

TEMA 18

Fisiología de la visión

- 1. Función visual**
- 2. Importancia del sistema visual**
- 3. El ojo como sistema óptico**
 - Poder dióptrico de un sistema óptico
 - Defectos de refracción
- 4. Acomodación**
- 5. Propiedades sensoriales del sistema visual**
 - Adaptación a la luz
 - Sensibilidad a la intensidad luminosa
 - Sensibilidad espectral
 - Resolución espacial
 - Resolución temporal
- 6. La retina**
- 7. Fotorreceptores**
- 8. Proceso de foto-transducción**
- 9. Transmisión de información a través de la retina**
- 10. Células ganglionares de la retina**
- 11. Vía genículo-cortical**
 - Sistema parvo y magnocelular
- 12. Corteza visual**
 - Corteza extraestriada
 - Vía extrageniculada
 - Colículo superior
- 13. Campo visual**
- 14. Nervio óptico**
- 15. Quiasma óptico**

- 16. Partes del globo ocular**
- 17. Líquidos intraoculares**
 - Humor acuoso
 - Humor vítreo
- 18. Visión binocular**
- 19. Esteropsis**
- 20. Correspondencia anómala, ambliopía y diolopia**
- 21. Construcción de la imagen**
- 22. Visión de los colores**
 - Daltonismo

1. FUNCIÓN VISUAL

La función visual es la capacidad de los sujetos para recoger, integrar y dar significado a los estímulos luminosos captados por su sentido de la vista.

El ojo es el órgano receptor de la energía luminosa, siendo capaz de transformarla en impulsos nerviosos con el objetivo de enviarla al cerebro para procesar la información y elaborar conceptos.

2. IMPORTANCIA DEL SISTEMA VISUAL

El ojo es el sentido, el mecanismo principal por el cual nos comunicamos con el exterior. Nos permite una interacción con el entorno a distancia. Un principio general muy a tener en cuenta es que el ojo NO ve, ve el cerebro (**IMPORTANTE**). El ojo no es más que un instrumento (muy sofisticado) para poder interpretar una señal luminosa y codificarla al lenguaje interpretable por el cerebro. Por esto, decimos que el ojo es un elemento expuesto a la luz y su objetivo es que lo que sale por el nervio óptico sean impulsos que conocemos como potenciales de acción.

La codificación del estímulo luminoso se prepara en la retina y se procesa en la vía visual, que la componen su relevo hipotalámico del cuerpo geniculado lateral y de la corteza visual (situada en la corteza occipital).

En el fondo, es un sistema óptico que tiene que manejar luz y manejar imágenes y para ello necesita de un aparato dióptrico, una inversión de la imagen, un ajuste del foco, etc. para poder interpretar bien lo que vemos. Todo esto lo lleva a cabo la retina. De todo lo que el ojo tiene, la parte nerviosa donde está la primera neurona del sistema foto receptor y las sucesivas neuronas de la vía visual, es la retina. Todo lo demás está al servicio de la retina, ya que es aquí donde la energía luminosa se traduce en potenciales de acción.

La mayoría de los estímulos luminosos (más del 70%) que percibe el sujeto, se recogen por medio de los ojos. El sistema visual discrimina muchas cosas, como puede ser; forma, color, movimiento y es capaz de separar cada una de esas cosas y reagruparlas para darnos la sensación de profundidad, de movimiento, de color, de forma, etc. y esto lo hace en colaboración con el cerebro.

También posee la capacidad de ajustar de forma automática para que los objetos que están a diferentes distancias nuestras, sean siempre enfocados perfectamente. A esta capacidad la denominamos acomodación y como ya se ha dicho, se lleva a cabo automáticamente y por tanteo.

Algo muy importante es que podemos ver en condiciones de iluminación muy dispares de casi 5 o 6 órdenes de magnitud de intensidad luminosa (podemos ver en un día luminoso como en noche cerrada). Decimos que el ojo se adapta a diferentes grados de iluminación.

El echo de poseer dos ojos en la parte anterior de la cara nos permite el manejo de información para establecer la profundidad de las cosas. Esta visión binocular por tanto, nos da una mayor precisión y esteropsis (capacidad para ver en profundidad). De la fusión de esta visión binocular que nos proporciona información acerca del relieve y la profundidad, obtenemos una visión en 3 dimensiones, aun cuando en el plano curvo de la retina la proyección sea en 2 dimensiones.

3. EL OJO COMO SISTEMA ÓPTICO

El ojo por tanto, es un sistema óptico que tiene un “agujero” (pupila), que no es un “agujero” libre, sino que tiene cosas por delante. Anatómicamente por delante de la pupila tenemos la cámara anterior llena de líquido humor acuoso, la córnea y la lágrima. Son una serie de capas que taponan dicho “agujero”, por ello, la luz que entra en el ojo pasa por muchas cosas hasta que llega a la retina. Todos esos medios líquidos, semilíquidos, sólidos o de diferente naturaleza tienen una naturaleza obligatoria y es que han de ser transparentes, pero aún siendo transparentes absorben una gran cantidad de luz. De lo que penetra en el ojo, el 60% es absorbido o dispersado por los medios oculares hasta que llega a la retina. La retina se encuentra al final de todo lo que ha de atravesar el rayo de luz y esta también es transparente, con lo cual el rayo de luz la atraviesa a ella misma.

Para impedir que se nos escape por detrás el resto de ese rayo de luz, el ojo ha diseñado un mecanismo mediante el cual, detrás de la retina posee un epitelio pigmentario de color negro que absorbe la luz e impide su reflexión (igual que el azogue de los espejos).

Tan sólo un 10% de la luz que llega al ojo, es lo que es capaz de recibir el fotorreceptor (células sensibles a este tipo de energía). Sin embargo, basta con un fotón para que una molécula de pigmento visual se active, lo cual habla de la enorme sensibilidad a la luz.

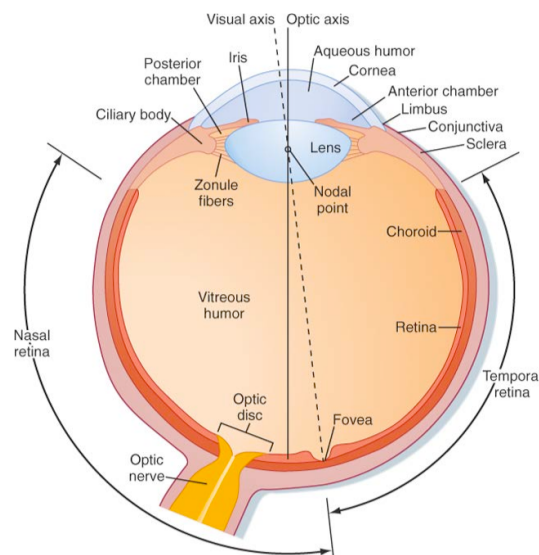


Imagen 1 → Partes del ojo

Como podemos observar en la imagen superior, el ojo consta de tres capas: esclerótica, coroides y la retina.

La esclerótica es la más externa, la coroides es la capa vascular del ojo y la retina es el recubrimiento interno que llega prácticamente hasta la zona más anterior donde termina la inserción de esta. Visto por delante la retina es un círculo grande y su límite se denomina *ora serrata*, que es el punto anatómico donde termina la retina.

El punto de mayor agudeza visual es en la fovea, que es el punto del eje visual más relevante. Tendemos a colocar siempre la proyección del objeto de nuestro interés en la fovea, de forma automática.

Todo aquello que queramos ver con interés preferencial lo colocaremos en la mácula (la fovea forma parte de esta) que es donde hay mayor agudeza visual.

Hay un punto donde se acodan todos los axones de las células ganglionares de toda la retina y constituye el nervio óptico. En esta zona, llamada disco óptico no hay fotorreceptores y por lo tanto es un punto ciego (imagen 1).

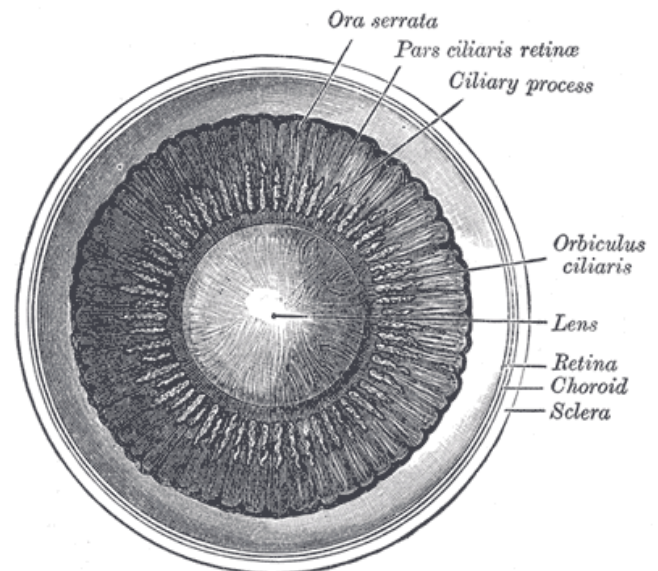


Imagen 2 → Retina vista de frente

Por delante del iris encontraremos una cámara anterior rellena de humor acuoso y limitada por fuera por la córnea (tejido transparente) que posee un grosor suficiente para poder seccionarlo para ajustar la visión (operación con laser). La córnea es una de las lentes más importantes que tiene el ojo más allá del cristalino, que es la lente acomodativa que se encuentra suspendida por las fibras de la zónula que conectan con el músculo ciliar y que permiten la tracción de esta lente de manera que se puedan cambiar los ángulos de abombamiento de su cara anterior y su cara posterior (son distintas). Esta lente tiene una capacidad de casi 30 dioptrías y el aparato dióptrico en general del ojo tiene unas 32. Todas las estructuras que hemos nombrado anteriormente contribuyen a esa capacidad de refracción y cada una tiene un índice de refracción distinto.

La refracción global del ojo será el sumatorio de las refracciones de todos los medios que tiene que atravesar la luz: lágrima, córnea, humor acuoso, cristalino, humor vítreo y todas las capas de la retina (el fotorreceptor se encuentra el último).

Aunque la lágrima pueda pasarse por alto muchas veces, es importante ya que en ocasiones, cuando lloramos o tenemos los ojos humedecidos vemos mejor debido a que la lágrima aporta un índice de refracción adicional. Con el parpadeo, estamos continuamente produciendo lágrima y distribuyéndola uniformemente.

PODER DIÓPTRICO DE UN SISTEMA ÓPTICO

El poder óptico de una lente determinada se mide en dioptrías. Cuanto más amplia sea la desviación de los rayos luminosos por una lente, mayor será su potencia dióptrica. En el caso de una lente convexa es igual a 1 metro dividido por la distancia focal. Como ya hemos comentado anteriormente el aparato dióptrico general del ojo posee 32 dioptrías.

A efectos ópticos, lo más importante de las lentes es la distancia focal (punto de foco), donde esa lente nos coloca el foco. Si el foco de la lente nos sitúa ese punto de foco delante o detrás de la retina veremos desenfocado.

Aquellos ojos que proyectan la imagen en el sitio adecuado son llamados emétopes y aquellos que lo hacen delante o detrás de la retina son miopes o hipermétropes. Estos defectos de refracción pueden corregirse con lentes (cóncavas, convexas y tóricas).

Las lentes cóncavas o negativas tienden a divergir los rayos de luz y sirven para corregir la miopía, mientras que las lentes convexas o positivas tienden a converger los rayos de luz y sirven para corregir la hipermetropía.

Lo que se pretende con estas lentes es corregir el mal foco de la lente. En el sujeto sano lo que hace el cristalino es estirando la zónula y aplanando o permitiendo que se abombe más la cara anterior y posterior del cristalino es ajustar que eso se enfoque en el punto de foco.

DEFECTOS DE REFRACCIÓN (DIJO QUE NO LO PREGUNTARIA, PERO FIATE TÚ)

Los defectos de refracción más comunes son los siguientes:

- **Miopía** → El foco de los rayos queda por DELANTE de la retina. Provoca una mala visión de lejos y se corrige con lentes cóncavas. Dentro de la miopía podemos encontrar dos categorías:
 - **Media baja-moderada** → Sólo supone una disminución de la visión lejana. No tiene otras enfermedades asociadas y es simple y estacionaria.
 - **Magna** → Es una miopía elevada (más de 8 dioptrías), hereditaria progresiva, degenerativa y con una enfermedad de retina asociada (Desprendimiento de Retina), vítreo alterado, ceguera, cataratas tempranas y glaucoma.

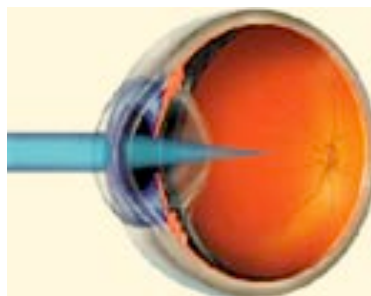


Imagen 3 → Miopía

- **Hipermetropía** → El punto focal se sitúa DETRÁS de la retina. Ocasiona una mala visión de cerca y se corrige con lentes convexas.

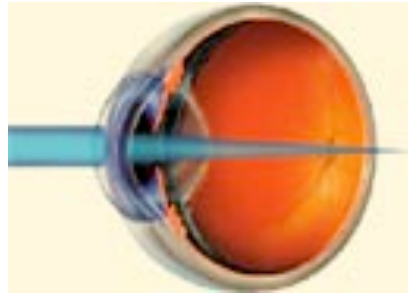


Imagen 4 → Hipermetropía

- **Astigmatismo** → En este caso existe una curvatura desigual en la córnea o cristalino, los rayos se enfocan en diferentes puntos de la retina.

