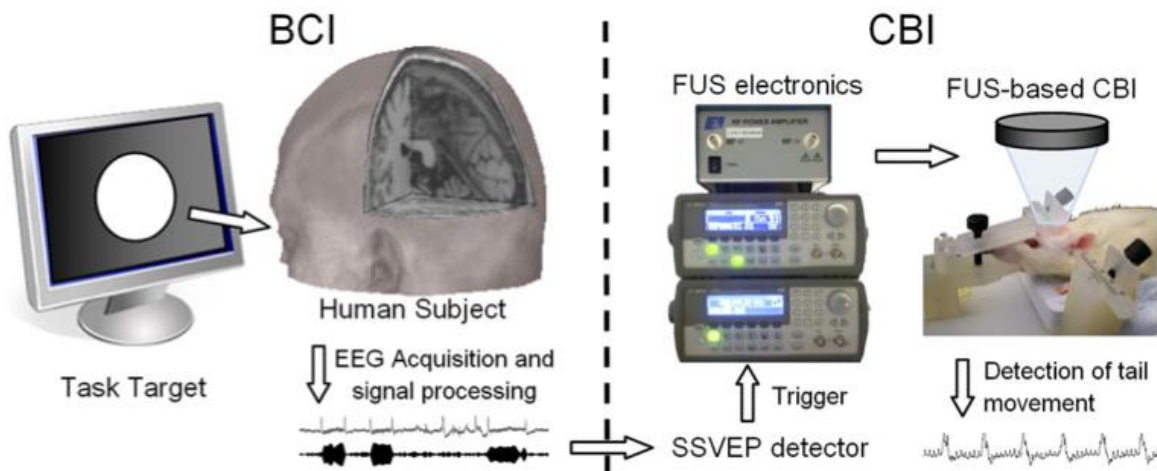


Figura 2. Configuración del ensamble BBI Humano-Rata

Limitaciones de las BBI

A pesar de lo impresionante que resultan estos avances, ambos tienen limitaciones que son relativamente fáciles de resolver. El primer estudio es de naturaleza invasiva para ambos organismos y se trata de dos animales. Su ventaja reside en compartir información sensorial útil para ambos organismos. El segundo estudio carece de esta importante característica, la información que se envía al DC es puramente una estimulación motriz que no permite el uso de procesos cognitivos complejos como la atención, aprendizaje, memoria y toma de decisiones. Su única ventaja es el acople de dos cerebros de especies diferentes. Hasta nuestro conocimiento no existen interfaces no invasivas, cerebro humano a cerebro animal que hayan sido desarrolladas y que permitan el uso de información cognitiva relevante por ambos sistemas, sin embargo es posible realizarlo. Con este objetivo presentamos el diseño de un dispositivo creado a partir de dos productos comercialmente disponibles que permitiría el uso de la información en

organismos separados, incluso sin el uso de cables, con tecnología bluetooth.

Diseño de BBI Humano-Rata para compartir información cognitivamente relevante

Nuestra propuesta se basa en un electroencefalograma diseñado con fines comerciales y lúdicos por Mattel, Inc. Llamado Mindflex® (Figura 3). Mindflex tiene un electrodo en el polo frontal del sujeto humano que filtra el ritmo cerebral theta (30-50 hz) asociado con la concentración. La tarea consiste en concentrarse lo suficiente para que el electrodo detecte la señal y la transmita por radiofrecuencia a una consola que a su vez activa un actuador controlado por un potenciómetro, éste consiste en un ventilador que hace volar una pelota ligera. Adicionalmente algunos leds indican la potencia con que la consola detecta la señal cerebral.



Figura 3. Diadema CD y consola DC del mindflex® acoplados

Por otro lado, la empresa Backyardbrains, Inc. ha desarrollado diversos

dispositivos electrónicos para registrar actividad eléctrica biológica como conducción electrodérmica, electromiógrafos, etc. Recientemente lograron generar un BMI con el que es posible controlar los movimientos de un insecto con un Smartphone usando bluetooth llamado Roboroach® (Figura 4).



Figura 4. Acople BMI del Roboroach®

Posibilidad y utilidad de combinar ambos dispositivos

Como han mostrado otros investigadores (12), es posible enviar la señal electroencefalográfica humana a una rata usando MEIC, además otros estudios (11) han demostrado que la información cognitiva transmitida puede ser correctamente interpretada, procesada y usada por otro organismo, sin embargo no hay un dispositivo que permita usar señales cerebrales humanas para enviar indicaciones a una rata que pueda usar para tomar decisiones y realizar conductas usando protocolos de condicionamiento operante. Realizar MEIC en ratas exige un procedimiento de cirugía estereotáxica que es común y se realiza rutinariamente en muchos laboratorio de ciencias básicas de nuestro país y el mundo. Instalar un electrodo en las áreas sensoriales y motoras primarias también es un

