

DETECCION DE FRECUENCIAS ESPACIALES EN EL RATON ALBINO Y PIGMENTADO (II. HEMBRAS)

Carmen Muñoz Tedó y Pilar Herreros de Tejada

Departamento de Psicobiología. Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid

Se ha estudiado conductualmente en 48 hembras de ratón albino la detección de frecuencias espaciales con contraste alto. Los resultados se comparan con datos previos de ratones macho de la misma cepa obtenidos con la misma metodología. Las características de la curva de sensibilidad a la frecuencia (CSF) son similares entre machos y hembras pero se observa una diferencia en la detección de las frecuencias altas. Las hembras muestran una frecuencia de corte inferior a la postulada (obtenida) para los machos, entre 0.37 c/º y 0.42 c/º. También se ha estudiado la detección de las frecuencias espaciales altas en 12 hembras de ratón pigmentado. De nuevo, la frecuencia de corte para este grupo es inferior a la de los machos de la misma cepa, entre 0.40-0.45 c/º. La diferencia observada en las frecuencias límite no se observa en las demás frecuencias estudiadas, en las que las hembras presentan niveles de detección similares o incluso superiores a las de los machos de su cepa respectiva.

Palabras clave: Diferencias sexuales, ratón, detección, contraste espacial, conducta.

Detection of spatial frequencies on albino and pigmented mice (II. Females). Detection of square-wave stationary spatial frequencies has been studied behaviorly on 48 female albino mice. Results are compared with previous data of male albino mice of the same strain and obtained with the same methodology. The frequency sensitivity curve (FSC) of males and females shows similar characteristics but a difference appears at high spatial frequencies. Females show a lower cut-off frequency than males, between 0.37-0.42 c/º. Detection of high spatial frequencies (values at limit for albino mice) has also been studied in 12 female pigmented mice. Again, the cut-off frequency for this group is lower than for the males of their own strain, between 0.40-0.45 c/º. The difference observed in the frequencies at limit was not observed in the other frequencies studied, where females show levels of detection similar or even higher than the males of their respective strain.

Key words: Sex differences, mice, detection, spatial contrast, behavior.

Trabajos previos de nuestro equipo sobre discriminación de frecuencias espaciales isoluminantes en el ratón albino (Muñoz Tedó, Rodríguez Cañavate y Herreros de Tejada, 1987; Rodríguez Cañavate y Muñoz Tedó, 1988) pusieron de manifiesto una diferencia sexual en la realización de alguna de las pruebas. La discriminación entre frecuencias me-

dias revestía una dificultad similar para machos y hembras; sin embargo, las hembras realizaban mucho mejor que los machos una tarea de discriminación de frecuencias altas. Hipotetizamos que esta diferencia se debía a una diferencia en la sensibilidad a las frecuencias espaciales altas: si las hembras en general tuvieran una sensibilidad menor para estas frecuencias, algunas frecuencias detectables para la mayoría de los machos serían percibidas por las hembras como un patrón gris homogéneo. En ese caso, en las condiciones de nuestro experimento, los sujetos

Correspondencia a: C. Muñoz Tedó.
Dpto. de Psicobiología.
Facultad de Psicología.
Campus de Somosaguas. 28023 MADRID.

más sensibles (machos) estarían realizando una tarea de discriminación y los menos sensibles (hembras) una tarea de detección.

En este trabajo nos planteamos el estudio de esta hipótesis. Para ello hemos medido la capacidad de detección de frecuencias espaciales a través de una prueba de aprendizaje en hembras de ratón albino y hemos comparado estos resultados con los de experimentos similares realizados en machos (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994). Los datos son concluyentes: las hembras muestran un límite de sensibilidad en las frecuencias altas menor que los machos y esta diferencia sólo aparece en las frecuencias límite.

El único trabajo previo de medida de la curva de sensibilidad al contraste (CSC) en ratón se ha realizado en ratón pigmentado (Sinex, Burdette y Pearlman, 1979). Estos autores utilizan una muestra de 5 machos y 1 hembra y no encuentran diferencias sexuales en la agudeza visual. Esta ausencia podría atribuirse a la pequeña proporción de hembras o bien a que la diferencia encontrada entre machos y hembras en los animales albinos no apareciera en los animales pigmentados. Con el fin de comprobar si esta diferencia sexual está ligada al albinismo o bien, por el contrario, es una característica de la especie, hemos realizado otro grupo de experimentos en ratones pigmentados y los resultados son coincidentes: los ratones hembras presentan un límite de sensibilidad a las frecuencias espaciales más bajo que los machos de esta misma especie.

