

Decremento de la correlación cortical durante la activación sexual de ratas macho

Marisela Hernández-González

Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva. Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

Miguel Ángel Guevara

Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta. Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

Ricardo Alonso Romero Orozco

Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva. Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

Yuritze Aguilar-Salgado

Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva. Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Guadalajara. Jalisco, México.

Marcela Arteaga Silva

Departamento de Biología de la Reproducción, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa. México, D.F.

Correspondencia: Marisela Hernández González. Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo 180, Col. Arcos Vallarta Guadalajara, Jal. MÉXICO C.P. 44130. Tel. and Fax: (52) (33) 37 77 11 50, ext. 33360 e-mail: mariselh@cencar.udg.mx

Agradecimientos: Este trabajo fue apoyado por CONACyT, número de proyecto 00000000104297 asignado a R.A.R.O.

Resumen

La motivación sexual, definida como todos aquellos procesos y actos que ejecuta un sujeto para tener contacto con una potencial pareja sexual, y la activación sexual, cuyo principal indicador es la erección peneana, requieren de la adecuada detección y procesamiento de estímulos sensoriales internos y/o externos con

significado sexual. Se ha sugerido que la corteza prefrontal juega un importante papel en el procesamiento y asignación de valor incentivo de tales estímulos y por ende, en la inducción de la activación sexual, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar si la actividad electroencefalográfica (EEG) de la corteza prefrontal presenta cambios característicos durante los estados de motivación y activación sexual de ratas macho. Se implantaron bilateralmente y a permanencia 13 ratas macho Wistar sexualmente expertas en la corteza prefrontal medial (CPFm) y, después de 8-10 días de recuperación postquirúrgica, se registró el EEG durante a) el estado vigilia-quieto sin motivación sexual; b) el estado vigilia-quieto con motivación sexual (inmediatamente después de una o dos intromisiones con una hembra receptiva); así como c) durante acicalamiento genital y d) estado de activación sexual (ocurrencia de erecciones peneanas psicogénicas) en presencia de una hembra receptiva inaccesible. Las ratas macho sexualmente motivadas presentaron en el estado vigilia quieto, una mayor potencia absoluta (PA) de los 7 a los 12 Hz en la CPF medial izquierda y derecha. Durante la ocurrencia de erecciones peneanas psicogénicas, la CPFm presentó una menor PA y una menor correlación de frecuencias rápidas (24-28 Hz) respecto a la conducta de acicalamiento genital, acto motor similar y de postura equivalente a

aquella de las erecciones peneanas psicogénicas. Estos resultados dan evidencia electroencefalográfica de que en la rata macho, el estado de motivación sexual es distinto de aquel de activación sexual, procesos que frecuentemente han sido usados como sinónimos tanto en la investigación básica como en la práctica clínica.

Palabras clave: activación sexual, motivación sexual, erección peneana, electroencefalograma, corteza prefrontal, correlación.

Decrease of the cortical correlation during sexual arousal in male rats

Abstract

Sexual motivation, defined as all those processes and acts that a subject performs in order to achieve contact with a potential sexual partner; and sexual activation, the principle indicator of which is penile erection, require the adequate detection and processing of internal and/or external sensorial stimuli that convey a sexual meaning. It has been suggested that the prefrontal cortex plays an important role in processing and assigning incentive value to such stimuli and, therefore in inducing sexual activation. Given this, the aim of the present study was to determine if the electroencephalographic activity (EEG) in the prefrontal cortex presents characteristic changes

during the states of sexual motivation vs. sexual activation in male rats. A total of 13, 80-to-90-day-old, sexually-experienced male Wistar rats were permanently implanted bilaterally with electrodes in the medial prefrontal cortex (mPFC). After an 8-to-10-day post-surgery recovery period, EEGs were recorded from the left and right prefrontal cortices under the following conditions: (a) at rest with no sexual motivation; (b) at rest with sexual motivation (*i.e.*, immediately after 1 or 2 intromissions with a receptive female); as well as in both (c) during genital grooming and d) during sexual activation (occurrence of psychogenic penile erections) in the presence of an inaccessible receptive female. In condition (a) the sexually-motivated male rats presented a higher absolute power (AP) of the low frequencies (7-12 Hz) in the left and right mPFC. During occurrence of psychogenic penile erections, the mPFC showed a lower AP and a decreased correlation of the fast frequencies (24-28 Hz) compared to the genital grooming, a similar motor act and equivalent posture to those of psychogenic penile erections. These results provide electroencephalographic evidence that the state of sexual motivation is distinct from that of sexual activation in male rats, though these two processes have often been used as synonyms in basic research and clinical practice.

Key words: sexual activation, sexual motivation, penile erection,

electroencephalogram, prefrontal cortex, correlation.

Introducción

En el estudio de la neurofisiología de la conducta sexual, es importante considerar no sólo los componentes de ejecución motora característicos, sino también los componentes que permiten dar inicio a la interacción sexual. Estos componentes incluyen la detección y percepción de los estímulos emitidos por la potencial pareja sexual, así como las condiciones neuroendocrinas adecuadas para inducir un estado de motivación y activación sexual.

