

CAPÍTULO 4

Fisiología motora

Laura Brusi

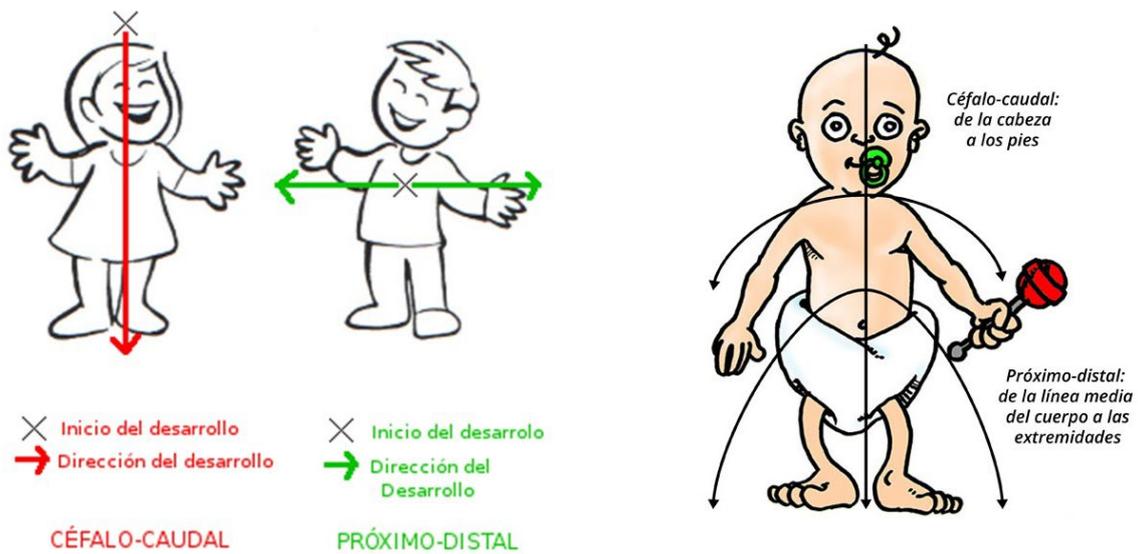
Para comprender la fisiología del control de la motilidad ocular, es requisito fundamental conocer en profundidad la anatomía macro y microscópica de la órbita, de los músculos extraoculares, de sus fascias y poleas, y de sus procesos de desarrollo.

Los sistemas visual y oculomotor se desarrollan en paralelo durante los primeros años de vida y este proceso de desarrollo encierra el concepto de *período crítico* para el sistema visual, pero que también resulta inherente del sistema motor. La corteza visual de los mamíferos es fisiológica y anatómicamente inmadura en el momento del nacimiento, y tanto la binocularidad y como la percepción de profundidad se desarrollan durante un período ventana posnatal específico. Una experiencia visual inadecuada interrumpe la formación de las columnas de dominancia ocular en la corteza visual, lo que produce una pérdida de estereopsis y hasta disminuciones graves de la agudeza visual.

Las actividades motoras están presentes en el recién nacido, son involuntarias y el desarrollo madurativo del cerebro permitirá que los movimientos se vayan haciendo voluntarios, respondiendo, además, a los estímulos del medio. El proceso del desarrollo madurativo y psicomotor determina el control del propio cuerpo, donde las conductas que son determinadas por la herencia son de origen filogenético y las adquiridas desde el aprendizaje son de origen ontogenético. En este proceso pueden distinguirse distintas fases:

La *fase de maduración céfalo-caudal*, establece el desarrollo desde la parte superior del cuerpo a la inferior, controlando más rápidamente aquellas partes que están más cerca de la cabeza sobre aquellas que están más lejos. Así, el niño domina antes los músculos del cuello que los del abdomen, y éstos, antes que los de las piernas (ver Fig. 4.1).

Figura 4.1. Fase próximo-distal del desarrollo motor.



Nota. (Fuente: <https://www.juntadeandalucia.es>)

La fase de desarrollo próximo-distal establece el desarrollo desde la parte corporal central a las partes más lejanas. Tanto en los brazos como en las piernas, el desarrollo de los músculos más próximos al tronco se efectúa antes de los que se encuentran más lejanos. Por ejemplo, los músculos del hombro se desarrollan antes que el codo, éste antes que el de la muñeca y ésta antes que los músculos de los dedos (ver Fig. 4.1).

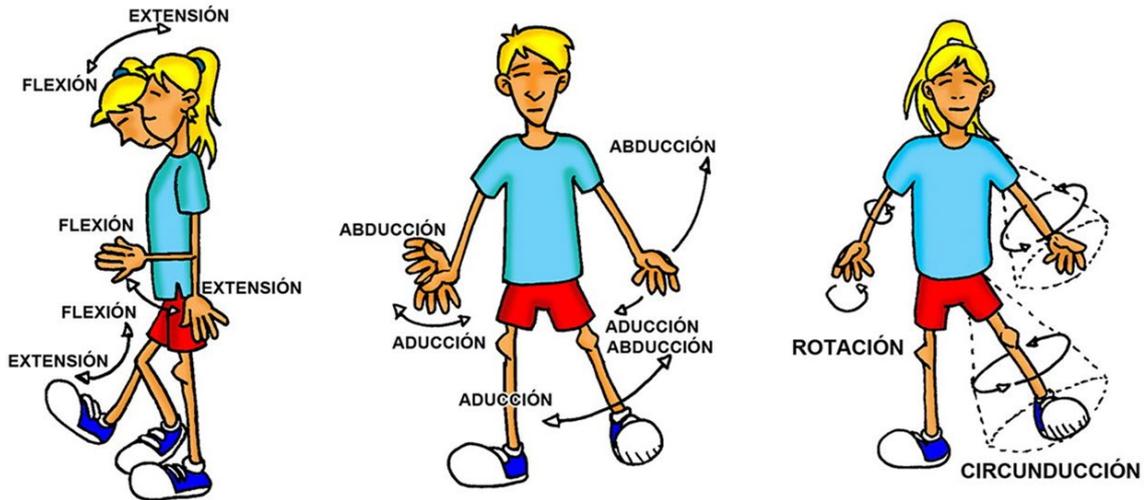
La fase de las actividades en masa a la fase de las actividades específicas, establece el proceso de pasar de la utilización de los músculos grandes a los más pequeños para la realización de los movimientos precisos. La integración de estos grupos musculares permite que los movimientos sean más finos.

La fase del desarrollo de las cadenas flexoras y extensoras, otorga la capacidad de prensión antes que la capacidad de soltar los objetos (ver Fig. 4.1.2).

Es así que la evolución de la motricidad se ha centrado en el desarrollo de tres aspectos a tener en cuenta: el control corporal, la locomoción y la manipulación. Estos aspectos resultan la base de la que deberemos partir si queremos analizar comprensivamente el desarrollo de la motricidad humana y la importancia de una actividad tónica postural equilibrada (tono, postura, equilibrio, esquema corporal, equilibrio, sensoresceptores).

El examen motor, la determinación de su disfuncionalidad y la planificación de un plan de tratamiento de rehabilitación requieren del conocimiento y manejo de todos estos aspectos para las distintas etapas de vida de la persona.

Figura 4.1.2. Cadenas flexoras y extensoras



Nota. Fuente: <https://www.juntadeandalucia.es>

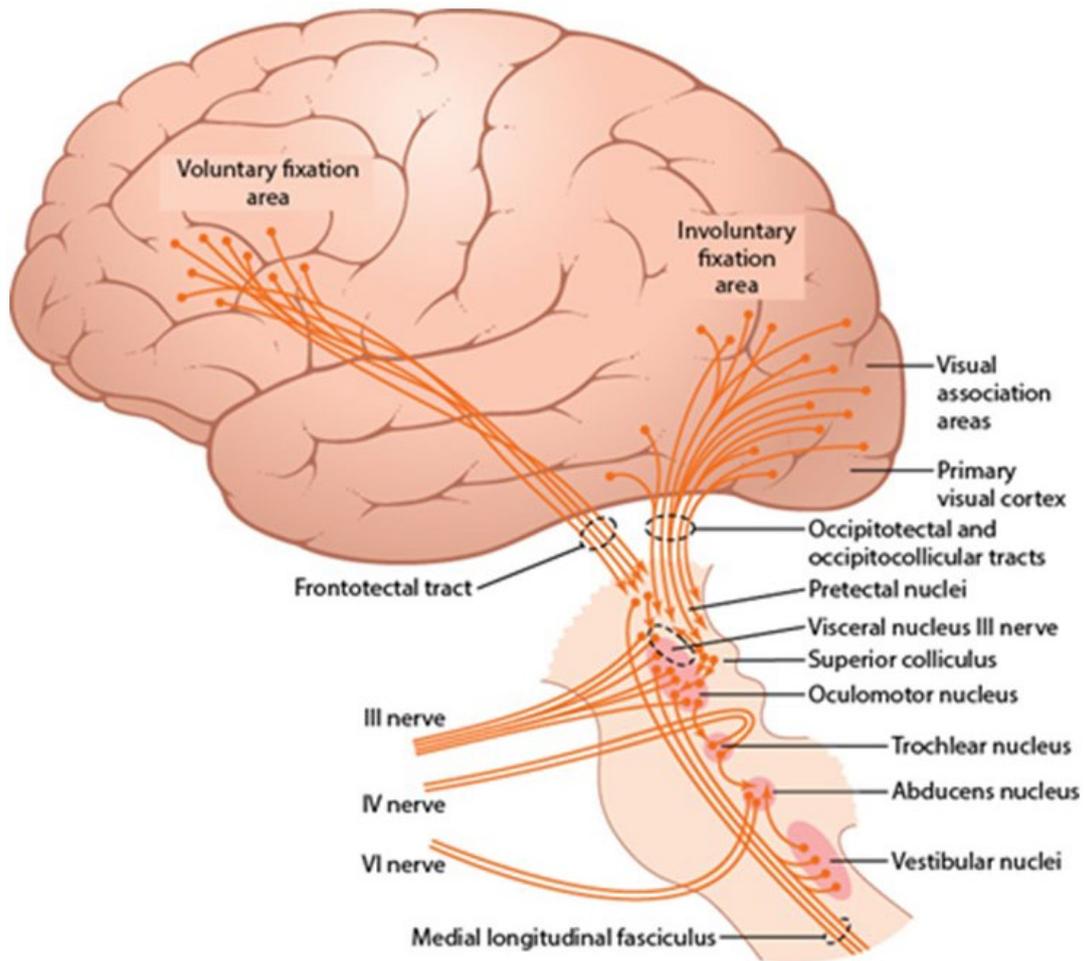
Movimientos Oculares

Vías del movimiento

Los músculos extraoculares están inervados por el III, IV y VI par craneal y tienen su origen en sus diferentes núcleos situados en el tronco cerebral. Las órdenes que llegan a estos núcleos son de dos clases:

