

## CAPITULO 22. LA VISIÓN

### INTRUDUCCIÓN

Se estima que aproximadamente el 40% de todas nuestras entradas sensoriales son visuales.

En el sistema visual es posible conocer las transformaciones que ocurren cuando un mensaje es recibido, llegando a ser procesado hasta en 6 niveles distintos. Dos niveles de análisis tienen lugar en la **retina**, que puede ser considerada como una parte del sistema nervioso localizada en el ojo. Otro nivel de procesamiento se verifica en el **núcleo geniculado lateral** del tálamo a donde llega la información a través del nervio óptico. Por último, desde el núcleo geniculado lateral la información es llevada por varias fibras que constituyen la radiación óptica hasta la **corteza cerebral**, en la que el procesamiento de esta información puede realizarse hasta en tres niveles diferentes.

Desde el punto de vista de la organización del procesamiento de la información, el sistema visual tiene, al igual que otros sistemas sensorial, dos importantes propiedades: la de **convergencia** y la de **divergencia**. Este fenómeno de convergencia no es homogéneo en toda la retina: la parte central de la retina proporciona una mayor agudeza visual que las partes periféricas y, en consecuencia, hay un menor grado de convergencia en la parte central de la retina. Además, en una región de la zona central de la retina llamada **fóvea**, se produce incluso un cierto grado de divergencia.

### LA RETINA

Cuando el estímulo visual activa a los fotorreceptores se producen cambios en los niveles de segundos mensajeros, y éstos producen el potencial generador.

Los fotorreceptores se encuentran localizados en la retina. En esta parte especializada del ojo humano es donde primero tienen lugar las fases iniciales del procesamiento de la información visual. Desde un punto de vista anatómico, la retina está muy ordenada y constituida por tres capas celulares y dos capas sinápticas o plexiformes donde se realizan prácticamente todas las sinapsis entre un determinado tipo de neuronas.

La disposición de la retina en el interior del ojo permite que los estímulos visuales se focalicen sobre ella con la mínima distorsión óptica. Cuando llega la estimulación visual, la córnea y el cristalino la enfocan y, tras atravesar el humor vítreo, es absorbida por las células fotorreceptoras de la retina. Estas células se disponen sobre el **epitelio pigmentado** que abarca todo el fondo del ojo. El epitelio pigmentado contiene grandes cantidades de melina. Esta recoge la estimulación visual que las células retinianas no hayan podido absorber. Ello impide que haya un reflejo de la imagen que entra desde el fondo del ojo hacia la retina, la cual podría distorsionar la imagen.

La retina, al igual que otras regiones del sistema nervioso central, procede del tubo neural. Durante el desarrollo embrionario el tubo neural forma dos vesículas ópticas al producirse la evaginación del tubo neural. Posteriormente, las vesículas ópticas se invaginan para formar los vasos ópticos. Las células de la pared interna de los vasos ópticos se transforman más adelante en la retina.

Puesto que los fotorreceptores se desarrollan a lo largo del lado interno de esa capa multicelular, la luz tiene que pasar a través de todo el espesor de la retina para poder llegar a los fotorreceptores. Para permitir que la luz llegue a las células sin ser dispersada o absorbida en gran medida, las capas celulares de la retina más próximas al cristalino no tienen melina y por ello son relativamente transparentes. Además, la retina tiene una pequeña invaginación en forma de mella, situada aproximadamente, en su punto central denominada **fóvea**. En la parte central de la fóvea, denominada **foveola**, prácticamente están solamente las células fotorreceptoras en alta concentración. Ello hace que la agudeza visual sea más pronunciada en esta zona.

La cantidad de luz que llega a la retina se regula por la pupila, que a su vez está controlada por los músculos inervados por el sistema nervioso autónomo.