La naturaleza y características de los estímulos sexualmente relevantes varían de una especie a otra, sin embargo, la detección y procesamiento de tales estímulos tienen una base neural y hormonal similar entre especies, de ahí la importancia de conocer los procesos neuroendocrinos que fundamentan la generación de la motivación y activación sexual que darán lugar a la ejecución sexual propiamente dicha (Ágmo, 2007; Hernández-González, Guevara & Ágmo, 2008; Hernández-González & Guevara, 2009).

El estímulo con mayor relevancia sexual en todos los mamíferos es la estimulación mecánica (somatosensorial), que da lugar a un

estado de activación y placer específico. Tal estimulación somatosensorial ocurre sólo hasta después de que la pareja sexual ha logrado el contacto físico, por lo que previo a ello, deben entrar en juego otros tipos de estímulos que pueden ser detectados a distancia, tal es el caso de las señales olfatorias, auditivas y visuales (Sachs & Barfield, 1976; Meisel & Sachs, 1994). Todos esos estímulos detectados a distancia adquieren un significado sexual de acuerdo con la asociación que se haya generado con ellos o al aprendizaje; por ejemplo, para la rata macho los olores de la hembra en estro, la estimulación visual por los movimientos que ejecuta y las vocalizaciones ultrasónicas emitidas por ella, actúan como estímulos incentivos primarios para generar un estado motivado, mismo que a su vez puede incrementar la efectividad de los estímulos incentivos y por tanto, activar los circuitos neurales que median la ejecución motora y recompensa de las conductas copulatorias (Ágmo, 1999).

La motivación sexual se define como aquel estado que hace que un sujeto busque contacto sexual con otro sujeto (Ágmo, 1999) y ocurre en respuesta a estímulos que incitan a la conducta de búsqueda y/o aproximación hacia el estímulo sexual incentivo. Sin embargo, la motivación sexual no solo se expresa como conductas de aproximación hacia la potencial pareja sexual sino que

también se acompaña de una serie de respuestas viscerales entre las cuales destaca el incremento del flujo sanguíneo genital, causando en machos, la erección peneana. Esta particular respuesta visceral es frecuentemente considerada tanto en el ámbito clínico como básico, como el indicador más confiable de arousal o activación sexual (Sachs, 1997, 2007; Sachs, Akasofu, Citron, Daniels & Natoli 1994).

La erección peneana se define como la extensión del glande por fuera del prepucio como resultado de la rigidez o tumescencia del pene, la cual resulta de una serie de procesos vasculares, neurales, endocrinos y paracrinos que se desatan en respuesta a la estimulación de diferentes modalidades sensoriales y es fundamental en la conducta sexual masculina para llevar a cabo la emisión seminal y la eyaculación (Benson, 1988; Hernández-González, 2000).

En el contexto de la interacción sexual de la rata macho, la erección peneana se presenta después de que ocurre el contacto físico entre la pareja lo que le permite lograr la respuesta de intromisión o inserción peneana intravaginal; sin embargo, existen modelos experimentales de erección peneana ex-cópula en los cuales, por la sola percepción de estímulos provenientes de la hembra receptiva, se induce la erección peneana aún sin tener contacto físico,

dando evidencia de que el sistema nervioso del macho es capaz de percibir y procesar las señales remotas emitidas por la hembra para asignarles un valor incentivo y generar el estado de arousal o activación sexual acompañado de los procesos de erección peneana. Las erecciones peneanas inducidas por la percepción de estímulos emitidos por una hembra receptiva que le es inaccesible al macho se han denominado “erecciones peneanas psicogénicas” (EPP’s) o “erecciones sin contacto” (Sachs, 1997, 2007; Sachs et al., 1994).

A la fecha se ha logrado compilar suficiente información acerca de las bases cerebrales que sustentan el despliegue o ejecución de la conducta copulatoria, sin embargo, respecto a las estructuras cerebrales implicadas en la inducción de la motivación sexual y por ende de la activación sexual, la información es bastante limitada. Entre las estructuras que se ha mostrado son importantes para la inducción de la motivación sexual en roedores, se encuentran el área preóptica medial (Hurtazo & Paredes, 2005) y la amígdala posteromedial (Maras & Petrulis, 2006). Otras estructuras cerebrales que también han sido involucradas en el procesamiento de los estímulos sexuales incentivos son la corteza prefrontal (CPF), con sus numerosas conexiones con otras áreas corticales posteriores (como la parietal) y el núcleo accumbens

(Acc). Las lesiones de la CPF han llevado a reducir el número de intromisiones previas a la eyaculación y a incrementar la latencia para iniciar la cópula (Bunnell, Friel & Flesher, 1966; Ágmo, Villalpando, Picker, & Fernández, 1995), en tanto que las lesiones del Acc han resultado en reducción de la frecuencia y mayor latencia de las erecciones sin contacto inducidas por los olores de una hembra receptiva (Liu, Sachs & Salamone, 1998).

