

CAPÍTULO

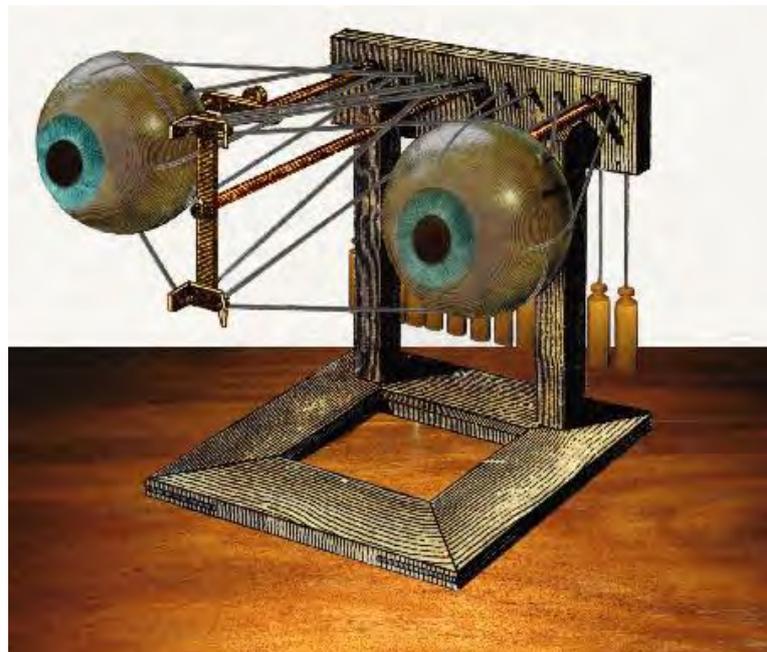
2

FISIOLOGÍA MOTORA 1ª PARTE

José Perea

No hay que soñar
hay que hacerlo mejor que los demás.

Leer y entender es mucho,
leer y pensar es cuanto puede desearse.



El día que tenga nada que aprender
paro mi vida activa.

Cuando el maestro te hace una corrección,
no te hiere, te esculpe.

SUMARIO

CAPÍTULO 2.

Fisiología motora 1ª parte

	Página
2. 1. Introducción	4
2. 2. Centro de rotación y ejes de movimiento del ojo	8
Posición primaria de mirada	10
Eje visual	10
Centro de rotación	11
Ejes de rotación y Plano de Listing	13
Ley de Donders	15
Ley de Helmholtz	15
Ley de Listing	16
2. 3. Mecánica muscular	24
Línea de acción	24
Plano de acción	24
Arco de contacto	27
2. 4. Acción aislada de los músculos oculares	30
Músculos rectos horizontales	32
Músculos rectos verticales	32
Músculos oblicuos	33
Campo de mirada	35
2. 5. Aportaciones a la mecánica ocular clásica	38
Trabajos de Volkman	39
Trabajos de Boeder	39
Trabajos de Jampel	40
Sistema de poleas tenonianas intraoculares	44
2. 6. Movimientos binoculares	47
Clasificación	52
Corolario	53
Versiones	54
Movimientos sacádicos	58
Movimientos de seguimiento o perseguida	81
Micromovimientos en el mantenimiento de la fijación	88
Movimientos vestibulo-oculares	90
Movimientos optocinéticos.....	92

SUMARIO

CAPÍTULO 2.

Fisiología motora 2ª parte

	Página
2.7. Movimientos de vergencia	4
Concepto	5
Tipos de vergencias	16
Formas de vergencias	25
Vergencia y dominancia ocular fisiológica	43
2.8. Posiciones de los ojos	55
Posición anatómica de reposo absoluto	55
Posición de reposo sin fijación	56
Posición disociada	56
Posición asociada	57
2.9. Fisiología patológica motora	59
Introducción	59
2.10. Fisiología patológica de los Sistemas sacádico y de seguimiento	63
Trastornos de la motilidad con integridad de la correspondencia motora	63
Trastornos de la motilidad con alteración de la correspondencia motora	72
2.11. Fisiología patológica del Sistema vergente	86
Apunte histórico	86
Fisiopatología	89
Vergencia tónica	91
Vergencia acomodativa	95
Vergencia fusional	101
Alteraciones supranucleares de la motilidad ocular	111
Bibliografía	113

2.1.

INTRODUCCIÓN



Los movimientos de los ojos no sirven solamente para dirigir las imágenes del mundo exterior sobre puntos determinados de la retina, dan también expresión y vida a nuestra fisonomía. Los ojos son quienes, principalmente, expresan el estado de nuestros sentimientos y pensamientos, y esta expresión es debida, sobre todo, a la posición y a los movimientos del globo ocular, a los cuales se añaden los movimientos musculares de la cara, de los párpados y los cambios de acomodación de los ojos. La tristeza dirige los ojos hacia abajo, la exaltación los eleva hacia el cielo, y el alma que recibe a través de ellos su alimento espiritual, por el mismo órgano traduce al exterior sus impresiones íntimas”.

Julius Bernstein (1883)

La disposición e interés clínico por la motilidad ocular se inició con los estudios del que fue profesor de Fisiología y Patología en la Universidad polaca de Breslavia en 1823 y, posteriormente, en la de Praga en 1850, **Johannes Evangelista Purkinje (1787-1869)**, quien valoraba los movimientos oculares mediante el tacto, manteniendo al paciente con los ojos cerrados.

Muchos animales, como la rana, la víbora o la lechuza e, incluso, algunos mamíferos pequeños, tienen los ojos fijos e inmóviles en las órbitas, quienes para “ver”, están obligados a hacer giros corporales o cefálicos. En el humano, por el contrario, el conjunto biocular para “percibir” primero ha de “mirar”. El poeta peruano **Juan José Soto (2006)** describió como nadie la inmovilidad ocular en el hombre cuando dijo:

Ojos inmóviles,
la ansiosa mirada de la muerte...



Juan José Soto
(1965-....)

Los globos oculares, en beneficio y al servicio de la función visual presentan de modo perfectamente coordinado gran movilidad para optimizar las sensaciones recibidas, que han de transformarse en percepciones conscientes, posibilitando que la imagen de cualquier objeto, motivo de la

atención del individuo, incida enfocada en *áreas correspondientes* de ambos receptores retinianos, principalmente sobre las más privilegiadas histológicamente como son las fóveas. De este modo, la variación del *campo de fijación*, merced a los movimientos oculares y manteniendo constante el *campo visual*, permite al individuo aumentar y engrandecer su área de información. Aquí y así, se inicia un proceso complejo que terminará ofreciendo impresión mental de su entorno, y que solo es posible si concebimos el sistema motor ocular como un circuito autorregulado (servomecanismo) dentro de una organización cibernética retroalimentada. Así, la actividad se controlaría por sí misma de acuerdo a los efectos logrados, influyendo de forma retroactiva (*feedback*) sobre órdenes superiores y sobre la acción del resto de unidades, también autorreguladas (**Norbert Wiener, 1948**). En el sistema óculo-motor humano, el más perfecto en el concierto evolutivo de las especies, no solo se ejecutan los mandatos que vienen de centros superiores, sino que se organizan y modulan las respuestas obtenidas en la *“enmarañada jungla de la corteza cerebral”*, como diría **Sir Charles Scott Sherrington (1946)**, a fin de mantener el equilibrio deseado entre los diferentes grupos musculares para sustentar la visión binocular, que parece un milagro si recordamos que son nada menos que doce músculos los elementos participantes, además de los dos elevadores palpebrales, cuya relación es muy estrecha con este complejo muscular efector.

Esta organización cibernética es el único modo de concebir las respuestas optomotoras, con el fin de fusionar los objetos de nuestro entorno a través de los diferentes movimientos de versión y los aún más complicados de vergencia, ambos en colaboración y complicidad simultánea.

La perversión de la organización de este circuito óculo-motor inteligente da lugar al *“desequilibrio”*. Forman parte de este las estructuras superiores del córtex cerebral y las subcorticales del tronco del encéfalo, ambas en conexión con los efectores neuro-

musculares de la periferia. De esta manera, cuando hablamos de estrabismo o, mejor dicho, de síndrome de estrabismo, hay que entender que el conjunto de esta “*edificación*” mencionada, de compleja conexión neuronal y en íntima relación entre sí, se encuentra enferma. Desde la estructura que recibe la sensación (retina), hasta los centros neurales de control, integración, asimilación y memorización (cerebro y centros mesencefálicos), terminando en los efectores motores. Todos estos estratos están en interdependencia y subordinación que, dicho con palabras de **Jean Pierre Nuel (1905)**: “... desde la foto-recepción hasta la última reacción, todos estos procesos sucesivos se encuentran unidos entre sí por ley de la constancia de la suma de energía, lo que significa que cada uno de ellos es causa fisiológica del que le sigue” (“La visión” pág. 125). En perfecto entendimiento con el Profesor de Lieja, queremos decir que toda vez desencadenada la enfermedad es de gran dificultad determinar el lugar exacto donde se inició, lo que explica que sea sumamente complicado encontrar de forma individual el elemento aislado que, en su momento, fue protagonista u origen del desequilibrio motor. O sea, la etiopatogenia del estrabismo.



Jean Pierre Nuel
(1847-1920)

Y es que la modificación del estado de contracción de cualquiera de los músculos oculares extrínsecos interrumpiendo la homeostasis, es susceptible de romper el

equilibrio, enfermando todos los parámetros dinámicos homólogos existentes en los ojos. Ahora bien, el que se desconozca este problema íntimo no debe llevar a fortalecer el empirismo quirúrgico que hoy existe, sino todo lo contrario. Debe conducirnos, al menos, a la búsqueda de procedimientos de exploración que, de modo más preciso y minucioso, determinen las alteraciones motoras estado-cinéticas en las diferentes posiciones y direcciones de la mirada, y su vinculación con el aspecto sensorial para intentar llegar al mejor resultado terapéutico. En el momento actual el procedimiento de más alto nivel es la video-oculografía (**José Perea, 2003**) asistida por informática. Siento profunda tristeza ver que se siguen escribiendo artículos, libros y ponencias, en los que mantienen de actualidad métodos de exploración arcaicos: cover-test con prismas (**Emanuel Krimsky-1948**), pantalla de **Walter Lancaster (1909)**, o la búsqueda mediante vergencias guiadas del punto próximo de convergencia (**Claud Worth-1905**) y se ignore, por desconocimiento, la video-oculografía.

Hablamos de nuestros ojos como individualidades y nada más lejos de lo real. Ambos forman unidad, que en fisiología se halla plenamente armonizada. El individuo normal, cuando realiza el movimiento de un ojo el otro responde al mismo tiempo y de modo exacto, al menos en los movimientos de versión, manteniendo armonía con los giros cefálicos, que favorecen la dinámica ocular evitando las versiones extremas de los globos, que pudieran resultar penosas. Aunque la iniciativa de determinado movimiento pueda ser unocular, su ejecución es siempre acoplada. Se puede decir, definitivamente, que toda actividad de rotación o desplazamiento realizado es “bi-ocular”. La monocularidad es algo artificial, inexistente, cuyo único sentido al referirnos a ella es exclusivamente didáctico.

Por otra parte, la unión sensorial de nuestros dos ojos forma un todo indivisible e indisoluble con el sistema motor. Esta vinculación entre lo motor y lo sensorial es la base anatómica de los movimientos reflejos,

en los que en el acto visual se imponen de modo absoluto: el *agente físico* provocando su impronta sensorial sobre la membrana nerviosa ocular, el *acto psíquico* que elabora la foto-recepción (**Nuel, 1914**) y la *reacción motora* final. El que fue director de la Clínica Oftalmológica de Szczecin (Polonia), **Witold Starkiewick (1958)** nos enseñaba que “...las leyes, que dirigen las funciones reflejas, son, sin duda, las principales leyes biológicas activas en el organismo humano” (“Rôle du système musculaire dans pathogénèse et la thérapie du strabisme”, pág. 5). Y es que “miramos” con el “componente motor” y “vemos”, dando vida al hecho psíquico, con el “componente sensorial”. El “componente motor” aporta el equilibrio estático y cinético bi-ocular, que el médico puede explorar mediante procedimientos objetivos, en tanto que el “componente sensorial” es plenamente subjetivo y cuya valoración solo la puede dar el enfermo. Ambos sistemas, motor y sensorial, están perfectamente correlacionados a través de estrecha coordinación entre la corteza visual primaria y las estructuras óculo-motoras mesencefálicas, que permiten superponer ambas sinergias: correspondencia motora y correspondencia sensorial. Sin la sinergia de ambas, no hay posibilidad de que pueda existir percepción razonable alguna. El estudio por separado de ambos componentes es quimérico, ficticio e ilusorio, pero no hay otro método de exponerlo para facilitar su comprensión. Más adelante veremos de qué forma síntomas de naturaleza típicamente sensorial, como es la ambliopía, influyen sobre el componente motor, demostrado por el diferente resultado cinético obtenido según que el paciente fije con el ojo dominante o con el ambliope.

Determinado objeto en el campo

visual que motiva la atención del individuo, “viéndolo” sin precisión alguna, le hace dirigir sus líneas visuales hacia él, despertando un *movimiento reflejo de dirección*, sea cual sea la posición de la cabeza y del cuerpo. En consecuencia, “mira” ese objeto con el fin de direccionar sus líneas visuales para enfrentarlo a las fóveas ejerciendo las funciones de versión y vergencia y, cuando hay capacidad posible (durante la juventud), la de *acomodación*.

El fin último y esencial es el de que los ejes visuales de ambos ojos queden perfectamente alineados para conseguir la bi-fovealización y que el estímulo procedente de un objeto exterior caiga sobre *áreas retinianas correspondientes* para tener como resultado la imagen única (*haplopía*) y, además, con sentido de profundidad y relieve (*estereopsis*). Es imprescindible, pues, que la *identidad retiniana (correspondencia sensorial)* se armonice con *correspondencia motora* normal. La sincronía de ambos sistemas, motor y sensorial, y las ligazones que vinculan a ambos, son imprescindibles para el acto visual binocular. Se supedita siempre el primero al segundo, verdadero protagonista del momento final del proceso. Y si queremos decirlo de otro modo: “la visión binocular es quien regula el equilibrio óculo-motor”. Transcribo literalmente al Profesor **Jean Nordmann** cuando afirma: “... la correspondencia motora es corolario indispensable de la correspondencia sensorial”.

Lo normal y lo patológico no pueden separarse jamás. Ambos se necesitan entre sí para su comprensión. De ahí que debemos conocer la fisiología antes de estudiar las alteraciones óculo-motoras que originan los diferentes estrabismos.

2.2.

CENTRO DE ROTACIÓN Y EJES DE MOVIMIENTO DEL OJO

El ojo, con los seis músculos extrínsecos efectores de que dispone para imprimir todos los movimientos relacionados con el acto visual (siete si consideramos el elevador del párpado), es un esferoide situado y suspendido en la cavidad orbitaria, alveolo de forma no análoga y de tamaño mucho más considerable que el órgano que confina. El globo ocular, mantenido en equilibrio tónico y puesto en actividad por esta potente musculatura, estaría expuesto a desplazamientos muy importantes, con el deterioro y quebranto subsiguiente, si no fuera por la singular disposición anatómico-estructural que lo mantiene posicionado en el centro de la órbita, merced al resto del contenido orbitario: fascias, ligamentos de contención, terminaciones vásculo-nerviosas y mucha grasa orbitaria. Este entorno fibro-graso de sustentación supone en el individuo normal cierta carga mecánica pasiva, aunque pequeña, permitiendo al ojo llevar a cabo movimientos de rotación y traslación, con fricción baja, en todas las direcciones del espacio: horizontal, vertical, oblicua y torsional, consiguiendo este efecto con poca fatiga. Todo ello lo realiza con las limitaciones de freno y modulación que dicho contenido impone, no permitiendo que existan, ya referido antes, giros demasiado notables, y facultando que se ejerzan de forma suave, uniforme y precisa.

Richard Scobee, a mediados del siglo pasado, puntualizaba que la musculatura ocular está posibilitada para trabajar sin penosidad alguna, debido a que lo hace muy por debajo de su capacidad máxima. **Walter Lancaster (1948)** precisó que cualquiera de los

seis músculos óculo-motores tiene un potencial 50 a 100 veces superior al que pudiera necesitar en su trabajo habitual.

En condiciones normales, las *locomociones* o movimientos de *traslación*, es decir, aquellos en los que el ojo se mueve en “totalidad”, son muy pequeños. De 0,5 mm frontalmente y de 2,0 mm según el eje anteroposterior (**Roger Carpenter, 1977**), por lo que pueden considerarse despreciables. Nos lo recuerda **Manuel Márquez** en **1913**: “...el ojo, suspendido en la órbita, entre la acción retractora de los rectos y la protractora de los oblicuos, en sentido anteroposterior, y sostenido por la almohadilla adiposa, a la vez que por la cápsula de Tenon y las prolongaciones de ésta, no es susceptible de verificar más que movimientos de rotación alrededor de sus diversos ejes. Los movimientos de traslación o de totalidad, quedarían recíprocamente equilibrados entre los músculos retractores y protractores” (“Lecciones de Oftalmología”, pág. 337).



Manuel Márquez
(1872-1962)

Del mismo modo, **Marius Hans Erik Tscherning (1898)** puntualizaba en “Optique Physiologique”, pág.267: “... *la incomprensibilidad de las partes blandas que rellenan la órbita, impone una resistencia que impide los movimientos de traslación del ojo*”.



Marius Hans Tscherning
(1854-1939)

Por último, **Hermann von Helmholtz (1867)** escribe en “Optique Physiologique”, Vol. II, pág. 596: “... *los desplazamientos del ojo en “totalidad”, es decir, aquellos en el que todos los puntos del ojo se desplazarían según la misma dirección son imposibles, y este órgano no puede ejecutar más que rotaciones. El ojo no puede, en condiciones normales, ni hundirse en la cavidad orbitaria, ni salir de ella, al menos las contracciones pasajeras de sus músculos no se acompañan de tales movimientos*”.

De este modo, hay “equilibrio” entre la acción de los cuatro músculos rectos que, con su origen óseo en el fondo de la órbita, tiran de los globos oculares hacia el vértice de la misma, con la actividad de los músculos oblicuos, originados cerca de reborde orbitario (el superior en la polea reflectora anterior), que lo hacen hacia adelante. También influye la almohadilla grasa que rodea al globo por detrás y por los lados, y los párpados que lo recubren por delante, que se suman a la compensación. Todo ello, junto al resto de estructuras, muy particularmente la cápsula de Tenon y los ligamentos suspensorios (en especial los laterales), y sin menospreciar las conexiones fibrosas que

unen íntimamente al músculo recto inferior con el oblicuo inferior y al músculo recto superior con el oblicuo superior. Podemos afirmar que los músculos oblicuos, el cojinete adiposo y las ataduras de la aponeurosis órbita-ocular (cápsula de Tenon y ligamentos fibrosos), se oponen al desplazamiento posterior del globo. En tanto, los músculos rectos y, en menor medida, los párpados y el complejo vásculo-nervioso evitan el desplazamiento anterior. Así, por ejemplo, cuando la grasa orbitaria disminuye, como ocurre en determinadas patologías, asistimos a un grado más o menos importante de enoftalmía. Al igual, en otras enfermedades, como acaece en el Síndrome de Duane, podemos ver traslación posterior del ojo. Por el contrario, la ingurgitación de los vasos intraorbitarios lo empuja hacia delante.

El equilibrio suspensor del globo ocular que estamos considerando es referido al estado de *posición de reposo sin fijación o posición fisiológica de reposo*, en la que no interviene más que la actividad tónica de la musculatura extrínseca. Cuando hay contracción activa de los músculos oculares, se precisa de otros elementos que actúen para mantener este estado de equilibrio, y que el *centro de rotación*, del que hablaremos seguidamente, no sufra variaciones importantes.

Los movimientos oculares realmente interesantes en fisiología motora son los de rotación, entendidos como tales las revoluciones ejecutadas en torno a tres ejes ortogonales intersectándose en un centro (*centro de rotación*), que permanece en la cavidad orbitaria prácticamente inmóvil e invariable. Es decir, el ojo casi no se desplaza ni hacia delante ni hacia atrás, ni tampoco frontalmente, sino que pivota sobre él mismo con movimientos únicos de rotación. Fue acepción clásica decir que el globo ocular tenía comportamiento similar a una rótula engastada en la cavidad orbitaria, de forma que el ojo se movía como las extremidades diartrodiales, y muy especialmente similar al de la cabeza del fémur en la cavidad cotiloidea. Hoy sabemos que comparar la relación globo-órbita con una enartrosis no es

exacto, debido a que los movimientos oculares se acompañan del arrastre y desplazamiento de la atmósfera tisular periocular de su entorno (cápsula de Tenon con sus ligamentos de contención, grasa adyacente, nervio óptico, paquete vásculo-nervioso que lo rodea etc). A diferencia de cualquier enartrosis, el ojo no puede moverse sin arrastrar las propias paredes de la cavidad fibrosa en la que se aloja, en virtud de la tabiquería delicada y numerosa que une la esclerótica a la capa interna de la cápsula de Tenon, siendo posible esta movilidad gracias a la elasticidad de estas membranas. Los desplazamientos de los globos oculares en su cavidad articular, aun siendo importantes, en virtud de esta complejidad no pueden alcanzar la amplitud de los enartrodiales.

Los movimientos rotadores se hacen alrededor de ejes que pasan por este *centro de rotación*, de modo que en tanto uno de los polos del globo ocular se introduce en la órbita el otro sale de ésta. Si queremos comprender el movimiento rotacional del ojo hay que definir tres parámetros: **eje visual* con relación al eje de la órbita, **centro de rotación*, y **ejes de rotación*. En principio, para tener cierta referencia de los movimientos oculares, hay que definir la situación estático-motora de la que siempre tomamos consideración de partida, y que se conoce como "*posición primaria de mirada*".

Posición primaria de mirada (PPM)

Jorge Malbrán (1949) define la PPM como "*... la posición adoptada en condiciones normales, cuando los ojos manteniendo fijación binocular, los ejes visuales paralelos miran directamente al frente hacia la línea del horizonte*". ("Estrabismos y parálisis" pág. 14).

Según **René Hugonnier** y **Suzanne Hugonnier**, los ojos se hallan en **posición primaria de mirada** "*... cuando manteniendo la cabeza vertical e inmóvil, y la espalda recta, miran un objeto en el infinito y a su misma altura*" ("Strabismes, Heterophories, Paralysis oculo-motrices", 1959. pág. 76).



René Hugonnier
(1914-1982)

En esta posición de mirada al infinito, en la que no participan las vergencias proximal ni acomodativa, si el individuo es emétrepe o transformado en emétrepe mediante corrección óptica, los ejes visuales son paralelos cuando hay ortotropía. Si en esta posición rompemos la fusión ocluyendo un ojo, se seguirá manteniendo este equilibrio recíproco en el caso de que el paciente no sea heterofórico. Así, en esta situación hemos suprimido todas las vergencias vinculadas a la fijación: *proximal, acomodativa y fusional*. Tan solo permanece activa la *vergencia tónica* de **Ernest Edmund Maddox (1853)**.

La **PMM**, estado posicional de inervación mínima, debe ser el punto habitual de comienzo para cualquier estudio de la motilidad ocular.

En los casos en que no haya supresión, cuando un proceso patológico modifica esta posición primaria de mirada, se asistirá a la aparición de un tortícolis.

Hermann von Helmholtz, en **1867** ("Optique physiologique", Tomo II, pág. 598), consideraba lo que él denomina "**posición natural de la cabeza**" diciendo que es "*... la que se da cuando el cuerpo está recto y la mirada dirigida hacia el horizonte*". Y añade: "*... en esta posición, en mi caso, la glabella del hueso frontal se encuentra sobre la misma vertical que los dientes superiores*". El fisiólogo alemán para hacer sus valoraciones parte de una "**posición primaria de la línea de mirada**" en la que "*... la cabeza estando derecha, la mirada de los dos ojos se dirige paralelamente*".

al plano mediano, hacia el horizonte situado a una distancia infinita”.

Para **Helmholtz**, **posición primaria de mirada** es aquella en la que, a partir de la misma, si se hace un movimiento de elevación o descenso sin desplazamiento lateral del aparato ocular, o de desplazamiento lateral del mismo sin elevación o descenso, no se produce movimiento torsional alguno (“Optique physiologique”, Tomo II, pág. 603).



Hermann von Helmholtz
(1821-1894)

Eje visual

Es el que une el punto de fijación de un objeto con la fovea pasando por el *centro de rotación (punto nodal)*. Estando el sujeto en

posición primaria de mirada, el eje visual y el de la órbita forman ángulo agudo. En esta situación (PPM), los ejes visuales de ambos ojos son paralelos entre sí y también al eje medio de la cabeza.

Así pues, vemos como el **eje visual** del ojo no coincide con el anatómico de la pirámide orbitaria (Figura 1). El globo ocular no adopta igual posición al de la cavidad que le alberga y protege, siendo el eje de ésta oblicuo hacia afuera y forma con aquél un ángulo de 23° (según **Edmond Landolt** de 27°). Esta discordancia de adaptación repercute funcionalmente sobre el entorno estructural intraorbitario: Durante los momentos de vigilia existe un *tono horizontal* bi-ocular permanentemente ajustado, que mantiene de forma continua una posición aductora positiva, de tal modo que en la pareja muscular horizontal, constituida por el recto medio y recto lateral, que han de encontrarse en equilibrio, este tono es, funcionalmente, *asimétrico* con ventaja del recto medio para poder mantener la fijación frontal. Esta *tonicidad asimétrica* de los músculos rectos horizontales desaparece durante el sueño y bajo narcosis profunda, adoptando los ojos una posición de divergencia ligera.

Este ajuste inervacional necesario para obtener el equilibrio bi-ocular merced al aumento de la tensión activa de los rectos medios se denomina *vergencia tónica*.

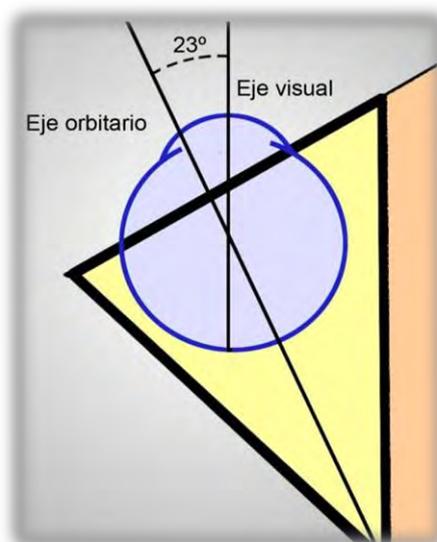


Figura 1. Eje visual y orbitario.
(Ojo izquierdo)

Centro de rotación del ojo (punto nodal)

Antes quedó concretado que el globo ocular no puede hacer nada más que movimientos de rotación, de ahí la importancia de delimitar el centro en torno al cual se llevan a cabo estos desplazamientos.

Puede definirse el **centro de rotación** como el punto fijo cefálico alrededor del cual se producen los giros del ojo. A **Johannes Müller (1825)** se debe la consideración de esta hipótesis. La determinación de este centro pertenece al campo de investigación fisiológica.

A partir de la edad de 3 años, estimando el globo ocular medio como una esfera de 24 mm de diámetro y con un diámetro anteroposterior de 25 mm, debido a la curvatura corneal, el **centro de rotación**, o punto nodal en torno al cual se realizan los movimientos oculares, se encuentra en el emétrope, en torno a 13,45 mm del vértice de la córnea (1,5 mm por detrás del ecuador) y a 10,00 mm por delante del polo posterior del ojo (según **Donders y Doijer, 1862**). Algo por delante en el hipermétrope (13,22 mm) y ligeramente por detrás en el miope (13,52 mm) (Figura 2).



Johannes Peter Müller
(1801-1858)

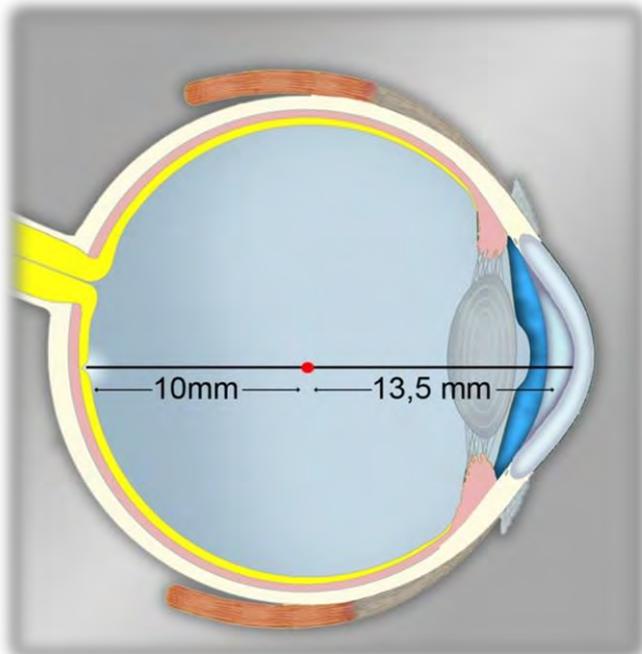


Figura 2. Centro de rotación.

Es el punto alrededor del cual el ojo realiza los movimientos de rotación. Está situado a 13,5 mm de la córnea y a 10 mm del polo posterior. Por él pasan el Plano de Listing y los tres ejes de Fick.

El valor desde el vértice corneal presenta ligeras variaciones según los diferentes autores:

WOLKMANN (1869)	13,54 MM.
WEISS (1875)	12,90 MM.
KOSTER (1897)	13,80 MM.
KOEPPE (1923)	13,20 MM.
HARTINGER (1928)	13,50 MM.

Helmholtz (1867) y **Tscherning (1898)** refieren que **Donders** no llegó a determinar si la situación del **centro de rotación** del ojo permanece constante para todas las posiciones del ojo.

Johannes Müller (1868) en su Tesis leída en Zurich dice: “... el centro de rotación del ojo puede sufrir algunos desplazamientos insignificantes, de algunas décimas de milímetro, hacia adelante cuando el ojo se dirige fuertemente hacia arriba, y un poco hacia atrás en los movimientos exagerados hacia abajo”.

El **centro de rotación** es la resultante de la labor de todas las fuerzas del aparato motor ocular. La situación de este centro no es algo absoluto sino que varía según se modifique el sistema al que pertenece. Así pues, si un músculo se paraliza el centro de rotación queda desplazado.

Colenbrander (1936) comprobó, también, mediante estudios minuciosos, que los desplazamientos que puede sufrir el **centro de rotación** son tan pequeños que su valor constante puede mantenerse.

La línea que une ambos **centros de rotación** se llama *línea de base*. El valor de esta longitud es equivalente a la distancia interpupilar, y, en consecuencia, variable según la persona. A juicio de **Photinos Panas**, cuanto mayor sea la *línea de base* más dificultad tienen en su función los músculos aductores, por lo que en estos casos está favorecida la astenopía de convergencia. Así podría explicarse la mejora de los estrabismos convergentes con el paso del tiempo, llegando algunos a curarse en la edad adulta debido al desarrollo progresivo del esqueleto, que repercutiría en la separación de los centros.

Al considerar de esta forma el **centro de rotación** del globo, se entiende que en cualquier movimiento que realice, la dirección de la parte anterior del ojo, sea vertical u horizontal, lo hará siempre en sentido contrario a la de la posterior. Es decir, si el segmento anterior del ojo se eleva, el posterior desciende y viceversa.

Cada ojo tiene seis músculos, que no es mero accidente, sino profundo sentido, pues su trabajo, de dos en dos, va a permitir una

serie de movimientos en torno a los ejes que pasamos a describir:

“Ejes de rotación” del ojo y Plano de Listing

Adolph Eugen Fick, en 1854, describió los **ejes de rotación** del ojo. Son tres y perpendiculares entre sí, que se intersectan en el *centro de rotación* (*sistema de coordenadas de Fick*). Alrededor de ellos se producen los movimientos oculares más simples. Tienen en común, insistimos, que pasan por el *centro de rotación*: Son los ejes *X* (*horizontal*), *Z* (*vertical*) e *Y* (*anteroposterior*) (Figura 3).

Los ejes *X* (*horizontal*) y *Z* (*vertical*) determinan un plano frontal, llamado **plano de Listing (1854)**, perpendicular al eje *Y* (*anteroposterior*). Este plano, en correspondencia aproximada con el ecuador del ojo cuando éste se encuentra en posición primaria de mirada, fue bautizado por **Heinrich Ewald Hering (1905)** con el nombre de **plano axil primario**. Corta al globo ocular en dos hemisferios: uno anterior y otro posterior.

Volvemos a decir que: El **plano de Listing** es frontal y, pasando por el *centro de rotación* del ojo, contiene los ejes *X* (*horizontal*) y *Z* (*vertical*) de **Fick**. (Figura 3).

Los movimientos de cada ojo en torno a estos tres ejes se llaman *ducciones*. Convencionalmente son considerados como tales los desplazamientos oculares que ejecuta el segmento anterior del globo.

* El eje horizontal, eje *X* ó “eje de cabeceo”, proporciona los movimientos verticales de ducción: supraducción (elevación, ascenso o sursumducción) e infraducción (depresión, descenso o deorsumducción). Los ojos describen un *ángulo de altitud*.

* El eje vertical, eje *Z* ó “eje de viraje”, permite los desplazamientos horizontales: abducción (hacia el exterior o la sien) y aducción (hacia el interior o la nariz). Los ojos realizan un *ángulo de azimut*.

* El eje anteroposterior, eje *Y* ó “eje de torsión”, faculta las rotaciones “involuntarias”

de ciclo-ducción o ciclo-rotación (*movimientos de "rueda" o "Raddrehung" de Helmholtz, 1866, de "polea" o movimientos de "torsión" de Duane, 1932*). Son las de incicloducción, intorsión, inciclo-rotación o ciclo-rotación interna, y las de excicloducción, extorsión, exciclo-rotación o ciclo-rotación externa mediante las cuales la parte superior del eje vertical de la córnea se inclina hacia adentro (dirección nasal) o hacia afuera (dirección temporal), respectivamente, en torno a referido eje y a modo de las agujas de un reloj situado ante nosotros.

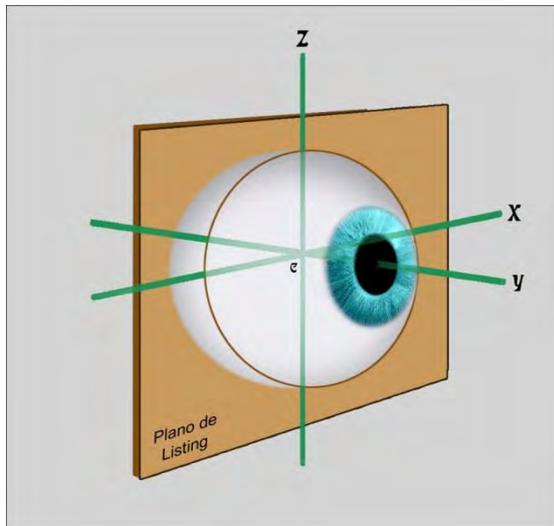


Figura 3. Ejes de Fick y Plano de Listing.

Los movimientos oculares se realizan en un sistema de coordenadas, de acuerdo a tres ejes perpendiculares entre sí (*ejes de Fick*): el eje X (horizontal), el eje Y (antero-posterior), y el eje Z (vertical).

El plano frontal que pasa por el centro de rotación del globo y contiene los ejes X y Z de Fick se denomina *Plano de Listing*. El eje Y antero-posterior es perpendicular al *Plano de Listing*, atravesando el centro de rotación del globo.

Ahora bien, el espacio visual es tridimensional, pero si los movimientos verticales y horizontales se realizan en torno a los *ejes X y Z* respectivamente, y como el *eje Y* no permite nada más que movimientos de giro o torsionales, significa que la percepción de los objetos en profundidad (de delante atrás y viceversa), precisos para el sentimiento de la tercera dimensión, al no existir

posibilidad retractora y protractora del ojo, solo puede llevarse a cabo por reflejos retinianos de naturaleza sensorial y por la función acomodativa.

Tomando como punto de partida la *posición primaria de mirada*, los movimientos del ojo alrededor de los *ejes vertical (eje Z) y horizontal (eje X) de Fick* lo sitúan en las llamadas *posiciones secundarias (movimientos cardinales)*. Estas posiciones se consiguen mediante rotaciones sencillas: horizontales y verticales, sin participar torsión alguna. Además de su realización de forma automática o refleja, se pueden llevar a cabo de forma voluntaria.

Los practicados alrededor del *eje Y de Fick* (anteroposterior), dan lugar a movimientos de torsión, de naturaleza *postural*, desencadenados por inclinación de la cabeza. Son siempre movimientos reflejos, secundarios a la estimulación de los canales semicirculares y otolitos del oído interno, que escapan del control de la voluntad. Lo que pretenden es mantener en la misma posición el eje vertical de la córnea, con el fin de conservar el meridiano vertical de la retina perpendicular al horizonte, mediante giro o torsión del globo en sentido opuesto al de inclinación de la cabeza. Un ladeo de la misma de 45° se corresponde con una torsión de los ojos en sentido opuesto de valor aproximado a 15° .

Los movimientos del ojo, producidos solo y de forma aislada alrededor de cada uno de los "*tres ejes de Fick*", distan mucho de ser así de simples. Cualquier variante es posible, siendo los giros más frecuentes los practicados en torno a coordenadas intermedias. Así, podemos dirigir un ojo a las distintas direcciones del espacio en torno a cualquiera de los ejes oblicuos situados entre los *ejes X (horizontal) y Z (vertical) de Fick*, que, pasando por el centro de rotación del globo, se encuentren contenido en el *plano de Listing*. Estos ejes oblicuos son perpendiculares a la dirección de la mirada y los movimientos en torno a ellos llevan al ojo a lo que conocemos, desde **Richard Scobee (1948)**, como *posiciones terciarias*. Al explorar la actividad motora del individuo, de estas

posiciones presentan particular interés las siguientes: supradextroducción, supralevo-
ducción, infradextroducción e infralevo-
ducción.

Podemos definir el movimiento ocular como el desplazamiento que realizan los ojos en torno a los *tres ejes de Fick* y alrededor de cualquiera de los infinitos ejes oblicuos situados entre los ejes X y Z contenidos en el *plano de Listing*.

Las leyes de la óptica geométrica, enunciadas en su día por **Donders**, **Listing** y **Helmholtz**, determinan el lugar en el que se van a situar los ojos en el espacio. Todo, inducido por los movimientos de sus músculos efectores.

El catedrático de Oftalmología de la Universidad de Göttingen, **Christian Theodor Georg Ruete**, en **1846**, demostró la siguiente

experiencia con las *imágenes accidentales*, *imágenes persistentes secundarias* o *imágenes consecutivas* (conocidas en la actualidad como *post-imágenes*): Este autor provoca una post-imagen en cruz sobre un ojo, estando en *posición primaria de mirada*, y comprueba que su forma se mantiene en las *posiciones secundarias* (superior, inferior, derecha e izquierda). Sin embargo, se da cuenta de que cuando el ojo se dirige a una *posición terciaria* (oblicua), la rama vertical se inclina en el mismo sentido de la dirección de la mirada (derecha si el lugar fijado es arriba y a la derecha, o izquierda si se trata de la dirección contraria), de lo que dedujo que dirigiendo el ojo de la *posición primaria de mirada* a una posición oblicua, el ojo se “torsiona”. Este experimento fue decisivo para determinar las leyes que a continuación se describen.



Christian Georg Ruete
(1810-1867)



Oftalmotropo de Ruete

LEY DE DONDERS (1847) O “LEY DE LA ORIENTACIÓN CONSTANTE”.

Franciscus Cornelius Donders creyendo a “pie juntillas” los trabajos de **Ruete**, enunció su famosa ley: “*A una posición de la línea de fijación con respecto a la cabeza, en cualquier*

dirección de la mirada le corresponde un valor preciso e invariable del ángulo de torsión”.

Quiere decir que para cada posición de la línea de fijación existe una orientación definida de los meridianos horizontales y verticales retinianos con relación a las coordenadas en el espacio.

El valor torsional, al que nos referíamos anteriormente, es independiente de la voluntad del observador y de la vía recorrida para llegar a esta posición. Esto es válido solamente para las *posiciones terciarias* u oblicuas de mirada, siendo nulo en *posición primaria* y en las *posiciones secundarias*, tanto de elevación y descenso sin desplazamiento lateral, como de desplazamiento lateral sin elevación ni descenso.

LEY DE HELMHOLTZ (1866)

Las mismas experiencias de **Ruete** fueron dogma para **Hermann von Helmholtz**, que acepta y admite los movimientos de torsión cuando los ojos rotan de la *posición primaria de mirada* a las *posiciones oblicuas*, definiendo la **ley de Donders** de la siguiente manera: “*Cuando las líneas de fijación son paralelas, la torsión de cada ojo no es función más que del ángulo vertical y del ángulo horizontal*”.

Pero, en el experimento que realizó **Ruete** con las *imágenes persistentes (post-imágenes)*, no dijo que al tiempo que la post-imagen vertical de la cruz se inclina en el sentido de la dirección de la mirada, la post-imagen horizontal se inclina en el otro sentido, dando sensación de que esta rama se hubiera deslizado, de tal modo que ambas ramas de la post-imagen en cruz, horizontal y vertical no quedan perpendiculares, sino como sesgadas. Este hecho invalidaría la *ley de Donders*.

LEY DE LISTING (1853)

En estos mismos años, entre el momento en el que **Donders** lanza su postulado a seguidas de los experimentos de **Ruete**, y que **Helmholtz** emitiera el suyo, que no es otro que una reposición de la *ley de Donders*, **Johann Benedick Listing** aporta al mundo científico la célebre ley que lleva su nombre.

Aunque parezca raro, esta primicia no fue expuesta por su autor, sino que se exterioriza por vez primera en un tratado de oftalmología

que **Christian Theodor Georg Ruete** publica en **1853** (“*Lehrbuch der Ophthalmologie*”). Dice así: “*A partir de la posición primaria de mirada, cualquier desplazamiento del ojo hacia otras posiciones, secundarias o terciarias, lleva consigo una rotación del globo alrededor de un eje fijo y bien definido, situado en el plano ecuatorial (plano de Listing), que pasa por el centro de rotación del ojo*”.

Con esta ley, el matemático alemán afirma que cualquier movimiento que el ojo practica para dirigir la mirada a las diferentes posiciones, horizontales, verticales u oblicuas, lo hace girando en torno a un eje perpendicular a aquella y contenido en el *plano de Listing*.

Ya hemos dicho que el *plano de Listing* queda determinado por los *ejes X y Z de Fick*, pasando ambos por el *centro de rotación* del globo.

El profesor alemán **Georg Meissner (1855)** fue quien por vez primera, mediante experimentación, comprobó la *ley de Listing*.

