

## **Deterioro de la percepción visual en el envejecimiento: Mecanismos cerebrales compensadores**

José M. Rodríguez-Ferrer  
Universidad de Granada (España)

Se han estudiado los efectos del envejecimiento normal en la percepción visual y la existencia de posibles mecanismos cerebrales compensadores. En tres grupos de 30 personas con edad media de 19.6, 42.6 y 65.7 años, se midieron los tiempos de respuesta a la presentación de estímulos (un círculo gris de 0.5 grados de diámetro) de forma secuencial en 24 posiciones del campo visual, distribuidas en 8 coordenadas polares y 3 excentricidades (2.15, 3.83 y 5.53 grados de campo visual). El estímulo se presentó durante 100 milisegundos, con bajo y alto contraste (6% y 78%, respectivamente). Los experimentos se realizaron con y sin atención encubierta a los estímulos. Se observó un incremento progresivo de los tiempos de respuesta con la edad para los estímulos del 6% de contraste y de los presentados en la excentricidad de 5.53°. La atención redujo los tiempos de respuesta en los tres grupos de edad, especialmente en jóvenes y mayores. Los resultados muestran que durante el envejecimiento se produce un deterioro selectivo y progresivo en la percepción de estímulos de bajo contraste y que este deterioro es mayor en las zonas periféricas maculares. A partir de los sesenta años se potencia el desarrollo de mecanismos compensadores que implican una mayor eficacia de la atención visual.

*Palabras clave:* Atención visual, envejecimiento, mecanismos cerebrales compensadores, visión.

*Impairment of visual perception in Aging: Compensatory brain mechanisms.* We have studied the effects of normal aging on visual perception and the existence of possible compensatory brain mechanisms. Were measured in three groups of 30 people with normal vision and average age of 19.6, 42.6 and 65.7 years, the response time to the presentation of stimuli (0.5° in diameter grey circles) sequentially in 24 positions of the visual field, distributed in 8 polar coordinates and 3 eccentricities (2.15, 3.83 and 5.53 degrees of visual field). The stimulus was presented for 100 milliseconds, with low and high contrast (6% and 78%, respectively). The experiments were conducted with and without covert attention to stimuli. With age was observed a progressive increase in the response times from the stimuli of 6% of contrast and those presented in the eccentricity of 5.53°. With covert attention, response times were significantly reduced in the three age groups. However, while the younger and older showed similar reductions in the response times, the adult group obtained minor cuts. These results show that during aging occurs a selective and progressive deterioration in the perception of low contrast and that this deterioration is greater in the peripheral macular areas and that from sixty years the visual attention compensating mechanisms have greater efficiency in the improvement of visual perception.

*Keywords:* Aging, compensatory brain mechanisms, vision, visual attention.

---

Correspondencia: José Manuel Rodríguez-Ferrer. Laboratorio de Neurociencia Visual y Cognitiva. Instituto de Neurociencias. Facultad de Medicina. Universidad de Granada. Avenida de Madrid, 11. E-18012. Granada (España). E-mail: [jmferrer@ugr.es](mailto:jmferrer@ugr.es)

La investigación sobre visión y envejecimiento es importante por varias razones. Por un lado, el incremento en muchos países de la población mayor de 60 años aumenta la necesidad de identificar las alteraciones visuales relacionadas con la edad, especialmente las de origen neural, que no son corregidas mediante intervenciones de corrección óptica, y sus mecanismos fisiopatológicos. Por otro lado, y ya que estas alteraciones dificultan tareas diarias realizadas por las personas mayores, como la conducción de vehículos en condiciones de baja luminosidad o la búsqueda visual de objetos, los resultados de la investigación pueden permitir el desarrollo de estrategias de intervención que traten de aminorar su impacto en la vida cotidiana de los mayores.

