

## APORTE ESTUDIANTIL

# La cara. Aspectos funcionales II – Neurofisiología. El sentido de la visión

**Taymer Enrique Castro Cruz, Luis Felipe Romero Moreno, María Alejandra Valencia Fernández, Andrés Leonardo Fuentes Francia**

Estudiantes de medicina, Grupo de Trabajo Estudiantil en Morfología Vitruvio, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, Colombia.

**tecastroc@unal.edu.co; lfromerom@unal.edu.co; mavalenciaf@unal.edu.co; alfuentesf@unal.edu.co**

---

### PRESENTACIÓN

El *Grupo de Trabajo en Morfología Vitruvio* es un colectivo de estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia que desde hace algunos años ha venido preocupándose y trabajando por el estudio de la anatomía. El primer fruto de esas preocupaciones y de ese trabajo es una extensa y completa guía para el estudio de la cara, dirigida a los estudiantes de Medicina, que será publicada en varias entregas en *MORFOLIA*.

*El Editor*

---

## LA CARA. ASPECTOS FUNCIONALES II EL SENTIDO DE LA VISIÓN

### Óptica de la Visión Principios Físicos de la óptica

Dentro del enfoque fisiológico, es fundamental entender cada uno de los sistemas neuro-sensoriales que comprometen la cara y que utilizan como resguardo este importante segmento del organismo. El ojo, considerado la puerta de entrada de todos los estímulos luminosos y de movimiento, transmite impulsos eléctricos generados por la retina hacia la corteza cerebral en donde son procesados e integrados con el fin de producir eferencias en busca de la generación de una respuesta al estímulo.

Considerar los principios básicos de la óptica bajo los cuales se rige la visión, es fundamental a la hora delimitar los mecanismos físicos mediante los cuales se produce la imagen y las posibles alteraciones en la agudeza visual que acompañan la supervivencia.

La velocidad con la que viaja un rayo luminoso depende directamente del medio en el cual se propague. En el aire un rayo de luz monocromática alcanza una velocidad de 300.000 Km/s, y si este rayo de luz incidente golpea sobre alguna superficie, se le puede calcular un índice de refracción. Cuando un haz de luz

choca contra una superficie limitante que quede perpendicular a su llegada, penetra en un segundo medio sin desviar su trayectoria y únicamente disminuirá su velocidad de transmisión y su longitud de onda; pero si por el contrario, un rayo de luz monocromática atraviesa una superficie de separación con un ángulo de inclinación, sí ocurrirá una desviación de los rayos luminosos. Este fenómeno es a lo que se le conoce con el nombre de refracción.

Los principios de la refracción pueden ser aplicados a los diferentes tipos de lentes. Cuando un rayo de luz golpea una lente convexa, el fenómeno producido será una convergencia de los rayos en un único lugar, lo que se conoce con el nombre de punto focal. Por su parte, cuando un rayo de luz choca contra una lente cóncava con una angulación diferente a la perpendicular, los rayos luminosos sufren una divergencia y son desviados en ángulos de mayor amplitud a los paralelos.

Cuanto más amplia sea la desviación de los rayos luminosos por una lente, mayor es su poder dióptrico o poder de refracción. Por ejemplo, una lente esférica que cause la convergencia de los rayos luminosos paralelos en un punto focal a 1 metro de distancia, tiene un poder dióptrico de +1 dioptría y a medida que avance su poder dióptrico, tendrá la capacidad de converger a menor distancia de la de un metro. En el caso de lentes cóncavas, se utiliza el mismo principio pero invertido y el valor de las dioptrías en negativo.

## **El ojo**

En fisiología el ojo se podría definir como una cámara fotográfica. Posee un sistema de lentes además de un sistema de apertura variable (como el diafragma) que en el caso del ojo correspondería a la pupila y un espacio correspondiente a la película fotográfica que equivaldría a la disposición de receptores en la retina. Ahondando en la composición lenticular, el ojo humano se compone de 4 superficies de refracción diferentes:

- 1) La separación entre el aire y la cámara anterior de la córnea.
- 2) Entre la cámara posterior de la córnea y el humor acuoso.
- 3) La separación entre el humor acuoso y la cara anterior del cristalino.
- 4) entre la cara posterior del cristalino y el humor vítreo.

Si se hace el cálculo del poder de convergencia total que tiene el ojo humano, el valor se aproxima a las 59 dioptrías cuando la acomodación del cristalino corresponde a la visión de lejos. De esas 59 dioptrías, la cara anterior de la córnea aporta aproximadamente dos tercios de la potencia refractiva y la mayoría del valor restante se le atribuye al poder refractivo del cristalino. La razón de este hecho estriba en que el índice de refracción de la córnea cambia abruptamente respecto al del aire, a diferencia del índice refractivo del cristalino, que no cambia considerablemente respecto al del humor acuoso - humor vítreo (diferencia de medios).