Cuando, a partir de la *posición primaria de mirada*, el ojo efectúa un desplazamiento simple, bien sea horizontal (derecha-izquierda) o vertical (superior-inferior), no se observa movimiento torsional alguno (Figura 4). Puede comprobarse esta veracidad observando que si trazamos, hipotéticamente, una cruz pasando por el centro de la córnea, al mover el ojo hacia las *posiciones secundarias* citadas, los brazos de la cruz permanecen rectos sin inclinarse. Ahora bien, si el desplazamiento ocular se dirige a cualquiera de las posiciones oblicuas o *posiciones terciarias*, la cruz pierde su verticalidad, inclinándose hacia un lado. Cuando el ángulo de elevación y el lateral son del mismo signo (superior-derecha o inferior-izquierda), la torsión es antihoraria (negativa); cuando el ángulo de elevación y lateral son de signo diferente (superior-izquierda o inferior-derecha), la torsión es horaria (positiva). Siempre considerando el aspecto visto desde dentro del ojo (Figura 4). Visto desde fuera sería lo opuesto. A igualdad de ángulo vertical (ángulo de altitud), cuanto mayor sea el ángulo lateral (ángulo de acimut) más

importante será la torsión. Esta inclinación o torsión se verifica al realizar el movimiento alrededor de un eje oblicuo contenido en el *plano de Listing* y no alrededor del *eje anteroposterior* o *eje Y de Fick*. Se trataría, pues, de movimientos voluntarios de **falsa torsión** (Figura 4). Se trata de un movimiento sobrepuesto con respecto al sistema de

coordenadas. Hay que entender que las posiciones terciarias son posiciones coligadas con la falsa torsión. La verdadera torsión o "movimiento de rueda" que es la que se practica alrededor del *eje Y de Fick* es, por el contrario, respuesta refleja a desplazamientos de cabeza, y coordinada por el sistema vestibular.



Franciscus Cornelius Donders
(1818-1889)



Johann Benedict Listing
(1808-1882)



Adolph Eugen Fick
(1829-1901)

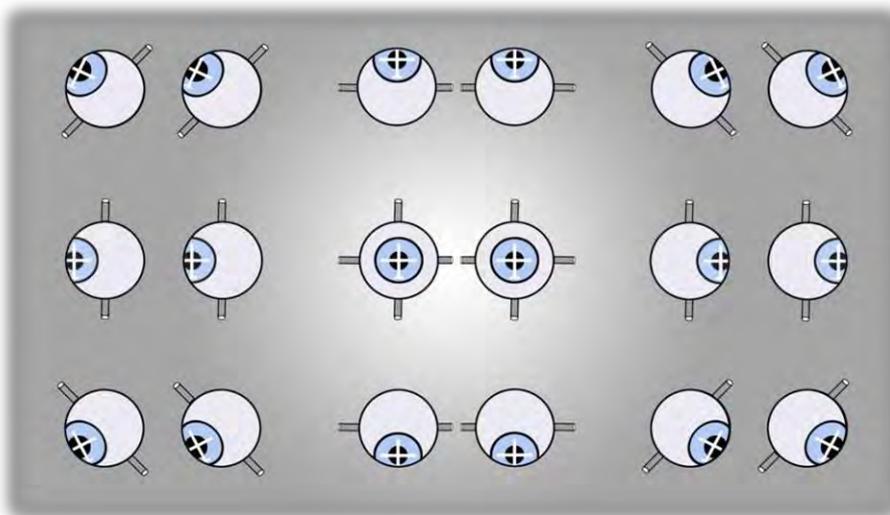


Figura 4. Falsa torsión.

Dibujo que muestra el fenómeno de *pseudotorsión* que experimentan los globos oculares al pasar de la *posición primaria de mirada* a una *posición terciaria*, en torno a los diferentes ejes oblicuos situados en el *plano de Listing*.

En la rotación a una *posición secundaria* (supra e infraversión o dextro y levoversión), los brazos de la cruz permanecen rectos sin experimentar inclinación alguna. No hay movimiento torsional alguno como refleja el esquema adjunto.

Al rotar los ojos a una *posición terciaria* (supra-dextro, supra-levo, infra-dextro o infra-levoversión), la cruz pierde su verticalidad. En supra-dextro e infra-levo la torsión es antihoraria, en tanto que en supra-levo e infra-dextro la torsión es horaria. **Téngase en cuenta que el dibujo muestra el efecto como si viéramos la cruz desde dentro del ojo.**

La inclinación efectuada se realiza como consecuencia de la rotación efectuada por los ojos en torno a un eje oblicuo contenido en el *plano de Listing* (pseudotorsión), y no teniendo como eje de giro el *eje Y de Fick*, que sería el auténtico movimiento torsional.

El estudio con post-imágenes (*imágenes accidentales* o *persistentes*) también demuestra la **ley de Listing**. Si se practica una post-imagen horizontal en el ojo derecho, se mantiene este nivel horizontal al llevar la fijación desde la *posición primaria de mirada* a las diferentes *posiciones secundarias* del ojo, en los giros practicados en torno al eje vertical (abducción y aducción) y al horizontal (elevación y descenso). Ahora bien, al movilizar el ojo a *posiciones terciarias* o direcciones oblicuas, por ejemplo arriba y a la derecha (supra-dextro-ducción), la extremidad izquierda de la post-imagen se inclina hacia abajo, lo que es mera consecuencia de la **ley de Listing** al haber girado el ojo en torno a su eje perpendicular contenido en el *plano de*

Listing. Igual ocurre al mirar abajo y a la izquierda (infra-levo-ducción) (Figura 5-A).

Sin embargo, en la mirada oblicua arriba y a la izquierda (supra-levo-ducción) y abajo y a la derecha (infra-dextro-ducción), la extremidad derecha de la post-imagen es la que se inclina hacia abajo.

Por el contrario, si practicamos una post-imagen vertical sobre el mismo ojo, la rotación que vemos en ella al practicar los anteriores movimientos oblicuos es efectuada ahora en sentido opuesto a lo anterior. Es decir: el extremo superior de la post-imagen gira hacia la derecha en supra-dextro e infra-levo-ducción (sentido horario), e inversamente en supra-levo e infradextroducción (sentido antihorario). (Figura 5-A).

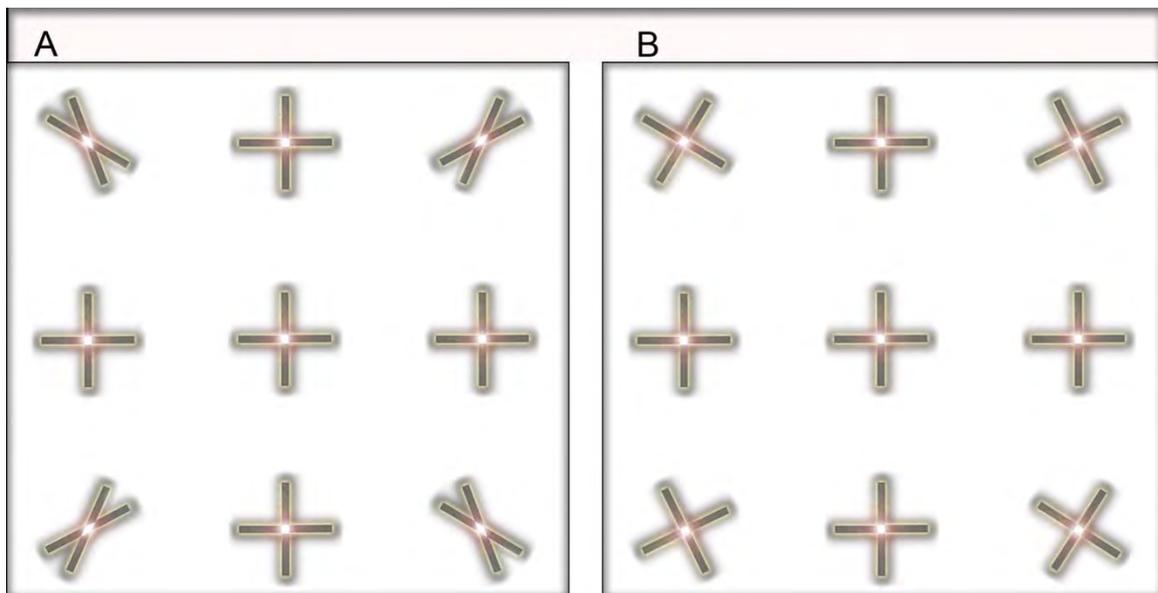


Figura 5. Post-imágenes y pseudotorsión.

- A) Practicada una post-imagen horizontal en el ojo derecho, si como ejemplo tomamos la mirada arriba y a la derecha (supra-dextro) vemos como la rama horizontal de la cruz se inclina en sentido antihorario, de modo que el extremo izquierdo descende, en tanto el derecho se eleva (es como si el dibujo fuera la pantalla plana que tenemos en frente). Si a continuación provocamos una post-imagen vertical en el mismo ojo y se hace mirar el mismo lugar, se comprueba también su inclinación, pero en sentido opuesto (horario), o sea, que la parte superior de la post-imagen (rama vertical de la cruz) se inclina a la derecha, mientras que el extremo inferior lo hace a la izquierda. Observando las dos ramas en su conjunto, la cruz vertical que debiera verse se ofrece como sesgada.
- B) Representa las mismas post-imágenes realizadas sobre el mismo ojo, pero ahora se ve que la cruz mantiene su verticalidad. La diferencia radica en que el individuo, en este caso, la está contemplando sobre una superficie esférica.

Posteriormente **Benjamin Bourdon (1902)** comprobó que: "... si se proyecta la imagen de la cruz sobre una cúpula esférica o simplemente sobre la bóveda celeste, las ilusiones precedentes dejarían de producirse; se constataría que las dos ramas de las imágenes consecutivas se inclinan siempre en el mismo sentido sin dejar de aparecer perpendiculares entre sí " ("La perception visuelle de l'espace", pág. 45).

Quereau, en **1954**, corroboró esta apreciación experimentando la pérdida de la verticalidad de las dos ramas como consecuencia de la proyección de la post-imagen sobre una superficie plana, manteniéndose perpendiculares cuando la proyección se hace sobre una esfera en cúpula o bóveda (Figura 5-B).

Por otra parte, las verdaderas rotaciones oculares, es decir, las efectuadas en torno al *eje Y de Fick*, son demostrables mediante los procedimientos siguientes:

a) Procedimiento de la mancha ciega de Fick y Meisner.

En un papel dibujemos una pequeña cruz y a 8 cm (aproximadamente) a la derecha un círculo negro de unos 5 mm de diámetro. Ocluido el ojo izquierdo, situemos a 30 cm la cruz frente al ojo derecho y comprobaremos que el círculo desaparece al incidir su imagen en la mancha de Mariotte.

Giremos el papel o nuestra cabeza en uno u otro sentido y podremos comprobar cómo reaparece el círculo.

b) Procedimiento de las imágenes dobles de Meisner.

Ojos en PPM. Se coloca un hilo vertical al plano visual. Se fija la visión a un punto más lejano y más próximo al hilo, provocando diplopía fisiológica. Comprobaremos que ambas imágenes no son paralelas. Cuando miramos el punto lejano las imágenes divergen hacia arriba. Cuando miramos el punto próximo las imágenes convergen hacia arriba.

c) Procedimiento de Javal.

Al inclinar la cabeza sobre un hombro, el efecto torsional hace disminuir la agudeza visual del astigmata, corregido con sus lentes, al variar la posición adecuada del eje cilíndrico de la lente.

Robert Jampel (1975), mediante trabajos experimentales realizados en monos, pone en cuestión el modelo de motilidad ocular basado en el sistema de coordenadas de Fick. Determina que los movimientos de torsión no se llevan a cabo alrededor del *eje Y de Fick (anteroposterior)*, sino en torno a un eje que se extiende desde el limbo temporal (a nivel del meridiano horizontal) hasta el centro de la cabeza del nervio óptico, y que forma con el *eje Y de Fick* un ángulo de 60°.

La **ley de Listing** es aplicable a los *movimientos de dirección* de los ojos cuando los ejes visuales se encuentran paralelos. No lo es para aquellos casos cuyo arranque motor no se hace a partir de la *posición primaria de mirada*, ni tampoco para los movimientos disyuntivos.

En los *movimientos de vergencia*, si la convergencia realizada es simétrica los meridianos verticales imaginarios pasando por el centro de la córnea no sufrirían inclinación en tanto no hubiera elevación o descenso de los ojos. En caso de realizar un movimiento de convergencia, con los ojos en situación elevada o descendida con relación a la *posición primaria de mirada*, si la **Ley de Listing** fuera válida para los movimientos de vergencia los meridianos verticales corneales imaginarios convergerían por su extremo superior en el primer caso y divergirían en el segundo.

Sin embargo, la experimentación y búsqueda de **Hering** y **Le Conte** dio como resultado que los meridianos verticales, contrario a la **Ley de Listing**, divergen por su extremidad superior en los movimientos de convergencia cuando los ojos miran hacia arriba. Y con la mirada hacia abajo, los meridianos verticales de la córnea o son paralelos o su extremidad superior converge.

Queremos decir que esta ley apenas tendría interés práctico, pues si solo es aplicable a aquellos casos en los que el movimiento se hace a partir de la *posición primaria de mirada*, esta situación se daría muy raramente en la vida cotidiana.

Ley de Donders (1847) y “falsa torsión”

Es evidente que la situación final de orientación de un ojo a una *posición terciaria*, consecuencia de rotaciones o de submovimientos parciales, no es la misma dependiendo del orden en que se hagan éstos. Es decir, para conseguir situar el globo ocular en supra-aducción, la resultante es distinta si realizamos primero el movimiento

secundario de aducción alrededor del *eje Z*, seguido del de supraducción alrededor del *eje X* (*vía de Fick*), que si hacemos antes la supraducción alrededor del *eje X*, y después el movimiento de aducción alrededor del *eje Z*, (*vía de Helmholtz*). Ni tampoco se obtiene el mismo resultado si directamente realizamos el movimiento alrededor de un eje oblicuo contenido dentro del *plano de Listing*, en situación intermedia entre los *ejes X* e *Y* (*vía de Listing*). A este fenómeno, en el que la situación final de orientación depende del orden en que se verifican las rotaciones parciales (secuencia rotacional) se denomina en matemáticas *falta de conmutatividad*. Quiere decir que la *conmutación* no existe en el sistema óculo-motor. (Figura 6).

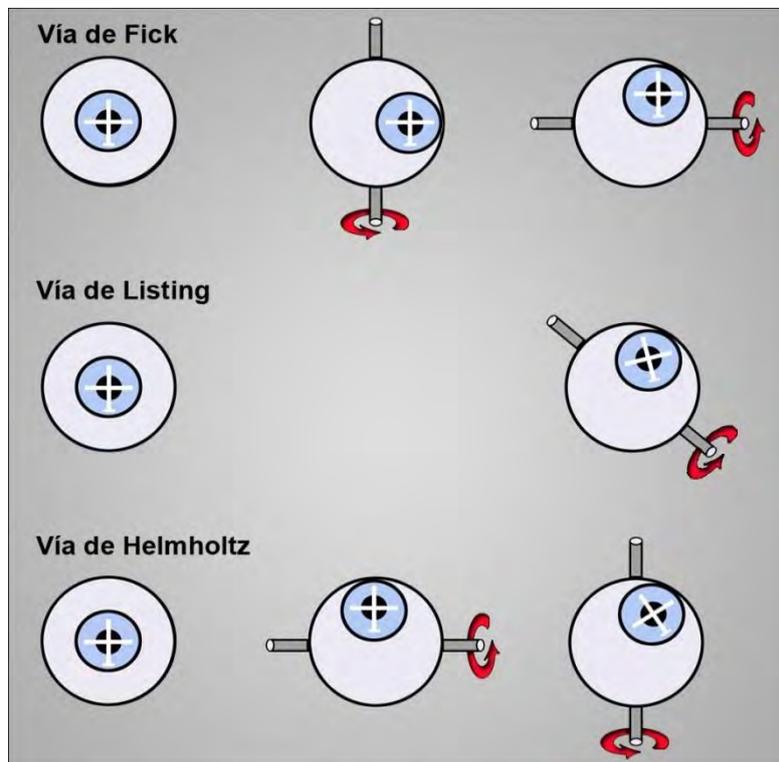


Figura 6. Falta de conmutatividad y falsa torsión.

Dibujo que muestra la falta de conmutatividad del sistema oculomotor. En él se observa el resultado final distinto que se obtiene según el movimiento siga la *vía de Fick*, la *vía de Listing* o la *vía de Helmholtz*. Con la *vía de Fick* la rotación realizada mantiene la vertical normal de la retina. En la *vía de Listing*, normalmente utilizada como camino más corto, la cruz se encuentra ligeramente rotada en el sentido horario. Siguiendo la *vía de Helmholtz*, al final del recorrido la cruz se encuentra aún más inclinada.

Normalmente, para llevar el ojo de la *posición primaria de mirada* a una *posición terciaria* puede utilizarse cualquier vía. En condiciones normales, **Fick (1854)** y **Wundt (1880)** sostuvieron que los ojos van a usar siempre el camino más corto y directo, que sería el de “mínimo esfuerzo muscular”, cual es la **vía de Listing**, máxime sabiendo que la mayoría de los movimientos se realizan de modo automático. De esta manera, estamos transformando una ley geométrica en fisiológica. Si lo hiciéramos con movimientos parciales, a través de *posiciones secundarias*, bien siguiendo la **vía de Fick** o la **vía de Helmholtz**, y pretendiéramos que el resultado fuera el mismo, tendríamos que completarlo con una pequeña torsión final. Entonces, la última terminación con ligera torsión, apoyaría, igualmente, la **ley de Donders** (existencia de torsión).

Henri Parinaud (1898) define la **Ley de Listing** de forma más fisiológica, sin prestar atención a la geometría: “*El paso de la posición primaria a otra posición, se hace por el camino que exija menor esfuerzo*” (“La visión”, pág. 127).

La torsión que menciona la **ley de Donders**, supondría un fenómeno de complejidad sumamente extraordinario dada las infinitas *posiciones terciarias* a las que sucesivamente estamos orientando nuestros ojos. Puede hacernos pensar que no se trata de auténtica torsión (entendiendo ésta como la realizada en torno al *eje Y de Fick*), sino de *falsa torsión* que el cerebro interpreta como verdadera, manteniéndose válida por otros mecanismos la **ley de Listing**, que solo es aplicable si se mantienen las coordenadas ortogonales con la cabeza fija. Dejando esto al margen, la mayor parte de las veces entran en actividad movimientos reflejos posturales, interviniendo el sistema vestibular (*torsiones verdaderas*), que se añadiría a los movimientos primeros. Esto aportaría una auténtica vertical gravitacional del espacio exterior que estamos percibiendo, complementando en tres dimensiones los movimientos efectuados en torno a los ejes contenidos dentro del *plano de Listing*.

Manuel Márquez (1913), al referirse a los posibles movimientos que el globo ocular efectúa alrededor de los diferentes ejes de rotación, los divide, basándose en el *principio de utilidad*, en: “útiles” e “inútiles”. Los primeros son los que normalmente se realizan, en tanto los segundos quedarían reservados para circunstancias excepcionales. Por movimientos “útiles” entiende los que el ojo ejecuta en torno a cualquier eje contenido en el *plano de Listing* con el fin de situar la fovea en dirección de los objetos mirados. Los movimientos “inútiles” son los que no poseen ese fin. Este *principio de utilidad* lo describe en su libro “Lecciones de Oftalmología clínica especial”, 1936, (pág. 236) y en “Oftalmología especial teórica y clínica”, 1952, (pág. 595).



Manuel Márquez
(1872-1962)

Márquez dice que, a diferencia de los movimientos sencillos de lateralidad, en los que la abducción o separación y la aducción o aproximación son ejecutados por un solo músculo (RL y RM respectivamente), los movimientos de elevación y descenso precisan, cada uno de ellos, el concurso de dos músculos.

Así, supongamos un movimiento de supraducción del ojo derecho. Aquí actuarían en asociación los músculos recto superior y oblicuo inferior de este ojo, cuya acción “útil” y racional de ambos sería la de elevación en torno al *eje X de Fick*, siendo “inútiles” los otros movimientos secundarios de ambos (lateral y de torsión) que, por ser antagónicos

los de los músculos rectos verticales con relación al de los oblicuos, serían irracionales e “inútiles” y, por tanto, “neutralizados” entre sí, con lo que el resultado final sería la simple elevación. Así escribe **Márquez**: “... este par elevador del ojo formado por el recto superior y el oblicuo inferior funcionan como un solo músculo”.

Márquez continúa “... la resultante de las acciones asociadas de varios músculos oculares es la suma algebraica de las acciones individuales”.

Por último, el fisiólogo y catedrático toledano se refiere a los movimientos diagonales u oblicuos, en los que se combina la elevación o el descenso del ojo con los movimientos de lateralidad, abducción o aducción, para los que se precisan tres músculos: los dos elevadores (RS y OI) o depresores (RI y OS) y un tercero, ejecutor del movimiento lateral: RM para aducción y RL para la abducción. Hay que retener que el mayor efecto vertical de los rectos verticales se ejercen en abducción de $22,5^\circ$ y el de los oblicuos en aducción de 45° . Es decir, la acción principal de verticalidad aumenta, tanto de los rectos como de los oblicuos, conforme las accesorias disminuyen.

Continúa su lección el fisiólogo toledano diciendo: “... el ojo, solicitado por los cuatro músculos rectos (retractores) y los dos oblicuos (protractores), sostenido, además, por la grasa orbitaria, no verifica movimientos de traslación, sino sólo de rotación alrededor de sus diversos ejes. Y en estos, tampoco los ejecuta todos. Por ejemplo, no realiza los de alrededor del eje anteroposterior (eje Y de Fick), salvo en circunstancias excepcionales”.

Resume diciendo que “...los movimientos rotatorios alrededor del eje anteroposterior (eje Y de Fick) son siempre inútiles, irracionales e innecesarios como movimientos de dirección, y con tal fin jamás se verifican en condiciones normales”.

No comprende el profesor **Márquez** que algunos autores obtengan conclusiones equivocadas de los experimentos de **Donders** sobre la representación de post-imágenes, cuya situación en las *posiciones terciarias* les daría a entender la existencia de verdaderos

movimientos de torsión en torno al eje Y de Fick.

Prosigue el genial oftalmólogo afirmando: “... los verdaderos movimientos de torsión, alrededor del eje visual, si bien aceptada su existencia, en realidad son de escasa amplitud y cumpliendo una finalidad distinta, tal es dar respuesta refleja de origen vestibular a los movimientos de cabeza. Estos movimientos se verifican cuando la cabeza se inclina lateralmente, pero jamás estando la cabeza inmóvil y el ojo en posición primaria, lo cual corrobora la no-existencia de tales como movimientos de dirección. Además, los citados movimientos no se hacen ni aun siquiera con un fin compensador de los de la cabeza, puesto que son de muy pequeña excursión y no en relación con el grado de inclinación de la misma. Por ejemplo, 6 a 7 grados para una inclinación de cabeza de 45 a 90 grados, según **Tscherning**”.

La explicación que da **Márquez** es: “Los movimientos de torsión del globo tienen, en realidad, algo de compensadores de los de cabeza, pero solo de los pequeños, que de un modo inconsciente estamos ejecutando a cada momento. Su finalidad es conducir los objetos situados en el lado derecho del individuo hacia el hemisferio cerebral izquierdo y a la inversa los objetos situados al lado izquierdo del mismo. Ahora bien, si la cabeza se inclinase de un lado o del otro, sin existir al mismo tiempo los pequeños movimientos oculares compensatorios que hemos hablado, resultaría que las impresiones procedentes de partes del objeto situadas cerca de la línea media, serían recibidas alternativamente por unas u otras mitades de la retina y transmitidas tanto por el haz directo como el cruzado, y alternativamente, a un hemisferio u otro, lo que daría lugar a una de las mayores confusiones. En cambio, cuando se trata de excursiones grandes y hechas de modo consciente, los movimientos citados de torsión aparte de resultar insuficientes como compensadores por su pequeña excursión, son innecesarios, puesto que el individuo tiene otros medios de juicio para relacionar los objetos entre sí y con respecto a él mismo”.

Por último, **Márquez** se refiere al

hecho de que: "...el ojo puede además moverse, pasando de unas posiciones secundarias a otras sin pasar por la primaria, realizando un movimiento de circunducción, que tampoco es un movimiento de rotación alrededor del eje anteroposterior, que lejos de estar fijo, él es el que se mueve describiendo sus dos mitades, la anterior y la posterior a partir del centro de rotación del ojo, dos conos

en sentido inverso, cuyo vértice común es el centro de rotación del ojo y cuyas bases anterior y posterior, respectivamente, son descritas por el centro de la córnea y por la fovea. Es decir, que mientras que todos los otros movimientos se realizan alrededor de un eje o línea fija, en la circunducción no hay más que un punto fijo, el centro mismo de rotación del globo".

2.3.

MECÁNICA MUSCULAR

El globo ocular es mantenido en determinada posición y, así mismo, puesto en movimiento, por seis efectores musculares dependientes de tres pares craneales: cuatro músculos rectos y dos oblicuos. La motilidad ocular, que al nacer es algo limitada, se hace normal al término de los dos primeros meses.

La contracción de los músculos óculo-motores determinan la acción, con el fin de que el ojo busque o siga un objeto, y mantenga sobre él fijación tónica activa. La contracción puede ser *isotónica*, mediante la cual se produce un desplazamiento de la inserción ocular hacia su origen, aproximándose sus dos extremos. Su actividad depende de la *línea de acción*, el *plano de acción* y el *arco de contacto*; este acortamiento muscular se traduce en movimiento. También, la contracción puede ser *isométrica*, que consigue aumento del tono muscular sin modificar su longitud.

Así mismo, en la musculatura extrínseca existe un sistema de *ligamentos de freno y contención* que condiciona el resultado final. Son elementos encargados de poner límite a la contracción muscular, haciendo que el movimiento sea restringido y se realice de modo suave y modulado. Esta organización tiene importancia, sobre todo, en los músculos de acción horizontal: recto medio y recto lateral. (Se remite al lector al Capítulo de Anatomía, apartado "Vainas musculares y sus expansiones").

Ahora bien, la acción muscular hay que valorarla dentro del conjunto, en el que están incluidos no solo el resto de los músculos de este ojo sino además los del otro. Doce músculos en total, sometidos a las leyes de la inervación para desarrollar un trabajo binocular en armonía.

Línea de acción

También llamada *línea de tracción* o *línea de fuerza*, en su acepción clásica, se extiende desde el punto medio del músculo en su origen orbitario hasta el punto medio en su inserción ocular (Figura 7). Aplicando rigor, lo que de verdad determina la **línea de acción** son los puntos medios del músculo en su verdadero origen (origen fisiológico), o sea, a nivel de la polea hasta el de su inserción ocular. Indica la directriz en la que actúa la fuerza de contractura o de relajación muscular. El origen real o fisiológico es, pues, la tróclea en el músculo oblicuo superior y las poleas tenonianas en el conjunto de todos los músculos extraoculares.

La acción muscular va a depender del ángulo formado por el *plano de acción*, en el que se halla contenido la **línea de acción**, con los *ejes de giro* del ojo, siendo tanto más importante cuanto mayor es dicho ángulo (ángulo constituido por la *línea de acción* del músculo y el *eje de rotación* del globo).

Plano de acción

Lo conforma la *línea de acción* y el *centro de rotación (punto nodal)* del globo.

En *posición primaria de mirada*, en el **plano de acción** de los músculos rectos horizontales (plano horizontal), están incluidos los *ejes X e Y de Fick*, por tanto la posibilidad de efectividad sobre los mismos no puede existir. Sin embargo, este plano forma ángulo de 90° con el *eje Z de Fick* (vertical) en torno al cual se realizan los movimientos horizontales del ojo, de aducción y de abducción para el recto medio y lateral

respectivamente, motivo por el que siempre serán puros. En cualquiera de las *posiciones secundarias* horizontales se mantiene la misma situación angular entre el **plano de acción** muscular y el *eje Z de Fick*, de ahí que la maniobra muscular siga siendo igual de pura. Otro problema es el referido a la actividad de los músculos horizontales partiendo de las miradas arriba y abajo, en las que el **plano de acción** de los músculos rectos horizontales forman un ángulo sensiblemente menor de 90° con el *eje Z de Fick* (vertical) y cierto ángulo con el *eje X de Fick* (horizontal), que determinaría, en estas posiciones, menor efecto sobre la acción horizontal y alguno sobre la verticalidad. No obstante, los trabajos musculares en dichas *posiciones secundarias* son de poca relevancia, por lo que la acción de los músculos rectos horizontales puede considerarse, a fines prácticos, exclusivamente abductora y aductora.

El **plano de acción** de los músculos rectos verticales en *posición primaria de mirada*, a diferencia de lo que ocurre con los rectos horizontales, no presenta coincidencia con ninguno de los tres ejes principales del ojo. Forma con el *eje X de Fick* (horizontal) ángulo de 67°; con el *eje Y de Fick* (anteroposterior) de 23°; y este ángulo es mínimo con el *eje Z de Fick* (vertical). Por tanto, su acción es triple: la actividad muscular será importante sobre la verticalidad, menor sobre la torsión y mínima sobre el componente horizontal. Cuando vamos a *posiciones secundarias* horizontales, se puede comprobar que en abducción el **plano de acción** de los músculos rectos verticales aumenta el ángulo con respecto al *eje X de Fick* (horizontal), y disminuye con respecto al *eje Y de Fick* (anteroposterior). O

sea, irá aumentando la acción vertical (que será máxima en 23° para, a continuación, ir descendiendo) y disminuyendo la acción torsional. De manera contraria, es en aducción donde el **plano de acción** muscular va a disminuir su valor angular con el *eje X de Fick* (horizontal), y lo va a aumentar con el *eje Y de Fick* (anteroposterior). En este movimiento se frena la labor muscular sobre la verticalidad y crece sobre la función de torsión.

Con respecto a los músculos oblicuos, también, al igual que en los rectos verticales en *posición primaria de mirada*, el **plano de acción** muscular no es coincidente con ninguno de los ejes de Fick. Forma ángulo de 55° con el *eje Y de Fick* (anteroposterior), de 35° con el *eje X de Fick* (horizontal) y mínimo al *eje Z de Fick* (vertical). De esto se deduce que su acción es triple: de más importante efectividad la torsional, menor la vertical, y mínima la horizontal. En *posición secundaria* de abducción, aumenta el ángulo formado entre el **plano de acción** muscular y el *eje Y de Fick* (anteroposterior), pero disminuye el formado con el *eje X de Fick* (horizontal). En esta posición aumentaría la fuerza torsional, siendo máxima a 37° y disminuiría la vertical. Lo opuesto acaece en aducción, en que empequeñece el ángulo formado entre el plano muscular y el *eje Y de Fick* (anteroposterior), y aumenta el formado con el *eje X de Fick* (horizontal). Aquí disminuiría la acción torsional y aumentaría la vertical, que sería máxima a 50°. En *posición primaria de mirada*, la actividad principal de los músculos oblicuos es torsional, siendo secundaria la vertical (elevación y descenso), y mínima la horizontal. En abducción la fundamental es torsional. En aducción, es la vertical.

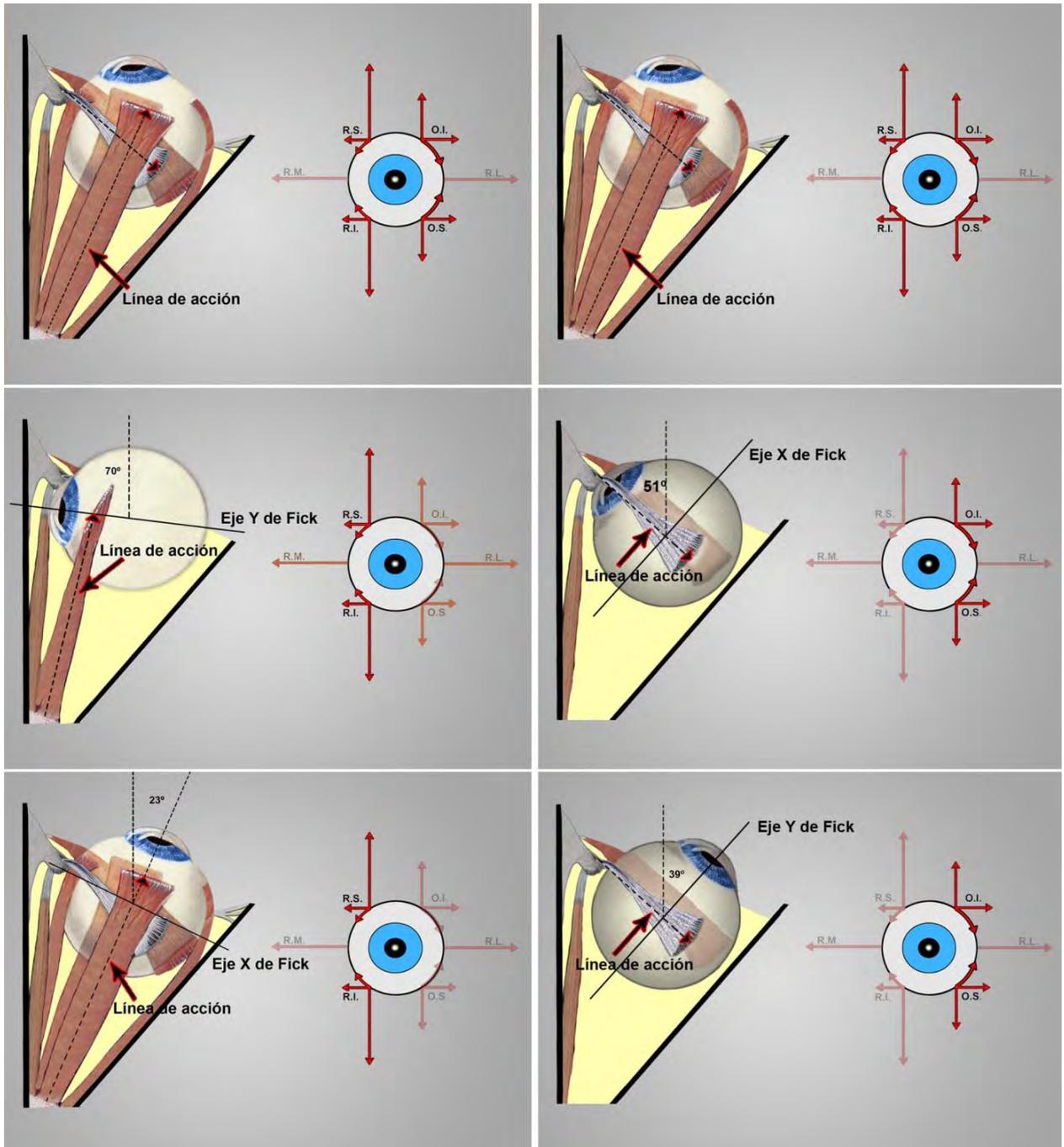


Figura 7. Línea de acción de los músculos rectos verticales y músculos oblicuos.

Arco de contacto

El **arco de contacto** o **línea de enrollamiento**, viene determinado desde el lugar donde el músculo toma contacto tangencialmente con la esclera (*inserción fisiológica*), hasta aquél donde realmente se inserta en ella (*inserción anatómica*), estando en este pequeño recorrido simplemente yuxtapuesto al ojo. La *inserción fisiológica* es distinta según el músculo considerado: en posición primaria, 1,80 mm por delante del ecuador del globo en el recto medio, 8,5 mm por detrás del ecuador en el recto lateral y, aproximadamente, a nivel del ecuador en los rectos verticales.

La extensión del **arco de contacto**, lugar en el que el músculo solamente está adosado al globo, es variable según el estado de contracción muscular. Esta produce enrollamiento y desenrollamiento del músculo sobre el ojo, siendo tanto menor el **arco de contacto** cuanto más contraído se encuentre aquél, pero manteniendo siempre invariable el punto de tangencia (*inserción fisiológica*) con relación al *centro de rotación*. Así pues, el **arco de contacto** es dinámico y variable según

el estado de contracción muscular y, por consiguiente, del estado de rotación del globo. Significa que el *brazo de palanca* de los músculos permanece constante, sea el que fuere el estado de rotación del ojo, hasta llegar al punto en que finaliza el **arco de contacto**, donde coinciden la *inserción fisiológica* y la *anatómica*. A partir del momento en que desaparece el **arco de contacto**, comienza a disminuir el *brazo de palanca* sobre el que actúa la tracción muscular.

El efecto muscular, en sentido de su *línea de acción*, va a depender de la extensión del **arco de contacto**, siendo máximo cuando el músculo lo conserva en su totalidad y mínimo cuando desaparece dicho **arco de contacto**, momento en el que la *inserción fisiológica* y la *inserción anatómica* concurren. Dato importante al hacer retrocesos musculares para debilitar la acción muscular, porque al producir disminución del **arco de contacto**, sobre todo si fuera demasiado importante, podríamos ocasionar perjuicio notable en su acción al desaparecer el efecto tangencial de la misma, con disminución del *brazo de palanca*.

Arco de contacto de los músculos oculares (Hans Bredemeyer y Kathleen Bullock -1968)

* Músculo recto medio	6,0 mm.
* Músculo recto lateral	12,0 mm.
* Músculo Recto superior	7,0 mm.
* Músculo Recto inferior	8,0 mm.
* Músculo oblicuo superior	5,0 mm.
* Músculo oblicuo inferior	16.0 mm.

Estos valores dados sobre el **arco de contacto** varían con la edad y con los defectos de refracción axial, debidos en ambos casos a la variación del tamaño del globo.

Advertencia importante en este concepto clásico es no estar teniendo en cuenta el *sistema de poleas*, cuya importancia sobre el efecto muscular está por descubrir.

Pero lo más importante es incidir en el hecho de que el **arco de contacto** también varía cuando el globo ocular rota en sus movimientos y se aleja de la *posición primaria de mirada*. Así, según los trabajos de **Paul Boeder**, a 15° de aducción el **arco de contacto** del recto medio (6,0 mm) disminuye a la mitad (3,0 mm) y desaparece al llegar a la rotación aductora de 30°. Significaría que en una retroinserción del recto medio de 3 mm, a partir de 15° de rotación interna ya no habría función aductora; la retroinserción de 4 mm dejaría sin aducción al ojo a partir de 10°; y en la retroinserción de 6 mm quedaría sin posibilidad de poder aducir desde la *posición primaria de mirada*, que en la práctica sería 5 mm por la corrección necesaria debido a los 11° que el plano del músculo recto medio forma con el plano sagital del cuerpo. Son las conclusiones a las que llegan **R.L.Tour** y

T.Asbury (1958) valorando el **arco de contacto** del recto medio en 6 mm, que en posición primaria comienza a 5,5 mm del limbo y termina a 1,80 mm por delante del ecuador del ojo.

D.H.Beisner en 1971 aporta su tesis, contraria a la de **Tour** y **Asbury**. Admite la disminución de la capacidad rotatoria del músculo en la retroinserción muscular coincidiendo con la desaparición del **arco de contacto**, pero, concediéndolo importancia secundaria. Matemáticamente demuestra que la verdadera causa del efecto hipercorrector motivado por una retroinserción demasiado importante es debida fundamentalmente a la "pérdida de la contracción muscular por exceso de relajamiento del músculo" y no a la desaparición del **arco de contacto**. Establece curvas en las que pueden verse los valores decrecientes de la fuerza rotatoria en aducción al realizar determinado debilitamiento, que distan mucho de las conclusiones de **Tour** y **Asbury**. En la gráfica se puede comprobar que en aducción de 15° y 9 mm de retroinserción, existe aún la posibilidad de una fuerza de rotación superior al 85%. (Figura 8).

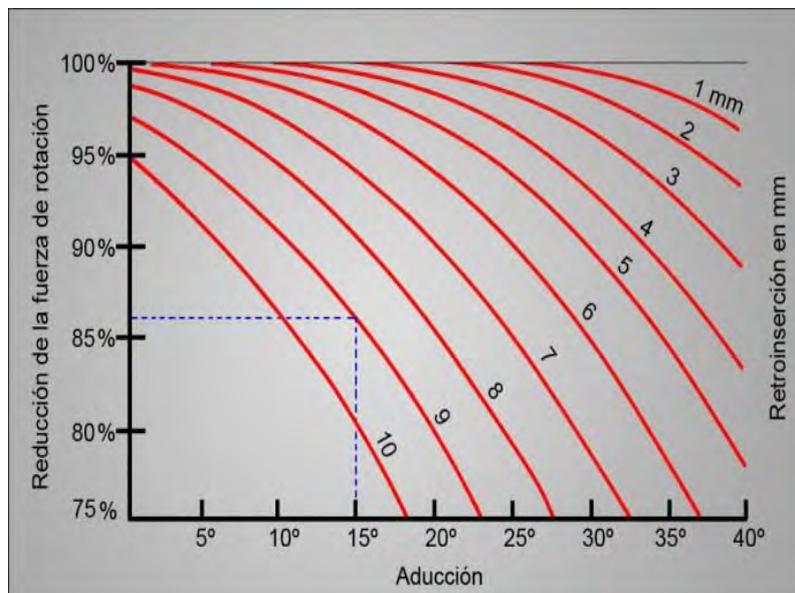


Figura 8. Diagrama de Beisner.

Dos años antes **Cüppers (1968)** había realizado y publicado el cálculo de los sectores de fuerzas ejercidos en puntos tangenciales por detrás del ecuador del globo ocular, y comprobado resultados distintos a **Beisner** debido a valorar datos matemáticos que este autor no tiene en cuenta. De este modo, **Cüppers** determina los valores de la *fuerza tangencial*, que es la que obliga al ojo a rotar a partir de la *fuerza de tracción* inducida por el músculo según su *línea de acción*, efectuando su energía sobre la inserción muscular activa en ese momento, y establece las curvas en las que representa el debilitamiento del poder rotador del ojo de acuerdo a la retroinserción realizada en el recto medio y en el recto lateral y, también, en consonancia con el grado de aducción y abducción del globo respectivamente.

Cüppers comprueba que el individuo normal, con su correspondiente *inserción fisiológica* y *arco de contacto*, puede aducir hasta 30° manteniendo estable la *fuerza tangencial* precisa para realizar correctamente la acción rotadora impuesta por la *fuerza de*

tracción a nivel del recto medio e inducido por su poder contráctil. Es a partir de 30° cuando, perdido el **arco de contacto**, la *fuerza tangencial* comienza a disminuir de forma progresiva hasta un momento en el que la capacidad rotadora es imposible debido a que la *fuerza de tracción* del músculo actúa perpendicular a la pared del globo ocular. Es en esta *zona* cuando “el ojo rota con relación a la ley del coseno del ángulo establecido entre la línea de acción muscular y la línea tangente al globo en el punto de tracción”.

Insistimos, esta *zona*, en la que el efecto de la acción rotadora del ojo va progresivamente haciéndose más pequeño cuanto mayor va siendo la rotación, se inicia en el momento en el que el **arco de contacto** desaparece, y termina cuando la *línea de acción* muscular es perpendicular a la pared del globo.

Esta investigación sirvió de base a **Curt Cüppers** para proponer en **Madrid (1973)** “por vez primera”, una “intervención dinámica” para curar componentes dinámicos de algunos estrabismos, a la que llamó “*Fadenoperación*”.

Ampliación de este tema se encuentra en el apartado 16.4 del capítulo 16.

2.4.

ACCIÓN AISLADA DE LOS MÚSCULOS OCULARES

La acción de cada músculo en posición primaria de mirada (*modelo clásico de rotación ocular de Alexander Duane*), es aparentemente deducible y elemental si, teniendo en cuenta su origen orbitario, la inserción ocular y dirección de las fibras musculares, nos atenemos a aplicar los principios fundamentales de la mecánica. Estas acciones están reflejadas en el siguiente y más perfecto esquema que hasta ahora se ha hecho para expresar las acciones de cada músculo (Figura 9). Me refiero al del Profesor

de Oftalmología de la Facultad de Medicina de Madrid, **Manuel Márquez (1907)**, que fue rápidamente adoptado por autoridades científicas de la talla de **Ernest Motais (1907)** y **Ernst Fuchs (1921)**.

