

Estimulación transcraneal por corriente directa para tratamiento de la obesidad

Transcranial stimulation by direct current for treatment of obesity.

Eva María Perusquía-Frías,¹ Moisés Aguilar-Domingo,² Amanda Ivonne Cantú-Gómez,³ Luz de Alicia Jiménez-Quintero,⁴ César Augusto Vega-López,⁵ Victoria Danet Torres-Feria⁶

Resumen

ANTECEDENTES: Existe un sinnúmero de tratamientos para la pérdida de peso y su mantenimiento. La ingesta alimentaria está regulada por la vía neuroconductual influida por diversos factores que incluyen patrones persistentes de comportamiento.

OBJETIVO: Evaluar el efecto de la estimulación transcraneal por corriente directa en pacientes con obesidad sometidos a diferentes terapias nutricionales.

MATERIALES Y MÉTODOS: Estudio clínico, controlado, doble ciego, efectuado de enero de 2017 a diciembre de 2018, que incluyó tres grupos de pacientes: uno con dieta con aporte proteico y dos con dieta hipocalórica. En un grupo con dieta hipocalórica y en el grupo de dieta con aporte proteico se utilizó estimulación transcraneal por corriente directa. En el otro grupo se simuló la administración de estimulación transcraneal por corriente directa.

RESULTADOS: Los pacientes con dieta con aporte proteico y estimulación transcraneal por corriente directa mostraron una pérdida de peso más rápida que los otros grupos. Los pacientes sometidos a estimulación transcraneal por corriente directa, indistintamente de la dieta, lograron mayor cambio en los circuitos neuronales.

CONCLUSIONES: La terapia nutricional, combinada con estimulación transcraneal por corriente directa en sujetos con obesidad muestra resultados satisfactorios con efecto en la regulación de los circuitos neuronales implicados en la alimentación generando disminución de peso y mejor control emocional y cognitivo.

PALABRAS CLAVE: Obesidad; estimulación transcraneal por corriente directa.

Abstract

BACKGROUND: There are several treatments for losing weight and sustain it. Food intake is controlled by the neurobehavioral pathway influenced by several factors including persistent behavioral patterns.

OBJECTIVE: To evaluate the effect of transcranial direct current stimulation in obese patients undergoing different nutritional therapies.

MATERIALS AND METHODS: A clinical, control, double-blind study was done from January 2017 to December 2018 including three groups of patients: one undergoing a protein diet and the other two on a hypocaloric diet. One hypocaloric diet group and the protein diet group were subjected to the transcranial direct current stimulation protocol. The other group received only simulated administration of transcranial direct current stimulation.

RESULTS: Patients submitted to the protein diet and transcranial direct current stimulation showed a faster loss of weight than the other 2 groups. Patients undergoing the transcranial direct current stimulation protocol, regardless the diet, showed the greatest change in neural circuits.

CONCLUSIONS: Nutritional therapy combined with transcranial direct current stimulation for the treatment of obesity has satisfactory results that impact on the regulation of neural circuits involved with eating behavior, resulting in a greater loss of weight, a better emotional control and cognitive development.

KEYWORDS: Obesity; Transcranial direct current stimulation.

¹ Doctor Honoris Causa. Hospital H+ Querétaro. Profesor titular de Fisiología y Nefrología, Facultad de Medicina, UAQ. Asesor médico, Unidad de Neurociencias.

² Investigador asociado, Unidad de Neurociencias.

³ Maestría en Nutrición clínica. Profesor adjunto de Bioquímica, FMM, ULSA.

⁴ Facultad de Psicología, UNAM. Investigadora clínica de la Unidad de Neurociencias.

⁵ Internista. Hospital Ángeles Pedregal, Ciudad de México.

⁶ Facultad de Psicología, UNAM, Ciudad de México.

Recibido: 14 de octubre 2019

Aceptado: 10 de enero 2020

Correspondencia

Eva María Perusquía Frías
Evamd70@hotmail.com

Este artículo debe citarse como:

Perusquía-Frías EM, Aguilar-Domingo M, Cantú-Gómez AI, Jiménez-Quintero LA, et al. Estimulación transcraneal por corriente directa para tratamiento de la obesidad. Med Int Méx. 2021; 37 (1): 34-44.
<https://doi.org/10.24245/mim.v37i1.3592>

ANTECEDENTES

La obesidad se reconoce como uno de los mayores problemas de salud en todo el mundo; es una enfermedad multifactorial con altos índices de fracasos terapéuticos.

La Organización Mundial de la Salud propone que el tratamiento universal de la obesidad se base en restricción calórica e incremento en la actividad física,¹ lo que en Latinoamérica reporta una tasa de abandono de 68%.² En publicaciones recientes se ha demostrado que una dieta con muy bajo contenido calórico pero balanceada en proteínas permite la reducción de peso satisfactoria y la conservación a largo plazo del peso perdido.^{3,4}