En relación con las alteraciones neurales durante el envejecimiento normal, se estima que el número de conos y bastones de la retina disminuye en un 1.8% y un 3% por década, respectivamente, mientras que las células ganglionares lo hacen en un porcentaje del 0.5% (Owsley, 2011; Blanks y Dorey, 2009). En la corteza visual, se ha demostrado que, aun cuando el número de neuronas se mantiene estable con la edad, el número de sinapsis decrece progresivamente desde el primer año de vida, llegando a una disminución del 50% a los 70 años de edad (Huttenlocher, 2002). Estudios realizados en primates viejos muestran que las neuronas de la corteza visual primaria muestran alteraciones funcionales como una menor selectividad al contraste y peor resolución espacial (Yang et al., 2008; Zhang et al., 2008), así como una disminución de la selectividad direccional de las neuronas visuales encargadas del procesamiento cortical del movimiento (Wang et al., 2005). La disminución de bastones y células ganglionares retinianas, junto con las alteraciones funcionales de las neuronas visuales cerebrales durante el envejecimiento, son responsables de la disminución de la sensibilidad al contraste y del aumento del umbral de detección de luz que, en condiciones de baja iluminación, presentan las personas mayores (Dimitrov et al., 2011; Gillespy-Gallery, Konstantakopoulou, Harlow, y Barbur, 2013). Esto se corresponde con la queja habitual de los ancianos de que tienen dificultad de ver, leer o conducir en ambientes poco iluminados o de noche. Este deterioro de la función visual, se asocia con una mayor propensión de los ancianos a tener caídas y accidentes de tráfico en condiciones de iluminación reducida (Kallstrand-Erikson y Hidingh, 2009).

En un estudio reciente, hemos mostrado que las personas mayores ante la presentación de estímulos visuales de alto contraste muestran tiempos de respuesta similares a los de las personas jóvenes, mientras que tardan significativamente más que ellos en responder a estímulos de bajo contraste (Rodríguez-Ferrer, 2014). También se mostró que, en los mayores, los efectos negativos de la excentricidad retiniana sobre la percepción visual son más intensos que en los jóvenes. Frente a estos efectos negativos del envejecimiento sobre la visión, demostramos que la atención visual en las personas mayores produce beneficios en la percepción de los estímulos que se oponen a dichos

efectos, sugiriendo la existencia de mecanismos cerebrales de adaptación positiva que tienden a contrarrestar la pérdida en la percepción visual de los mayores.

El objetivo del presente estudio ha sido investigar cómo progresa con la edad el deterioro de la percepción visual de estímulos de bajo contraste, así como el evaluar el grado de eficacia de los mecanismos compensadores de atención visual a lo largo de la vida. Para ello, el estudio se ha realizado en tres grupos de edad, jóvenes, adultos y mayores, con un rango de edad que va de los 10 a los 73 años.

## MÉTODO

### *Participantes*

El estudio se ha realizado en 3 grupos de voluntarios sanos. El primer grupo estuvo constituido por 30 jóvenes (15 hombres, con edades comprendidas entre 10 y 27 años, media  $\pm$  error estándar de  $19.6 \pm 0.6$  años). El segundo grupo estuvo constituido por 30 adultos (15 hombres, entre 31 y 56 años,  $42.6 \pm 1.5$  años de media) y finalmente un tercer grupo de 30 mayores (15 hombres, entre 61 y 73 años,  $65.7 \pm 0.7$  años de media). Todos los voluntarios presentaron una agudeza visual normal y dieron su conformidad por escrito para participar en los experimentos.

### *Procedimiento*

Los experimentos se realizaron en una habitación con luz artificial atenuada. Los participantes se sentaron a una distancia de 114.5 cm frente a un monitor de rayos catódicos de 24x32 cm, esto subtende un ángulo visual de  $11.84 \times 15.61^\circ$ . Sobre un fondo gris, con luminancia de  $28.87 \text{ Cd/m}^2$ , se presentó en el centro de la pantalla una cruz roja de  $0.5^\circ$  grados de tamaño. El monitor se desplazó verticalmente hasta situar la cruz a la altura de los ojos de cada participante.