- *Órdenes voluntarias:* originan movimientos oculares voluntarios desde la región frontal de los hemisferios cerebrales y llegan por el tronco encefálico a los núcleos supranucleares. Estos núcleos controlan los movimientos de lateralidad, verticalidad y de convergencia, y las fibras que parten de allí llegan a los núcleos oculomotores, encargados de enviar el impulso de movimiento a los diferentes músculos (ver Fig. 4.2).
- *Órdenes reflejas:* se originan a partir de los reflejos de fijación, persecución, fusión convergencia y acomodación. Presentan diferentes vías, los “reflejos de trayecto largo” llamados reflejos psico-ópticos que involucran la visión y requieren un mínimo de atención, cuyo centro se encuentra en el lóbulo occipital; y los “reflejos de trayecto corto”, que llegan por la cintilla longitudinal posterior desde el aparato vestibular, el aparato auditivo, del cerebelo y los músculos del cuello (ver Fig. 4.2)

Figura 4.2. Vías neurológicas del control del movimiento.

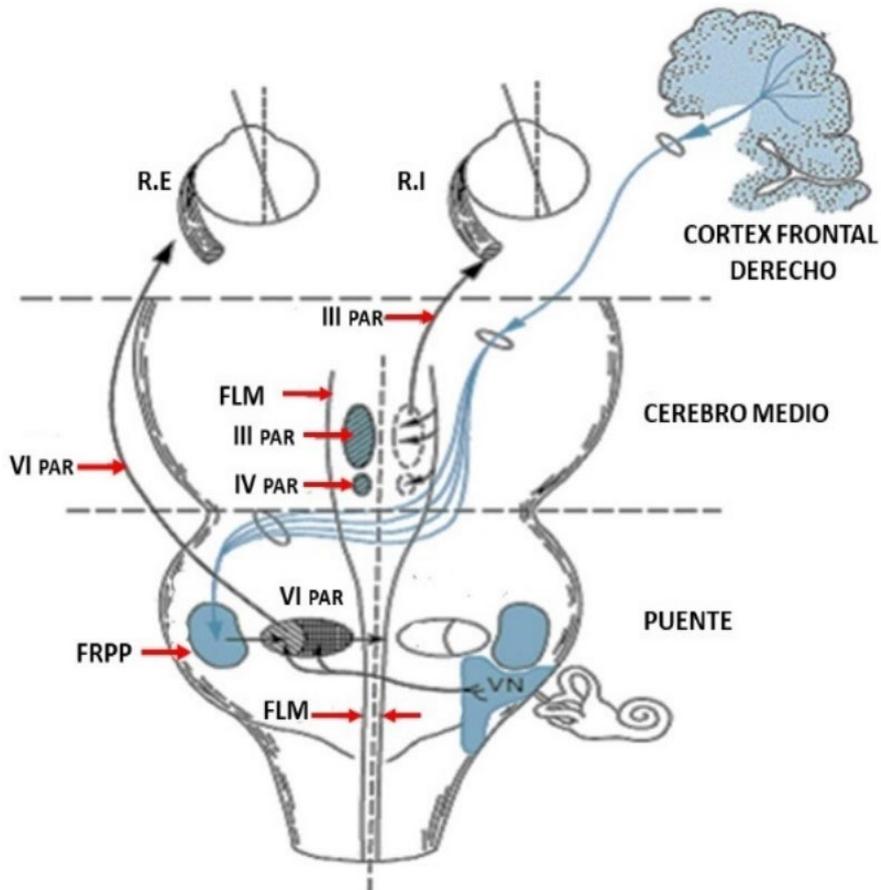


Nota. (Fuente Guyton 12ª Edición)

La integración cortical de las imágenes aportadas por cada ojo se conoce como visión binocular y esa integración hace que nuestros ojos se muevan coordinadamente para mantener la estimulación bifoveal y la percepción de una imagen única, tanto para los movimientos conjugados de los ojos como para los disyuntivos.

La vía de control de la mirada conjugada lateral se origina en el área 8 del lóbulo frontal. Las fibras corticales descienden por el brazo anterior de la capsula interna, llegan al mesencéfalo, y cruzan al lado opuesto y se dirigen al “centro de la mirada conjugada lateral”, en la formación reticular parapontina. Desde allí se estimula el núcleo del VI par homolateral para provocar una abducción del ojo correspondiente mientras otras fibras originadas en un grupo de neuronas internucleares de dicho núcleo, cruzan al lado opuesto, ascienden por el fascículo longitudinal medial y llegan al núcleo del III par en el mesencéfalo, al que estimulan para lograr la contracción simultánea del recto interno contralateral (ver Fig. 4.2.2).

Figura 4.2.2. Vías neurológicas del control del movimiento conjugado.



Fuente: <https://www.cenetec-difusion.com/CMGPC/IMSS-705-14/RR.pdf>

El *fascículo longitudinal medial (FLM)* es un tracto ubicado a ambos lados cerca de la línea media del tronco encefálico y está formado por fibras ascendentes y descendentes que provienen de varias fuentes y terminan en diferentes áreas. El FLM conecta los núcleos de los pares craneales III (nervio oculomotor), IV (nervio troclear) y VI (nervio abducen) e integra los movimientos dirigidos por los centros de la mirada (campo ocular frontal) e información sobre el movimiento de la cabeza (VIII par craneal Vestibulococlear). El centro de la mirada vertical está en el núcleo intersticial rostral (FLMri).

Es un componente integral de los movimientos sacádicos, así como de los reflejos vestibulooculares y optocinéticos .

También lleva el tracto tectoespinal descendente y los tractos vestibuloespinal medial hacia la médula espinal cervical, e inerva algunos músculos del cuello y de las extremidades superiores.

La *formación reticular paramediana pontina (FRPP)* es todo un sistema que consta de grupos de neuronas bien definidos desde el punto de vista morfológico y bioquímico. Fisiológicamente puede ser considerado como un sistema polisináptico multilineuronal, con axones que discurren en forma transversal y longitudinal, que recibe señales y las asocia en una información general difusa que proporciona al resto del sistema nervioso central (SNC). Como está situada en una de las partes más bajas del encéfalo, tiene un papel fundamental en todo lo que ocurre en las áreas superiores (ver Fig. 4.2).

Como está formada por diversos grupos nucleares, interviene en la regulación de muchas otras funciones como por ejemplo el nivel de conciencia, la regulación del ritmo circadiano y también actúa filtrando la información que va llegando desde los sentidos, seleccionando piezas de datos y descartando partes irrelevantes, que no llegan a la consciencia.

Mecánica muscular e inervación motora

El ojo realiza movimientos en relación a su centro de rotación y respetando sus ejes que le dan la dirección a la acción, con el objetivo de mantener, en primer lugar, su eje anteroposterior en posición derecho al frente y además el paralelismo en relación al eje del otro ojo, constituyendo así la base para el proceso de binocularización.

La mecánica muscular está determinada por la línea y el plano de acción de cada músculo, los arcos de contacto y los ligamentos de contención.

Línea de acción: representa la línea media entre el punto de origen y el punto de inserción del músculo y define la dirección en la que ejerce la fuerza.

Plano de acción: determinado por la línea de acción y el centro de rotación del ojo.

Arco de contacto: es la distancia que existe entre la inserción anatómica y la fisiológica del músculo.

Ligamentos de contención: prolongaciones ligamentosas cuya función es limitar la contracción muscular excesiva y contribuir a que los movimientos sean suaves y equilibrados, modulando también la relación de sus vainas.

El modelo estructura-función de los músculos están determinadas por dos características que son claves para la función muscular: la *velocidad de contracción* y la *resistencia a la fatiga*.

La *velocidad de contracción* depende de dos factores: a) el tipo de proteínas contráctiles expresadas en una fibra muscular y b) el sistema de activación de una fibra muscular desde un nervio motor para producir contracción, y el acoplamiento excitación-contracción.