El sistema neuroconductual relacionado con la ingesta alimentaria recibe influencias genéticas, biológicas, ambientales, emocionales y de patrones persistentes de comportamiento.⁵ La regulación no homeostática de la alimentación se relaciona, además, con el sistema de recompensa cerebral y la cognición,^{6,7} específicamente con las funciones ejecutivas que apoyan la autorregulación del comportamiento alimentario y se encuentran en zonas que incluyen las regiones lateral y dorsomedial del cerebro, como la corteza prefrontal dorsolateral, el cíngulo anterior dorsal y la corteza parietal.^{6,8} La acción de los sectores laterales prefrontales constituye un mecanismo compensatorio para superar la tendencia del sujeto a sobrealimentarse y ganar peso. Una mayor activación de estas zonas se encuentra en personas que son capaces de mantener la pérdida ponderal.^{6,9,10,11}

En la obesidad, estudios de neuroimagen señalan un desequilibrio entre los circuitos prefrontales dorsolaterales izquierdos y los estriales;¹² sin embargo, estos estudios no son fácilmente accesibles y son costosos, por lo que se ha validado la utilidad del electroencefalograma cuantitativo para el análisis de estos circuitos

a través de algoritmos matemáticos procesados por computadora^{13,14} que ofrecen una alternativa menos costosa, más accesible y menos invasiva.

La disregulación de este sector en la obesidad podría ser la causante de las alteraciones en la modificación de la conducta alimentaria, específicamente en la selección de los grupos alimentarios,^{15,16} por lo que basados en los resultados de los estudios de Gluck y colaboradores¹⁵ puede realizarse manipulación terapéutica mediante el uso de estimulación transcraneal por corriente directa.^{17,18,19}

La estimulación transcraneal por corriente directa es una herramienta terapéutica no invasiva, indolora y muy bien tolerada para modular conductas a través de regular la excitabilidad cortical^{15,20,21,22} que ha mostrado tener grandes beneficios a través de inducir cambios funcionales permanentes mediante el fortalecimiento de conexiones sinápticas fundamentales²² en diversos padecimientos.^{20,23,24} Además, ha demostrado ser un tratamiento capaz de modificar patrones de conducta alimentaria que de poder ser utilizado en la población general, sería de gran ayuda para modificar el apetito por alimentos ricos en grasas y carbohidratos.

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la neuromodulación a través de estimulación transcraneal por corriente directa de los tractos mesocortical y mesolímbico sobre el control de las preferencias alimentarias y comparar su efecto con un sistema simulado de neuromodulación en población sometida a dos terapias nutricionales diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo clínico controlado doble ciego, efectuado de enero de 2017 a diciembre de 2018, en el que se estudiaron pacientes obesos seleccionados mediante muestreo no probabilístico, reclutados a

través de las redes sociales de la Unidad de Neurociencias. Se incluyeron pacientes de uno y otro sexo, entre 18 y 55 años de edad, con índice de masa corporal (IMC) $> 30 \text{ kg/m}^2$, con intenciones de bajar de peso, que aceptaron mediante consentimiento informado participar en el estudio.

Los criterios de exclusión fueron: ser menor de edad, pacientes con IMC $< 30 \text{ kg/m}^2$, tener contraindicaciones absolutas para llevar a cabo una dieta de aporte proteico equilibrada en proteínas, embarazo o lactancia, alcoholismo, toxicomanías, insuficiencia hepática, insuficiencia renal, diabetes mellitus insulino dependiente, administración de tiazidas o furosemide, tratamiento sistémico con corticoesteroides, alteraciones suprarrenales, enfermedades con pérdida proteica, situaciones en que la restricción calórica puede agravar o precipitar una enfermedad, enfermedades cardiovasculares o cerebrovasculares agudas (durante los seis meses previos). Antecedentes de traumatismo craneoencefálico, epilepsia o trastornos neuropsiquiátricos diagnosticados. Enfermedades de la piel que produzcan escoriaciones. Tratamiento con ansiolíticos, antidepresivos, neurolépticos, antipsicóticos o anticoagulantes. Pacientes sin intención de perder peso y aquellos a los que se les haya realizado un procedimiento quirúrgico para perder peso durante los 12 meses previos.

Los criterios de eliminación incluyeron: pacientes que decidieron voluntariamente abandonar el estudio, reacciones adversas severas durante el manejo con dieta con aporte proteico. Reacciones adversas severas ante neuroestimulación. Pacientes que durante el estudio requieran iniciar algún tipo de tratamiento contra padecimientos concomitantes que interfieran con los resultados finales del estudio. Sujetos que no cumplan con el protocolo completo de neuroestimulación.

Una vez reclutados y seleccionados los pacientes, se les realizaron mediciones basales:

- a. Medidas antropométricas: peso, talla, índice de masa corporal (IMC), circunferencia abdominal (de acuerdo con los estándares publicados por el *Manual de Procedimientos. Toma de Medidas Clínicas y Antropométricas en el adulto y el adulto mayor* de la Secretaría de Salud de México, 2002).
- b. Medición de presión arterial: mediante baumanómetro manual medStar® o Wellch-Allen, con estetoscopio Littman o de las mismas marcas.
- c. Determinación de composición corporal por impedancia bioeléctrica (IBE) mediante el uso de plataforma electrónica programable tetrapolar, segmental y multifrecuencia modelo iOi 353 de JAWON®.
- d. Valoración bioquímica del perfil metabólico: biometría hemática completa, glucemia y hemoglobina glicosilada, creatinina en suero, nitrógeno ureico, ácido úrico, perfil de lípidos completo, electrolitos séricos con calcio y magnesio, enzimas hepáticas, perfil hormonal tiroideo, realizados en laboratorio clínico con sistemas estandarizados que cumplan con parámetros de la NOM y requisitos internacionales.
- e. Encuesta de preferencias alimentarias proporcionada por la Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Sociomédica (UPEIS) de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- f. Electroencefalograma cuantitativo con equipo Mitsar- EEG- 10/70- 201® de 21 canales, con software WinEEG® y gorros Electrocap que poseen el sistema de distribución internacional 10-20 para el registro de EEG, canal ECG con electrodos de referencia situados en los lóbulos de la