Se realizaron dos pruebas. En la primera, se estudió la detección de estímulos visuales que variaron en su contraste y localización en el campo visual. En esta prueba los participantes, manteniendo la mirada fija en la cruz situada en el centro del monitor, debían responder apretando el botón de un mando lo más rápido posible a la presentación de los estímulos (un círculo gris de  $0.5^\circ$ , grados de diámetro) que se presentaron de forma secuencial en 24 posiciones alrededor de la cruz central, distribuidas en 8 coordenadas polares (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 y  $315^\circ$ , grados de una circunferencia, en la que los 0 grados se corresponden con la posición de las 12h en el reloj (como se muestra en la figura 1 de Rodríguez-Ferrer, 2014) y 3 excentricidades ( $2.15$ ,  $3.83$  y  $5.53^\circ$ , grados de ángulo visual). En cada posición, el estímulo se presentó durante 100 ms, con 2 niveles de contraste (6 y 78%) sobre el fondo de la pantalla. Así, se presentaron 6 estímulos por coordenada, lo que hace un total de 48 estímulos. Seguidamente, en una segunda prueba se estudiaron los efectos de la atención encubierta

en la detección de los estímulos anteriormente descritos. En este caso, antes de la presentación de los mismos se mostró durante 100 ms una flecha indicando la coordenada en la que iban a aparecer los estímulos y hacia la cual los participantes debían dirigir su atención de manera encubierta mientras mantenían su mirada en la cruz central. Terminada la presentación de estímulos en una coordenada, otra flecha indicaba una nueva coordenada. Esto se repitió hasta completar las 8 coordenadas y los 48 estímulos.

En todos los experimentos, el orden de presentación de los estímulos y el tiempo interestímulos (entre 500 y 3000 ms) fue determinado al azar mediante la aplicación informática EEVOKE en su versión 2 (ANT software BV, Enschede, Países Bajos). Los tiempos de respuesta (TR) se registraron mediante el programa ASA en su versión 3 (Advance Source Analysis, ANT software BV). Los movimientos oculares se detectaron mediante 4 electrodos de superficie (Tyco Internacional Ltd, Neustadt/Donau, Alemania) conectados a un sistema de registro (ANT software BV). Dos electrodos, situados cada uno de ellos en un borde orbital externo, registraron los movimientos oculares horizontales. Los movimientos verticales y parpadeos se registraron mediante dos electrodos situados uno en el borde orbital superior izquierdo y otro en el inferior derecho.

Los procedimientos experimentales utilizados son similares a los de estudios previos, en donde se describen de manera más detallada (Mancebo, 2009; Rodríguez-Ferrer, 2014). El Análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el paquete de programas estadísticos SPSS, versión 15.0. Se realizó un análisis de la tabla del ANOVA y, en caso de significación, se realizaron las correspondientes comparaciones múltiples con la penalización de Bonferroni. También se aplicaron métodos de regresión lineal, obteniéndose el coeficiente de correlación de Pearson correspondiente.

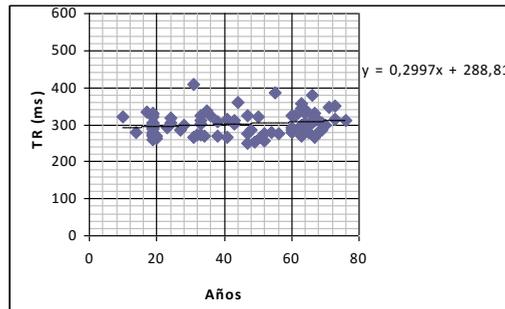
## RESULTADOS

En la figura 1, se muestran los efectos de la edad en los TR obtenidos con estímulos de alto contraste (78%) presentados en la excentricidad menor utilizada de 2.15°. Como puede observarse, existe un incremento progresivo leve de los TR conforme la edad aumenta. La ecuación de la línea ajustada muestra una pendiente de 0.2997, con un coeficiente de correlación de 0.14. En cambio, como se muestra en la figura 2, con estímulos de bajo contraste (6%) presentados en la excentricidad mayor utilizada de 5.53°, se observa un fuerte incremento de los TR dependiente de la edad. En este caso, la ecuación muestra una pendiente de 1.2061, con un coeficiente de correlación de 0.46.