MATERIAL Y METODO

Sujetos

a) 48 hembras de ratón albino de la cepa Swiss de 3 meses de edad al inicio del experimento y peso medio de 30 g, distribuidos de la siguiente forma:

- 6 sujetos en la prueba de detección de 0.05 $c/^\circ$
- 16 sujetos en la prueba de detección de 0.08 $c/^\circ$

- 8 sujetos en la prueba de detección de 0.17 $c/^\circ$

- 9 sujetos en la prueba de detección de 0.20 $c/^\circ$

- 9 sujetos en la prueba de detección de 0.35 $c/^\circ$

b) 12 hembras de ratón pigmentado de la cepa C-57 de 75 días de edad y de 26 g de peso medio, distribuidos en:

- 4 sujetos en la prueba de detección de 0.17 $c/^\circ$

- 4 sujetos en la prueba de detección de 0.35 $c/^\circ$

- 4 sujetos en la prueba de detección de 0.43 $c/^\circ$

El material y método utilizado en este trabajo ha sido descrito previamente, por lo que aquí se presenta de forma resumida (para más detalles Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994).

Se ha planteado una prueba de detección de frecuencias espaciales en un laberinto en forma de T. En los extremos de los brazos de la T estaban colocados dos patrones isoluminantes, uno de ellos gris homogéneo y el otro un enrejado de onda cuadrada que presentaba la frecuencia espacial estudiada. La luminancia media de los patrones era de 17.6 cd/m^2 y el contraste de los enrejados de 0.76. Las frecuencias estudiadas han sido 0.05 $c/^\circ$, 0.08 $c/^\circ$, 0.17 $c/^\circ$, 0.20 $c/^\circ$ y 0.35 $c/^\circ$ en las hembras del ratón albino y 0.17 $c/^\circ$, 0.35 $c/^\circ$ y 0.43 $c/^\circ$ en las hembras del ratón pigmentado.

Cada grupo de sujetos fue utilizado para una única prueba y la metodología empleada fue la misma para cada grupo. Los animales estaban privados de alimento y mantenidos al 90% de su peso *ad libitum*. La tarea era una tarea de elección entre los dos patrones, reforzándose cada patrón al 50% de los sujetos respectivamente. La elección correcta era reforzada con un pelet. Los sujetos fueron sometidos a sesiones diarias de 6 ensayos hasta un total de 60 ensayos. Antes de comenzar la tarea se realizaron dos sesiones de modelado, con refuerzo en ambos cajones

meta y sin patrones, y al final del experimento 3 sesiones de inversión.

Para el análisis de los resultados se utilizó como puntuación individual de los sujetos el porcentaje de aciertos en dos sesiones consecutivas. A partir de estas puntuaciones se calcularon dos parámetros para cada grupo: a) el porcentaje de sujetos que alcanzó un criterio de detección previamente establecido, una media de un 75 % de respuestas correctas en dos sesiones consecutivas y, b) la tasa media de respuestas correctas.

Para el análisis estadístico se ha aplicado el estadístico de contraste «z» para la comparación entre proporciones y la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación entre las tasas de respuesta.

RESULTADOS

Al representar los parámetros obtenidos para cada una de las frecuencias con los 48 ratones albinos hembras estudiados se ob-

serva una distribución en forma de U invertida para las frecuencias bajas, medias y altas tal como ya se ha descrito previamente para sujetos machos de esta misma cepa (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994). En la Figura 1A se representan los datos obtenidos con esta cepa en cada frecuencia. Se han promediado los porcentajes de sujetos que alcanzan el criterio de todos los animales estudiados machos y hembras. En las hembras, las características de la curva (puntuaciones máximas en las frecuencias medias y disminución de las mismas en las frecuencias bajas y altas) aparecen en las representaciones de los dos parámetros estudiados: tasa media de respuestas correctas en cada grupo (en cada frecuencia) y porcentaje de sujetos que alcanza el criterio de detección en cada grupo (tabla 1).