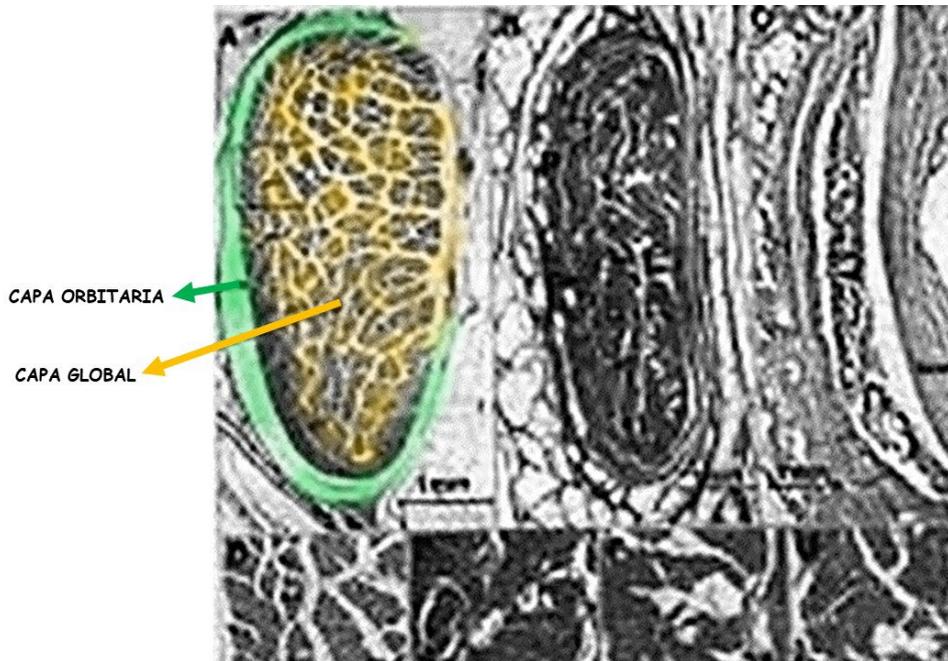
La *resistencia a la fatiga* es una consecuencia directa del metabolismo celular de producción de energía (glucólisis /oxidación).

Los músculos esqueléticos de los mamíferos están formados casi exclusivamente por fibras que experimentan potenciales de acción tipo “todo-o-nada” conocidas como *fibras rápidas*. Las fibras musculares tienen a su vez propiedades interrelacionadas que maximizan su velocidad, pero minimizaran su resistencia a la fatiga. De esta manera las fibras musculares van especializando sus funciones con el objetivo de maximizar la eficiencia en el pico de acción y de energía requerida.

Los músculos extraoculares son estriados y están muy especializados en relación a los músculos estriados esqueléticos, por ejemplo, deben desarrollar la capacidad para mantener la fijación en un objetivo visual que resulta esencial para lograr buena visión, y aquí no hay margen para errores, porque de lo contrario se provocará una diplopía. Los músculos extraoculares también deben responder con precisión a las señales sensoriales, efectuando suaves cambios en

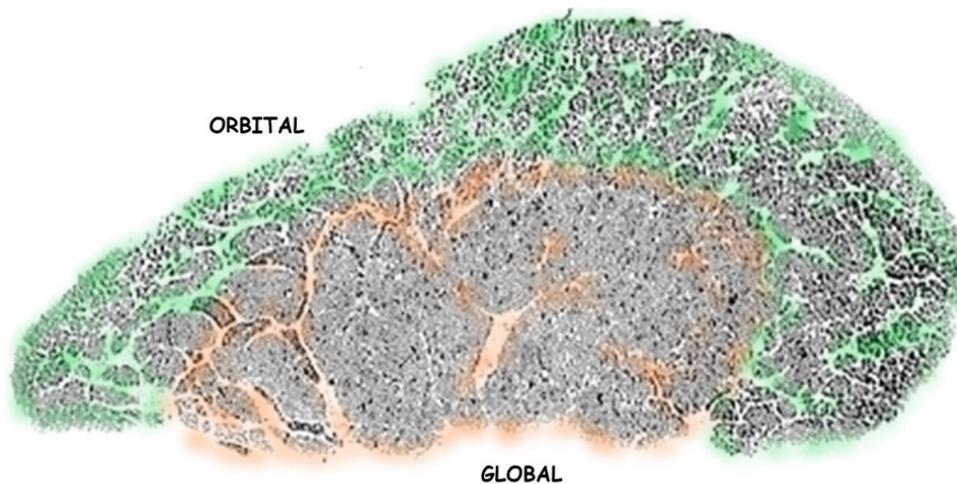
los movimientos a partir de estímulos vestibulo-oculares, optocinéticos, de vergencia y de seguimiento, para mantener en la fovea el objetivo de atención.

Figura. 4.3. Anatomía de los músculos extraoculares.



Fuente: L. Brusi

Figura. 4.4. Vista microscópica de un músculo recto externo de un mono.



Fuente: L. Brusi

Tanto los movimientos voluntarios lentos de seguimiento como los movimientos involuntarios rápidos o sacádicos, poseen una propiedad única de variabilidad de velocidad que no tiene ningún otro músculo esquelético. Debido a estas características especiales para la contracción, la velocidad y la resistencia a la fatiga, los músculos extraoculares representan la mayor diversidad del músculo esquelético de los mamíferos.

Los músculos extraoculares muestran una peculiar organización en capas: una *capa externa orbital* adyacente al hueso periorbitario y orbitario; y una *capa interna global* adyacente al ojo. La capa orbitaria contiene fibras de pequeño diámetro con una forma típica en C que rodean toda la capa global. La capa global se extiende a lo largo de toda la longitud del músculo con una inserción tendinosa bien definida y puede distinguirse claramente que la capa orbitaria finaliza antes de que el músculo se torne tendón.

Los músculos extraoculares presentan seis tipos distintos de fibras musculares: fibras orbitarias de inervación única, fibras orbitarias de inervación múltiple, fibra global roja de inervación única, fibra global intermedia, fibra global blanca de inervación única y fibra global de inervación múltiple.

Cuando el ojo realiza un movimiento todos los músculos extraoculares participan, los agonistas se contraen y los antagonistas se relajan.

La simplificación de la inervación de los movimientos oculares monoculares la expresa la ley de inervación motora o ley de Sherrington, la cual define que “cuando un ojo realiza un determinado movimiento en una determinada dirección, la carga inervacional para la contracción de los músculos agonistas, debe ser igual a la carga inervacional inhibitoria para la relajación de los músculos antagonistas”. Pero la dinámica de los movimientos oculares es mucho más compleja.

Sabemos que cuando la cabeza esta fija, cada ojo tiene tres ejes de rotación, pero el cerebro restringe la torsión a una función de orientación vertical y a otra de orientación horizontal, reduciendo la interpretación del movimiento a solo dos ejes. Pero lo más importante del estudio de las rotaciones oculares, es comprender cómo el cerebro genera señales nerviosas tridimensionales que pueden controlar con precisión la orientación de los ojos y suprimir el desplazamiento ocular. Para ello, los MEO, sus tendones, el globo ocular y los tejidos orbitarios deben recibir señales inervacionales precisas controladas por el cerebro.

Con el modelo biomecánico se puede demostrar cómo, debido a las propiedades viscoelásticas de los tejidos orbitarios, un movimiento puede interpretarse como la suma de tres componentes: *un paso* (señal proporcional a la excentricidad del ojo), *un deslizamiento* (perfil de velocidad del ojo) y *un impulso* (señal proporcional a la velocidad de los ojos). El paso compensa las fuerzas elásticas que tienden a llevar al ojo a su posición de reposo, el deslizamiento y el impulso en cambio, compensan la viscosidad de los músculos y tejidos orbitarios. Si el impulso, el deslizamiento y el paso no coinciden con la dinámica oculomotora, se sucede un desplazamiento ocular postsacádico.

El cerebro controla la generación de señales de inervación, pero teniendo en cuenta que los músculos oculares no son buenos ejecutores, sobre todo a velocidades de acortamiento y alargamiento elevadas, la señal de inervación debe cumplir un proceso de transferencia de modo que cada músculo absorba tanto un *paso* como un *impulso* de fuerza. Un paso es proporcional a la longitud del músculo, mientras que un impulso lo es a su velocidad de acortamiento o de alargamiento. Estas señales de *impulso*, *deslizamiento* y *paso* para los tejidos orbitarios, y las de *impulso* y *paso* para los músculos oculares, son el resultado de un análisis de descomposición objetivo y artificial para comprender la complejidad del movimiento, y comprender que no existen

en el cerebro como señales separadas. Durante el movimiento, gran parte de la energía producida se disipa, y una pequeña parte es utilizada eficientemente para la acción, por ejemplo, en momentos de fijación, sólo un 23 % de la fuerza de inervación se transfiere a los tendones y el 77% restante se utiliza para mantener la longitud de los músculos.

Como las posibilidades de rotación del globo ocular requieren de un control tridimensional de la posición del ojo, la rotación horizontal se realiza en torno al eje Z vertical, la rotación vertical en torno al eje X horizontal y la torsión en torno al eje Y anteroposterior, entonces esa rotación responde a un orden secuencial: uno horizontal, seguido de uno vertical y finalmente de uno torsional, ayudado por el sistema de poleas. Algunas funciones oculomotoras como la estabilización de la imagen sobre la fóvea, utilizan los tres grados de rotación, mientras que otras, como los desplazamientos voluntarios de la mirada, requieren sólo dos.