El esquema del **Márquez**, que era puramente “cualitativo”, fue complementado por el del Profesor de Oftalmología de la Universidad de Groningen (Holanda) **Jan van der Hoeve**, quien calculó el *momento* de las fuerzas transformándolo en “cuantitativo”.

Las acciones, que cada músculo confiere al polo anterior del ojo, son las siguientes:

- * *Recto externo* *abducción.*
- * *Recto interno* *aducción.*
- * *Recto superior* *elevación, intorsión, aducción.*
- * *Recto inferior* *depresión, extorsión, aducción.*
- * *Oblicuo superior*..... *intorsión, depresión, abducción.*
- * *Oblicuo inferior* *extorsión, elevación, abducción.*

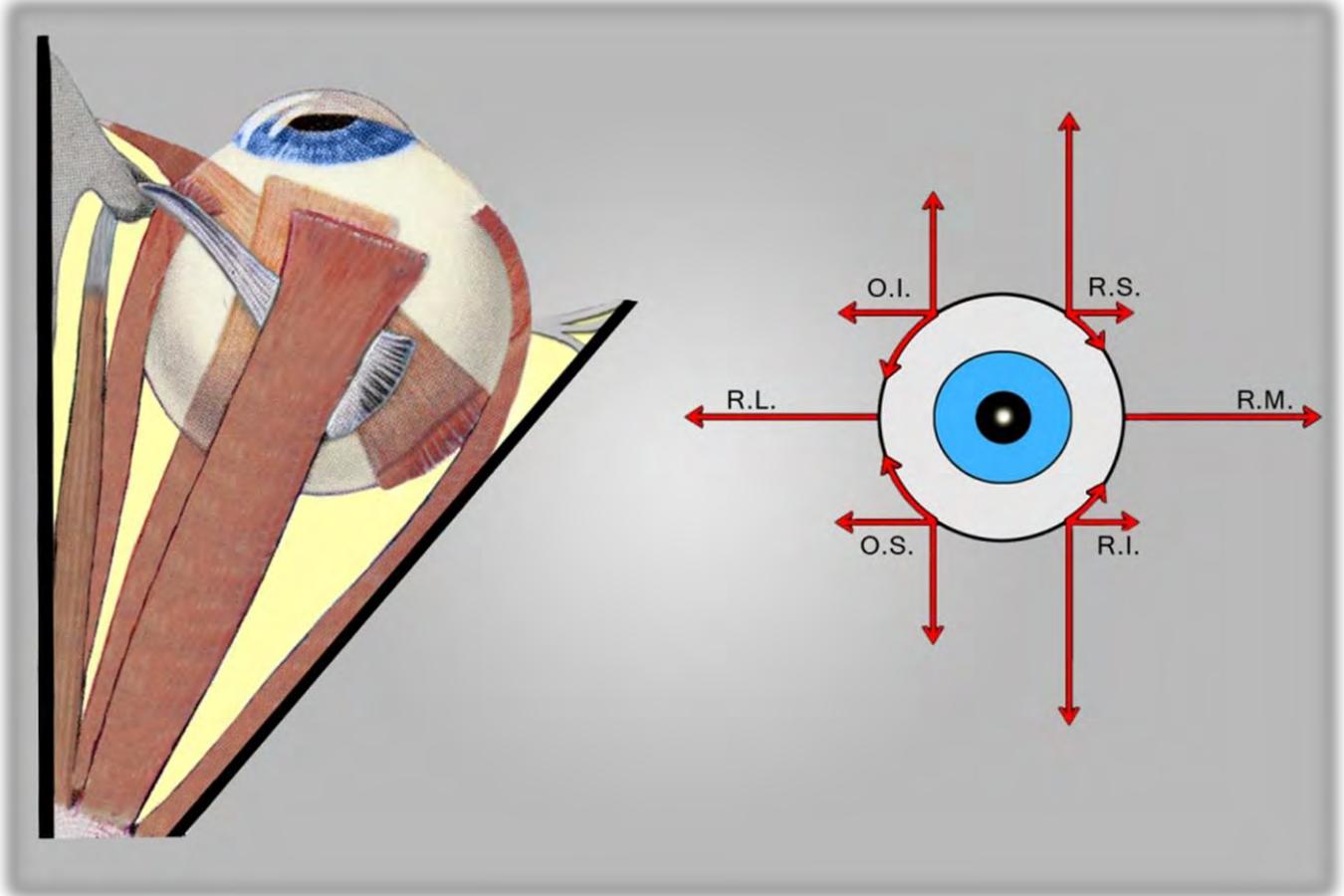


Figura 9. Esquema de Márquez.

El dibujo de la derecha representa el ojo derecho de un individuo visto de frente por su explorador, con las acciones de los diferentes músculos.

En el conjunto de estas acciones hay que diferenciar la *principal* (reflejada en el cuadro de la página anterior, con letra negrilla), y las *secundarias* o *accesorias*. Una y otras varían de acuerdo a la posición ocular en que se hace el movimiento, con opción de transformarse la acción *principal* en *secundaria*, al tiempo que una de las *secundarias* se constituye en *principal*.

Ahora bien, aun sin objetar nada al modelo de rotación de **Duane**, su valor práctico es relativo porque pocas veces el sujeto parte de la *posición primaria de mirada* para ejecutar los movimientos. Lo que reviste importancia en referencia a los músculos de

acción múltiple (RS, RI, OS y OI), es saber cuáles son las particulares posiciones en que hay que situar el globo para conocer el estado de salud del músculo que ejercita esta singular actividad. Es decir, el campo de acción privilegiado de cada músculo, que se conoce como "*posiciones diagnósticas*".

Pasamos, seguidamente, a estudiar las acciones musculares. Para ello contamos con que en cada ojo hay tres pares de músculos. Los dos músculos de cada par tienen en común el *eje de rotación* y el *plano de acción*. Estos tres pares musculares son: *los rectos horizontales, *los rectos verticales, y *los oblicuos.

Músculos rectos horizontales

Los movimientos que llevan a cabo los músculos rectos horizontales (recto lateral o externo y recto medio o interno), se realizan alrededor del *eje Z de Fick* (vertical), contenido en el *plano de Listing*. Tanto en *posición primaria de mirada* como en el resto de posiciones laterales, la acción de estos dos músculos es la misma: abductora o separadora para el recto lateral (movimiento hacia la sien) y aductora o aproximadora para el recto medio (movimiento hacia la nariz). Todo debido a la verticalidad constante mantenida entre el *plano de acción* muscular y el *eje Z de Fick* (vertical), alrededor del cual se realiza el movimiento rotacional del ojo, sin alterarse la fuerza en ningún momento. Son los movimientos más sencillos que el globo ocular realiza, con precisión de un solo músculo como elemento efector.

Según **Manuel Márquez (1936)**, en aquellas situaciones en las que la abducción y aducción son exageradas, según se van agotando las acciones de los rectos horizontales comienzan a participar con el fin de reforzarlas a modo complementario los músculos oblicuos con su función abductora y los rectos verticales con la aductora. El profesor lo llama "*principio de cofinalidad*".

Este autor también dice que aunque las acciones fundamentales y casi exclusivas de los rectos horizontales son las de abducción para el recto lateral y aducción para el recto medio, en la supraducción, en teoría al menos, ambos músculos tienden a ser ligeramente elevadores, y además rotador interno el recto lateral y rotador externo el recto medio. En la infraducción, por el contrario, ambos músculos serían ligeramente depresores, así como ciclorrotador externo el recto lateral, y ciclorrotador interno el recto medio. ("*Lecciones de Oftalmología clínica especial*", pág. 236).

Músculos rectos verticales u oblicuos posteriores de Giraud-Teulon

En los movimientos realizados en *posición primaria de mirada* por los músculos rectos verticales (recto superior y recto inferior), sabiendo que ambos (siguiendo sensiblemente el eje de la pirámide orbitaria) forman ángulo de 23° con el eje ocular (dirigido frontalmente y paralelo al del otro ojo y al plano medio de la cabeza), la fuerza ejercida para rotar el globo alrededor del *eje X de Fick* (horizontal), al faltar la verticalidad del *plano de acción* muscular con respecto a dicho eje contenido en el *plano de Listing* la actividad es más complicada que en los rectos horizontales. Se descompone en tres: vertical, horizontal y torsional. En esta posición vemos una acción principal: vertical (elevación para el recto superior y descenso para el inferior), y dos secundarias o accesorias: horizontal y torsional. De modo que cuando el trabajo muscular se realiza, el efecto es de elevación, aducción e intorsión para el recto superior, y de depresión, aducción y extorsión para el recto inferior.

Si la acción muscular se efectúa a 23° de abducción, al ser el *plano de acción* perpendicular al *eje X de Fick* (horizontal), la actividad es vertical pura: de elevación para el recto superior y de depresión para el recto inferior. Si la actuación muscular se hace en abducción más allá de los 23° , la acción vertical va disminuyendo conforme se va extremando la posición, de tal modo que en abducción extrema aparecería función abductora en ambos rectos verticales.

Por último, si la actuación muscular se desarrolla en aducción importante, la acción efectora del músculo se vuelve complicada: con principal labor vertical para ambos, y dos secundarias: de aducción e intorsión para el recto superior, y de aducción y extorsión para el recto inferior.

Los músculos rectos verticales (superior e inferior) son, pues, antagonistas en su acción principal de elevación o ascenso (sursumducción) y depresión o descenso (deorsumducción), e, igualmente, en la secundaria torsional. Son sinérgicos entre sí en la actividad accesoria horizontal (los dos son aductores) y, también, lo son con el recto medio.

Músculos oblicuos u oblicuos anteriores de Giraud Teulon

La línea de acción muscular de los oblicuos en *posición primaria de mirada*, forma con el eje ocular o *eje Y de Fick (anteroposterior)* ángulo aproximado de 50°, abierto hacia adelante y adentro. En esta posición su labor no puede ser pura. Descompone su fuerza en tres elementos: torsión, vertical y horizontal, siendo la acción para el oblicuo superior de incicloducción (intorsión), depresión y abducción, y para el oblicuo inferior de excicloducción (extorsión), elevación y abducción.

En posición de abducción, en la que el plano de acción muscular va a tender a la verticalidad con respecto al *eje Y de Fick* (adquiriendo su máximo a 40°), los movimientos musculares van a ser, fundamentalmente, torsionales: de incicloducción (intorsión) para el oblicuo superior y de excicloducción (extorsión) para el oblicuo inferior, también con existencia de un componente secundario de abducción para ambos músculos, porque al insertarse los dos oblicuos por detrás del ecuador la actividad fundamental de torsión nunca puede ser pura.

En posición de aducción, en que el plano de acción muscular se aproxima en verticalidad al *eje X de Fick* (aunque no llega nunca a los 50° para que fuera pura), su acción importante va a ser la vertical: de depresión para el oblicuo superior y elevación para el oblicuo inferior, con componente secundario torsional para ambos, de inciclorrotación para el oblicuo superior y exciclorrotación para el oblicuo inferior.

Evoquemos que el área anterior de la extensa inserción escleral en abanico del oblicuo superior, al ser parcialmente pre-ecuatorial tiene menor capacidad abductora que el área posterior y, sin embargo, es más inciclorrotadora. Sin embargo, su porción posterior, que es post-ecuatorial, presenta mayor poder abductor. Esta diferencia funcional es aprovechable en cirugía para, según queramos, favorecer la torsión u otras acciones: abducción y depresión.

Los músculos oblicuos (superior e inferior) son antagonistas en su acción principal de torsión, y, también, en la secundaria vertical. Son sinérgicos en la labor accesoria horizontal (los dos son abductores) y, así mismo, sinérgicos con el recto lateral.

Como recordatorio a las acciones musculares expuestas, véase las siguientes reglas:

1ª Los movimientos horizontales, que rotan los ojos a *posiciones secundarias* en torno al *eje Z*, son realizados solo por un músculo recto horizontal. Estos dos músculos tienen única y simple misión: abducción el recto lateral o externo y aducción el recto medio o interno.

A juicio de **Félix Giraud-Teulon, 1861** ("Physiologie et pathologie fonctionnelle de la vision binoculaire", pág. 250 y 251): "*En condiciones ordinarias los rectos superior e inferior son congéneres del recto interno, es decir, aductores, inversamente los oblicuos son congéneres del recto externo, o abductores. Estas reglas de mirada habitual cesan a partir de ciertas posiciones del eje óptico: así, de una parte, los rectos superior e inferior vienen a ser abductores con el recto externo y los oblicuos desde que el eje óptico se confunde con el eje orbitario, permaneciendo sólo el recto interno como aductor; de la otra parte, en sentido opuesto, los oblicuos vienen a hacerse aductores con todos los otros músculos, salvo el recto externo, cuando el eje óptico (patológicamente) viene a dirigirse totalmente hacia adentro, hacia la raíz de la nariz*".

2ª Los movimientos verticales de elevación y descenso, que giran los ojos a *posiciones secundarias* alrededor del *eje X*, a diferencia de los movimientos horizontales, se llevan a cabo por “parejas musculares” uniendo simultáneamente su acción: el recto superior y el oblicuo inferior hacen la supraducción (elevación), y el recto inferior y el oblicuo superior la infraducción (descenso) (**Photinos Panas, 1873**): “Leçons sur le strabisme”, pág. 22. También, los movimientos de torsión en torno al *eje Y*, aunque con menor importancia que en los movimientos verticales, las parejas musculares responsables son el oblicuo superior y el recto superior en la inciclorrotación y el oblicuo inferior y el recto inferior en la exciclo-rotación.

Veámos antes, en opinión de **Manuel Márquez (1913)**, que los músculos que componen las parejas musculares, en cada movimiento suman su “*acción principal útil*”. En los movimientos verticales serían las acciones de elevación y descenso. Es como “... si el par elevador y el par depresor, formado cada uno por un músculo recto y un oblicuo funcionaran como si cada pareja fuera un solo músculo” (“Oftalmología especial teórica y clínica”, pág. 597). Sin embargo, neutralizan lo que este autor llama “acciones inútiles”, que son aquellas en que cada pareja muscular son antagonistas: aducción de los rectos verticales con la abducción de los oblicuos; e intorsión y extorsión respectiva de los rectos superior e inferior, con relación a la extorsión e intorsión de sus parejas efectoras: oblicuo inferior y superior respectivamente. Del mismo modo se puede decir con relación a los movimientos de torsión. La pareja conformada por el oblicuo superior y el recto superior actúan como un solo efector muscular encargado de la ciclo-rotación interna (intorsión) y el oblicuo inferior y el recto inferior lo harían en la ciclorrotación externa (extorsión). La “acción principal útil” del oblicuo superior y recto superior sería la intorsión, en tanto que las “acciones inútiles” corresponderían a los movimientos laterales y verticales, que se comportarían

antagónicamente: abductor y depresor el oblicuo superior, y aductor y elevador el recto superior.

La pareja constituida por el oblicuo inferior y el recto inferior tendría como acción sinérgica o “acción principal útil” la ciclo-rotación externa (extorsión) y como “acciones inútiles” las que se refieren a los movimientos laterales y verticales que serían antagónicas: abducción y elevación para el oblicuo inferior, y aducción y depresión para el recto inferior.

Louis Wecker (1871) en su “Tratado teórico y práctico de las enfermedades de los ojos”, pág. 556, que tradujo **Francisco Delgado Jugo**, había expresado lo mismo al escribir: “... cuando el centro de la córnea se dirige directamente hacia arriba por la acción del recto superior, un segundo músculo, el oblicuo inferior, suma su acción a aquél para hacer este movimiento, anulándose los otros componentes secundarios, que son directamente opuestos en ambos músculos, quedando recíprocamente equilibrados. Si considerásemos el movimiento hacia abajo, deberíamos repetir lo mismo para el recto inferior y el oblicuo superior”.

3ª Para llevar la línea visual a su destino en los movimientos diagonales u oblicuos, más complejos que los anteriores, los ojos rotan en torno a un *eje*, así mismo, oblicuo contenido en el *plano de Listing*, entre cualquiera de los existentes entre los ejes vertical (*eje Z*) y horizontal (*eje X*).

Para hacer estos movimientos son precisos, como mínimo, tres músculos. Pongamos un ejemplo: Al hacer el movimiento de abducción y de elevación o descenso, han de actuar en combinación el recto lateral y los rectos superior o inferior respectivamente. Estos dos últimos músculos son los más importantes efectores verticales debido a que en posición de abducción, por motivos mecánicos de línea de acción, los efectos de elevación y descenso son más potentes. Los músculos oblicuos, que son el tercer componente del movimiento diagonal que estamos refiriendo, tienen poca capacidad de actuación sobre el giro vertical, también por

razón de su línea de acción; solo actúan sus pequeños potenciales de abducción, muy neutralizados por el efecto antagónico horizontal de los músculos rectos y el componente rotador. En el movimiento de aducción y elevación o descenso, los músculos combinados son el recto medio (que contribuye al movimiento de aducción) y los oblicuos inferior y superior respectivamente. Los músculos oblicuos son potentes efectores verticales en esta posición (elevación para el oblicuo inferior y descenso para el oblicuo superior). Los músculos rectos verticales (superior e inferior) son el tercer componente del movimiento oblicuo o diagonal, cuya acción en posición de aducción es aportar efecto vertical de elevación o descenso potenciando los músculos oblicuos inferior y superior respectivamente. Las acciones aductora y de torsión de los músculos rectos verticales quedarían *neutralizadas* (a juicio de **Márquez**) con las abductora y de torsión de los músculos oblicuos.

4ª En abducción, los movimientos de verticalidad (elevación, depresión) los realizan los músculos rectos, en tanto que los torsionales son efectuados por los músculos oblicuos.

En aducción, el efecto de verticalidad más importante lo practican los músculos oblicuos, mientras que los torsionales son llevados a cabo por los músculos rectos.

5ª Los músculos con situación superior en el ojo (recto superior y oblicuo superior) son inciclorrotadores. Los músculos con situación anatómica inferior (recto inferior y oblicuo inferior) son exciclorrotadores.

6ª El efecto vertical en el campo de acción privilegiado del músculo (abducción para el recto superior e inferior y aducción para los músculos oblicuos) siempre es más importante la correspondiente a los rectos verticales en relación con los oblicuos. Sin embargo, la acción de torsión en su campo idóneo es comparativamente mayor la que

realizan los músculos oblicuos que la de los rectos.

7ª Resumiendo:

* La aducción se hace por acción del recto medio y de los dos rectos verticales (superior e inferior).

* La abducción la efectúan el recto lateral y los dos oblicuos (superior e inferior).

* No obstante, **Quéré y Clergeau (1975)** han demostrado con una serie de 22 casos de parálisis traumática del oblicuo superior que la acción horizontal de los músculos verticales es despreciable.

* La elevación corre a cargo del recto superior y del oblicuo inferior.

* El descenso es debido al recto inferior y al oblicuo superior.

* La ciclorrotación interna (intorsión) se logra con el oblicuo superior y el recto superior.

* La ciclorrotación externa es producto del oblicuo inferior y del recto inferior.

Campo de mirada

Manteniendo el cuerpo y la cabeza inmóviles, todos los puntos del espacio que la línea de fijación (*eje visual*) pueda circunscribir, manteniendo como centro del globo ocular, obviamente, el *centro de rotación*, se denomina *campo de mirada*, *campo motor* o *campo de fijación monocular*. Considerado desde el punto de vista cuantitativo, es el máximo trayecto que puede hacer el ojo en cualquiera de sus movimientos secundarios o terciarios.

Es explorado mediante el estudio de las ducciones. La medida de los movimientos oculares (*cinemometría*) ha determinado que este campo es aproximadamente circular de 45° de radio, algo más importante en su porción inferior (50°). Se exceptúa la infra-levo-ducción (en OD) y la infra-dextro-ducción (en OI), que es de 35° a 40° debido a la limitación impuesta por la prominencia nasal (Figura 10). Sin embargo, estas rotaciones

extremas del ojo, poniendo a prueba sus aptitudes mecánicas, son demasiado forzadas como para que el individuo normal pueda soportarlas cierto tiempo. Usualmente son de ángulo más pequeño (6° a 8°) y excepcionalmente sobrepasan 20° . Es debido a que los

movimientos oculares se complementan con rotacionales de cabeza y tronco, que evitan contracciones musculares fuertes, más trabajosas y, sobre todo, más penosas de mantener. Estos giros disminuyen de modo notable con la edad.

El cuadro adjunto muestra valores de **campo de fijación** aportado por algunos autores:

Campo de fijación monocular o de "mirada"

	<i>Duane</i>	<i>Terrien</i>	<i>Graefe</i>	<i>Helmholtz</i>	<i>Landolt</i>	<i>Volkman</i>	<i>Hering</i>
<i>Abducción</i>	53°	45°	38°	50°	47°	38°	43°
<i>Aducción</i>	51°	45°	44°	50°	47°	42°	44°
<i>Supraducción</i>	43°	43°	55°	45°	45°	35°	40°
<i>Infraducción</i>	63°	50°	55°	45°	55°	50°	64°

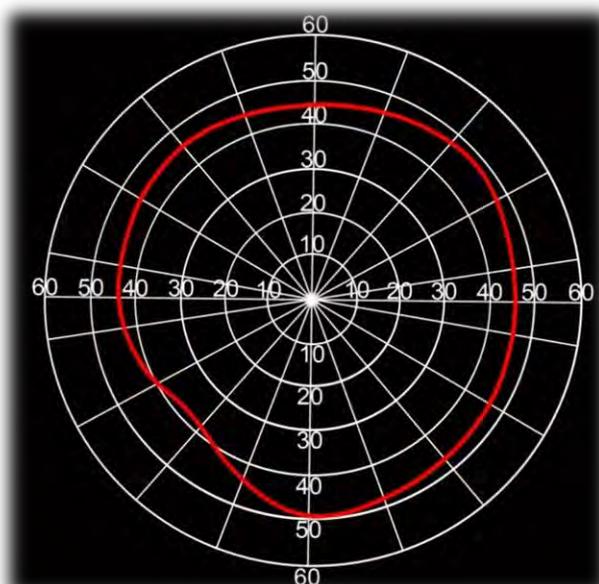


Figura 10. Campo de mirada o de fijación.

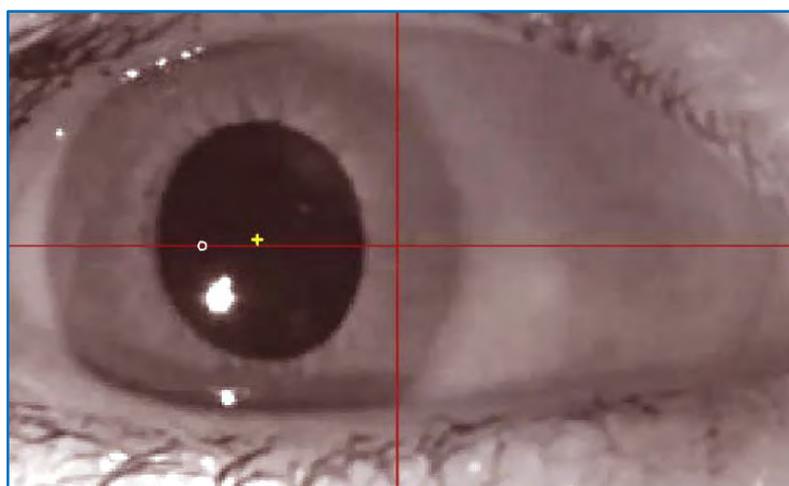


Figura 10-b. Estudio de ducciones. Dificultad de este ojo derecho en el movimiento de dextroducción. (VOG Perea).

No obstante, se ha de precisar que no es lo mismo hablar de **campo de fijación monocular** o **campo de mirada** que de “*capacidad de rotación*” del globo, debido a la limitación que al **campo de mirada** le produce la anatomía (por ejemplo: la zona infero-nasal por la prominencia nasal), aunque el ojo pudiera rotar más allá del punto capaz de fijar. El campo máximo de rotación del globo puede medirse por video-oculografía.

Tampoco hay que confundirlo con el *campo visual*, puesto que el **campo de fijación monocular** se refiere solo al *punto de fijación*, sabiendo que cada posición de este punto presenta su particular *campo visual* que se traslada al mismo tiempo que él. Queremos decir, que las mutaciones del **campo de**

fijación monocular o de mirada sirven para “agrandar” constantemente el campo visual, incrementado además por las variaciones corporales y cefálicas.

Hasta aquí un resumen sobre las funciones musculares clásicas (**Alexander Duane, 1896**), que explican las acciones de los músculos oculares cuando los globos se encuentran en *posición primaria de mirada*, pero que no da solución cuando los movimientos oculares se inician desde otras posiciones. Seguidamente describimos una serie de aportaciones con estudios matemáticos y trabajos experimentales que han ido transformando los cerrados esquemas basados en el *sistema de coordenadas de Fick*.

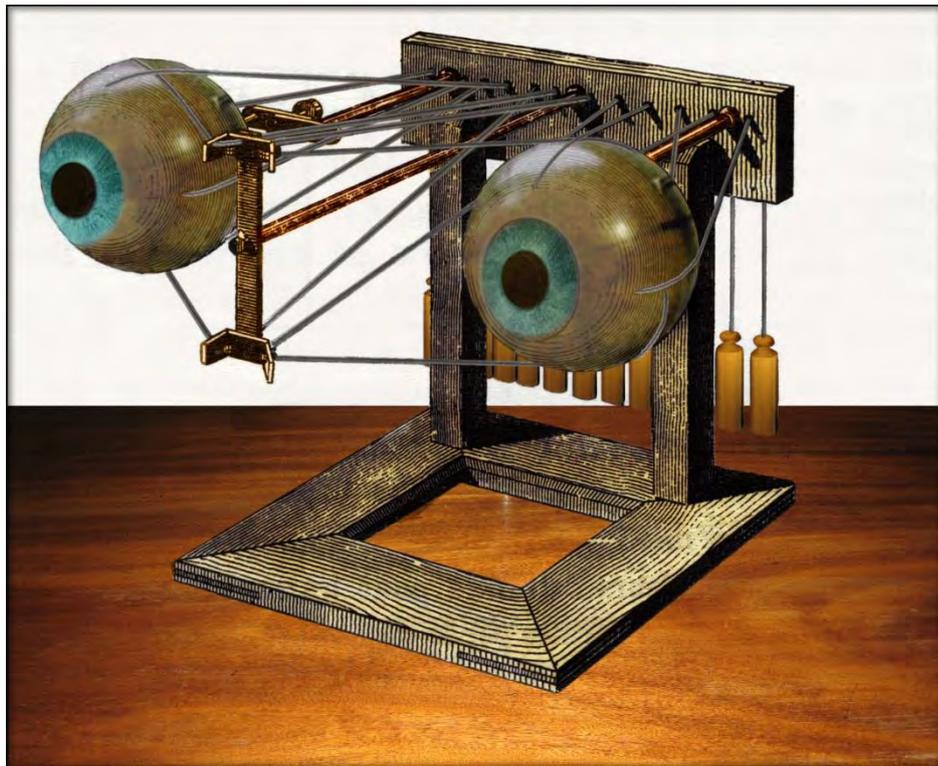


Figura 11. Oftalmótrofo de Hasner.

Artificio para reproducir simuladamente los movimientos oculares. Van unidos por hilos que representan la fuerza que ellos aplican.

2.5.

APORTACIONES A LA MECÁNICA OCULAR CLÁSICA

Referencia al sinergismo y antagonismo de los pares musculares respecto a su plano de acción y arco de contacto

* La acción de los músculos rectos horizontales (recto medio y recto lateral), ateniéndonos a su *plano de acción*, puede ser simétrica. Ahora bien, si reparamos en su diferente *arco de contacto*, la simetría se pierde.

* La de los músculos rectos verticales (recto superior y recto inferior) sí puede considerarse simétrica dado que presentan el mismo *plano de acción* y parecido *arco de contacto*.

* La actividad de los músculos oblicuos (oblicuo superior y oblicuo inferior), no es simétrica, porque el *plano de acción* de ambos no es exactamente igual ya que no forman el mismo ángulo con el eje anteroposterior del ojo (mayor para el oblicuo superior), y además el *arco de contacto* del oblicuo inferior es más importante que el del superior.

Todo esto introduce una variante notable si nos referimos al sinergismo y antagonismos de los pares musculares en determinados movimientos.

Vinculadas a la acción de los rectos verticales

Si bien sabemos que la actividad muscular máxima de los rectos verticales se realiza en abducción de 23°, es conocido a partir de los trabajos de **Paul Boeder (1961)**, que la acción de estos músculos es fundamentalmente vertical en cualquier situación lateral en que se hallen los ojos (Figura 12). Tanto en abducción como en aducción, aunque en esta última posición de mirada, la actividad de elevación del recto superior es del 50%.

El recto superior es, sin duda, el elevador principal del ojo en todas las posiciones de la mirada, colaborando el oblicuo inferior en la posición de aducción. Y puede decirse lo mismo del recto inferior y del oblicuo superior para la infraducción.

A juicio de **Arthur Jampolsky (1981)**, el recto superior y el oblicuo inferior participarían en la elevación del ojo desde la mirada abajo a la posición primaria. Desde ahí y hacia arriba solo intervendría el músculo recto superior.

Investigaciones de **Quéré y Clergueau (1975)**, basándose en la falta de endodesviación resultante en 22 casos estudiados por parálisis traumáticas de oblicuo superior, concluyen que la influencia que tienen los músculos rectos verticales sobre la acción horizontal es despreciable. Se opone así a la opinión clásica de la acción aductora de estos músculos.

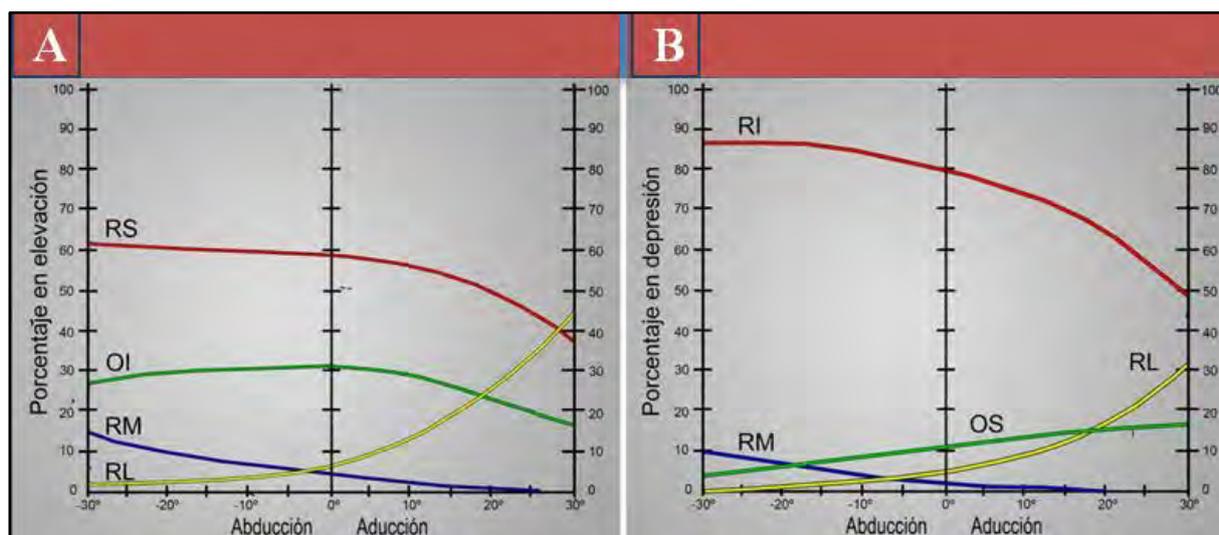


Figura 12. Contribución a la elevación y depresión de los diferentes músculos.

Tomado de **Boeder (1961)**. Se ve la participación de los diferentes músculos en la acción vertical hasta 30° de abducción y de aducción.

Trabajos de Alfred Wihelm Volkmann

Con ellos nos enseñó que el plano de acción de los músculos se desplaza poco en los movimientos del ojo. Esta resistencia a dicho desplazamiento es debida a que al tiempo en que el ojo se moviliza, la inserción fisiológica del músculo se va desplazando, así mismo, de un borde muscular al otro. La consecuencia de todo esto sería: *La acción principal de los músculos en posición primaria de mirada, va a persistir en las diferentes posiciones secundarias.*

Referencia a la acción de los músculos oblicuos

Conclusiones de Paul Boeder

* El oblicuo superior que es depresor, ejerce su máxima acción a 50° de aducción. (Fig.12-B) Esta acción depresora va disminuyendo según dirigimos el ojo hacia la *posición primaria de mirada* (18% en aducción de 30° y 12% en PPM), persistiendo, incluso, en abducción de 30° (4%). Lo más interesante es que en abducción extrema de 40° la función del oblicuo superior se torna elevadora.

* El oblicuo inferior es elevador. También su acción máxima es a 50° de aducción. Varía al 18% en aducción de 30°, pasando al 30% en PPM y con el 26% en abducción de 30° (Fig. 12-A).

* El oblicuo inferior es abductor, ejerciendo su máxima potencia a 30° de abducción. Esta va disminuyendo según dirigimos el ojo hacia la *posición primaria de mirada* y desaparece en aducción, con la particularidad de que cuando llega a 30° de aducción su acción se invierte y este músculo se hace aductor.

* El oblicuo superior es más abductor que el oblicuo inferior, manteniendo esta condición prácticamente en todas las posiciones secundarias laterales del ojo, con la particularidad, ya sabida, de que su acción abductora es mucho más importante en abducción que en aducción.

* Cuando el ojo se halla en abducción, ambos oblicuos son músculos sinérgicos, y los dos abductores. Cuando el ojo se sitúa en aducción, ambos oblicuos son antagonistas: el superior abductor, el inferior aductor.

Estudios de Robert Jampel

* Si nos atenemos a la conocida concepción clásica del sistema de coordenadas de Fick, se viene admitiendo que el efecto torsional de los músculos aumenta con la abducción.

Los estudios de **Boeder (1961)** y **Jampel (1962)** concluyen con que *este efecto torsional no depende de la posición del ojo*. Existe de modo importante en cualquiera de ellas, y es hecho demostrable en las paresias del IV par.

* *El efecto de acción vertical de los músculos oblicuos aumenta en aducción hasta llegar a 30°; seguidamente decrece.*

Según los clásicos, no disminuía a partir de 30°, sino que seguía aumentando hasta (si fuera posible) llegar a 50°.

* *El efecto abductor de los músculos oblicuos aumenta en aducción hasta llegar a 30°; luego decrece.*

La aceptación clásica es que el efecto abductor aumenta en abducción.

* *Por encima de la horizontal, los músculos oblicuos son abductores, en tanto que por debajo son aductores.*

Sabemos que, como norma, era considerado que los músculos oblicuos son siempre abductores.

* *Tras estimulación al mismo tiempo de los dos oblicuos, no se detecta desplazamiento alguno, lo que demuestra que se trata de dos músculos antagonistas.* El estado de permanente antagonismo de los músculos oblicuos se conoce por el escocés **Sir Charles Bell (1774-1842)**.

Hasta aquí, el movimiento simple de un ojo puesto en acción para desarrollar su trabajo por seis músculos, o, mejor dicho, *tres pares musculares*. Aunque no sea riguroso y exactamente estricto, en la rentabilidad, provecho, e interés de la inteligencia clínica, consideramos que en cada uno de los pares referidos, un músculo se opone al otro en torno a los ejes ya descritos: dos rectos horizontales, dos rectos verticales y dos músculos oblicuos. Cuando se mueve el globo

ocular en determinada dirección, el desplazamiento lleva implícito la contracción del músculo efector y la relajación proporcional de su antagonista en virtud de su elasticidad. Es la aplicación de la **ley de Sherrington (1897)** (*Ley de la inervación recíproca monocular*), que dice: **“Cuando el ojo realiza un movimiento en determinada dirección, los músculos agonistas se contraen y los antagonistas se relajan”**.

La alteración de este balance entre las tracciones musculares tiene añadidas consecuencias. Por ejemplo evitar presiones sobre la envuelta ocular asegurando la integridad de su presión interna. Cuando fracasa este mecanismo se asiste a esta patología añadida como ocurre en el síndrome de Duane.

A título de información histórica, merece la pena reseñar que el auténtico padre de esta importante ley monocular de la motilidad, establecida sobre dos músculos antagonistas, y que de modo constante nos va a perseguir a lo largo de este libro, no fue el premio Nobel de Fisiología y Medicina del año **1932, Sir Charles Scott Sherrington**, sino el cirujano ordinario del Rey de Francia, **Jacques Guillemeau**, que en su libro *“Traité des maladies de l’oeil”* en su edición del año **1585** (Página 70), nos habla de *“El ojo bizco”* o *“strabismos”*, que lo define como *“Distorsión violenta, con desigualdad de la vista, o convulsión de los músculos que mueven el ojo”*. Pero, lo importante no es esto. Lo que de verdad tiene interés es que, en esta misma obra, el que fuera discípulo de **Ambroise Paré**, en ese mismo texto escribe: *“... el estrabismo es una actividad de ciertos músculos del ojo, con contracción de sus contrarios o antagonistas; porque todas y cuantas veces que en una parte hay músculos opuestos, iguales en número, tamaño y fuerza, si sobreviene parálisis de los unos, la convulsión sobreviene a los otros que son opuestos”*.

No puede negarse lo evidente. Quien describió por vez primera la *ley de la inervación recíproca* fue el francés, nacido en Orleans en 1544, **Jacques Guillemeau**, aunque

supongo que el uso durante un siglo, fuente de tanto derecho, nos obliga a llamarla, aun sin razón: “**Ley de Sherrington**”. ¡Otra injusticia histórica!.

Tal ley, demostrada experimentalmente por electromiografía, se aplica al comportamiento motor monocular.

Ahora bien, esta relajación no es fenómeno totalmente pasivo, porque ha sido demostrado que el músculo antagonista distendido y aflojado mantiene *tono* perfectamente explorable y, también, puesto de manifiesto mediante el signo de la anestesia bajo narcosis profunda. El antagonista relajado no se agota, sino que mantiene un componente de tonicidad importante gracias a las unidades motoras tónicas. Es lógico que determinada patología pueda ser debida a la alteración del efector del movimiento, pero también al trastorno tónico del músculo antagonista relajado que motive patología activa inhibitoria en la distensión muscular.

Lo que se desconoce hasta ahora es el lugar en donde radicaría el centro generador del *tono motor* (sistema reticular???). Tampoco es posible cuantificar este tono mediante procedimiento clínico alguno, que sería fundamental para entender algo más de la patogenia del síndrome estrábico y poder emprender tratamiento mejor dirigido.

En principio hemos de conformarnos con saber que el globo ocular, ubicado dentro de la pirámide orbitaria, está rodeado de un conjunto de estructuras (músculos, aponeurosis, ligamentos, grasa, etc), que van a condicionar los diferentes desplazamientos. Los efectores más importantes son, por supuesto, los músculos cuyo trabajo se ordena en forma de parejas de fuerzas (*yoke muscles*). En tanto una de ellas se establece como fuerza operacional y activa poniendo en movimiento el sistema (músculos agonistas con capacidad contráctil de sus fibras, dotado de elasticidad normal y ligamento de contención homolateral suficientemente elástico que permita el desplazamiento adecuado), la pareja antagónica se establece

como fuerza moderadora oponiéndose al movimiento (músculos antagonistas con elasticidad normal para distenderse, ligamento de contención y resto de estructuras orbitarias moderadoras). Si bien, como dije antes, la función de la pareja moderadora, cuya misión es frenar la actividad de la pareja agonista, no es estrictamente pasiva ya que la acción relajante, en sí, es activa.

Músculos antagonistas:

* El recto medio y el recto lateral son antagonistas en los movimientos horizontales respectivos de aducción y abducción.

* El recto superior y el recto inferior son antagonistas en los movimientos verticales de supra e infraducción, y en los torsionales.

* El oblicuo superior y el oblicuo inferior son antagonistas en los movimientos de torsión, de incicloducción y excicloducción, y en los movimientos verticales de descenso y elevación.

Músculos sinergistas:

* El recto superior tiene función sinérgica con el oblicuo inferior en el movimiento de elevación. Sin embargo, la tiene antagónica en el lateral y en el de torsión.

* El recto inferior en el descenso actúa sinérgicamente con el oblicuo superior. Ambos músculos son antagónicos en la función lateral y de torsión.

El sinergismo y antagonismo muscular introduce un elemento de extraordinaria complejidad, tan solo simplificado (y no de modo estricto) en las acciones de los rectos horizontales. Tomemos como ejemplo el músculo oblicuo superior:

Es sinérgico en la función de descenso con el recto inferior, pero antagonista con éste en las de torsión y abducción.

Con el oblicuo inferior es sinérgico en la función de abducción, aunque antagonista en las de verticalidad y torsión.

Respecto al recto superior es sinérgico en la función de torsión, si bien antagonista en las de verticalidad y lateralidad.

A su vez, este sinergismo y antagonismo referido es válido en posición primaria de mirada. Desde el momento en que el individuo se aparta de esta situación, el potencial de sinergismos y antagonismos varían, del mismo modo que cambian las acciones primarias y secundarias de los músculos.

Estos movimientos monoculares se llaman *movimientos de ducción*, cuyo interés es relativo. En realidad “... *el movimiento de un ojo lleva emparejado el movimiento conjugado del otro*” (**Hugonnier**). Es bueno conocer la acción individual de cada músculo, pero su interés es solamente didáctico. Lo que de verdad importa son las acciones sinérgicas y antagónicas de todos los músculos de ambos ojos en conjunto, y teniendo en cuenta sus tres componentes de horizontalidad, verticalidad y torsión, considerando los movimientos oculares no solo desde el punto de vista monocular aislado, sino estimando nuestros dos ojos como un conjunto funcional (movimientos binoculares de **Malbrán**), en el que en cada momento doce músculos (seis de cada ojo) se encuentran trabajando en juego armonioso de contracciones y relajaciones, de sinergismos y antagonismos. Esto quiere decir que cualquier movimiento conlleva la modificación, al mismo tiempo, de la actividad de todos los músculos oculares.

Por último, cuando hablamos del campo de acción de determinado músculo, lo que definimos es el meridiano aventajado o de mayor privilegio de su acción, porque sabemos que otros músculos también son efectores motrices en esa dirección.

Así ha sido la descripción clásica de las acciones musculares, que no deja de ser más

que un simple esquema para que intentemos empezar a entender la fisiología motora, pues de su conocimiento derivará la solución terapéutica de los desequilibrios que encontremos. Avanzando más, digamos que el tema es mucho más complejo, alcanzando su máxima cota si consideramos que:

* Ciertas acciones musculares son aun mal conocidas.

* Las diferentes fibras musculares presentan comportamiento distinto según el estado de rotación del globo.

* Determinados factores pasivos influyen los movimientos oculares, tales como: el freno de los ligamentos de contención y la participación de las membranas intermusculares.

* Las poleas tenonianas extraoculares tienen implicación muy importante en la dinámica ocular.

1. Ciertamente, algunas acciones musculares no son bien conocidas, particularmente las que se refieren a los músculos de acción vertical, rectos verticales y músculos oblicuos.

Tras los trabajos de **Paul Boeder (1961)**, **Robert Jampel (1962)** y **Maurice Quéré (1975)**, sabemos que *la acción horizontal de los músculos con función vertical tiene, en la práctica ordinaria, muy poca importancia, y que el efecto torsional de los músculos oblicuos es muy importante, independientemente de la posición que tenga el globo ocular*. Desde **François Xavier Bichat (1771-1802)**, se conoce la función esencialmente rotadora de los músculos oblicuos en torno del eje anteroposterior del ojo.