oreja. Se grabaron parámetros basales (3 minutos con ojos cerrados y 3 minutos con ojos abiertos), para continuar con prueba en paradigma GO-NOGO de aproximadamente 22 minutos de duración (ECPT – *Emotional Continuous Performance Task*) y prueba auditiva (paradigma Mismatch Negativity de 15 minutos de duración).

Posteriormente los pacientes se distribuyeron mediante tabla de números aleatorios generada con Excel 2016® en alguno de los tres grupos de estudio.

Primer grupo

Se aplicó una dieta con aporte proteico muy baja en calorías, entre 600 y 800 kcal totales, con aporte de entre 0.8 y 1.2 gramos de proteínas por kilogramo de peso ideal al día y restringida a 20 gramos de lípidos de cadena media al día, complementada con todos los micronutrientes esenciales. Esta intervención nutricional fue suministrada de la semana 1 a la 12, posteriormente se manejó una dieta hipocalórica entre 1000 y 1500 kcal. Además de actividad física y soporte psicoemocional. A este grupo se aplicó neuroestimulación activa, mediante 20 sesiones de neuroestimulación con estimulación transcraneal por corriente directa distribuidas en dos a 3 sesiones por semana. La neuroestimulación se llevó a cabo mediante el neuroestimulador Starstim de Neuroelectronics® con ocho canales EEG bidireccionales, Se usaron electrodos PIS-TIM® de plata de 12 mm de diámetro con gel electroconductor ElectroGel®. El ánodo se colocó sobre F3 (corteza prefrontal izquierda) y el cátodo sobre Fp2 (corteza supraorbitaria derecha). En cada sesión se realizó una estimulación con 640 μ Volts durante 30 minutos. Las evaluaciones clínicas y supervisión del diario de alimentación se realizaron cada 15 días, el análisis de composición corporal cada 30 días, los exámenes bioquímicos complementarios solo si la clínica

los indicaba y la evaluación completa en la semana 14 con exámenes clínicos, análisis de composición corporal, pruebas de laboratorio, electroencefalograma cuantitativo y revisión de diario de alimentación, así como encuesta de preferencias alimentarias.

Segundo grupo

Se aplicó dieta hipocalórica calculada con base en el gasto energético basal menos 20% con distribución de macronutrientes de 60% de hidratos de carbono, 15% proteínas y 25% lípidos hasta la semana 12 de acuerdo con las preferencias de los pacientes por grupos y equivalencias nutricionales, se suministró neuroestimulación activa de la misma manera que en el primer grupo. A partir de la semana 12 los pacientes se instruyeron para consumir una dieta hipocalórica calculada de acuerdo con su nuevo gasto energético basal. El resto de las evaluaciones se efectuó igual que en el grupo anterior.

Tercer grupo (control)

Se aplicó una dieta hipocalórica calculada igual a la del grupo anterior, pero la neuroestimulación se hizo con el método *sham*, generado por el programa del equipo que de manera breve manda impulsos eléctricos durante el primer minuto del tratamiento pero cesa a partir del minuto 2 brindando una neuroestimulación simulada o placebo. El resto de las evaluaciones se realizaron igual que en los grupos anteriores.

Análisis estadístico

Se realizó una evaluación general con estadística descriptiva a la base de datos inicial para establecer las características de la población participante, se realizó también un estudio comparativo entre los parámetros iniciales y los parámetros finales utilizando ANOVA de una o dos vías según el caso, pruebas y evaluación

de distribución y homogeneidad de la muestra, pruebas paramétricas χ^2 para variables cualitativas y t para variables cuantitativas. De no apearse a la normalidad se utilizaron pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis para variables cuantitativas y U de Mann-Whitney para las categóricas.

Para la comparación de variables ordinales con más de una variable de agrupación o la existencia de más de una variable para contrastar se utilizó la prueba de Wilcoxon. Por otra parte, se construyeron modelos lineales generalizados para realizar análisis factoriales multivariados, mientras que para las variables nominales se construyeron modelos no lineales para análisis factoriales multivariáticos.

Los resultados se presentan en medias \pm desviación estándar, en el caso de que la desviación sea igual o mayor a la media se presenta el intervalo de confianza a 95% y de las variables cualitativas se muestran las proporciones y porcentajes obtenidos.

Para evaluar la confiabilidad de la encuesta se utilizó α de Cronbach y para el peso específico de cada ítem en la encuesta el modelo de Mahalanobis.