El registro de la actividad eléctrica cerebral espontánea o actividad electroencefalográfica (EEG) ha sido una de las técnicas más ampliamente utilizada para determinar el funcionamiento cerebral con relación a la conducta, procesos cognoscitivos y estados fisiológicos. Esta técnica se basa en detectar las fluctuaciones de voltaje sinusoidales y rítmicas que son generadas por el cerebro, las cuales representan la actividad global (potenciales sinápticos) de las neuronas y fibras de paso que constituyen a las diferentes áreas corticales y estructuras subcorticales. Una de las principales ventajas de esta técnica electroencefalográfica es que posee una alta resolución temporal, permitiendo obtener registros en el rango desde milisegundos hasta horas o días asociados a estados fisiológicos, conductas y procesos tanto cognoscitivos como motivo-emocionales específicos.

Actualmente, el análisis de la actividad EEG se efectúa de forma computarizada aplicando la Transformada Rápida de Fourier, la cual proporciona datos cuantitativos de dos principales parámetros: 1) Potencia Absoluta (PA), definida como la energía o voltaje de cada banda de frecuencia expresada en microvolts al cuadrado (μV^2) y 2) Potencia Relativa (PR), considerada como la contribución proporcional de cada banda de frecuencia al espectro de potencia total de 1-30 Hz. Estos parámetros de la amplitud de la señal EEG son diferentes pero complementarios y dan una idea de los cambios en la frecuencia de disparo así como de la cantidad de neuronas activadas durante una conducta o condición fisiológica particular (Klimesch, 1999; Klimesch, Sauseng, Hanslmayr, Gruber & Freunberger, 2007; Porjesz, Jones & Begleiter, 2004). Así, una incrementada PA indica que más neuronas están disparando sincrónicamente y por lo tanto generan una mayor amplitud, en tanto que una incrementada PR indica que una determinada banda de frecuencia tiene una mayor proporción de la potencia total del espectro electroencefalográfico.

Otro parámetro que en los últimos años ha sido de gran utilidad para determinar el funcionamiento cerebral es el índice de correlación electroencefalográfica (r) el cual permite conocer el grado de

acoplamiento funcional o similitud de la actividad EEG de dos sitios cerebrales distintos (Lopes da Silva, 1991; Shaw, 1984; Guevara & Corsi-Cabrera, 1996; Guevara, Ramos, Hernández-González, Zarabozo & Corsi-Cabrera, 2003).

Dada la propuesta de que la CPF medial juega un papel importante en el procesamiento de alto orden de las señales sensoriales, así como en la asignación del valor incentivo de los mismos (para una revisión ver Hernández-González & Guevara, 2009), y considerando que la erección peneana ha sido sugerida como el indicador fisiológico más evidente y confiable de la activación sexual, en el presente trabajo se investigó si la motivación (inducida por los estímulos emitidos por la hembra receptiva) y la activación sexual (ocurrencia de erecciones sin contacto) se asocian con cambios EEG característicos en la corteza prefrontal medial de la rata macho.

Método

Sujetos

Ratas macho de la cepa Wistar fueron procreadas y mantenidas en cajas medianas con una cama de aserrín (tres machos por caja) en el bioterio del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara. Todos los sujetos se mantuvieron bajo un ciclo de luz-oscuridad invertido (12 h luz/ 12 h oscuridad) a

una temperatura de 24 ± 2 °C, con agua y comida *ad libitum* hasta la edad de 3-4 meses (300 - 500 g de peso) en que fueron sometidos a tres pruebas de interacción sexual. Las hembras receptoras de la misma cepa fueron tratadas con benzoato de estradiol (5 μ g/0.05 ml) de manera subcutánea cada tercer día. Los machos se consideraron sexualmente expertos cuando completaron dos sesiones copulatorias en las que lograron la eyaculación antes de los 15 minutos.

Implante intracerebral de electrodos

Cada una de las ratas macho fue inyectada con sulfato de atropina (2 mg/kg) para bloquear los efectos depresores de los barbitúricos en el corazón y después fueron anestesiados con pentobarbital sódico (35mg/kg vía intraperitoneal) y montados a un aparato estereotáxico (Kopf. USA). Los electrodos fueron implantados de manera bilateral en el área Prelímbica de la CPFm (3.2 mm anterior a bregma, 0.6 mm lateral a la línea media y 4.2 mm por debajo de la duramadre, con la barra de incisivos colocada en 3.3 mm) según las coordenadas estereotáxicas del atlas de Paxinos y Watson (1997). Los electrodos fueron elaborados con alambre de acero inoxidable (200 μ m de diámetro) aislados en casi toda su longitud a excepción de la punta. Se colocaron además dos tornillos de acero inoxidable, uno en la parte más anterior del cráneo que sirvió como electrodo de referencia y otro en la

parte más posterior del cráneo que sirvió como electrodo de tierra. Las salidas de los electrodos se soldaron a un conector hembra en miniatura que se fijó al cráneo con cemento dental. Cada rata implantada fue mantenida en el bioterio del Instituto de Neurociencias, en cajas individuales de acrílico transparente (15 x 15 x 30 cm) con una cama de aserrín y agua y comida *ad-libitum*.

