

JORNADAS NACIONALES DE ROBÓTICA Y BIOINGENIERÍA 2023



14 al 16 de junio de 2023

E.T.S. Ingenieros Industriales

Universidad Politécnica de Madrid

ISBN: 978-84-09-51892-0

Editores:

- Óscar Reinoso García,
- Eduardo Rocon de Lima,
- Manuel Ferre Pérez,
- Paloma de la Puente Yusty,
- Daniel Galán Vicente,
- Ramón Antonio Suárez Fernández, y
- Francisco Javier Badesa Clemente.

S. López, P. Marqués, J. Marín, C. del Olmo, S. Fornas, A. Solis, J. Echagüe, J.V. Martí, R. Marín, P.J. Sanz

Validación experimental del Robot Hexápodo Híbrido R3HC. 217
F. Gómez-Bravo, A. Garrocho, S. Rúa, P. Villadóniga, G. Carbone, R. Jiménez-Naharr, R. López de Ahumada

Bioingeniería

Reconocimiento de actividades humanas aplicando modelos de Aprendizaje Profundo. 223
C. Sánchez-Girón, E. Zalama, J. Gómez-García-Bermejo, J. Duque-Domingo

Mejora en la clasificación de actividades mediante redes de convolución y CVV-SV. 231
J. Duque-Domingo, R. Gómez-Ramos, E. Zalama, J. Gómez-García-Bermejo

Biomarcador diagnóstico no invasivo para la enfermedad de Alzheimer y demencia frontotemporal basado en inteligencia artificial y movimiento ocular. 239
A. Calvo Córdoba, C. E. García Cena, C. Lage c, P. Sánchez Juan

Diseño de sensores de fuerza basados en Velostat para medida de la presión plantar. 245
J.C. Martínez-Sánchez, G. Delgado-Oleas, J. Lora-Millan, E. Rocon

Desarrollo de un exotraje basado en SMA para pacientes pediátricos. 251
P. Mansilla Navarro, D. Copaci, J. Arias Guadalupe, D. Blanco

Desarrollo de un prototipo de exo-traje para la rehabilitación de miembro superior. 259
C. A. Jara, S. Arias, B.D. Bolaños, A. Barrientos, A. Úbeda

Análisis de simulación del proceso de interacción física entre cuerpo humano y exoesqueleto basado en el software Opensim. 267
K.X. Zhang, F.J. Badesa, A. San Juan, E. Navarro, M. Ferre

Diseño conceptual de un robot de rehabilitación de la marcha pseudoestacionario. 273
J. Ramos, F. González, J.S. Lora, J.A. Castaño, S. Borromeo, R. Nieto, P. Fernández, J.M. Font, J.C. Moreno, A.J. del Ama

Medición del impacto de las vibraciones en usuarios de silla de ruedas 279
N. Perez, A. Mancisidor, I. Cabanes, P. Vermander

Impacto de las terapias de rehabilitación asistidas por robot en pacientes con alteraciones motoras graves. 285
Y. Vales, J.M. Catalán, J.V. García-Pérez, A. Blanco-Ivorra, R. Martín-Batanero, N. García-Aracil

Protocolo de adquisición de señales electroespino-gráficas en posición decúbito prono 291
D.I. Gracia, P. Soriano-Segura, L. Ferrero, M. Ortiz, E. Iañez, J.M. Azorín

Estrategia de estimulación transcraneal por corriente directa para tratamiento de la obesidad. 297
D.I. Gracia, M. Ortiz, E. Iañez, M. Herranz-Lopez, V. Micol, J.M. Azorín

La arquitectura tolerante a fallos del ventilador mecánico Andalucía Respira. 303
M. Rollon, V.F. Muñoz, I. García-Morales, M. Mengual-Mesa, V. Muñoz, A. Galán-Cuenca



Jornadas de Robótica y Bioingeniería

Sesion: <P>

Estrategia de estimulación transcraneal por corriente directa para tratamiento de la obesidad

Gracia, D. I.^{a,b,*}, Ortiz, M.^{a,b}, Iáñez, E.^{a,b}, Herranz-Lopez, M.^c, Micol, V.^c, Azorín, J. M.^{a,b,d}

^aBrain-Machine Interface System Lab, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avenidad de la Universidad de Elche, S/N, 03202, Elche, España.