La sensibilidad máxima, medida a través del rendimiento en una tarea de aprendizaje, aparece en las hembras del ratón albino para la frecuencia de 0.17 c/°, con un descenso

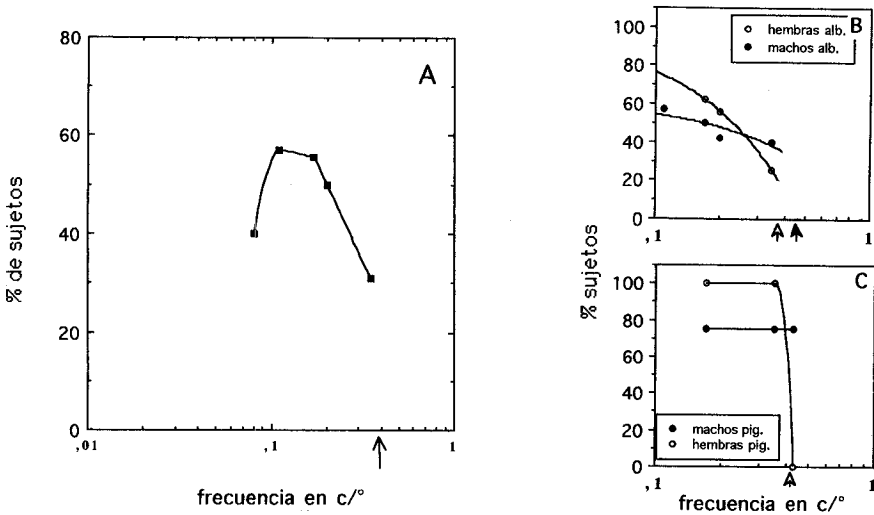


Figura 1. A: Curva de sensibilidad a la frecuencia del ratón albino (datos promediados de machos y hembras). B: Comparación entre machos y hembras del ratón albino de la parte de la CSF correspondiente a la detección de las frecuencias espaciales altas. C: Comparación entre machos y hembras de ratón pigmentado de la parte de la CSF correspondiente a la detección de las frecuencias espaciales altas. Las flechas indican los valores estimados de la frecuencia de corte.

paulatino de los valores a medida que aumenta la frecuencia espacial. Al extrapolar a un valor de sensibilidad cero la curva descrita por estos valores, se obtiene un valor para el límite de sensibilidad o frecuencia de corte entre 0.37-0.42 $c/^\circ$ (Fig. 1B).

$C/^\circ$	0.05	0.08	0.17	0.20	0.35	0.43
N	6	16	8	9	8	
x	65.5	66.1	72.6	67.8	66.7	
FAM S_x	15.7	9.4	6.1	12.4	15	
%	50	43.8	62.5	55.6	25	
N			4		4	4
x			81.1		83.1	62
FPM S_x			83.1		6.7	4.6
%			100		100	0

Tabla 1

En la tabla se presentan los valores obtenidos por el grupo de hembras de ratón albino (FAM) y de ratón pigmentado (FPM) en cada uno de los dos parámetros estudiados. (X) representa la media de la tasa de respuesta en cada una de las frecuencias estudiadas, (S_x) la desviación típica de esos valores, (n) es el número de sujetos considerados en cada grupo y (%) el porcentaje de sujetos que alcanzan el criterio (75%) en cada grupo.

Estos valores son inferiores a los postulados para los machos albinos de esta misma cepa (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994), entre 0.40-0.45 $c/^\circ$, y vienen determinados por la diferencia en el nivel de detección de la frecuencia más alta utilizada y la pendiente de esta parte de curva: en 0.35 $c/^\circ$, un 40% de los machos alcanzan el criterio de detección frente un 25% de las hembras.

En el resto de las frecuencias el porcentaje de hembras albinas que alcanzan el criterio es superior al porcentaje de machos, excepto para la frecuencia muy baja de 0.05 $c/^\circ$ donde los machos vuelven a mostrar una superioridad en los niveles de detección.

Estas diferencias entre la realización de los machos y las hembras del ratón albino se ven corroboradas y amplificadas por los resultados obtenidos en ratones pigmentados. Los datos de las hembras del ratón pigmen-

tado son claros: el 100% de ellas alcanza el criterio de detección en las frecuencias medio-altas para esta cepa (0.17 $c/^\circ$ y 0.35 $c/^\circ$) pero ninguna (0%) lo consigue en la frecuencia muy alta de 0.43 $c/^\circ$ y la diferencia es significativa para esta frecuencia ($P < 0.05$). La frecuencia de corte está por lo tanto alrededor de esta frecuencia. Al comparar en su conjunto los resultados obtenidos por las hembras de ratón pigmentado C57 con los obtenidos previamente en machos de esta misma cepa (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994) se observan entre ellos las mismas diferencias observadas entre machos y hembras de la cepa albina Swiss: las hembras presentan niveles de detección más altos que los machos para las frecuencias medio-altas, pero su realización disminuye drásticamente en la frecuencia de 0.43 $c/^\circ$ mientras que la realización de los machos se mantiene en los niveles previos (Fig. 1C). El porcentaje de sujetos que alcanzan el criterio de detección en esta frecuencia es de 0% de hembras frente al 75% de machos.