En la figura 3, se muestran los efectos de la edad en los TR obtenidos con estímulos de bajo contraste, independientemente de su excentricidad. Como puede

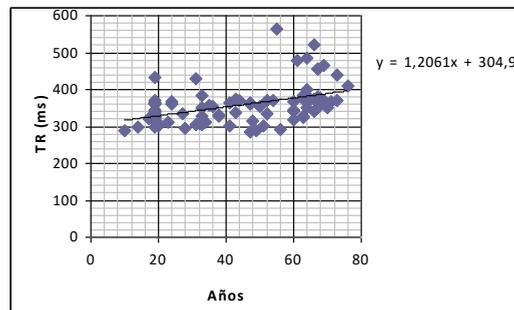
observarse existe un incremento progresivo de los TR conforme la edad aumenta. La ecuación de la línea ajustada muestra un valor de pendiente de 0.7519 y un coeficiente de correlación de 0.37. En la figura 4, se muestran los efectos de la edad en los TR obtenidos con estímulos presentados en la excentricidad mayor utilizada, independientemente de su contraste. Se observa un incremento progresivo de los TR conforme la edad aumenta, con un valor ligeramente inferior de pendiente de 0.6928 y un coeficiente de correlación de 0.38.

*Figura 1. Edad y percepción visual*



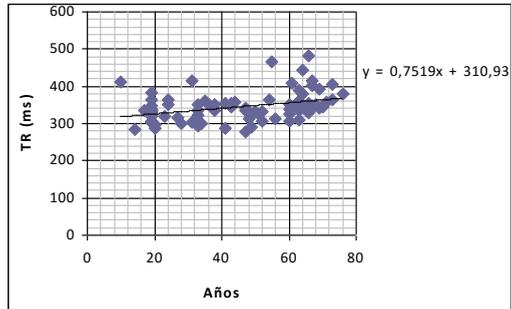
Correlación de los TR obtenidos con estímulos de contraste del 78%, presentados en la excentricidad de 2.15 y la edad de los participantes.

*Figura 2. Edad y percepción visual*



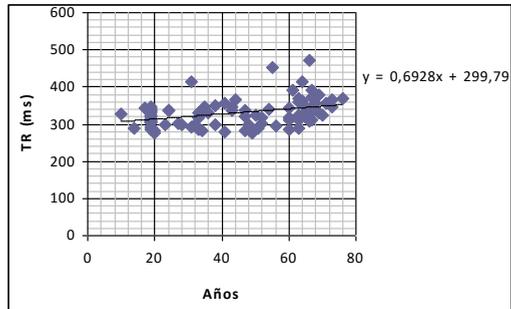
Correlación de los TR obtenidos con estímulos de contraste del 6%, presentados en la excentricidad de 5.53° y la edad de los participantes.

Figura 3. Edad y contraste



Correlación entre la edad y los TR obtenidos con estímulos con contraste del 6%. Cada punto representa la media de dichos estímulos en los 90 participantes.

Figura 4. Edad y excentricidad

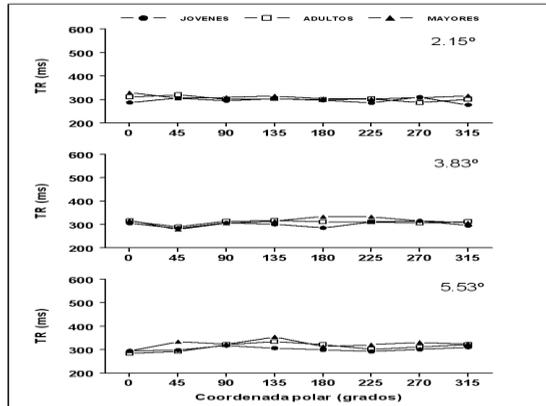


Correlación entre la edad y los TR obtenidos con estímulos presentados en la excentricidad de 5.53°. Cada punto representa la media de dichos estímulos en los 90 participantes.

En la figura 5 se muestran los TR obtenidos en las ocho coordenadas polares en los tres grupos de edad con estímulos del 78% de contraste y en la figura 6 los TR obtenidos con estímulos del 6%. Los TR de estímulos de alto contraste (78%) fueron similares en las ocho coordenadas polares en los tres grupos de edad, en las tres excentricidades. En cambio, con estímulos de bajo contraste (6%) se observó una variabilidad entre las distintas coordenadas polares estudiadas. En comparación con las coordenadas de 90° y 270° que representan el eje horizontal del campo visual, se encontraron TR superiores en ambos hemisferios visuales, superior e inferior. En la excentricidad de 3.83°, estos incrementos fueron significativos ( $p < 0.001$ ) en las coordenadas de 180° y 225°. En la excentricidad mayor estudiada de 5.53°, se obtuvieron aumentos significativos ( $p < 0.001$ ) en las coordenadas de 0° y 180°, y en menor medida ( $p < 0.05$ ) en las coordenadas de 45° y 135°. En la figura 6 también se puede observar cómo los estímulos de contraste del 6% muestran valores superiores a los obtenidos con