^bInstituto de Investigación en Ingeniería de Elche - I3E, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avenidad de la Universidad de Elche, S/N, 03202, Elche, España.

^cInstituto de Investigación, Desarrollo e Innovación en Biotecnología Sanitaria de Elche - IDiBE, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avenidad de la Universidad de Elche, S/N, 03202, Elche, España.

^dValencian Graduate School and Research Network of Artificial Intelligence – valgrAI, Camino de Vera, S/N, 46022, Valencia, España.

To cite this article: Apellido1, Inicial1., Apellido2, Inicial2., Apellido3, Inicial3. 2020. Paper Title in English. Jornadas Nacionales de Robótica y Bioingeniería 00, 1-5. <https://doi.org/>

Resumen

Alrededor del 39 % de la población global sufre sobrepeso. Debido a las limitaciones de los tratamientos actuales para la pérdida de peso, nuevas aproximaciones terapéuticas se están desarrollando. Las intervenciones basadas en la neuromodulación constituyen un tratamiento innovador y prometedor para la obesidad, destacando la estimulación transcraneal por corriente directa. Esto se debe a las alteraciones neurocognitivas que genera esta dolencia en los pacientes. Por ello se analizan el campo eléctrico que generan dos configuraciones de estimulación, centrándose en la actividad en las vías dopaminérgicas del sistema mesocorticolímbico del circuito de recompensa cerebral.

Palabras clave: tDCS, Obesidad, SimNIBS.

Transcranial direct current stimulation strategy for obesity treatment

Abstract

About 39 % of the global population is overweight. Due to the limitations of current weight loss treatments, new therapeutic approaches are being developed. Interventions based on neuromodulation constitute an innovative and promising treatment for obesity, standing out specially transcranial direct current stimulation. This is due to the neurocognitive alterations that this disease produces in patients. Therefore, the electric field generated by two stimulation configurations is analyzed, focusing on the activity in the dopaminergic pathways of the mesocorticolimbic system of the brain reward circuit.

Keywords: tDCS, Obesity, SimNIBS..

1. Introducción

La obesidad o sobrepeso se define como la acumulación anormal o excesiva de grasa, con los efectos perjudiciales que eso conlleva para la salud. La OMS diferencia la clasificación entre ambos términos en función del índice de masa (IMC), catalogando como sobrepeso valores de IMC igual o superiores a 25 y como obesidad valores igual o superiores a 30 WHO (2021).

Los altos niveles de incidencia de esta condición (existen más personas con sobrepeso que con un peso inferior al con-

siderado normal, con excepción de algunas regiones de África subsahariana y Asia) permiten su clasificación como epidemia. Se estima que un 39 % de la población mundial tiene sobrepeso WHO (2021), este valor aumenta hasta el 60 % si nos centramos en la población europea WHO (2022). Cada año mueren alrededor de 2.8 millones de personas como causa de esta condición. Contar con un IMC elevado constituye un importante factor de riesgo de diferentes enfermedades como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes o algunos cánceres.

Con el objetivo de frenar tanto la incidencia como la preva-

*Autor para correspondencia: dgracia@umh.es

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

lencia de la obesidad se han desarrollado diferentes planes de acción para su prevención y control como la Estrategia Mundial OMS sobre Régimen Alimentario, Actividad Física y Salud WHO (2004). Asimismo, existen numerosos tratamientos convencionales para la pérdida de peso, tanto farmacológicos y nutricionales como quirúrgicos. Pero la solución definitiva de esta situación se encuentra limitada por las características de estos tratamientos como su accesibilidad, coste, adherencia o eficacia a largo plazo Hill et al. (2005). Por ello sigue siendo necesario el desarrollo de nuevas aproximaciones terapéuticas que solventen estas limitaciones.