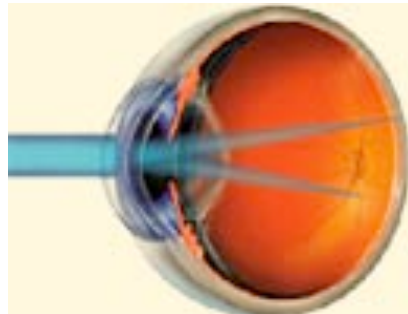


Imagen 5 → Astigmatismo

4. ACOMODACIÓN

El ojo se encuentra suspendido en la órbita y está sujeto por 6 músculos escapulares que le permiten moverse en todas las direcciones del espacio. Los dos ojos se mueven acompasados y para que ese ajuste tenga lugar, la comunicación entre el ojo y el cerebro ha de ser de ida y vuelta, es decir, para que la regulación del control motor de los dos ojos sea tan fina como para que los dos ojos se muevan a la vez en una dirección o en otra, requiere de un bucle informativo permanente sobre en que posición estoy, hacia que posición me muevo, que objeto sigo. Todo esto supone un flujo informativo a través del nervio óptico y de vuelta por los núcleos motores permanente para conseguir ajustar la posición en cada momento.

Además de todo esto, hemos de estar enfocando en todo momento aquello que miramos ya sea un objeto en movimiento o no. La capacidad de enfoque a distintas distancias se conoce como acomodación y se realiza por medio del cristalino, del músculo ciliar y la zónula.

El músculo ciliar se contrae y se relaja la zónula de Zinn. Esto hace que la superficie anterior del cristalino se abombe y aumente su poder dióptrico. Aumentan la curvatura de la cara anterior y posterior del cristalino.

Poseemos un mecanismo regulador de la cantidad de luz que entra en el ojo y de ello se encargan las fibras vegetativas del III par craneal que se encargan de la contracción de un músculo liso y que permite ajustar el tamaño de la pupila.

La acomodación para la visión cercana es el resultado de una sincinesia entre el cuerpo ciliar y la pupila que genera miosis. De esta manera se produce un aumento de la profundidad del foco que facilita la visión discriminativa.

Existe otro movimiento asociado a la acomodación, que es la convergencia para facilitar la visión binocular mediante la acción de los músculos rectos internos, por estimulación del III par y el centro de convergencia.

Esta sincronía entre la acomodación y los movimientos oculares recibe el nombre de reflejo de acomodación-convergencia.

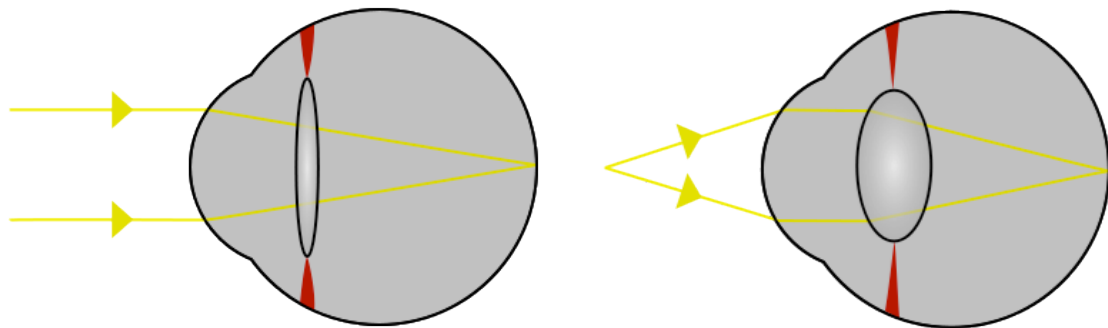


Imagen 6 → Acomodación del cristalino

Los niños debido a que su cristalino es muy elástico, son capaces de modificar su potencia hasta 14 dioptrías, mientras que a partir de los 40 años, el cristalino se vuelve más rígido. El cristalino humano está diseñado para vivir 40 años y por lo tanto a partir de esta edad se tienen problemas de vista. La capacidad de acomodación disminuye con la edad y hace que aparezca un problema visual denominado presbicia o vista cansada.

La acomodación es un acto reflejo, quiere decir que la información aferente que va a regular el cambio de la tensión en el músculo ciliar y por lo tanto en el cristalino, es permanente. El ajuste tarda unos 500 mseg. Siempre estamos tanteando como ajustaremos mejor el cristalino y es lo que nos permite ver bien. Requiere información aferente y esta información es la de la visión.

5. PROPIEDADES SENSORIALES DEL SISTEMA VISUAL

Cuando la luz llega a la retina, tenemos un sistema muy complicado por el cual se traducirá la luz a potenciales de acción e informará al resto del sistema visual sobre las imágenes proyectadas sobre ella.

El proceso de transmisión del ojo al cerebro tiene una serie de particularidades:

- Sensibilidad a la intensidad luminosa
- Sensibilidad espectral
- Resolución espacial
- Resolución temporal

ADAPTACIÓN A LA LUZ

Una función importante del ojo es su capacidad para adaptarse a distintos grados de iluminación.

La entrada de luz está regulada por la pupila que puede producir midriasis (para aumentar la entrada de luz) o miosis (para disminuirla).

La función mecánica de la pupila es la respuesta a lo que está pasando en la retina. Los fotorreceptores están iluminados, pero si se iluminan en exceso la respuesta que envía la retina a través del nervio óptico y de las fibras colaterales es que se contraiga la pupila. La aferencia de la adaptación a la luz es siempre la que nace en el fotorreceptor. La eferente motora será la que llegue a las fibras vegetativas que llegan al músculo correspondiente. Decimos por todo esto, que la adaptación a la iluminación tiene lugar fundamentalmente en los fotorreceptores.

Los fotorreceptores nos son todos iguales. Existen dos tipos: bastones y conos y cada uno de ellos tiene diferentes umbrales de excitación y la adaptación no ocurre siempre igual.

Cuando uno deslumbra un fotorreceptor con una intensidad lumínica muy grande, este queda inutilizado, porque al deslumbrarse tanto, todo el mecanismo de la traducción se pone en marcha, se consume el fotorpigmento casi en su totalidad y ha de regenerarse. La regeneración del fotorpigmento lleva un tiempo y si lo hemos conseguido estimularlo todo, porque el fogonazo ha sido muy grande, el tiempo de adaptación será mayor.

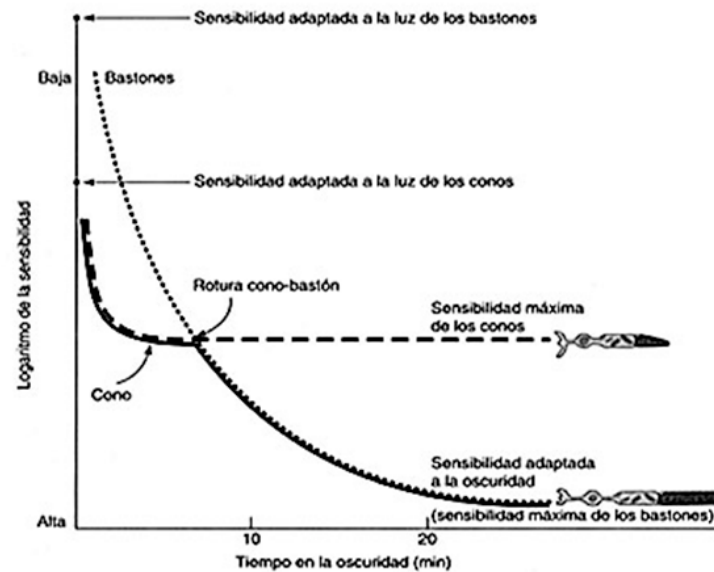
Lo anterior nos lleva a que hay una oscilación en los tiempos de obliteración después de la adaptación a la luz, porque dependerá de la intensidad de luz que nos esté llegando al fotorreceptor, estará más o menos deslumbrado y eso hará que le cueste más tiempo recuperarse en su función y eso hace que tardemos más en responder a esa señal luminosa para ajustar al entrada de luz a través de la pupila.

Los bastones tienen un umbral bajo de excitación y en su mayoría se encuentran en la retina periférica para encargarse de la visión periférica. La medida de la adaptación oscila entre los 30 y 40 segundos.

SENSIBILIDAD A LA INTENSIDAD LUMINOSA

La adaptación no es instantánea, requiere siempre de la intervención del fotorreceptor, de echo es considerado uno de los procesos más lentos del reino animal donde otros animales llevan a cabo este proceso mucho más rápido.

Se trata de un proceso relativamente lento y viene representado por la curva de adaptación a la oscuridad que explicaremos a continuación.



Curvas de adaptación a la oscuridad. En realidad en esta figura se muestran tres curvas: la línea continua muestra la curva de adaptación a la oscuridad de dos etapas medida en el experimento 1 con una rama debida a los conos al principio y otra, debida a los bastones al final. La línea discontinua muestra la curva de adaptación de los conos medida en el experimento 2. Las curvas comienzan realmente en el punto marcado como "sensibilidad adaptada a la luz de los conos", pero existe un ligero retraso entre el momento en el que se apagan las luces y el momento en el que comienza la medición de las curvas. La línea de puntos muestra la curva de adaptación de los bastones medida en el experimento 3. El punto marcado como "sensibilidad adaptada a la luz de los bastones" es el punto en el que comienza realmente la curva. Obsérvese que el movimiento hacia abajo indica un aumento de la sensibilidad.

Imagen 7 → Curva de adaptación a la oscuridad

La curva presenta un descenso progresivo en 2 fases:

- La primera fase comienza inmediatamente y dura 10 min. Equivale a un aumento de la sensibilidad retiniana de unas 100 veces y se debe a la adaptación de los conos.
- La segunda fase comienza a los 10 min y se estabiliza a los 30 min. Equivale a un aumento de la sensibilidad retiniana de unas 1000 veces y se debe a la adaptación de los bastones.

Este comportamiento guarda relación con la sensibilidad y la capacidad de regeneración de los fotopigmentos de conos y bastones.

Dicho de otra forma, cuando tenemos la adaptación a la oscuridad pasa por una curva que es constante. Hasta el punto de rotura cono-bastón se adaptan los conos pero a partir de este punto estos quedan adaptados a una sensibilidad máxima y son los bastones los que son capaces de ejercer una sensibilidad mucho mayor y tienen un tiempo de adaptación por tanto, mucho mayor debido a que en la oscuridad es el momento en el que mayor actividad metabólica hay en los receptores.

SENSIBILIDAD ESPECTRAL

Las estructuras transparentes del ojo no permiten el paso de todas las longitudes de onda. La retina es sensible todavía a un rango menor, desde 400 a 700 nm, lo cual abarca a los tres tipos de fotopigmentos que son azules, verdes y rojos.

Sin embargo, la retina no es igual de sensible a todas las longitudes de onda porque no tenemos el mismo número ni la misma distribución en toda la retina de los fotorreceptores rojos, verdes o azules y por lo tanto hay diferentes zonas que serán más sensibles a un color que a otro.

Dependiendo como se haga la valoración, si se hace en un ambiente muy iluminado (fotópico) o con menos iluminación (escotópico) la curva de sensibilidad espectral será distinta. Como hemos dicho, en condiciones fotópicas actúan los conos mientras que en condiciones escotópicas lo hacen los bastones, por eso en la visión nocturna es más difícil ver colores debido a que los bastones proporcionan la visión en blanco y negro y los conos la visión en color.

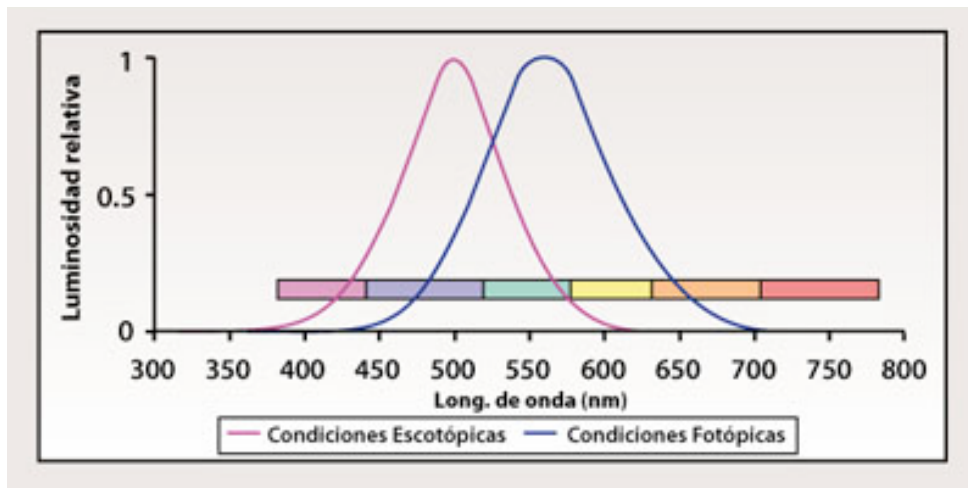


Imagen 8 → Curva de eficiencia luminosa relativa en condiciones fotópicas y escotópicas.

RESOLUCIÓN ESPACIAL

La capacidad que tiene el sistema visual para discriminar dos puntos en el espacio se denomina agudeza visual. Depende de muchas cosas, es muy innata a cada uno de nosotros. Podemos perder agudeza si enfocamos mal, pero no quiere decir que aquellos que enfoquen bien han de tener la misma agudeza. También se define, como el detalle más pequeño que puede ser visto con alto contraste (se utilizan letras negras sobre fondo blanco).

