

I. INTRODUCCIÓN

En la Figura 10.1 se dibuja una sección transversal del ojo junto con la *cornea* y las *lentes* actúan como lentes de cámara. Ellas doblan los rayos de luz que entran por el ojo y los enfocan en la retina.

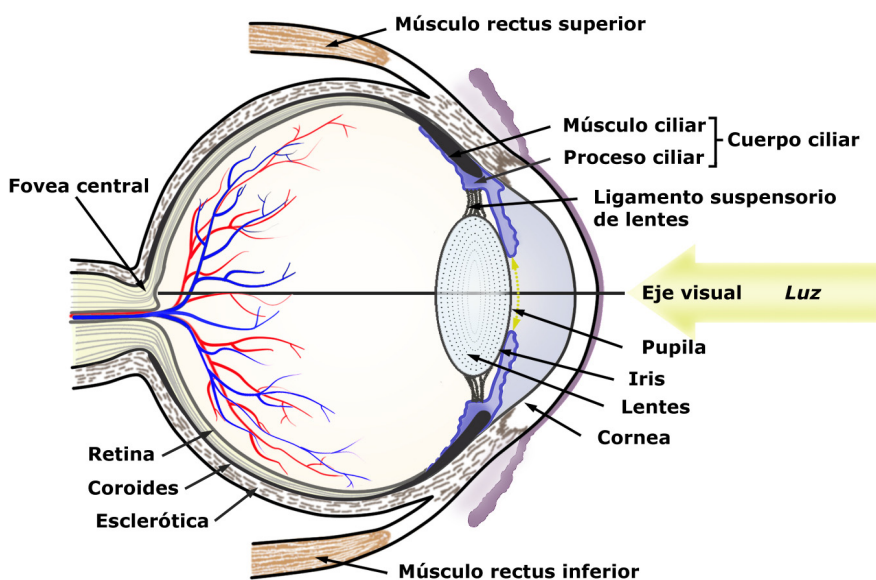


Fig. 10.1 El Ojo

Enfocando una cámara cambias la distancia entre la lente y la cinta. Nuestros ojos cumplen esta norma cambiando la forma de las lentes. El músculo *ciliar*, un músculo circular junto las lentes por un *ligamento suspensorio*, contrae, reduciendo la tensión del ligamentos suspensorio de este modo permitiendo a las lentes hacerse más espesas, al enfocar a objetos cercanos. El músculo ciliar se relaja para que la lente se haga más delgada y enfoque en objetos que se encuentren más lejanos. La *retina* contiene una capa de dos tipos de fotorreceptores sensibles a la luz: *conos* and *rodos*. Los *Conos* se utilizan para la visión y color diario. Se concentran mayormente en la *fovea*, donde el enfoque de luz produce la imagen nítida. Los *Rodos* se utilizan para la visión con luz tenue y para la detección del movimiento en el campo visual. Los Rodos se concentran en la periferia de la retina, por lo tanto, la tendencia de enfocar lejos de la fovea (“mirar al lado del ojo”) en la oscuridad.

El control muscular del ojo trabaja para mantener la imagen en la fovea, a pesar de que el objeto esté quieto o en movimiento. Este proceso se llama *fijación visual*. Dos mecanismos primarios se utilizan para fijar en objetos al campo visual, definido como el campo de vista sin mover la cabeza: 1. Fijación Voluntaria, 2. Fijación Involuntaria.

La fijación Voluntaria requiere un esfuerzo consciente para dirigir su seguimiento a un objeto seleccionado en su campo visual y fijarse en él. Este mecanismo se utiliza para inicialmente seleccionar objetos en su campo visual. La fijación Involuntaria requiere un mecanismo inconsciente que trabaja para mantener el objeto seleccionado en su campo visual una vez lo tienes fijado. Después de haber fijado el objeto visualmente, sus ojos continúan moviéndose en repetitivos, involuntarios, imperceptibles, minúsculos, espasmódicos movimientos llamados *microsacadas* (micro-pequeños, movimiento nervioso sacádico). Estos movimientos contrarrestan la desaparición perceptual, una consecuencia de la rápida adaptación de los sistemas receptores de la retina a una información constante, cambiando suavemente la posición de la imagen de la retina dentro de la fovea. Las Microsacadas también perfeccionan la nitidez visual. Los registros y mediciones de las microsacadas es difícil y van más allá del propósito de esta lección.