Los avances científicos han permitido un mayor conocimiento de los efectos que causa el aumento de peso en el cuerpo humano, generándose nuevos enfoques para el desarrollo de tratamientos alternativos. Se han observado alteraciones en la respuesta cerebral ante estímulos de comida, influyendo en actividades como la regulación de la ingesta, el sentimiento de saciedad, el autocontrol o la impulsividad. Las personas con obesidad presentan variaciones en los niveles de actividad de diferentes áreas cerebrales como la amígdala, el hipocampo, el hipotálamo, la ínsula o la corteza prefrontal dorsolateral (dIPFC) Carnell et al. (2012), las cuales se asocian al procesamiento sensoriomotor, de la memoria, de las emociones y del sistema de recompensa.

Algunos de los efectos observados conllevan un impacto claro en la dificultad para bajar de peso. Por ejemplo, la actividad del hipotálamo, área cerebral clave en el control de las funciones vegetativas homeostáticas como es el hambre Liu et al. (2000), se reduce más lentamente en las personas con obesidad, retrasando la sensación de saciedad durante la ingesta de alimentos Matsuda et al. (1999). En el caso del circuito cerebral de recompensa, responsable del autocontrol o la impulsividad, se observa una actividad reducida de la dIPFC izquierda y de la corteza cingulada anterior izquierda, causando que el usuario requiera de una mayor cantidad de estímulos alimenticios para obtener los mismos niveles de satisfacción que una persona sana Carnell et al. (2012). Las alteraciones cognitivas detectadas son similares a las que presentan otros trastornos que afectan al sistema de recompensa como las adicciones a sustancias o al juego Mallorquí-Bagué et al. (2016). Estas alteraciones también influyen en la capacidad de los usuarios a adherirse a los tratamientos tradicionales, donde la impulsividad y la falta de autocontrol favorecen que las personas incumplan los regímenes marcados Sutin et al. (2011).

De este modo las intervenciones basadas en la neuromodulación constituyen un tratamiento innovador y prometedor para la obesidad, pues el objetivo estaría directamente centrado en tratar los patrones neurocognitivos alterados. Las terapias de estimulación cerebral se han convertido en un enfoque alternativo para el tratamiento de varias dolencias, destacándose la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) por su coste, sencillez de aplicación y perfil de tolerabilidad favorable Lefaucheur et al. (2017). La tDCS ha demostrado tener beneficios positivos en el tratamiento de afecciones neurológicas y psiquiátricas, así como en la recuperación de capacidades cognitivas, motoras y sensoriales Mondino et al. (2014); Kuo et al. (2014).

2. Diseño de la estrategia de neuroestimulación

En el diseño de la estrategia de neuroestimulación se ha tomado como área de interés la dIPFC, área relacionada con las vías dopaminérgicas y habitualmente estimulada en estudios similares.

El estado del arte ha demostrado el importante papel de la dopamina en la regulación de la recompensa que genera la ingesta de alimentos y, consecuentemente, del peso corporal del individuo. Por ejemplo, en un estudio desarrollado por la Universidad de Sao Paulo Fassini et al. (2019) solo los participantes que presentaban una mutación genética relacionada con la codificación de la enzima 'catecol-O-metiltransferasa' (COMT) respondieron satisfactoriamente a la neuroestimulación, mientras que los participantes no portadores de esta modificación tuvieron un efecto opuesto, viendo aumentado su apetito. La enzima COMT interviene significativamente en la regulación del sistema dopaminérgico, especialmente en la corteza prefrontal Tunbridge et al. (2007). En la mutación genética estudiada, denominada Val158Met, el péptido codificado presenta un cambio en la posición 158 de valina por metionina, lo cual conlleva una modificación de la actividad enzimática puesto que el polimorfismo COMT-metionina muestra una capacidad de degradación postsináptica de la dopamina considerablemente menor a la del COMT-valina Díez-Martín et al. (2007). Así se observa la relevancia de diseñar la estrategia de estimulación en función de las características de la población a estudiar, pues se trata de un tratamiento altamente dependiente de la actividad cerebral basal de los sujetos.