La agudeza dependerá del número de fotorreceptores que tengamos activos en la zona de mayor agudeza visual que es la mácula.

Existen varias formas de determinar la agudeza visual, pero la más utilizada es la prueba de Snellen o los optotipos (es lo mismo).

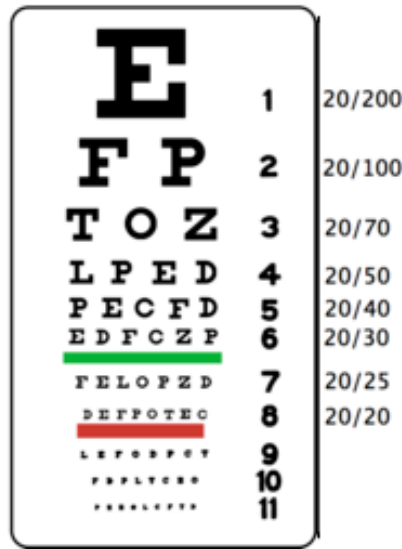


Imagen 9 → Prueba de Snellen

Estas pruebas se realizan negro sobre blanco debido a que es el máximo contraste posible. Determinan el mínimo ángulo de resolución visual, que en una persona “normal” es de 1 minuto de arco.

La capacidad de discriminación espacial (agudeza visual) se ve afectada por varios factores que son puramente ópticos (difracción, aberraciones ópticas y cromáticas, contraste) y que afectan a la calidad visual.

La retina es más sensible al contraste entre el estímulo y el fondo sobre el que se encuentra el estímulo que, a la cantidad de luz que llega a ella. A medida que aumenta el contraste aumenta la calidad visual. La sensibilidad al contraste disminuye con la edad y por la aparición de enfermedades como la catarata.



Imagen 10 → Cristalino normal y cristalino cataratoso.

RESOLUCIÓN TEMPORAL

El sistema visual es capaz de detectar el intervalo entre los estímulos que ocurren separados en el tiempo. A esta capacidad se le denomina resolución temporal. Esta resolución es muy limitada, por esta razón, si a un sujeto se le presenta un estímulo parpadeante y después se incrementa la frecuencia de parpadeo, llegará un momento en que percibirá el estímulo como continuamente encendido.

6. LA RETINA

La retina está compuesta por varias capas, hay quien dice 9 y quien dice 10. Que sean 9 o 10 depende de que se incluya o no como capa funcional de la retina al epitelio pigmentario.

Si recordamos, el epitelio pigmentario (de origen neuroectodérmico) es esa película negra detrás de la retina para evitar que la luz se refleje. También se encarga de dar soporte y nutrición a los fotorreceptores porque prácticamente los tiene embutidos dentro.

A partir del epitelio pigmentario, tendremos las capas nobles de las diferentes neuronas de la retina. Es de los pocos sistemas donde hay varias neuronas ya en el tejido sensible. En el ojo tenemos siendo que el epitelio pigmentario ya es de origen neuroectodérmico, el fotorreceptor que es la primera célula neuronal o neuroderivada, hace sinapsis con la bipolar dentro de la retina y esta hace sinapsis con la ganglionar dentro de la retina y el axón de la ganglionar era el nervio óptico.

Antes de conseguir el nervio óptico ya tenemos dos sinapsis funcionales dentro de la retina de la vía visual.

Hay varios tipos de neuronas. Hay neuronas que tienen conexión vertical, son aquellas que se dirigen al nervio óptico (fotorreceptor, bipolar y ganglionar) y hay neuronas con conexión horizontal. Dentro de este último grupo encontramos principalmente, las células horizontales y las células amacrinas.

Dentro de la retina también tenemos glía. La más relevante de todas serían las células de Müller que contribuyen mucho a la función visual, pero también tenemos astrocitos y microglia.

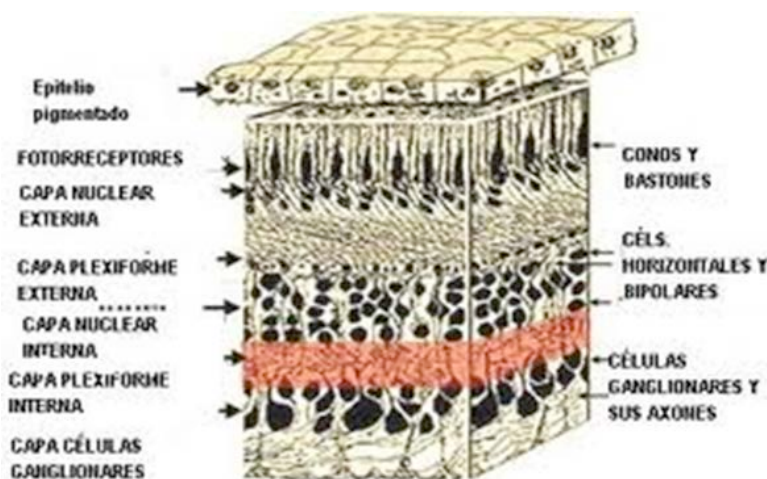


Imagen 11 → Capas de la retina

Estructuralmente y guiándonos por la imagen distinguimos el epitelio pigmentario (es la parte más posterior). Por debajo distinguimos la capa de fotorreceptores, los núcleos de los fotorreceptores que formarán lo que se denomina como capa nuclear externa, porque esto es fuera del ojo ya que el centro del ojo se encuentra en la parte de debajo de la imagen.

Hay una capa donde aparecen las conexiones entre estos fotorreceptores y la siguiente capa de células bipolares que se denomina plexiforme externa porque aparece así como el conjunto de sinapsis. A continuación encontraremos la nuclear interna donde se agrupan los núcleos de muchas células, entre ellas las bipolares (mayoritariamente), las amacrinas, las células de Müller y las células horizontales.

La capa plexiforme interna se supone que es el punto de unión sináptica entre todas estas bipolares y las siguientes, que son las ganglionares.

Por último cabe destacar la capa de células ganglionares que son las que dan origen con su axón al nervio óptico.

En las capas plexiformes se están descubriendo otras funciones muy importantes pero en principio, la versión más simple es que se trata de el punto de conexión entre fotorreceptores y bipolares (plexiforme externa) y entre bipolares y ganglionares (plexiforme interna).

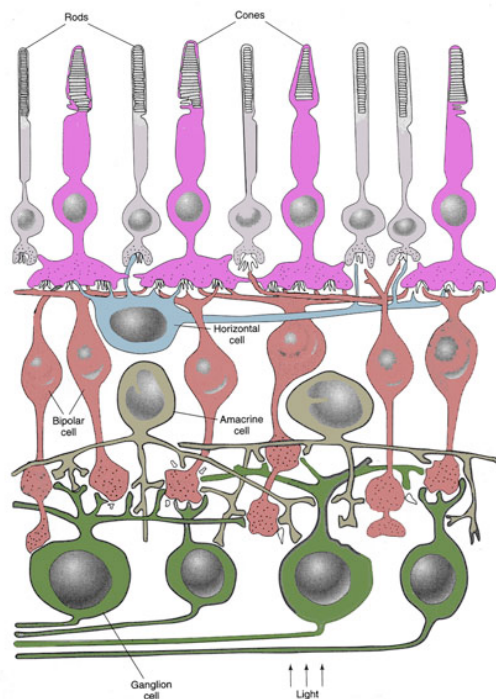


Imagen 12 → Esquema disposición de las células de la retina en vertical y horizontal.

Las células en rojo que vemos en la imagen de la izquierda son las bipolares que vemos como se unen con los fotorreceptores formando la plexiforme externa. Conectan como se ve en la imagen, el fotorreceptor con la ganglionar. También aparecen células que conectan diferentes campos receptores (horizontales en azul), células que conectan la unión entre las bipolares y las ganglionares (amacrinas en marrón). Estas son las células nobles de la retina y por lo tanto no aparece la glía. Todo esto es también un elemento distorsionador de la luz que le llegará a los fotorreceptores.

Si elimináramos todo esto, nuestra agudeza visual mejoraría considerablemente, por esa

razón en la mácula nos encontramos con que desaparece la mayoría de capas y solo nos queda la capa de fotorreceptores para conseguir una mayor agudeza visual.

Las células bipolares y ganglionares de la porción central y posterior de la retina contienen un pigmento amarillento (pigmento xantófilo) conocido como pigmento macular propio de animales que tienen mácula como el ser humano. Este pigmento le confiere una coloración especial a un área central de unos 20 grados de diámetro, que recibe el nombre de mácula.

Este pigmento macular servirá principalmente para proteger y ayudar a la función visual en ese entorno.

En el centro de la mácula hay una zona de unos 5 grados (así se mide la superficie curva) que recibe el nombre de fovea y dentro de esta, otra que recibe el nombre de foveola. Es el punto retiniano de máxima agudeza visual.

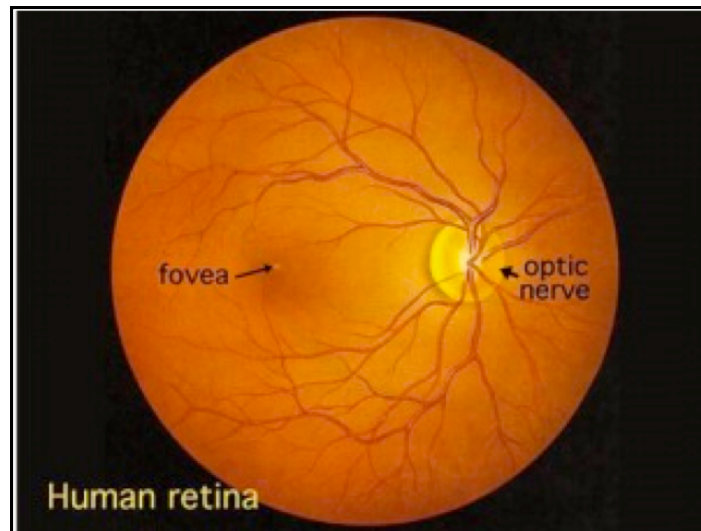


Imagen 13 → Retina humana donde apreciamos la fovea

En la imagen superior encontramos el disco óptico, que es ese lugar en donde los axones de las ganglionares se repliegan y forman el nervio óptico. Por el centro de esos axones entra la arteria central de la retina que se distribuye y es lo que vemos en la imagen.

7. FOTORRECEPTORES

Los fotorreceptores se localizan en la parte más externa de la retina a continuación del epitelio pigmentario. Son los encargados de convertir la energía luminosa en bioeléctrica

La célula sensible es el fotorreceptor de los cuales tenemos dos tipos: conos y bastones. Los bastones son más cilíndricos mientras que los conos tienen una porción externa que parece cónica.

Dentro de los conos tendremos 3 tipos distintos, con los tres fotopigmentos distintos para los tres colores básicos. Estos son más abundantes en el centro de la retina, por lo tanto la visión en color se ve sobretodo en la retina central.

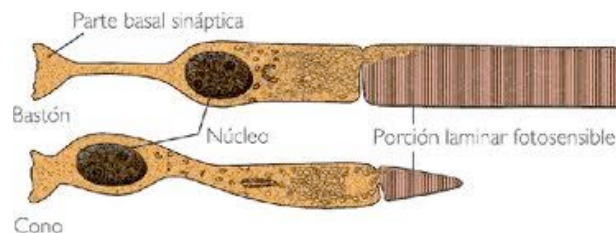


Imagen 14 → Dos tipos de fotorreceptores: bastones (arriba) y conos (abajo)

Si representásemos la distribución partiendo de la fovea hacia el exterior en grados centesimales, veremos que el número de receptores (conos) disminuye a medida que nos alejamos de la fovea y que en la fovea tendremos un incremento de conos, ya que el mayor número posible de conos está en la fovea y los bastones también se encuentran abundantemente alrededor de la fovea y disminuyen hacia la periferia. A partir de un margen muy estrecho fuera de la mácula ya no nos quedan prácticamente conos. Existe un punto ciego donde se agrupan los axones de las ganglionares formando el nervio óptico en donde no tendremos fotorreceptores, ya que no nos caben. Todo esto se ve reflejado en la imagen de debajo.

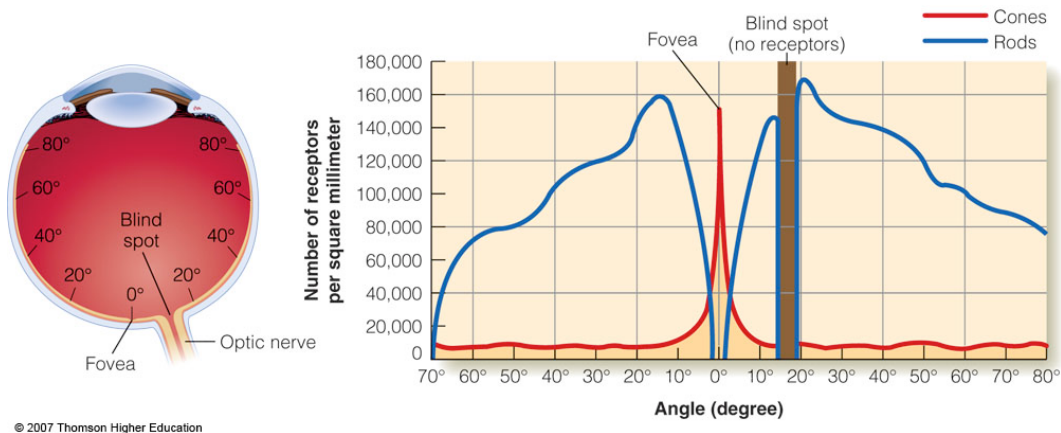


Imagen 15 → Tabla y dibujo representativos de la distribución de fotorreceptores.