El movimiento de cada globo ocular en su órbita es causada por una contracción individual de 6 músculos voluntarios pequeños situados en la superficie de cada globo ocular. Cuatro de los seis músculos se desplazan desde el origen a la inserción, y son denominados músculos rectos (*rectus*, recto): el *rectus superior*, el *rectus inferior*, el *rectus medio*, y el *rectus lateral*. Los 2 músculos restantes están situados de forma oblicua a la superficie de globo ocular y se denominan *oblicuo superior* y el *oblicuo inferior* (Fig. 10.2). Colectivamente, los cuatro músculos rectos y los dos oblicuos se denominan *músculos del ojo extrínsecos*.

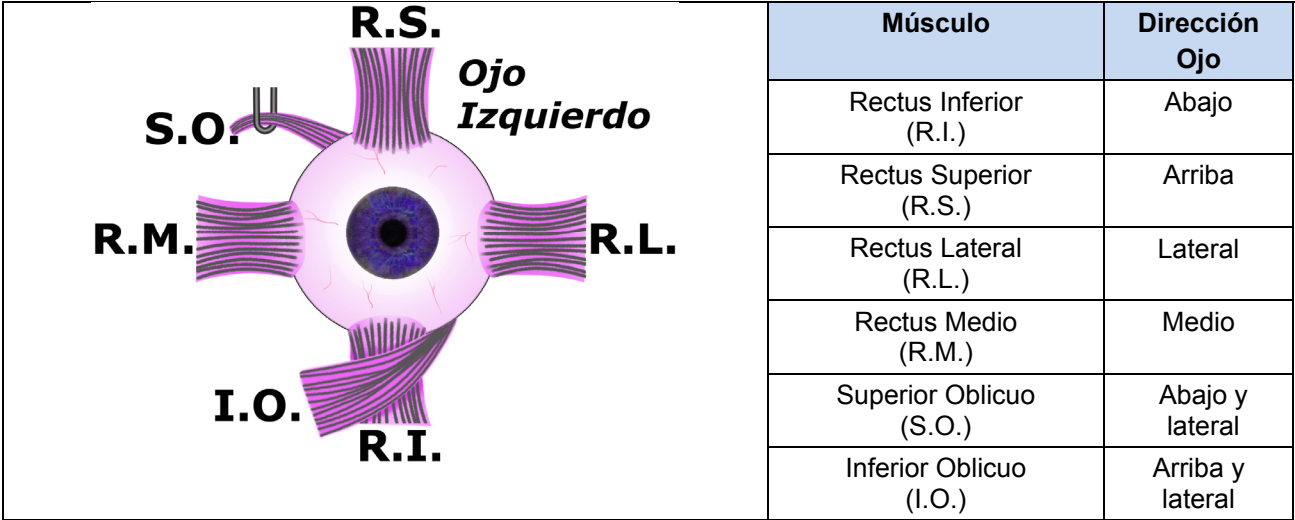


Fig. 10.2 Músculos del Ojo Extrínseco

Las contracciones de los músculos extrínsecos se controlan por las vías motoras del cerebro y tres parejas (una derecha, una izquierda) de los nervios craneales. El Nervio Craneal III, el *nervio oculomotor*, abastece a todos los músculos extrínsecos del ojo excepto al superior oblicuo y el rectus lateral. El nervio craneal IV, el *nervio troclear*, abastece al superior oblicuo. El nervio craneal VI, el *nervio abducens*, inerva el rectus lateral.