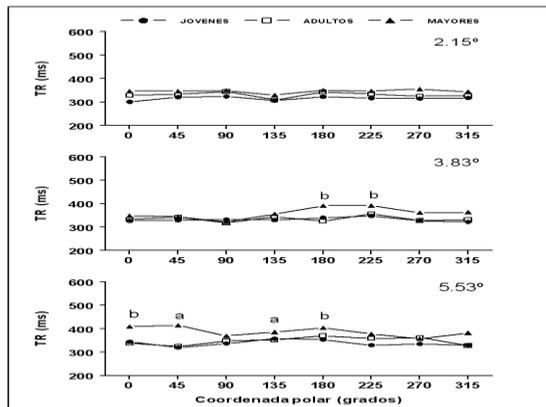
estímulos de alto contraste, y que su valor aumenta en mayor medida con la excentricidad.

Figura 5. Coordenadas polares



TR obtenidos con estímulos de 78% de contraste en las ocho coordenadas polares y en las tres excentricidades estudiadas (2.15, 3.83 y 5.53°). Cada punto representa la media de los estímulos.

Figura 6. Coordenadas polares

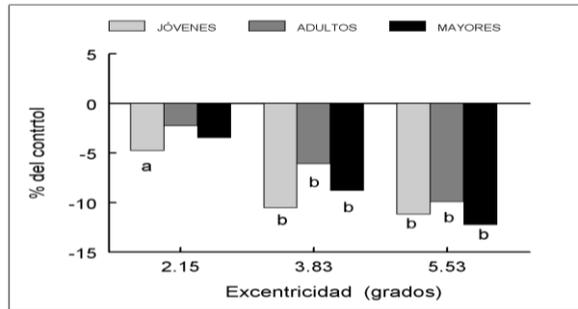


TR obtenidos con estímulos de 6% de contraste en las ocho coordenadas polares y en las tres excentricidades estudiadas (2.15, 3.83 y 5.53°). Cada punto representa la media de los estímulos. a  $p < 0.05$ , b  $p < 0.001$  comparado con las coordenadas 90° y 270°, que representan el eje horizontal del campo visual.

En la prueba de atención encubierta, los TR de los estímulos de bajo contraste fueron, en los tres grupos de edad, inferiores a los obtenidos en la prueba realizada previamente sin atención y cuyos datos se han utilizado como control. Este descenso se

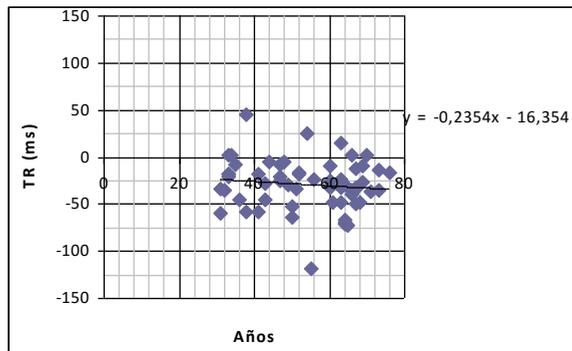
situó entre el 2% y el 12% (Figura 7). En la excentricidad menor de 2.15°, el descenso de los TR fue significativo ( $p < 0.05$ ) sólo en el grupo de jóvenes, mientras que en las otras dos excentricidades el descenso fue significativo ( $p < 0.001$ ) en los tres grupos de edad. En esta figura, se observa también que el grupo de adultos tiene el porcentaje de disminución en los TR más bajo en las tres excentricidades estudiadas, mientras que los valores obtenidos con los mayores es similar al de los jóvenes. La evolución a un mayor descenso de los TR obtenidos en los estímulos de bajo contraste por la atención en el rango de edad de los adultos y mayores (31-73 años) se muestra en la figura 8, donde se representa la correlación entre el tiempo reducido por la atención y la edad de los participantes en ambos grupos. La ecuación muestra un valor de pendiente de  $-0.2354$  y un coeficiente de correlación de  $0.12$ .