Puesto que en este caso la población objetivo serían personas con sobrepeso, se analizaron los resultados obtenidos por estudios previos que emplearon la tDCS con el objetivo de reducir el apetito. De este análisis se extrajeron las siguientes conclusiones, coherentes con los hechos planteados previamente:

- Las configuraciones con resultados satisfactorios realizaban una estimulación anódica, es decir, estimulante, en el hemisferio izquierdo. El caso opuesto parece no tener efecto en la conducta estudiada Vicario et al. (2020); Grundeis et al. (2017); Ray et al. (2019); Stevens et al. (2021).
- La estimulación de la dIPFC no resulta eficaz en los usuarios que no presenten una alteración de la actividad cerebral, como sería el caso de las personas sanas Beaumont et al. (2021) o la personas con sobrepeso relacionado con otras condiciones como la diabetes Forcano et al. (2020).

Para la selección de electrodos a emplear se realizó una simulación de las áreas cerebrales estimuladas comparando varios modelos.

3. Simulación de la estrategia de neuroestimulación

El objetivo de la estrategia tDCS se estableció en aumentar la excitabilidad de la dIPFC para aumentar la actividad cerebral de esta zona en las personas con obesidad. Para ello, se analizaron dos configuraciones de electrodos mediante una simulación empleando el software SIMnibs y así determinar cuál proporcionaba una mayor estimulación sobre las áreas de interés.

Los electrodos han sido posicionados siguiendo la distribución de electrodos de electroencefalografía según el sistema Internacional 10-10 en las posiciones F3 (ánodo) y FP2 (cátodo) para el modelo 1 y F3 (ánodo) y F4 (cátodo) para el modelo 2. Ambas configuraciones han sido ampliamente empleadas en estudios de esta temática, por ejemplo, los trabajos de Montenegro et al. (2012); Gluck et al. (2015); Heinitz et al. (2017); Fassini et al. (2019); Amo Usanos et al. (2020); Fassini et al. (2020) para el modelo 1 y las investigaciones de Ray et al. (2017, 2019); Stevens et al. (2021) para el modelo 2. En los dos casos, la corriente simulada fue de 0,5 mA.

4. Resultados

Para cada configuración se calculó la componente normal del campo eléctrico (normE) para cinco estructuras, promediando los valores dentro de un radio de 10 mm para cada coordenada representativa. También se recuperó el valor máximo de esta variable para asegurar que no se sobrepasaban los límites de seguridad Bikson et al. (2016).

Se seleccionaron diferentes áreas que intervienen en las rutas dopaminérgicas, especialmente centrándose en el sistema mesocorticolímbico, el cual recibe estímulos de áreas como la corteza prefrontal, el núcleo accumbens, la amígdala o el hipocampo. Puesto que la actividad neuronal presenta una asimetría entre hemisferios, se estudió el efecto que causaba la estrategia de estimulación en ambas regiones de cada estructura, véanse las coordenadas empleadas en la Tabla 1: (1) área de Brodmann B9, situada en la corteza prefrontal dorsolateral; (2) área de Brodmann B10, situada en la corteza prefrontal orbitofrontal; (3) área de Brodmann B11, situada en la corteza prefrontal orbitofrontal; (4) núcleo accumbens; y (5) amígdala.