RESULTADOS

Se incluyeron 90 pacientes de los que 50 concluyeron el programa de electroestimulación y la intervención nutricional. Fueron 38 mujeres y 12 hombres (51.4 y 16.2%, respectivamente), todos entre la tercera y la sexta década de la vida con media de edad de 42.6 ± 9.3 años, el peso promedio inicial de los pacientes fue de 95.8 ± 21.3 kg. La talla 1.62 ± 0.1 m y el IMC de 36.7 ± 6.2 kg/m². En cuanto a la lateralidad funcional, 63.5% eran diestros, 2.7% ambidestros y solo 1.4% con lateralidad izquierda. Los pacientes fueron sorteados y distribuidos en uno

de los tres grupos de estudio. El grupo 1 estuvo conformado por 15 pacientes, el grupo 2 por 15 pacientes y el grupo 3 por 20 pacientes. Aunque la distribución fue aleatoria, existió diferencia en el IMC entre el grupo 1 (dieta con aporte proteico-neuroestimulación) y el grupo 2 (dieta hipocalórica-neuroestimulación) [$p = 0.02$], lo que representó valor de sesgo en la prueba post-hoc de Tukey de 0.017. Todos los parámetros analizados para establecer la inclusión al grupo de estudio se reportaron dentro de rangos normales. **Cuadro 1**

La respuesta a la intervención nutricional fue evaluada por la pérdida de peso, IMC, perímetro de cintura y pérdida en la proporción de grasa corporal, en la que el grupo tratado con dieta con aporte proteico logró una pérdida de peso significativamente mayor (7.38 ± 1.4 kg; IC95% 6.33 a 8.9 kg) con respecto a los tratados con dieta hipocalórica ($p < 0.001$). Los mismos resultados se obtuvieron en el IMC, el perímetro de cintura y el porcentaje de grasa visceral. **Figura 1**

En el análisis de la actividad cerebral se demostró que el denominado radio theta-beta en el estudio basal se encontró muy disminuido en 82% de los pacientes obesos: 76% en los pacientes del grupo 1, 92% en los del grupo 2 y 78% en los del grupo 3, normal en 15.3% y elevado a muy elevado en 15.3% de los pacientes. **Figura 2**

Posterior a la estimulación transcraneal por corriente directa el radio T/B se encontró en los pacientes del grupo 1: 53.8% muy disminuidos, 7.7% disminuido, 23.1% normales y 15.3% con plasticidad neuronal; en el grupo 2: 76% muy disminuidos, 23.1% disminuidos y 7.7% con plasticidad neuronal. Mientras que el grupo 3 mostró 78.9% muy disminuido, 15.7% disminuido y 5.2% normal ($\chi^2 = 22.9$ gl 11 $p = 0.028$). **Figura 3**

Con respecto a las áreas de Brodman con mayor actividad en el electroencefalograma cuantita-

Cuadro 1. Parámetros antropométricos analizados para establecer inclusión al estudio

	DAP-neuroestimulación				DHC-neuroestimulación				DHC-SHAM				P
	IC95%				IC95%				IC95%				
	Media	DS	Inferior	Superior	Media	DS	Inferior	Superior	Media	DS	Inferior	Superior	
Peso	89.9	22.8	82.2	98.4	94.3	19.5	87.7	102.2	95.9	22.5	89.1	103.4	NS
Talla	1.6	0.1	1.6	1.7	1.6	0.1	1.5	1.6	1.6	0.1	1.6	1.7	NS
IMC	33.7	5.8	31.8	35.7	38.1	7.4	35.5	40.9	35.8	5.6	34	37.5	0.02
Perímetro abdominal	101.8	18.4	95.8	108.4	107.3	16	102	113.6	106.4	15.9	101.3	111.6	NS
Porcentaje de grasa corporal	39.9	3.5	38.5	41.2	42.6	5.5	40.6	44.6	40.1	3.7	39	41.2	NS
Masa muscular	48.5	10.5	44.9	52.4	48.4	8.4	45.7	51.6	51.9	12.1	48.4	56.1	NS
Masa ósea	5	1.3	4.6	5.5	5.2	1.1	4.9	5.7	5.4	1.2	5	5.8	NS
Grasa visceral	15.9	2.5	14.9	16.8	17.5	2.4	16.6	18.3	16.3	1.9	15.7	16.9	NS

DAP: dieta de aporte proteico; DHC: dieta hipocalórica.

tivo basal de los pacientes electroestimulados se reportaron en orden de frecuencia el área 37 reportada activa en 22 pacientes, las áreas 9, 18 y 19 reportadas activas en 18 pacientes, las áreas 6 y 40 en 17 pacientes, el área 7 en 16 pacientes, las áreas 21, 32 y 39 en 15 pacientes y las áreas 10, 11 y 31 en 14 pacientes.

En el estudio posterior a la electroestimulación los cambios fueron evidentes mostrando que el área 40 se presentó activa en 20 pacientes, el área 5 en 16 pacientes, el área 6 en 13, el área 31 en 12, el área 39 en 11, el área 7 en 10, las áreas 38, 13, en 9 y 8 pacientes, respectivamente, las áreas 19 y 22 en 7 pacientes. Llamó la atención que las áreas de la corteza prefrontal que tienen que ver con el olfato y el gusto, además de separar los impulsos placenteros y no placenteros, se encontraron inactivas después de la electroestimulación.