Figura 7. Atención y edad



Efectos de la atención encubierta en los tres grupos de edad. Se muestra la disminución de los TR respecto del control. Cada barra representa la media de los valores obtenidos. a  $p < 0.05$ , b  $p < 0.001$ .

Figura 8. Atención y edad



Correlación entre la reducción de los TR obtenidos en los estímulos de bajo contraste con la atención y la edad de los participantes adultos y mayores.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los resultados muestra de manera concluyente que la percepción visual se deteriora progresivamente a lo largo de la vida y que este deterioro es selectivo. Así, ante estímulos que son fáciles de percibir, como los presentados con alto contraste (78%) y cerca del centro de la mácula (2.15° de excentricidad), que es el área de la retina con mayor densidad de fotorreceptores y que permite la mayor agudeza visual, el tiempo que se tarda en su detección aumenta muy lentamente, al menos durante el periodo vital estudiado (10-73 años). En cambio, el tiempo que se tarda en detectar estímulos que presentan condiciones más adversas para su percepción, como son los de bajo contraste (6%) y presentados en las zonas periféricas de mácula (5.53°), aumenta de manera rápida, a un ritmo 4 veces superior. Sabemos que tanto los fotorreceptores como las células ganglionares de la retina disminuyen en número de manera progresiva con la edad, aunque en distinto grado. Así mientras que los bastones, responsables de la visión nocturna o escotópica, decrecen a un ritmo de 3% por década, los conos, responsables de la visión diurna o fotópica, disminuyen en un 1.8% y las células ganglionares retinianas en un 0.5% (Owsley, 2011; Blanks y Dorey, 2009). Los experimentos se han realizado en condiciones fotópicas, por lo que el deterioro visual observado podría estar relacionado con la pérdida de conos que ocurre con el progreso de la vida. El hecho de que los estímulos de contraste alto (78%) presentados en la mayor excentricidad estudiada (5.53°) muestran un incremento con la edad con una pendiente del 0.4602 (datos no mostrados), 2.6 veces inferior a la obtenida con los de bajo contraste en dicha región macular sugiere que el deterioro visual observado con los estímulos de bajo contraste en esta área se debe más a un deterioro funcional de los conos por la edad que a su disminución numérica. Todo ello, sin menoscabo de las alteraciones que la edad induce en el resto de las neuronas visuales, especialmente las corticales donde el envejecimiento, más que una reducción numérica, produce su deterioro funcional (Yang et al., 2008; Zhang et al., 2008) y el de su conectividad sináptica (Huttenlocher, 2002).

Los resultados muestran, por otra parte, que el envejecimiento deteriora en un grado similar la percepción del contraste de bajo nivel (6%) y la de los estímulos presentados en la región periférica macular (5.53°), y que lo hace de manera progresiva con una pendiente entre el 0.69 y el 0.75. El análisis de los TR obtenidos en las distintas coordenadas polares refuerza estos efectos del envejecimiento sobre la percepción visual. Como se muestra en la figura 6, en los jóvenes y adultos los estímulos de bajo contraste producen TR similares en las ocho coordenadas polares estudiadas en cada excentricidad. En cambio, en el grupo de mayores aparecen diferencias significativas en los TR entre coordenadas en la excentricidad de 2.15° y en mayor número en la de 5.53°. Estas diferencias entre coordenadas polares no se observaron con estímulos de alto contraste en el grupo de mayores ni en los otros dos grupos de edad (Figura 5). Estos

resultados concuerdan los publicados por Gillespy-Gallery et al. (2013) que muestran la existencia de un declive de la visión del contraste en condiciones escotópicas entre los 20 y los 74 años de edad y que éste es mayor en las regiones parafoveales, que tienden a afectarse más que la fovea por el envejecimiento (Curcio, Medeiros, y Millican, 1996). Con la edad, los procesos neurales se enlentecen, especialmente los relacionados con la ejecución de actos motores (Stuart-Hamilton, 2007; Bishop, Lu, y Yankner, 2010). Aun teniendo en cuenta estas evidencias, el hecho de que la edad produzca aumentos de los TR de una manera selectiva, como se ha comentado anteriormente, indica que éstos se deben a un deterioro específico de la percepción visual por la edad.