## **Mecanismo de acomodación**

Se dice que en personas jóvenes, el poder refractivo del cristalino puede aumentar voluntariamente de 20 dioptrías a 34; su “acomodación es de 14 dioptrías”. Este fenómeno depende de varios elementos: alrededor de 65 a 70 ligamentos suspensorios se fijan radialmente en torno al cristalino y tiran de sus extremos hacia la periferia. En condiciones basales, estos ligamentos se encuentran contraídos, lo que le proporciona al cristalino una disposición ovalada, relativamente plana. Sin embargo, a nivel de las inserciones laterales, también se encuentra el músculo ciliar, compuesto por dos juegos de fibras musculares: las meridionales y las circulares que al contraerse, arrastran las inserciones periféricas de los ligamentos del cristalino en sentido medial hacia los bordes de la córnea, lo que relaja la tensión preexistente y le da una morfología mucho más “achatada” en forma de globo. El músculo ciliar está regulado casi en su totalidad por fibras parasimpáticas provenientes del núcleo del tercer par craneano; lo que causa su estimulación es una contracción del músculo ciliar, con un aumento progresivo en el poder dióptrico del cristalino y permite enfocar y ver objetos cercanos con mayor claridad.

A medida que una persona envejece, el cristalino pierde progresivamente la capacidad de modificar su diámetro, desciende hasta unas 14 dioptrías alrededor de los 55 años y puede llegar hasta 0 dioptrías a los 70 años de edad; a este fenómeno fisiológico se le da el nombre de presbicia.

## **Agudeza visual**

La agudeza visual normal del ojo humano permite reconocer dos fuentes de luz diferentes, distanciadas a dos segundos de arco, es decir que para que dos puntos puedan ser identificados como distintos, tienen que estar separados por una distancia mínima de 25 s a la hora de chocar contra la cámara anterior de la córnea. Esto equivale en términos prácticos a que una persona puede, a 10 metros de distancia, distinguir dos fuentes de luz diferentes, solo si están separadas por una distancia no menor de 1,5 mm. En clínica, se utilizan varias técnicas de medición de la agudeza visual. La tabla de Snellen es la más utilizada actualmente por su practicidad y fácil manejo, sin embargo, es necesario aclarar que no es el único método de medir la agudeza visual de un paciente en el consultorio; además que no todos los pacientes pueden reconocer elementos a una distancia menor de 400 pies.

Cuando la agudeza de un paciente se clasifica como 20/20, determina que la persona reconoce a 20 pies, lo que un ojo emétrope (normal) reconocería normalmente a 20 pies; si por el contrario, el resultado es de 80/20, significa que el paciente reconoce a 20 pies, lo que un ojo emétrope reconocería a 80 pies, y así sucesivamente.

## **Presión Intraocular**

La presión intraocular media es de unos 15 mm de Hg, con un intervalo de 12 hasta 20 mm de Hg. Dado que no es

posible meter una aguja que mida directamente las presiones intraoculares, se utiliza un tonómetro. Después de aplicar anestésicos locales, se coloca la plataforma del tonómetro sobre la superficie de la córnea y se ejerce presión sobre un émbolo central. La córnea se desplazará cierta distancia que debe ser traducida al lenguaje de presiones propio del instrumento.

La regulación de la presión intraocular está dada principalmente por la integridad del sistema de drenaje del humor acuoso desde la cámara anterior a través del conducto de Schlemm que debe ser de aproximadamente 2,5 uL/min. Un aumento en los valores de presión intraocular se denomina Glaucoma y es una de las causas más importantes de ceguera en el mundo. La compresión del nervio óptico y el cese de transmisión del impulso nervioso por compresión neuronal, más la posible estenosis en los vasos retinianos explica sustancialmente el mecanismo por el que se pierde la propagación del impulso nervioso y la nutrición adecuada del parénquima ocular.

### **Función receptora y nerviosa de la retina Anatomía y fisiología de los elementos estructurales de la retina**

La retina es la porción del ojo sensible a la luz constituida por diferentes capas de células responsables de transmitir el impulso nervioso hacia el nervio óptico.

Existe una disposición específica de las nueve capas de células retinianas en

función del aporte a la agudeza visual; del exterior hacia el interior correspondería a:

- 1) Capa pigmentaria.
- 2) Capa de conos y bastones que aloja prolongaciones de estos receptores hacia la capa anterior.
- 3) Capa nuclear externa que contiene los somas de los conos y los bastones.
- 4) Capa plexiforme externa.
- 5) Capa nuclear interna.
- 6) Capa plexiforme interna.
- 7) Capa ganglionar.
- 8) Capa de las fibras del nervio óptico.
- 9) Membrana limitante interna.