Registro de erecciones penélicas sin contacto

Para el registro de las erecciones sin contacto, se utilizó una caja de acrílico transparente dividida por la mitad con una rejilla de acrílico transparente que poseía orificios de 2 mm de diámetro. En uno de los compartimentos se colocó el macho mientras que en el otro lado se colocó a una hembra receptiva, de tal forma que el macho podía ver, escuchar y oler a la hembra, pero no tenía acceso a ella. El fondo de la caja de observación era de vidrio transparente y en la parte inferior había un espejo inclinado en un ángulo de 45°, que permitía observar adecuadamente la parte ventral de los sujetos, facilitando la observación y filmación de las erecciones sin contacto.

Antes de cada registro electroencefalográfico, cada sujeto fue colocado en una caja de observación y durante el estado vigilia-quieto se registraron segmentos de EEG que fueron

considerados como registro basal. Posterior a ello, se introdujo una hembra receptiva y se le permitió tener una o dos intromisiones para inducir el estado de motivación sexual e inmediatamente después se pasó al macho a uno de los compartimentos de la caja de registro de EPP's (donde ya se encontraba una hembra receptiva en el otro compartimiento) para capturar segmentos de EEG durante este estado sexualmente motivado. A partir de este momento, se registró la actividad eléctrica cerebral del macho por un periodo de 15 minutos (a partir de que ocurrió la primera erección) incluyendo el acicalamiento genital y las respectivas EPP's. El registro se dio por terminado si el sujeto no presentó erección en los 20 minutos posteriores a la introducción de la hembra a la caja de registro (Sachs 1997). Todo el registro se filmó con una cámara SONY modelo DCR-SR82 para su posterior análisis.

Registro de la actividad electroencefalográfica

Después de un periodo de recuperación postquirúrgico (8-10 días), 2 a 3 días antes del experimento, las ratas fueron llevadas al cuarto de registro sonoamortiguado, semioscuro y a temperatura ambiente donde se conectaron al polígrafo para su adaptación durante 20-30 min. Durante los registros EEG las salidas de todos los electrodos fueron conectadas a los dispositivos de

entrada de un polígrafo (Grass 7B), conectado a su vez a una computadora. Los filtros del polígrafo se colocaron entre 1-30 Hz y se capturaron las señales a una frecuencia de muestreo de 1024 Hz. Las señales EEG una vez amplificadas y filtradas, pasaron a un convertidor analógico digital que funcionó como interfase hacia la computadora, en la cual, mediante el programa computacional CAPTUSEN (Guevara et al., 2000) se efectuó la captura simultánea del EEG. Este programa permitió que se capturaran segmentos de EEG de la CPFm derecha e izquierda simultáneamente y a voluntad durante las siguientes condiciones: a) *condición basal* (vigilia-quieto, antes de la introducción de la hembra receptiva y por tanto, sin motivación sexual); b) vigilia-quieto en presencia de hembra receptiva (después de la intromisión y por tanto, sexualmente motivado); c) durante el acicalamiento genital y d) durante las *erecciones peneanas sin contacto* (vigilia-quieto en presencia de hembra y con despliegue de erección peneana).

Análisis EEG

Sólo se incluyó en el análisis la actividad EEG de aquellas ratas cuyos segmentos de EEG no presentaron artefactos por ruido o movimiento. Mediante un programa elaborado *ex-profeso*, denominado POTENCOR (Guevara et al., 2003) se aplicó la Transformada Rápida de Fourier para calcular la potencia

absoluta (PA) de las diferentes frecuencias registradas que fueron de 4 a 30 Hz. Se calculó también la correlación interprefrontal mediante el coeficiente de correlación producto/momento de Pearson. Se compararon los valores de PA y correlación de todas las frecuencias entre condiciones de interés. Con el fin de comparar conductas con un patrón motor y despliegue postural similar, se comparó la condición *vigilia-quieto en ausencia de hembra* (sin motivación sexual) contra *vigilia-quieto en presencia de hembra* (sexualmente motivado); en un segundo análisis se compararon las conductas de equivalencia motora y postural, *acicalamiento genital* (indicador de motivación sexual) contra *erección peneana sin contacto* (indicador de activación sexual)).