### LAS CÉLULAS FOTORRECEPTORAS: BASTONES Y CONOS

Todos los vertebrados, con escasas excepciones, tienen dos tipos de células fotorreceptoras denominadas **conos y bastones**, a los que de forma genérica se llama **fotorreceptores**. Los bastones, son más sensibles a la luz que los conos, participan en la visión nocturna o con luz tenue. A su vez, los conos son los fotorreceptores que se activan durante la visión diurna.

En los bastones existe un **pigmento visual**, que es más sensible a la luz que el de los conos. Además, los bastones amplifican la señal luminosa de los estímulos más que los conos. Por otro lado, el grado de convergencia es mayor en los bastones que en los conos. Hay muchos bastones que establecen sinapsis sobre una misma célula bipolar, reforzando la señal eléctrica producida en la misma.

Los conos tienen una mejor resolución espacial porque convergen menos dado que sólo unos pocos proyectan a cada célula bipolar, con lo que las variaciones espaciales de la imagen pueden transmitirse manteniendo sus diferencias. Además los conos están concentrados en la fovea, lugar donde la imagen sufre menor distorsión y donde no hay convergencia de ningún tipo: cada célula bipolar recibe entradas de un único cono.

Los conos también tienen mayor resolución temporal que los bastones. La respuesta de los conos es mucho más rápida, lo cual les permite detectar cambios de la iluminación en el tiempo. Por todas estas diferencias, en general los conos posibilitan mejor que los bastones la realización de cualquier tarea visual, si no se está en la oscuridad, y con mayor agudeza visual.

Por todo esto constituyen dos sistemas funcionales distintos: el **escotópico** (para los bastones) y el **fotópico** (para los conos).

Morfológicamente, los bastones y los conos son células alargadas con varias partes diferenciadas que se denominan **segmento externo, segmento interno, región nuclear y terminal sináptico**. La forma de los segmentos externos y el tamaño celular distingue a unos receptores de otros. El segmento externo está formado por muchas invaginaciones de la membrana celular externa que los rodea. En los bastones, las invaginaciones de las membranas forman una especie de discos aplanados que están apilados unos encima de otros y envueltos por la membrana externa. En los conos, por el contrario, los discos membranosos no poseen entidad individual, de manera que tienden a estar conectados con el segmento de la membrana que los rodea. En los discos de los bastones y conos están incrustadas en altas concentraciones una serie de moléculas (los pigmentos visuales), cuya función en el inicio de la transmisión de la información visual es de primordial importancia.

El potencial de reposo de un fotorreceptor está entre  $-30$  y  $40$  mV y no entre los

- $60$  ó  $-70$  mV habitual de la mayoría de las neuronas.

Si el registro se hace en presencia de luz, el fotorreceptor se hiperpolariza y el potencial de membrana se vuelve más negativo. Cuando la luz es muy intensa, la hiperpolarización de la célula puede llegar hasta los  $-60$  mV.

### **ORGANIZACIÓN CELULAR DE LA RETINA**

En la mayoría de los vertebrados, la retina está organizada en tres capas celulares y dos capas sinápticas. La capa celular más distal, denominada **capa nuclear externa**, contiene los cuerpos celulares de los fotorreceptores. La capa media, también denominada **capa nuclear interna**, contiene los cuerpos celulares de las tres principales clases de células de la retina, las denominadas **horizontales, bipolares y amacrinas**. La capa celular más interna contiene los cuerpos neurales de las **células ganglionares**. Entre las capas celulares se encuentran las capas sinápticas, denominadas **capas plexiformes externa e interna**.

Una vez recibida la información visual en los fotorreceptores, ésta pasa a la capa plexiforme externa. En ella se realizan conexiones sinápticas entre los terminales de los fotorreceptores, las células bipolares y las horizontales. Las células bipolares son las encargadas de llevar la señal visual a la capa plexiforme interna. Las células horizontales, con sus prolongaciones extendidas a lo ancho de la capa plexiforme externa pueden participar en sinapsis de dos células receptoras al mismo tiempo o entre dos células bipolares simultáneamente. Desde la capa plexiforme interna, las células ganglionares transmiten la información a otras partes del sistema nervioso central. Los axones de las células ganglionares discurren por los laterales de la retina y se agrupan en el denominado **disco óptico** para formar el nervio óptico. En esta zona no hay fotorreceptores, lo cual origina un **punto ciego** en el campo visual.