Cuando un rayo de luz incidente penetra los medios oculares y discurre a través de la retina, lo hace pasando primero por los elementos más internos hasta llegar a la capa de células fotorreceptoras externas, encargadas de percibir los estímulos luminosos. Son dos tipos celulares los encargados de percibir la luz: los conos y los bastones; los primeros, responsables de la visión a color y los segundos, de la visión en blanco y negro y en la oscuridad.

Es importante resaltar ciertos lugares de la retina que cumplen funciones específicas en la transmisión del impulso nervioso y en proporcionar mayor agudeza visual. La mácula como la porción especializada en la visión fina de los detalles, se localiza en la región posterior de la retina, rodeada de las arcadas temporales vasculares y, temporal a la papila, lugar donde emerge el nervio óptico. La fovea, entendida como una zona diminuta del centro de la mácula, ocupa un área total un poco mayor a 1 mm cuadrado y la fovea

central, de sólo 0.3 mm; están compuestas en su totalidad de conos, esto junto con la ausencia de estructuras vasculares y el desplazamiento de las demás capas retinianas, permite que la luz llegue a los conos sin ningún impedimento y se establezca la región retiniana con mayor agudeza visual. Otro elemento que vale la pena resaltar es la función de la capa pigmentaria de la retina, que constituida en su totalidad por melanina, absorbe la luz resultante e impide la reflexión lumínica por toda la esfera del globo ocular y evita que los rayos de luz se dispersen en todas las direcciones posibles, deteriorando considerablemente la capacidad de formar un contraste normal en la imagen. Existe una condición hereditaria conocida como albinismo en la que se presenta una deficiencia en la producción del sustrato melanocítico en todas las células del organismo, incluyendo los melanocitos retinianos; por lo que la gran mayoría de pacientes presentan problemas en la visión.

### **Fotoquímica de la visión**

Los dos tipos de células fotorreceptoras contienen productos químicos que se descomponen ante la exposición a la luz y durante el proceso excitan las fibras nerviosas que salen del ojo. La rodopsina, componente principal del segmento externo de los bastones, es fundamental en la transmisión del impulso eléctrico por despolarización celular. A *grosso modo*, el ciclo visual de la rodopsina retinal se podría compactar en tres pasos principales:

- La rodopsina, una proteína resultante de la combinación de dos sustratos como los son la escotopsina y el retinal (del *tipo 11-cis-retinal*), sufre una fotoactivación de los electrones situados en el segundo extremo que desemboca en la transformación instantánea de la forma *cis* del retinal a su forma *trans*, es decir, una molécula recta en vez de plegada.
- Después de varios milisegundos y de la conversión de varios sustratos, es la *metarrodopsina II*, también llamada rodopsina activada, la encargada de producir los estímulos eléctricos en los bastones.
- Tras lo anterior, la transmisión de la imagen visual hacia el SNC bajo la forma de potencial de acción a lo largo del nervio óptico.

La vitamina A cumple una función importante en la formación de reservas de rodopsina en los bastones. La dinámica de interconversión de sustratos entre *trans-retinol* (o vitamina A) y *11-cis-retinol* para luego producir *11-cis-retinal* y finalmente rodopsina, nos permite resaltar la importancia de la vitamina A en el garantizar la presencia de sustratos esenciales en la formación de la imagen.

Existen entidades clínicas que se caracterizan por estados de hipovitaminosis A, repercutiendo inevitablemente en el estado y la calidad de la visión. La ceguera nocturna o hesperanopía es la patología común en individuos que por diferentes razones

tienen suplementos deficientes de vitamina A en la dieta.

### **Visión en color**

Los conos son las células fotorreceptoras encargadas de transmitir el impulso eléctrico al ser estimuladas por diferentes longitudes de onda que se desprenden de un rayo monocromático. En términos prácticos, son los encargados de percibir la visión a color. Todas las teorías de la visión de los colores están basadas en un mecanismo tricolor; tres tipos de conos, tres tipos de transmisión, tres tipos de colores. De mayor a menor longitud de onda la capa de células fotorreceptoras percibe únicamente los colores rojo, verde y azul; los demás colores son producto de la redistribución de la producción de potenciales de acción por estímulos parciales de cada una de las tres células. Por ejemplo: las proporciones de estimulación para el color verde oscilan entre un 32% para los conos rojos, un 36% para los conos azules y un 67% para los conos azules; a pesar de que los límites de percepción de longitud de onda para cada una de las células fotorreceptoras se solapan, el sistema nervioso interpreta esta colección de proporciones como la sensación correspondiente para el color verde. Una estimulación aproximadamente equivalente de los conos rojo, verde y azul da lugar a la sensación visual del color blanco.