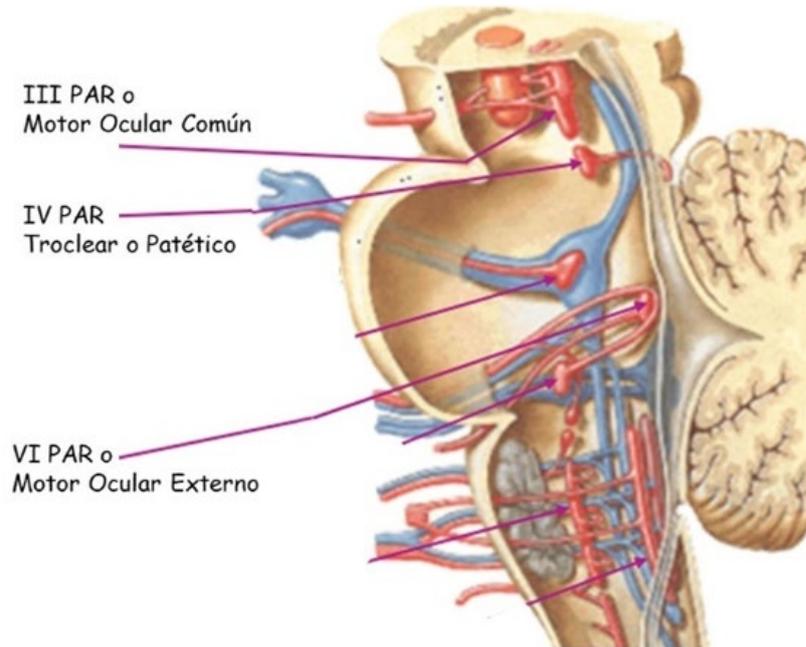
Los movimientos oculares poseen un control nervioso organizado con el objetivo de optimizar la ejecución de tres funciones perceptivas principales: mantener el control de la visión del campo visual mientras nos movemos, mantener la visualización de objetos en movimiento y explorar el espacio pudiendo desviar la atención de una localización a otra. Estos movimientos están controlados principalmente por 3 pares craneales (III, IV y VI) y este sistema oculomotor tiene el gran desafío de vencer una gran limitación que sin dudas le genera el alineamiento que requieren las imágenes retinianas para el desarrollo de los puntos correspondientes, la fusión de las imágenes y la instauración de la visión binocular y consecuentemente, la percepción de la visión de la profundidad o estereopsis. Los sistemas de control del movimiento no utilizan solo la retroalimentación visual, también responden a estímulos no visuales, como, por ejemplo, los movimientos rápidos y breves de la cabeza que estimulan señales vestibulares que evocan movimientos compensatorios de los ojos para estabilizar la imagen en la retina. La respuesta oculomotora a los movimientos de la cabeza cuenta también con la información de las señales vestibulares, dado que las velocidades de la imagen retiniana producidas por la rotación de la cabeza, exceden el límite máximo de la percepción motora del ojo humano. Cuando rotamos la cabeza, es necesario un mínimo de 50 milisegundos para activar las áreas corticales que inician el seguimiento ocular, cuando el tiempo de latencia es menor, el movimiento se producirá sin colaboración de la retroalimentación visual. Cabe destacar que todos los sistemas oculomotores de respuesta y alineamiento se calibran por adaptación, y esa plasticidad persiste durante toda la vida.

Existe una jerarquía para control nervioso de cada una de las categorías funcionales de los movimientos oculares que planifica, coordina y ejecuta la actividad motora: en la jerarquía más baja, se encuentran los MEO que rotan el ojo alrededor de su centro de rotación. Superior a los músculos se encuentran los núcleos motores de los pares craneales III, IV y VI; por encima se encuentran los núcleos premotores del tronco encefálico que reciben órdenes desde regiones supranucleares (colículo superior CS, sustancia negra, cerebelo, regiones corticales frontales) y regiones extraestriadas (área visual temporal medial TM, área visual temporal medial superior TMS, área intraparietal lateral y el área parietal posterior). Estos centros superiores planifican la dirección y la distancia de la mirada binocular en las tres dimensiones del espacio; transforman

estímulos sensoriales visuales en órdenes motoras y determinan cuándo y con qué velocidad deben moverse los ojos para fijar el objetivo seleccionado.

Sherrington describió que los pares craneales III, IV y VI representan la *vía final común* de todos los tipos de movimientos oculares. Todas las proyecciones axonales de estos núcleos craneales llevan la información necesaria para realizar movimientos voluntarios y reflejos, rápidos y lentos (ver Fig. 4.5).

Figura 4.5. Ubicación del II, IV y VI par craneal.



Fuente: <https://enfermeria.top/slides/nervios-craneales-cervicales>

Organización de las vías y núcleos oculomotores

III Par craneal, Oculomotor o Motor Ocular Común

Su función es meramente motora y podemos distinguir un origen real y otro aparente de los dos núcleos que lo componen:

Origen real: El núcleo del III par está ubicado en el mesencéfalo a nivel de los colículos superiores y por la función de sus fibras le corresponden la clasificación de ESG (eferente somático general) ya que conducen información motora a los músculos extraoculares que inervan (RS, RI, RM, OI).

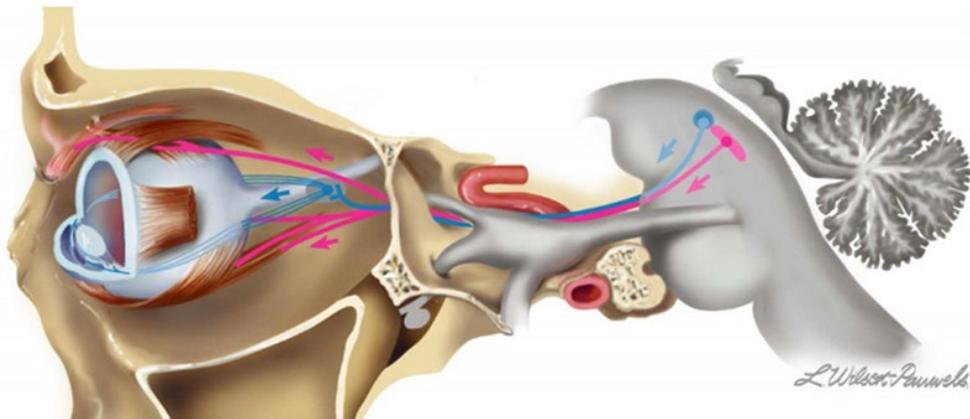
El núcleo accesorio del III par o Edinger Westphal, ubicado en el mesencéfalo a nivel de los colículos superiores y por detrás de los núcleos del III par, tiene fibras EVG (eferente visceral general) que conducen información motora visceral parasimpática hacia el musculo ciliar y el esfínter del iris (ver Fig. 4.6).

Origen aparente y recorrido: las fibras del III par emergen de la fosa interpeduncular, están rodeadas por la arteria cerebral posterior por delante y la arteria cerebelosa superior por detrás;

se dirigen hacia adentro pasando por el borde externo de la apófisis clinoides, perforan la duramadre, ingresan al seno cavernoso donde acompañan su recorrido por debajo de él, del nervio troclear y del oftálmico. A la salida del seno cavernoso se dirige hacia la hendidura esfenoidal y pasa por el anillo de Zinn ya dividido en sus ramas superior e inferior y en ese sector está acompañado por el nervio motor ocular externo y la rama nasal del V par.

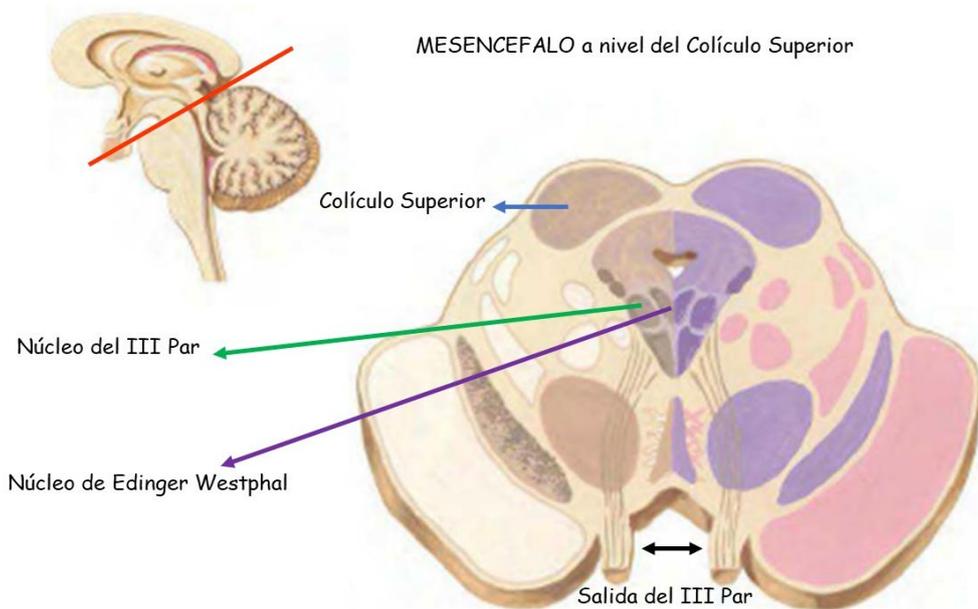
División: el III par se divide en dos, su rama superior que inerva al RS y al elevador del párpado y su rama inferior que inerva al RI, RM y OI, recordando que también posee fibras parasimpáticas del núcleo de Edinger Westphal (ver Fig. 4.7).

Figura 4.6. Clasificación de las fibras del III Par.



Fuente: Wilson-Pauwels. Nota. (Fuente Wilson Pauwels)

Figura 4.7. Origen real y aparente del III Par.



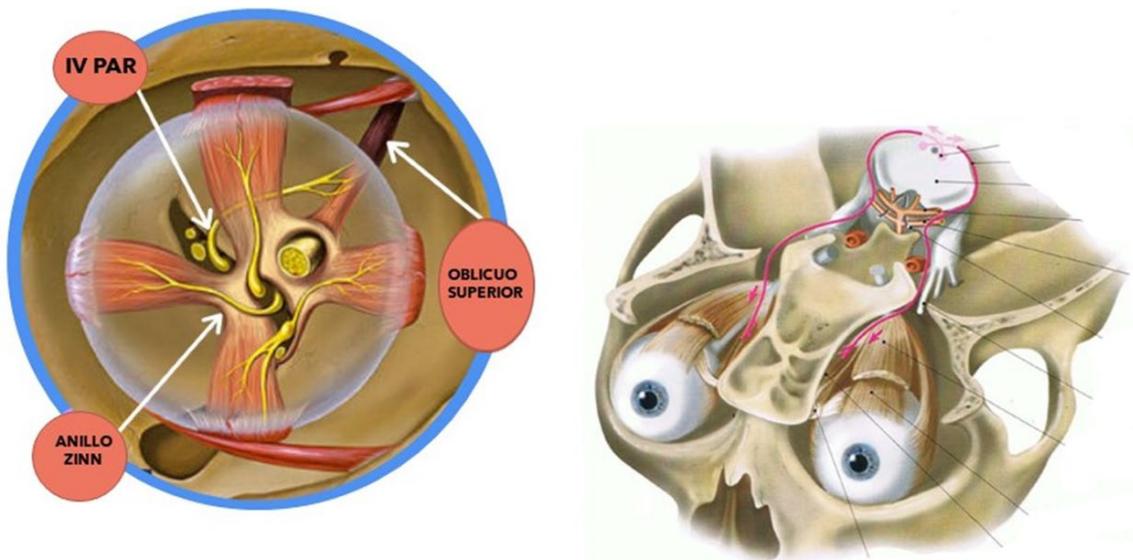
Fuente: internet

IV Par craneal Troclear o Patético

Origen real: está en el núcleo motor del IV ubicado en el mesencéfalo a nivel del colículo inferior de donde nacen las fibras ESG (eferente somático general) que conducen información motora al musculo oblicuo superior, permitiendo que el ojo rote en dirección inferior nasal.