Maurice Quéré (1980) pudo comprobar la gran variabilidad que hay entre unos casos y otros en la parálisis del oblicuo superior, con relación a la diferente afectación del componente vertical y torsional, predominando indistintamente uno sobre el otro, lo que introduce dudas de interpretación en la acción muscular.

2. En el músculo ocular, según su dirección con respecto a la *posición primaria de mirada* y por la anchura de su cuerpo y de su inserción, las fibras que lo componen presentan diferencia tensional variable en cada lado del cuerpo muscular. Más distendidas las que se corresponden con el del movimiento del globo. Es decir, las fibras internas de los rectos verticales cuando el ojo se pone en aducción, y las fibras externas en la abducción. De la misma manera, estarán más distendidas las fibras superiores de los rectos horizontales cuando el globo se eleva y las inferiores cuando el ojo mira hacia abajo. *El plano de acción del músculo varía acercándose siempre a las fibras que se encuentran en mayor tensión.* Esta compensación hace que no se pierda la aptitud fundamental del músculo, a pesar de la situación motora del globo. O sea, que los rectos verticales van a mantener su potencia

vertical y los rectos horizontales la horizontal en todas las posiciones del globo. (Figura 13).

3. La existencia de la cápsula de Tenon y de las membranas intermusculares, permite mantener estrecha relación entre cada músculo y su antagonista homolateral a través de las estructuras intermedias. Esto conduce a que en los diferentes movimientos del globo pueda evitarse el desplazamiento de la inserción muscular sobre la esclera, que desvirtuaría su fuerza principal. Es por esto, que *“las acciones secundarias de cada músculo suelen ser extraordinariamente pequeñas y sin importancia”*, sobre todo mientras no se alcanza excentricidad importante. Así, las acciones de los rectos horizontales, rectos verticales y músculos oblicuos son esencialmente horizontales, verticales y torsionales respectivamente, independiente de la posición que ocupe el ojo.

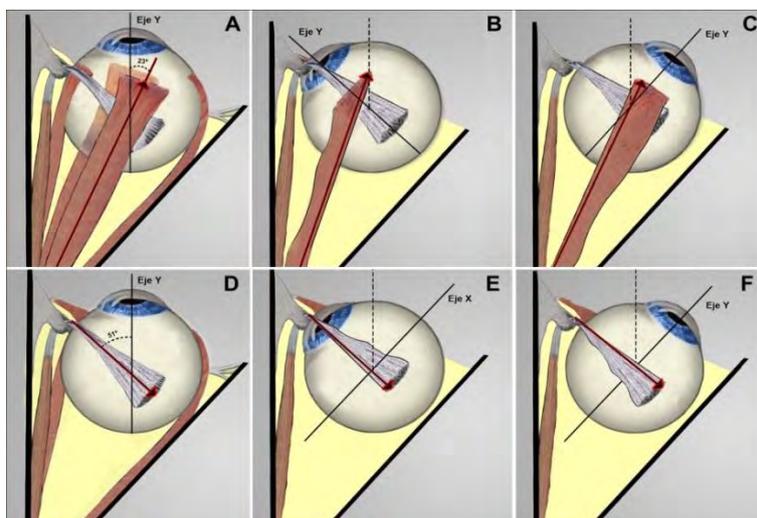


Figura 13. Tensión de las fibras musculares en las rotaciones del globo.

Músculos rectos verticales:

A) (Posición primaria de mirada). Todas las fibras musculares presentan la misma tensión.

B) (Aducción de 50°). Fibras internas relajadas y fibras externas tensas. El plano de acción muscular se ha desplazado temporalmente.

C) (Abducción de 50°). Fibras externas relajadas y fibras internas tensionadas. El plano de acción del músculo se ha desplazado en sentido nasal.

Músculos oblicuos:

A) (Posición primaria de mirada). Todas las fibras musculares presentan la misma tensión.

B) (Aducción de 50°). Las fibras posteriores se encuentran tensas en tanto las anteriores están relajadas. El plano de acción muscular se ha desplazado hacia el borde posterior del músculo.

C) (Abducción de 50°). Ocurre lo contrario, las fibras anteriores son las que se muestran tensas, en tanto que las posteriores se encuentran relajadas, de tal forma que el plano de acción muscular se desplaza hacia el borde anterior del músculo.

4. Veamos por último **el sistema de poleas tenonianas extraoculares**. Hasta ahora se había asumido como dogma que la acción muscular se establecía en razón de determinada *línea de acción* fija, extendida desde el origen anatómico del músculo, situado en el vértice de la órbita, hasta la inserción escleral. Esta línea hacía girar el ojo en torno a los *3 ejes de acción* de Fick: horizontal, vertical (ambos contenidos en el *plano de Listing*) y anteroposterior, que a su vez pasaban por el centro de rotación del ojo. El efecto sería tanto más importante cuanto más perpendicular fuera la *línea de acción* con respecto al *eje de rotación*.

Sin embargo, se ha podido comprobar que el origen posterior "real" del músculo, lejos de ser inalterable, varía de acuerdo a la orientación que presente el globo ocular en cada momento. Es decir, este origen "real" de la línea de acción muscular, clásicamente ubicado siempre en el fondo orbitario, no es exactamente así, sino que es cambiante según la posición que en cada momento presente el ojo.

Como se expuso en el capítulo de anatomía, esto es debido al hecho constatado de que los músculos rectos (horizontales y verticales), inmediatamente antes de alcanzar el ecuador del ojo, atraviesan un *manguito* o *polea* compuesto de elastina, colágeno y fibra muscular lisa, en la que se inserta la cara orbitaria de los músculos. Estas *poleas tenonianas* de los cuatro músculos rectos, aun sin presentar una realidad anatómica tan definida como la tróclea del oblicuo superior, conforman su verdadero origen (*origen funcional*), regulando sus movimientos. Así pues, las *poleas musculares* pueden definirse como estructuras que desvían el trayecto muscular actuando como inserción funcional. Debería, pues, hablarse de *polea funcional*.

Cuando se orienta el ojo en determinada posición, la *polea* va a conseguir que los músculos rectos, tanto horizontales como verticales, en vez de cambiar su *línea de acción* en todo el trayecto del conjunto muscular (desde el vértice orbitario hasta su inserción anatómica en la esclera) lo hagan

únicamente desde la *polea* hasta dicha inserción, manteniéndose su dirección prácticamente fija con respecto al globo ocular. Sin embargo, el trayecto muscular que mantiene la *línea de acción* del músculo en su porción posterior, desde el vértice orbitario hasta la *polea*, permanece fijo e inalterable con relación a la órbita. Quiere decirse que el verdadero efecto mecánico de la *polea funcional* es cambiar el *eje de acción* del músculo de acuerdo con la orientación que el globo ocular presente. Esto tendrá como consecuencia que el *eje de acción* muscular efectivo (extendido desde la *polea* hasta la *inserción escleral*) mantenga su perpendicularidad con el *eje de rotación* del globo (*eje de Fick*), y con ello su mayor efectividad, ejerciendo su acción de modo más considerable que el conseguido con el *eje de acción* muscular clásico, definido desde el origen orbitario a la inserción escleral si no se tuviera en consideración el sistema de *poleas*. Al igual que la tróclea en el músculo oblicuo superior, las *poleas* en los músculos rectos horizontales serían el punto de *origen funcional*. Así se explica la importancia de las acciones musculares primarias por encima de las otras dos acciones de los músculos rectos, independientemente de la posición que tenga el ojo al realizar el movimiento. Es decir, que los rectos verticales tendrían esencialmente acción vertical de elevación o depresión (según sea el recto superior o el inferior) en todas las posiciones horizontales del ojo y los rectos horizontales tendrían acción horizontal fundamental de abducción o aducción (según sea el recto lateral o el medial) independientemente de la situación vertical que tenga el ojo cuando realiza su movimiento. (Figura 14).

Los estudios realizados por **Joseph L. Demer, Sei Yeul Oh** y **Vadims Poukens** en el año **1995** han demostrado que cuando el músculo recto se contrae, su tensión actúa sobre el globo ocular a través de las fibras de su cara bulbar, que son las responsables de los movimientos oculares y, así mismo, sobre la *polea* a través de las fibras de su

cara orbitaria, que es llevada hacia atrás coordinando sus movimientos. De este modo, la distancia entre la *polea* y la inserción escleral del músculo se mantiene constante. Al tiempo, la *polea* de su antagonista homolateral se adelanta por relajación de sus fibras musculares de acuerdo a la **ley de Hering (1879)**, manteniéndose constante la medida habida entre las *poleas*, el centro de rotación del globo, y la existente entre éste y las *poleas* con relación a las inserciones esclerales de los músculos rectos antagonistas homolaterales. Hay, pues, regulación de la posición de las *poleas* en sentido

anteroposterior.

El sistema de *poleas*, al cambiar los ejes de acción muscular, de acuerdo a la orientación del globo, permitiría una simplificación del control neurológico para que en los movimientos a posiciones terciarias pueda aplicarse la **ley de Listing**. Siempre sería más sencillo el control cerebral de las *poleas*, que el de la infinidad permanente de acciones carentes de conmutación. Todo esto al margen del quebrantamiento que, de modo constante, se hace a la **ley de Listing** cada vez que realizamos giro de rotación vestibulo-ocular reflejo, secundario al movimiento postural de la cabeza rotando fuera del *plano de Listing*.



Dr. Joseph Demer



Dr. Oh Sei Yeul

En **1844**, **Lucien Boyer** en su libro “Recherches sur l’operation du strabisme”, pág. 9 escribe: “... Por debajo de la conjuntiva una capa fibro-celulosa exterior a la esclera, adherente a las vainas musculares, establece conexión importante entre los cuatro músculos rectos. Hacia atrás se continúa con una túnica más densa que tapiza el cojinete grasoso de la órbita formando una cúpula en la que está alojado el globo ocular. Presenta hacia la mitad de su diámetro anteroposterior cuatro anillos destinados a dar paso a los músculos rectos, anillos que hacen la función de verdaderas *poleas* para los músculos”.

También, en **1873**, **Photinos Panas** en su obra “Leçons sur le strabisme”, pág. 7, dice “... la verdad es que, gracias a la aponeurosis

orbitaria, los músculos rectos no son sino músculos reflejados, tomando su punto fijo fisiológico en el lugar donde atraviesan la aponeurosis óculo-palpebral. Tomen como ejemplo el músculo recto externo, su inserción fija anatómica está sobre el anillo de Zinn, pero su inserción fisiológica está situada sobre la membrana de Tenon en el punto donde aquél atraviesa esta aponeurosis. Todos los músculos rectos, al igual que el músculo oblicuo no actúan sino como músculos reflejados”.

Analizando estos dos escritos, ha de admitirse, en justicia, un claro antecedente del conocimiento en el siglo XIX del sistema de “*poleas* extraoculares”.

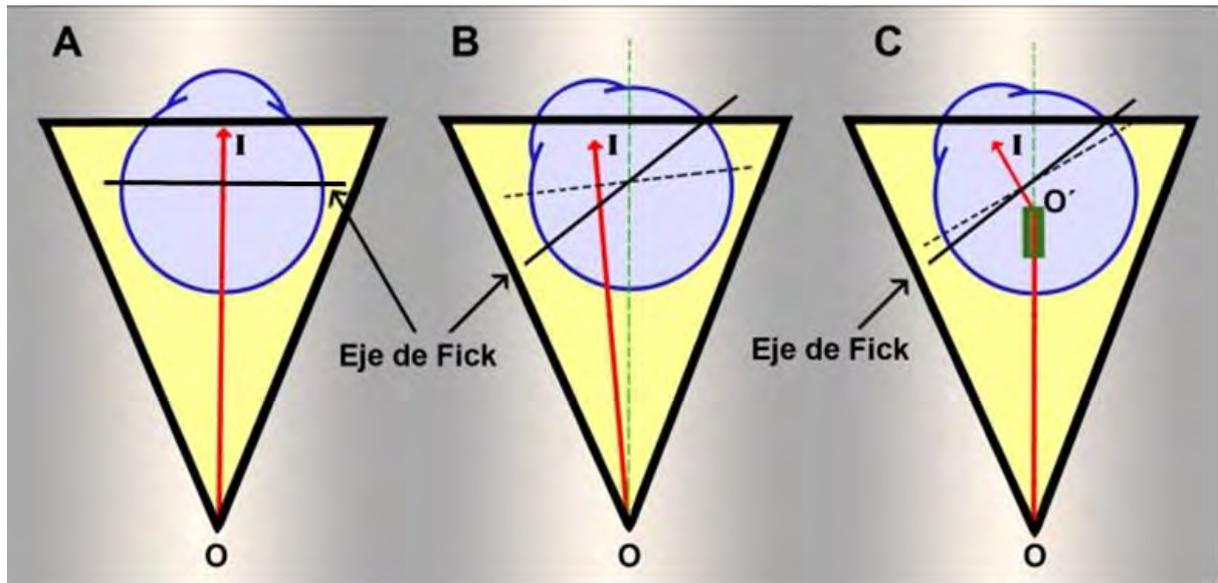


Figura 14. Acción muscular controlada por “poleas”.

Representación de un ojo derecho y un músculo recto, que pudiera ser horizontal o vertical.

- A.** En esta posición del globo, la línea de acción muscular es perpendicular al *eje de Fick* (eje X para los rectos verticales o eje Z para los rectos horizontales). Su acción efectora es máxima.
- B.** Mismo globo ocular habiendo variado su posición 40° (sea hacia el descenso o hacia la aducción). La línea de acción OI está muy lejos de la perpendicularidad con respecto al *eje de Fick*, por lo que su acción rotadora será pequeña.
- C.** Aquí, la existencia de la polea cambia la línea de acción muscular, que en vez de ser OI, sería O'I. Por este motivo, la línea de acción muscular está mucho más próxima a la perpendicular al *eje de Fick*, lo mismo si fuera un recto vertical que un recto lateral. La acción principal del músculo seguirá siendo muy importante a pesar de la rotación sufrida por el globo ocular (abducción y aducción para los rectos horizontales y supraducción e infraducción para los rectos verticales).

2.6.

MOVIMIENTOS BINOCULARES

En fisiología todo movimiento óculo-motor es binocular, con la notable misión de relacionar al individuo con el entorno que le rodea. Su despertar puede ser voluntario, aunque con mayor frecuencia es automático o reflejo a varios tipos de inducciones: visual, sonora, táctil, olfativa, vestibular etc.

Los ojos constituyen una agrupación funcional en estado de equilibrio recíproco

(equilibrio bi-ocular), manteniendo este conjunto íntima relación con el eje central de la cabeza y del cuerpo.

Cuando el hombre contempla su espacio visual, tiene la sensación de que todos los objetos presentes ante él son vistos con igual nitidez. **Lorenzo Hervás** lo refiere con toda perfección en su obra "El hombre físico" 1800 (pág. 81):



Lorenzo Hervás (1735-1809)

“Al mirar un objeto nos figuramos que al mismo tiempo vemos muchas partes suyas, más en cada momento indivisible del tiempo, vemos solamente un punto del objeto. Si al leer una palabra observamos con atención el sucesivo movimiento de nuestra vista, advertiremos que en cada momento vemos una letra sola. Al presentarse a nuestra vista una página de un libro, la vemos toda, pero la vemos sin leerla: empezamos a leerla, y vemos sucesivamente cada letra por sí sola; más el movimiento de nuestra vista es tan acelerado, que con ésta corremos todas las letras de cada palabra en tiempo indivisible. De esta observación se infiere que en la retina a cada momento se pinta la imagen de cada punto luminoso del objeto; y porque las imágenes de infinitos puntos de éste duran algo en la retina, y se pintan sucesivamente en un momento, en éste vemos todo el objeto”.

Lorenzo Hervás (1800)

Y ciertamente, todo esto no es más que apariencia encubriendo la realidad. El permanente y rápido movimiento de los ojos (realizado sin penosidad alguna), junto al fenómeno de *supresión sacádica*, es lo que produce la quimera de creer que se ve con igual nitidez con todas las partes de la retina, cuando es solo la fovea, con su extremada pequeñez, la única estructura capaz de percibir con perfección.

Binocularmente, el aparato motor tiene funciones perceptivas valiosas que precisan ser retenidas:

1ª. Aumenta el *campo visual* merced a los cambios continuos de mirada. De acuerdo a necesidades de información y relación con su entorno, al renovar el individuo su *campo de fijación* modifica su *campo visual* provocando variación del mismo con consecuencia de aumento permanente. De este modo, cambian sin cesar el *campo de fijación* o *campo de mirada* y el *campo visual*. A su vez, el campo de visión global es favorecido por movimientos sincrónicos de los globos oculares, cabeza y cuerpo.

2ª. Mantiene estable la visión del campo visual durante el movimiento corporal del individuo, tanto se trate de rotación como de traslación. En estos movimientos la percepción del campo visual discurre por la retina apareciendo movimientos oculares reflejos, cuya misión es estabilizar dichos desplazamientos perceptivos retinianos.

3ª. Sitúa en posición ambos ojos sin errores considerables (por hipometría o hipermetría) para que la imagen procedente de un objeto, que ha despertado interés, incida sobre ambas foveas permitiendo los más elevados objetivos de binocularidad: haplopía y sentimiento de relieve y profundidad, que es llevado a cabo merced a las funciones de fusión y estereopsis.

En condiciones normales, a la persona le es imposible desplazar un ojo sin que le

acompañe el otro. La dinámica ocular se constituye, como dice **Henri Parinaud**, por *movimientos asociados* manteniendo congruencia estática y dinámica. Los ojos se mueven coordinadamente, actuando en bloque como si de un sólo órgano se tratara (*egocentro*), como lo está solicitando el sensorio común del "*ojo cíclope imaginario*" de **Herman von Helmholtz** u "*ojo doble*" de **Heinrich Ewald Hering**. Si un ojo va en determinada dirección, el otro deberá acompañarlo de forma acoplada, con precisión y sin errores, con el fin de orientarlos en tal condición que puedan desarrollar su trabajo sensorial, siendo el objetivo de este trabajo las *foveas* (áreas privilegiadas del campo visual abarcado en cada instante), bien sea para dirigir las hacia determinado estímulo, bien sea para mantenerlas tónicamente en situación estable fijando dicho estímulo. O sea, el acto visual es función que para ser eficiente precisa que de forma continua alternen: momentos de actividad motora en los que el aparato óculo-motor bajo control de un *sistema fásico* (*neuronas fásicas*) rápido busca en estado de *equilibrio recíproco* el objeto motivo de su atención y momentos de inmovilidad, al menos relativa, bajo la dependencia de un *sistema tónico* (*neuronas tónicas*), que es necesario para conseguir estabilidad de la imagen, precisa para la correcta distinción de los objetos de nuestro entorno, custodiando la posición de equilibrio de los ojos sobre el estímulo fijado.

Estos diferentes desplazamientos oculares, a veces voluntarios y la mayoría automáticos o reflejos, despertados por estímulos diversos (visuales, auditivos, olfativos, táctiles etc), van a ser eficaces en tanto haya alternancia de instantes de movimiento, que faculten a nuestro binóculo la "*búsqueda*" o el "*seguimiento*" del objeto, y momentos de reposo que permitan a los elementos retino-corticales "*ver*" en su más estricto sentido. Estamos hablando del entendimiento y concierto que debe haber, de modo permanente, entre lo que se ha venido en llamar *estática* y *dinámica* ocular, tan

activa e importante una como la otra, y dando ambas en todo momento fiel cumplimiento a las *leyes de la inervación*.

Se ha dicho que los movimientos que hacen los ojos son siempre *asociados*. Estos desplazamientos pueden ser: **a) Asociados de dirección (versiones)**, en los que los ejes oculares se mueven en el mismo sentido, manteniéndose el objeto fijado a igual distancia con relación a la persona; estos ejes visuales presentan ángulo constante, siendo paralelos cuando el plano frontal en que se desplazan está en el infinito; **b) Asociados de distancia (vergencias)**, en los que la búsqueda de determinado objeto se hace a diferentes distancias, modificándose en este caso la relación angular de los ejes oculares entre sí, buscando el encuentro entre ellos, con el fin de hacerlos converger sobre el objeto fijado; y **c) Mixtos** (los más frecuentes), que son

combinados de versión y vergencia o, si se quiere decir de otro modo, movimientos de lateralidad con vergencia (convergencia o divergencia).

“Tales son los únicos desplazamientos practicados por pares musculares asociados, que, en estado normal, pueden ejecutar los globos oculares. En fisiología es imposible que un ojo ejecute un movimiento a la derecha y el otro a la izquierda, un ojo hacia arriba y otro abajo, o que un ojo converja y el otro diverja. El trabajo por pares musculares asociados para cada movimiento se debe a la inervación especial recibida procedente de centros supranucleares especiales” (Charles Sauvinaeu, 1900, “Le strabisme”, pág. 1)

El movimiento binocular se rige por la **ley de Hering**, enunciada por este autor como **“ley de la inervación equivalente de los dos ojos”**. Dice literalmente así:



“Los dos ojos se comportan en lo que atañe a su movimiento al servicio del sentido visual como un órgano simple. Frente a la voluntad motora, es indiferente que este órgano consista en realidad en dos miembros separados; esta voluntad no tiene necesidad alguna de mover y dirigir esos dos miembros por separado pues el mismo impulso de voluntad domina simultáneamente ambos ojos, exactamente como si se tratara de manejar una yunta de caballos con rienda simple”.

Heinrich Ewald Hering (1879)

Simplificando el texto, la “**ley de la correspondencia motora binocular**” de **Hering** puede enunciarse de este modo: “*Cuando un músculo realiza un movimiento en determinada dirección, el impulso nervioso que el cerebro manda a este músculo es igual al que envía al músculo sinergista del otro ojo*”.

Arthur Jampolsky (1986) cree que más que de inervación igual, debe hablarse de “*igualdad de acción*”. A mi entender, es un concepto práctico, al menos si nos referimos a los movimientos de dirección (versiones), cuyo sello esencial es la *correspondencia motora*.

Esta ley se ha aplicado de modo genérico a toda la actividad óculo-motora, inducida por cualquier tipo de estímulo, sean movimientos voluntarios o reflejos, conjugados o disyuntivos, y actuando no solo sobre la “*dinámica ocular*” (descargas fásicas) sino también sobre la “*estática ocular*” (descargas tónicas). A lo largo del tiempo se ha venido considerado válida tanto en fisiología como en patología.

* En *movimientos de versión* (*movimientos de dirección*), la congruencia de músculos sinérgicos es evidente y demostrable por video-oculografía (**José Perea, 2006**). Por ejemplo: recto lateral del

ojo derecho y recto medio del ojo izquierdo en el movimiento de dextroversión.

* En *movimientos de vergencia* (*movimientos en profundidad*), aunque todo es más complejo en virtud de la relación sincinésica con la acomodación y el juego pupilar, también podría entenderse (si bien, como más adelante veremos, los movimientos de vergencia distan mucho de ser congruentes). La exploración de una vergencia simétrica indica contracción de los músculos rectos medios en convergencia y de los rectos laterales en divergencia.

* Sin embargo, la vida real nos enseña que el problema es más enrevesado, porque, como hemos dicho, los movimientos son mixtos, en los que los de dirección (versiones) van, casi siempre, asociados a los de profundidad (vergencias). En estos usuales casos, todo cambia radicalmente al superponerse en el mismo acto ambos tipos de movimientos, dando lugar a “*interferencias*” entre músculos sinérgicos y antagonistas en uno de los dos ojos.

Como ejemplo, supongamos, representado en la Figura 15, que se trata de hacer un movimiento de P a O, estando situado O a la derecha y por delante de P, pero con la particularidad de encontrarse O en la *línea de dirección* del ojo derecho cuando ambos ojos fijaban el punto P.

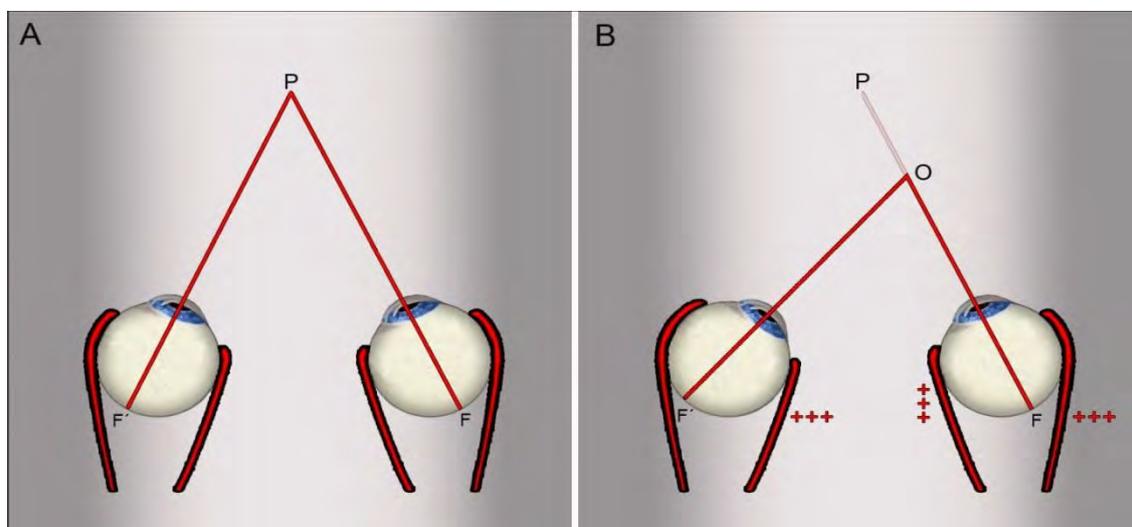


Figura 15. **Movimiento mixto de versión y vergencia.**
Explicación en el texto.

En este caso, el cerebro para cumplimentar la versión, en virtud de la **ley de Hering (1879)**, envía al recto medio del ojo izquierdo los impulsos nerviosos precisos, que son iguales a los que manda al recto lateral derecho. Al mismo tiempo, para llevar a cabo el movimiento de vergencia tiene que emplearse, mediante su centro de comando, ordenando impulsos nerviosos al recto medio del ojo izquierdo, que precisarán modelarse con los generados para la versión, y también al recto medio del ojo derecho que tendrán que neutralizar los que llegan al recto lateral con finalidad versional, ya dicho antes, al tratarse de inervaciones de sentido opuesto.

En fisiología motora, hay que diferenciar dos hechos: una cosa es realizar igual rotación en ambos ojos, y otra que los acoples sinérgicos reciban la misma inervación. Todo el edificio se desmonta por sí solo desde el momento en el que se sabe que el recto medio, en razón de la *posición anatómica de reposo absoluto* en ligera divergencia, tiene que hacer mayor esfuerzo para vencer la resistencia viscoelástica y, por ello, recibir más impulso nervioso para conseguir el mismo resultado que el recto lateral (**Collins, Carlson, Scott y Jampolsky, 1981**). Este hecho contradice la **ley de Hering (1879)**. Sería más razonable decir con **Francis Heed Adler (1950)** que “... *los elementos musculares sinérgicos reciben una cantidad de impulso nervioso adaptado, permitiendo a los dos ojos tener la misma rotación*”. Además hay que añadir los pequeños ajustes de adecuación que algunos tipos de vergencia (fusional y acomodativa) han de imprimir al movimiento.

La **ley de la correspondencia motora binocular de Hering**, que es realidad fisiológica en los movimientos de versión e, incluso, perfectamente comprobable en patología cuando valoramos las parálisis nucleares periféricas (al estudiar el juego de hipofunciones e hiperfunciones de la cuadriga muscular alterada), y, también, en las enfermedades de función supranuclear (parálisis de lateralidad o verticalidad), veremos, más adelante, su incumplimiento en

otros tipos de desplazamientos (vergencias), demostrado por **Quéré** mediante electro-oculografía y comprobado por nosotros por video-oculografía.

a) La ley fracasa en las vergencias binoculares de individuos normales. Aunque, en estos casos, hay que aceptar la recomposición de la ley al concluir el movimiento. Es decir, la **ley de Hering** no se cumple en su primera fase rápida, aunque sí lo hace al final de la fase lenta, terminando la posición de los ojos en perfecto *equilibrio recíproco* al concluir el desplazamiento. Del mismo modo, en las vergencias falla la **ley de equivalencia motora de Quéré**, apareciendo disociación optomotora al ocluir un ojo.

b) También comprobaremos el desmorone de la **ley de inervación equivalente de los dos ojos** en determinados desequilibrios motores como:

* En endotropías, en las que se puede detectar *falta de congruencia disociada*, frecuentemente alternante, con *pérdida de la correspondencia motora* en los movimientos conjugados de versión por incumplimiento de la *ley de equivalencia motora*, con disminución de amplitud de la onda del ojo ocluido.

* En nistagmos, considerados tradicionalmente desequilibrios motores conjugados, y cuya valoración debería resultar correspondencia motora normal. Pues bien, al realizar el estudio cinético puede comprobarse incongruencia en el movimiento nistágmico de ambos ojos en versiones extremas, con bloqueo del que aduce, que podría condicionar algunos tortícolis. También en los nistagmos, al igual que en las endotropías, podemos asistir a la falta de congruencia disociada al tapar uno y otro ojo, con alteración de correspondencia motora; se trataría mayormente de nistagmos asociados a estrabismos.

CLASIFICACIÓN

El aparato visual está organizado para conseguir dos objetivos esenciales: **a)** Descubrir todo lo que hay de interés en el campo de visión; **b)** Procurar alta resolución de aquellos objetos fijados. Se basa en un mecanismo básico: el *reflejo de fijación*. La detección de la sensación corre a cargo del área extrafoveal, en tanto que su percepción nítida la provee la fovea.

Raymond Dodge (1902), profesor de Psicología de la Universidad de Wesleyan (USA), consideró cinco tipos de movimientos oculares para realizar, de modo ordenado y organizado, los ajustes precisos en la actividad visuo-motora. De ellos, cuatro son de “*versión*” (movimientos asociados de dirección o colateralidad) y uno de “*vergencia*” (movimiento asociado de distancia). Todos con su singular protagonismo en la exploración voluntaria, automatizada y refleja del espacio visual. Nuestra mirada resulta de la combinación ordenada de sus diferentes sistemas.



Raymond Dodge
(1871-1942)

Los movimientos de versión pueden ser: *sacádicos*, de *seguimiento*, *optocinéticos* y *vestíbulo-oculares*. A estas actividades hay que añadir los *micromovimientos de fijación*.

Del conjunto de “*movimientos asociados de dirección o colateralidad*”, dos de ellos estabilizan la imagen retiniana en los desplazamientos del cuerpo y de la cabeza, siendo prisioneros de la motilidad cefálica: movimientos *vestíbulo-oculares* y *optocinéticos*. Los otros movimientos de “*versión*” (*sacádicos* y de *seguimiento* o *perseguida*), amén de los *movimientos desconjugados o disyuntivos de vergencia*, alinean la fovea con el objeto que incitó el movimiento (*bifovealizan* la imagen), con objeto de mejorar la resolución visual. Puede decirse que existe integración continua y permanente de *aferencias visuales*, *propioceptivas* y quien sabe de cuántos tipos más...

De acuerdo al fin perseguido clasificamos los movimientos oculares en:

Movimientos de búsqueda y seguimiento de la mirada

Este tipo de movimientos permite dirigir la atención y, con ella, la fijación hacia determinado objeto del espacio. Los desplazamientos oculares de búsqueda son las *sacadas*. Los desplazamientos de perseguida son los *movimientos de seguimiento*. Se asocian armónicamente con movimientos de cabeza y cuerpo. Cierto es que hay que precisar y volver a insistir en que la común manera de responder del sistema óculo-motor es “*automática*”, incluso cuando el inicio de la actuación haya sido facultativo, transformándose en aquella en determinado momento de la cadena reaccional. Podemos, de modo intencionado, realizar un movimiento, pero una vez desencadenado no puede modificarse las características del mismo.

Movimientos de orientación de la mirada

Tienen como misión poner los ojos en posición de *bifovealización* en el umbral, en la

puerta de entrada, de esa “jungla” como diría **Sherrington** para que a partir de ese momento se inicie ese proceso mágico que se conoce con el nombre de “fusión” y que termina en una irrealidad, que es psíquica e intelectualmente real llamada estereopsis.

Hablamos de los desplazamientos de *vergencia*, fisiológicamente considerados como los movimientos por excelencia, que, ayudados de su guardia pretoriana (sacádicos de acompañamiento, vestibulo-oculares y optocinéticos), permiten fijar el estímulo inductor a diferentes distancias dentro del espacio visual, de modo perfectamente coordinado dentro del complejo cibernético en el que se encuentran asentados.

Movimientos de mantenimiento de la fijación

El mantenimiento de la fijación se realiza con movimientos pequeños e involuntarios (“microtemblores”, “micromovimientos sacádicos” y “fluctuaciones”), que impiden la saturación de los receptores retinianos evitando el fenómeno de *fading* (eclipse o desaparición de la imagen).

Movimientos reflejos compensatorios

a) Movimientos oculares de estabilización que compensan las rotaciones de la cabeza (*movimientos reflejos vestibulo-oculares*) y del cuello (*movimiento reflejos tónico-cervicales*). **b)** Desplazamientos oculares que equilibran los movimientos de los objetos ante el individuo (*nistagmo optocinético*). Ambos movimientos reflejos, vestibulares y optocinéticos, perfectamente asociados permiten al individuo ver y moverse al mismo tiempo.

COROLARIO

Existen funciones en las que el apar-

to óculo-motor tiene que disponer de neuro-control para que su ejecución pueda ser optimizada. Estas funciones son:

a) Tonicidad de base (vergencia tónica) para sagitalizar las posiciones de los globos oculares, compensando el estado de ligera divergencia de los individuos carentes de gobierno neural. En el sueño profundo, en la embriaguez, en la anestesia profunda podemos encontrar situaciones indicativas en las que la coordinación ocular es deficiente o ausente. También, el recién nacido carece de control cortical.

b) Exploración del espacio sobre la base de movimientos de desplazamientos rápidos dirigidos a los diferentes objetos de interés para el individuo. Estos movimientos pueden ser voluntarios o automáticos a diferentes estímulos (visuales, sonoros, olfativos, táctiles etc). En esta función se incluyen los *movimientos sacádicos* y la *fase rápida de incitación de las vergencias*. Ambos desplazamientos suelen ir asociados conformando movimientos mixtos.

c) Fijación bifoveal de los objetos que se muestran en las infinitas direcciones del espacio, cuando el movimiento de aquellos es independiente del fondo. Son los *movimientos de seguimiento, perseguida o rastreo*, y la *fase lenta de terminación de las vergencias (vergencia fusional y acomodativa)*.

d) Mantenimiento tónico de la fijación de un objeto y micromovimientos fisiológicos de visión estable mantenida.

e) Persistencia inalterable del campo visual cuando la persona está en movimiento, sea de traslación o de rotación. De esta manera, las imágenes que se desplazan en la retina han de ser estabilizadas por determinados movimientos reflejos: *movimientos vestibulo-oculares* y *nistagmo optocinético*.

2.7.

MOVIMIENTOS DE VERSIÓN

VERSIONES

Son movimientos binoculares en los que los ejes visuales de ambos ojos se desplazan en el mismo sentido. Cuando el objeto fijado se encuentra en el infinito, los ejes visuales son paralelos. No es de igual modo cuando está situado a distancia finita. Los movimientos de versión se corresponden con la mirada de objetos situados en el mismo plano frontal y se producen al mirar, bien sean dos elementos consecutivamente, o haciendo

seguimiento de uno solo. Se llaman, también, “*movimientos conjugados*”, “*movimientos de dirección*”, “*movimientos del mismo sentido*”, “*movimientos paralelos*” y “*movimientos de colateralidad*”. Pueden ser voluntarios, o inducidos por diferentes estímulos. Aunque los de origen visual (reflejos psico-ópticos) son los más importantes, también pueden despertarse por incitaciones vestibulares, auditivas, olfativas, táctiles etc.

En este tipo de movimientos participan los doce músculos oculares.

De acuerdo a su dirección, siguiendo a Alexander Duane (1933), consideramos estos movimientos de versión:



Alexander Duane
(1858-1926)

- Dextroversión** Mirada conjugada a la derecha.
- Levoversión** Mirada conjugada a la izquierda.
- Supraversión** Mirada conjugada hacia arriba.
- Infraversión**..... Mirada conjugada hacia abajo.
- Supradextroversión** Mirada conjugada arriba y a la derecha.
- Infradextroversión** Mirada conjugada abajo y a la derecha.
- Supralevoversión** Mirada conjugada arriba y a la izquierda
- Infralevoversión** Mirada conjugada abajo y a la izquierda.
- Ciclodextroversión**El extremo superior del eje vertical de las córneas se dirige a la derecha.
- Ciclolevoversión**El extremo superior del eje vertical de las córneas se dirige a la izquierda.

Los movimientos de versión son exclusivamente de búsqueda o de desplazamiento, sin participación alguna en el equilibrio recíproco, que debe haber entre los dos ojos y que compete exclusivamente a las vergencias.

Las versiones se rigen por leyes muy precisas:

1ª Ley de Hering (1879) o ley de la inervación equivalente de los dos ojos. “Cuando un músculo induce movimiento en determinada dirección, el impulso nervioso que el cerebro envía a este músculo es igual al que envía al músculo sinergista del otro ojo”. Los movimientos efectuados por ambos ojos son “congruentes”, tanto en dirección, como en amplitud y velocidad, dando fe de su “correspondencia motora”.

2ª Ley de equivalencia motora de Quéré (1983). “La correspondencia motora se produce, tanto fijando con los dos ojos, como tras la oclusión de uno de ellos, sea el derecho

o el izquierdo. El mismo estímulo inductor da respuestas motoras equivalentes cualquiera que fuere la modalidad de fijación”.

No obstante, en justicia, hay que decir que **Félix Terrien** en **1928** ya había escrito: “... los movimientos paralelos son independientes de la visión binocular. Un ojo con visión perdida, incluso desde la infancia, ejecuta en el mismo sentido y con la misma extensión los movimientos del otro, gracias a la asociación de las vías nerviosas” (“Semiologie oculaire”, Tomo IV, pág. 28). Reconozcamos la exacta referencia a la **ley de equivalencia motora**.

3ª Ley de Sherrington (1897).

“Cuando el ojo realiza un movimiento en determinada dirección, los músculos agonistas se contraen y los antagonistas se relajan” (**Ley de la inervación recíproca monocular**). Se ha comprobado por EMG que las descargas en los músculos antagonistas son, con rigor, inversamente proporcionales, en tanto que mantienen la proporcionalidad en los músculos agonistas.

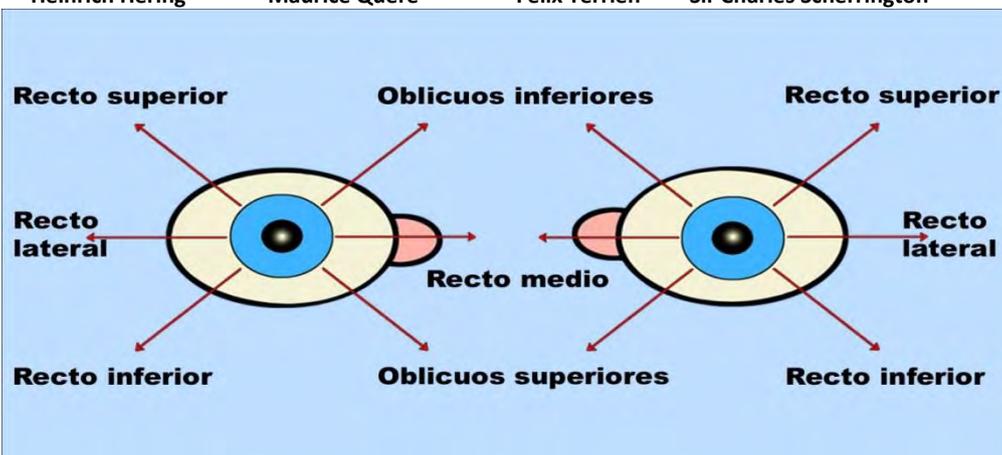


Figura 16. Campo de acciones musculares.

Los doce músculos oculares (seis en cada ojo) se asocian en tres grupos: **horizontal**, constituido por los cuatro músculos rectos; **oblicuo derecho**, constituido por el recto superior y recto inferior derechos y los oblicuos inferior y superior izquierdos; y **oblicuo izquierdo**, que comprende los músculos recto superior y recto inferior izquierdos, y los oblicuos inferior y superior derechos. (Figura 17). Cada músculo tiene su antagonista homolateral y su sinergista

contralateral.

Desde **Hess (1909)**, merced al coordímetro de su invención, se conoce el campo de privilegio de cada uno de los músculos óculo-motores. El estudio puede realizarse en la actualidad por medio de video-oculografía (**Perea, 2006**), que aporta las grandes ventajas de: no-necesitar que el paciente tenga correspondencia retiniana normal y permitir su realización aun cuando el ángulo de desviación sea importante.

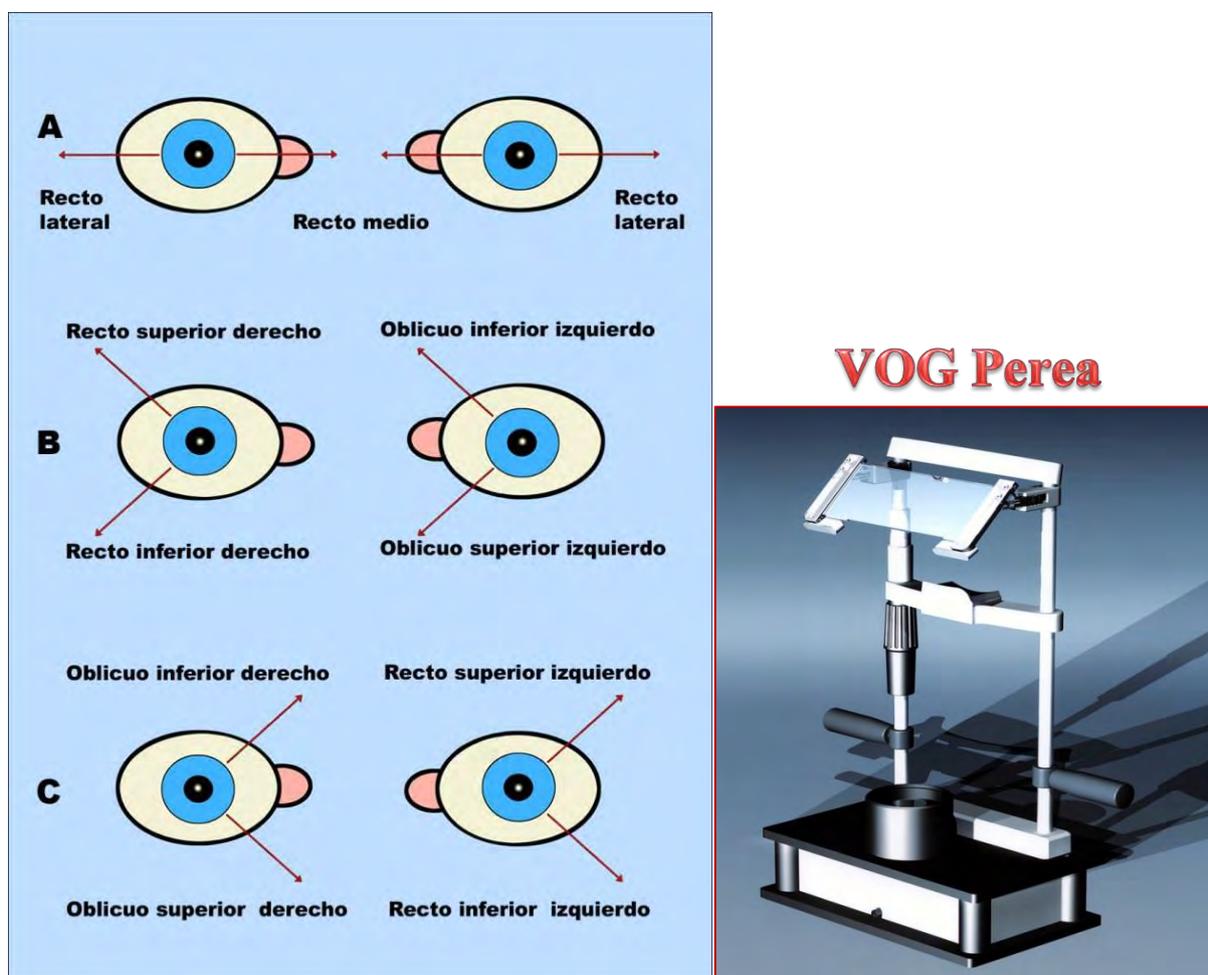


Figura 17. Grupos musculares: horizontal, oblicuo derecho y oblicuo izquierdo.