Análisis histológico

La localización de la punta de electrodos en las estructuras cerebrales de interés se verificó de la siguiente manera. Cada sujeto recibió una dosis letal de pentobarbital y se perfundió por vía intracardiaca con una solución de formalina al 10%. Veinticuatro horas más tarde se extrajeron los cerebros y permanecieron al menos por 40 h en la misma solución. Posteriormente se incluyeron en parafina y se hicieron los cortes coronales de 40 μm de grosor en un microtomo. Los cortes se colocaron en portaobjetos y fueron teñidos con violeta de cresilo para la obtención de fotografías amplificadas

y posterior comparación anatómica tomando como base el atlas de Paxinos y Watson (1997).

Análisis estadístico

Para determinar las diferencias entre condiciones de interés, los valores de PA y correlación de las diferentes frecuencias fueron comparados mediante la aplicación de la prueba t de Student. Las diferencias se consideraron significativas cuando se alcanzó un valor de $p < 0.05$.

Resultados

Sólo se consideraron en el análisis, los datos EEG de 13 ratas macho en las que se comprobó la adecuada localización bilateral de la punta de los electrodos en la corteza prefrontal medial derecha e izquierda, en un margen de coordenadas estereotáxicas de 3.2 mm anterior a bregma según atlas de Paxinos y Watson (1997).

Los machos registrados poco después de tener la intromisión (cuando estaban sexualmente motivados) mostraron una mayor PA de las frecuencias lentas (7-12 Hz) ($p < 0.05$) en la CPF derecha e izquierda mientras estuvieron expuestos a una hembra receptiva durante el estado vigilia quieto, sin embargo, ningún cambio en el grado de correlación interprefrontal fue evidente.

Sólo durante la ocurrencia de las EPP's o sin contacto, el grado de acoplamiento funcional entre las cortezas prefrontales derecha e izquierda presentó un decremento en las frecuencias rápidas (de 24 a 28 Hz) ($p < 0.05$) (Fig. 1) así como un decremento de la PA en este mismo rango de frecuencias ($p < 0.05$) (Fig.

2), decrementos que no fueron observados mientras la rata presentó acicalamiento genital (conducta con un patrón motor y postural muy similar al de las erecciones sin contacto).

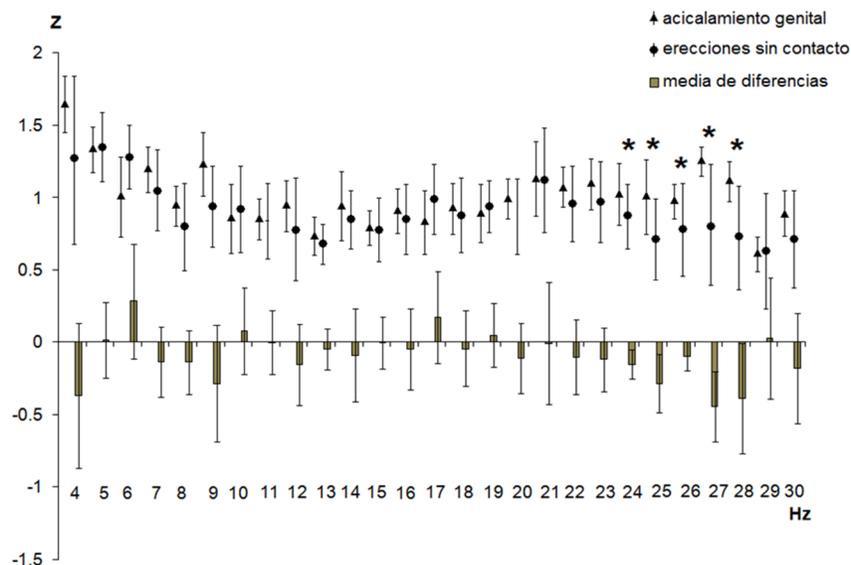


Figura 1. Media \pm 2 ES y media de diferencias de la correlación interprefrontal (en valores Z de Fisher) de las frecuencias EEG entre la corteza prefrontal derecha e izquierda durante el acicalamiento genital y las erecciones sin contacto ($n = 13$). Prueba t de Student.

* $p < 0.05$ respecto al acicalamiento genital.