Desde la capa plexiforme interna, la señal visual llega primero al **núcleo geniculado lateral**, posteriormente a la zona correspondiente de la **corteza visual**. Los axones constituyentes del nervio óptico se dividen en dos grupos en el **quiasma óptico**. Después de pasar por el quiasma óptico, se dice que los axones constituyen el **tracto óptico**. La mayoría de estos axones son los que llegan al núcleo geniculado lateral, pero algunos van a inervar otras

regiones como el **colículo superior**. Después del núcleo geniculado lateral, los axones del tracto óptico divergen grandemente expandiéndose para llegar a diferentes partes de la corteza, constituyendo la denominada **radiación óptica**.

### **LA RODOPSINA**

El pigmento visual de los bastones es la **rodopsina**. Este fotopigmento se almacena en los discos de las membranas del segmento externo de los bastones. Es una proteína compuesta por una cadena polipeptídica. La rodopsina activada por la iluminación da lugar a **lumirrodopsina** que, posteriormente, se convierte a **metarrodopsina**, y ésta se convierte en **metarrodopsina 2**. Esta última se convierte ulteriormente en otra sustancia, la **pararrodopsina**, que a su vez se desdobla para originar **opsina y todo trans-retinal**.

Desde el punto de vista de su estructura química, la rodopsina y otros pigmentos visuales están formados por un **aldehído de la vitamina A** unido a la proteína opsina. Al aldehído de la vitamina A se le llama también **retinal**.

### **LOS PIGMENTOS VISUALES DEL COLOR**

En la mayoría de las retinas, los bastones son muchos más abundantes que los conos. En la retina humana hay 20 veces más bastones que conos.

Por otro lado no todos los vertebrados tienen una buena visión del color. La retina humana tiene tres tipos de conos, cada uno de ellos con un pigmento visual diferente: la absorción de uno de los pigmentos es máxima en la región azul del espectro, la del otro en el rango verde del espectro y la de un tercero en la zona amarilla del espectro. El pigmento que absorbe en la zona amarilla también participa en la visión del color rojo y por ese motivo se le identifica como el pigmento visual sensible al rojo.

La composición química de los pigmentos visuales de los conos es idéntica a la del pigmento rodopsina en los bastones.

### **CAMPOS RECEPTIVOS**

El registro de señales eléctricas en las células ganglionares ha permitido averiguar que estas neuronas responden cuando llega la luz a una zona particular y relativamente grande de la retina. Esto es, la frecuencia de descarga de esas células se modifica cuando esa área de la retina se ilumina. Esta región de la retina se denomina **campo receptivo de la célula ganglionar** y suele ser de un milímetro de diámetro. Los campos receptivos de la retina se solapan bastante, aunque no completamente. Con esta disposición, cualquier región de la retina está cubierta por muchas y diferentes células ganglionares, cada una de ellas relacionada con un aspecto particular y diferente del campo visual.

Los campos receptivos de las células ganglionares son capaces de procesar información visual con características espaciales. Este tipo de células ganglionares también se denominan **células sensibles al contraste** y pueden subdividirse en dos clases: células con **centro On** (activado) y células con **centro Off** (desactivado). Las células sensibles al contraste tienen sus campos receptivos organizados en dos regiones concéntricas consecutivas que funcionan de forma opuesta una a la otra.

Una iluminación en el centro de la región de células con centro On, hará que la célula se dispare de forma constante y repetida durante todo el tiempo que llega la iluminación, y su frecuencia depende sólo de la intensidad de la luz. Si se ilumina la zona concéntrica el número de disparos disminuye.