Con la finalidad de dar una explicación al hallazgo anterior se analizaron las diferencias en la amplitud (mV) de las ondas theta en F3 encontrando que disminuyó 0.41 ± 0.33 mV en 65% de los pacientes sometidos a electroestimulación, mientras que en los pacientes no estimulados esta disminución se observó solo en 20% de los pacientes y correspondió a 0.63 ± 0.39 mV ($f = 5.3$, $gl1$, $p = 0.02$). En la banda de frecuencia alfa en esta misma derivación la proporción de disminución fue mayor para los pacientes neuroestimulados: 71.5% 1.49 ± 1.75 mV con IC95% de 0.86 a 2.35 mV, lo que podría explicar el cambio en la activación específicamente del área 9 de Brodman. El mismo comportamiento se observó en el resto de las derivaciones del hemisferio dominante.

El análisis tiempo-frecuencia aplicado a los datos EEG en la tarea visual GO-NOGO (ECPT) demuestra claramente las alteraciones en los bucles prefrontales y nigro-estriados y los cambios de sincronización entre ellas una vez terminadas las sesiones de neuroestimulación,

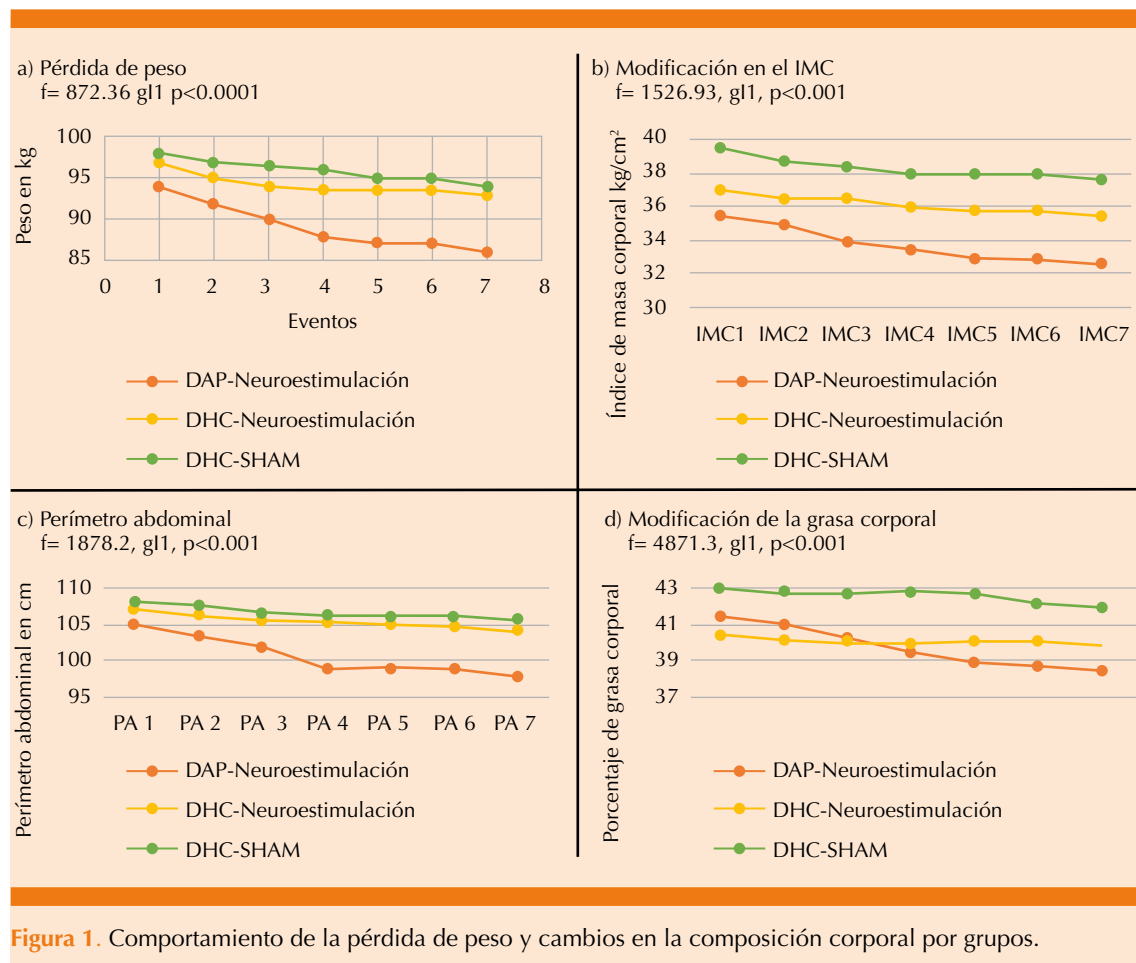


Figura 1. Comportamiento de la pérdida de peso y cambios en la composición corporal por grupos.

así como los cambios en el rango de frecuencias en que vibran las células de dichos circuitos y todos los correlacionados con ellos negativa o positivamente. Comparamos el grado de *phase locking* – factor P-L para diferentes bandas de frecuencia en respuesta a estímulos visuales recibidos durante tres segundos para los tres grupos del estudio y los resultados muestran cambios muy importantes de las bandas de frecuencia por encima de 16 Hz después de la neuroestimulación fundamentalmente en electrodos frontotemporales del hemisferio dominante, permaneciendo el factor P-L elevado para los individuos no neuroestimulados en dichas áreas corticales ($p = 0.02$). Este hallazgo sugiere que

los potenciales evocados visuales tardíos están muy deficientemente sincronizados en pacientes obesos, al igual que están desincronizados en pacientes con trastornos del neurodesarrollo o con problemas en bucles fronto-nigro-estriados.