Tabla 1: Coordenadas de los puntos estudiados para cada una de las estructuras de interés: (1) área de Brodmann, (2) área de Brodmann B10, (3) área de Brodmann B11, (4) núcleo accumbens y (5) amígdala. Las variaciones presentes entre los puntos de las mismas estructuras, pero de hemisferios diferentes se deben a las limitaciones espaciales debidas al renderizado 3D del cerebro humano realizado.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
Dcha. 1	-14.7	67.75	63.26
Dcha. 2	-15.4	70.91	46.41
Dcha. 3	-17.8	69.52	32.89
Dcha. 4	-16.1	21.98	13.49
Dcha. 5	-24.5	-5.13	-3.3
Izqda. 1	14.69	65.12	59.78
Izqda. 2	15.5	71.14	50.94
Izqda. 3	17.87	68.73	33.44
Izqda. 4	15.96	18.44	9.288
Izqda. 5	24.34	-5.6	-8.85

Tabla 2: Valores calculados de la componente normal del campo eléctrico para cada modelo simulado.

Punto	Modelo 1 [V/m]	Modelo 2 [V/m]
Dcha. 1	0.113	0.117
Dcha. 2	0.098	0.098
Dcha. 3	0.088	0.082
Dcha. 4	0.048	0.053
Dcha. 5	0.023	0.028
Izqda. 1	0.102	0.099
Izqda. 2	0.115	0.093
Izqda. 3	0.095	0.079
Izqda. 4	0.059	0.053
Izqda. 5	0.028	0.029
Máximo	0.1346	0.1358

Al comparar las áreas estimuladas en cada modelo, véase la Figura 1, con las áreas relacionadas con las rutas dopaminérgicas, véase la Tabla 2, se observan que ambos modelos actúan de forma similar. La diferencia entre los valores de normE al comparar ambos modelos rondan los 5 mV/m de forma general, no

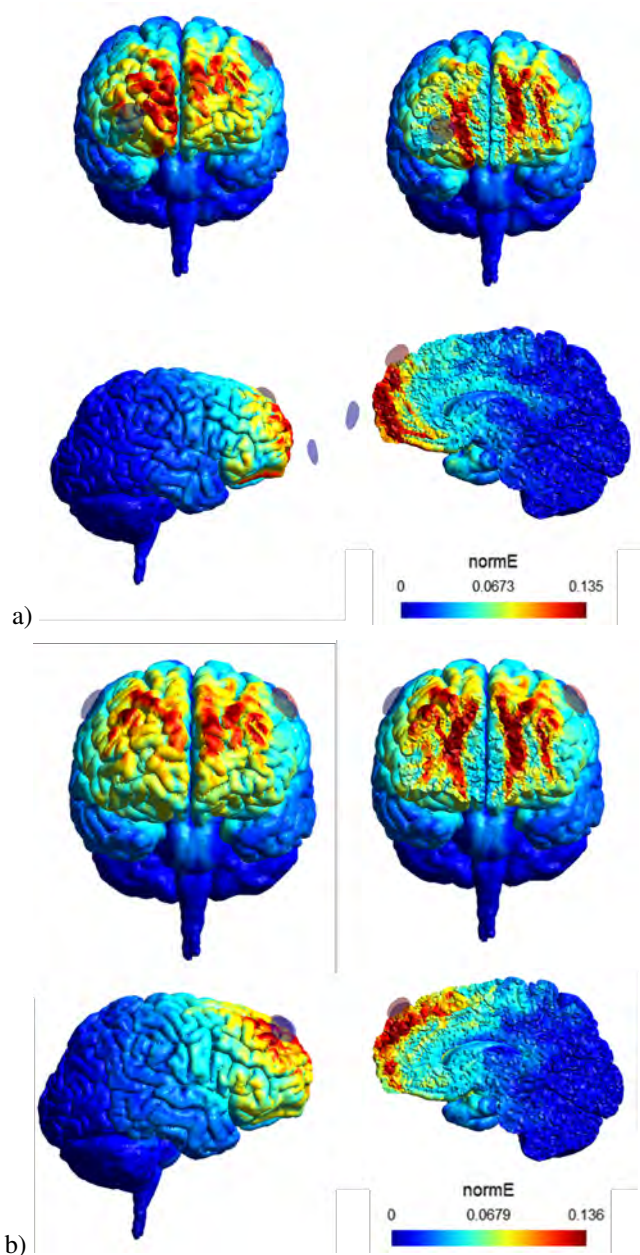


Figura 1: Representación de las diferentes configuraciones de electrodos diseñadas para la estrategia tDCS, representándose el Modelo 1 y 2 en las subfiguras a y b, respectivamente.