* En dextroversión (mirada a la derecha) y en levoversión (mirada a la izquierda), el *grupo horizontal* es el efector.

En la mirada a la derecha (dextroversión) se contraen el recto lateral derecho y el recto medio izquierdo, que se constituyen en músculos sinergistas o músculos yunta. El recto medio derecho es el antagonista homolateral y el recto lateral izquierdo es el antagonista contralateral.

En la mirada a la izquierda (levoversión) los músculos efectores son el recto lateral izquierdo y el recto medio derecho (músculos sinergistas). El recto medio izquierdo es el antagonista homolateral y el recto lateral derecho el antagonista contralateral.

* En supradextroversión e infradextroversión, el grupo que funciona es el *oblicuo derecho*, es decir, el recto superior e inferior derecho, y el oblicuo inferior y superior izquierdo.

En supradextroversión los músculos efectores son el recto superior derecho y el oblicuo inferior izquierdo. El recto inferior derecho es el antagonista homolateral y el oblicuo superior izquierdo el antagonista contralateral.

En infradextroversión los músculos efectores son el recto inferior derecho y el oblicuo superior izquierdo. El recto superior derecho es el antagonista homolateral y el oblicuo inferior izquierdo es el antagonista contralateral.

* En supraleoversión e infraleoversión, el grupo activo es el *oblicuo izquierdo*, es decir, el recto superior e inferior izquierdo, y el oblicuo inferior y superior derecho.

En supraleoversión los músculos efectores son el recto superior izquierdo y el oblicuo inferior derecho. El recto inferior izquierdo es el antagonista homolateral y el oblicuo superior izquierdo el antagonista contralateral.

En infraleoversión, los músculos efectores son el recto inferior izquierdo y el

oblicuo superior derecho. El recto superior izquierdo es el antagonista homolateral y el oblicuo inferior derecho el antagonista contralateral.

* En supraversion el grupo vertical activo está constituido por los dos músculos rectos superiores (derecho e izquierdo) y los dos oblicuos inferiores (derecho e izquierdo). Los cuatro músculos son sinergistas en este movimiento.

* En infraversión el grupo vertical activo está constituido por los dos músculos rectos inferiores (derecho e izquierdo) y los dos oblicuos superiores (derecho e izquierdo). Los cuatro músculos son sinergistas en este movimiento.

* Cicloversión. En ciclorrotación derecha, los músculos activos son el oblicuo inferior y recto inferior derechos y los músculos oblicuo superior y recto superior izquierdos. Los cuatro músculos son sinergistas, siendo sus antagonistas los correspondientes al grupo muscular ciclorrotador izquierdo.

* Cicloversión. En ciclorrotación izquierda, los músculos activos son el oblicuo inferior y recto inferior izquierdos y los músculos oblicuo superior y recto superior derechos. Los cuatro músculos son sinergistas, siendo sus antagonistas los correspondientes al grupo muscular ciclorrotador derecho.

Los seis músculos óculo-motores de cada ojo, armonizados entre sí, son capaces de hacer rotar sinérgicamente nuestro binóculo buscando o siguiendo, a través del reflejo de fijación, cualquier objeto del espacio que llame nuestra atención, fuere cual fuere la posición del cuerpo y cabeza. De la misma forma, tienen la posibilidad de inmovilizarlos para, a través de la bifovealización, conseguir fijaciones estables que aseguren la visión nítida.

Movimientos sacádicos

El *movimiento sacádico* o *sacada* es el tipo de desplazamiento ocular más frecuente y el mejor conocido por todos. En la exploración de su mundo visual que, de modo habitual, el individuo hace, no lo recorre con movimiento uniforme continuo sino saltando de un lugar a otro. Durante la ocurrencia del sacádico no hay *conciencia* de estos cambios y mutaciones (eclipse visual de **Holt, 1903**), que, por otra parte, no producen fatiga alguna. Al final, lo que el intelecto percibe realmente es la *síntesis* de ese continuo paseo a "brincos" por el entorno que le rodea, aportando una escena racional coherente y agrupada. Para conseguir la reconstrucción cerebral de lo percibido bifovealmente se precisa "*atención*": "No se ve lo que no se atiende" (inattentional blindness).

La *sacada* es un movimiento angular de refijación *rápido, balístico* (que ya iniciado no puede detenerse ni modificarse en pleno proceso, teniendo que finalizar su periodo refractario para poder ejecutar otro nuevo movimiento), con misión exclusiva de *desplazamiento y búsqueda* de objetos en el espacio visual. En el humano es la forma más importante de "respuesta de orientación". La mirada se encauza hacia determinado punto con el fin de mantenerlo en fijación bifoveal, conservando determinado nivel tónico al concluir el movimiento, justificado al tener que vencer de modo permanente las fuerzas visco-elásticas. Son *movimientos asociados de dirección* muy precisos. El estímulo visual desencadenante del *movimiento sacádico* es un objeto atractivo, con aliciente para el individuo, que incide en un área retiniana extrafoveal. A partir de este instante se inicia a nivel del sistema nervioso central un procesamiento que da lugar a la transducción de la señal sensorial visual retiniana en información sobre el determinado lugar del espacio procedente, documentando al sistema óculo-motor de la amplitud y velocidad de la *sacada* a realizar para

conseguir, con la colaboración de ayuda y control de las vergencias, enfrentar ambas fóveas sobre el objeto diana (bifovealización).

Así mismo, el movimiento sacádico se realiza permitiendo completa estabilidad perceptiva espacial a pesar del importante cambio de posición de los índices visuales sobre la retina establecidos entre el final y el comienzo del movimiento.

El movimiento sacádico es ejecutado por ambos ojos en "perfecta sincronía" cinética de dirección, amplitud y velocidad. Pueden ser realizados en sentido horizontal, vertical y en cualquiera de las infinitas posiciones oblicuas.

Los ojos se mueven alrededor de 3 a 5 veces por segundo, produciendo del orden de 240.000 movimientos sacádicos al día.

Ontogénicamente este tipo de desplazamiento es muy precoz. Aunque el niño desde su nacimiento puede realizar determinadas sacudidas rápidas (nistagmo optocinético y vestibular), es preciso llegar a los 4 meses de edad para que sea capaz de realizar movimientos sacádicos de refijación, orientando los ojos hacia el estímulo que despierta su interés. Esto indica la importancia que tiene el desarrollo del área central retiniana (mácula) en este tipo de actividad. El sistema sacádico es el encargado de elaborar los desplazamientos conjugados oculares rápidos.

Este movimiento de versión puede ser:

a) Automático-reflejo. Inducido por el estímulo: sonoro, táctil, olfativo, o visual incidiendo en un área retiniana distanciada de la fóvea.

b) Voluntario. De características morfológicas similares al automático, es obtenido en la exploración al solicitar al paciente la fijación de un objeto en determinados puntos del espacio (respuesta a órdenes). Puede producirse, así mismo, de modo libre y espontáneo.

Como se ha referido, los movimientos fisiológicos sacádicos efectuados por ambos ojos, son sincrónicos y congruentes (**ley de la correspondencia motora de Hering, 1879**), tanto cuando son voluntarios como reflejos (Figura 18-a y 18-b). También, en fijación monocular se aprecia simetría y perfecta sinergia en el ojo adelfo (**ley de equivalencia motora de Terrien-Quérel, 1983**). (Figura 19.)

El movimiento sacádico es susceptible de realizarse de *modo intencional* con el fin determinado de fijación, o sin finalidad alguna, como ocurre en la obscuridad y cuando se realiza con los ojos cerrados, o en el curso de otra actividad motora. También existe en el desarrollo de otros movimientos, como acontece en el de seguimiento o perseguida cuando el objeto rastreado camina a velocidad no adecuada. Así mismo, hemos

podido observar en el de vergencia (por video-oculografía) que cualquier pequeño movimiento “rápido” desarrollado en un ojo se acompaña de un sacádico sinérgico en el otro, aunque casi siempre de menor amplitud (Figura 20-a). Esto nos lleva a afirmar que sacádicos y vergencias se intrincan entre sí simbióticamente. El sacádico se complementa con vergencias y las vergencias lo hacen con sacádicos. Igualmente lo hemos visto, en determinados instantes, durante el movimiento lento de desencadenamiento de forias y en el movimiento de restitución de las mismas (Figura 20-b).

Otros tipos de *sacadas* son: la fase rápida del nistagmo, patológico o inducido (vestibular u optocinético) e, igualmente, los desplazamientos oculares rápidos vinculados al sueño MOR (Movimiento Ocular Rápido).

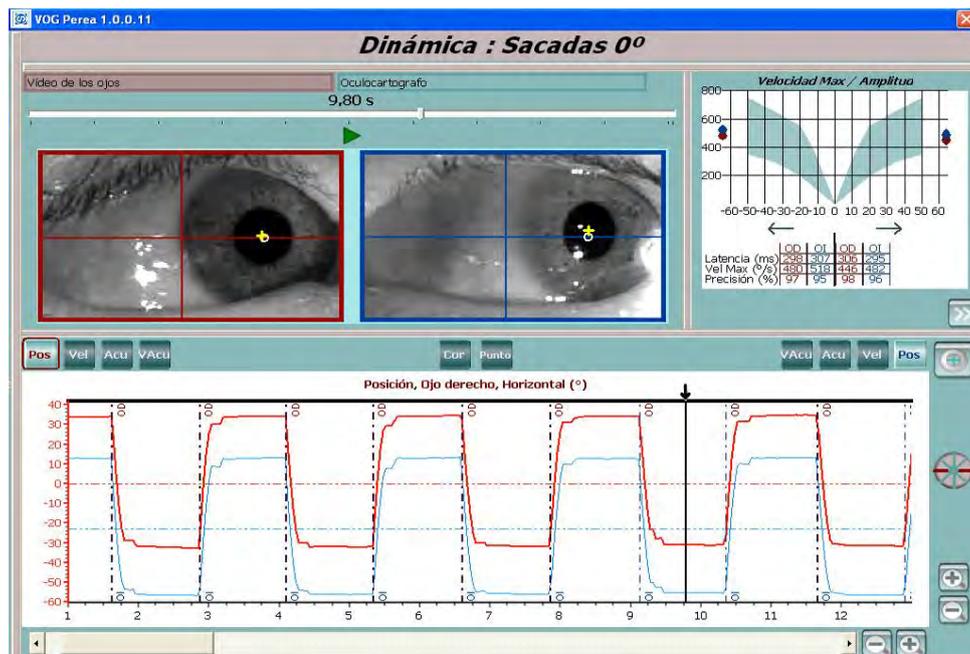


Figura 18-a. Movimientos sacádicos de amplitud 60°.

Se ve la perfecta correspondencia motora de las gráficas de ambos ojos, cumplimentando la Ley de Hering.

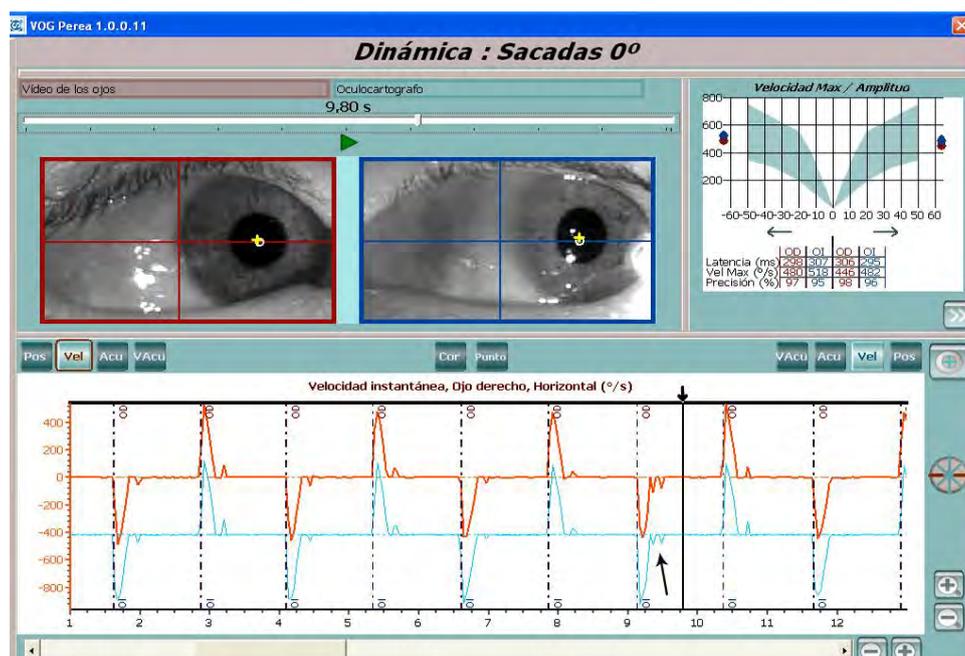


Figura 18-b. Caso anterior, recogido en el mismo instante (9,80s), pero con representación en el Oculógrafo de las velocidades máximas en grados por segundo, que se aprecian así mismo en perfecta sinergia. Vemos cómo cada sacada de la Figura 18-a tiene su propia velocidad, y la cúspide es la terminación de la fase más rápida de cada movimiento sacádico. En casi todos ellos hay un pequeño sacádico de corrección por hipometría y dos en alguno (marcado con la flecha negra).

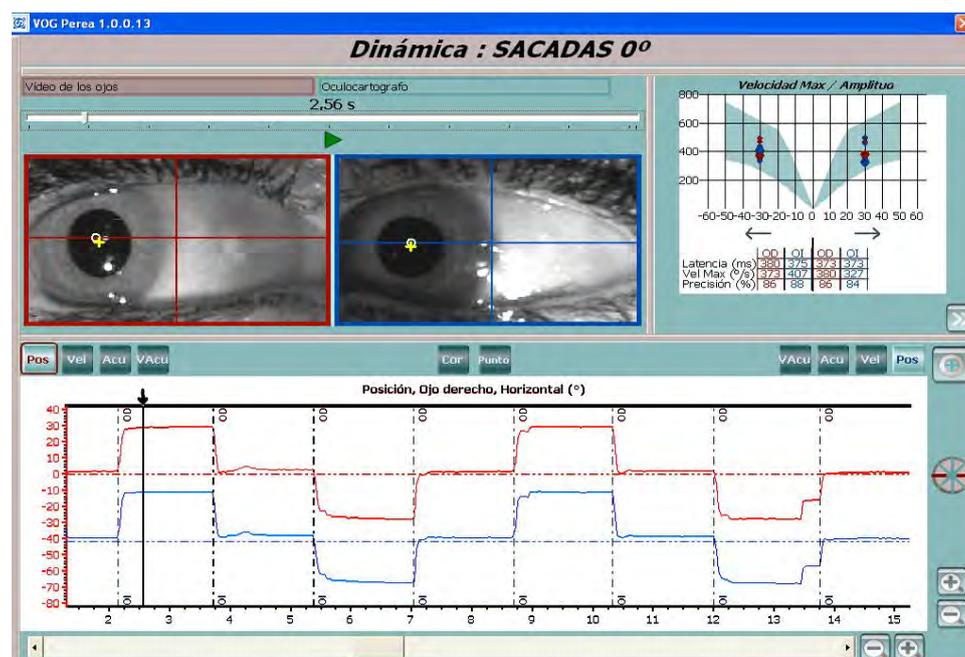


Figura 19. Ley de Equivalencia motora.

Este estudio se ha realizado con el OI ocluido y con el test de Coordimetría infrarroja de Perea. Como se puede apreciar, hay perfecta correspondencia motora de acuerdo a la *Ley de equivalencia motora* de Quéré. Ambas gráficas representadas en el Oculógrafo son iguales.

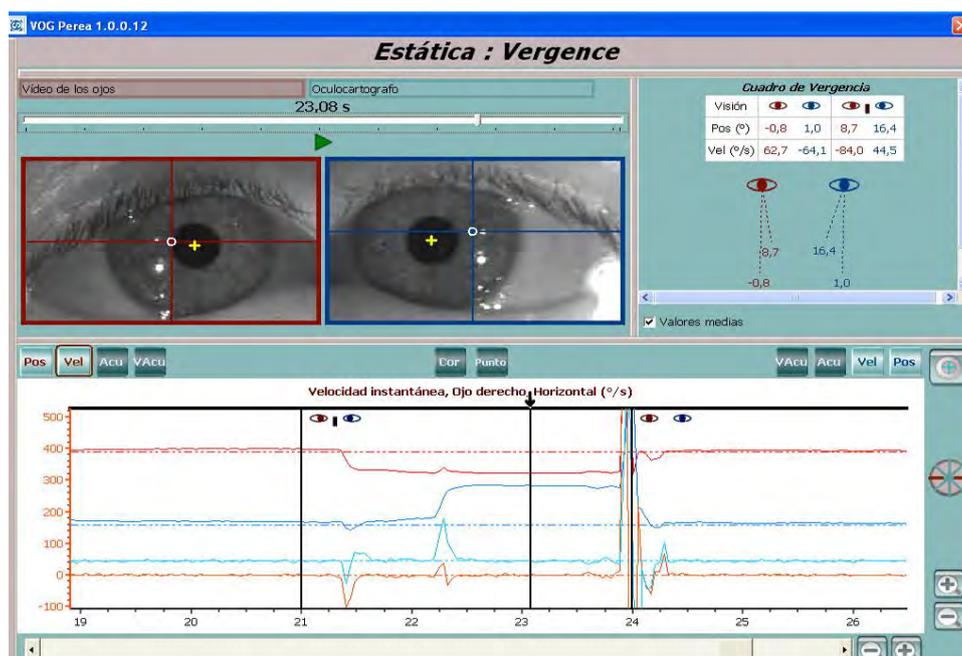


Figura 20-a. Movimientos sacádicos durante las vergencias.

En el desarrollo de este movimiento de vergencia se pueden comprobar sacádicos intercalados en el desarrollo del movimiento disyuntivo. Versión y vergencia se entremezclan simbióticamente. Las dos gráficas superiores del Oculógrafo representan el movimiento, y las dos inferiores la velocidad.

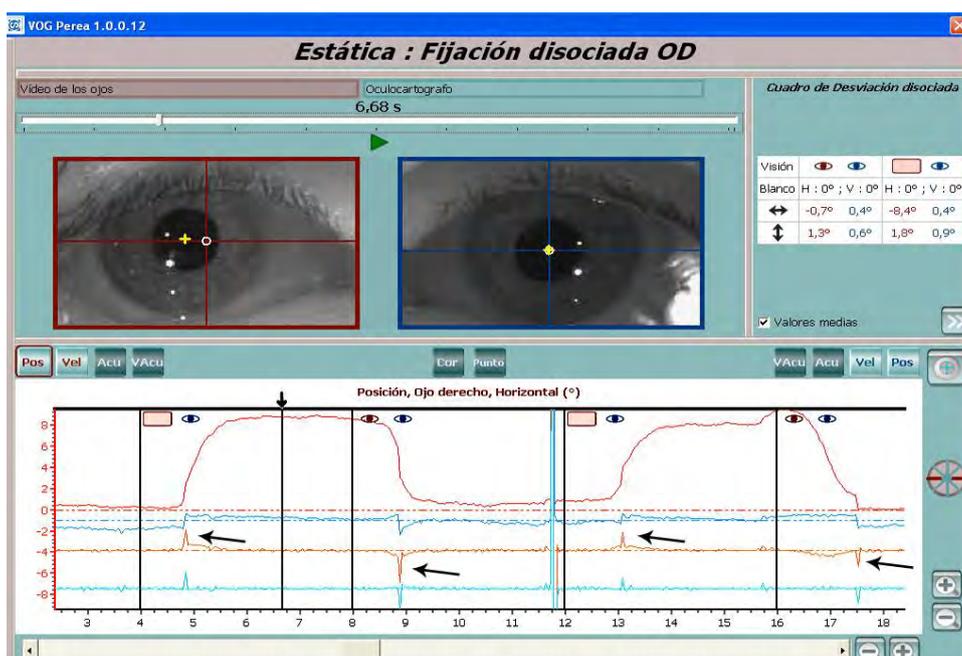


Figura 20-b. Sacadas en el curso de los movimientos lentos de la foria.

Indicado en la gráfica por flechas negras.

Es aceptado clásicamente que la *velocidad sacádica* es mucho mayor que la del resto de los movimientos oculares. Proporcional a la amplitud, aumenta cuanto más importante es ésta. Tanto más rápida, cuanto más amplio es el movimiento (*main relation*). Su valor puede oscilar entre 200°/s-300°/s para un movimiento de 10°, 500°/s para 20°, 600°/s para 30° (**Westheimer**). Podrían alcanzarse hasta

800°/s en los sacádicos por encima de 30° (**J.E.Hyde**). Según este autor, durante una *sacada* la velocidad aumenta bruscamente en su primer tercio, decreciendo lentamente hasta el final de la misma. Hay un primer periodo de aceleración hasta un valor máximo de frecuencia, seguido de una desaceleración cuando se está próximo a la nueva posición. Los valores medios encontrados por nosotros por video-oculografía con VOG Perea son:

Sacadas de 60°:	Hacia la derecha	.....	508
	Hacia la izquierda	.....	487
	Hacia arriba	.....	493
	Hacia abajo	.....	429
Sacadas de 30°:	Hacia la derecha	.....	421
	Hacia la izquierda	.....	439
	Hacia arriba	.....	352
	Hacia abajo	.....	343

Obsérvese, como se ha dicho anteriormente, la mayor velocidad en las sacadas de 60° que en las de 30°.

La *velocidad*, muy parecida en todas las personas, no es controlable por la voluntad ni el entrenamiento. Sí lo es por el ritmo circadiano, de tal manera que según avanza el día disminuye aquella. Los movimientos sacádicos precisan "estado de alerta", de tal modo que el alcohol, la fatiga, los tranquilizantes y la falta de atención puede alterar este parámetro. Cuando aquel estado baja, se deprimen primeramente las *sacadas* voluntarias y después las de origen reflejo. También, la velocidad de las sacudidas disminuye en obscuridad completa.

El movimiento sacádico tiene un *tiempo de reacción* o *latencia* (Figura 21-a, 21-b y 21-c), que es el que media entre la aparición del estímulo que lo desencadena y el comienzo de la respuesta óculo-motora. Según **Quééré**, es tanto menor cuanto más cerca de la fóvea incide. El *tiempo de latencia* aproximado para un estímulo visual imprevisto es de 170 a 250 milisegundos. Es, a juicio de este autor, menor en los situados a la izquierda con respecto a los de la derecha y los que proceden de arriba con respecto a los de abajo.

En el estudio hecho por nosotros mediante video-oculografía, el *tiempo de reacción* o *latencia* en la exploración sacádica, es algo mayor en los desplazamientos de 30° que en los de 60°. En cuanto a derecha e izquierda, no hemos encontrado diferencia en los desplazamientos de 60°, mientras que en los de 30° sí ha sido algo inferior en los desplazamientos a la izquierda.

En los sacádicos arriba y abajo, la latencia ha sido igual a 30° que a 60°.

Varía de modo importante según el individuo y el tipo de estímulo (menor para los auditivos y táctiles). Es mayor en el niño que en el adulto. Puede influir el entrenamiento. Por supuesto que el *tiempo de reacción* o *latencia* de los estímulos visuales dependen, también, de las características del mismo (forma, tamaño, luminosidad), de la amplitud del movimiento a realizar (mayor al aumentar ésta), y de características inherentes al individuo, como es la atención prestada.

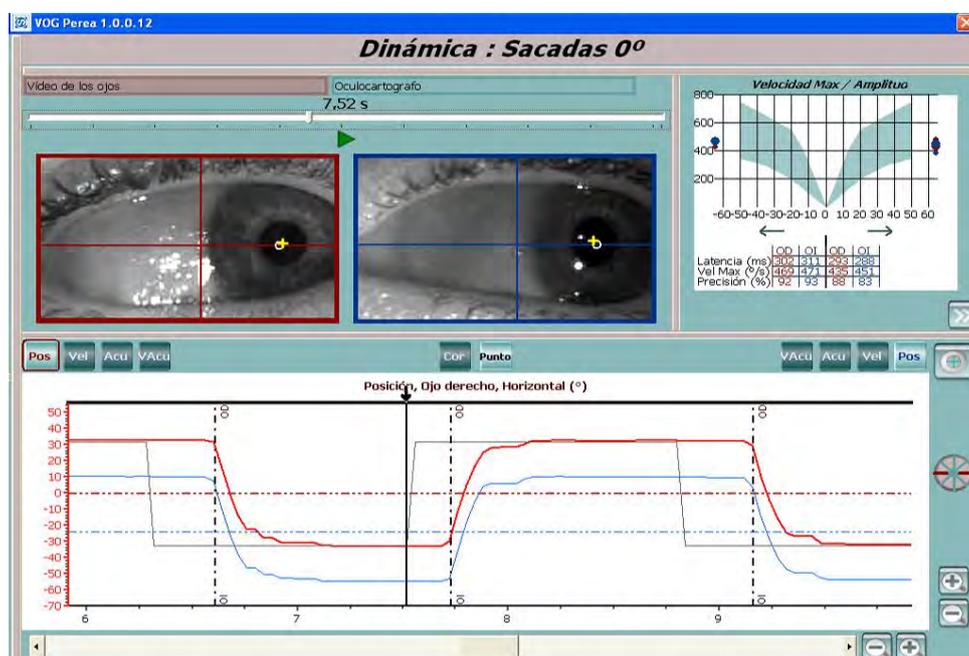


Figura 21-a. Movimiento sacádico. Instante en el que aún no se ha desplazado el estímulo.

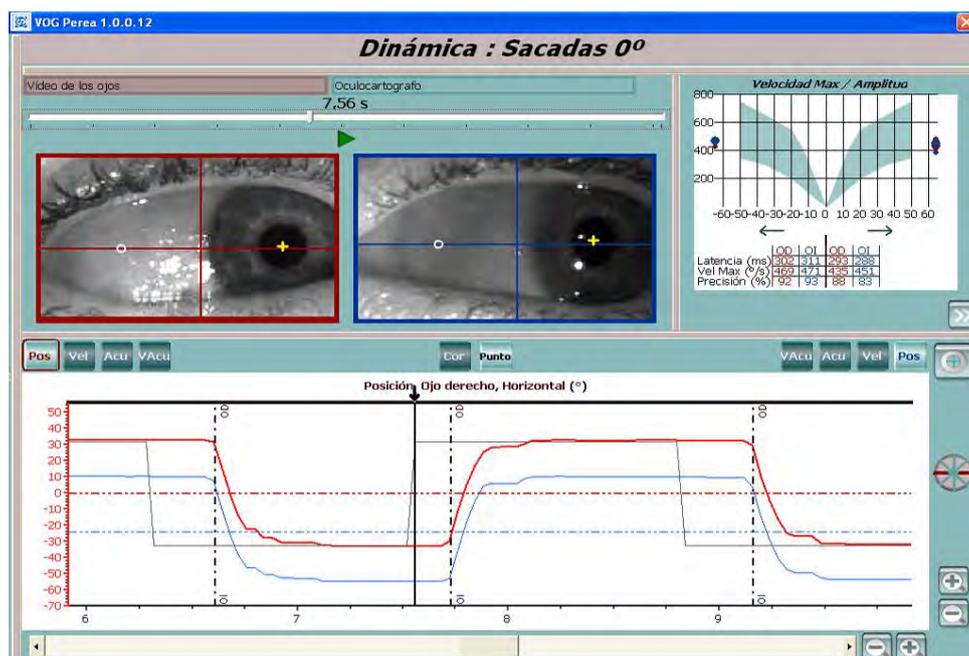


Figura 21-b. Caso de la Figura 21-a. Representa el momento (7,56s) en el que acaba de moverse el estímulo (representado en el Oculoscopio por el pequeño círculo blanco). Aquí comienza la *fase de latencia*. El movimiento del estímulo está representado en gris en el Oculógrafo. En rojo el movimiento del OD y en azul el del OI.

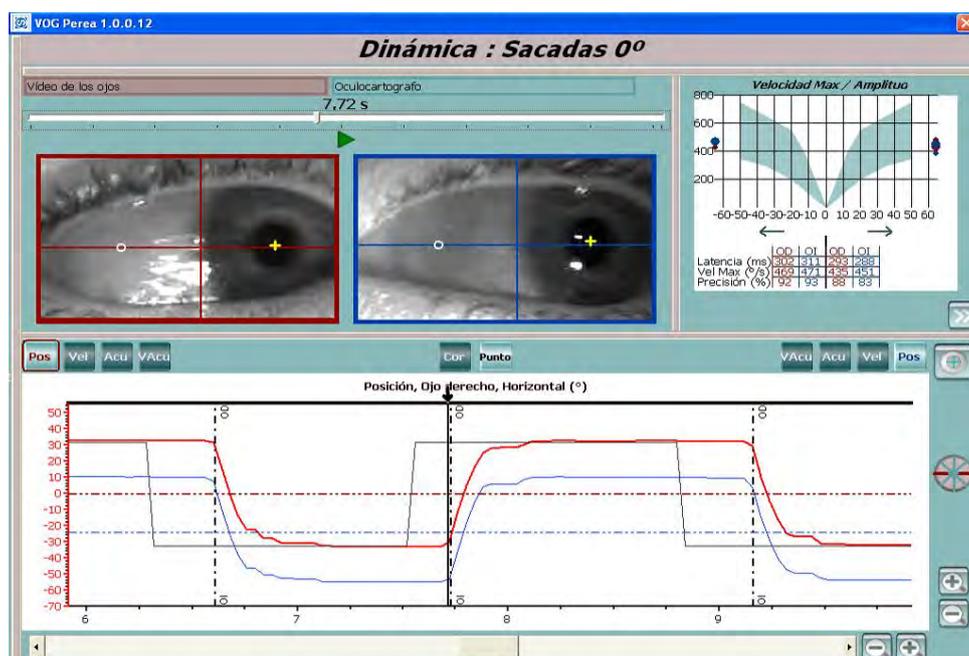


Figura 21-c. Caso de la Figura 21-a. Ha terminado la *fase de latencia* (7,72s). A partir de este momento se inicia el desplazamiento bi-ocular de dextroversión buscando el estímulo "diana".

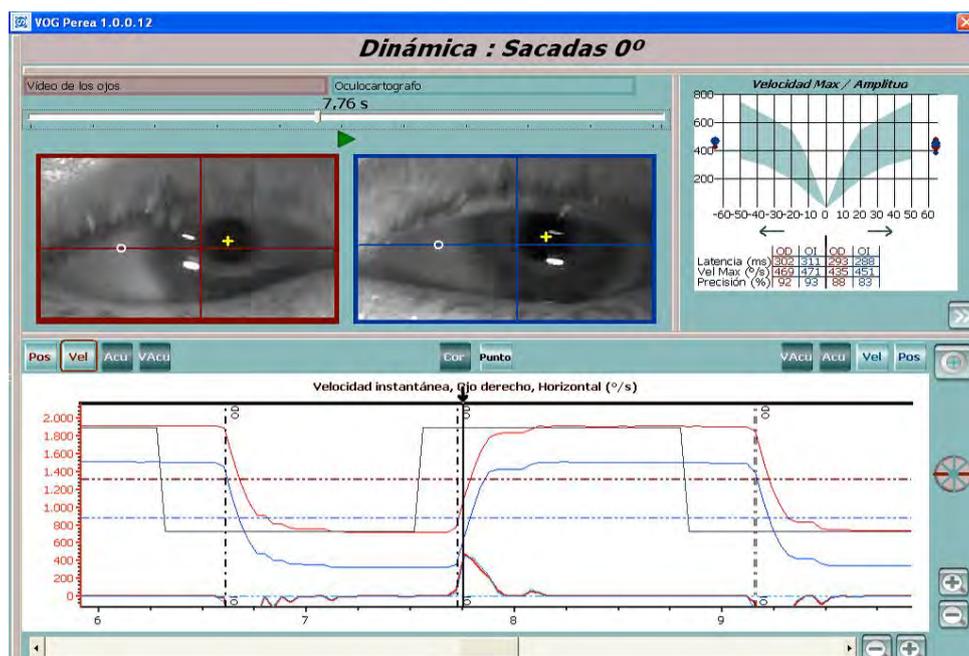


Figura 21-d. Caso de la Figura 21-a. Aquí, ambos ojos han efectuado la fase más rápida del movimiento. Lo indican las gráficas inferiores superpuestas de OD y OI del Oculógrafo, que representan las velocidades máximas.

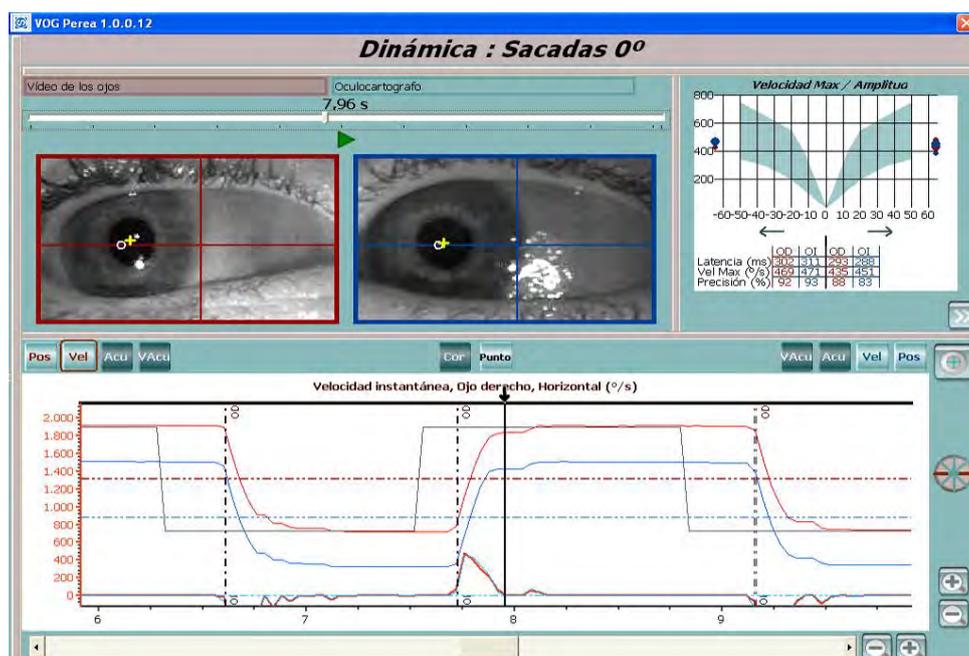


Figura 21-e. Mismo caso de la Figura 21-a. En este momento ha terminado la fase más lenta de la sacada e inicia una pequeña latencia necesaria para que el intelecto del individuo comprenda si debe, o no, hacer *corrección sacádica* y en qué sentido (por hipometría o hipermetría).

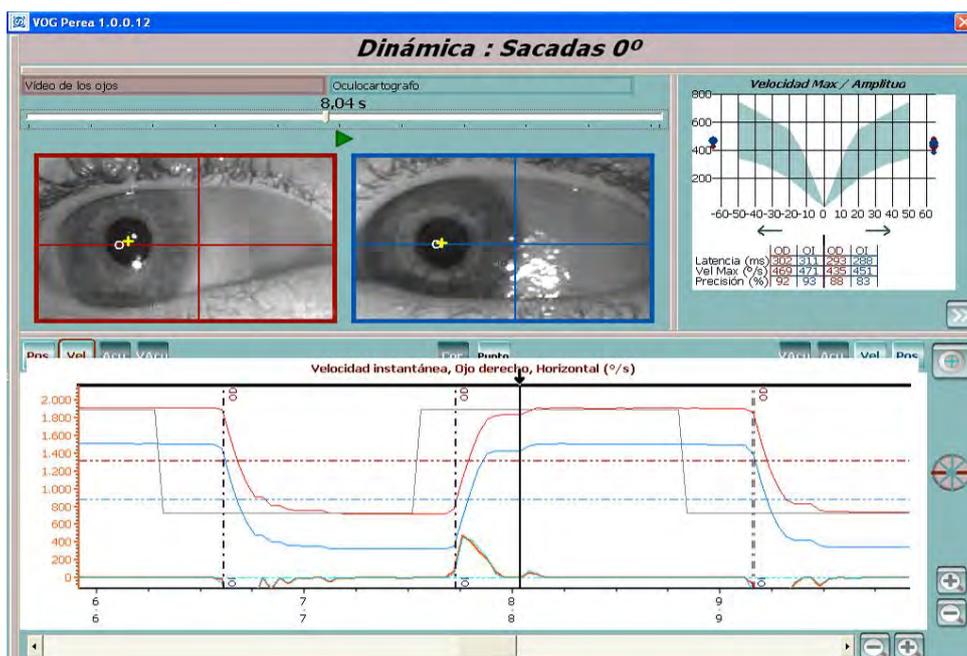


Figura 21-f. Continúa el caso anterior. Terminada esta pequeña fase de latencia, que es de 80 ms, comienza la *corrección sacádica*, que representa ese mínimo accidente que se ve, tanto en la gráfica del movimiento como en el de las velocidades (parte inferior del Oculógrafo).

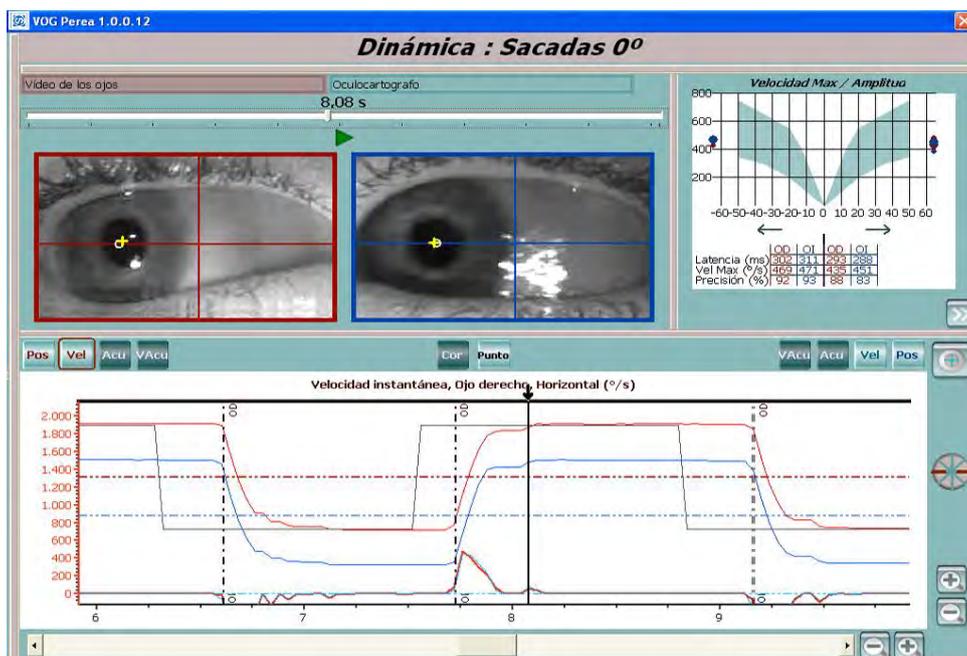


Figura 21-g. Sigue la secuencia de Figura 21-f. Sacádico de corrección hipométrica de 40 ms.

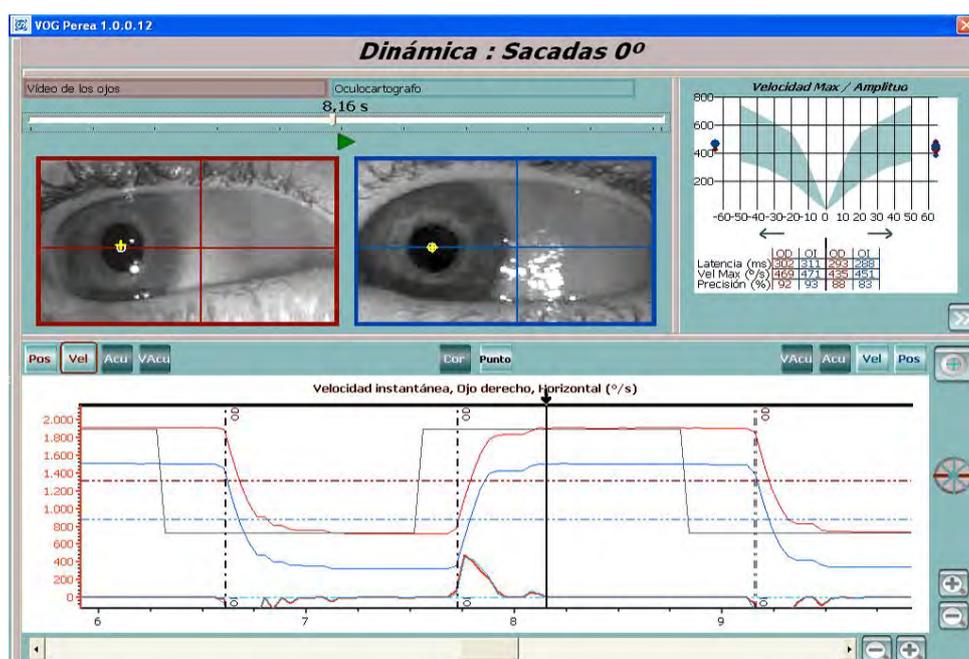


Figura 21-h. Terminación del sacádico de las figuras anteriores. Tras la corrección sacádica, ambos ojos están fusionando el estímulo (círculo blanco).

La mayor parte de los sacádicos que usualmente efectuamos presentan una amplitud máxima de 10° a 15°. Excepcional por encima de 20°. Cuando es superior, el desplazamiento de los ojos se acompaña de variación de la cabeza (movimientos cefalógiros). Los movimientos versionales en nuestra vida de relación se componen de *sacadas* sucesivas de amplitudes pequeñas, separadas por cortas interrupciones.

En el inicio del movimiento sacádico tiene lugar una descarga fásica (*pulso sacádico*) de músculo agonista con el objetivo de cambiar de posición. Cuando la sacada finaliza el músculo agonista recibe una descarga tónica con el fin de mantenerlo en esta última posición.

A su vez, el antagonista ocular es inhibido y al finalizar la sacada presenta un determinado nivel de actividad tónica, que es transitoriamente superior al definitivo, que sirve de freno o brida para detener bruscamente al ojo. Si este freno es demasiado importante tiene que completarse

con otra sacada correctora para llegar al objetivo final.

En el movimiento sacádico la bifovealización se realiza mediante dos fases.

a) Una primera fase de *desplazamiento* reflejo o voluntario necesario para colocar las fóveas en la mejor posición frente al objeto que llama la atención del individuo; cada punto retiniano tiene su particular valor motor (en cuanto a amplitud y dirección), que se pone en marcha al ser excitado por el estímulo. Este valor es innato aunque el aprendizaje y la experimentación lo fortalecen y refuerzan.

b) La segunda fase es de *reajuste* con objeto de posicionar ambas fóveas para conseguir haplopía.