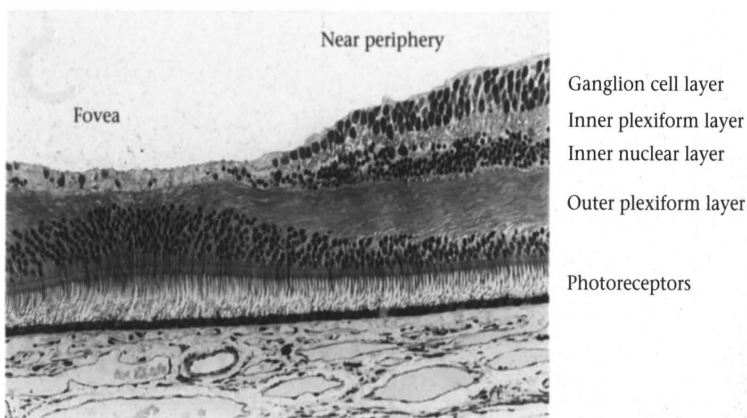


Imagen 16 → Imagen donde apreciamos los fotorreceptores.

En la imagen de la izquierda observamos una imagen en la que el epitelio pigmentario abajo y el vítreo arriba. Podemos apreciar todas y cada una de las capas en la retina y se distingue claramente como

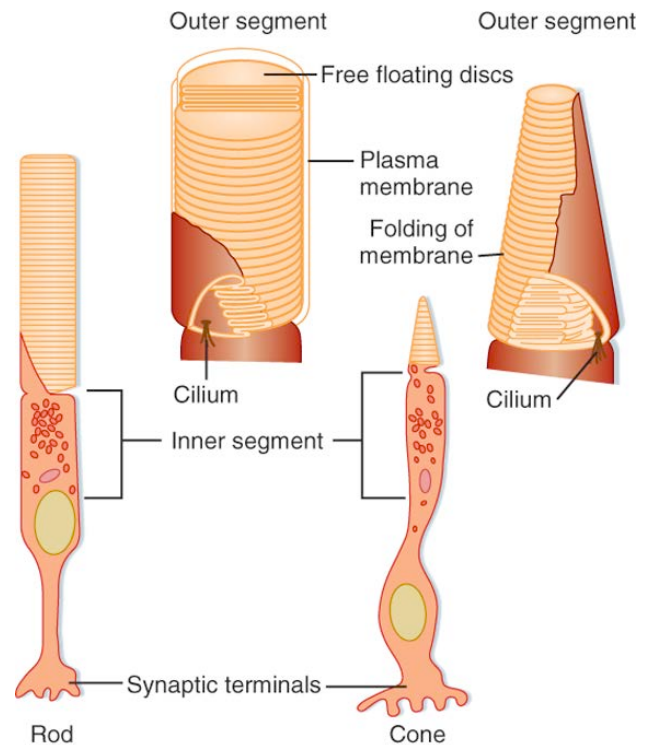
en la fovea, se adelgaza el grosor de la retina y desaparece o se ordena de otra manera las demás capas.

Histológicamente, los fotorreceptores presentan 3 partes diferenciadas: el segmento externo, el segmento interno y la terminación sináptica.

El segmento externo está formado por repliegues en forma de pilas de monedas de la propia membrana plasmática que contienen fotopigmentos. Esta membrana está siempre perpendicular a la luz. Su porción más externa está en contacto con el epitelio pigmentario de la retina que fagocitan el continuo desprendimiento de sus discos. Es el segmento metabólicamente más activo.

Este segmento externo está conectado con el núcleo y con el segmento interno a través de una zona muy estrecha (cilio) y al final hay una terminación sináptica que establece conexiones con las células bipolares y horizontales. Las organelas celulares se establecen en el segmento interno.

Imagen 17 → Esquema de las tres partes de los fotorreceptores.



8. PROCESO DE FOTO-TRANSDUCCIÓN

El segmento externo es el sitio donde tiene lugar el estímulo luminoso y la foto-transducción. Todo lo que permite modificar el potencial de membrana para que el fotorreceptor dé una señal eléctrica a la bipolar ocurre en el segmento externo. Aquí es donde tiene lugar la transducción de la energía luminosa en una modificación del potencial de membrana.

La luz tiene que conseguir que se abra o se cierre el canal. Hemos de conseguir que a través de la modificación producida por un fotón, ocurra algo que abra o cierre un canal iónico en el fotorreceptor para que se modifique su potencial de membrana y eso sea inteligible por los neurotransmisores y su pie sináptico y se libere ó no se libere neurotransmisor y haya o no haya sinapsis.

En el segmento externo tan sólo nos encontraremos con la membrana apilada de esta manera y es verdad que luego en el segmento interno nos encontraremos el resto de cosas (organelas).

Es muy importante la conexión entre el segmento externo y el epitelio pigmentario porque no están superpuestas. Podemos decir que el fotorreceptor se mete dentro o entre las células del epitelio pigmentario que rodean el segmento externo.

El hecho de que lo rodeen, implica muchas cosas. En primer lugar, lo renuevan, lo fagocitan. El segmento externo está permanentemente renovándose, el segmento externo se fagocita y el fotorreceptor que no muere, genera nuevos trozos de membrana (pilas de monedas). Esta célula tan noble, tan diferenciada, tiene una actividad sintética de proteínas muy importante para recomponer esa parte externa de la membrana que el pigmentario se encarga de eliminar cuando está obsoleta.

La relación entre epitelio pigmentario y fotorreceptor es metabólicamente muy intensa. Sin epitelio pigmentario no hay visión, es tan importante, como que en el desprendimiento de retina lo que nos ocurre es que los fotorreceptores se “desenchufan” del epitelio pigmentario. Aquel lugar en el que no hay conexión entre fotorreceptor y epitelio pigmentario NO hay visión.

Esta membrana del segmento externo es el secreto de la visión, porque va a recoger el fotón y va a cambiar su conformación. Cuando llega el fotón, lo que hacemos es cambiar una molécula de forma, cuando esa molécula cambia de forma, es capaz de hacer otras cosas que antes no hacía. Es capaz de activar o inhibir otras proteínas y con ello hemos conseguido la modificación necesaria para que a través de una cascada larga de cosas acabe modificándose el potencial de membrana.

Todo esto se lleva a cabo por supuesto, gracias también a la sensibilidad de los fotopigmentos a la luz. Los bastones tienen una versión del fotopigmento rodopsina que es 20 veces más sensible a la luz que los fotopigmentos de los conos sensibles al color. La rodopsina es una proteína compleja que tiene dos partes: un grupo protético y una secuencia aminoácida. El fotopigmento es la proteína compleja y el elemento fotosensible es el elemento protético.

Tendremos en la rodopsina a la proteína opsina por un lado y a su grupo prostético que es el retinal (forma aldehídica de la vitamina A). La administración de precursores de vitamina A mejora la visión nocturna, que está mediada por los bastones.

El elemento sensible a la luz por lo tanto, es el retinal. Este posee básicamente dos formas que nos interesan: el 11-cis retinal y su isómero que tiene el mismo enlace pero en posición trans y se denomina All-trans retinal.

El desplegamiento en el carbono 11 de la posición cis a la posición trans de la cadena lateral (4 carbonos) hace que el espacio que ocupa el grupo prostético dentro de la opsina, obligue a un reajuste de la proteína.

Cuando recolocamos todo esto en la proteína, la proteína cambia obviamente de conformación. Conseguir que el 11-cis pase a All-trans se consigue por acción de un fotón.

Imagen 18 → Moléculas de 11-cis retinal y All-trans retinal.

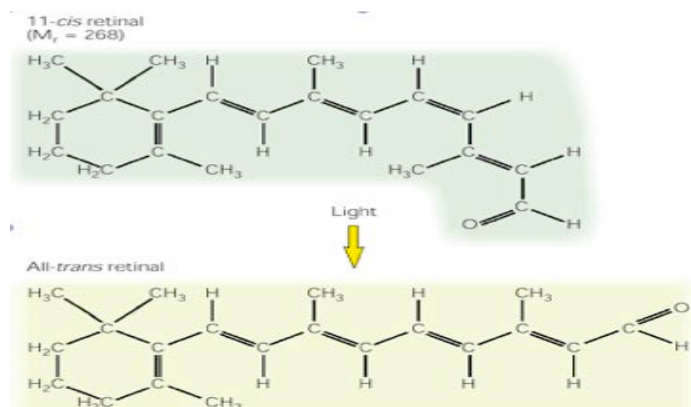
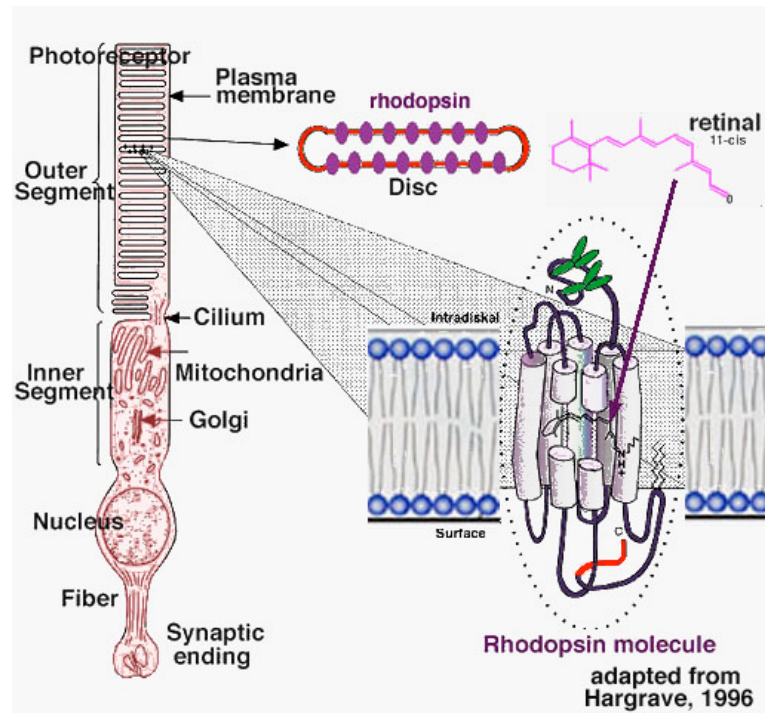


Imagen 19 → Esquema de un bastón donde apreciamos la rodopsina.

La rodopsina es una proteína transmembrana con 7 dominios intramembranarios y donde se coloca, dentro de esa proteína se coloca el retinal. La reestructuración de la proteína que ya hemos mencionado con anterioridad desencadena una serie de reacciones metabólicas y eso es lo que acabará modificando la permeabilidad de la membrana.



La luz actúa sobre la rodopsina, cuando esta cambia su conformación, es capaz de activar a otra proteína que está en esa membrana y se llama transducina. Esa transducina es capaz de activar a la fosfodiesterasa que en general es la encargada de la degradación de los nucleótidos cíclicos. Si activamos la fosfodiesterasa, lo que hacemos es degradar GMP cíclico (que hay en abundancia en el fotorreceptor) a GMP. Cuando degradamos GMP cíclico en cantidad, el canal iónico GMP cíclico dependiente (se puede apreciar en la imagen inferior), cuando le quitamos GMP cíclico se cierra. Al cerrarse un canal de Na^+ y Ca^{++} , el potencial de membrana se hiperpolariza debido a que el fotorreceptor es el único receptor que se activa hiperpolarizándose.

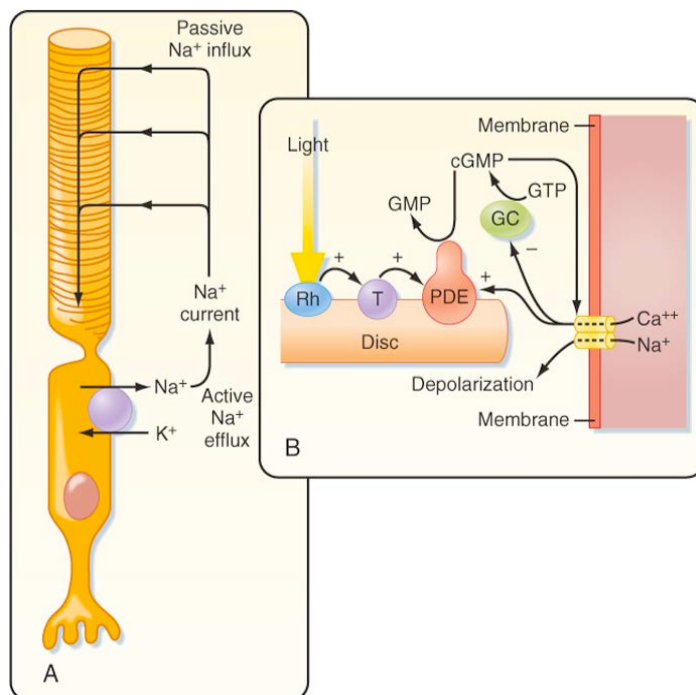


Imagen 20 → Proceso de fototransducción.

En la oscuridad tendremos una corriente de Na^+ que estará permanentemente entrando porque el canal está abierto. Tendremos por lo tanto una entrada de Na^+ permanente lo cual ocasionará un potencial relativamente alto, poco negativo. Cuando llega la luz, bruscamente se cierra el canal y el potencial de esa célula se hace más negativo (se hiperpolariza).