La atención encubierta favorece la percepción visual (Ling y Carrasco, 2006; Liquiang y Dobkins, 2005), e incrementa la actividad de la corteza visual debido a la activación de proyecciones eferentes de áreas extraestriadas dorsales y ventrales a la corteza visual primaria que conforman circuitos corticales de atención visual (Noesselt et al., 2002), esta activación neuronal es mayor con los estímulos de bajo contraste (Reynolds, Gottlieb, y Kastner, 2008). De acuerdo con estas evidencias, los resultados muestran que la atención a los estímulos de bajo contraste presentados en las distintas excentricidades produce un descenso significativo de los TR respecto de la prueba control en los tres grupos de edad.

No obstante y a diferencia de los experimentos realizados sin atención, donde los TR se incrementan de manera progresiva con la edad, los resultados muestran que el grupo de adultos es el que menor beneficio obtiene cuando atienden de manera encubierta a los estímulos (ver figura 7). Mientras que jóvenes y mayores presentan reducciones similares de los TR bajo condiciones de atención. La correlación de la disminución de los TR entre los distintos grupos de edad muestra que la mayor variación ocurre entre el grupo de adultos y mayores, donde se observa una pendiente de  $-0.2354$  (Figura 8), mientras que las obtenidas con las comparaciones entre el grupo de jóvenes con el de adultos y mayores son de  $0.0804$  y  $0.0023$ , respectivamente (datos no mostrados), lo que indica variaciones mínimas entre dichos grupos de edad.

El deterioro visual en las personas mayores, especialmente su dificultad en la percepción de estímulos de bajo contraste, como demuestran los presentes resultados, y la dificultad en la percepción del movimiento y en la integración de sus diversos componentes (Pilz, Bennett, y Sekuler, 2010) puede explicar la propensión de este grupo de edad a tener caídas y accidentes de tráfico en condiciones de iluminación reducida (Kallstrand-Erikson y Hidingh, 2009). No es de extrañar pues que se desarrollen estrategias cerebrales específicas que tiendan a compensar estos déficits asociados a la edad. En este sentido, la atención encubierta puede ser una herramienta útil para los mayores, ya que al mejorar la percepción en zonas periféricas del campo visual permite una reacción adecuada, a pesar de tener una peor integración sensorio-motora que durante la juventud o la edad adulta. Los estudios sobre deterioro cognitivo y edad sitúan

en los 60 años el inicio de un declive general y significativo de las capacidades cognitivas en humanos (Stuart-Hamilton, 2007; Rapp y Bachevalier, 2008). Esto puede no ser estrictamente aplicable a todas las funciones cognitivas, como muestran los resultados sobre atención visual. En este sentido existen crecientes evidencias de que el ritmo del envejecimiento no es algo que esté inevitablemente fijado, sino que es un proceso abierto a modificaciones que incluyen procesos de plasticidad neuronal (Bishop, Lu, y Yankner, 2010; Sanes y Jessell, 2013). En este sentido, no todas las funciones cognitivas tienen que seguir necesariamente la misma evolución a lo largo de la vida.

Nuestros datos muestran de manera consistente que durante el envejecimiento se produce un deterioro selectivo y progresivo en la percepción de estímulos de bajo contraste y que este deterioro es mayor en las zonas periféricas maculares. Ante estos hándicaps visuales, se potencia con la edad el desarrollo de mecanismos compensadores de atención, que implican una mayor eficacia en su mejora de la percepción visual.

#### *Agradecimientos*

Investigación financiada con el apoyo económico de la Junta de Andalucía al grupo BIO-195, del proyecto PB98-1311 y con fondos FEDER.