La respuesta de fijación correcta por el individuo (fijación foveal) se conoce como *precisión sacádica*. Su medida es la *ganancia sacádica*, que se expresa por esta relación:

$$G = A_s / A_e$$

G = Ganancia **A_s** = Amplitud sacádica **A_e** = Amplitud del estímulo

La ganancia está influenciada por modificaciones de retroalimentación controladas por circuitos cerebelosos que actúan sobre los centros del tronco del encéfalo.

Por *corrección sacádica* se entiende el pequeño ajuste que los ojos hacen al realizar el movimiento sacádico cuando no se consigue de primera intención el objetivo deseado, que es lo más frecuente. Supone un desplazamiento de rectificación en razón de la consecuencia sensorial obtenida. Cuanto menor es la amplitud de la "sacudida" mayor es la precisión (**Weber y col. 1971**). En un desplazamiento de 10° no precisa *corrección sacádica* alguna en el 70% de los casos, en

tanto que en otro de 30° hay que hacerla en el 80%. Frecuentemente, el movimiento sacádico es hipométrico, necesitando ampliarlo con una rectificación motora pequeña. No obstante, hemos comprobado por video-oculografía que, a veces, es hipermétrico, teniendo que rectificar en sentido contrario (Figura 22-a, b, c, d, e, h).

Aparte de la *corrección sacádica* citada, hemos observado, así mismo por VOG, que una sacada puede estar duplicada o, dicho de otra manera, hacerse en dos tiempos (Figura 23-a, 23-b, 23-c y 23-d). Cuestión a diferenciar del fenómeno de adelantamiento de los ojos del paciente al estímulo (Figura 24-a, b, c, d).

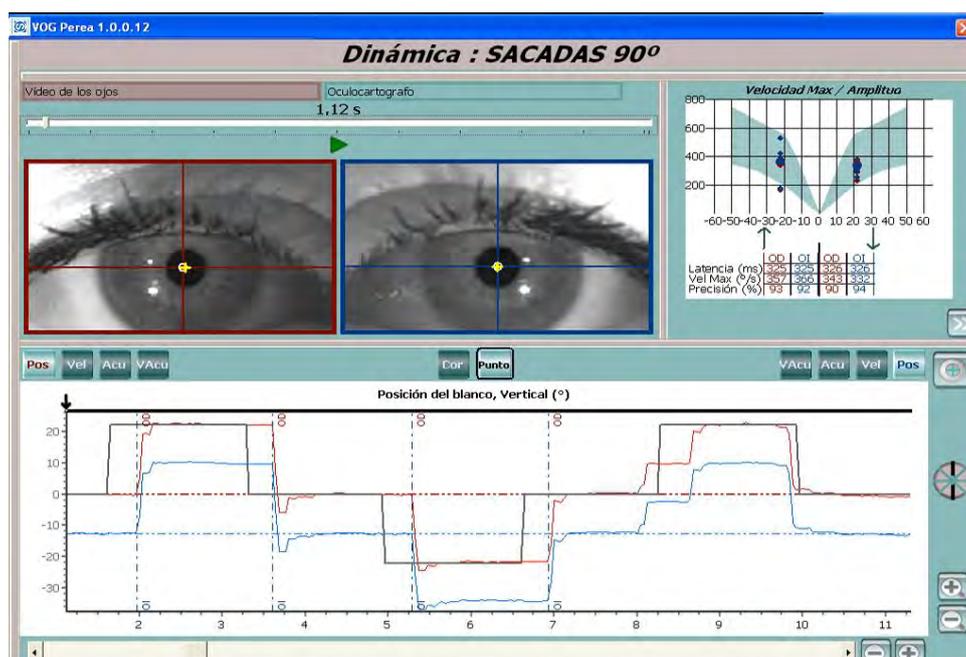


Figura 22-a. Movimientos sacádicos verticales pasando por el centro.

Perfecta correspondencia motriz entre ambos ojos. La distancia recorrida es 24° en cada movimiento (superversión e inversión). En gris el desplazamiento del estímulo. La anarquía sinérgica del último movimiento en el Oculógrafo es debido al adelantamiento de los ojos al estímulo.

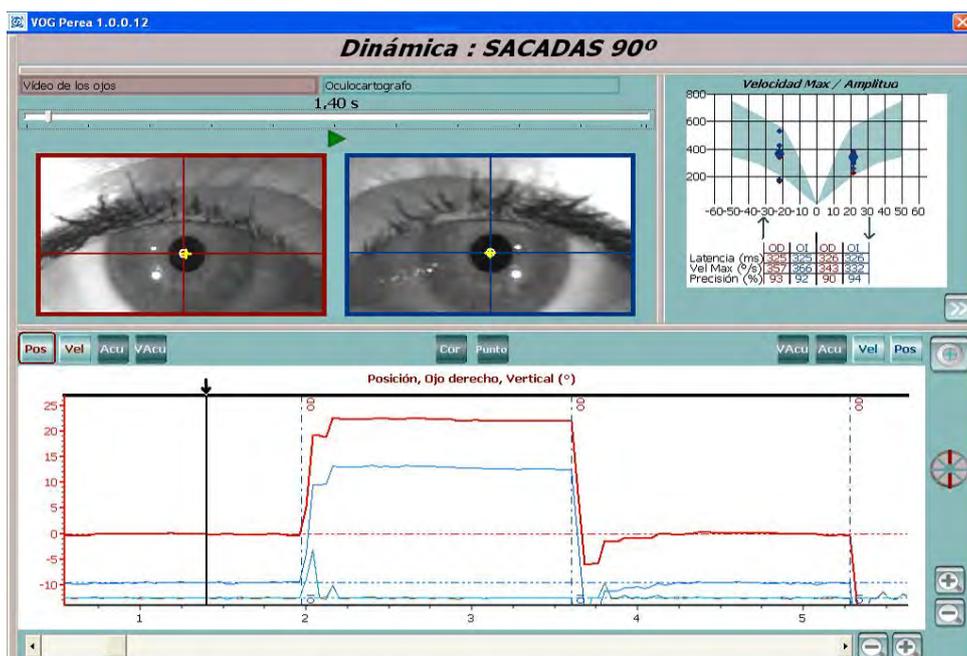


Figura 22-b. Enfermo de la Figura 22-a (1,40s). Paciente mirando el estímulo central en espera de que éste se desplace hacia arriba.

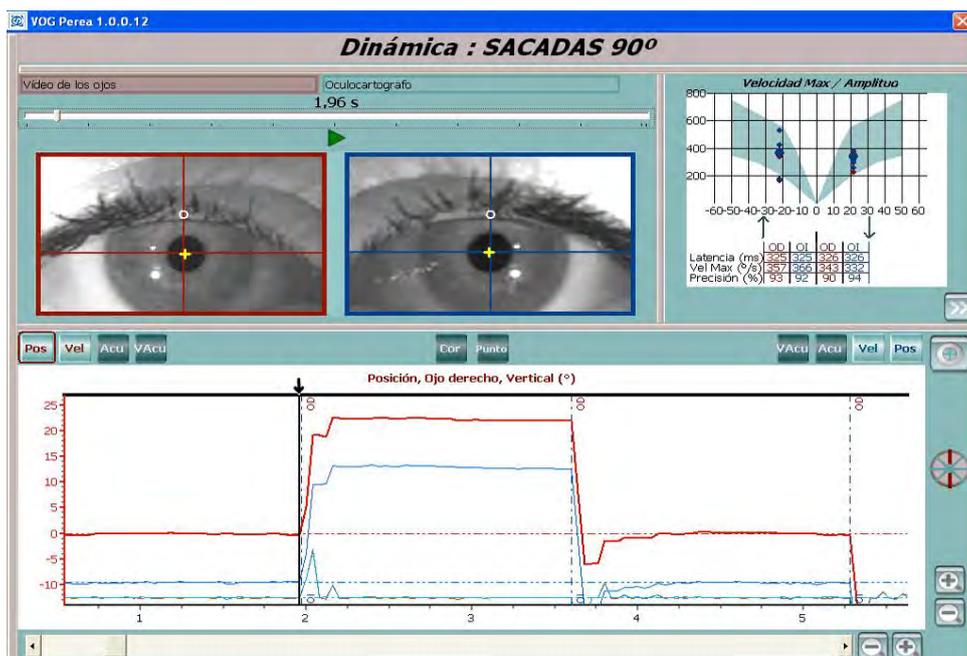


Figura 22-c. Siguinte momento del enfermo de la Figura 22-a (1,96s). En el Oculoscopio se ve el estímulo (pequeño círculo blanco) ya desplazado, pero el paciente aún está en fase de latencia.

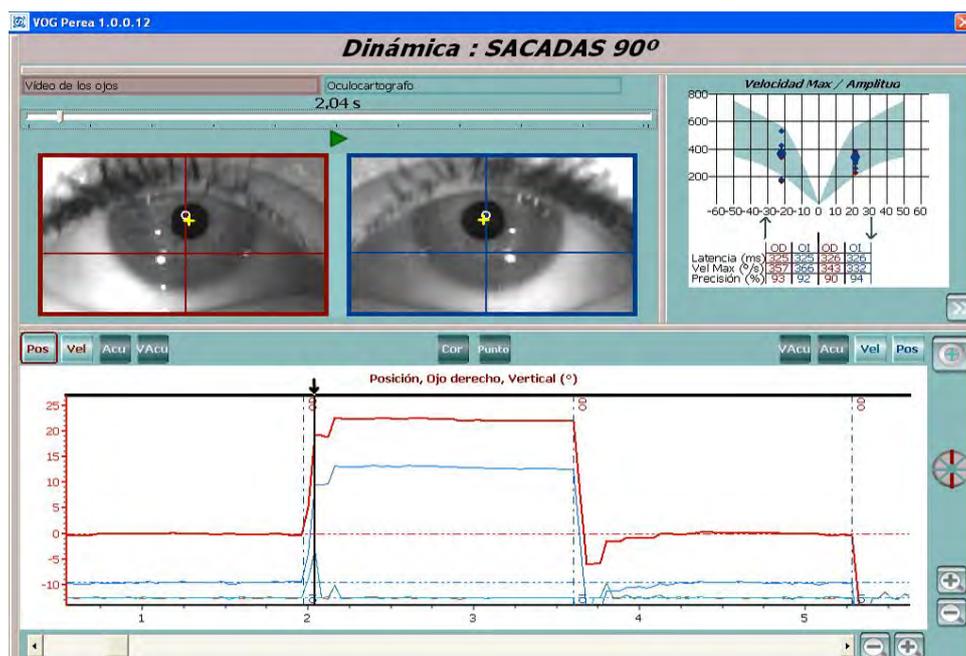


Figura 22-d. Precisión sobre el enfermo de la Figura 22-a (2,04s). Movimiento sacádico sinérgico en ambos ojos, que ha quedado hipométrico. En el *Oculógrafo* se ve que sigue una pequeña "pausa" de latencia, en la que el individuo toma conciencia de que aún no ha conseguido llegar a su objetivo.

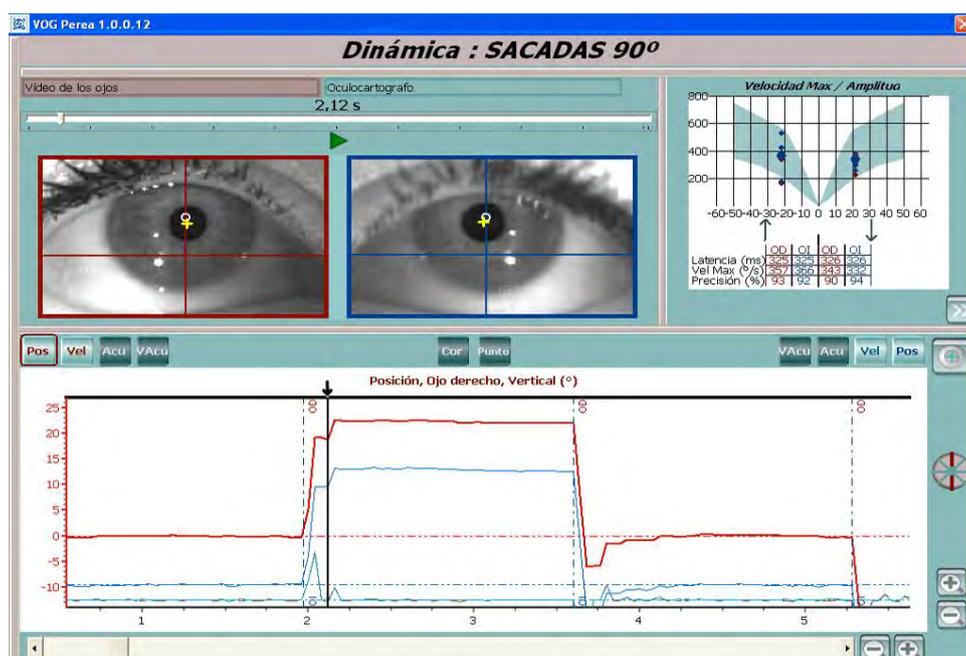


Figura 22-e. Otro detalle del enfermo de la Figura 22-a (2,12s). Tras esa "pausa" el paciente está a punto de hacer la corrección sacádica por hipometría.

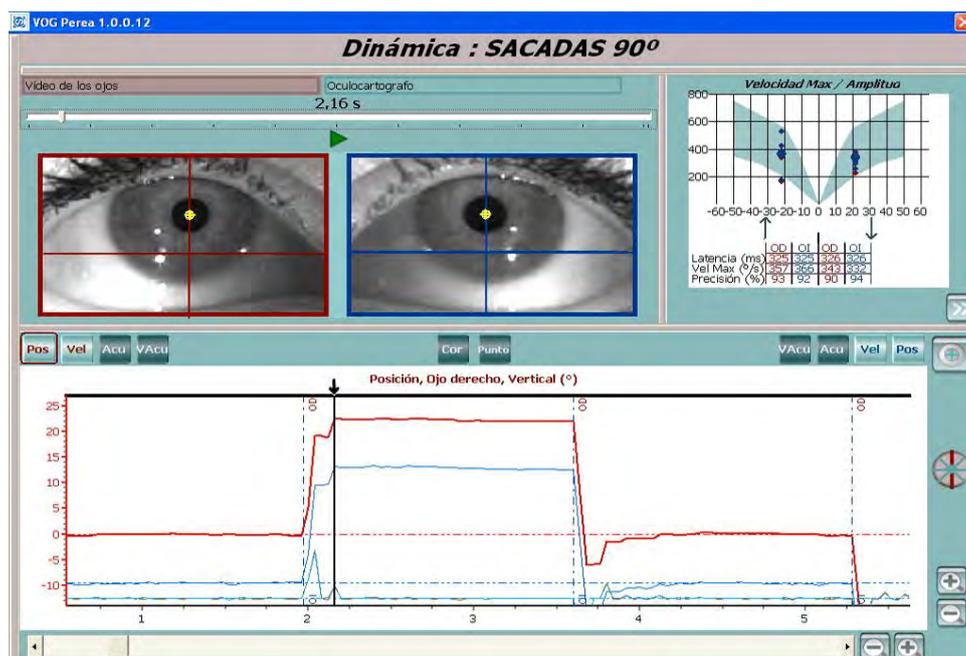


Figura 22-f. Mismo enfermo de la Figura 22-a (2,16s). Sacádico de corrección mediante el cual el paciente consigue llegar al objeto diana. En el gráfico inferior del Oculógráfico hay constancia de las velocidades. Refleja el primer movimiento (más importante), y el segundo, más pequeño, mostrando el *correctivo sacádico* (la flecha negra marca el instante sobre la cúspide de la velocidad de *rectificación hipométrica*).

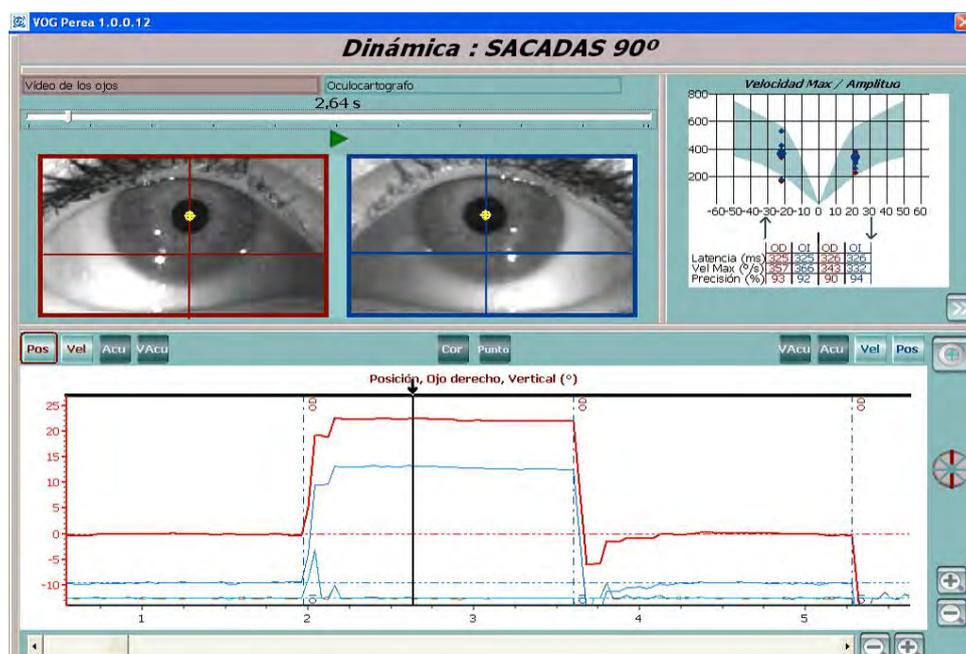


Figura 22-g. Más sobre el enfermo de la Figura 22-a (2,64s). Mantenimiento de los ojos en supraversión en espera de que vuelva a moverse el estímulo.

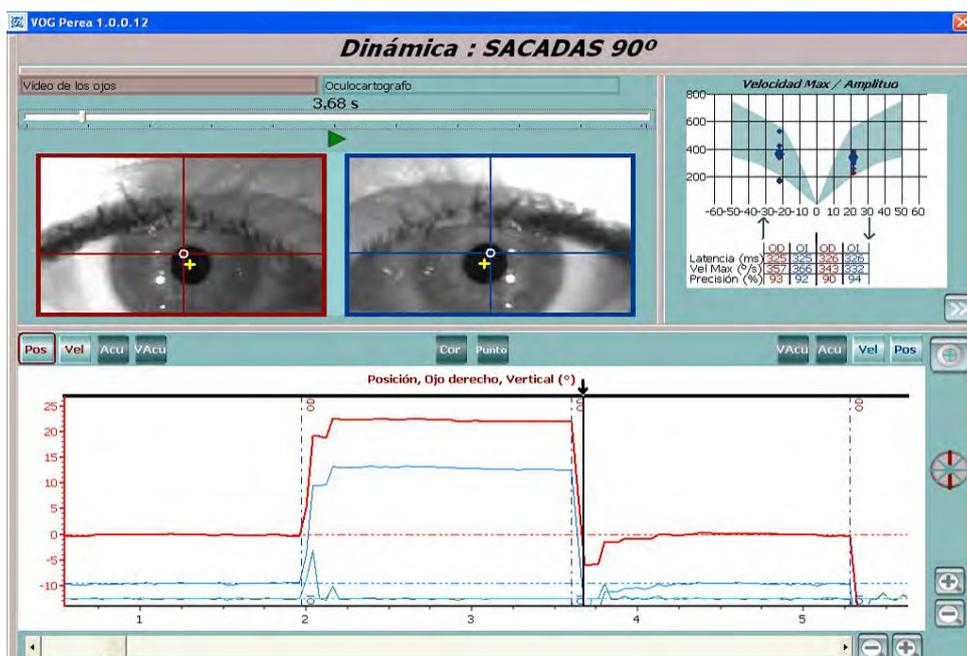


Figura 22-h. Estímulo en posición de infraversión. Los ojos, en la búsqueda del objeto-diana, han hecho un movimiento (esta vez *hipermétrico*) pasándose del objetivo pretendido, y tratarán de rectificar.

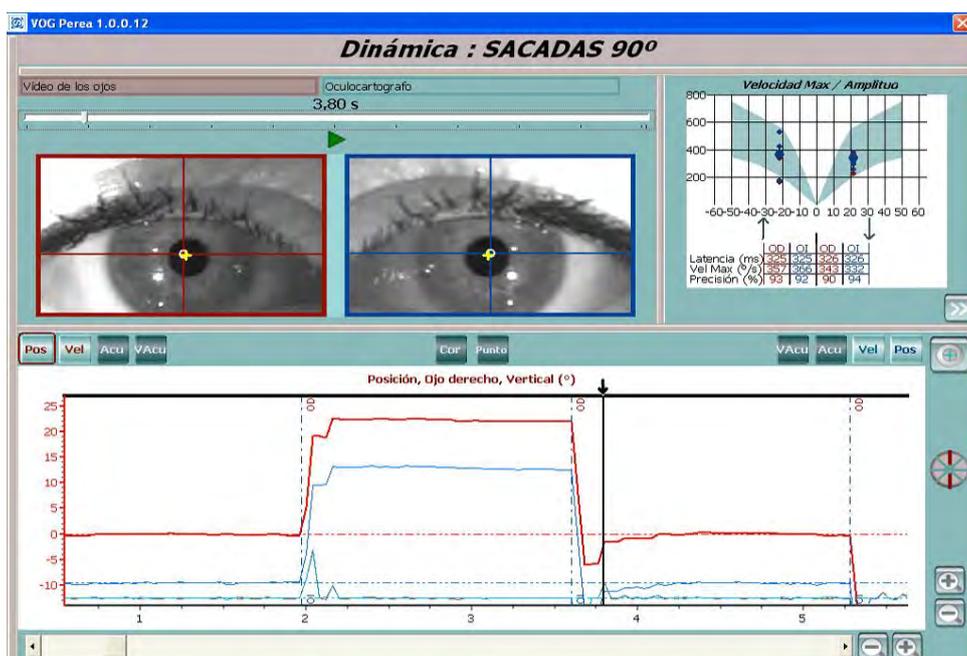


Figura 22-i. Rectificación realizada. En este caso, a diferencia de lo que hemos visto en la figura 22-e, ha habido *corrección sacádica por hipermetría*.

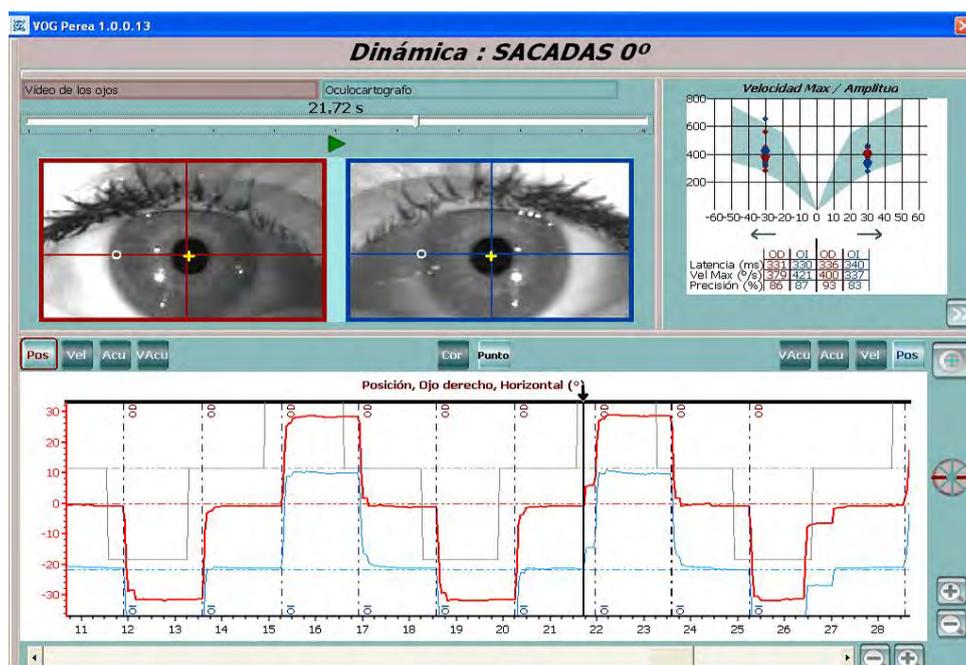


Figura 23-a. Movimiento sacádico en dos tiempos.

Representa el instante en el que el estímulo se ha desplazado hacia la derecha del enfermo.

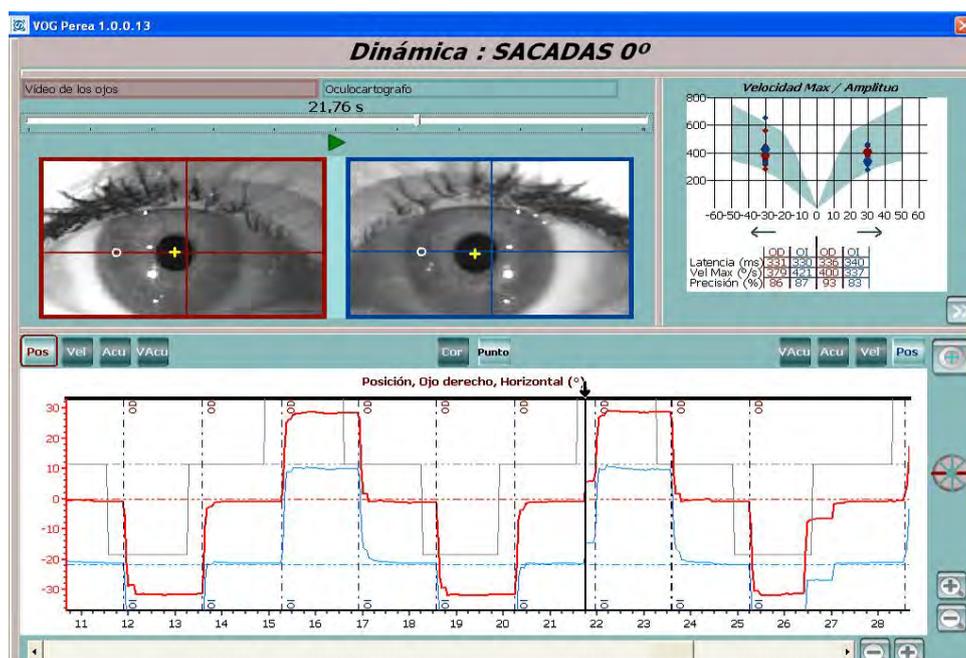


Figura 23-b. Tras 40 ms los ojos han iniciado el movimiento en busca de su objetivo. Queda parado iniciando un periodo de latencia.

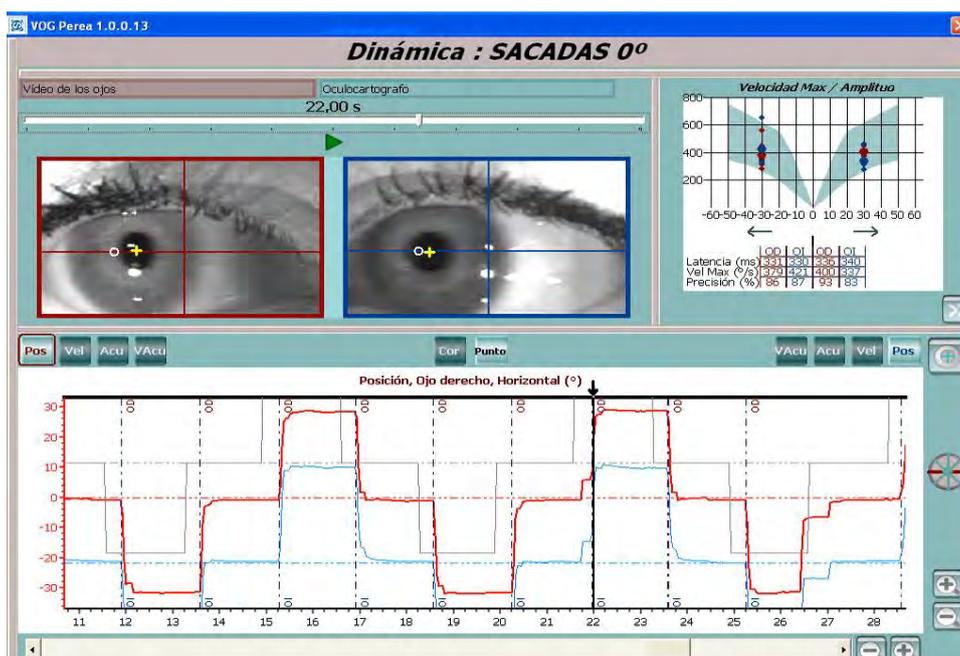


Figura 23-c. Después de una latencia de 40 ms, continúa buscando el objeto en segundo tiempo.

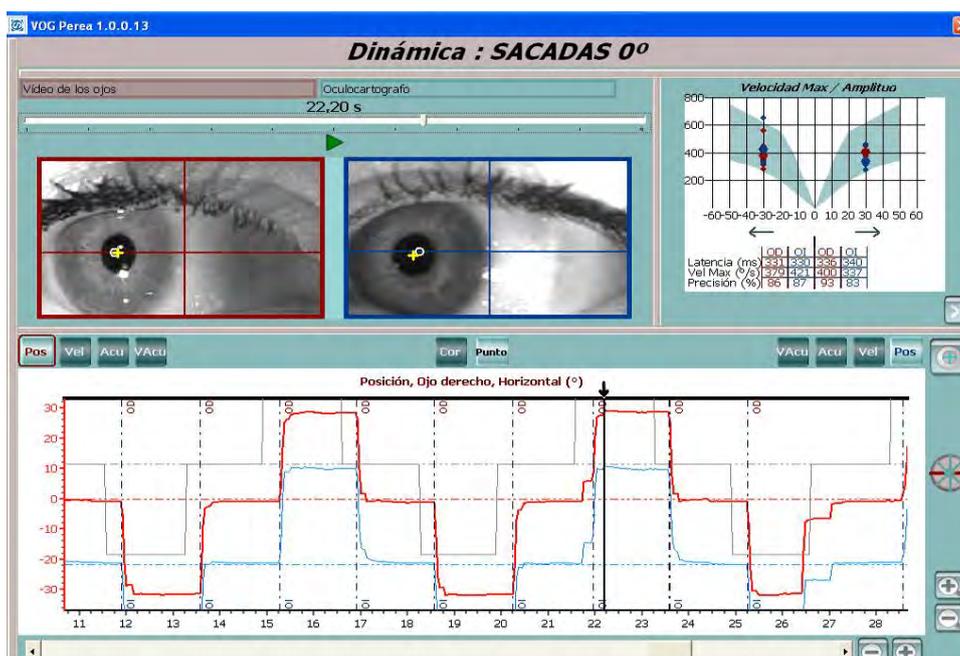


Figura 23-d. No lo consigue aun, necesitando de un correctivo sacádico por hipometría.

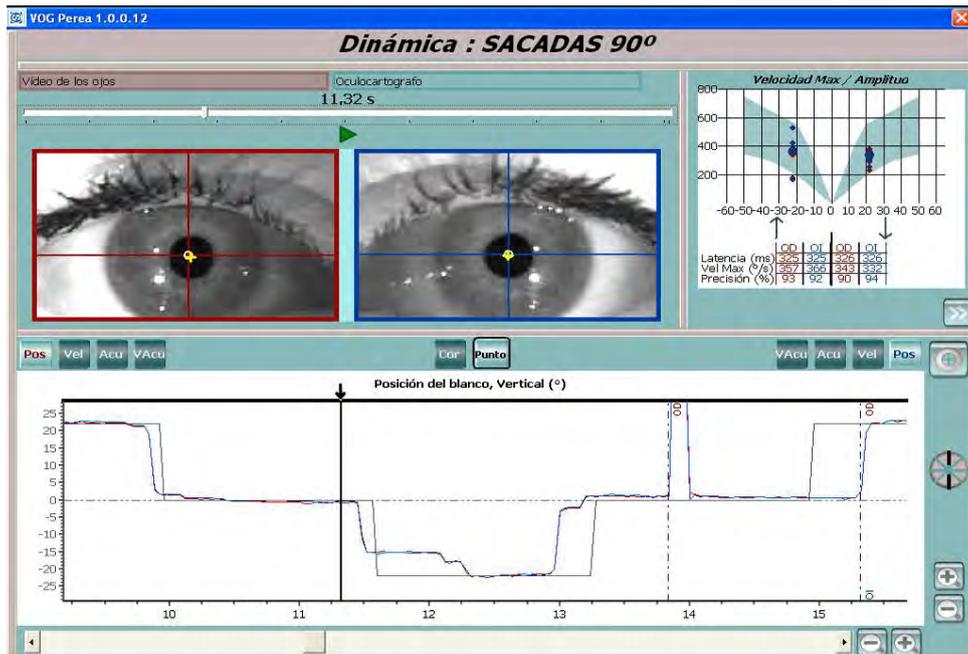


Figura 24-a. Adelantamiento de los ojos al estímulo.

Instante fijando el estímulo situado frente al paciente.

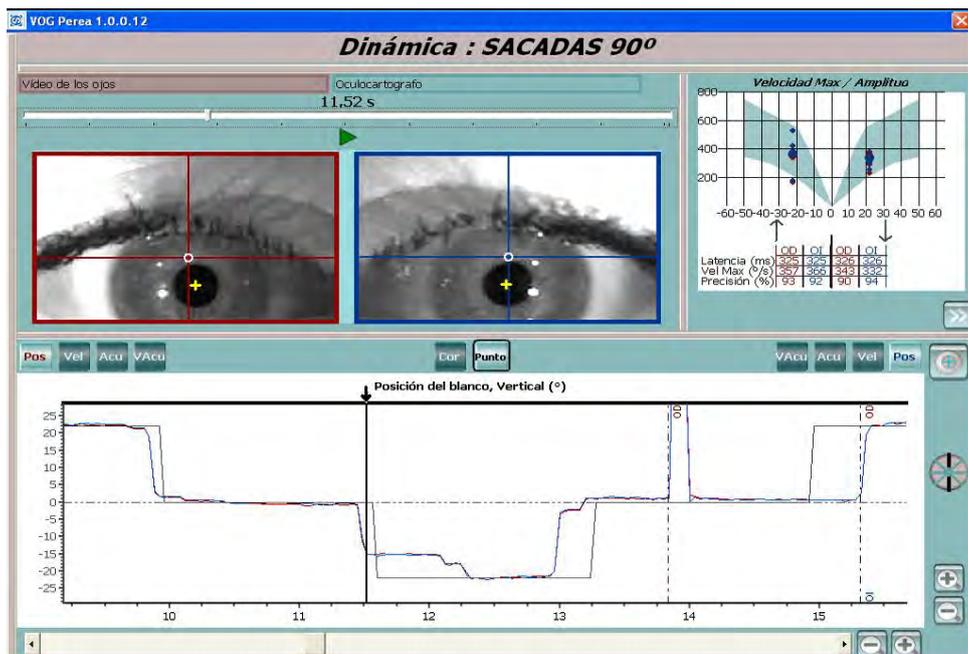


Figura 24-b. El estímulo aún no se ha movido, pero el paciente, sabedor de la dirección que va a tomar el estímulo, se adelanta a él.

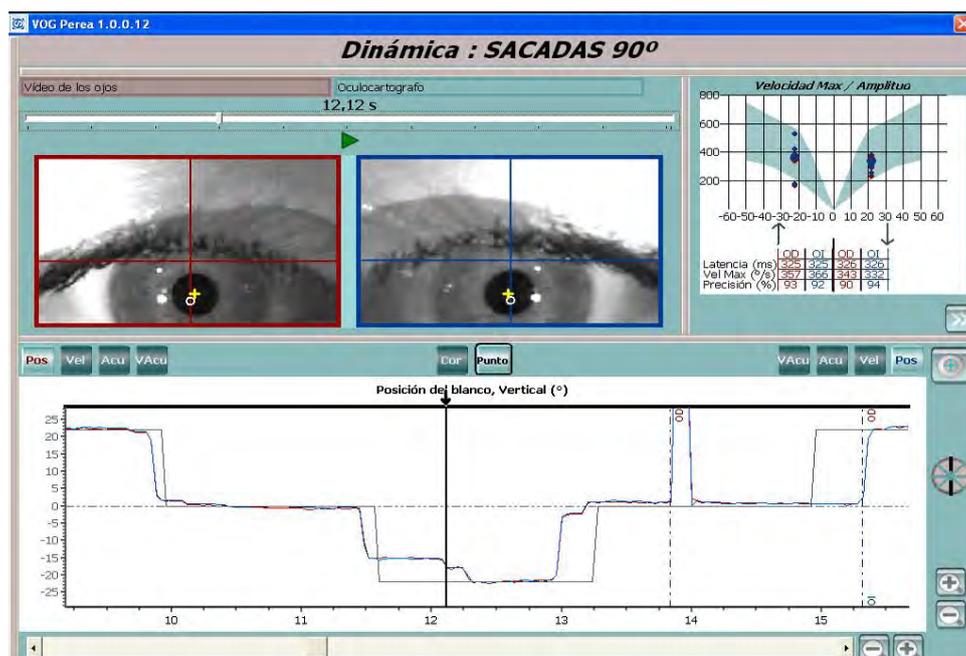


Figura 24-c. El estímulo está situado 20° inferior. El paciente está hipométrico y ha de corregir esta situación.

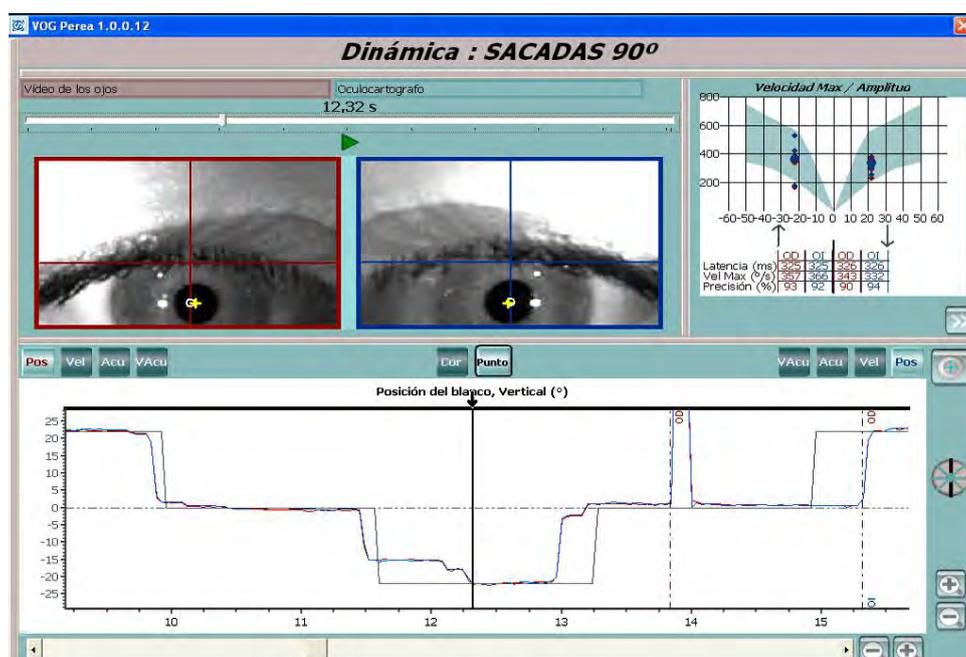


Figura 24-d. Situación hipométrica corregida.

El sacádico es una secuencia en la que hay que considerar dos fases:

a) Fase de movimiento sin visión (Holt, 1903) de las imágenes percibidas (*neutralización sacádica, supresión sacádica, depresión perceptiva, omisión sacádica o eclipse visual*), en tanto dura casi todo el movimiento, que evita ver el mundo que nos rodea en permanente oscilación. En realidad, más que de neutralización (*saccadic suppression*) debería hablarse de debilitamiento de la visión (*depresión perceptiva*) debido al elevado umbral de detección. Esto fue corroborado por Latour en 1962 y por Volkman en 1968. Sumando el tiempo de los realizados a lo largo del día (240.000 sacádicos), se llega a la conclusión de que alrededor de hora y media el individuo ve nada.

Hay una forma de experimentar la *supresión sacádica*: Nos situamos frente a un espejo y, repetidamente, nos miramos en

primer lugar un ojo y a continuación el otro. En este proceder somos incapaces de percibir movimiento alguno en ellos. Sin embargo, si decimos a cualquier persona que nos observe, notará con toda claridad el movimiento que nuestros ojos efectúan cuando dirigimos nuestra mirada del ojo derecho al izquierdo y a la inversa (Figura 25).

b) Fase de visión sin movimiento o fijación. Sabemos que esta situación no es rigurosamente cierta, pues, como después veremos, dicha fase lejos de la inmovilidad absoluta está animada de microactividad, con perpetua agitación y finalidad concreta. Para la visión es preciso un gradiente de excitación constante sobre las células retinianas con el fin de impedir la saturación de los elementos receptores, y así evitar la desaparición de la imagen fijada (*fading*). Esta fase corresponde al procesamiento cognitivo (comprensión y explicación de los objetos) e integración de la información anterior y futura.

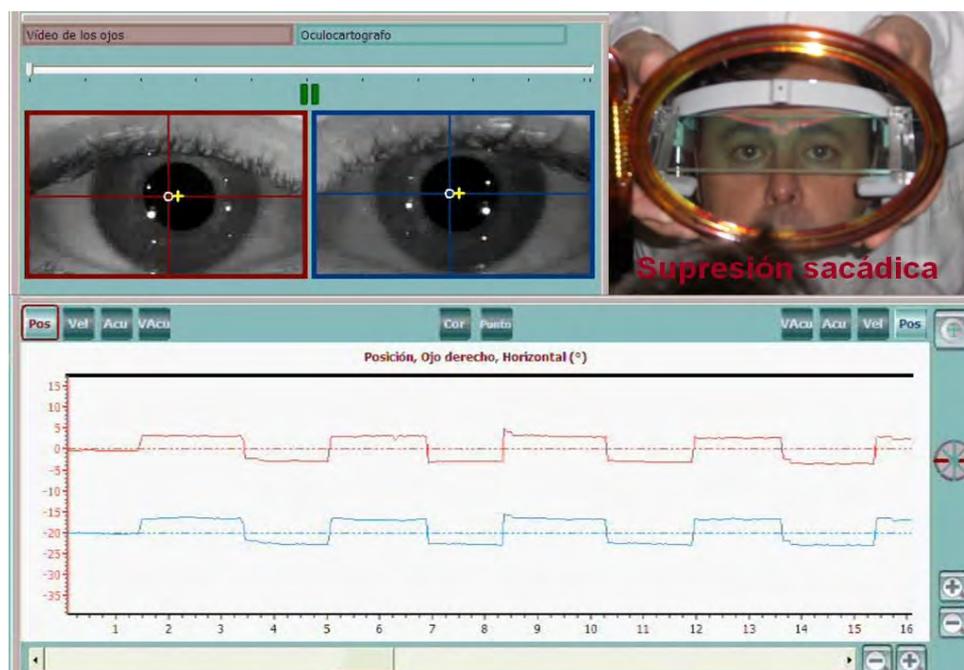


Figura 25. Supresión sacádica.

Paciente situado frente a un espejo y mirándose de modo alterno uno y otro ojo. Obviamente, en virtud de la distancia interpupilar, los ojos se desplazan como puede verse en el Oculoscopio y en el Oculógrafo y, sin embargo, el paciente no percibe dicho movimiento bi-ocular.