Origen aparente: es en la parte inferior del colículo inferior en el mesencéfalo dorsal, siendo el único nervio que se decusa luego de su origen real antes de emerger en su origen aparente, y el único que emerge en la cara posterior del tallo cerebral. En su recorrido se dirige hacia adelante contorneando los pedúnculos cerebrales, llega al seno cavernoso, se ubica inferior al III par y superior al VI par, llega a la hendidura esfenoidal, pasa por fuera del anillo de Zinn y recorre la órbita por la pared superior, alcanzando al musculo OS (ver Fig. 4.8).

Figura 4.8. Origen real y aparente del IV Par. Su ingreso en la órbita.



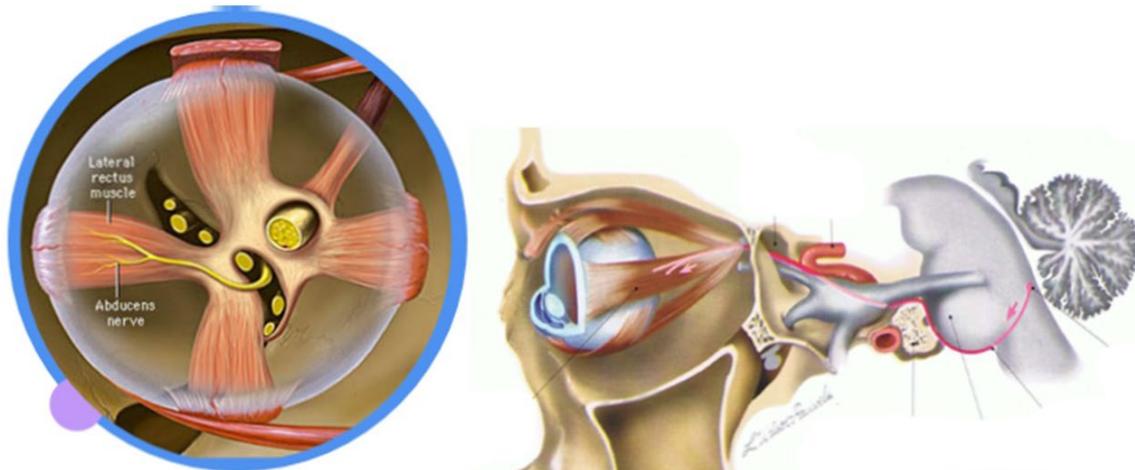
Fuente: <https://medicoplus.com/neurologia/pares-craneales>

VI Par craneal Abductor, Abducen o Motor ocular externo

Origen real: es en el núcleo motor del VI par que está ubicado en el puente, piso del cuarto ventrículo, del que nacen fibras ESG (eferente somática general).

Origen aparente: se encuentra en el tallo cerebral a nivel del surco medulopontino y superior a las pirámides del bulbo. En este punto de emergencia, el nervio se dirige hacia adelante y arriba por el espesor de la cisterna pontina, atraviesa la duramadre de la fosa craneal posterior, llega al vértice del peñasco del hueso temporal, atraviesa el espesor del seno cavernoso y se ubica paralelo al III y IV. Continúa su trayecto hasta la cavidad orbital, atravesando la hendidura esfenoidal por dentro del anillo de Zinn, acompañado por la rama superior e inferior del III par y por el nervio nasal y recorre la pared externa de la órbita hasta llegar al musculo recto externo, quien permite al globo ocular rotar lateralmente hacia el lado temporal.

Figura 4.9. Origen real y aparente del VI Par. Su ingreso en la órbita.



Fuente: internet

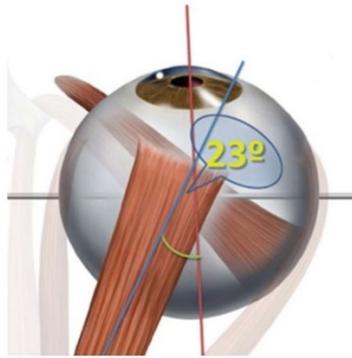
Posiciones diagnósticas

La evaluación de los movimientos oculares se realiza a partir de la Ley de Listing que establece los tres ejes que explican la rotación ocular. Recordemos que este principio sólo aplica cuando la cabeza permanece fija, puesto que cuando la cabeza gira, es el reflejo vestibulo ocular (RVO) quien hace rotar el ojo en dirección contraria, con el objetivo de mantener la imagen necesariamente estable en la retina.

El eje de acción muscular es perpendicular al plano que se forma entre el centro de rotación (ubicado a 13,5 mm del vértice de la córnea y a 10,5 del polo posterior del globo ocular) y el origen y la inserción del músculo. Cada eje tiene una orientación y sentido de rotación y el eje que genera más fuerza muscular con la cabeza fija, es el que determina la acción principal de ese músculo. Del mismo modo, el siguiente eje con más fuerza luego del anterior, generará la acción secundaria y el eje de menor fuerza, determinará su acción terciaria (ver Fig. 4.12).

Para lograr evaluar la acción primaria de esos músculos, debemos hacer coincidir el eje de mirada o eje visual con el plano muscular, por ejemplo, cuando el ojo se encuentra en posición primaria de mirada, los planos de los músculos rectos superior e inferior forman un ángulo de 23° respecto al eje visual (ver Fig. 4.10), entonces para evaluar la acción pura de elevación y depresión de esos músculos, debemos llevar el ojo 23° en dirección temporal.

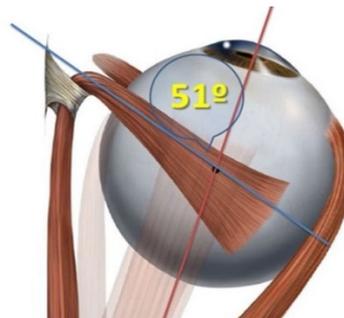
Figura 4.10. Plano muscular y eje visual de los rectos.



Fuente: L. Brusi

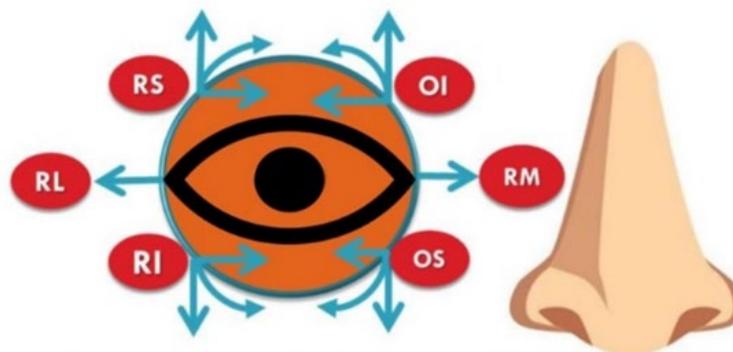
Lo mismo ocurre en caso de los músculos oblicuo superior e inferior, cuyo plano muscular forma un ángulo de 51° respecto al eje visual (ver Fig. 4.11) y para lograr la coincidencia de ambos ejes, debemos rotar el globo ocular en dirección nasal o en aducción, posición donde se evalúa la acción pura de depresor y elevador respectivamente.

Figura 4.11. Plano muscular y eje visual de los oblicuos.



Fuente: L. Brusi

Figura 4.12. MEO y sus acciones.

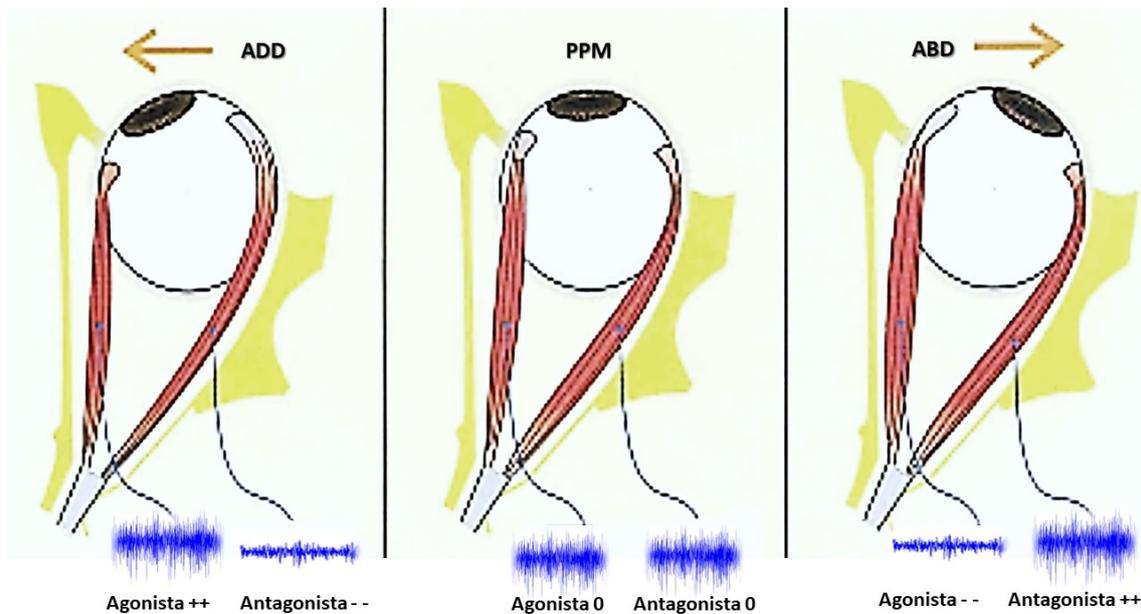


MUSCULO	ACCION PRINCIPAL	ACCION SECUNDARIA	ACCION TERCIARIA
RECTO EXTERNO	ABD		
RECTO INTERNO	ADD		
RECTO SUPERIOR	ELEVADOR	INTORTOR	ADD
RECTO INFERIOR	DEPRESOR	EXTORTOR	ADD
OBLICUO SUPERIOR	INTORTOR	DEPRESOR	ABD
OBLICUO INFERIOR	EXTORTOR	ELEVADOR	ABD