Cuando una persona normal mira fijamente un objeto con una iluminación adecuada, el punto de fijación de la Mirada se proyecta a las áreas sensoriales correspondientes en las foveas de la retina. El córtex del lóbulo occipital integra la información sensorial de cada retina, produciendo una visión normal, aislada y nítida del objeto. Si existe un trastorno en el alineamiento de los ojos, como puede ocurrir por ejemplo, en la debilidad de uno o más músculos extraoculares, hay una pérdida correspondiente de retina y el resultado puede ser *diplopia* o doble visión. Hay nueve direcciones cardinales de mirada en el movimiento del ojo concertado y los músculos extraoculares moviendo los ojos a la posición de la mirada se muestran en Fig. 10.3.

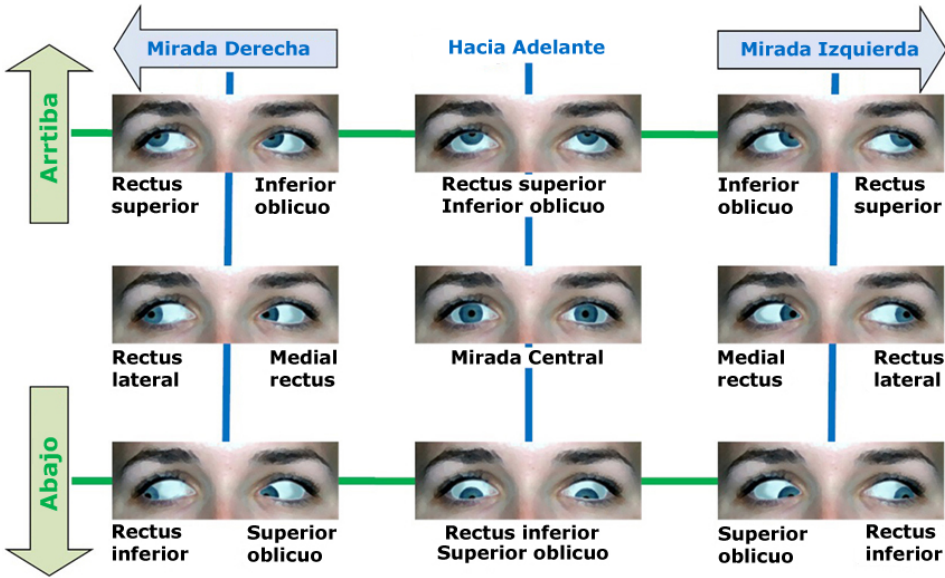


Fig. 10.3 Nueve direcciones cardinales de la mirada

Cuando una persona mantiene fija la mirada en un objeto en movimiento sin mover la cabeza, como si mirara el péndulo en movimiento de un reloj, cada ojo se debe mover de forma precisa y en conjunción con el otro para que el cerebro reciba la información sensorial requerida para producir una imagen clara e individual del objeto en movimiento. El movimiento del globo ocular implica a los músculos extraoculares, sus nervios craneales, y los centros de control motor del cerebro. Por ejemplo, como el movimiento de izquierda a derecha del péndulo del reloj, el ojo izquierdo se mueve medianamente (rectus medio/nervio craneal III), y el ojo derecho se mueve lateralmente (rectus lateral /nervio craneal VI). Cuando el péndulo vuelve hacia atrás, el movimiento del ojo es contrario.

El subconsciente del cerebro gradúa las contracciones de los músculos extraoculares para mantener el punto de fijación visual como los movimientos más lentos y más rápidos del péndulo utilizando una información sensorial visual respecto al cambio de posición del movimiento del péndulo. Los movimientos involuntarios oscilatorios hacia delante y atrás de los ojos, son una manera de seguir el movimiento en los cuales los ojos mantienen una fijación visual en un objeto en movimiento en el campo visual.

Los movimientos coordinados voluntarios e involuntarios del ojo se controlan por los centros motores del córtex del lóbulo frontal y los centros motores de los nervios centrales III, IV y VI del tronco cerebral. La actividad cortical asociada con el control motor de los músculos extraoculares se pueden detectar y registrar utilizando técnicas de electroencefalografía convencional.