La lectura es, tal vez, la más característica expresión de movimiento sacádico. En ella, también, los ojos están animados por sacadas. **Lamare (1882)** construyó un estetoscopio, que aplicado sobre los párpados del paciente y comunicado con sus oídos le permitía captar una serie de pequeños ruidos (4 ó 5), los cuales se correspondían con los sacádicos de lectura de la línea y otro ruido mayor que expresaba el comienzo del nuevo renglón. **Javal (1887)** reveló que los movimientos oculares durante la lectura se llevaban a cabo de modo especial, pues en vez de seguir la línea de manera regular, los ojos se detenían repetidamente.

En la lectura el individuo tiene sensación de seguir de modo reglado la línea del texto. Sin embargo, la mayor parte del tiempo (90%) los ojos permanecen inmóviles manifestando esta quietud como pausas de 0,2-0,3 segundos, que son los momentos de fijación, durante los que el lector toma la información que permite descifrar el sentido del texto. Naturalmente, cuanto más dificultad tenga éste, mayor será el número de pausas.

El individuo no lee todas y cada una de las letras, sino que interpreta de modo integral algunos grupos de palabras (4 ó 5) y el resto lo adivina. El 10% del tiempo corresponde a la realización de las *sacadas*

Los movimientos oculares registrados se expresan con una gráfica que tiene forma de escalera. Los peldaños tienen el siguiente significado: la altura del escalón es una microsacada y la pisa son las pausas de comprensión del texto. La rampa final descendente es el salto que traduce el cambio de línea. En el curso del movimiento en escalera, durante la fase de pausa puede aparecer una microsacada de retorno con el fin de comprender mejor alguna palabra ya leída, siendo tanto más frecuentes cuando más dificultad tenga la literatura. En la lectura de una línea de 12 cm, realizada por el individuo normal a 35 cm y con buenas condiciones de iluminación, hay unas cinco detenciones de comprensión del texto, cada cual, como hemos dicho antes, dura alrededor de 0,3 segundos. (Figuras 26 y 27). El movimiento ocular se acompaña de otro ligero de cabeza.

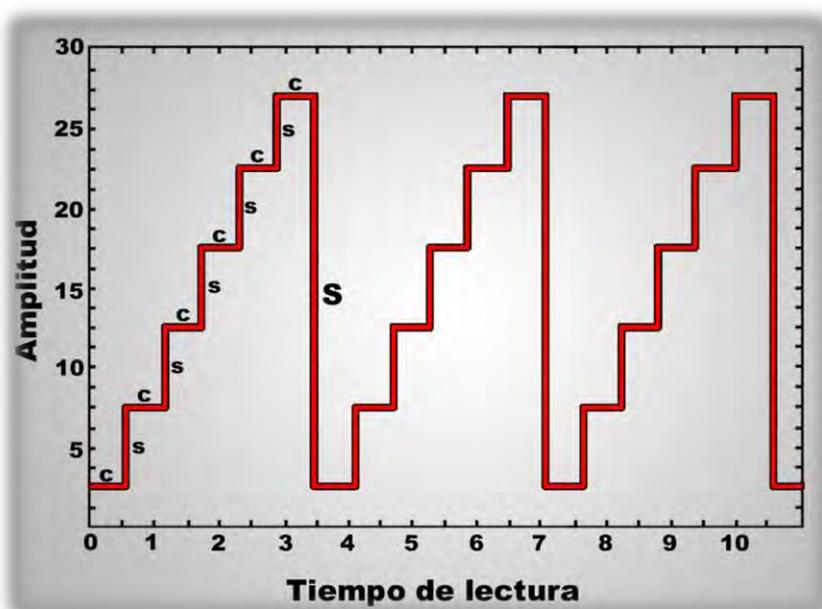


Figura 26. Esquema de los movimientos sacádicos en la lectura.

"c" representa la comprensión del texto. "s" corresponde a una microsacada. "S" es el cambio de línea.

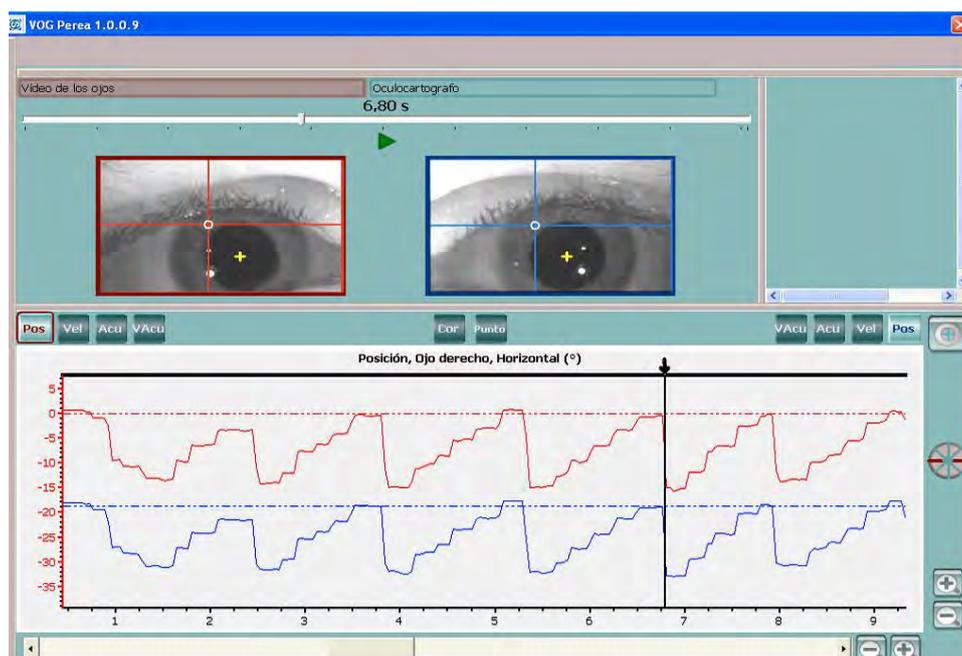


Figura 27. Movimientos sacádicos normales en la lectura.

El *Oculoscopio* refleja uno de los instantes de los ojos en el cambio de línea.

Se ha dicho en el *Capítulo de Anatomía* que en la corteza frontal (*Area Oculo-motora Frontal*), en las áreas 6, 8 y 9 de Brodmann, se encuentra el centro generador que controla y dirige el movimiento sacádico voluntario contralateral. La corteza parietal posterior (*sillón intraparietal*), vinculada al *Area Oculo-motora Frontal (AOF)*, comanda los sacádicos inducidos por estímulos sensoriales (visual, olfativo o táctil). El colículo superior y el tálamo intervienen en el control de las sacadas. El cerebelo cumple función de precisión del movimiento.

Dentro del gran mar de confusión que existe en cuanto a la generación y control del movimiento sacádico, podemos decir lo siguiente:

El sistema nervioso central entiende y transforma la información sensorial que recibe, en lo que respecta a la localización del estímulo que le excita, en una información motora a realizar. Así pues, en el córtex se codifica la existencia y el lugar que ocupa el objetivo. La amplitud del movimiento sacádico que tiene que realizar se procesa en el tronco cerebral donde se elabora la amplitud de la sacada. De este modo se produce la

transformación de la señal generada en el cerebro en otra elaborada en el tronco cerebral, que dará lugar al inicio de la sacada.

De la corteza cerebral parten dos vías: antero-superior y postero-superior.

* La *vía antero-superior*, nace del *Area Oculo-motora Frontal (AOF)*, compuesta por dos eferentes: uno de ellos que marcha al tubérculo cuadrigémino anterior (colículo superior) del mismo lado, y el otro se dirige, sin estación intermedia, directamente al mesencéfalo. Las dos vías en la parte inferior del pedúnculo cerebral se decusan, finalizando, a nivel de la calota bulbo-pontina, en la *Formación Reticulada Paramediana de la Protuberancia (FRPP)* del lado opuesto al lugar de origen en el cerebro. Aquí se encuentra ubicado funcionalmente el **Centro de Mirada Horizontal (CMH)**, donde están instaladas las neuronas encargadas de programar el movimiento sacádico horizontal, transmitiendo inervación al núcleo del VI par de este lado, y a través de la *Cintilla Longitudinal Posterior (CLP)*, al subnúcleo del recto medio del III par del lado opuesto. De esta manera, la

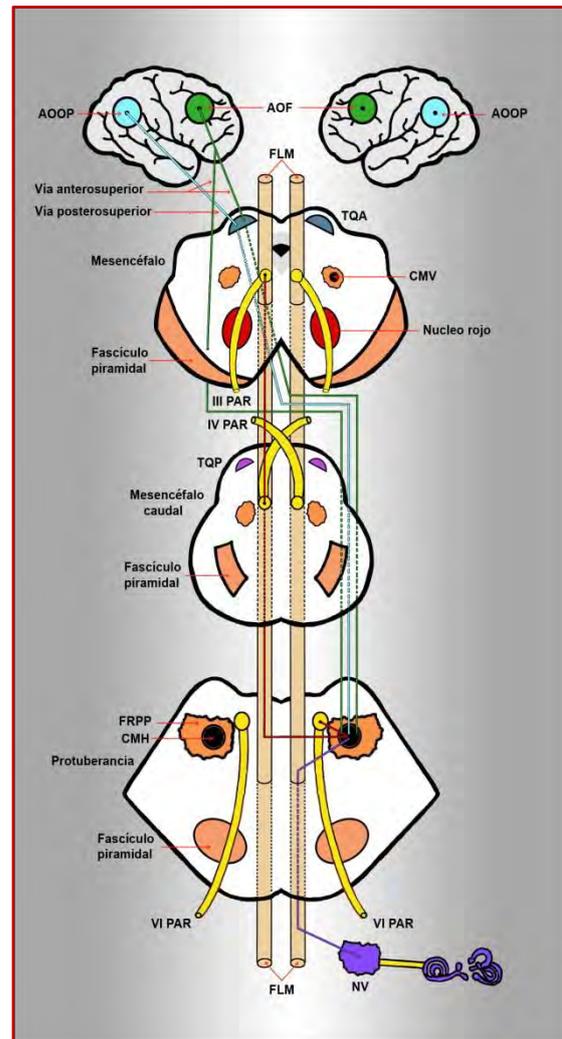
estimulación del *Area Oculo-motora Frontal* de un hemisferio da lugar a una *sacada* conjugada hacia el lado contralateral. Por ejemplo, la del hemisferio cerebral derecho producirá movimiento versional sacádico de ambos ojos hacia el lado izquierdo, y, a la inversa, el lóbulo frontal izquierdo es responsable de la mirada horizontal conjugada hacia la derecha. Así mismo, una lesión a nivel del *AOF* del lado derecho o de la vía descendente fronto-mesencefálica, anterior a la decusación, dará lugar a la ausencia de los movimientos sacádicos voluntarios hacia el lado izquierdo e, igualmente, la lesión a nivel al *AOF* del lado izquierdo o de la vía descendente fronto-mesencefálica, anterior a la decusación, será causa de ausencia de los movimientos sacádicos voluntarios hacia el lado derecho. Significa que una lesión de la vía antero-superior, anterior a la decusación, puede no ser diferenciable de otra situada en el hemisferio cerebral correspondiente. Si la lesión se encuentra en la vía por debajo de la decusación, ocasionará parálisis de los movimientos oculares ipsilaterales.

* La *vía postero-superior* parte del *Area Oculo-motora Occipito-Parietal*, que es la que recibe mucha aferencia sensorial de la corteza estriada. De aquí se dirige al tubérculo cuadrigémino anterior del mismo lado y tras decusarse en el mesencéfalo llega al **Centro de Mirada Horizontal (CMH)**. Esta vía es responsable, entre otras funciones, de los movimientos sacádicos con punto de partida en estímulos visuales.

En cuanto a los movimientos sacádicos verticales, también referimos en el *Capítulo de Anatomía* la necesidad de que las *Areas Oculo-motoras Frontales (AOF)* de los dos hemisferios tienen que ser estimuladas. Desde aquí nacerían los impulsos y, por la misma vía eferente que el *Area Oculo-motora Frontal*, enviarían sus órdenes, bilateralmente, hacia el *mesencéfalo rostral* para llegar al **Centro de Mirada Vertical (CMV)**. Se ha comprobado que en las lesiones unilaterales

de los hemisferios no se detectan alteraciones de los sacádicos verticales. Sin embargo, hay que insistir en que el camino de las fibras recibidas por este centro desde la corteza cerebral es muy discutido, incluso, también, su verdadera procedencia.

Así mismo, a estos **Centros de Mirada** llegarían impulsos procedentes del colículo superior y del cerebelo.



Vías óculo-motoras.

Circuitos de los movimientos oculares laterales. AOF: área óculo-motora frontal; AOP: área óculo-motora occipito-parietal; FLM: fascículo longitudinal mediano; TQA: tubérculo cuadrigémino anterior; TQP: tubérculo cuadrigémino posterior; CMV: centro de la mirada vertical; FRPP: formación reticulada paramediana de la protuberancia; CMH: centro de la mirada horizontal; NV: núcleo vestibular.

Movimientos de seguimiento o perseguida.

También llamado de "rastreo" por el Catedrático de Psicología francés **Henri Louis Charles Pieron (1881-1964)**, aparecen en el niño más tardíamente que los sacádicos.



Henri Louis Charles Pieron
(1881-1964)

Son movimientos uniformes lentos, cuya ejecución, de naturaleza *automática*, realizan el seguimiento voluntario de un objeto móvil (*rastreo de persecución*), que se desplaza en el espacio visual de modo continuo, sin movimiento alguno de cabeza, de tal modo que la motilidad ocular se ajusta, exclusivamente, a las condiciones dinámicas del exterior (Figura 28). Pueden, también, realizarse sobre un objeto fijo, moviéndose el individuo mientras mantiene fija la mirada sobre dicho punto, o rotando solo la cabeza (*rastreo de compensación*). Aunque ambas formas de "rastreo" presentan algunos caracteres comunes, no son rigurosamente iguales. En el *rastreo de persecución* el movimiento es regulado únicamente por la información perceptiva visual. Sin embargo, en el *rastreo por compensación* del movimiento del cuerpo o de la cabeza, hace participar en el proceso factores de naturaleza propioceptiva. No obstante, ambos tipos de "rastreo" suponen un movimiento uniforme

de ambos ojos, en el que se combinan de forma ordenada en la fijación del objeto los parámetros de convergencia y dirección, de tal modo que es considerado como un tipo de "*fijación dinámica*".

La fase lenta del nistagmo optocinético es, en cierta medida, un *movimiento de seguimiento*, aunque especial, pues en el *movimiento de seguimiento* "simple" lo que se desplaza es un objeto sobre el fondo estable, mientras que en el optocinético es todo el campo visual el que se mueve.

Afirmamos, pues, que el *movimiento de seguimiento* puede definirse como "*fijación en movimiento*".

Considerar este *movimiento de rastreo* de forma aislada, es decir, seguir con la mirada un objeto sobre fondo estable, manteniendo fija la cabeza, es artificioso pues el "rastreo" del objeto en el espacio normalmente se acompaña de desplazamientos cefálicos (estimulantes del sistema vestibular), al tiempo que estos movimientos de cabeza hacen que el campo visual se traslade, dando lugar al desencadenamiento de estímulos optocinéticos. En la vida real el resultado es la permanente interacción entre el sistema de seguimiento, el sistema vestibular y los mecanismos inductores del nistagmo optocinético. No obstante, con finalidad didáctica describimos de forma aislada el *sistema de seguimiento o perseguida*.

Así mismo, advertimos que en los movimientos de seguimiento practicado a un objeto situado ante un fondo panorámico estable, manteniendo la cabeza fija, aparece un choque entre la persecución binocular de dicho objeto y el fondo que, al mismo tiempo, se desliza sobre la retina. De igual modo, cuando el *movimiento de seguimiento* binocular se hace rotando la cabeza sobre un objeto inmóvil, el conflicto surge entonces entre el seguimiento y el movimiento vértigo-ocular reflejo. Para la estabilización sobre las fóveas del objeto perseguido se

precisa la eliminación de ambos conflictos mediante el fenómeno de “neutralización”, suprimiendo el intelecto ambos movimientos reflejos: vestibulo-ocular y nistagmo optocinético.

La cuestión es conseguir la *inmovilidad del paisaje*, ora en el movimiento de cabeza o en el del objeto perseguido por nuestros ojos.

El *movimiento de seguimiento* ocular ofrece su mayor exactitud cuando la imagen del objeto fijado incide sobre la fóvea. Aunque hay variaciones individuales bastante importantes e, incluso, en la misma persona

según el momento en el que se le practique y el agotamiento que presente, puede decirse que para mantener la fijación bifoveal sobre algo concreto es preciso en términos generales que el desplazamiento no sea alto (20° - 30° /s), siempre menor de 50° /s. En caso contrario, al ser difícil mantenerlo en el punto de mira de las fóveas (**Ohrwall, 1912**) no puede ser “rastreado”, dando lugar a la producción de movimientos sacádicos (*seguimiento espasmódico*) (Figura 29-a y 29-b.) No obstante, la velocidad para conseguirlo puede variar según el individuo, el procedimiento utilizado y el entrenamiento.

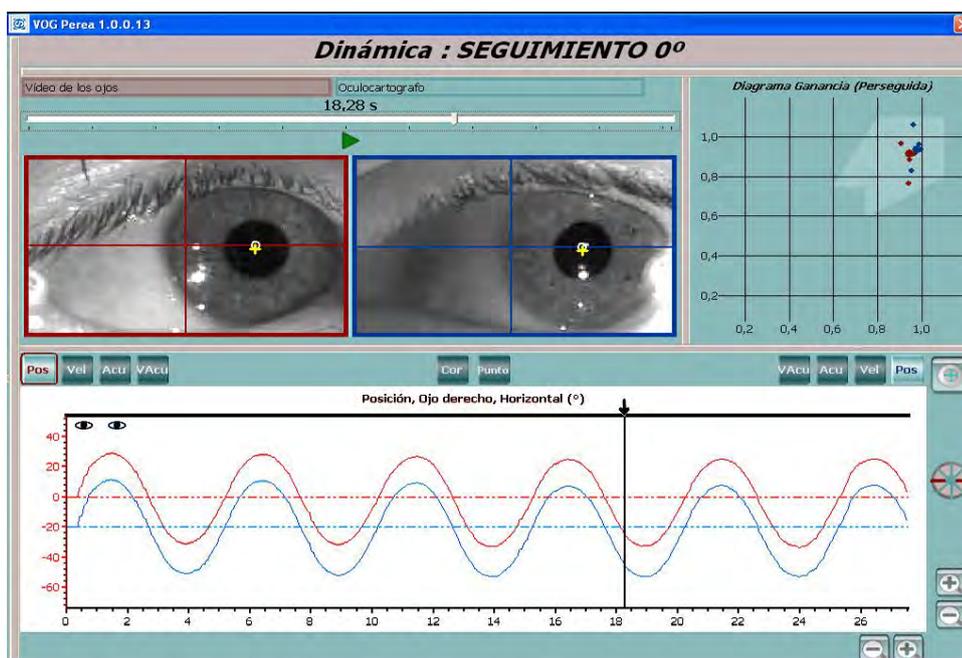


Figura 28. Movimiento de seguimiento normal.

Véase la perfecta congruencia de ambas curvas.

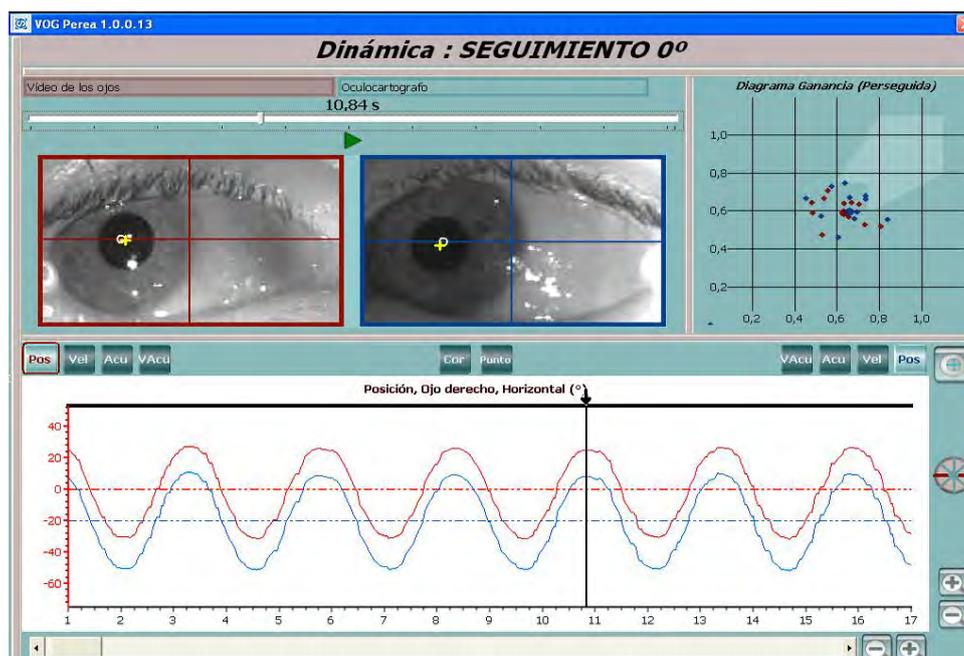


Figura 29-a. Enfermo de la figura 28. Al aumentar la velocidad de desplazamiento del estímulo a 0,4 Hz, la curva empieza a hacerse irregular.

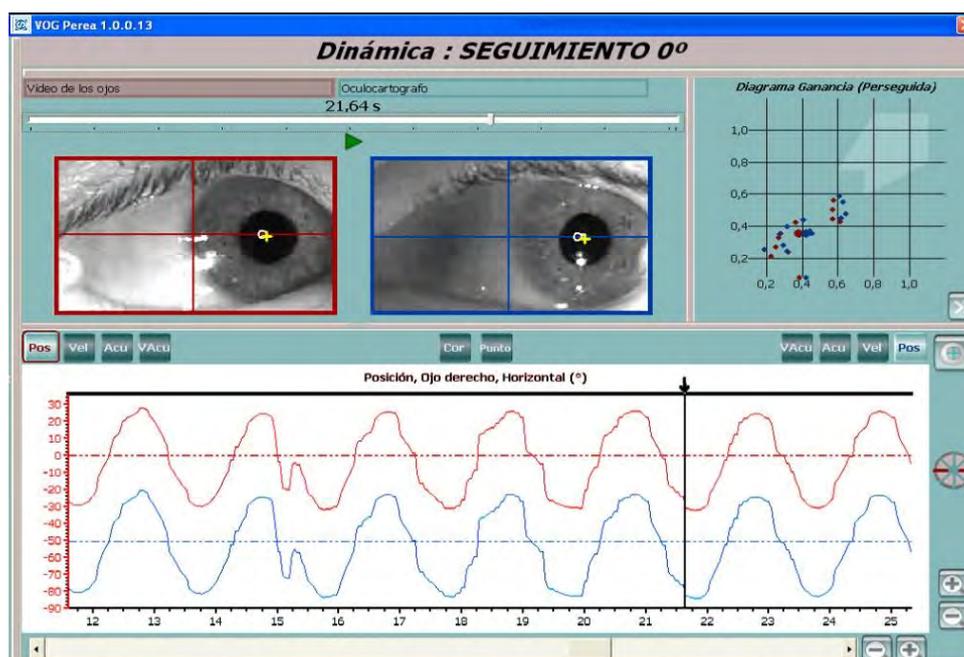


Figura 29-b. Mismo paciente que el de la Figura 28 y 29-a, e igual movimiento, pero a 0,5Hz. Hay mayor anarquía en las curvas.

Si la velocidad es muy pequeña ($<15^\circ/s$), el movimiento de seguimiento es sustituido por un micronistagmo de fijación, demostrado por **Gertz (1914)**. Pausas y pequeños sacádicos correctores de rescate, con finalidad de reajuste, están reflejados en la gráfica, y que **Quéré**, en **1972**, denominó “*seguimiento en rueda dentada*”.

Estos movimientos espasmódicos y sacádicos correctores aparecen al tratar de conseguir situar sobre las fóveas el objeto-estímulo para continuar con el desarrollo del movimiento de seguimiento previamente iniciado. De este modo, el sistema sacádico colabora con el de seguimiento para corregir cualquier error que aparezca entre la posición del objeto en el espacio y su localización foveal.

El modo de cuantificar la respuesta encontrada al estudiar el movimiento de seguimiento se obtiene mediante el parámetro “*ganancia*”: relación que hay entre la velocidad del estímulo y la del ojo, cuyo valor debe ser la unidad. Para otros autores, el valor importante lo aporta la relación de la amplitud del desplazamiento.

Cuando el objeto fijado es extrafoveal, el estímulo puede ser lo suficientemente importante como para desencadenar movimientos de seguimiento, a veces de peor calidad, pero respetándose la **ley de Hering**. Esto hace comprender que pueda rastrearse un objeto con bajos niveles de luz y con lesiones maculares. Otro dato a aportar es que cuando el paciente presenta una lesión central, no existe pérdida de fijación foveal, lo que determina que no sea preciso estimular al sistema sacádico para hacer el reajuste oportuno, de tal modo que en estos pacientes pueden hacerse seguimientos con velocidades muy superiores a las fisiológicas, llegando a alcanzar hasta $90^\circ/s$. Todo esto nos lleva a considerar que el inductor visual del sistema de seguimiento no es patrimonio de la fóvea, sino del conjunto retiniano organizado en torno a ella. Así **Quéré** justifica que en las ambliopías orgánicas y en las anisométricas el movimiento de seguimiento es normal, en

tanto se muestra patológico en la ambliopía estrábica cuando fija el ojo enfermo.

Inciendo en el tema: El seguimiento y los sacádicos correctores trabajan en perfecta armonía, reajustando con pequeñas *sacadas* cualquier desarreglo que aparezca en el *movimiento de seguimiento*. Ambos tipos se complementan entre sí.

El *tiempo de latencia* del “rastreo” o “perseguida” es de 150 a 170 milisegundos.

Otro factor a tener en cuenta es el *retraso* existente entre el estímulo y los ojos, así como su homogeneidad a lo largo de la prueba. A velocidad del estímulo de $20^\circ/s$, el retraso normal aproximado es de 200 milisegundos.

Los movimientos de seguimiento de ambos ojos, de acuerdo a la **ley de Hering (1879)**, son rigurosamente iguales en amplitud, velocidad y aceleración (sinergia o congruencia), tanto en fijación binocular, como haciéndolo con uno u otro ojo de modo aislado (ocluyendo el congénere). Se evidencia mediante estudio con videocámara (VOG). La gráfica, en paciente normal y colaborador, registra dos sinusoides regulares, lisas y simétricas (Figura 30)

En la exploración habitual, el paciente realiza los movimientos de seguimiento con más dificultad que los sacádicos, necesitando con frecuencia entrenamiento previo (Figura 31), debido a no ser utilizados en la vida ordinaria. Pueden ser horizontales, verticales u oblicuos. En el estudio, la morfología más perfecta corresponde a los seguimientos horizontales. Al ser éstos los que más frecuentemente hacemos, da índice de la importancia e influencia del hábito en la mejora de su calidad.

Los movimientos de seguimiento pueden ser anárquicos en pacientes que no colaboran, pero siempre gozan de perfecta correspondencia motora (Figura 32). Al igual podemos decir de los movimientos de seguimiento en pacientes nistárgmicos (Figura 33).

Para la realización de este tipo de movimientos, se precisa “normalmente”, a diferencia de los sacádicos, de la existencia del objeto *diana* que sirva de estímulo (*percepción visual*), y que se mueva en el espacio a velocidad adecuada: entre 15°/s y 50°/s. Este hecho fue comprobado en **1971** por **Schmidt y Smith**. Sin punto de fijación, lo que se producen son una serie de sacádicos de pequeña amplitud. Así pues, el movimiento de seguimiento no puede hacerse con los ojos cerrados, ni tampoco abiertos si no se dispone de soporte visual (Figura 34). Hemos dicho “normalmente”, pues algunas personas sin percepción visual, bien con estímulos acústicos o utilizando su mente imaginativa pueden realizar movimientos de seguimiento. Hecho que pone en cuestión la exclusividad de la información visual para el desarrollo de este movimiento de versión.

Los movimientos de seguimiento son más vulnerables que los sacádicos, alterándose por fatiga, ingestión de alcohol, marihuana, tranquilizantes y la edad.

Los movimientos lentos de seguimiento son comandados por las *Areas Visual Temporal Media (TM)* y *Visual Temporal Media Superior (TMS)*, situadas en el

surco temporal superior. El *Area Visual Temporal Media (TM)* recibe aferencias de la *Corteza Visual Primaria*, y envía inervación al *Area Visual Temporal Media Superior (TMS)* y al *Area Oculo-motora Frontal (AOF)*. El hemisferio cerebral derecho es responsable del seguimiento hacia a la izquierda y el hemisferio cerebral izquierdo del seguimiento hacia la derecha. Para realizar los desplazamientos verticales se precisa la actividad de los dos hemisferios.

Desde aquí, las vías generadoras de movimientos horizontales, acompañando a las fibras causantes de los sacádicos, y tras hacer estación en el tubérculo cuadrigémimo anterior del mismo lado, se decusan en el mesencéfalo continuando su camino hasta llegar al **Núcleo Protuberancial Dorso-Lateral (NPDL)**. Las que conducen movimientos verticales se dirigen a la región pretectal.

El seguimiento ocular es un reflejo inducido por el error de velocidad habido entre el movimiento del estímulo y el ojo. Este error hace participar un servomecanismo controlador de velocidad ocular para compensarlo. El control de este proceso permanece actualmente en el campo de la hipótesis.

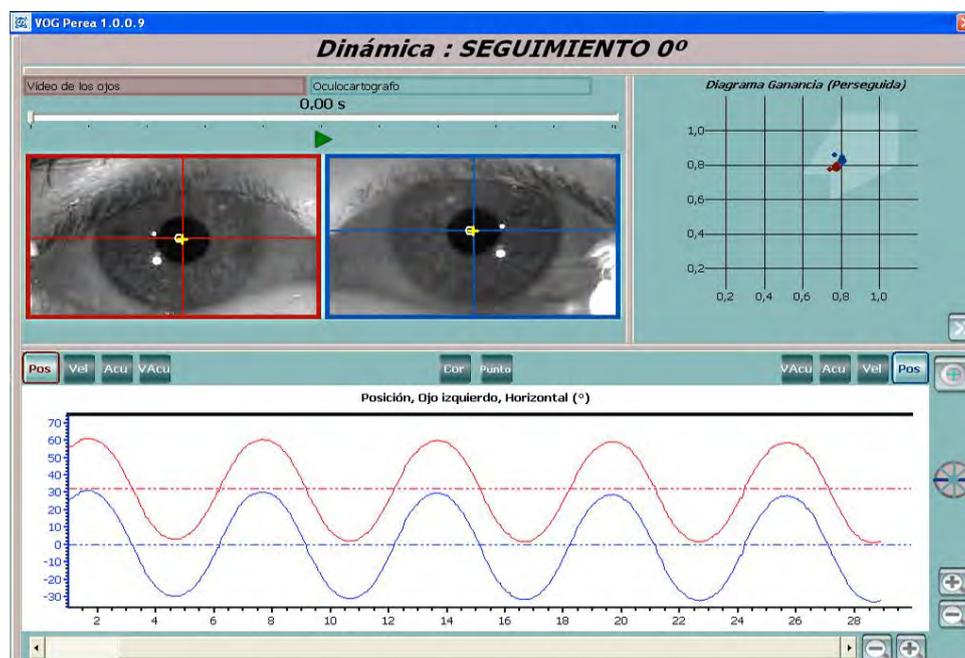


Figura 30. Seguimiento normal.

El Oculógrafo muestra dos sinusoides regulares, lisas y perfectamente simétricas.

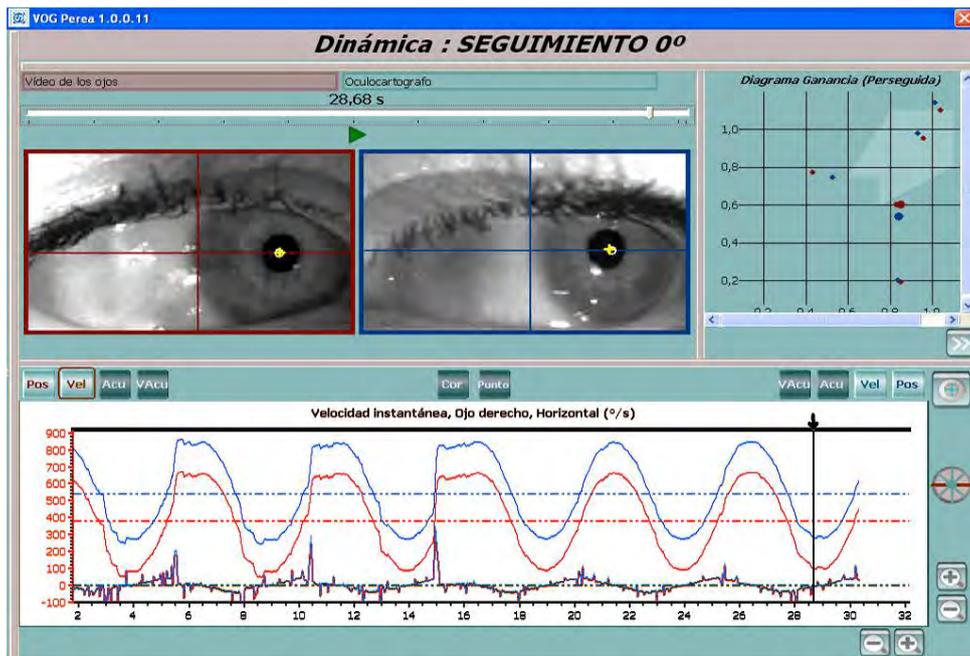


Figura 31. Seguimiento normal, que ha necesitado de varios movimientos previos para conseguir curvas regulares (las dos últimas mostradas en el Oculógrafo). Es demostrativa la influencia del entrenamiento.

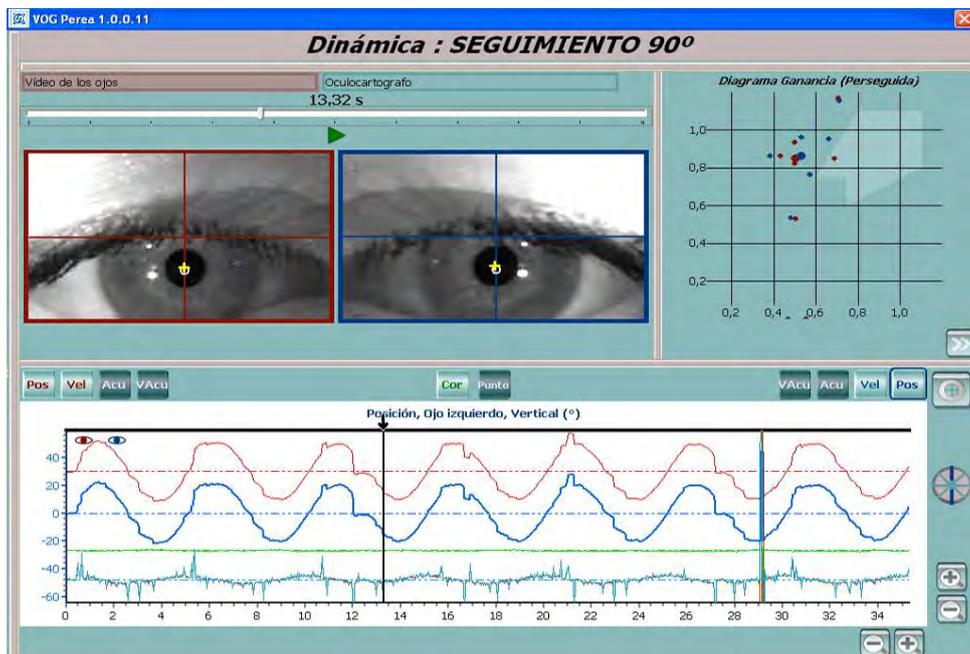


Figura 32. Movimiento de seguimiento en paciente normal no colaborador. Son ondas muy anárquicas, aunque en perfecta correspondencia motora (Ley de Hering).

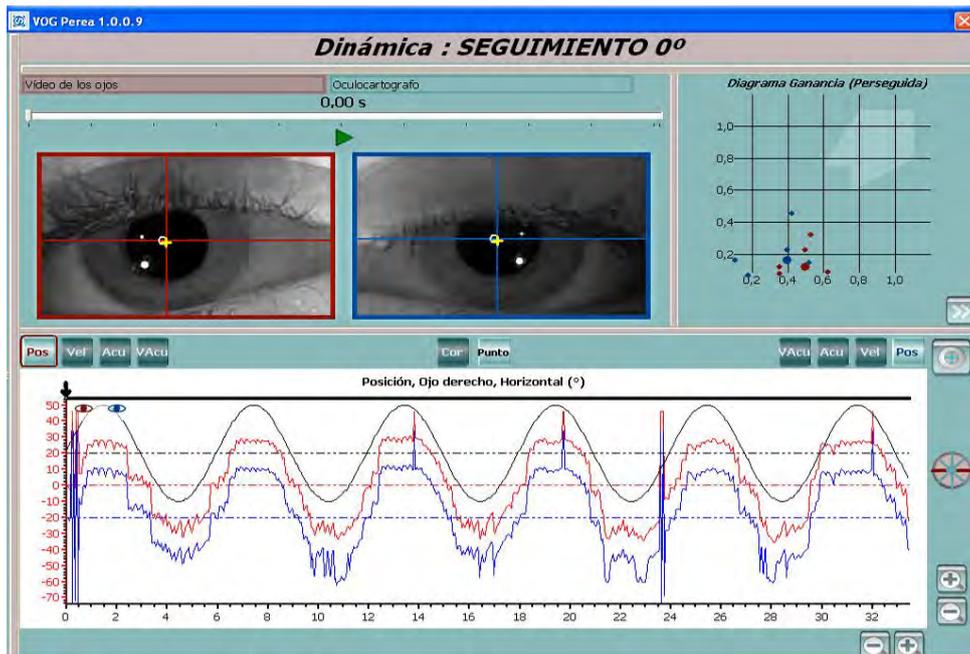


Figura 33. Movimiento de seguimiento en paciente nistágmico.

Es apreciable la correspondencia motora binocular (**Ley de Hering**).

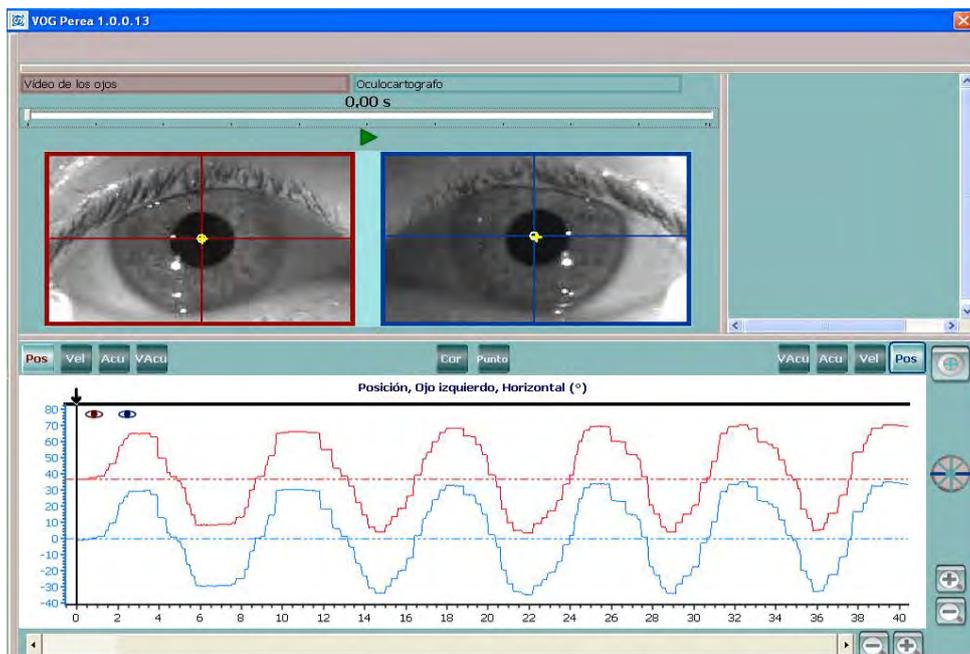


Figura 34. Movimiento de seguimiento sin percepción visual.

Paciente normal. La gráfica está constituida por pequeños movimientos sacádicos que deforman las ondas dando aspecto de "rueda dentada".

Micromovimientos en el mantenimiento de la fijación

Toda vez que los ojos han sido llevados, tras determinado movimiento, a fijar un estímulo en cualquiera de los infinitos lugares del espacio, hay que mantener la estabilidad de fijación bifoveal sobre la base de un conjunto de ajustes particularmente relacionados con las funciones de acomodación y, sobre todo, de fusión. Así es como concluye el reflejo de fijación. Este estado de "pausa" es fundamental, pues sin él no existiría la "parada" necesaria para recabar información, porque el conjunto de esas paradas, debidamente encadenadas y ordenadas en el tiempo, es lo que nos va a permitir tener representación mental de lo que estamos viendo.

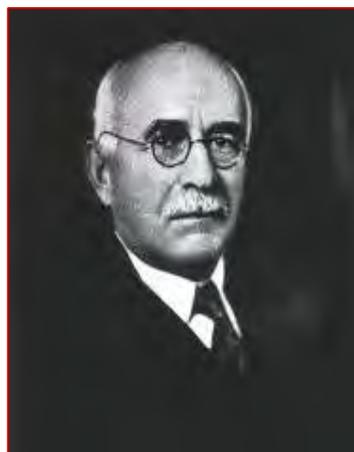
A partir de aquí, para llevar a cabo el mantenimiento de fijación son precisos, además, movimientos de corrección a costa de la cabeza con los correspondientes reflejos vestibulo-oculares, y movimientos correctivos de los propios ojos.

Tal vez la primera persona en darse cuenta de la influencia del movimiento sobre la sensibilidad retiniana fue el Director del Observatorio de París y Profesor de Geometría Analítica de la Escuela Politécnica, **Jean François Dominique Arago (1786-1853)**. Así lo refiere **Félix Giraud-Teulon** en la pág. 129 de su tratado "Visión Binoculaire" (1861).

Durante mucho tiempo los investigadores se han preguntado si en los momentos en que fijamos determinado objeto, donde se tiene "pausa de mirada", hay, o no, inmovilidad completa de los ojos con rigurosa estabilidad de las imágenes retinianas.

Raymond Dodge (1907), fue el autor que comprobó "pequeñas agitaciones" experimentadas por las *imágenes consecutivas o persistentes secundarias (post-imágenes)* obtenidas tras la observación de un pequeño triángulo iluminado. Lo denominó "*pseudonistagmus de fijación*", que consideró que tenían un valor de 10 minutos de arco.

También estimó la existencia de otros movimientos rápidos 0,5°.



Raymond Dodge
(1871-1942)

A partir de entonces y por procedimientos distintos, varios científicos han ido valorando estos movimientos, obteniendo sus conclusiones con respecto a tipos e importancia. Así podemos citar a **Marx y Trendelemburg (1911)**, **Lord y Wright (1948)**, **Ratlig y Riggs (1950)**, **Ditchburn y Ginsborg (1953)**, **Fender (1956)**, **Higgins y Stultz (1953)**, **Yarbus (1956)**, **Verheijen (1961)**, **Fender y Nye (1961)**, **Gippenreiter (1964)** y **Geerrits (1966)**.