Por lo tanto diremos que en la oscuridad tendremos una despolarización con una liberación de neurotransmisores muy intensa. En el caso de la iluminación tendremos una hiperpolarización por pura disminución en la liberación de neurotransmisores a la siguiente neurona y el canal se cierra porque le falta el ligando.

La retinosis pigmentaria es una de las causas de ceguera más comunes.

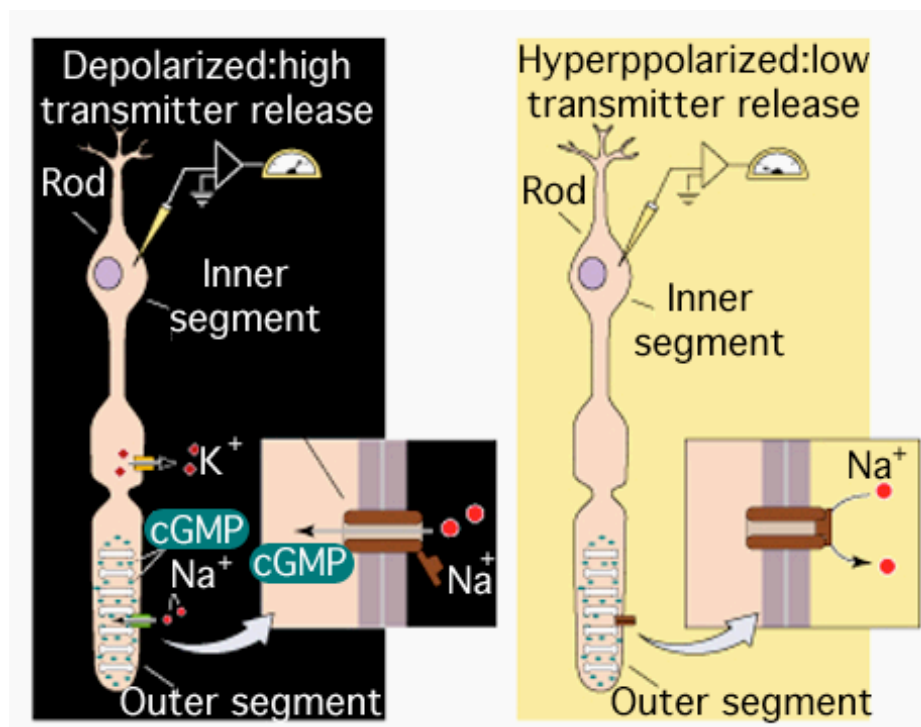


Imagen 21 → Observamos el funcionamiento del fotorreceptor en la oscuridad e iluminado.

El problema que nos surge ahora es que hacer con la rodopsina, ya que el 11-cis se ha transformado en All-trans. La reciclaremos mediante el ciclo de los pigmentos visuales. Llega un fotón que es capaz de transformar ese 11-cis en All-trans y una vez sucedido eso y activada la transducina y todo el proceso de la visión, de la transducción lo que necesitamos para no perder la proteína es descomponer. El trans-retinal sale del fotorreceptor al espacio intercelular entre el fotorreceptor y el epitelio pigmentario, donde encontraremos una proteína que fija es trans-retinal y lo incorpora al epitelio pigmentario. En el epitelio pigmentario hay una isomerasa, una enzima que no consume energía y que devuelve al trans-retinal a su forma auténtica. Una vez esa isomerasa (que solo se expresa en el epitelio pigmentario) forma de nuevo 11-cis hemos de mandárselo de nuevo al fotorreceptor para que lo incorpore a su molécula de opsina para formar nueva rodopsina.

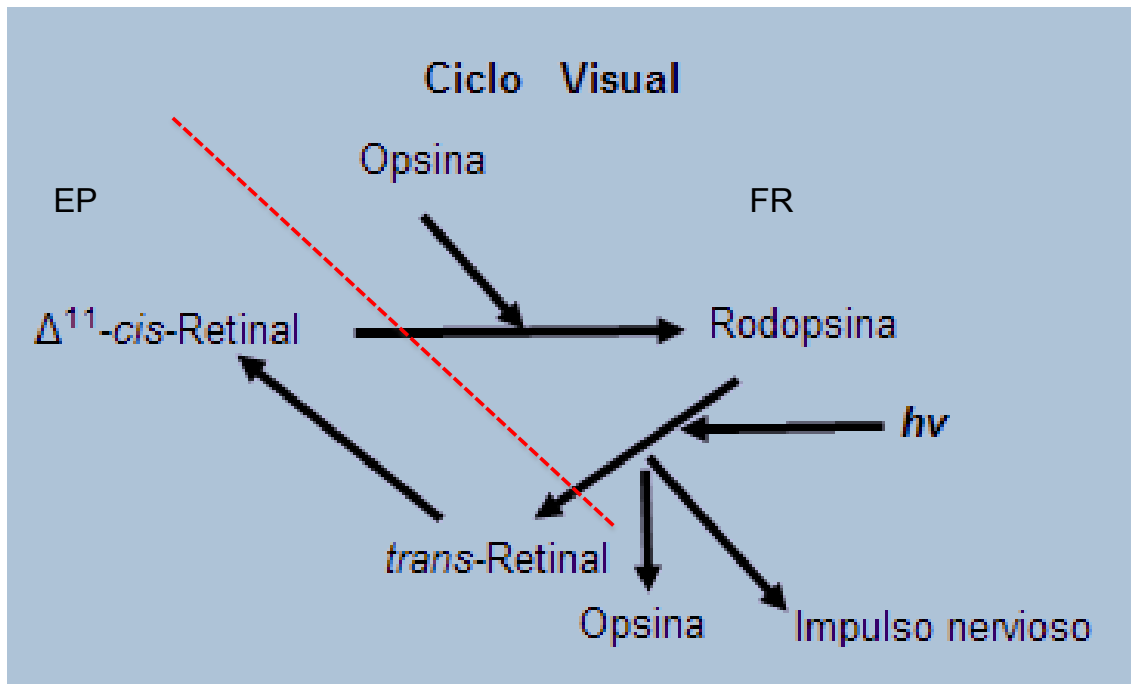


Imagen 22 → Ciclo visual mediante el cual vemos todo el proceso de creación de una nueva rodopsina.

Esta reacción de la que hemos hablado es lenta y puesto que la sensibilidad de los bastones está en relación con la cantidad de cis-retinal disponible, tarda tiempo en hacerse sensible a la luz. Esto explica la necesidad de un tiempo de adaptación a la oscuridad. A los 10 minutos de adaptación a la oscuridad ya se ha recuperado una cantidad considerable de rodopsina en los bastones de la retina. Es necesaria al menos una hora para recuperar toda la rodopsina de los bastones de la retina.

Los conos contienen también pigmentos, pero la sucesión de reacciones no es tan bien conocida como los bastones. Una diferencia importante con los bastones es que los fotopigmentos de los conos son menos sensibles a la luz que los de los bastones. Sin embargo, esta menor sensibilidad se compensa con una mayor rapidez y con el hecho de que el sistema de visión que poseemos, que es dual, usa los conos para ver de día y los bastones para ver de noche.

Como ya hemos mencionado antes, los conos son los responsables de la visión en color. La opsina de los conos es diferente, se codifica por tres genes distintos y son tres proteínas distintas, sin embargo si tienen el mismo grupo prostético (retinal).

La proteína absorbe luz a diferentes longitudes de onda y por lo tanto las proteínas que registren longitudes de onda largas, medias y cortas registrarán los tres fotopigmentos característicos de los conos (rojo, verde y azul respectivamente). Los bastones sin embargo registran longitudes de onda entre el verde y el azul y son monocolors y por lo tanto la visión nocturna es en blanco y negro y la visión diurna es en color.

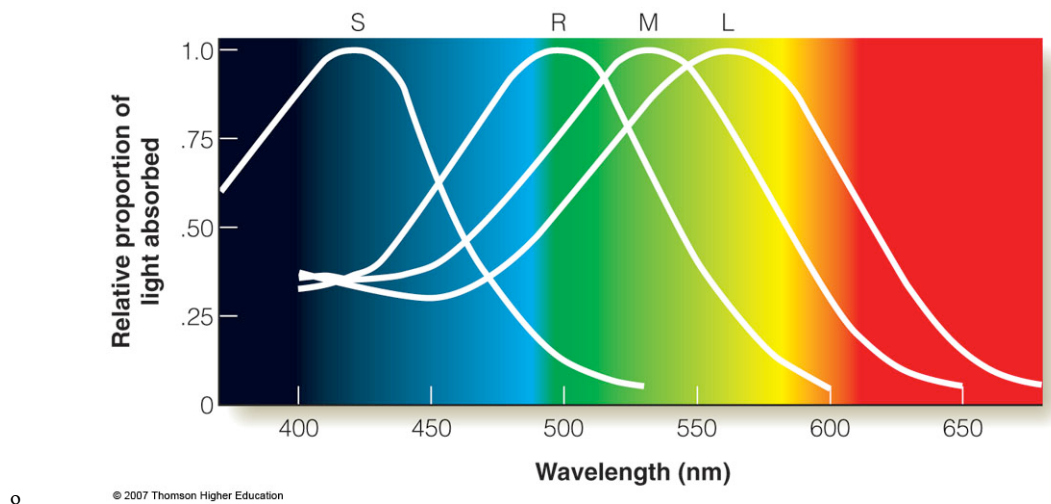


Imagen 23 → Espectro de absorción. Short = Azul; Medium = Verde; Long = Rojo

9. TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA RETINA

La retina no sólo transforma, sino que además se encarga de procesar la señal visual. Como ya hemos dicho, existen conexiones en vertical (fotorreceptor – bipolar – ganglionar) y conexiones en horizontal (células amacrinas y horizontales). El flujo informativo es vertical, desde el fotorreceptor hemos de llegar a la ganglionar cuyo axón es el nervio óptico. Sin embargo, a mitad de camino, aunque hay una transmisión vertical, las células horizontales conectan fotorreceptores muy separados en el espacio. ¿Para qué nos sirve esta unión de fotorreceptores a través de horizontales? Para la inhibición lateral. Necesitamos resaltar el contraste para saber donde acaba y empieza una cosa, saber que campo está iluminado y cual no. Para hacer esto, las horizontales y amacrinas lo que hacen es conectar en horizontal y eventualmente activar o inhibir para conseguir el efecto que queramos.

Además de traducir el fotorreceptor la luz en potencial de membrana, estamos procesando la señal. El fotorreceptor se hiperpolariza y lo que sale por la ganglionar es un tren de potenciales de acción.

Por lo tanto, las células horizontales establecen sinapsis conectando fotorreceptores y células bipolares y las amacrinas conectan ganglionares y bipolares. El proceso de transmisión de información está basado en mecanismos de hiper y despolarización ya explicados anteriormente.

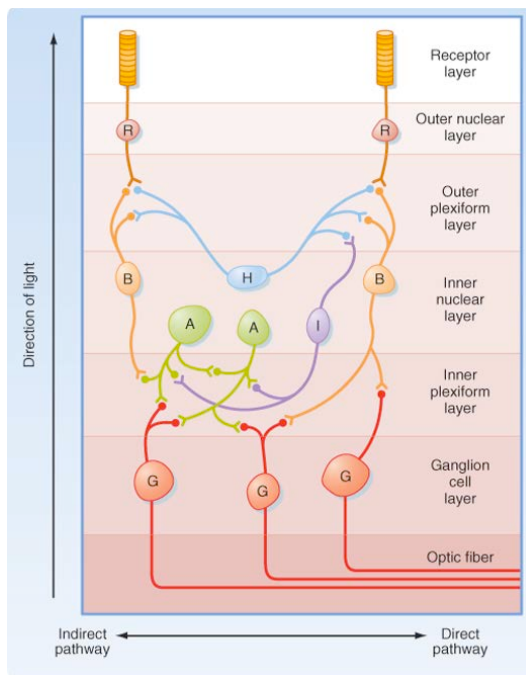


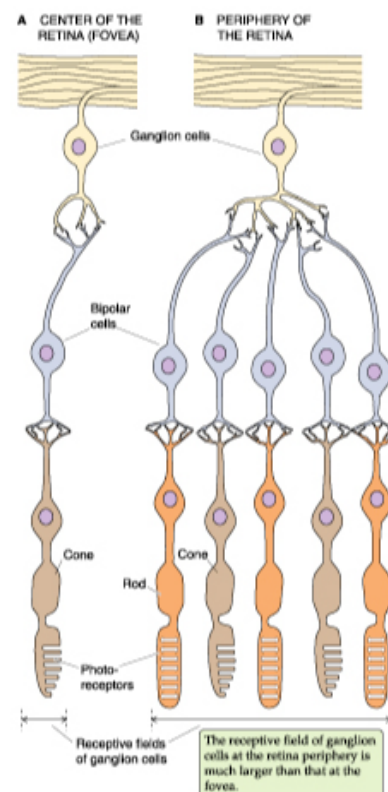
Imagen 24 → Esquema donde apreciamos claramente las conexiones verticales y horizontales.

La circuitería de la retina es muy compleja. Los fotorreceptores tienden a enviar su información a las ganglionares. Una ganglionar no se corresponde normalmente con un solo fotorreceptor salvo en la mácula. En la retina periférica, la convergencia de muchos fotorreceptores sobre una ganglionar es prácticamente obligatoria. La convergencia macular es 1, es decir, un fotorreceptor va a una ganglionar y eso nos permite la discriminación de los puntos (agudeza visual).