En las células con centro Off, esto ocurre a la inversa. Si se ilumina la zona central inhibe la actividad de la célula, mientras que la iluminación de la periferia aumenta su descarga.

Existe otro tipo de células que se denominan **On-Off** o también células ganglionares **sensibles a la dirección o al movimiento**. Las respuestas de estas células dependen de la localización del punto de luz que estimula el campo receptivo, por lo que su comportamiento es independiente de los aspectos espaciales de la iluminación. Estas células se activan fundamentalmente por cambios de iluminación.

### ***Funciones de los campos receptivos***

Se ha comprobado que cuando se bloquean las células de centro On con determinadas sustancias y se estudian las respuestas de un animal ante la iluminación, este sujeto no es

capaz de detectar incrementos en la iluminación de la retina, pero sí puede detectar disminuciones de la iluminación.

## **Procesamiento de la información visual en regiones superiores del sistema nervioso.**

### ***El núcleo geniculado lateral***

Una vez que la información sale de la retina pasa, como sabemos, en primer lugar al núcleo geniculado lateral del tálamo. Cuando se hacen registros extracelulares en neuronas de este núcleo se comprueba que tienen campos receptivos organizados de una manera muy similar a los de las células ganglionares. Es decir, los campos receptivos de las neuronas del núcleo geniculado lateral están organizados concéntricamente y tienen células centro-On, periferia Off y centro Off, periferia On. En consecuencia su respuesta frente a la iluminación ya sea centrada en un punto o difusa es muy similar entre ambos tipos de neuronas.

Las neuronas del núcleo geniculado lateral también reciben entradas desde la formación reticular y desde la corteza visual, además de desde la retina. Estas entradas se reciben por interneuronas del núcleo geniculado lateral que tienen una función inhibitoria sobre las neuronas que proyectan a la corteza visual. Estas interneuronas también reciben axones de la retina así como axones colaterales de las propias neuronas del núcleo geniculado lateral.

### ***Corteza visual***

En la corteza visual la información proveniente de la retina sufre un ulterior procesamiento en sus diversas áreas. Los registros extracelulares hechos con neuronas de la corteza visual, indican que existe una organización muy jerarquizada de los campos receptivos, en el sentido de que algunas células necesitan estímulos relativamente simples para ser activadas, mientras que otras células necesitan estímulos más bien complejos que los activen.

Basándose en las propiedades de sus campos receptivos, se distinguen dos tipos principales de células en la corteza visual: **células simples y complejas**.

### ***Células simples***

Cuando se proyecta sobre la retina un punto de luz fijo, las células simples se activan y sus campos receptivos muestran unas zonas excitadoras e inhibitoras más alargadas que las de otras células, como las bipolares, las horizontales o las ganglionares. Este alargamiento de las zonas de excitación e inhibición es una de sus características definitorias de las células simples. La organización de estos campos receptivos indica que los estímulos que son óptimos para la activación de las células simples no son anillos de luz, sino más bien del tipo de barras alargadas.

### ***Células complejas***

Probablemente este tipo de células son el paso siguiente en el procesamiento de la información visual. Existen diferentes tipos de células complejas en la corteza visual que están jerárquicamente organizadas en lo que se refiere a las propiedades que deben cumplir los estímulos para poder activarlas. Estas células son las más abundantes en la corteza visual y se localizan no solamente en el área visual primaria sino también en otras áreas de la corteza.

Las células complejas no se pueden activar mediante la estimulación de puntos fijos de luz que se proyectan a la retina ni tienen tampoco campos receptivos organizados en áreas excitadoras o inhibitoras. Este tipo de neuronas se activan de forma significativa mediante el movimiento brusco de un hilo de luz alargado o una barra iluminada que recorre su campo receptivo. Para poder generar una descarga mantenida en este tipo de células se necesita de un movimiento de la barra en ángulos 90° sobre su orientación final.