Finalmente, de la comparación entre los datos de las hembras albinas y pigmentadas se desprenden resultados similares a los observados previamente entre los ratones machos (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994). Las hembras del ratón pigmentado presentan niveles de detección más altos que las hembras albinas con cualquiera de los dos parámetros analizados y su realización es más estable. La diferencia más notable aparece para la frecuencia de 0.35 $c/^\circ$ en la que el 100% de las hembras pigmentadas alcanzan el criterio de detección frente al 25% de las albinas (diferencia significativa, $P < 0.05$), mostrando que esta frecuencia está alrededor del límite de sensibilidad de las hembras de ratón albino mientras que sigue siendo fácilmente detectable por las hembras de ratón pigmentado.

DISCUSION

En este trabajo se ha realizado un estudio de la detección de frecuencias espaciales es-

tacionarias con contraste alto en hembras de ratón albino (Swiss) y pigmentado (C57). El objetivo era establecer una comparación entre los datos aquí obtenidos y los ya publicados de machos (Herreros de Tejada y Muñoz Tedó, 1994) de estas mismas cepas, partiendo de la hipótesis de una posible diferencia sexual en la sensibilidad al contraste espacial.

Nuestra hipótesis se ha visto confirmada. La CSF de las hembras de ambas cepas presenta una pendiente mayor, es decir, más pronunciada, que la que presenta la CSF de los machos en las frecuencias altas (Fig. 1B y 1C). Esto va asociado con una frecuencia de corte más baja para las hembras que para los machos. Los valores postulados para la frecuencia de corte son entre 0.37-0.42 $c/^\circ$ y 0.40-0.45 $c/^\circ$ para hembras y machos albinos respectivamente y para los animales pigmentados entre 0.40-0.45 $c/^\circ$ para las hembras y alrededor de 0.50 $c/^\circ$ para los machos. Por lo tanto, un enrejado que represente una frecuencia próxima al límite de sensibilidad de cada cepa será percibido como tal por la mayoría de los machos mientras que muchas hembras no serán capaces de diferenciarlo de un patrón gris homogéneo de igual luminancia que el enrejado.

La diferencia mencionada podría atribuirse a diversas variables tales como diferencias entre machos y hembras en la motivación alimenticia o en el aprendizaje de la tarea. Sin embargo, este tipo de variables afectarían a la realización de cualquiera de las pruebas de detección planteadas; el hecho de que la diferencia entre machos y hembras aparezca en las frecuencias límite y no en el resto de las frecuencias, apoya la hipótesis de una diferencia en la agudeza visual de estos animales y lleva a rechazar interpretaciones alternativas. Por otra parte y en esta misma línea, registros electrofisiológicos en rata han puesto de manifiesto recientemente (Muñoz Tedó y Herreros de Tejada, 1991) la existencia de una diferencia sexual similar en la CSC determinada a partir de potencia-

les evocados visuales (PEV) registrados en el área 17. Estos datos, aunque en otra especie, muestran como la diferencia en agudeza visual observada tiene un correlato neurofisiológico en el sistema visual de estos animales.

Esta diferencia en agudeza visual puede deberse tanto a factores ópticos como a factores neurofisiológicos. Un ojo de mayor tamaño permite una agudeza visual mayor (Remtulla y Hallet, 1985). Este dato que resulta obvio al relacionar la agudeza de las distintas especies y el tamaño de sus ojos, podría explicar también el que las hembras de ratón, por tener los ojos un poco más pequeños que los machos, tuvieran una capacidad de resolución menor. Si éste es el caso, entonces, la diferencia debería aparecer en otras especies. Hasta el momento no se han descrito diferencias de este tipo en animales, pero la mayor parte de los investigadores utilizan preferentemente animales machos en sus experimentos.

Por lo que respecta a los factores neurofisiológicos, se han descrito diferencias anatómicas en el grado de lateralización del córtex visual de las ratas macho y hembra (Diamond, Dowling y Johnson, 1981; Diamond, Johnson, Young y Singh, 1983). Así mismo, se han observado diferencias en el desarrollo y la configuración de los árboles dendríticos de las neuronas del área 17 entre ratas machos y hembras (Juraska, 1984).