Si cuantificamos la superficie cortical dedicada a la visión primaria (corteza visual primaria) y le damos un valor de 100, el 50 % de la superficie cortical es para la mácula y todo lo demás se lleva el resto del 50%. La topografía cortical de lo que se ve en la retina está preservada, pero hay un mecanismo de amplificación enorme de lo que la mácula está viendo y lo que la corteza occipital está interpretando de lo que viene de la mácula.

Las células horizontales son para la plexiforme externa en su mayoría y las amacrinas para la plexiforme interna.

Imagen 25 → Esquema donde apreciamos la convergencia casi nula de fotorreceptores en la mácula (A) y la convergencia múltiple de fotorreceptores sobre una ganglionar que se da en la periferia de la retina.



10.CÉLULAS GANGLIONARES DE LA RETINA

Todas las células del sistema visual tienen un campo receptor, que es el área del campo visual en el que el estímulo visual afecta la actividad de esa célula.

Este campo receptor que será el territorio físico de la retina que depende de una ganglionar será muy grande en la periferia y el campo receptor de una ganglionar macular será muy pequeño.

Que el campo receptor sea pequeño significa que en ese pequeño espacio de tiempo, todo lo que pase lo veremos. Los campos receptores grandes por lo tanto discriminan poco.

En la fovea tenemos un número finito de células que está alrededor de 35000 células ganglionares por mm^2 , a medida que nos alejamos hacia la periferia su densidad va disminuyendo.

Todas las células del sistema visual tienen su propio campo receptor. Podremos hablar por lo tanto del campo receptor de un fotorreceptor que será la superficie de retina de la que dependa dicho fotorreceptor y que cuando ilumino, se ilumina dicho fotorreceptor. El campo receptor de la ganglionar será el sumatorio de los campos receptores de los fotorreceptores.

Los campos receptores de las células ganglionares de la retina son circulares. La estimulación de su parte central produce el efecto contrario que la estimulación de su parte periférica. Según este comportamiento se dividen en células centro-ON y centro-OFF.

La iluminación completa del campo receptor de las células de centro ON y OFF, producen cambios mínimos en la actividad de la célula debido a que se neutralizan los efectos del centro y la periferia.

La estructura de campo receptor recibe el nombre de antagonismo centro-periferia.

A continuación explicaremos algunos ejemplos de esto. Cuando iluminamos con una linterna o con un haz de luz de tamaño suficiente como para que no se disperse y se salga del centro, lo que vemos es que cuando la iluminación llega al centro, aquello “dispara” más (despolarización). Si ilumino la periferia del campo receptor y resulta que durante la iluminación salen menos potenciales (hiperpolarización) significa que estamos ante un campo centro-periferia de periferia OFF.

Al contrario, si iluminásemos el centro los potenciales de acción decaen mientras que al iluminar la periferia se “enciende” el campo estaríamos ante un campo centro-periferia de centro OFF.

¿Podríamos en lugar de iluminar una parte, iluminar todo el centro? Si, y entonces la frecuencia de disparo es mayor y más duradera que antes. Podemos ajustar y reconocer el tamaño de la luz en función que estemos en todo el campo o en una parte de este. Si lo que iluminamos es la periferia (poniendo un taponcito para que el centro quede apagado) en un campo centro-periferia de periferia OFF, este campo se apagaría del todo y durante más tiempo (iluminación anular). Se puede cuantificar la intensidad o la superficie iluminada.

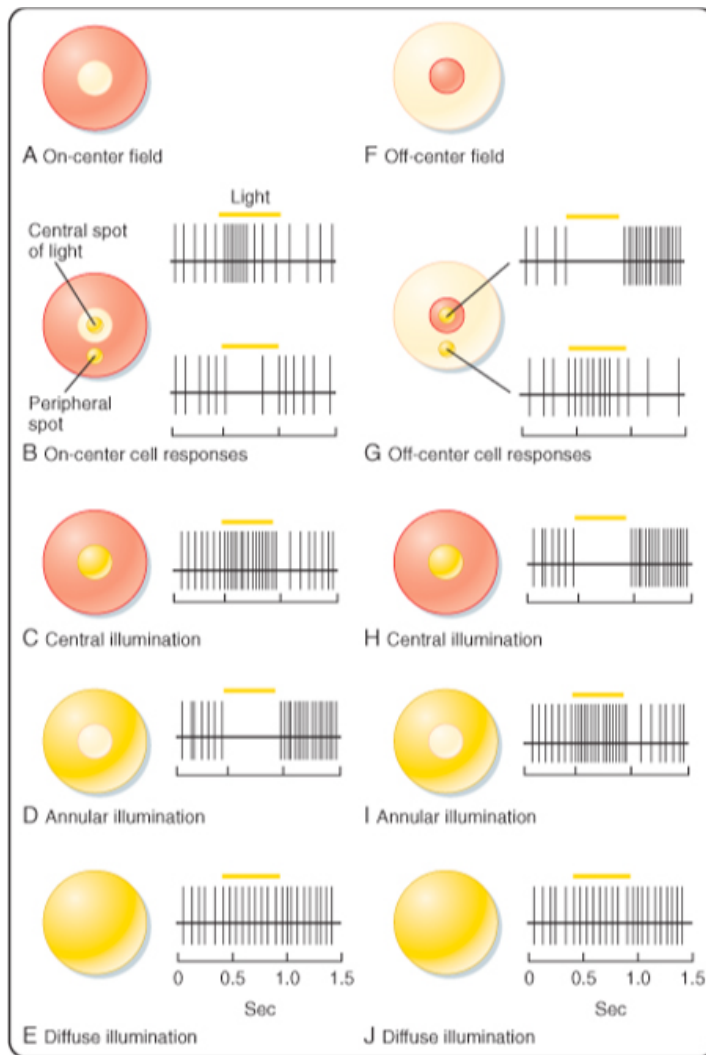


Imagen 26 → En esta imagen apreciamos todos los ejemplos antes mencionados. A la izquierda encontramos un campo centro-periferia de periferia OFF o de centro ON y a la derecha un campo centro-periferia de periferia ON o de centro OFF. Bajo de los dibujos A y F están todas las variables que hemos comentado anteriormente y como cada una afecta a los potenciales de acción.

El tamaño de los campos receptores de las células ganglionares es variable. Las que se localizan en la fovea tienen un campo receptor más pequeño que las que se localizan en la periferia. Cuanto más pequeño es el campo receptor, mayor es la frecuencia espacial de contraste que puede discriminar las células.

A continuación describiremos la imagen 27 que encontraremos más abajo. Un fotorreceptor puede unirse a dos bipolares y este siempre va a hiperpolarizarse. En el caso de la parte izquierda de la imagen, la bipolar de centro OFF al iluminar el fotorreceptor se hiperpolariza. La ganglionar que ya traduce potenciales, deja de disparar. Si nos vamos ahora a la bipolar derecha que es de centro ON, esta hiperpolarización del receptor al iluminarse provocará en la bipolar una despolarización, que en su ganglionar se traduce en un aumento de la frecuencia de disparo. Lo que sale de la retina y lo que va por el axón de la ganglionar es este procesamiento. Con esto vemos que es relativamente sencillo si queremos dotar a una célula de una característica ON u OFF, podemos perfectamente hacer que el mismo fenómeno del fotorreceptor responda de manera distinta.

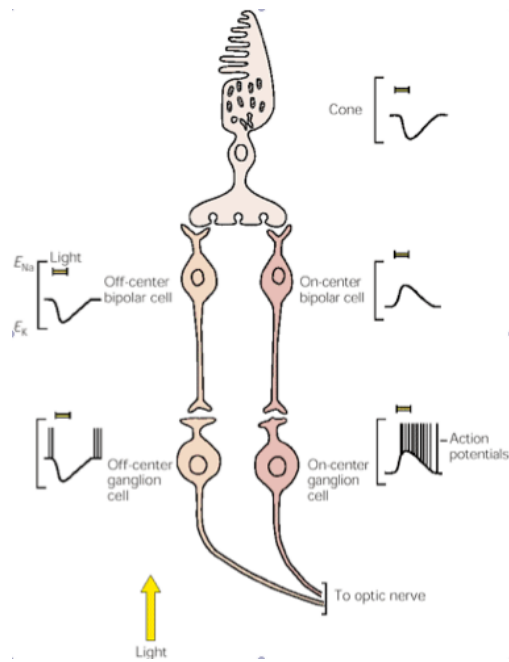


Imagen 27 → Imagen de un fotorreceptor unido a dos bipolares. Una de centro OFF y otra de centro ON.

11. VÍA GENICULO-CORTICAL

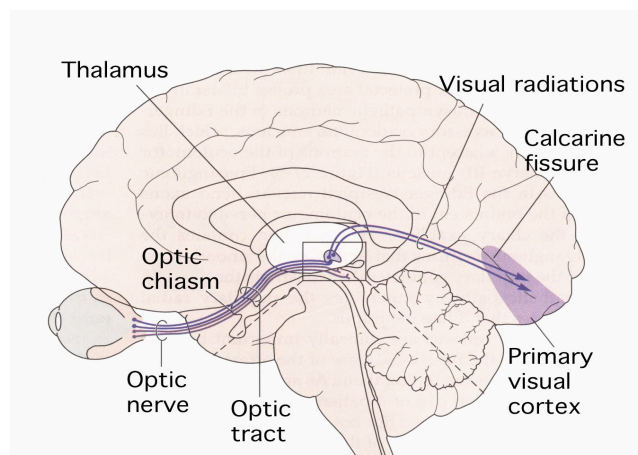
Los axones de las células ganglionares de la retina llegan al cuerpo geniculado lateral (CGL) que se localiza en el tálamo. El geniculado sigue con el procesamiento, hay otro relevo sináptico. Con este sería el tercero, si repasamos tenemos fotorreceptor-bipolar, bipolar-ganglionar y el geniculado y aún no hemos llegado a la corteza.

De aquí, las células envían sus axones a la corteza occipital (corteza estriada, área 17) por la vía genículo-cortical o también llamada radiaciones ópticas. El geniculado tiene una estructura donde las células se agrupan en 6 capas o láminas. Las capas más anteriores 1 y 2 contienen células de soma más grande o magnocelulares. Las capas posteriores 3, 4, 5 y 6 contienen células de menor tamaño y se llaman parvocelulares. Las fibras de cada hemirretina temporal terminan en las capas 2, 3 y 5, en tanto las de la hemirretina nasal en las capas 1, 4 y 6.

Los campos receptores de las células del geniculado tienen propiedades similares a las de las células ganglionares de la retina. Son campos circulares con antagonismo centro-periferia ON-OFF.

Resumiendo encontramos el nervio óptico, relevo en el tálamo en el cuerpo geniculado y por las radiaciones ópticas o por la vía genículo-cortical llegamos a la corteza visual primaria que es la que se encarga de recibir directamente y topográficamente las señales de la retina.

Imagen 28 → Esquema de la vía genículo-cortical.



SISTEMA PARVO Y MAGNOCELULAR

El sistema magnocelular (capas 1-2) está relacionado con la visión en profundidad (esteropsis) y el movimiento de los objetos. Se inicia en las células ganglionares P-alfa. El sistema parvocelular (capas 3-6) está relacionado con la percepción de la forma y el color de los objetos. Se inicia en las células ganglionares P-beta.

Aunque lo que se ha proyectado en una zona de la retina ya se ha traducido y se ha transformado en potenciales de acción, estos que vienen localizados en la porción donde se ha estimulado se dividen para la información forma-color y para la información profundidad-movimiento, aunque vengan del mismo sitio.

Muy cerca del geniculado encontramos los núcleos pretectales y el colículo superior. Toda la información que llega a los pretectales y al colículo superior nos va a ser de mucha utilidad para otras respuestas como las motoras oculares.

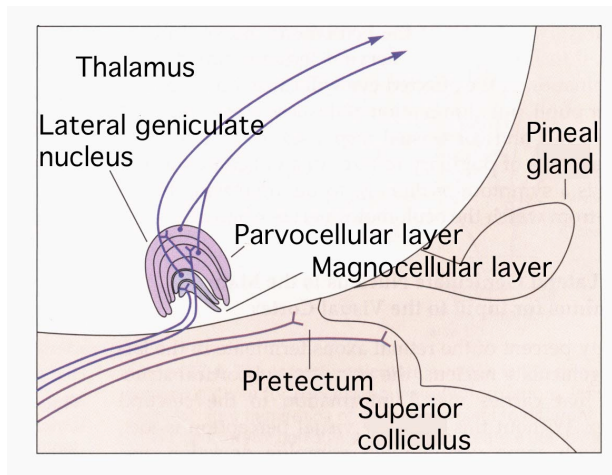


Imagen 29 → Imagen donde apreciamos las capas de geniculado.

12. CORTEZA VISUAL

El quiasma óptico semidecusa la retina, solo se decusan las retina nasales, las retinas temporales no se decusan. Con esto conseguimos que en el geniculado izquierdo vayamos a ver todo lo que pasa en el hemicampo visual derecho y en el geniculado derecho vamos a ver todo lo que ocurre en el hemicampo visual izquierdo. La semidecusación de la retina, lo que hace es concentrar el hemicampo visual externo a nosotros en el hemisferio contralateral.

Los axones de las células del geniculado llegan a la corteza estriada o V1 que está subdividida en capas de la I a la VI desde la superficie a la sustancia blanca. Las fibras del geniculado establecen sinapsis principalmente con células de la capa IV, que a su vez emiten axones hacia capas superiores e inferiores.