habiendo un modelo claro donde la incidencia sea mayor. Sin embargo, hay una clara excepción, la corteza prefrontal orbito-frontal del hemisferio izquierdo presenta valores entre 16 y 22 mV/m mayores en el modelo 1, aun siendo el modelo 2 el que presenta un valor máximo mayor.

Por ello se selecciona la configuración con posicionamiento del ánodo en el electrodo F3 y del cátodo en el electrodo FP2 para la estrategia de neuroestimulación de la dIPFC en personas con obesidad.

5. Conclusiones

En el presente estudio se ha seleccionado una estrategia de tDCS con el objetivo de tratar una población que padece obesidad. La configuración seleccionada sitúa el electrodo anódico en la posición F3 y el catódico en la FP2, generando una estimulación anódica sobre la región izquierda de la dIPFC. Los parámetros de la configuración se han basado en el estudio del estado del arte. En la literatura se ha observado que las personas con obesidad presentan alteraciones en la actividad de diferentes áreas cerebrales relacionadas con el procesamiento de estímulos alimenticios. A diferencia de la población sana, la estimulación del sistema mesocorticolímbico en personas con obesidad conllevaba una regulación del circuito de recompensa que genera la ingesta de alimentos, viéndose reducida la cantidad consumida. La configuración finalmente ha sido seleccionada tras verificar que presenta una mayor incidencia en las regiones de interés mediante una simulación de la estimulación realizada. La decisión tomada concuerda con los resultados del estado del arte, pues se trata de la configuración más utilizada en estudios similares.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto OBRAINSITY - Nuevos enfoques terapéuticos frente a enfermedades metabólicas: modulación de la ingesta de alimentos y del balance energético mediante nutraceuticos y neurotecnología, financiado por la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana (PROMETEO/2021/059).

Referencias

Amo Usanos, C., Valenzuela, P. L., de la Villa, P., Navarro, S. M., Melo Aroeira, A. E. d., Amo Usanos, I., Martínez Cancio, L., Cuesta Villa, L., Shah, H., Magerowski, G., et al., 2020. Neuromodulation of the prefrontal cortex facilitates diet-induced weight loss in midlife women: a randomized, proof-of-concept clinical trial. *International journal of obesity* 44 (3), 568–578.

Beaumont, J. D., Davis, D., Dalton, M., Nowicky, A., Russell, M., Barwood, M. J., 2021. The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on food craving, reward and appetite in a healthy population. *Appetite* 157, 105004.

Bikson, M., Grossman, P., Thomas, C., Zannou, A. L., Jiang, J., Adnan, T., Mourdoukoutas, A. P., Kronberg, G., Truong, D., Boggio, P., Brunoni, A. R., Charvet, L., Fregni, F., Fritsch, B., Gillick, B., Hamilton, R. H., Hampstead, B. M., Jankord, R., Kirton, A., Knotkova, H., Liebetanz, D., Liu, A., Loo, C., Nitsche, M. A., Reis, J., Richardson, J. D., Rotenberg, A., Turkeltaub, P. E., Woods, A. J., 2016. Safety of transcranial direct current stimulation: Evidence based update 2016. *Brain Stimulation* 9 (5), 641–661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.06.004>

Carnell, S., Gibson, C., Benson, L., Ochner, C. N., Geliebter, A., 2012. Neuroimaging and obesity: current knowledge and future directions. *Obesity Reviews* 13 (1), 43–56. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00927.x>

Díez-Martín, J., Hoenicka, J., Martínez, I., Aragüés, M., Rodríguez-Jiménez, R., Jiménez-Arriero, M. Á., Ponce, G., Rubio, G., Palomo, T., Psychosis Group, A. R., et al., 2007. Polimorfismo val158met de comt y esquizofrenia: estudio de asociación en una muestra de pacientes españoles. *Medicina clínica* 128 (2), 41–44.