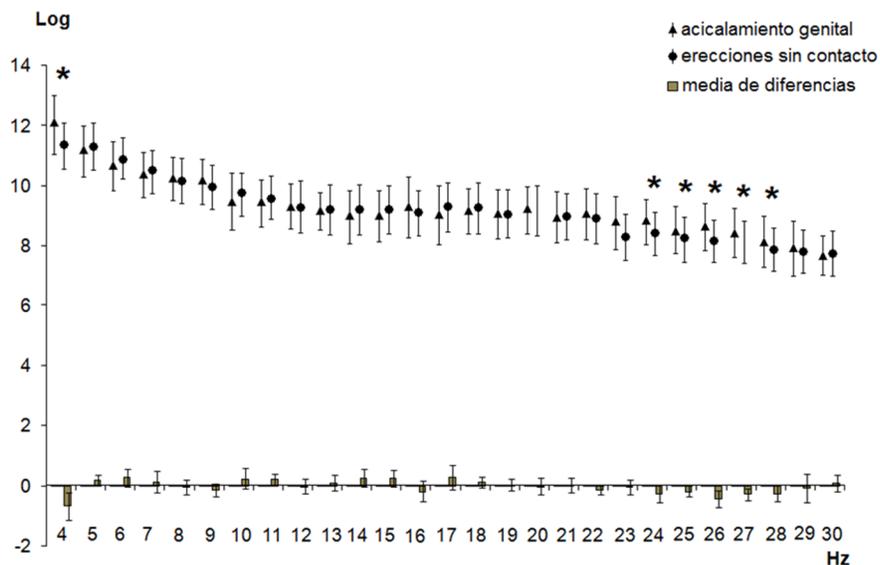


Figura 2. Media \pm 2 ES y media de diferencias de la potencia absoluta (en logaritmos) de las frecuencias EEG durante el acicalamiento genital y las erecciones sin contacto en la corteza prefrontal medial izquierda (n = 13). Prueba t de Student.

* $p < 0.05$ respecto al acicalamiento genital.

Discusión

En este estudio, mediante la técnica electroencefalográfica fue demostrado que la corteza prefrontal medial presenta un patrón de actividad característico durante los estados de motivación y activación sexual de la rata macho.

Si bien se ha reportado que la CPF no es esencial para la ejecución de la conducta sexual, actualmente se sabe que esta área cortical juega un importante papel en la asignación del valor incentivo de los estímulos relevantes y por ende, en la inducción de la motivación sexual (Ågmo, et al, 1995; Hernández-González &

Guevara, 2009). Diferentes estudios con técnicas de lesión, electroencefalográficas, de c-Fos y de imagenología han permitido apoyar esta propuesta; por ejemplo, Bunnell, Friel y Flesher (1966) reportaron un mayor umbral para alcanzar la activación sexual en hámsteres lesionados de la corteza cingulada y retrosplenial; similarmente, Ågmo et al., (1995) mostraron un importante retraso en el inicio de la interacción sexual de ratas macho con lesión de la corteza prefrontal medial y dorsal a pesar de estar en continua presencia de hembras receptivas. También, mediante registro EEG en una tarea sexualmente motivada (laberinto T) se mostró que la corteza prefrontal

medial de ratas macho con motivación sexual presentó un incremento de la potencia relativa de la banda de 6-7 Hz y un decremento de la banda de 8-11 Hz durante tres condiciones de motivación sexual: estado basal de vigilia-quieto, durante la marcha en un laberinto T y durante la permanencia cerca de una hembra receptiva al final de dicho laberinto; asimismo, sólo la correlación interprefrontal medial de los machos sexualmente motivados fue mayor respecto a los no motivados durante la marcha y durante su permanencia cerca de la hembra receptiva respecto a los machos que no estaban motivados sexualmente (Hernández-González, Prieto-Beracochea, Arteaga-Silva & Guevara, 2007).

En este estudio, sólo los machos sexualmente motivados en presencia de la hembra receptiva y en vigilia-quieto se caracterizaron por mostrar, tanto en la corteza prefrontal medial izquierda como derecha, una mayor PA en las frecuencias de 7 a 12 Hz, frecuencias que caen en el rango de la banda theta. Vanderwolf (1969) ha mostrado que tales frecuencias lentas desde 7 hasta 12-18 Hz aparecen mientras los sujetos ejecutan movimientos de cabeza o ligeros cambios de postura y se han asociado con situaciones de alerta o activación general. Es probable que este incremento característico en la PA de las frecuencias mencionadas se asocie con el procesamiento de la

información somatosensorial peneana relacionada a la inserción peneana que ocurrió durante las respuestas de intromisión previas, así como con la condición de motivación sexual que presenta el macho ante la percepción de los estímulos emitidos por la hembra inaccesible.

Durante las erecciones sin contacto, la actividad EEG de ambas cortezas prefrontales (derecha e izquierda) se caracterizó por mostrar una menor PA así como un decremento de la correlación interprefrontal en las frecuencias rápidas (24-27 Hz). Es probable que esta menor PA y correlación interprefrontal de las frecuencias rápidas durante las EPPs se asocie con el estado de activación sexual del macho que presenta ante la detección de los estímulos remotos de la hembra y la ocurrencia de la erección. Esta baja correlación durante la condición de EPPs refleja una alta diferenciación funcional, es decir, que las CPFs de cada hemisferio están funcionando independientemente sin que esto indique un menor grado de participación de estas estructuras. Esto simplemente refleja una funcionalidad característica relacionada al estado de activación sexual mientras el macho experimenta la erección sin contacto.