DISCUSIÓN

Al tener en cuenta los datos analizados, parece confirmarse en la muestra estudiada que existe relación estadísticamente significativa entre el aumento de la plasticidad cerebral, el equilibrio eléctrico y bioquímico neuronal y la regulación emocional en el control de la conducta alimentaria que influye directamente en la calidad de

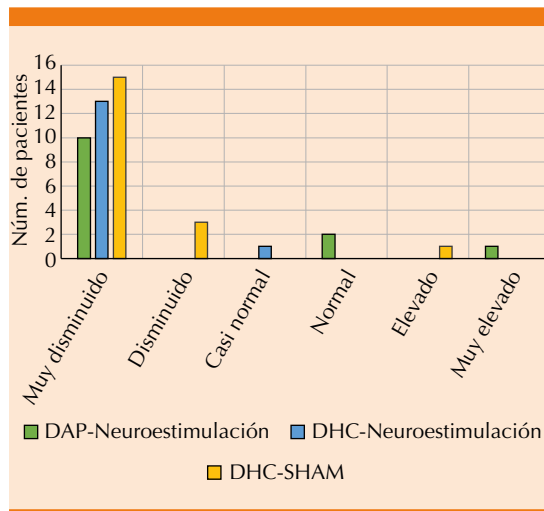


Figura 2. Alteración de la relación theta-beta en el estudio basal por grupo de estudio.

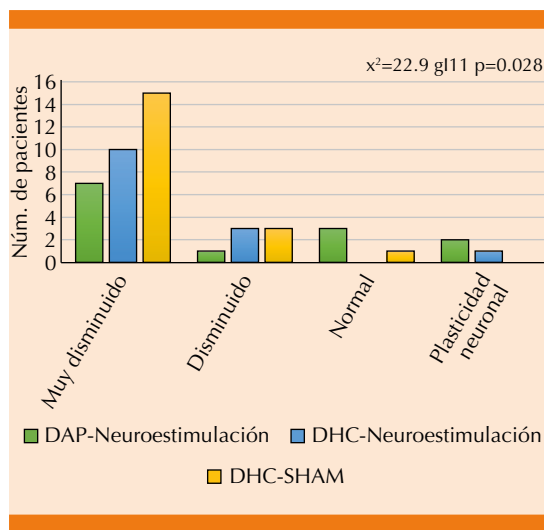


Figura 3. Porcentaje de mejoría de la relación theta-beta y formación de plasticidad neuronal por grupo de estudio posterior a la estimulación.

vida y la disminución del peso en los pacientes con obesidad.

En relación con la pérdida ponderal, ésta fue mayor en los pacientes que recibieron neuro-

estimulación combinada con dieta con aporte proteico, debido a los efectos anorexigénicos ya conocidos de la misma y a la capacidad de favorecer el equilibrio bioquímico cerebral.

Tal como lo muestran diversos estudios de neuroimagen en la disfunción cerebral en la obesidad, se encontró una lateralidad de predominio diestra que implica mayor funcionamiento hemisférico izquierdo.

El aumento en la plasticidad cerebral se encontró únicamente en los pacientes que recibieron neuroestimulación (grupo 1 15.3%, 7.7%) demostrando que aunque la neuronutrición juega un papel fundamental para mejorar las funciones cognitivas y emocionales cerebrales, no es suficiente para generar modificaciones en la citoestructura neuronal que influyan en el crecimiento dendrítico y favorezcan la plasticidad cerebral, tal como se logra con la neuroestimulación eléctrica transcraneal.²⁵

Otra consecuencia importante de la estimulación transcraneal por corriente directa fue el equilibrio de las ondas cerebrales, mismo que se ve reflejado en el radio theta-beta, donde la presencia exagerada de ondas theta es indicador de lento procesamiento de la información declarativa, relacionado con menor plasticidad cerebral y cierto retraso en la maduración bioeléctrica que también puede relacionarse con problemas psicoafectivos. Las ondas beta en exceso se asocian con trastornos de ansiedad, insomnio y alteraciones de índole obsesivo-compulsivo. Por tanto, un radio theta-beta disminuido se relaciona con trastornos del estado de ánimo y un radio elevado con retroceso del neurodesarrollo. En el electroencefalograma cuantitativo basal 82% de los pacientes mostró el radio muy disminuido. Al término del tratamiento los pacientes que tuvieron modificación importante fueron los expuestos a estimulación transcraneal por corriente directa: en el grupo 1 se encontró

una mejoría importante pasando de 76% previo al tratamiento a 53.8% posterior al mismo. En el grupo 2 pasó de 92 a 76%, mientras que en el grupo 3 permaneció intacto el porcentaje (78%).

El hallazgo de las áreas de Brodmann (AB) con hiperexcitabilidad previas al tratamiento fueron predominantemente por orden de frecuencia, la corteza occipitotemporal (AB 37), prefrontal (AB 9) y occipital (AB 18 y 19).^{26,27}

La corteza prefrontal dorsolateral caracterizada por el área de Brodmann 9 es parte de la neocorteza y está relacionada con los procesos de planeación que en su mayor parte se consideran funciones ejecutivas, esenciales para el establecimiento de la “voluntad” del paciente.