Entre las propiedades de las células complejas de la retina destacan la de descargar selectivamente en función de la dirección de la luz estimular. Esto es, las células complejas pueden responder de forma intensa ante movimientos del estímulo luminoso en una dirección y no responder en absoluto en la otra dirección. A esta propiedad se denomina **selectividad de la dirección**. Otra propiedad de estas células corticales es la denominada **finalización del**

**campo receptivo.** Esta característica explica que la mayoría de las células corticales responden mucho mejor ante un estímulo que es tan grande como el campo receptivo de la célula.

## **ORGANIZACIÓN ANATÓMICA DE LAS VÍAS NERVIOSAS VISUALES EN EL CEREBRO**

Como ya sabemos, la información visual que es captada por los ojos pasa a través del nervio óptico al núcleo geniculado lateral y desde este núcleo se divide en varias vías que constituyen la radiación óptica hasta la corteza visual. En humanos, igual que en otros animales los campos visuales de los dos ojos se solapan de forma notable. La información proveniente del lado visual derecho se recibe en el lado izquierdo de cada retina; la información proveniente del campo visual izquierdo se recibe en la mitad derecha de cada retina. La información proveniente de cada campo visual es procesada por el lado contrario del cerebro. Los axones de las células ganglionares que salen de las retinas para proyectar se juntan y se cruzan en el quiasma óptico. Desde aquí los axones que van al lado izquierdo o derecho son guiados a la correspondiente zona del núcleo geniculado lateral. Desde este núcleo la información visual pasa al lado correspondiente de la corteza hemisférica.

### ***Arquitectura del núcleo geniculado lateral***

Igual que la retina y que la corteza visual está dispuesto en capas. Pueden distinguirse seis capas celulares distintas en el núcleo. Cada capa recibe entradas de un ojo solamente. Tres de las capas reciben las entradas del ojo opuesto y las otras tres reciben entradas desde el ojo que esta en el mismo lado de la cabeza (ipsilateral). Las capas 1 y 2 se denominan **capas de células magnocelulares**. Las otras cuatro capas se denominan **capas parvocelulares**.

Las propiedades son diferentes. Las respuestas ante la estimulación visual de las neuronas magnocelulares son más transitorias que las de las capas parvocelulares. Por el contrario esta últimas mantienen respuestas durante más tiempo a la luz y muchas de ellas son células oponentes al color.

### ***El área visual primaria de la corteza visual***

También esta dividida en capas. Son también seis y en su mayor parte consisten en capas celulares que tienen diferentes densidades. No existen células libres interpuestas entre cada una de las capas celulares.

Se distinguen dos tipos principales de células por su morfología. Células **piramidales**, cuyos axones proyectan a otras regiones corticales visuales o a otras regiones subcorticales, y hay células **estrelladas**, cuyos axones se quedan dentro de la región de la corteza. A su vez, hay dos tipos de células estrelladas, unas denominadas **espinosas** y otras **lisas**. Las espinosas tienen muchas dendritas, mientras que las estrelladas lisas no tienen ninguna. Las células piramidales y las estrelladas espinosas son excitadoras, mientras que las estrelladas lisas son inhibitorias.

## **OTROS TERMINOS:**

Estos últimos apartados es mejor leerlos que hacer un resumen.

**Dominancia ocular:** propiedad que tienen la mayoría de las neuronas corticales, ya sean simples o complejas de recibir más entradas desde un ojo que desde otro.

Debido a que los ojos que tenemos están ligeramente separados, las imágenes que vemos, estén cerca o lejos, inciden sobre partes ligeramente diferentes de los campos receptivos de los dos ojos. Esta pequeña diferencia es la posición de los objetos que estimulan a los dos ojos es detectada por ciertas células complejas, denominadas **células moduladoras de la disparidad**, que se cree son también esenciales en la percepción de la profundidad.