Fassini, P. G., Das, S. K., Magerowski, G., Marchini, J. S., da Silva Junior, W. A., Da Silva, I. R., de Souza Ribeiro Salgueiro, R., Machado, C. D., Suen, V. M. M., Alonso-Alonso, M., 2020. Noninvasive neuromodulation of the prefrontal cortex in young women with obesity: a randomized clinical trial. *International journal of obesity* 44 (6), 1279–1290.

Fassini, P. G., Das, S. K., Suen, V. M. M., Magerowski, G., Marchini, J. S., da Silva Junior, W. A., Changyu, S., Alonso-Alonso, M., 2019. Appetite effects of prefrontal stimulation depend on comt val158met polymorphism: A randomized clinical trial. *Appetite* 140, 142–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.05.015>

Forcano, L., Castellano, M., Cuenca-Royo, A., Goday-Arno, A., Pastor, A., Langohr, K., Castañer, O., Pérez-Vega, K. A., Serra, C., Ruffini, G., et al., 2020. Prefrontal cortex neuromodulation enhances frontal asymmetry and reduces caloric intake in patients with morbid obesity. *Obesity* 28 (4), 696–705.

Gluck, M., Alonso-Alonso, M., Piaggi, P., Weise, C., Jumpertz-Von Schwarzenberg, R., Reinhardt, M., Wassermann, E., Venti, C., Votruba, S., Krakoff, J., 2015. Neuromodulation targeted to the prefrontal cortex induces changes in energy intake and weight loss in obesity. *obesity* 23: 2149-2156.

Grundeis, F., Brand, C., Kumar, S., Rullmann, M., Mehnert, J., Pleger, B., 2017. Non-invasive prefrontal/frontal brain stimulation is not effective in modulating food reappraisal abilities or calorie consumption in obese females. *Frontiers in neuroscience* 11, 334.

Heinitz, S., Reinhardt, M., Piaggi, P., Weise, C. M., Diaz, E., Stinson, E. J., Venti, C., Votruba, S. B., Wassermann, E. M., Alonso-Alonso, M., et al., 2017. Neuromodulation directed at the prefrontal cortex of subjects with obesity reduces snack food intake and hunger in a randomized trial. *The American journal of clinical nutrition* 106 (6), 1347–1357.

Hill, J. O., Thompson, H., Wyatt, H., 2005. Weight maintenance: What's missing? *Journal of the American Dietetic Association* 105 (5, Supplement), 63–66, obesity: Etiology, Treatment, Prevention, and Applications in Practice. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.016>

Kuo, M.-F., Paulus, W., Nitsche, M. A., 2014. Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatric diseases. *NeuroImage* 85, 948–960. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.117>

Lefaucheur, J.-P., Antal, A., Ayache, S. S., Benninger, D. H., Brunelin, J., Cogiamanian, F., Cotelli, M., De Ridder, D., Ferrucci, R., Langguth, B., Marangolo, P., Mylius, V., Nitsche, M. A., Padberg, F., Palm, U., Poulet, E., Priori, A., Rossi, S., Schecklmann, M., Vanneste, S., Ziemann, U., Garcia-Larea, L., Paulus, W., 2017. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clinical Neurophysiology* 128 (1), 56–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087>

Liu, Y., Gao, J.-H., Liu, H.-L., Fox, P. T., 2000. The temporal response of the brain after eating revealed by functional mri. *Nature* 405 (6790), 1058–1062.