Otros estudios han considerado el término "correlación entre estructuras" como un índice de la conexión funcional entre dos

estructuras manifestada por una alta o baja sincronización de actividad en un rango de frecuencias determinado (Shaw, 1984; Lopes da Silva, 1991). Si tomamos en cuenta esta consideración, entonces es posible sugerir que las conexiones funcionales entre la CPF izquierda y la CPF derecha cambiaron drásticamente durante las condiciones de mayor motivación (vigilia-quieto cerca de hembra y después de intromisión, así como durante acicalamiento genital) y activación sexual (ocurrencia de erecciones en presencia de hembra). En la primera condición, en la cual los machos fueron expuestos a la presencia de una hembra colocada detrás de una rejilla, ellos percibían los estímulos olfatorios, auditivos y visuales emitidos, que, como se ha demostrado, inducen en los machos erecciones sin contacto (Sachs, 1997; Sachs & Liu, 1998). En tanto que durante las erecciones sin contacto propiamente dichas, el sujeto alcanzó la manifestación objetiva de la mayor activación sexual que, en este contexto, representaría el componente consumatorio de la interacción ex cópula (Sachs, 2007). Este resultado es particularmente interesante debido a que estos diferentes patrones de correlación electroencefalográfica podrían representar una funcionalidad característica de estos estados de motivación y activación sexual. Durante el estado de vigilia-quieto (inmediatamente después de la

intromisión) y durante el acicalamiento genital en presencia de la hembra el macho sólo está sexualmente motivado (en respuesta a los estímulos incentivos emitidos por la hembra inaccesible) en tanto que durante las erecciones sin contacto está sexualmente activado (Sachs, 2007). Resultados similares han sido reportados en otros estudios, los cuales han mostrado que las conexiones funcionales entre las estructuras cerebrales implicadas en los componentes motivo-emocionales (amígdala basolateral, *subiculum ventral*, *núcleo accumbens* y *área subpálida*) cambian dependiendo del contexto motivo/emocional de la tarea conductual que ejecuta la rata (Korzeniewska, Kasicki & Zagrodzka, 1997).

En resumen, estos datos muestran que el registro de la actividad EEG es una herramienta sensible para estudiar la funcionalidad y correlación de la CPF durante diferentes condiciones de motivación y activación sexual en ratas macho y apoyan la propuesta de otros estudios que sugieren que la CPF, junto con el área preóptica medial, el Acc, la amígdala y el área tegmental ventral (Everitt & Stacey, 1987; Hurtazo, Paredes & Ágmo, 2008; Wood, 1998; Kollack-Walker & Neuman, 1995; Liu, Sachs & Salamone, 1998; Guevara, Martínez-Pelayo, Arteaga-Silva, Bonilla-Jaime & Hernández-González, 2008)

participan en la generación de la motivación sexual, es decir, en el procesamiento de estímulos remotos emitidos por una hembra en estro y en la inducción de la activación sexual, que se alcanza con la manifestación de las erecciones sin contacto.

Los presentes resultados muestran la utilidad del registro electroencefalográfico para examinar la relación activación sexual/sincronización cortical y permiten sugerir que un menor grado de acoplamiento electroencefalográfico entre áreas corticales pudiera favorecer la activación sexual en ratas macho.

Referencias

Ágmo, A., Villalpando, A., Picker, Z., & Fernández, H. (1995). Lesions of the medial prefrontal cortex and sexual behavior in the male rat. *Brain Research*, 696, 177-86.

Ágmo, A. (1999). Sexual motivation – an inquiry into events determining the occurrence of sexual behavior. *Behavioral Brain Research*, 105, 129-50.

Ágmo, A. (2007). *Functional and dysfunctional sexual behavior. A synthesis of neuroscience and comparative psychology*, San Diego, CA, EE.UU.: Academic Press.

Benson, G. S. (1988). Male sexual function: erection, emission and ejaculation. En E.M., Knobil & J. Neill (Eds.), *The physiology of reproduction* (pp. 1121-1136). New York, NY. EE.UU.: Raven Press.

Bunnell, B. N., Friel, J., & Flesher, C. K. (1966). Effects of median cortical lesions on the sexual behavior of the male hamster. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 61, 492-495.

Everitt, B. J., & Stacey, P. (1987). Studies of instrumental behavior with sexual reinforcement in male rats (*Rattus norvegicus*): II. Effects of preoptic area lesions, castration, and testosterone. *Journal of Comparative Psychology*, 101, 407-419.

Guevara, M. A., & Corsi-Cabrera, M. (1996). EEG coherence or EEG correlation?. *International Journal of Psychophysiology*, 23, 145-53.

Guevara, M. A., Ramos, J., Hernández González, M., Madera Carillo, H., & Corsi Cabrera M. (2000) CAPTUSEN: Un Sistema para la Adquisición Computarizada del EEG y Potenciales relacionados a eventos. *Revista Mexicana de Psicología*, 14, 5-12.

Guevara, M. A., Ramos, J., Hernández-González, M., Zarabozo, D., & Corsi-Cabrera, M. (2003). POTENCOR: a program to calculate power and correlation spectra of EEG

signals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 72, 241-50.