Igual que en los apartados anteriores, vale la pena mencionar el principal trastorno en la visión a color, el daltonismo. La ausencia de un grupo conos para una longitud de onda específica, condiciona la

incapacidad de distinguir algunos tipos de colores dependiendo del grupo ausente. El daltonismo rojo-verde es el más común de todos. Considerado un trastorno genético ligado a X que se transmite siempre de madre a hijo, existe una ausencia de los conos rojos (protanopía) o una ausencia de conos verdes (deuteranopía) que imposibilita al individuo reconocer la diferencia de los colores con alta longitud de onda: rojo, verde, amarillo o naranja.

### **Neurofisiología central de la visión Vías visuales**

Los impulsos nerviosos emergen desde la retina hacia *nervio óptico* que transcurre con fibras procedentes de los dos hemisferios visuales. En el *quiasma óptico* las fibras emitidas de la mitad nasal de la retina se cruzan al lado opuesto en donde se juntan con las fibras de la porción temporal del ojo contralateral y viajan juntas en los que se conocen como tractos o cintillas ópticas. A continuación, las fibras de cada tracto o cintilla óptica hacen sinapsis en el núcleo geniculado dorsolateral del tálamo y desde allí las fibrillas geniculocalcarinas se dirigen hacia la cisura calcarina en la corteza visual occipital a lo largo del tracto geniculocalcarino.

Este sistema es el correspondiente al complejo neuronal neoformado o sistema nuevo de la visión, encargado de percibir prácticamente todos los aspectos de la forma y calidad visual incluyendo forma, color e intensidad. Por su parte, existe un sistema antiguo de visión correspondiente a conexiones interneuronales externas al complejo visual occipital, que

comprometen partes más “antiguas” del SNC incluyendo el mesencéfalo y el prosencéfalo. Algunas de los complejos neuronales involucrados incluyen los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo en la regulación del ciclo circadiano; los núcleos pretectales para sincronizar movimiento y activación del reflejo fotomotor pupilar; y el núcleo geniculado lateral ventral del tálamo, involucrado en cambios de conducta.

**La visión entendida como la dinámica de conexiones interneuronales entre distintos segmentos del encéfalo que tienen como finalidad la producción de potenciales de respuesta a un estímulo específico.**

Al igual que las distribuciones corticales de los demás sistemas sensitivos, la visión se puede dividir en corteza visual primaria y áreas visuales secundarias. La corteza visual primaria se halla en el área de la cisura calcarina y se extiende desde el polo occipital hacia adelante por la cara medial. Esta área constituye la estación terminal de las señales visuales directas procedentes de los ojos. Las áreas visuales secundarias también llamadas áreas visuales de asociación ocupan las áreas laterales, anteriores e inferiores de la corteza visual primaria. Éstas reciben impulsos secundarios con el fin de analizar los significados visuales por ejemplo el área visual de *Brodman*. Además del área visual II también existen

complejos sinápticos un poco más distanciados que van desde el número III hasta completar la docena.

Existen dos vías importantes para el análisis de la información visual:

- 1) La vía rápida de la posición y el movimiento.
- 2) La vía de la exactitud del color.

Una de las vías de análisis nombrada anteriormente examina la posición tridimensional que ocupan los objetos visuales en el espacio que rodea al organismo, se explora de manera detallada la forma física y determina si el objeto se encuentra en movimiento o no. Después de salir del área visual primaria, las fibras que contienen los potenciales de acción provenientes del estímulo, se superponen en el borde anterior de la corteza parietal con fibras que proceden del área de asociación somática dedicadas a analizar los aspectos tridimensionales de las señales somatosensitivas. La información contenida en esta vía encargada de la posición-forma y movimiento viene principalmente de las fibras Y grandes del nervio óptico originadas en las células ganglionares. Existe otra vía encargada del análisis de los detalles y del color proveniente de la corteza visual primaria hasta las áreas visuales secundarias de las regiones inferior, ventral y medial de las cortezas occipital y temporal.

## Referencias bibliográficas

### Artículos

1. Lindemann, B. Receptors and transduction in taste, *Nature*, Vol. 413, pp. 219-225, 2001.
2. Van der Bilt, A.; et. al. Oral physiology and mastication, *Physiology & Behavior*, Vol. 89, No. 1, pp. 22-27, 2006.

### Libros:

1. Purves, D.; et. al. “Sentidos Químicos” En: *Neurociencia*. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Madrid, España, cap.14, pp. 369-403, 2007.
2. Geneser, F. “Aparato Digestivo” en: *Histología*. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, cap. 18, pp. 466-75, 2000.
3. Geneser, F. “Aparato Respiratorio” en: *Histología*. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, cap. 19, pp. 535-37, 2000.
4. Guyton, A.; Hall, J. “Los sentidos químicos: gusto y olfato” en: *Tratado de fisiología médica*. 11ª Edición. Elsevier, Madrid, España, cap. 53, pp. 663-70, 2006.