La información fluye a través de la corteza verticalmente conformando lo que se conoce como organización funcional columnar cortical.

En la corteza, en lo que serían columnas de orientación, nos encontraremos siempre columnas que son responsables de la visión contralateral y de la visión ipsilateral. En el lado izquierdo tengo información del ojo derecho y del ojo izquierdo (porque hemos decusado la retina nasal pero no la temporal). Siempre en cualquier hemisferio tendré información contralateral e ipsilateral.

A continuación explicaremos la imagen que aparecerá debajo. Si introducimos color como estímulo, nos encontraremos que los campos receptores de las neuronas sensibles al color además pueden responder de manera distinta dependiendo de la posición en la que se encuentre el cono dentro del campo. Durante el tiempo que dure un estímulo ya sea rojo aislado, verde aislado, dos rojos con centro sin estímulo, dos verdes con centro sin estímulo o dos verdes confrontados a un rojo o dos rojos confrontados a un verde que en un campo receptor rectangular (como es el que tienen las neuronas corticales, de tamaños variables pero siempre menores en el centro que en la periferia del campo visual) nos encontramos que las respuestas pueden ser todo lo variadas que apreciamos en la imagen. Seguimos procesando la visión.

En las columnas de orientación es donde se organizará la información de forma sobretodo y de color en función de un ojo y del contralateral.

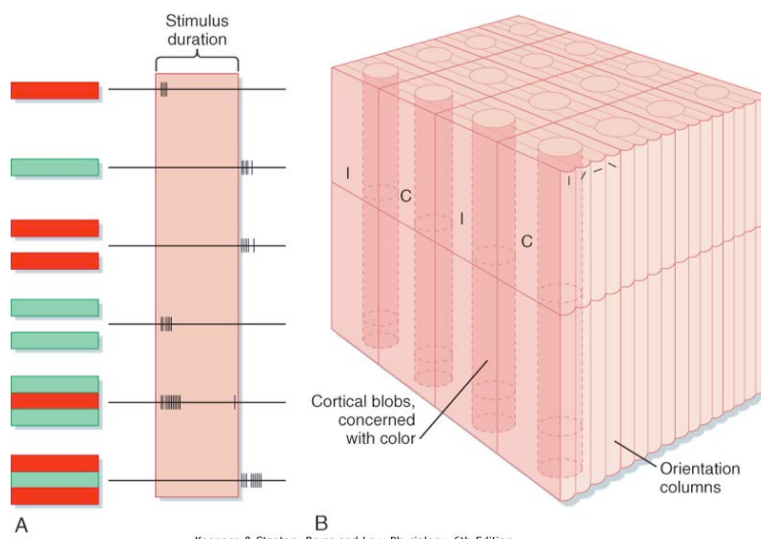


Imagen 30 → Imagen explicada anteriormente donde observamos las columnas de orientación.

Desde el punto de vista funcional hay 3 tipos de células: simples, complejas e hipercomplejas. Se clasifican así en función de sus características del campo receptor.

- **Células simples** → Dentro de su campo receptor tienen áreas ON y OFF separadas.
- **Células complejas** → Dentro de su campo receptor tienen áreas ON y OFF mezcladas.
- **Células hipercomplejas** → Presentan respuestas más elaboradas que las anteriores.

El estímulo óptimo para las células corticales son las barras rectangulares. La orientación y la dirección del movimiento de estos estímulos es crítica para producir respuestas celulares. Las células que son sensibles a una misma orientación se agrupan en columnas en la corteza, conformando estructuras funcionales llamadas columnas de orientación (antes mencionadas).

A los tres tipos de células anteriormente mencionados, hemos de añadirle las células binoculares, es decir, responden a la estimulación de los dos ojos.

Otro tipo de estructura que se observa dentro de la corteza visual son las columnas de dominancia ocular. Hay diferentes grados de dominancia ocular en función del efecto que la estimulación de cada ojo tiene sobre la respuesta celular. Desde las células puramente monoculares hasta las puramente binoculares, en las que la estimulación de un ojo produce el mismo efecto que la del otro ojo.

Las células corticales se agrupan en función de su sensibilidad a la orientación y también en función de la dominancia ocular.

CORTEZA EXTRAESTRIADA

Una vez hemos terminado el procesamiento dentro de la corteza visual primaria, las células de la corteza visual primaria proyectan radiaciones hacia otras áreas corticales denominadas áreas visuales extra-estriadas. En estas áreas se recibe información adicional muy importante para la formación de la imagen. Son áreas de organización muy compleja. En todas estas áreas está representado parte o todo el hemisferio visual contralateral de ambos ojos.

- ❖ Aquí deberían ir una imagen pero una no me deja colocarla porque tiene líneas encima que se desbaratan al ponerlo en el Word. La imagen corresponde a la diapositiva 75 (por si os interesa y eso).

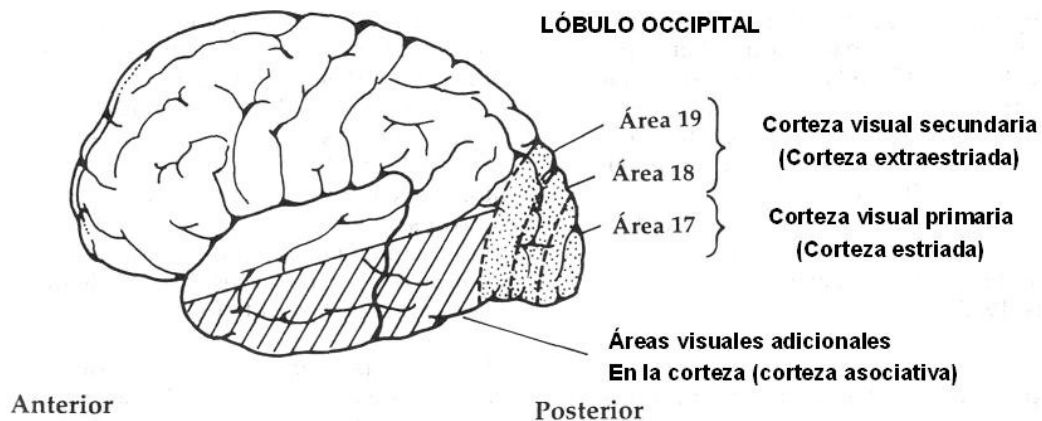


Imagen 31 → Imagen donde localizamos las áreas visuales primaria, secundaria y las adicionales.

VÍA EXTRAGENICULADA

A medida que se asciende en la escala filogenética, el porcentaje de fibras dedicadas a la vía genículo-estriada se incrementa con respecto a las dedicadas a la vía extrageniculada.

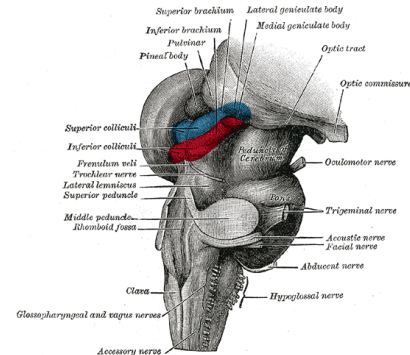
La mayor parte de las fibras retinianas pertenecientes a la vía extrageniculada va al colículo superior.

COLÍCULO SUPERIOR

Se localiza en el mesencéfalo. Está organizado en capas. Las capas superficiales reciben fibras de la retina, pero las medias y profundas no solo de la retina sino de otros sistemas sensoriales como el auditivo, somatosensorial...

Imagen 32 → Imagen del colículo superior.

Su función es la coordinación visuomotora. Es aquel que distribuye la tarea para ir al control visuomotor. Interviene en la integración de varias modalidades sensoriales y coordina los movimientos de los ojos, cabeza y cuerpo.

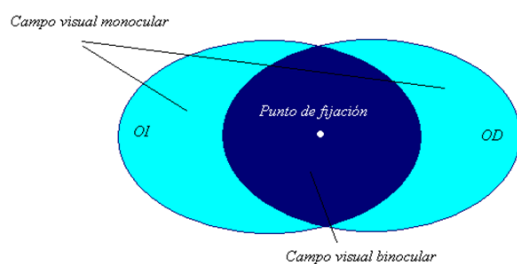


13.CAMPO VISUAL

El campo visual es la porción del espacio que el ojo es capaz de ver. Cuando mantenemos el punto de visión fijo en un sitio podemos explorar la percepción del sujeto. Diferentes enfermedades oftalmológicas o cerebrales pueden ocasionar una disminución de su amplitud.

El campo visual humano “normal” se extiende 60° nasal, 90° temporal, 60° superior y 70° inferior.

Las fibras procedentes de la retina guardan siempre una clara relación anatómica determinando una representación organizada del campo visual. La mancha ciega es algo fisiológico que es la parte del campo visual correspondiente al disco óptico o papila. Los puntos ciegos del campo visual distintos a la mancha ciega, son patológicos y se llaman escotomas.



Una persona mirando de frente y sin apartar la vista de un punto podría tener el siguiente campo visual, alcanzando los 90° lateralmente, los 60° hacia arriba y los 75° hacia abajo.

Imagen 33 → Campo visual normal de una persona.

Como podemos apreciar en la imagen de la izquierda, tenemos una porción binocular y dos porciones monoculares.

Las fibras de las hemirretinas

nasales se decusan en el quiasma. El área visual de un hemisferio aparece representada en el hemicampo visual contralateral. Esta preservación topográfica el campo visual permite determinar con exactitud la localización de lesiones cerebrales que afectan a la vía óptica.

Si la lesión se da en el nervio óptico, provocará la ceguera del ojo afecto. Sin embargo si se produce en el quiasma (al presionar sobre este) la lesión es de lo que se está decusando, es decir, se pierden las dos nasales y vemos solo los campos temporales.

Esto se conoce como hemianopsia bitemporal. Una lesión en el tracto óptico causaría una hemianopsia homónima.

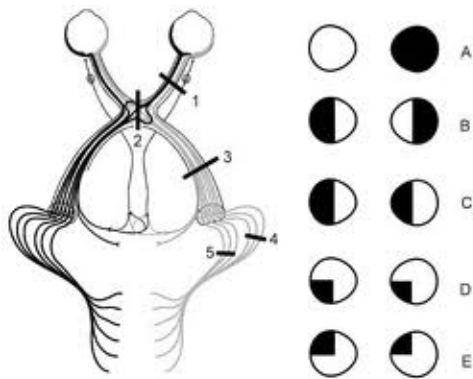


Imagen 34 → El dibujo A representa una lesión en el nervio óptico, el B una lesión en el quiasma y por lo tanto es una hemianopsia bitemporal. El dibujo C representa una lesión en el tracto óptico conocida como hemianopsia homónima. (Si queréis apreciarlo mejor, en el power en la diapositiva 82 hay una imagen con estas afecciones representadas con una imagen real).

14. NERVIO ÓPTICO (DE ESTO PASÓ POR COMPLETO)

Los axones que conforman el nervio óptico se originan en la capa ganglionar de la retina. Desde allí, estos axones convergen en el disco óptico (papila óptica), que está a 2-4 mm del centro de la retina. Las fibras mielínicas del nervio óptico están cubiertas de oligodendrocitos, por lo que pueden compararse a un tracto dentro del sistema nervioso central.

El nervio óptico deja la cavidad orbitaria a través del canal óptico para unirse con el nervio contralateral y conformar el quiasma óptico.

15. QUIASMA ÓPTICO (Y DE ESTO)

El quiasma óptico se encuentra junto a la unión del piso y pared anterior del tercer ventrículo. Sus ángulos anterolaterales se continúan con los nervios ópticos, mientras los posterolaterales se continúan con los tractos ópticos. El quiasma óptico representa el punto donde las fibras de la hemirretina nasal de cada ojo (incluyendo las fibras de la hemimácula nasal) cruzan la línea media para continuar su recorrido por el tracto óptico contralateral. Por otra parte, las fibras de la hemirretina temporal junto a las fibras de la hemimácula temporal entran al tracto óptico ipsilateral.

16. PARTES DEL GLOBO OCULAR (Y DE ESTO TODAVÍA MÁS)

- **Capa externa →** Esclerótica (blanca y opaca con función protectora), córnea (transparente que permite el paso de la luz a través de ella) y conjuntiva.
- **Capa media →** Vasos sanguíneos que aportan la irrigación y nutrición del ojo. Se le denomina Úvea. La úvea se compone de iris, cuerpo ciliar y coroides. Cuerpo ciliar (produce el humor acuoso); el ligamento suspensorio del cristalino (zónula).
- **Capa interna →** Retina, donde están los fotorreceptores que captan la información visual y la llevan al nervio óptico.

17. LÍQUIDOS INTRAOCULARES

HUMOR ACUOSO

Es un líquido transparente e incoloro que llena la cámara anterior del globo ocular. Producido por el cuerpo ciliar

Desde este lugar pasa a la cámara anterior, a través de la pupila. Aquí, sube por delante de la cara anterior del iris y desciende por la cara posterior de la córnea.

La mayor parte drena del ojo a través de una malla trabecular ubicada en el ángulo esclerocorneal (canal de Schlemm). Una pequeña parte se filtra hacia atrás al vítreo, y luego a la coroides y la esclera posterior.

El humor acuoso es el responsable de la presión intraocular, cuyo valor normal oscila entre 8 y 21 mm Hg.

Permite mantener una forma y dimensiones constantes como requiere un sistema óptico. Función nutricia de estructuras avasculares, como la córnea y el cristalino, o poco vascularizadas, como la retina.