El ojo humano es un dipolo eléctrico con la terminal positiva delante de la cornea, y la terminal negativa detrás de la retina del globo ocular (Fig. 10.4). El potencial entre la parte delantera y trasera del globo ocular, llamado *Potencial corneal – retinal* (CRP), es aproximadamente 0.4 – 1.0 mV, y es ante todo debido a las hiperpolarizaciones y depolarizaciones de las células del nervio en la retina. La *Electrooculografía* es una técnica de registro de los cambios de voltaje del globo ocular cuando se mueve en sus órbitas. El *electrooculograma* (EOG), es el registro electroencefalográfico de los cambios de voltaje obtenidos mientras el sujeto, sin mover la cabeza, mueve sus ojos desde un punto de fijación a otro dentro del campo visual.

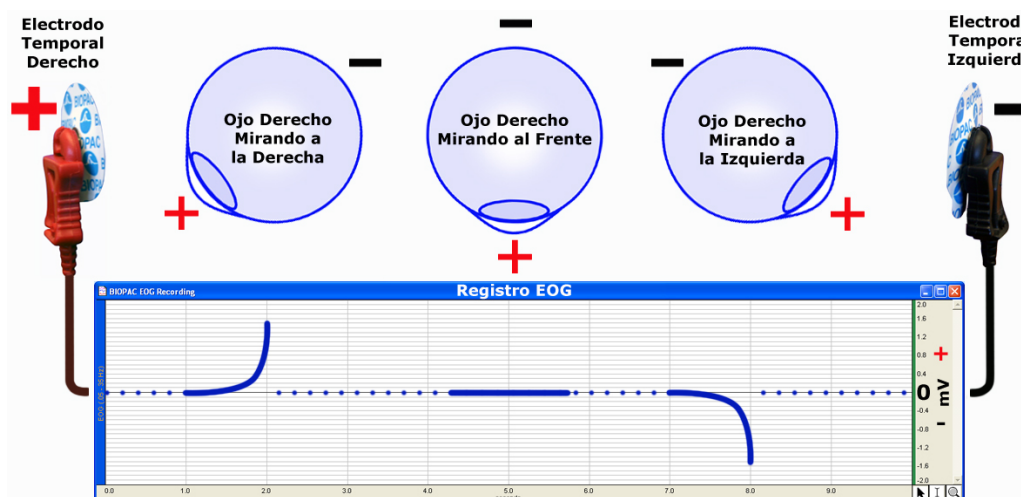


Fig. 10.4 Modo Dipolo del Ojo y EOG

Colocando un electrodo en el lado temporal de cada órbita para detectar el movimiento horizontal del ojo y otro por encima y debajo del ojo derecho para detectar el movimiento vertical, el movimiento del ojo hasta $\pm 70^\circ$ se puede registrar, donde 0° es delante y $\pm 90^\circ$ es directamente lateral o vertical al ojo. Los electrodos detectan cambios en el potencial como la cornea se mueve más cerca o más lejos de los electrodos de registro (Fig. 10.4). Cuando el ojo está mirando hacia delante y en línea recta, esta a la misma distancia de cada electrodo, por lo que la señal es esencialmente cero. Cuando la parte delantera del globo ocular, la cornea, está más cercana al electrodo positivo, se registrará una diferencia de voltaje positiva. La señal de EOG es linealmente proporcional al movimiento del ojo, cambiando aproximadamente 20 microvoltios por cada grado del movimiento del ojo. El rango de señal del EOG es de 0.05 – 3.5 mV en humanos, y es el resultado de un varios factores, incluyendo la rotación y movimiento del globo ocular, movimiento del párpado, EEG, movimiento de la cabeza y el cambio de la luminosidad.

La medición del EOG es susceptible a la desviación de la línea base debido a los pequeños cambios de potencial del electrodo/piel que ocurren durante algunos minutos como también la desviación de la línea bas debido al desplazamiento del electrodo en la superficie de la piel (normalmente de los tirones de los cables de los electrodos). Para ayudar a minimizar estos cambios en la línea base, para esta lección, se utilizará un filtro de Pasa Alta de 0.05 Hz. Este filtro tiene un efecto mínimo en los datos registrados porque el filtro de la constante de tiempo de 3.18 segundos es mayor comparado a las variaciones de la señal registradas en esta lección. Esta limitación del filtro se debería tener en cuenta cuando se diseñan experimentos adicionales (sección aprendizaje activo opcional); si los ojos se fijan en una posición durante varios segundos, la señal registrada volverá lentamente a la línea base (0 mV).