### REFERENCIAS

- Bishop, N.A., Lu, T., y Yankner, B.A. (2010). Neural mechanisms of ageing and cognitive decline. *Nature*, 464(7288), 529-535.
- Blanks, J.C., y Dorey, C.K. (2009). Sensory Aging: Vision. In P.R. Hof and V. Mobbs (Eds), *Handbook of the Neuroscience of Aging* (pp. 641-655). London: Academic Press.
- Curcio C.A., Medeiros N.E., y Millican C.L. (1996). Photoreceptor loss in age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 37(7), 1236-1249.
- Dimitrov, P.N., Robman, L.D., Varsamidis, M., Aung, K.Z., Makeyeva, G.A., Guymer, R.H., y Vingrys, A.J. (2011). Visual function tests as potential biomarkers in age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 52(13), 9457-9469.
- Guillespie-Gallery, H., Konstantakopoulou, E., Harlow, J.A., y Barbur, J.L. (2013) Capturing age-related Changes in functional contrast sensitivity with decreasing light levels in monocular and binocular vision. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 54(9), 6093-6113.
- Huttenlocher, P.R. (2002). *Neural plasticity: The effects of environment on the development of the cerebral cortex*. Cambridge: Harvard University Press.
- Källstrand-Ericson, J., y Hidingh, C. (2009). Visual impairment and falls: A register study. *Journal of Clinical Nursing*, 18, 366-372.
- Ling, S., y Carrasco, M. (2006). Sustained and transient covert attention enhance the signal via different contrast response functions. *Vision Research*, 46(8), 1210-1220.
- Liquiang, H., y Dobkins, K.R. (2005). Attentional effects on contrast discrimination in humans: evidence for both contrast gain and response gain. *Vision Research*, 45(9), 1201-1212.

- Mancebo, R., Sáez, J.A., Domínguez, I., Luna, J.D., y Rodríguez-Ferrer, J.M. (2009). Efectos del contraste, excentricidad y posición en la detección de estímulos visuales en humanos. *Revista de Neurología*, 48(3), 129-133.
- Noesselt, T., Hillyard, S.A., Woldorff, M.G., Schoenfeld, A., Hagner, T., Hinrichs, H., y Heinze, H. (2002). Delayed striate cortical activation during spatial attention. *Neuron*, 35(4), 575-587.
- Owsley, C. (2011). Aging and vision. *Vision Research*, 51 (13), 1610-1622.
- Pilz, K.S., Bennett, P.J., y Sekuler, A.B. (2010). Effects of aging on biological motion discrimination. *Vision Research*, 50(2), 211-219.
- Rapp, P.R., y Bachevalier, J. (2008). Cognitive development and Aging. In L.R. Squire (Eds.), *Fundamental neuroscience* (pp. 1039-1066). London: Academic Press.
- Reynolds, J.H., Gottlieb, J.P., y Kastner, S. (2008) Attention. In L.R. Squire (Eds.), *Fundamental neuroscience* (pp. 1013-1132). London: Academic Press.
- Rodríguez-Ferrer, J.M. (2014). Atención visual y envejecimiento: modelo de adaptación cognitiva positiva relacionada con la edad. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 4(3), 181-191.
- Sanes, J.R., y Jessell, T.M. (2013). The aging brain. In E.R. Kandel (Eds), *Principles of neural science* (pp. 1328-1346). New York: McGraw Hill.
- Stuart-Hamilton, I.A. (2007). Envejecimiento cognitivo normal. En R.C. Tallis (Eds.), *Geriatría* (pp. 125-142). Madrid: Marban.
- Wang, Y., Zhou, Y., Ma, Y., y Leventhal, A.G. (2005). Degradation of signal timing in cortical areas V1 and V2 in senescent monkeys. *Cerebral Cortex*, 15(4), 403-408.
- Yang, Y., Liang, Z., Li, G., Wang, Y., Zhou, Y., y Leventhal, A.G. (2008). Aging affects contrast response functions and adaptation of middle temporal visual area neurons in rhesus monkeys. *Neuroscience*, 156(3), 748-757.
- Zhang, J., Wang, X., Wang, Y., Fu, Y., Liang, Z., Ma, Y., y Leventhal A.G. (2008). Spatial and temporal sensitivity degradation of primary visual cortical cells in senescent rhesus monkeys. *European Journal of Neuroscience*, 28(1), 201-207.

Recibido: 5 de mayo de 2015

Recepción Modificaciones: 31 de julio de 2015

Aceptado: 2 de agosto de 2015