Mallorquí-Bagué, N., Fagundo, A. B., Jimenez-Murcia, S., de la Torre, R., Baños, R. M., Botella, C., Casanueva, F. F., Crujeiras, A. B., Fernández-García, J. C., Fernández-Real, J. M., Frühbeck, G., Granero, R., Rodríguez, A., Tolosa-Sola, I., Ortega, F. J., Tinahones, F. J., Alvarez-Moya, E., Ochoa, C., Menchón, J. M., Fernández-Aranda, F., 09 2016. Decision making impairment: A shared vulnerability in obesity, gambling disorder and substance use disorders? *PLOS ONE* 11 (9), 1–11. DOI: [10.1371/journal.pone.0163901](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163901)

Matsuda, M., Liu, Y., Mahankali, S., Pu, Y., Mahankali, A., Wang, J., DeFronzo, R. A., Fox, P. T., Gao, J. H., 09 1999. Altered hypothalamic function in response to glucose ingestion in obese humans. *Diabetes* 48 (9), 1801–1806. DOI: [10.2337/diabetes.48.9.1801](https://doi.org/10.2337/diabetes.48.9.1801)

Mondino, M., Bennabi, D., Poulet, E., Galvao, F., Brunelin, J., Haffen, E., 2014. Can transcranial direct current stimulation (tDCS) alleviate symptoms and improve cognition in psychiatric disorders? *The World Journal of Biological Psychiatry* 15 (4), 261–275. DOI: [10.3109/15622975.2013.876514](https://doi.org/10.3109/15622975.2013.876514)

Montenegro, R. A., Okano, A. H., Cunha, F. A., Gurgel, J. L., Fontes, E. B., Farinatti, P. T., 2012. Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation associated with aerobic exercise change aspects of appetite sensation in overweight adults. *Appetite* 58 (1), 333–338.

Ray, M. K., Sylvester, M. D., Helton, A., Pittman, B. R., Wagstaff, L. E.,

- McRae III, T. R., Turan, B., Fontaine, K. R., Amthor, F. R., Boggiano, M. M., 2019. The effect of expectation on transcranial direct current stimulation (tdcs) to suppress food craving and eating in individuals with overweight and obesity. *Appetite* 136, 1–7.
- Ray, M. K., Sylvester, M. D., Osborn, L., Helms, J., Turan, B., Burgess, E. E., Boggiano, M. M., 2017. The critical role of cognitive-based trait differences in transcranial direct current stimulation (tdcs) suppression of food craving and eating in frank obesity. *Appetite* 116, 568–574.
- Stevens, C. E., Lausen, M. A., Wagstaff, L. E., McRae, T. R., Pittman, B. R., Amthor, F. R., Boggiano, M. M., 2021. Effect of transcranial direct current stimulation (tdcs) on food craving and eating when using a control method that minimizes guessing of the real vs. control condition. *Eating and Weight Disorders-Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity* 26, 1669–1674.
- Sutin, A. R., Ferrucci, L., Zonderman, A. B., Terracciano, A., 2011. Personality and obesity across the adult life span. *Journal of personality and social psychology* 101 (3), 579.
- Tunbridge, E. M., Lane, T. A., Harrison, P. J., 2007. Expression of multiple catechol-o-methyltransferase (comt) mrna variants in human brain. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics* 144B (6), 834–839.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.30539>
- Vicario, C., Salehinejad, M., Mosayebi-Samani, M., Maezawa, H., Avenanti, A., Nitsche, M., 2020. Transcranial direct current stimulation over the tongue motor cortex reduces appetite in healthy humans. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation* 13 (4), 1121–1123.
- WHO, 2004. Estrategia mundial sobre regimen alimentario, actividad fisica y salud.
- WHO, 2021. Obesidad y sobrepeso.
URL: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- WHO, 2022. WHO European Regional Obesity Report 2022. World Health Organization. Regional Office for Europe.