procedimiento rutinario en los laboratorios. El problema a resolver es acoplar los dos productos. Hay varias maneras de conseguir esto: Una opción es acoplar la diadema a un transmisor de bluetooth que pueda enviar la información al estimulador. Una segunda opción es acoplar la energía de un actuador en la consola (led o ventilador), de tal suerte que cuando se active (señal de que el sujeto ha alcanzado el nivel de concentración requerido), derive la señal a través de un cable hacia el estimulador conectado al cerebro de la rata. Si esto se consigue, sólo basta utilizar un protocolo de condicionamiento operante para entrenar a la rata a interpretar correctamente la señal cerebral humana y al recibir el estímulo sensitivo intracerebral opere una conducta condicionada para obtener un reforzador positivo, por ejemplo, subir unas escaleras, girar 3 veces sobre si misma, presionar uno de 3 botones distintos, etc.

Resultados esperados

Este acople está pensado con fines educativos. Se pueden diseñar múltiples protocolos para realizar prácticas de laboratorio donde los alumnos entrenen y controlen al animal y a la vez aborden temas como a) las funciones cognitivas y sus bases anatomo-fisiológicas (la atención) b) el registro de señales de campo en el cerebro intacto mediante el electroencefalograma c) el correlato encefalográfico de la actividad cognitiva d) código neural e) el modelo eléctrico de la neurona f) el potencial de acción, potencial post-sináptico, transmisión efáptica y transmisión eléctrica de las neuronas g) potencial de membrana en reposo h) propiedades pasivas de la membrana i) canales iónicos j) la estimulación eléctrica cerebral k) el aprendizaje y la memoria l) el condicionamiento operante m) nuevas tecnologías

para generar interfaces cerebro-máquina y cerebro-cerebro, etc.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente las estrategias prácticas y vivenciales para el aprendizaje de la fisiología del sistema nervioso central está solo basado en modelos artificiales y dibujos. Realizar experimentos fisiológicos exige tiempo, aparatos costosos y años de entrenamiento en la técnica de registros. Existen experimentos de interés que permiten la interacción cerebro-máquina y cerebro-cerebro. La comprensión y realización de estos experimentos requieren un conocimiento profundo sobre las bases electrofisiológicas neuronales, por lo que representan una oportunidad única de enseñanza. Es posible desarrollar un dispositivo nuevo a partir de dos dispositivos comerciales de bajo costo que permita conectar un cerebro humano y uno animal. Este dispositivo además demostraría la posibilidad de compartir procesos cognitivos complejos de utilidad y que la información generada en un cerebro sea usada y operada por otro cerebro. Exponemos dos estrategias para el acople de estos productos. Queda a discusión la manera más práctica de resolver el acople.

REFERENCIAS

1. <http://www.neuron.yale.edu/neuron/>
2. Jackson, A. & Zimmermann, J. B. Neural interfaces for the brain and spinal cord-restoring motor function. Nat Rev Neurol 8, 690–699 (2012).
3. Ethier, C., Oby, E. R., Bauman, M. J. & Miller, L. E. Restoration of grasp following paralysis through brain-controlled stimulation of muscles. Nature 485, 368–371 (2012).

4. Koralek, A. C., Jin, X., Long, J. D., 2nd, Costa, R. M., Carmena, J. M. Corticostriatal plasticity is necessary for learning intentional neuroprosthetic skills. *Nature* 483, 331–335 (2012).
5. Lebedev, M. A. et al. Future developments in brain-machine interface research. *Clinics (Sao Paulo)* 66 Suppl 1, 25–32 (2011).
6. Moritz, C. T., Perlmuter, S. I. & Fetz, E. E. Direct control of paralysed muscles by cortical neurons. *Nature* 456, 639–642 (2008).
7. O'Doherty, J. E., Lebedev, M. A., Li, Z. & Nicolelis, M. A. Virtual active touch using randomly patterned intracortical microstimulation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 20, 85–93 (2012).
8. Venkatraman, S. & Carmena, J. M. Active sensing of target location encoded by cortical microstimulation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 19, 317–324 (2011).
9. O'Doherty, J. E. et al. Active tactile exploration using a brain-machine-brain interface. *Nature* 479, 228–231 (2011).
10. Vato, A. et al. Shaping the dynamics of a bidirectional neural interface. *PLoS Comput Biol* 8, e1002578 (2012).
11. Pais-Vieira M1, Lebedev M, Kunicki C, Wang J, Nicolelis MA. A brain-to-brain interface for real-time sharing of sensorimotor information. *Sci Rep*. 2013;3:1319. doi: 10.1038/srep01319.
12. Yoo SS1, Kim H, Filandrianos E, Taghados SJ, Park S. Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains. *PLoS One*. 2013;8(4):e60410. doi: 10.1371/journal.pone.0060410. Epub 2013 Apr 3.