Movimientos monoculares

Los movimientos monoculares que realiza el globo ocular están controlados por la Ley de Inervación de Sherrington y esta Ley determina que la cantidad de fuerza inervacional que recibe un músculo agonista para la contracción, es la misma que debe recibir un músculo antagonista para la relajación para poder efectuar el movimiento monocular necesario (ver Fig. 4.13).

Figura 4.13. Ley de Sherrington.



Fuente: *Manual de Optometría (Herranz-Vecilla 2010)*

Para evaluar la máxima amplitud de acción dentro del campo muscular de mirada y determinar signos de parálisis, paresias y/o limitaciones, la evaluación de los MEO debe realizarse para cada ojo y en cada una de sus posiciones diagnósticas, a través del *test de ducciones*.

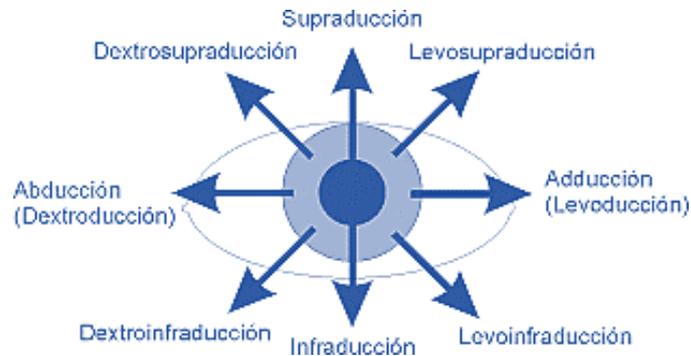
Este procedimiento clínico de evaluación del movimiento ocular tiene en cuenta los ejes de Fick, los planos musculares y la inervación de cada músculo, pudiendo valorar la cantidad y calidad de la excursión de cada uno de cada uno, con el objetivo de determinar la existencia de limitaciones, y registrar el músculo afectado y el grado de la afección.

Cuando hacemos el test de ducciones, estaremos evaluando los pares craneales responsables de la rotación del ojo examinado. Para la interpretación del test tendremos en cuenta que ese movimiento se realiza alrededor del eje vertical lo que produce un movimiento horizontal del globo ocular y que la ubicación del eje de rotación se encuentra a nivel de la línea media, o sea en hora 12. Si el movimiento se realiza hacia el lado nasal se denomina aducción y si se realiza desde esa línea media hacia el lado temporal se denominará abducción. La distancia de rotación que alcance el ojo respecto a la línea media, nos definirá la normalidad o el grado de la afección.

Los movimientos alrededor del eje horizontal producen movimientos de elevación, también llamados supraducción o sursumducción y de depresión también llamados infraducción o deorsumducción.

Los movimientos producidos alrededor del eje anteroposterior provocarán una rotación torsional llamada cicloducción, que si va desde la línea media hacia el lado nasal se llama inciclotorsión o incicloducción, y si va desde la línea media hacia el lado temporal se llama exciclotorsión o excicloducción (ver Fig. 4.14).

Figura 4.14. Evaluación de las ducciones.



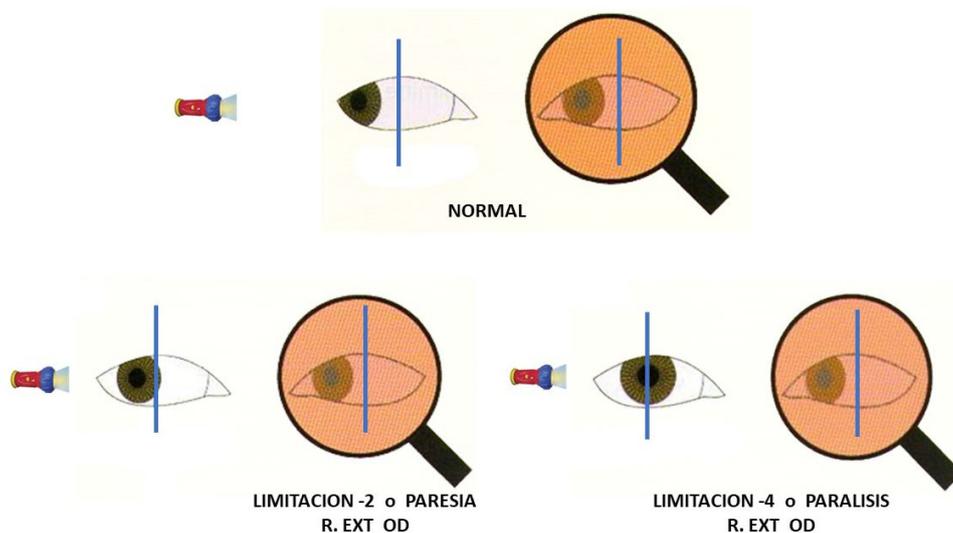
El registro se realiza a partir de la evaluación minuciosa e interpretación de la excursión muscular, debiéndose observar si se realiza e forma suave, precisa, extensa y completa (SPEC). Si algunas de estas características de movimiento no se cumplieran, se quita del registro la inicial que corresponde a esa acción que no se encuentra presente, ejemplo, SPEC.

Si la excursión deja ver cierta limitación, pero el músculo puede sobrepasar la línea media se anota como “limitación” seguida del grado y del nombre del músculo y el ojo afectado

Si la excursión no supera la línea media, la forma de notación será “parálisis”, seguida del nombre del músculo y el ojo afectado (ver Fig. 4.15).

Figura 4.15. Evaluación y registro de las ducciones.

Agonista	Sinergista	Antagonista
RL		RM
RM		RL
RS	OI	RI
OS	RI	OI



Las ducciones también comprenden los movimientos sacádicos rápidos (voluntarios o reflejos a estímulos auditivos, táctiles o visuales) y los movimientos lentos de seguimiento.

Movimientos Binoculares

Para el estudio clínico de los movimientos binoculares y de sus desequilibrios, debemos considerar las posiciones de reposo y de fijación que presentan los ojos, como ser:

Posición fisiológica de reposo: no tiene interés clínico, pero cabe recordar que es aquella posición en la que solo está presente el tono muscular, están excluidos todo el resto de los estímulos y es la que se manifiesta durante el sueño profundo o bajo anestesia general.

Posición disociada: todos los estímulos están presentes y actuando, menos el estímulo de fusión. Es de gran relevancia clínica provocar esta disociación y compararla con la situación de función habitual, lo que permite arribar a conclusiones sobre el tipo y la intensidad del desequilibrio óculo-motor encontrado (ejemplo maniobra de Cover Test).

Si el sistema oculomotor es completamente normal, la posición disociada será la misma que la posición de fijación, o sea, la disociación no provocará ningún movimiento ocular de refijación, lo que determina un equilibrio llamado clínicamente ortoforia.

Posición de fijación: aquí se encuentran presentes todos los estímulos, incluyendo la fusión. Es la posición que adoptan los ojos cuando miran un objeto cualquiera, teniendo en cuenta la posición de la cabeza y de la distancia a la que se encuentra el objeto. Algunas de estas posiciones tienen un interés clínico fundamental: la “posición primaria de mirada” o PPM, que representa la mirada “derecho al frente” y las “posiciones diagnósticas de mirada”, que representan el resto de las 8 posiciones de mirada del campo visual.

La PPM se refiere a cuando los ojos están mirando un objeto situado en el infinito óptico, posicionado en la línea y a la altura de éstos, con la cabeza erguida y sin ningún tipo de rotación.

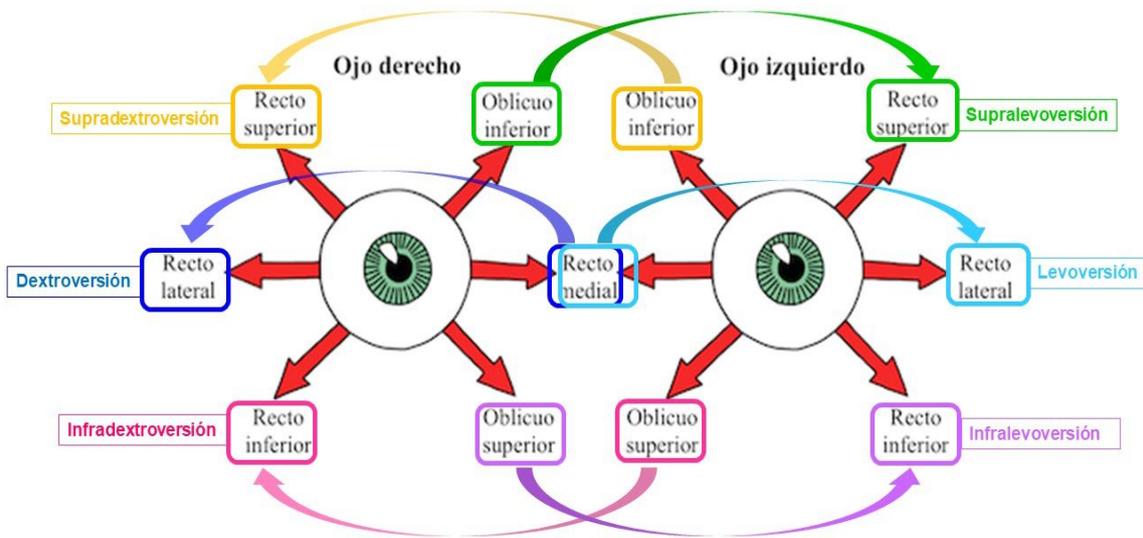
Versiones

Las versiones son movimientos conjugados en los que los ejes visuales se ubican paralelos entre sí y también comprenden los movimientos sacádicos rápidos (voluntarios o reflejos a estímulos auditivos, táctiles o visuales) y los movimientos lentos de seguimiento.