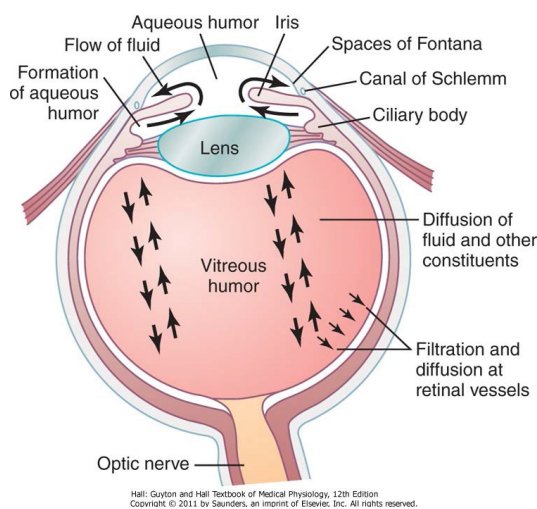


Imagen 35 → En esta imagen se aprecia perfectamente todo el proceso de creación y circulación del humor acuoso que hemos mencionado con anterioridad.

HUMOR VÍTREO (ESTO DIJO QUE LO LEYERAMOS)

Es un líquido gelatinoso y transparente que rellena el espacio comprendido entre la superficie interna de la retina y la cara posterior del cristalino, es más denso que el humor acuoso.

Ocupa cuatro quintas partes del volumen total del ojo y carece de vascularización.

Contribuye a mantener la forma del ojo y conseguir una superficie de la retina uniforme para que la recepción de imágenes sea nítida.

A diferencia del humor acuoso, el humor vítreo no se renueva. Sólo se forma durante la vida embrionaria. La acumulación de desechos pueden crear una sombra en la retina que aparentemente se desplaza a través del campo visual, esto se denomina miodesopsia o mosca volante. Cuando el humor vítreo se opacifica por alguna circunstancia por ejemplo una hemorragia vítrea o hemovítreo (diabético), se puede realizar una intervención quirúrgica conocida como vitrectomía. Mediante esta técnica el cirujano elimina el humor vítreo del ojo y lo reemplaza por una solución salina.

18. VISIÓN BINOCULAR

Los seres humanos tienen visión de frente y no lateralizada como los organismos inferiores.

Una imagen se proyecta en la retina de ambos ojos con la particularidad de que el punto de enfoque cae exactamente sobre ambas máculas; a esto llamamos visión macular simultánea.

Como la separación que existe entre ambos ojos hace que estas imágenes tengan alguna diferencia (por diferente ángulo de fijación), esta pequeña disparidad es el origen de la visión binocular estereoscópica o de relieve.

El cerebro participa para producir primero la fusión de las imágenes y luego la percepción de la esteropsis; de lo contrario aparecería diplopía o visión doble.

Consiste en la integración de las imágenes de ambas retinas en 1 sola, para que se perciban como una imagen única.

A medida que hemos ido evolucionando se ha producido una frontalización progresiva de los globos oculares.

Se ha aumentado el número de fibras nerviosas que desde el ojo se proyectan al cerebro.

Una ventaja sobre la visión monocular es la esteropsis o percepción en profundidad de las imágenes.

19. ESTEROPSIS

Para conseguir sensación de visión en profundidad no es estrictamente necesaria la visión binocular, ya que el sistema visual hace uso de referencias monoculares como las sombras, el tamaño y movimiento relativo de los objetos, la perspectiva, sensibilidad al contraste, orientación del estímulo visual, etc...

Sin embargo, bajo condiciones de VB la percepción visual mejora notablemente. A continuación hablaremos sobre una imagen que veremos más abajo.

Si observamos por la cartulina, tenemos ante nosotros dos niños de aproximadamente el mismo tamaño y un adulto separados en dos pasillos por una línea recta. Y al lado vemos que hay dos paneles verticales uno enfrente del otro. Cuando vemos esto en 2D observo al niño 1 de un tamaño y al niño 2 de un tamaño menor, pero como la línea paralela por la perspectiva nos está llevando a un punto supuestamente lejano, yo interpreto que los niños son iguales.

Sabemos que el panel 4 está delante del 5 porque el 5 está un trozo recortado por el 4. Podemos utilizar información bidimensional para que nuestro cerebro invente la profundidad.

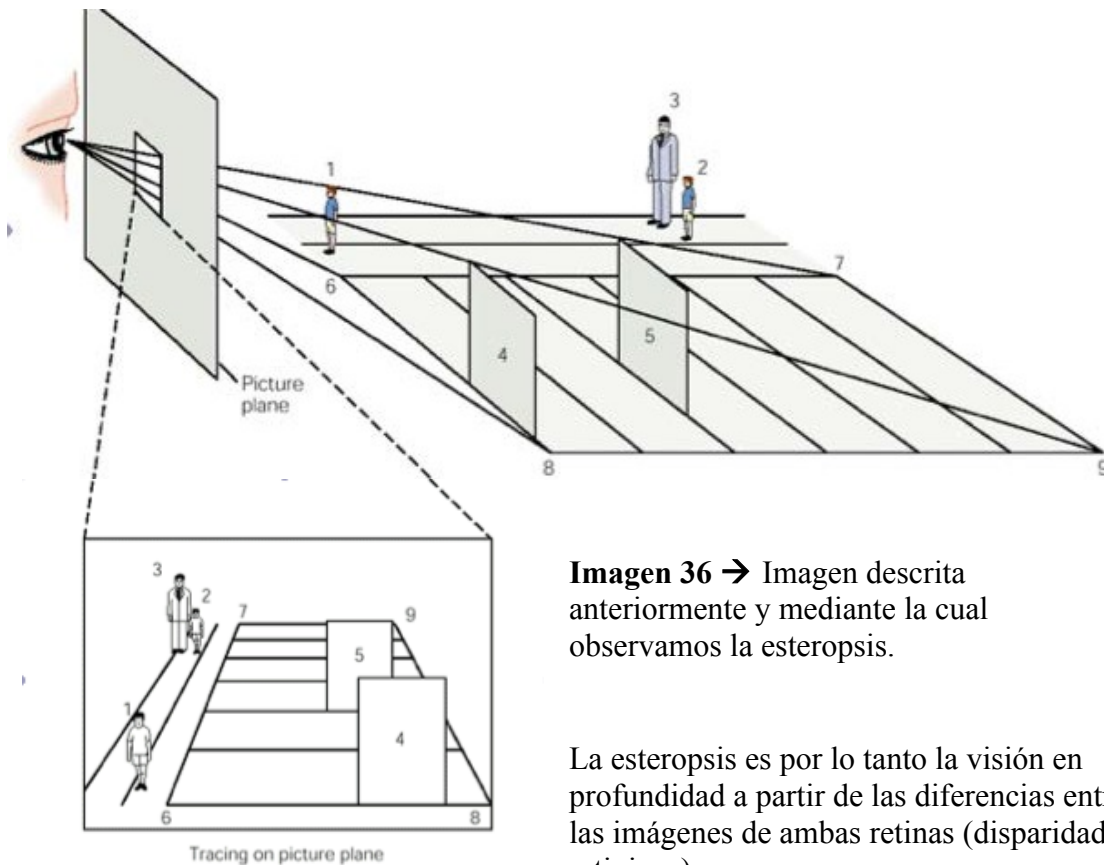


Imagen 36 → Imagen descrita anteriormente y mediante la cual observamos la esteropsis.

La esteropsis es por lo tanto la visión en profundidad a partir de las diferencias entre las imágenes de ambas retinas (disparidad retiniana), que aparecen como consecuencia

de la separación horizontal de los globos oculares.

Las disparidades pueden ser horizontales y verticales. Las H son las más importantes en la esteropsis. Las V por si solas no producen disparidad.

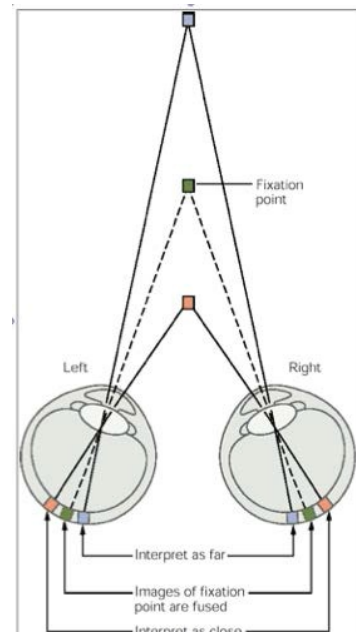
La VB no es innata, requiere maduración que se completa durante los primeros años de la infancia.

Existen enfermedades oculares como estrabismo que podrían alterar esta maduración visual.

Podemos utilizar dos procedimientos para interpretar la profundidad. El primero de ellos sería que si el objeto se aproxima convergeremos y el segundo es que si el objeto se aproxima pero nosotros no convergemos, seguimos mirando hacia delante, pero su proyección se desplaza en la retina a una discreta velocidad, se sale de la mácula. Esa discreta velocidad podemos calcularla por la velocidad de crecimiento de la imagen en la retina, cuanto más se acerca más grande es su proyección. Si no mirásemos al objeto, con mirar a otro sitio, la proyección también se desplaza hacia una posición más temporal por ejemplo si cruzamos una calle y no miramos a la derecha mientras viene un coche, al desplazarse este en nuestra retina a una posición temporal nos basta para saber que está en movimiento y acercándose.

Si somos nosotros los que movemos los ojos, entre 1000 m y 500m no hay alteración del ángulo. ¿Cómo puedo saber que se está acercando? Por el movimiento ocular, los propioceptores del huso nos informan de en qué posición se encuentra y por lo tanto a poco que se mueva el ojo, tenemos información permanente de los 6 músculos oculares.

Imagen 37 → En esta imagen queda de manifiesto lo que acabamos de explicar sobre el movimiento de los ojos cuando un objeto se aproxima.



20. CORRESPONDENCIA ANÓMALA, AMBLIOPIA Y DIOLOPIA (ESTO NI LO NOMBRO)

Cuando los ojos no están correctamente alineados los objetos se proyectan en puntos retinianos no correspondientes y puede aparecer la DIPLOPIA y CONFUSIÓN.

- **Diploia** → Visión doble, por percibir un mismo objeto en 2 puntos diferentes del espacio.
- **Confusión** → Percepción de 2 objetos diferentes en un mismo punto del espacio.

Cuando la desviación ocular se produce por estrabismo que comienza durante la infancia, la correspondencia anómala retiniana normal se altera y se suprime la imagen formada por el ojo desviado.

El desarrollo visual del ojo suprimido no se realiza de modo adecuado y aparece un déficit de agudeza visual.

El déficit visual causado por falta de desarrollo funcional del ojo de se denomina AMBLIOPIA («Ojo Vago»).

Su tratamiento consiste en un parche ocular en el ojo no desviado para restaurar la AV.

21. CONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN

Una vez tengo toda la información visual tengo que construir la imagen. En la construcción de la imagen además intervenimos nosotros con nuestra decisión, es decir, que quiero ver.

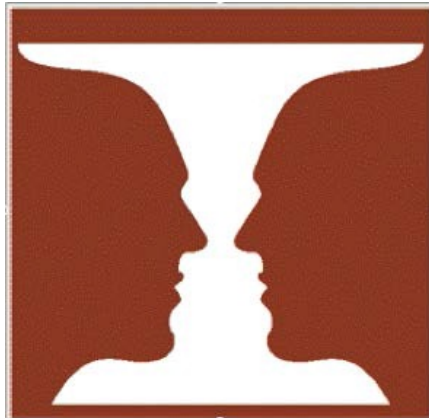


Imagen 38 → Imagen con dos imágenes en sí.

Si quiero ver en la imagen una copa veré una copa, y si quiero ver dos cara tendré que cambiar por completo el concepto. Si quiero ver las dos imágenes tendré que ir saltando de una a otra, no puedo verlas a la vez.

Si registrásemos el movimiento de los ojos, lo que veríamos es que estamos pasando de un objeto de interés a otro moviendo nuestros ojos de un lado a otro para poder atender a uno u otro. Más allá de la decisión de a que prestar atención, la segunda parte es que le falta a la imagen y lo pongo yo. De lo que falta en la imagen, el cerebro lo completa con ayuda de la memoria.

22. VISIÓN DE LOS COLORES (HABLÓ DEL DALTONISMO)

Sensación que aparece en los organismos más evolucionados y que está a cargo de los conos.

En la zona macular se observan los colores más brillantes dentro de la gama rojo-amarillo, mientras que en la retina periférica se perciben los azules.

La teoría más aceptada (Young-Helmholtz) o tricrómica explica los tres tipos de receptores para los colores principales: rojo, verde y azul.

Las alteraciones de alguno o de todos producen anomalías o falta de visión de los colores.

Pueden ser acromatopsias, que quiere decir falta de visión de los colores.

Discromatopsias (cegueras parciales a los colores) por ejemplo protánopes (al rojo), deuteránopes (al verde) y triptánopes (al azul).

Discromatopsias, pueden ser congénitas (rojo/verde o daltonismo) o adquiridas (por lo general no se percibe el azul/amarillo).

DALTONISMO

Discromatopsia congénita por faltar un grupo de conos receptores de color rojo/verde

Aparece en varones. Herencia ligada al cromosoma X

Se transmite de madre a hijo varón. La madre es portadora de daltonismo, pero no lo padece

8 % de las mujeres son portadoras.

Imagen 39 → Test de daltonismo.