Guevara, M. A., Martínez-Pelayo, M., Arteaga-Silva, M., Bonilla-Jaime, H., & Hernández-González, M. (2008). Electrophysiological correlates of the mesoaccumbens system during male rat sexual behaviour, *Physiology & Behavior*, 95, 545-52.

Hernández-González, M., Guevara, M. A., & Ágmo, A. (2008). Motivational influences on the degree and direction of sexual attraction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129, 61-87.

Hernández-González, M., & Guevara, M. A. (2009). Participation of the prefrontal cortex in the processing of sexual and maternal incentives. En L. LoGrasso & G. Morretti (Eds.). *Prefrontal cortex: Roles, Interventions and Traumas*. (pp.115-156). New York, NY. EE.UU.: Nova Science Publishers, Inc.

Hernández-González, M., Prieto-Beracochea, C. A., Arteaga-Silva, M., & Guevara, M. A. (2007). Different functionality of the medial and orbital prefrontal cortex during a sexually motivated task in rats. *Physiology and Behavior*, 90, 450-458.

Hernández-González, M. (2000). Prepubertal genital grooming and penile erection in relation to sexual behavior of rats, *Physiology and Behavior*, 71, 51-56.

Hurtazo, H. A., & Paredes R. G. (2005). Olfactory preference and Fos expression in the accessory olfactory system of male rats with bilateral lesions of the medial preoptic area/anterior hypothalamus. *Neuroscience*, 135, 1035-1044.

Hurtazo, H. A., Paredes, R. G., & Ágmo, A. (2008). Inactivation of the medial preoptic area/anterior hypothalamus (MPOA/AH) by lidocaine reduces male sexual behavior and sexual incentive motivation in male rats. *Neuroscience*, 152, 331-337.

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Review*, 29, 169-95.

Klimesch, W., Sauseng, P., Hanslmayr, S., Gruber, W., & Freunberger, R. (2007). Event-related phase reorganization may explain evoked neural dynamics. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 31, 1003-1016.

Kollack-Walker, S., & Newman, S. W. (1995) Mating and agonist behavior produce different patterns of Fos immunolabeling in the male Syrian hamster brain. *Neuroscience*. 66, 721-736.

Korzeniewska, A., Kasicki S., & Zagrodzka, J. (1997).

Electrophysiological correlates of the limbic-motor interactions in various behavioral states in rats. *Behavioural Brain Research*, 87, 69-83.

Liu, Y. C., Sachs, B. D., & Salamone, J. D. (1998). Sexual behavior in male rats after radiofrequency or dopamine-depleting lesions in nucleus accumbens. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 60, 585-592.

Lopes da Silva, F. (1991). Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79, 81-93.

Maras, P. M., & Petruilis, A. (2006). Chemosensory and steroid-responsive regions of the medial amygdala regulate distinct aspects of opposite-sex odor preference in male Syrian hamsters. *European Journal of Neuroscience*, 24, 3541-3552.

Meisel, R. I., & Sachs, B. D. (1994). The physiology of male sexual behavior. En E. M. Knobil & J. D. Nelly. (Eds.), *The physiology of reproduction* (2a. Ed.) (pp. 3-105). New York, NY, EE.UU: Raven Press.

Paxinos, G., & Watson, C. (1997). *The rat brain in stereotaxic coordinates*. New York, NY, EE.UU: Academic Press.

Porjesz, B., Jones, K., & Begleiter, H. (2004). The genetics of oscillations in

the human brain. *Supplements to Clinical Neurophysiology*, 57, 441-449.

Sachs, B. D., & Barfield, R. J. (1976). Functional analysis of masculine copulatory behavior in the rat. En: R. A. Hinde, E., Shaw & Beer, C. (Eds.), *Advances in the study of behavior* (pp. 91-154). New York, NY, EE.UU: Academic Press.

Sachs, B. D. (1997). Erection evoked in male rats by airborne scent from estrous females, *Physiology and Behavior*, 62, 921-924.

Sachs, B. D. (2007). A contextual definition of male sexual arousal. *Hormones and Behavior*, 5, 569-578.

Sachs, B. D., Akasofu, K., Citron, J. H., Daniels, S. B., & Natoli, J. H. (1994). Noncontact stimulation from estrous females evokes penile erection in rats. *Physiology and Behavior*, 55, 1073-1079.

Sachs, B. D., & Liu Y. (1998). Mounting and brief noncontact exposures of males to receptive females facilitate reflexive erection in rats, even after hypogastric nerve section, *Physiology and Behavior*, 65, 413-421.

Shaw, J. C. (1984). Correlation and coherence analysis of the EEG: A selective tutorial review. *International Journal of Psychophysiology*, 1, 255-66.

Vanderwolf, C. H. (1969). Hippocampal electrical activity and voluntary movement in the rat. *Electroencepalography and Clinical Neurophysiology*, 407-418.

Wood, R. I. (1998). Integration of chemosensory and hormonal input in the male Syrian hamster brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855, 362-372.