Para la evaluación de las versiones, se observan los reflejos corneales en cada una de las “posiciones diagnosticas” en la maniobra del test de las versiones partiendo de la posición primaria de mirada o PPM, permite evaluar las acciones principales de cada uno de los MEO intervinientes y establecer así que musculo o músculos son los responsables del desequilibrio encontrado (ver Fig. 4.15).

Para la evaluación y registro de la maniobra de las versiones se tendrán encuentra la cuadriga muscular evaluada en cada una de las posiciones diagnósticas, las cuales habrá que identificar con su nombre (ver Fig. 4.16).

Figura 4.16. Interpretación de las versiones.



Fuente: L. Brusi

Posiciones oculares comitantes e incomitantes

Las entidades comitantes son aquellas en las que la cantidad de desviación no se modifica con la dirección de la mirada ni con el ojo fijador, las incomitantes en cambio, son aquellas desviaciones cuyo ángulo varía en las diferentes posiciones de mirada o en relación el ojo fijador. La mayoría de las desviaciones oculares incomitantes son paralíticas o restrictivas.

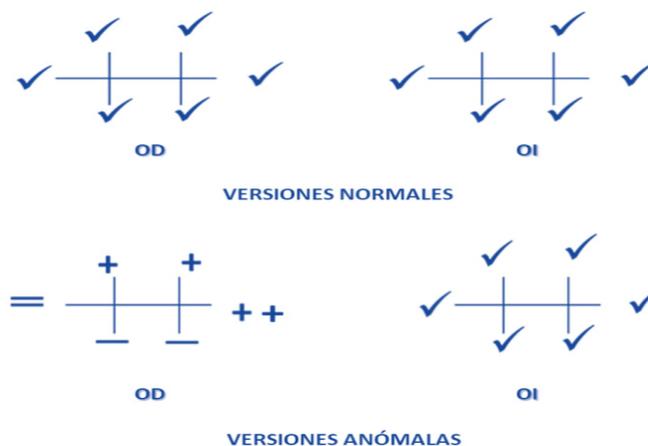
Registro del test de las versiones

En el gráfico correspondiente a versiones, se registrará el resultado de la observación de los reflejos corneales respetando la cuadriga muscular responsable de la posición diagnóstica evaluada (ver Fig. 4.17), y en cada pérdida de paralelismo se registrará el/los músculos afectados, siguiendo la siguiente convención:

Hiperfunción (+): leve + moderada ++alta +++ severa ++++

Hipofunción (-):leve - moderada -- alta ---severa ----

Figura 4.17. Registro de las versiones en el esquema de cuadriga muscular.



Fuente: L. Brusi

Vergencias: convergencia y divergencia

Recordemos que, para realizar los movimientos en forma sinérgica, armonía y con la precisión que requiere el mantenimiento de la bifijación hay neurovías de control y esos movimientos puede que sean conjugados (versiones), disyuntivos (vergencias) o mixtos, considerados movimientos más lentos que los movimientos sacádicos y de seguimiento.

La corteza cerebral (frontal y occipital) y los núcleos vestibulares son los responsables de iniciar los diferentes movimientos oculares. Las vías eferentes que parten desde los lóbulos frontal y occipital descienden por la vía cortico-mesencefálica para integrar y conectar con los centros subcorticales llamados FRPP y FLM (ver Fig. 4.2).

Cuando los movimientos oculares dejan de ser conjugados y se realizan en direcciones opuestas, se trata entonces de movimientos disyuntivos llamados vergencias y éstos se clasifican en convergencia y divergencia, pudiendo ser horizontal, vertical y ciclovergencia.

La convergencia es un movimiento que puede ser de origen voluntario o reflejo, donde ambos ojos se mueven en dirección nasal, y la divergencia es el movimiento de los ojos en sentido temporal, pero aún está en discusión si se trata de una función activa, o solo es el resultado de la relajación de la convergencia, fundado en que existe un núcleo que controla esta función, pero en cambio no existe un núcleo identificado que controle la divergencia.

La convergencia está a cargo del III par craneal, el cual forma un complejo de núcleos celulares de más de 5 o 6 mm de largo situado en la parte superior de tronco cerebral (mesencéfalo) a nivel del colículo superior, complejo que contiene (ver Fig. 4.18):

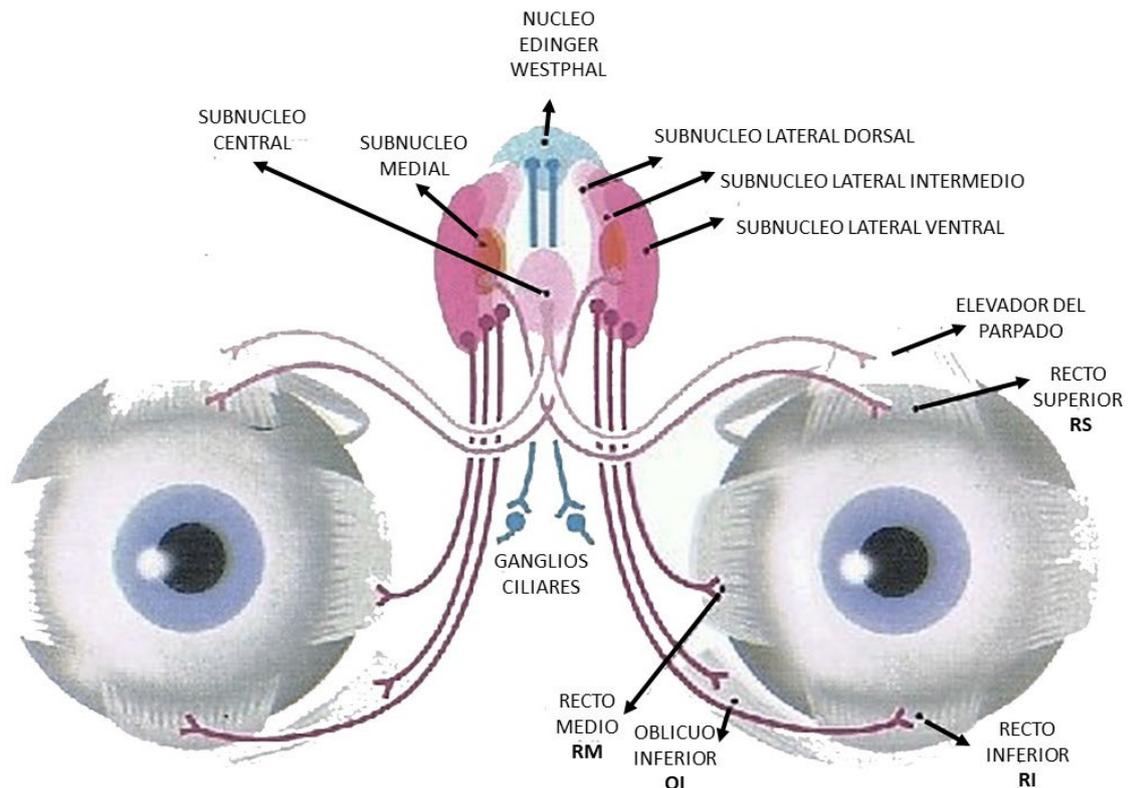
- los 5 núcleos que dan función motora a cada uno de los músculos extraoculares con excepción del oblicuo superior y recto lateral.
- el núcleo de Edinger-Westphal, ubicado dorsal al complejo antes mencionado (en la sustancia gris periacueductal) que posee función parasimpática e inerva los músculos oculares internos (ciliares y esfínter o constrictor de la pupila).
- el núcleo de Perlia, localizado en el espesor del núcleo de Edinger-Westphal, el cual se cree que tiene función sobre la convergencia ocular.

Dentro del proceso de la convergencia existen 4 componentes que se complementan para la acción:

- convergencia tónica: representa el tono muscular necesario para mover los ejes visuales de la posición anatómica de descanso (en divergencia siguiendo el eje orbital) hasta la PPM, con el fin de lograr su paralelismo necesario para conseguir la bifijación y con ello la fusión de las imágenes.
- convergencia fusional refleja: también llamada vergencia fusional positiva, es la responsable de la compensación de la convergencia tónica a partir de la disparidad retiniana de las imágenes, evitando la diplopía.
- convergencia proximal o voluntaria: que se pone en marcha a partir de la proximidad del objeto de fijación.

Al cambiar el estímulo de fijación de un objeto lejano a otro cercano, además de convergencia, se estimulan los mecanismos de la acomodación y la miosis, producto de la sincinesia de inervación del III par craneal llamada “triada proximal”, sin que ello signifique que formen una unidad funcional refleja compacta, de hecho cada una de estas tres funciones son generadas por grupos celulares distintos en el núcleo oculomotor, por lo tanto, cualquiera de estas funciones puede ser provocada sin la dependencia de las otras dos.