Posterior al tratamiento con estimulación transcraneal por corriente directa por un efecto compensatorio y como respuesta a la regulación de los potenciales de acción de la excitabilidad de la membrana neuronal, se obtuvo la activación principalmente de las áreas 40, 5, 6 y 31, mostrando que, junto con el lóbulo frontal, el lóbulo parietal representa la mayor expansión de la evolución en términos de tamaño cortical.^{27,28,29}

El área de Brodmann 31, conocida como corteza cingular dorsal posterior, es la encargada del procesamiento de la emoción y el reconocimiento^{27,30} y se encarga del procesamiento visual espacial. Está en estrecha relación con el área 29, denominada retrosplenial, que se encarga de actividades en las que está implicada la memoria. Esta última área tiene conexiones, a su vez, con el núcleo talámico anterior.³⁰

La trascendencia del equilibrio funcional eléctrico en las zonas somatosensoriales en el paciente con obesidad parece verse reflejada también en la preferencia de sabores, debido a que al final encontramos una disminución de la

preferencia por sabores dulces, lo que nos hace suponer una mejoría en la liberación de dopamina y, por tanto, el equilibrio de la respuesta del sistema mesolímbico, con lo que podemos determinar que es fundamental la regulación de la percepción multisensorial en los pacientes con obesidad que generan una respuesta de manera automática; sin embargo, el punto decisivo para el control de la conducta sin hacer referencia específicamente a la conducta alimentaria, está determinado por el cambio de la respuesta automática al procesamiento consciente de dicha percepción.

CONCLUSIONES

La estimulación transcraneal por corriente directa favorece la disminución de la preferencia alimentaria a carbohidratos aumentando el control cognitivo y disminuyendo el mecanismo de recompensa alimentario. Asimismo, aumenta la plasticidad cerebral, lo que favorece las funciones cerebrales cognitivas y emocionales en un periodo corto, resultado que puede potencializarse con la administración de fármacos secundario al equilibrio bioquímico. Esta terapia tiene gran efecto porque mejora la toma de decisiones, la solución de problemas, el establecimiento de metas, la conclusión de proyectos, la tolerancia a la frustración y el control emocional, dando al paciente obeso las herramientas necesarias para el adecuado apego al tratamiento y así, devolverle *la voluntad perdida*.

Desarrollar nuevas herramientas para tratar y comprender la biología y la heterogeneidad de la conducta alimentaria humana, incluso la posibilidad de aceptar la relación directa comida-adicción, logrando métodos no invasivos, indoloros y bien tolerados, que además de ser reproducibles puedan ser validados por diferentes grupos de investigación, proporciona una nueva y eficaz alternativa para el tratamiento de la obesidad.