A nivel funcional, Friedman y Green (1982) encuentran en el nervio óptico de la rata dos poblaciones neuronales afinadas a distintas frecuencias espaciales y niveles de contraste. Estas mismas poblaciones aparecen en el núcleo geniculado lateral (NGL) del tálamo (Lennie y Perry, 1981) y son selectivas a la frecuencia de modulación temporal del estímulo. Registros de PEV en el área 17 ante enrejados con distintos niveles de contraste plantean la existencia de dos mecanismos distintos en el procesamiento de los niveles de contraste altos y bajos (Silveira, Heywood y Cowey, 1987) para

poder explicar los dos segmentos que se observan en la relación entre la amplitud de los PEV y el contraste del patrón estimular. Ninguno de estos autores describe diferencias sexuales (muchas de las muestras están compuestas por machos exclusivamente), pero sus resultados podrían estar relacionados con la diferencia sexual en sensibilidad a la frecuencia espacial observada en ratones. Es posible que las dos poblaciones neuronales descritas en el sistema visual de estos animales difieran entre machos y hembras. Es posible, por ejemplo, que estas dos poblaciones neuronales difieran en su tasa de maduración, en sus periodos críticos de desarrollo, y que por ello la configuración última de sus características difiera en machos y hembras. Por supuesto, esta es sólo una de las posibles interpretaciones.

En sujetos humanos, Brabyn y Mc Guinness (1979) han descrito diferencias sexuales en el umbral de detección de las frecuencias espaciales. Estos autores obtienen la CSC en 19 mujeres y 20 varones utilizando enrejados sinusoidales y encuentran que los hombres muestran una sensibilidad mayor que las mujeres en las frecuencias espaciales altas y menor que ellas en las frecuencias espaciales bajas. La diferencia no se ve afectada por las variaciones en la orientación del estímulo ni por su modulación temporal. Los autores relacionan esta diferencia con los planteamientos ya clásicos de una segregación del procesamiento de las frecuencias espaciales altas y bajas (Ikeda y Wright, 1974) así como de los niveles de contraste altos y bajos (Campbell y Robson, 1968).

REFERENCIAS

- Birch, D. y Jacobs, G. H. (1979). Spatial contrast sensitivity in albino and pigmented rats. *Vision Research*, 19, 933-937.
- Campbell, F. W. y Robson, J. G. (1968). Application of Fourier analysis to the visibility of grating. *Journal of Physiology*, 197, 551-556.
- Diamond, M. C., Dowling, G. A. y Johnson, R. E. (1981). Morphologic cerebral cortical asymmetry in male-female rats. *Experimental Neurology*, 71, 261-266.
- Diamond, M. C., Johnson, R. E., Young, D. y Singh, S. S. (1981). Age-related morphological differences in the rat cerebral cortex and hippocampus: male-female; right-left. *Experimental Neurology*, 81, 1-13.
- Friedman, L.J. y Green, D.G. (1982). Ganglion cell acuity in hooded rat. *Vision Research*, 22, 441-444.
- Herreros de Tejada, P. y Muñoz Tedó, C. (1994). Detección de frecuencias espaciales en el ratón albino y pigmentado. *Psicothema*, 6 (1), 81-87.
- Ikeda, H. y Wright, M. J. (1974). Evidence for sustained and transient neurones in the cat's visual cortex. *Vision Research*, 14, 133-136.
- Juraska, J. M. (1984). Sex differences in dendritic response to differential experience in the rat visual cortex. *Brain Research*, 295/1, 27-34.
- Lennie, P. y Perry, V. H. (1981). Spatial contrast sensitivity of cells in the lateral geniculate nucleus of the rat. *Journal Physiol London*, 315, 69-79.
- Muñoz Tedó, C. y Herreros de Tejada, P. (1991). Sex differences in the contrast sensitivity function of the rat. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 32/4, 1111.
- Muñoz Tedó, C., Rodríguez Cañavate, A. y Herreros de Tejada, P. (1987). Diferencias sexuales en la discriminación de frecuencias espaciales en el ratón albino. 1.º Congreso Internacional de Ciencia Cognitiva, Sitges, España.
- Rodríguez Cañavate, A. y Muñoz Tedó, C. (1988). Probables diferencias sexuales en la discriminación de patrones de enrejados en el ratón albino. *Psicológica*, 9, 171-175.
- Remtulla, S. y Hallet, P. E. (1985). A schematic eye for the mouse, and comparisons with the rat. *Vision Research*, 25/1, 21-31.
- Silveira, L. C. L., Heywood, C. A. y Cowey, A. (1987). Contrast sensitivity and visual acuity of the pigmented rat determined electrophysiologically. *Vision Research*, 27, 1719-1731.
- Sinex, D. G.; Burdette, L. J. y Pearlman, A. L. (1979). A psychophysical investigation of spatial vision in the normal and reeler mutant mouse. *Vision Research*, 19, 853-857.

Aceptado, 10 de mayo de 1993