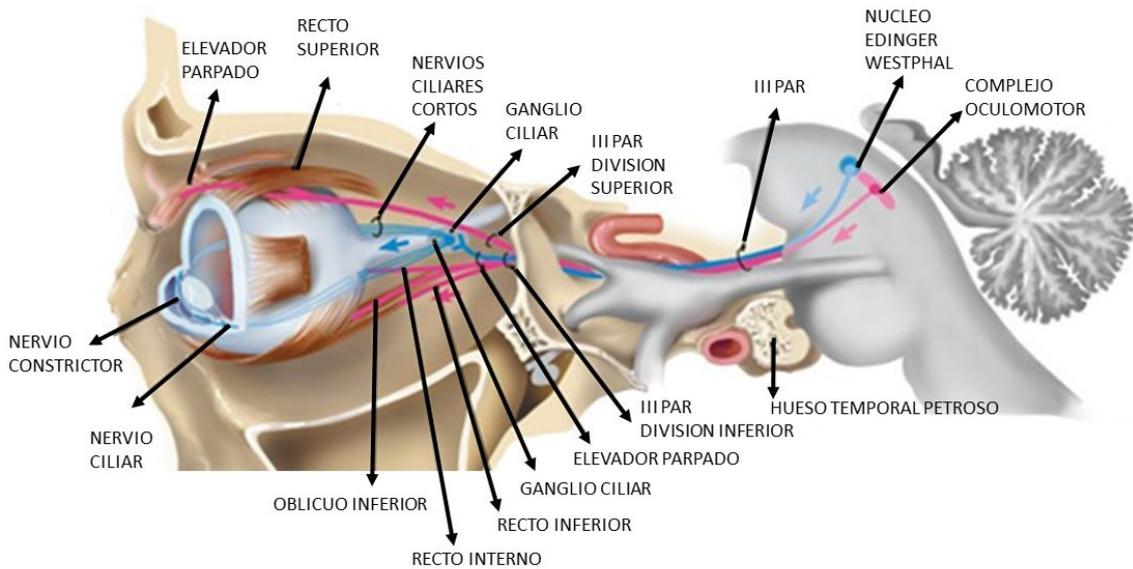
Figura 4.18. Complejo del III par.



Fuente: Wilson-Pauwels. Nota. Subnúcleo medial: inervación contralateral recto superior; Subnúcleo central: inervación bilateral elevador del párpado; Subnúcleos laterales: Dorsal-inervación homolateral RI, Intermedio- inervación homolateral OI, Ventral-inervación homolateral RM

El complejo del III Par craneal es el responsable de la triada proximal donde tiene participación los subnúcleos motores encargados de la convergencia y el sistema nervioso autónomo que a partir de la estimulación del núcleo de Edinger Westphal, el ganglio ciliar y los nervios ciliares, provoca el reflejo de acomodación para conservar la imagen enfocada y el de miosis para la eliminación de las aberraciones periféricas (ver Fig. 4. 19).

Figura 4.19. Vía neurología de la convergencia.



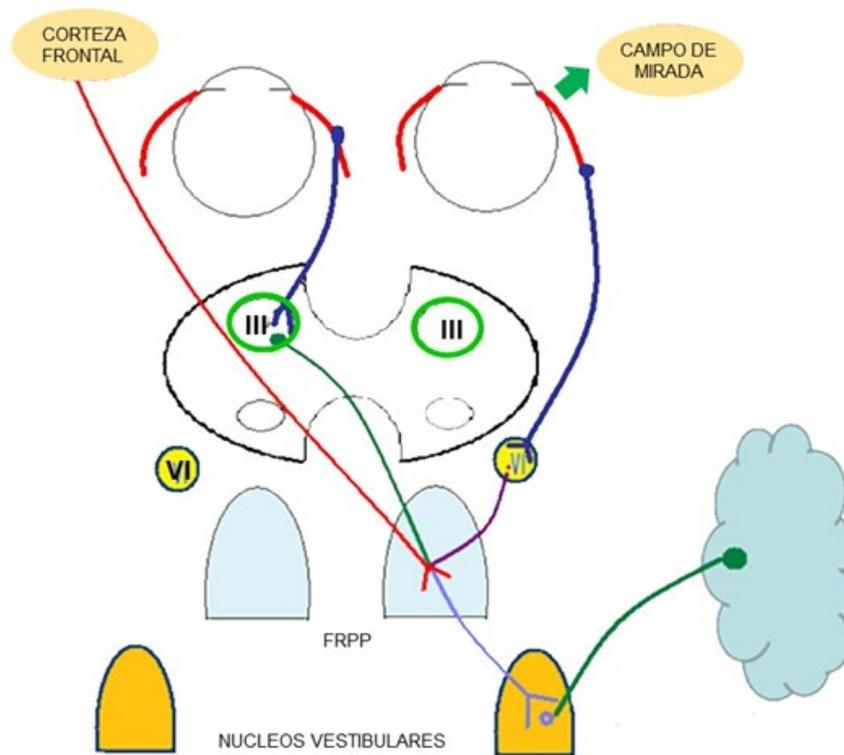
Fuente: Wilson-Pauwels.
Nota. Fuente Wilson Pauwels

Movimientos sacádicos y de seguimiento

La corteza cerebral y los núcleos vestibulares son los responsables de generar los diferentes movimientos oculares, pero la corteza frontal (áreas 6, 8 y 9 de Brodman) es la responsable de los movimientos sacádicos voluntarios y la corteza parietal posterior en coordinación con el área frontal son los responsables de los movimientos sacádicos reflejos (de origen visual, táctil olfatorio).

Los movimientos sacádicos son desplazamientos rápidos de los ojos entre dos puntos de fijación. El rastreo visual de una escena se produce mediante una sucesión de movimientos sacádicos (MSs) y las correspondientes fijaciones entre ellos. Los MSs pueden ser ejecutados voluntariamente o en respuesta a estímulos involuntarios como respuestas reflejas de orientación desencadenadas por la aparición súbita de un estímulo en la periferia del campo visual. Una persona sin alteración de esta vía realiza más de 200.000 movimientos sacádicos a lo largo del día.

La sacada hacia el lado derecho lo inicia el área 8 del córtex frontal izquierdo, que es el centro de la mirada conjugada voluntaria contralateral. El impulso se cruza al lado opuesto (en este caso al lado derecho) y llega a la FRPP, estimula al núcleo del VI par derecho y al núcleo del III par contralateral, conectados entre sí por el FLM (que es la vía fronto-mesencefálica) y a partir de allí se estimula la vía infranuclear y el estímulo de inervación llega a los músculos RLD y RMI que ejecuta la dextroversión. Los centros vestibulares simultáneamente aportan información acerca de la posición de la cabeza para que se realicen también los ajustes oculomotores necesarios con el fin de estabilizar la imagen en las fóveas (ver Fig. 4.20).

Figura 4.20. Control de los movimientos sacádicos.

Fuente: internet.

Los movimientos sacádicos se caracterizan por una serie de parámetros como ser la *amplitud* máxima, donde un desplazamiento mayor de 30° implicaría complementarlo con un giro de cabeza; la *duración* entre 30 y 120 milisegundos dependiendo la amplitud del desplazamiento; la *Velocidad máxima* alcanzada durante el desplazamiento, la *latencia* que es el tiempo transcurrido desde la aparición del estímulo y el inicio de la sacada; el *periodo refractario motor* que es aquel que transcurre entre la finalización de una sacada y el inicio de otra voluntaria y el *tiempo mínimo de fijación* que representa la relación que existe entre la duración de la fijación y la amplitud de la sacada precedente.

Los movimientos de seguimientos o de persecución lenta en cambio, son movimientos voluntarios conjugados de ambos ojos para mantener estabilizada la imagen fóvea de aquellos estímulos que se desplazan lentamente por el campo visual. Su velocidad se adapta a la del objeto, siempre que no supere los $45^\circ/s$. Las neuronas que controlan la velocidad ocular se localizan en el núcleo vestibular medial, reciben proyecciones del flóculo cerebeloso y conectan con los núcleos oculomotores. Las neuronas de la FRPP también intervienen en los movimientos de persecución y reciben señales procedentes del vermis cerebeloso. A estas áreas llegan órdenes de la corteza cerebral a través del núcleo dorsolateral pontino, incluyendo el área visual temporal media. Las áreas temporales, que reciben proyecciones del córtex estriado, proporcionan información sensitiva para guiar los movimientos de persecución, pero la iniciación del movimiento depende del campo ocular frontal

Bibliografía

- Bowden, C., Evans, B., & Doshi, S. (2001). Binocular Vision & Orthoptics. USA: BH OPTICIAN
- Evans, B. &. (2001). Binocular Vision & Orthoptics. Spain: Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- Hugonnier R, Hugonnier S (1973). Estrabismos: heteroforias, parálisis oculomotrices: (desequilibrios oculomotoros en clínica). Francia: Toray-Masson
- Kaufman, P., & Alm, A. (2003). Adlers Physiology of the eye. Mosby.
- Lavin PJM, Donahue SP. (2004) Neurooftalmología: sistema motor ocular. España Elsevier
- Leopold Busquet, (2006) Las cadenas musculares. Tomo V. España: Ed. Paidotribo
- Muñoz, F. (2011-2012). Fundamentos y principios de la oftalmología. En American Academy of Ophthalmology. España: ELSEVIER.
- Ruiz, A., & Latarjet, M. (2006). Anatomía humana. Buenos Aires-Argentina: Médica Panamericana.
- Scheiman, M., & Wick, B. (1994). Clinical management of binocular vision : heterophoric, accommodative, and eye movement disorders. USA: Lippincott.
- Subhash Dadeya, Savleen Kaur (2021) Basic Examination of Strabismus. India: Sociedad Oftalmológica Delhi