Agradecimientos

Agradecemos a Productos Medix, SA de CV (Medix®) por su apoyo y patrocinio para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud | Obesidad y sobrepeso. (2016). WHO. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es>.
2. González ZLI, Giraldo GNA, Estrada RA, Muñoz RAL, et al. La adherencia al tratamiento nutricional y composición corporal: un estudio transversal en pacientes con obesidad o sobrepeso. *Rev Chilena de Nutr* 2007; 34 (1): 46-54. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000100005>.
3. Larsen TM, Dalskov SM, van Baak M, Jebb SA, et al. Diet, Obesity, and Genes (Diogenes) Project. Diets with high or low protein content and glycemic index for weight-loss maintenance. *N Engl J Med* 2010; 363: 2102-13. doi: 10.1056/NEJMoa1007137.
4. Krieger JW, Sitren HS, Daniels MJ, Langkamp-Henken B. Effects of variation in protein and carbohydrate intake on body mass and composition during energy restriction: a meta-regression 1. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 260-74. doi: 10.1093/ajcn/83.2.260.
5. Carnell S, Gibson C, Benson L, Ochner CN, Geliebter A. Neuroimaging and obesity: current knowledge and future directions. *Obes Res* 2012; 13 (1): 43-56. doi: 10.1111/j.1467-789X.2011.00927.x.
6. Alonso-Alonso M, Woods SC, Pelchat M, Grigson PS, et al. Food reward system: current perspectives and future research needs. *Nutr Rev* 2015; 73 (5): 296-307. doi: 10.1093/nutrit/nuv002.
7. Begg DP, Woods SC. The endocrinology of food intake. *Nature Rev Endocrinol* 2013; 9 (10): 584-597. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.136>.
8. Skoranski AM, Most SB, Lutz-Stehl M, Hoffman JE, et al. Response monitoring and cognitive control in childhood obesity. *Biol Psychol* 2013; 92 (2): 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.09.001>.
9. Delparigi A, Chen K, Salbe A, Hill J, et al. Successful dieters have increased neural activity in cortical areas involved in the control of behavior. *Int J Obes* 2007; 31: 440-448. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803431>.
10. McCaffery JM, Haley AP, Sweet LH, Phelan S, et al. Differential functional magnetic resonance imaging response to food pictures in successful weight-loss maintainers relative to normal-weight and obese controls. *Am J Clin Nutr* 2009; 90 (4): 928-934. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27924>.
11. Vainik U, Dagher A, Dubé L, Fellows LK. Neurobehavioural correlates of body mass index and eating behaviours in adults: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2013; 3711 (3). <https://doi.org/10.1016/j.neubio-rev.2012.11.008>.
12. Tataranni PA, Gautier JF, Chen K, Uecker A, et al. Neuroanatomical correlates of hunger and satiation in humans using positron emission tomography. *Proceed Nat Acad Sci USAmerica* 1999; 96 (8): 4569-74. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1073/pnas.96.8.4569>.
13. Babiloni C, Del Percio C, Valenzano A, Marzano N, et al. Frontal attentional responses to food size are abnormal in obese subjects: An electroencephalographic study. *Clin Neurophysiol* 2009; 120 (8): 1441-1448. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.06.012>.
14. Duffy FH, Hughes JR, Miranda F, Bernard P, et al. Status of quantitative EEG (QEEG) in clinical practice. *Clinical EEG Neuroscience* 1994; 25 (4): vi-xxii. <https://doi.org/10.1177/155005949402500403>.
15. Gluck ME, Alonso-Alonso M, Piaggi P, Weise CM, et al. Neuromodulation targeted to the prefrontal cortex induces changes in energy intake and weight loss in obesity. *Obesity* 2015; 23: 2149-2156. <https://doi.org/10.1002/oby.21313>.
16. Kringelbach ML. The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nature Reviews Neuroscience* 2005; 6 (9): 691-702. <https://doi.org/10.1038/nrn1747>.
17. Datta A, Truong D, Minhas P, Parra LC, et al. Inter-individual variation during transcranial direct current stimulation and normalization of dose using MRI-derived computational models. *Front Psychiatr* 2012; 3: 91. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2012.00091>.
18. Kirkwood A, Rioult MG, Bear MF. Experience-dependent modification of synaptic plasticity in visual cortex. *Nature* 1996; 381 (6582): 526-528. <https://doi.org/10.1038/381526a0>.
19. Truong DQ, Magerowski G, Blackburn GL, Bikson M, et al. Computational modeling of transcranial direct current stimulation (tDCS) in obesity: Impact of head fat and dose guidelines. *NeuroImage: Clinical* 2013; 2 (1): 759-766. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.05.011>.
20. Fregni F, Orsati F, Pedrosa W, Fecteau S, et al. Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates the desire for specific foods. *Appetite* 2008; 51 (1): 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.09.016>.
21. McClelland J, Bozhilova N, Campbell I, Schmidt U. (2013, November). A systematic review of the effects of neuromodulation on eating and body weight: Evidence from human and animal studies. *Eur Eat Disord Rev* 2013; 21 (6): 436-55. <https://doi.org/10.1002/erv.2256>.
22. Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist* 2011; 17 (1): 37-53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>.
23. Fregni F, Boggio PS, Mansur CG, Wagner T, et al. Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Neuroreport* 2005; 16 (14): 1551-1555. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000177010.44602.5e>.

24. Fregni F, Gimenes R, Valle AC, Ferreira MJL, et al. A randomized, sham-controlled, proof of principle study of transcranial direct current stimulation for the treatment of pain in fibromyalgia. *Arth Rheum* 2006; 54 (12): 3988-3998. <https://doi.org/10.1002/art.22195>.
25. Rubio-Morell B, Rotenberg A, Hernández-Expósito S, Pascual-Leone A. Uso de la estimulación cerebral no invasiva en los trastornos psiquiátricos de la infancia: nuevas oportunidades y retos diagnósticos y terapéuticos. *Rev Neurol* 2011; 53 (4): 209-225. <https://doi.org/10.33588/rn.5304.2011072>.
26. Department of Systems Neuroscience, Fukushima Medical University School of Medicine. Brodmann Areas 27, 28, 36 and 37: The Parahippocampal and the Fusiform Gyri. 2017; 69 (4): 439-451. doi. 10.11477/mf.1416200762.
27. Gustavo-Ramón S. Apuntes de la asignatura Conocimiento Corporal II. Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Actualización: mayo de 2008: 1-18.
28. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principios de neurociencia. 4ª edición. Madrid: McGrawHill-Interamericana, 2001.
29. Procyk E, Goldman-Rakic PS. Modulation of dorsolateral prefrontal delay activity during self-organized behavior. *J Neurosci* 2006; 26: 11313-11323. doi. 10.1523/JNEUROSCI.2157-06.2006.
30. González-Bonet LG, Piquer-Belloch J. Correlación anatomoclínica de las neoplasias frontomesiales: cíngulo anterior, área septal y rodilla del cuerpo calloso. *Neuroanatomía* 2016; 5: 33-43.

AVISO PARA LOS AUTORES

Medicina Interna de México tiene una nueva plataforma de gestión para envío de artículos. En: www.revisionporpares.com/index.php/MIM/login podrá inscribirse en nuestra base de datos administrada por el sistema *Open Journal Systems* (OJS) que ofrece las siguientes ventajas para los autores:

- Subir sus artículos directamente al sistema.
- Conocer, en cualquier momento, el estado de los artículos enviados, es decir, si ya fueron asignados a un revisor, aceptados con o sin cambios, o rechazados.
- Participar en el proceso editorial corrigiendo y modificando sus artículos hasta su aceptación final.