Cualquier movimiento de los músculos faciales o de la mandíbula puede introducir artefactos de EMG (muscular) o causar una desviación ligera en la línea base debido al movimiento de los electrodos del EOG. Por esta razón es importante minimizar el movimiento facial y de la mandíbula cuando se registra el EOG.

Un EOG registrado con los electrodos temporales situados en el margen lateral de la trayectoria del seguimiento visual del movimiento del péndulo se muestra en la Fig. 10.5. La sinusoidal natural del trazado desaparece cuando el péndulo, y por lo tanto el seguimiento visual, finaliza.

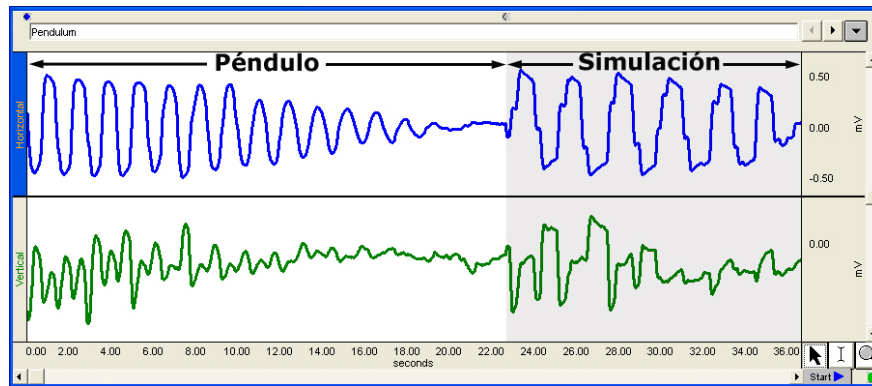


Fig. 10.5 Registro de EOG

Si el sujeto, con ojos abiertos, imagina un péndulo en movimiento e intenta visualmente hacer el seguimiento, el EOG empieza otra vez a realizar el trazado sinusoidal pero de forma desigual, sugiriendo una reducción en el control neuromuscular de los ojos debido a la pérdida sensorial del estímulo visual al cerebro.

Otros cambios en el EOG se pueden registrar cuando un sujeto se le pregunta que lea en silencio un párrafo breve, haga una pausa, y después lea en voz alta el mismo párrafo. Como las letras de cada párrafo son leídas, los ojos se mueven rápidamente y de una manera brusca de un punto de fijación (una palabra) a otro. Los movimientos rápidos, bruscos y voluntarios de los ojos se denominan **sacadas** (*sacada* – sacudida). El intervalo de tiempo entre sacadas es el tiempo empleado para buscar la palabra. Cuando se lee en silencio, los movimientos del ojo son más rápidos de palabra a palabra y el intervalo entre sacadas es corto. Cuando las líneas se leen en voz alta, el estímulo auditivo relentece cada movimiento del ojo permitiendo tiempo para cada letra vista ser pronunciada y el intervalo entre sacadas es más largo. Generalmente, el intervalo entre sacadas es más largo al leer un texto difícil que al leer uno fácil porque se requiere más tiempo por el cerebro para el proceso de la información.

La Electrooculografía es normalmente utilizada para valorar defectos visuales que envuelven el control Neuromuscular de los ojos, tales como el diagnóstico y tratamiento efectivo del sexto nervio palsy (parálisis del rectus lateral). Se pueden realizar pruebas similares de movimiento del ojo o nervio craneal utilizando otras miradas cardinales (Fig. 10.3) para el diagnóstico y valoración de los trastornos del ojo. Además, recientes aplicaciones incluyen el uso del EOG en el diseño de robótica, como sillas de ruedas motorizadas y otros dispositivos que pueden ser guiados y de alguna manera controlados por el movimiento del ojo del sujeto.