De modo que se llegó a esta conclusión: "*... aunque aparentemente los ojos parecen no moverse cuando fijan un objeto definido e inmóvil, no hay quietud real sino que están asistidos de un conjunto de fenómenos dinámicos, constituidos por movimientos no visibles, involuntarios y muy pequeños, aunque registrables*" (Figuras 35 y 36).

Así mismo, se comprobó que los movimientos guardaban correspondencia motora (sincronización bi-ocular), tanto en visión monocular como binocular, cumplimentando las Ley de Hering y la Ley de correspondencia motora de **Terrien-Quééré**. (**Ditchburn y Ginsborg, 1953**).

Los valores obtenidos por los investigadores son variables. Su importancia oscila según los individuos (**Park, 1940**). Con promedio de los datos recabados, se puede

aceptar la existencia de tres tipos de movimientos continuos de fijación: *microtemblores* de 20 a 40 segundos de arco, *micromovimientos sacádicos* de 5 a 10 minutos de arco, y *fluctuaciones*, que son pequeños movimientos más lentos de 2 a 6 minutos.

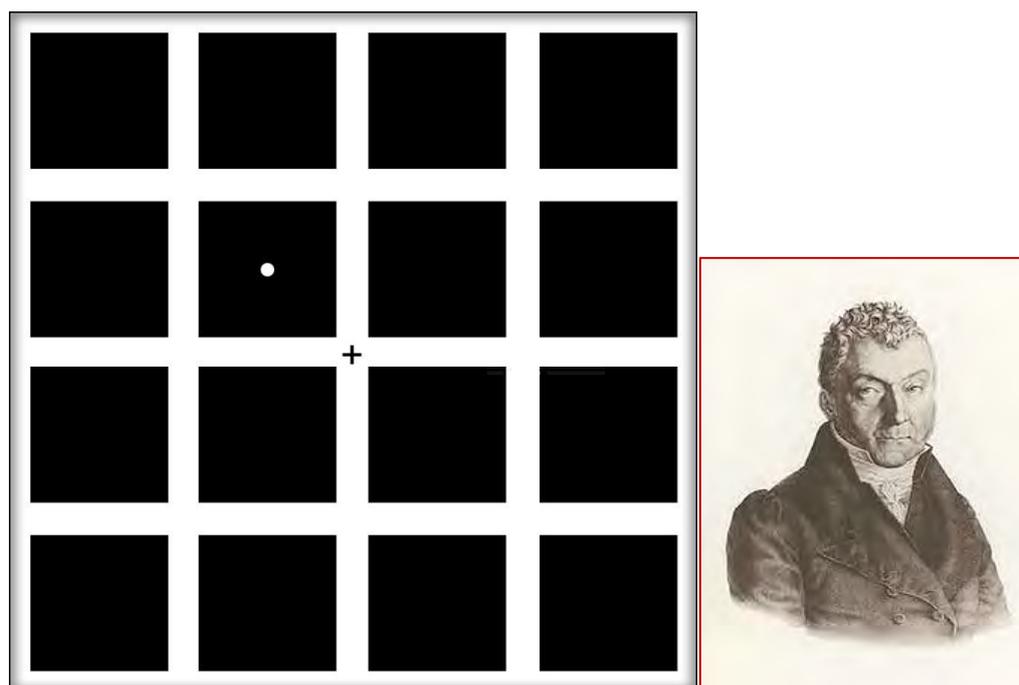
Si la fijación del test se realiza durante cierto tiempo, aumentan con la fatiga. Son más importantes en visión próxima que en visión lejana.

Así, se puede decir que los ojos están en movimiento perpetuo. No se trata del efecto consecuencia de discretos desequilibrios de tensión muscular. Su finalidad, aparte de corregir microerrores de fijación y conseguir explorar detalles de la pequeña zona observada en cada momento, es impedir la *neutralización* de la imagen fijada por la retina. Este fenómeno se demostró que ocurre cuando aquella permanece estabilizada en la misma (**Fender y Nye, 1961**). Sería manera de impedir la

saturación de los elementos receptores de la retina (ejemplo: *fenómeno de Troxler*).

Sabemos que las células ganglionares responden de forma transitoria a cualquier variación de luz y color. Es precisamente esta transitoriedad de las respuestas lo que explica que, tras estabilizarse la imagen retiniana, en pocos segundos la recepción se pierde, obligando a hacer pequeños movimientos para refrescar el sistema y rehabilitar la imagen que se está perdiendo. Los *micromovimientos* son fundamentales, como se ha dicho antes, para la captación y transmisión de la imagen a nivel de las células sensibles retinianas, no para la percepción e información psíquica de la sensación recibida.

Bajo dependencia del sistema vestibular, estos *micromovimientos* corrigen los pequeños desplazamientos de la cabeza, que pueden ser provocados por factores varios (espontáneos sin finalidad alguna, incitados por los latidos cardiacos o por la respiración etc).



**Ignaz Paul Vital Troxler
(1788-1866) (Wikipedia)**

Figura 35. Cuadrícula de Hering.

Fijando el pequeño círculo durante medio minuto, se pasa a mirar atentamente la cruz central de la cuadrícula de Hering. El individuo percibe la post-imagen de la rejilla blanca, observando que lejos de encontrarse estática está animada de pequeños micromovimientos.

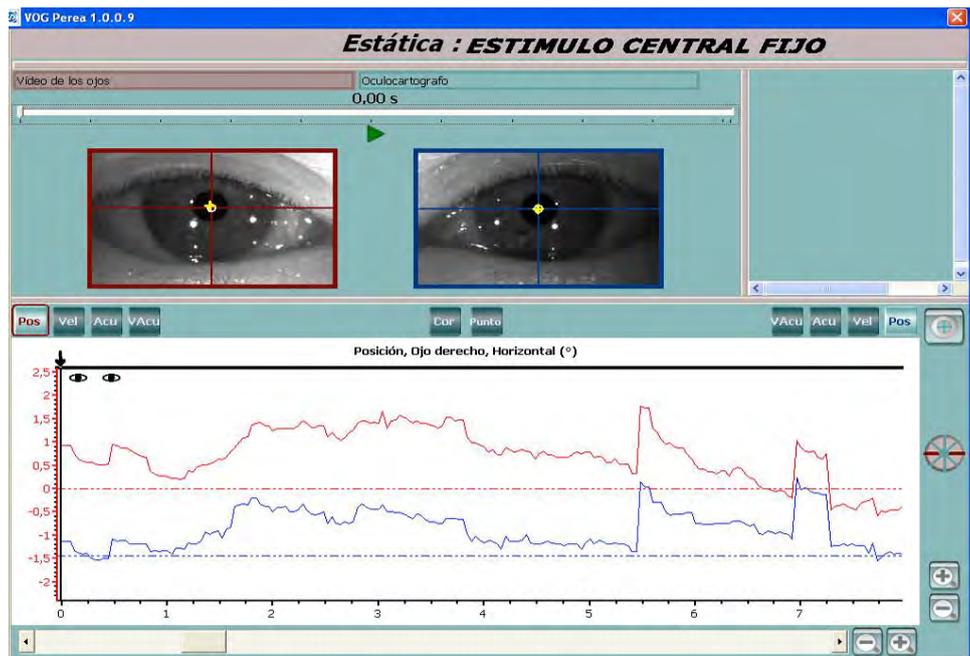


Figura 36. Micromovimientos normales de fijación.

Movimientos vestibulo-oculares

Existe un primitivo sistema de la función visual (*sistema postural*), que permite mantener las imágenes sobre la retina, y en orientación normal el campo de visión durante los desplazamientos de la cabeza y del cuerpo. Fenómeno que se da al deambular.

Johannes Evangelista Purkinje (1820) publicó el efecto que la rotación corporal tiene sobre los movimientos de los ojos.

Ahora bien, fue preciso el trascurso de ocho años para que un autor que ha sido considerado fundador de la ciencia experimental del cerebro y pionero de la anestesia, el fisiólogo francés **Marie-Jean-Pierre Flourens (1828)**, demostrase el papel único que sobre este fenómeno tiene el aparato vestibular, mediante experimentos realizados sobre palomas y conejos. Del que fuera Secretario Perpetuo de la Academia de Ciencias y Comandante de Honor de la Legión francesa, es la siguiente ley: "*La dirección de los movimientos concuerdan siempre con la dirección del canal semicircular lesionado*".

Así, este sistema postural comporta movimientos óculo-motores reflejos (*reflejos posturales opto-motores no ópticos de Keiner*), coordinados por el aparato vestibular y por los sistemas propioceptivos (receptores sensoriales propioceptivos de los músculos oculares extrínsecos, del cuello y de la columna vertebral), bajo control mesencefálico, que estimulan movimientos compensatorios sinérgicos de los ojos, llevándolos en sentido opuesto a los de la cabeza con el fin de estabilizar la imagen retiniana durante el desplazamiento del cuerpo en el espacio, fenómeno conocido como "*reacción de fijación de la mirada*" (Figura 37). Este elemental y primario sistema visual es la base sobre la que se van a desarrollar, a lo largo de los primeros años de vida, *los reflejos optomotores ópticos de Keiner* dirigidos por la corteza cerebral.

Ante la rotación angular y traslación cefálica, los sensores de *aceleración angular* de los canales semicirculares del laberinto situados en tres planos ortogonales a cada lado de la cabeza, y los sensores de *aceleración lineal* de los otolitos del utrículo y sáculo, responden con extraordinaria rapidez para desencadenar la señal precisa, que es

enviada por los nervios vestibulares superior e inferior a los núcleos vestibulares, localizados lateralmente en el bulbo rostral. Algunas ramas se dirigen a través del pedúnculo cerebeloso inferior homolateral al lóbulo flóculo-nodular del cerebelo. Los impulsos nerviosos relacionados con el equilibrio, postura y tono muscular, recorriendo la cintilla longitudinal posterior en sentido ascendente, van a estimular la musculatura ocular en razón de su estación en los núcleos de los nervios craneales, produciendo un movimiento binocular reflejo compensador de contrarrotación de los ojos, opuesto al movimiento cefálico, conocido como **movimiento o reflejo vestibulo-ocular** (*Ley de Flourens*). Es la adaptación refleja de la posición ocular a la de la cabeza, que escapa de la voluntad y de la consciencia. Su finalidad es mantener el rafe vertical sensorial retiniano perpendicular a la línea del horizonte.

Es decir, los canales semicirculares se incitan por rotaciones angulares de la cabeza, en tanto que los otolitos del utrículo y del sáculo expresan la aceleración lineal provocada por traslación de la cabeza. Todo el proceso, en conjunto, es origen de una serie de señales, que son ajenas a las de origen retiniano, estimulan las rotaciones oculares siempre opuestas a las de la cabeza.

Esta adaptación compensadora de los ojos bajo influencia laberíntica es reflejo óptico "no condicionado", que existe desde el momento del alumbramiento. Su papel es trascendental en la época inmadura en la que la visión binocular se está desarrollando.

Los movimientos vestibulo-oculares tienen tiempo de latencia muy breve (7 a 15 milisegundos), lo que da lugar a una compensación extraordinariamente rápida. Pueden alcanzar velocidad de 300°/s a 400°/s, que induce a otro movimiento compensatorio extremadamente rápido.

Cuando el giro de la cabeza es menor de 15°, el movimiento reflejo de los ojos, en sentido opuesto, es de la misma amplitud. Se mantiene sinergia entre el componente visual

y el movimiento reflejo vestibulo-ocular, con continuidad de fijación retiniana estable.

Cuanto mayor sea el giro de la cabeza, mayor amplitud habrá de tener el movimiento sacádico reflejo de los ojos para hacer la contrarrotación. Es sabido que la amplitud condiciona las propiedades dinámicas de duración y velocidad. Cuando el movimiento rotatorio de la cabeza es mayor de 15° a 20°, la amplitud de retorno de los ojos desencadena mayor velocidad de recorrido y ocurre su saturación, con resultante de movimiento rotador reflejo compuesto por un primer momento de recentramiento sacádico y otro segundo constituido por nistagmo en resorte, que sería el *corrector*, en el que la fase lenta del movimiento sería el representativo vestibular y la fase rápida el movimiento sacádico de llamada.

También, la modificación de la posición del cuerpo con respecto a la de la cabeza da lugar a movimientos binoculares reflejos, cuyo punto de partida es la musculatura del cuello. Este tipo de reflejo está sometido a controversias.

En los animales superiores, el principal controlador de la postura es el laberinto. Pero el órgano de la visión es dominante, tan es así que en caso de destrucción de los canales semicirculares el sistema visual puede sustituirlo. Vemos cómo el aparato vestibular tiene un importante papel en la regulación tónica de la musculatura ocular. El laberinto membranoso está constituido por los conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo.

El utrículo y el sáculo controlan la inclinación cefálica estática asegurando movimiento torsional de los ojos en sentido contrario. Así mismo, gobierna el movimiento de elevación y descenso del mentón manteniendo la fijación (*ojos de muñeca*).

A su vez, cada conducto semicircular influye sobre una pareja muscular. Así, el conducto horizontal sobre los rectos horizontales, el conducto posterior sobre los músculos oblicuos.

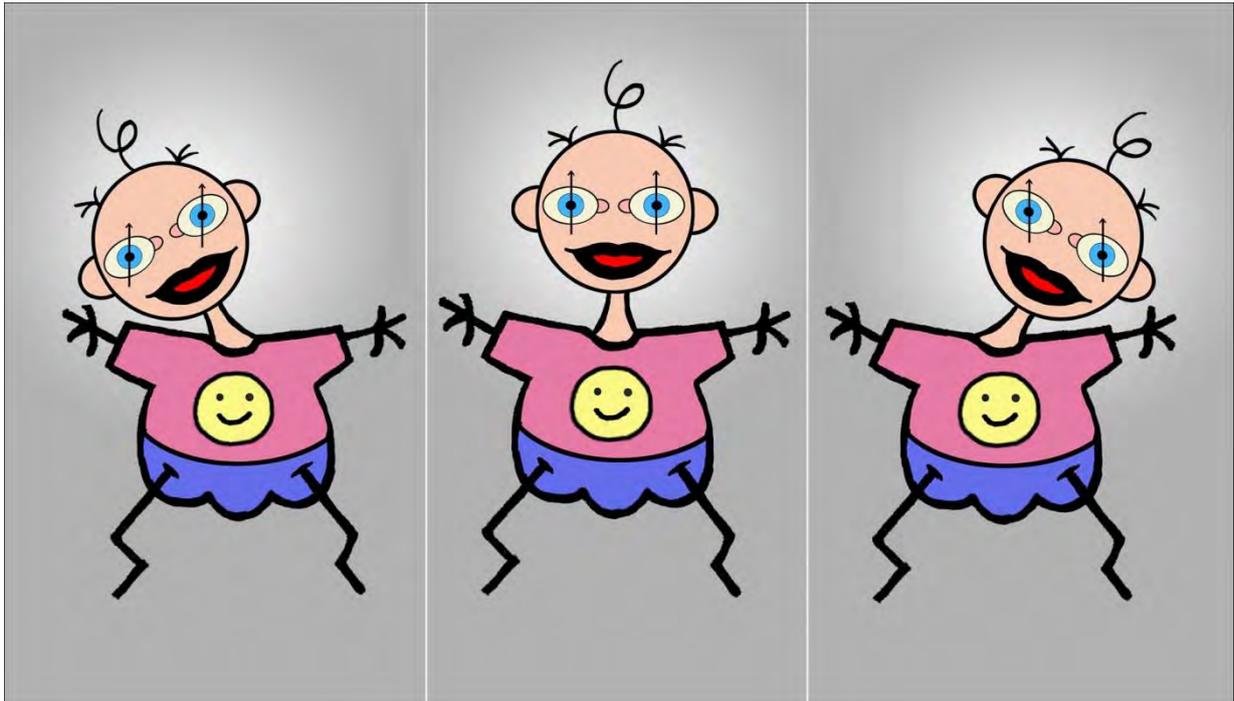


Figura 37. Reflejos posturales.

Al inclinar la cabeza sobre el hombro derecho, la estimulación de los canales semicirculares y otolitos del oído interno inducen un movimiento reflejo compensatorio de los ojos en sentido opuesto al de inclinación de la cabeza. Por ello, el meridiano vertical de las córneas se inclina hacia la izquierda produciendo intorsión del ojo derecho y extorsión del ojo izquierdo. La inclinación de la cabeza hacia el lado izquierdo produce idéntico fenómeno en sentido inverso.

Movimientos optocinéticos

Concepto

Aunque **Johannes Evangelista Purkinje** tuvo la perspicacia de observarlo en **1825** analizando al público que presenciaba un desfile militar de caballería en la capital austriaca, fue el Premio Nobel de Medicina del año 1914, **Robert Barany**, quien en **1907** abre la era clínica y de exploración cuando inventa para su determinación el “tambor giratorio”.

Al principio fue llamado “*nistagmo del tren*” en base a la apreciación hecha por **Hermann von Helmholtz** en referencia a que el movimiento ocular se veía con gran claridad en los individuos que miraban el paisaje por la ventanilla del tren. **Weill (1913)** gustó en llamarle “*nistagmo panorámico*”. Finalmente

fue, en el Congreso de Oftalmología del año **1929**, cuando se adoptó la denominación de “*nistagmo optocinético*” (**Baldenweg**), universalmente aceptado y como se conoce en la actualidad.

Puede definirse como: “*movimiento rítmico de los ojos, conjugado, inconsciente, involuntario de naturaleza refleja, provocado por un estímulo óptico, presente desde el nacimiento, bajo el aspecto de nistagmo en “resorte”, con una fase lenta de “movimiento de seguimiento”, que se dirige en el sentido en que se desplaza el objeto, seguido de otra fase rápida, verdadero “movimiento sacádico” de llamada, de sentido contrario, momento en el que la visión queda suspendida*”.

El movimiento rítmico, que tipifica al movimiento optocinético, aparece fiel y constante en el individuo normal, sin que la

voluntad pueda detenerlo, siempre que se den las adecuadas condiciones de estimulación. Este movimiento automático-reflejo es una forma de adaptación fisiológica permanente, con carácter inagotable, al entorno espacial, al espacio visual de la persona, corrigiendo y compensando psicópticamente el desplazamiento que, en cualquier momento, pudieran tener los objetos del exterior. El nistagmo optocinético deriva del discurrir óptico de la imagen retiniana. Colabora con el sistema vestibulo-ocular, que es el encargado de estabilizar la imagen retiniana al variar la posición de la cabeza y del cuerpo en el espacio a través de movimientos compensatorios de los ojos, llevándolos en sentido opuesto a los desplazamientos cefálicos. Ambos sistemas, optocinético y vestibulo-ocular, se complementan potenciando el primero al segundo cuando la situación y el momento lo requieren. Este movimiento reflejo nistágmico es respuesta fisiológica inducida por un estímulo puramente visual, que puede suceder de modo espontáneo, bien porque los ojos se desplazan sobre un objeto inmóvil, tal y como ocurre al mirar el paisaje por la ventanilla del vehículo en movimiento, o porque los ojos inmóviles miran la sucesión de imágenes que desfilan a determinada velocidad delante de ellos, como acaece cuando instrumentalmente se le explora en clínica (*nistagmo optocinético instrumental*). Cuando el estímulo se suprime, si ello ocurre en ambiente luminoso, los ojos quedan quietos inmediatamente, pero si el paciente se somete bruscamente a oscuridad, como medio de anular el estímulo, el movimiento ocular permanece por corto espacio de tiempo (*post-nistagmo optocinético*). El nistagmo optocinético es un reflejo de adaptación sensorial y motora a un objeto móvil externo, permitiendo una visión agradable a pesar del desplazamiento del entorno. Se expresa con un “movimiento lento de perseguida” en el sentido en el que se mueve, seguido de un “movimiento rápido sacádico” llevando el ojo al punto de partida inicial, buscando otro estímulo que entra de

nuevo en su campo visual. La velocidad del primer movimiento de persecución es proporcional al desplazamiento del objeto que se mueve, en tanto que la velocidad rápida del segundo movimiento es dependiente de otros elementos, fundamentalmente de la amplitud del camino de vuelta a recorrer, como ocurre en las sacadas. Durante la fase lenta la visión del estímulo es buena, en tanto que en el transcurso de la fase rápida la visión se interrumpe (*supresión sacádica*), aunque por espacio de tiempo tan corto que no se es consciente de ello (**R.Dodge y J.Fox, 1928**). De este modo, al no percibirse la imagen del movimiento rápido sacádico, la única que persiste es la de la fase lenta del primer movimiento con lo que el resultado final es una imagen estable del campo visual. Universalmente se admite que el primer “movimiento rápido sacádico” es el que define el sentido del nistagmo optocinético, diciendo que la respuesta *bate* en esta dirección. El nistagmo optocinético, movimiento involuntario e inconsciente, se caracteriza por la *congruencia o igualdad* en ambos ojos, tanto en lo referente al sentido, como a la amplitud y frecuencia. Así mismo, el nistagmo optocinético inducido por un estímulo monocular es igualmente sinérgico. Es la aplicación de la **ley de Hering** y la de **Equivalencia motora de Terrien-Quééré**, común a todos los movimientos de versión.

La organización estructural y fisiológica de este tipo de movimiento permanece en el campo de la hipótesis. Son mal conocidos los mecanismos neurofisiológicos relacionados con la regulación del nistagmo optocinético.

Ya se dijo en el Capítulo de Anatomía que la información llegada a la retina se decusa a nivel del *quiasma* para llegar al córtex a través del *cuerpo geniculado lateral*. A su vez, una pequeña parte de las fibras procedentes de las células ganglionares de la retina se separan de la *cinilla óptica* para dirigirse, por la *cinilla óptica accesoria (vía retino-tectal)*, al mesencéfalo, para terminar en los *núcleos del sistema óptico accesorio* del lado opuesto: *núcleo lateral terminal* (LTN),

núcleo medial terminal (MTN), *núcleo dorsal terminal* (DTN) y *núcleo terminal intersticial* (ITN), al parecer, de gran protagonismo en el NOC. Esta vía secundaria es portadora de la información procedente de las células Y y W de la periferia retiniana nasal (con campos receptivos amplios) del ojo contralateral.

Desde estos núcleos se remiten señales, a través de la oliva inferior, a los núcleos vestibulares.

Esta *vía óptica secundaria (vía retino-tectal)*, asume (como ya se dijo) su gran protagonismo en los primeros seis meses de vida, siendo el mesencéfalo el auténtico coordinador del sistema ocular, por no encontrarse desarrollada la corteza cerebral vinculada al aparato sensorio-motor ocular. Conforme se desarrolla el encéfalo su importancia va disminuyendo, así como las conexiones de éste con el mesencéfalo y las estructuras de la periferia. La zona cortical que se encarga de transmitir al mesencéfalo las señales motoras del NOC es el *área TMS*.

Por la *vía óptica secundaria (vía cruzada retino-mesencefálica)* caminan los estímulos recibidos en la retina nasal del ojo del lado opuesto que habría captado las impresiones lumínicas de su campo temporal. Quiere decir que el campo visual derecho es recibido por la retina nasal del ojo derecho, y desde aquí, por la *vía óptica secundaria*, llegan al centro mesencefálico izquierdo, de donde parten las órdenes motoras hacia el ojo izquierdo. Cada ojo, estaría especializado en la visión de un solo campo visual. El ojo derecho ve el campo visual derecho a través del centro nervioso mesencefálico del lado izquierdo, y el ojo izquierdo ve el campo visual izquierdo a través del *colículo superior* del lado derecho. Se ha demostrado que en el recién nacido existe asimetría naso-temporal de la estructura retiniana, en el sentido de que durante el primer mes de vida hay mayor desarrollo de la retina nasal, encargada de recibir estímulos luminosos del campo visual temporal. Este hecho se invierte en el segundo mes, que va mejorando el desarrollo estructural temporal retiniano, terminando con el tiempo por igualarse con la retina nasal,

consecuencia de la maduración de la vía retino-genículo-calcarina. Como consecuencia de la falta de desarrollo de las proyecciones corticales en estos primeros meses de vida, el NOC se lleva a cabo a través de esta vía subcortical cruzada, por lo que la estimulación de un ojo da lugar a un NOC direccionado de temporal a nasal y no de nasal a temporal. Quiere decir que en la esotropía congénita (síndrome de Ciancia) encontraremos asimetría del NOC con falta de excitabilidad o, al menos, hipoexcitabilidad en la respuesta naso-temporal. Esta anomalía se mantiene durante toda la vida. El recién nacido está, pues, en posesión de dos visiones monoculares, que a partir de los 6 meses comienza a hacerse binocular. Este momento ocurre al terminar el desarrollo de la vía óptica principal, y establecer relación sináptica con los centros superiores (cuerpo geniculado externo y córtex), de tal manera que puedan participar en el sistema las células complejas e hipercomplejas de la capa V de la corteza occipital, que dan asiento a las *células binoculares de Hubel y Wiesel*, lugar de llegada de estímulos de los *campos receptivos correspondientes* y donde se establece el procesamiento fusional de las dos sensaciones monoculares.

Técnica

La respuesta optocinética se consigue haciendo pasar ante los ojos del paciente, sentado (si es posible) y manteniendo inmóvil su cabeza, una sucesión de tests a velocidad regular que atraigan su atención. Por lo común se utilizan bandas negras y blancas iguales alternadas (**Barany**), dameros blanco y negro (**Nicolai**), o tests de figuras (**Cords**), que son de gran utilidad en niños con el fin de despertar su interés.

Usualmente desplazamos los tests en sentido horizontal y vertical en las dos direcciones opuestas (izquierda-derecha, derecha-izquierda, arriba-abajo y abajo-arriba). Puede practicarse, igualmente, en direcciones oblicuas. El estudio se lleva a cabo

con los dos ojos abiertos (bi-ocular) y monocular (ocluido ojo derecho y ocluido ojo izquierdo).

La prueba no debe alargarse, de tal modo que transcurridos 15-20 segundos se debe interrumpir para que el paciente descanse.

Hay dos modos de inducir respuesta optocinética: **a)** Mirando el desplazamiento del test de forma pasiva, sin tratar de seguir el test (sea banda, cuadrado del damero o figura. **b)** Fijando atenta y activamente los objetos o figuras persiguiéndolos fovealmente con interés.

Aunque hay dudas al respecto, se ha considerado que la "*forma pasiva*" de practicar el test induce a un movimiento reflejo corto de nistagmo optocinético subcortical, en tanto que la exploración utilizando la "*forma activa*" incita un reflejo condicionado de nistagmo optocinético cortical. Lo que sí es evidente es que ambas formas de despertar nistagmo se traducen en respuesta optocinética distinta, siendo morfológicamente más irregular la forma cortical que la subcortical.

Una vez elegido el test, que ha de tener suficiente atractivo para mantener la atención del paciente, puede procederse a iniciar la prueba teniendo en cuenta diferentes parámetros de sensibilización:

- * Buscar el umbral optocinético acelerando la prueba progresivamente.
- * Hacer el estudio a diferentes velocidades.
- * Invertir bruscamente el sentido del desplazamiento del test para apreciar el comportamiento.
- * Practicar estimulaciones prolongadas para detectar el agotamiento.

Respuesta optocinética normal

El nistagmo optocinético siempre tiene lugar en el plano de rotación de los tests. Es decir, el desplazamiento horizontal del test desencadena nistagmo optocinético

horizontal, el desplazamiento vertical desencadena nistagmo optocinético vertical, y el desplazamiento oblicuo desencadena nistagmo optocinético oblicuo. Existe un umbral por arriba y por abajo respecto a la velocidad, fuera del cual no se despierta respuesta optocinética.

Es un nistagmo en "*resorte*", constituido por movimientos rítmicos de naturaleza conjugada, con dos fases: *lenta* y *rápida*, batiendo en sentido opuesto.

La *fase lenta* del nistagmo optocinético se realiza en la dirección del desplazamiento del test, como si fuera un movimiento conjugado de seguimiento. Este desplazamiento es despertado por el conjunto retiniano y no exclusivamente por la mácula, pues personas con lesiones retinianas centrales son susceptibles de poderles despertar respuesta optocinética. La vía aferente de esta fase es la misma que la vía del movimiento reflejo de seguimiento, es decir, la vía óptica que llega al área visual cortical. La vía eferente (vía oculogira posterior) atravesando el brazo posterior de la cápsula interna llega tras su decusación a la protuberancia alcanzando los núcleos óculo-motores.

La *fase rápida*, movimiento cibernético de refijación sacádico, ultrarápido, es de sentido opuesto al de la *fase lenta*. La base anatómica de esta fase permanece en el campo de la hipótesis. Se supone que el efector de la misma es el lóbulo frontal interconexionado con el lóbulo occipital, de quien capta el mensaje centrípeta llegado. La vía eferente, al igual que la de la motilidad conjugada, es la vía oculogira anterior.

Esta *fase rápida* es la que determina la denominación e indica que el nistagmo *bate* en su propio sentido, o lo que es lo mismo, opuesto al del desplazamiento del test. Así, el test que se desplaza hacia la derecha, dará lugar a nistagmo optocinético con *fase lenta* hacia la derecha y otra *fase rápida*, en "*resorte*", hacia la izquierda. Esto es lo que conocemos como nistagmo que *bate* hacia la

izquierda. Si el test se desplaza verticalmente de arriba hacia abajo, la respuesta resultante será de nistagmo vertical en el que la *fase lenta* también va en este sentido, *batiendo* los ojos (*fase rápida*) de abajo hacia arriba.

Iniciado el estímulo, existe una *fase de*

latencia de décimas de segundo, correspondiente al tiempo de reacción cortical, tras la cual comienza el nistagmo optocinético, que se realiza siempre, como hemos dicho, de acuerdo al plano en el que se está desplazando el test (Figura 38).

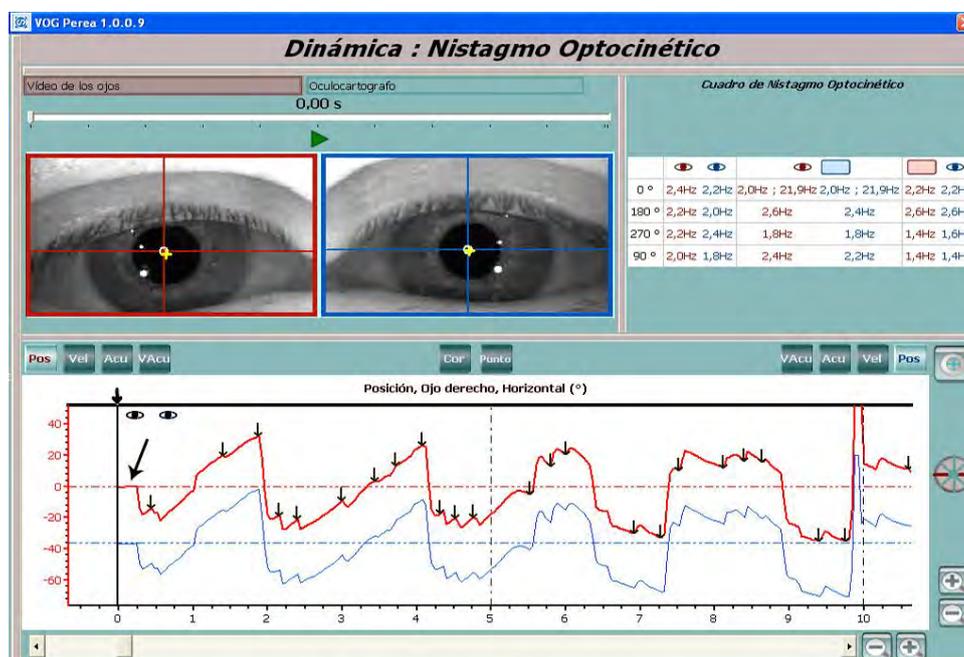


Figura 38. Nistagmo optocinético normal (ambos ojos descubiertos).

Fase de latencia 0,20 s. (indicado por la flecha negra). En ambas curvas se observa el fiel cumplimiento de la Ley de Hering.

La curva obtenida será: *Fase lenta* de seguimiento representada por una línea oblicua, de suave pendiente y dirigida en sentido del desplazamiento del test; en tanto que la *fase rápida* es un accidente brusco, de tipo sacádico y sentido opuesto al anterior, pero de su misma amplitud.

La duración de la *fase lenta* depende de la velocidad con que se realiza la misma y de la amplitud del nistagmo.

La duración de la *fase rápida* depende, también, de la amplitud de las sacudidas, existiendo peculiaridades según los individuos, que marcan la falta de uniformidad del nistagmo optocinético en este aspecto.

Al estudiar la curva optocinética, hemos de prestar atención al ritmo,

congruencia, frecuencia y amplitud de respuesta:

* *“Ritmo”*. Se refiere a la mayor o menor regularidad de la gráfica detectada. Es muy regular cuando la exploración se realiza correctamente, es decir, cuando la velocidad de desplazamiento del test es adecuada (entre los umbrales máximo y mínimo), y cuando el paciente tiene cierta capacidad visual y presta atención a la prueba.

* *“Congruencia”*. La respuesta optocinética es igual en los dos ojos. Del mismo sentido, amplitud y frecuencia, de acuerdo a la **ley de Hering** (Figura 38). A su vez, la estimulación monocular desencadena respuesta nistágmica consensual en el otro

ojo, de igual amplitud y simétrica que en el ojo estimulado. Es decir: la estimulación monocular despierta nistagmo optocinético bi-ocular, de iguales características en ambos ojos, y con capacidad estimulante muy parecida entre los dos (**Ley de Equivalencia motora de Quéré**) (Figura 39 y 40). Existe muy poca diferencia entre las gráficas obtenidas por estimulación monocular y bi-ocular.

* **“Frecuencia”**. Es el número de movimientos completos (suma de la *fase lenta* y *rápida*) en unidad de tiempo, que podemos cifrar por segundo o, como algunos autores hacen, por minuto. La unidad es el **Hertz** o **Hercio** (en recuerdo al físico alemán **Heinrich Rudolf Hertz**). Su símbolo es **“Hz”**, que corresponde a un ciclo por segundo (número de veces por segundo que se repite una onda). Este parámetro a valorar depende de varios factores. Muy importante a considerar es el propio individuo, variable en su fisiología. También el factor **“atención”** es relevante. Por

último, y fundamental, es la velocidad de desplazamiento del estímulo, dato primordial a tener en cuenta. Las cifras de la frecuencia oscilan entre 1 y 5 Hz.

* **“Amplitud”**. Es la extensión de desplazamiento del ojo en sus sacudidas (valorada en grados), que, como vimos, son coincidentes la de la *fase lenta* de seguimiento con la de la *fase rápida* de *batida* en sentido contrario. Este parámetro, al igual que el anterior, presenta diferencias importantes entre individuos. La velocidad de desplazamiento del test y la atención prestada también influyen en la extensión. Es fundamental determinar la mejor respuesta optocinética, con sus parámetros de amplitud y frecuencia en el medio técnico que se utilice habitualmente.

“Amplitud” y **“frecuencia”** guardan entre sí relación inversa. Cuanto más rápido sea el desplazamiento del test, mayor será la **“frecuencia”** y menor será la **“amplitud”**.

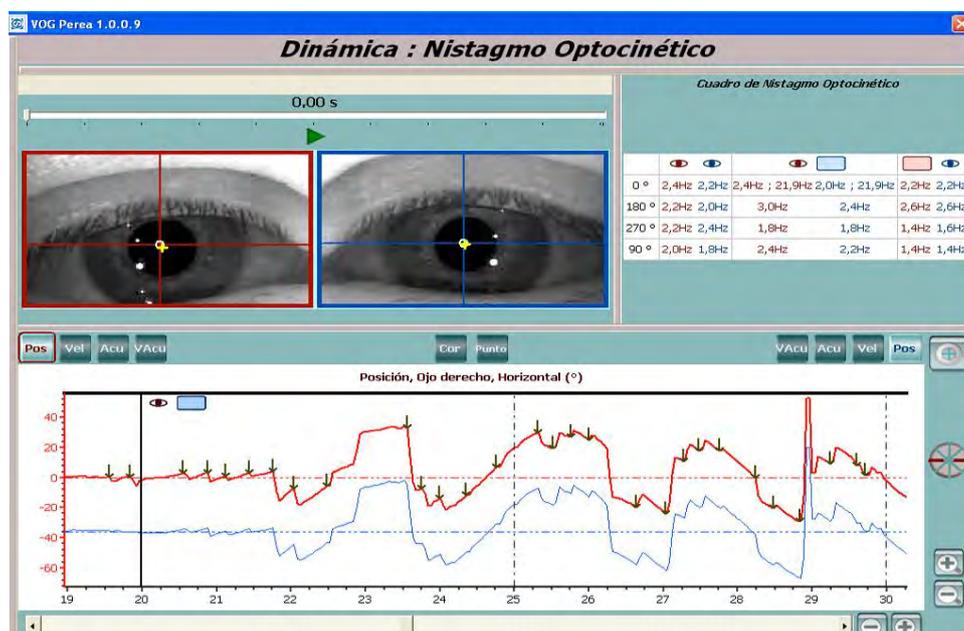


Figura 39. Nistagmo optocinético normal (OI ocluido).
Se cumple la Ley de Equivalencia Motora de Terrien-Quéré.

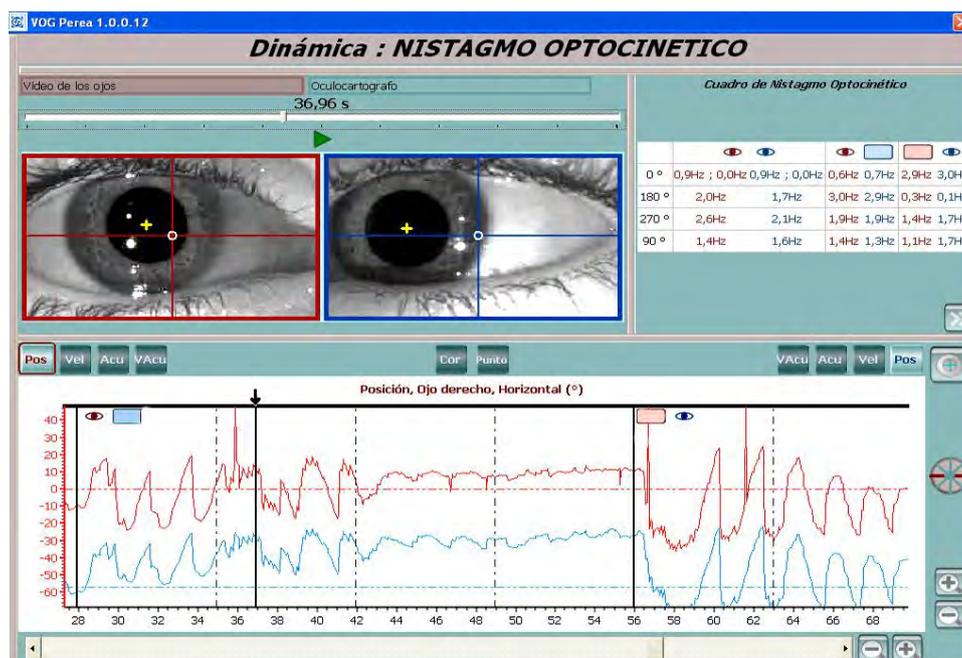


Figura 40. Ley de Equivalencia motora.

La Ley de Equivalencia Motora se cumple, fijando uno u otro ojo. En el Oculógrafo, la parte izquierda corresponde a OI ocluido, y la derecha al OD.

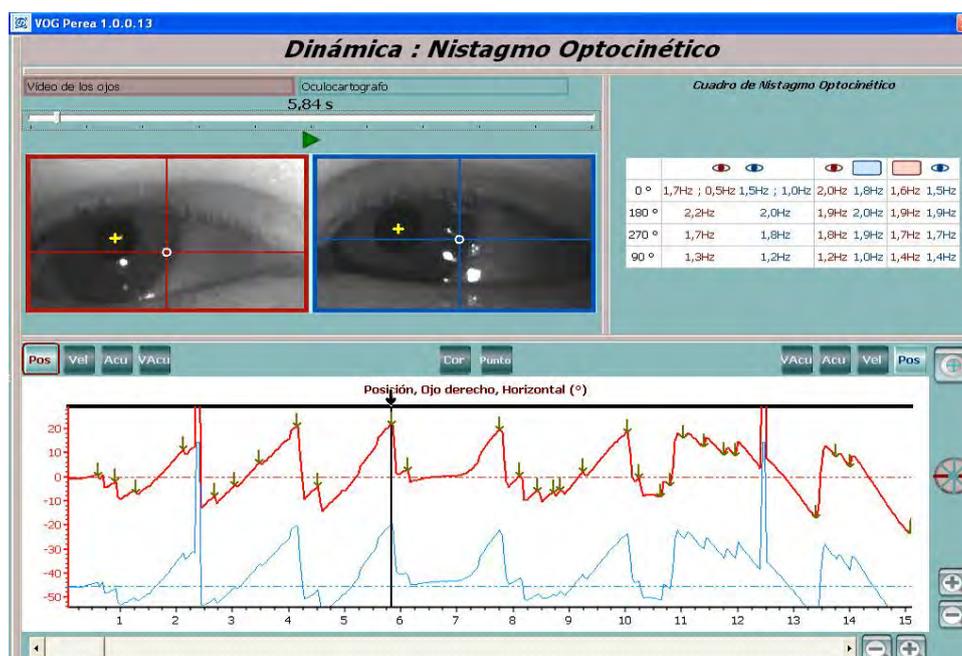


Figura 41. Nistagmo optocinético normal.

El instante marcado en el Oculógrafo representa el momento álgido de la fase lenta.

Existen varios factores capaces de alterar en mayor o menor grado el desencadenamiento y naturaleza del nistagmo optocinético:

a) Instrumento y forma de hacer la prueba.

El tamaño del inductor, es decir, el campo exterior que se mueve, tiene gran importancia. Está demostrado que las cabinas giratorias tienen mayor poder desencadenante que los tambores giratorios pequeños.

Es importante que el test móvil sea bien percibido y que tenga interés de captación para la persona (figuras para los niños). Para ello, debe estar suficientemente bien delimitado y contrastado, y pasar por delante del paciente a determinada velocidad, con *umbrales* mínimos y máximos. El número óptimo de tests vistos por segundo se estima en 3 a 15 por segundo. El test debe estar convenientemente iluminado, y la distancia indicada, cuando se realiza con el tambor de Barany, por debajo de 1 m. Este autor lo considera ideal a 40-50 cm.

b) Condiciones del paciente.

Es importante la *agudeza visual*,

aunque no es preciso que sea excelente. A juicio de **Alfred Kestenbaum**, basta con tener visión de cuenta dedos a 50 cm para que pueda desencadenarse nistagmo optocinético. El factor acomodativo tampoco altera el desarrollo de la prueba. *Atención* del paciente y cierta *concentración* son condiciones necesarias para que el movimiento nistágmico se desencadene. En las personas mayores baja la ganancia.

c) Velocidad de desplazamiento del test.

Tiene mucha importancia la velocidad de desplazamiento de los tests. Según el medio utilizado será primordial la velocidad óptima para obtener valores adecuados. Es de interés comprobar el nivel inferior o *umbral optocinético inferior* (por debajo del que no existe nistagmo optocinético) y el nivel superior o *umbral optocinético superior* (a partir del cual se irregulariza la curva y acaba por extinguirse el nistagmo optocinético). Figuras 42-a, b, c, d.

d) Ciertos tóxicos y ciertas drogas influyen el nistagmo optocinético. Por ejemplo: alcohol, cafeína, barbitúricos, anfetaminas, miorrelajantes y neurolépticos.

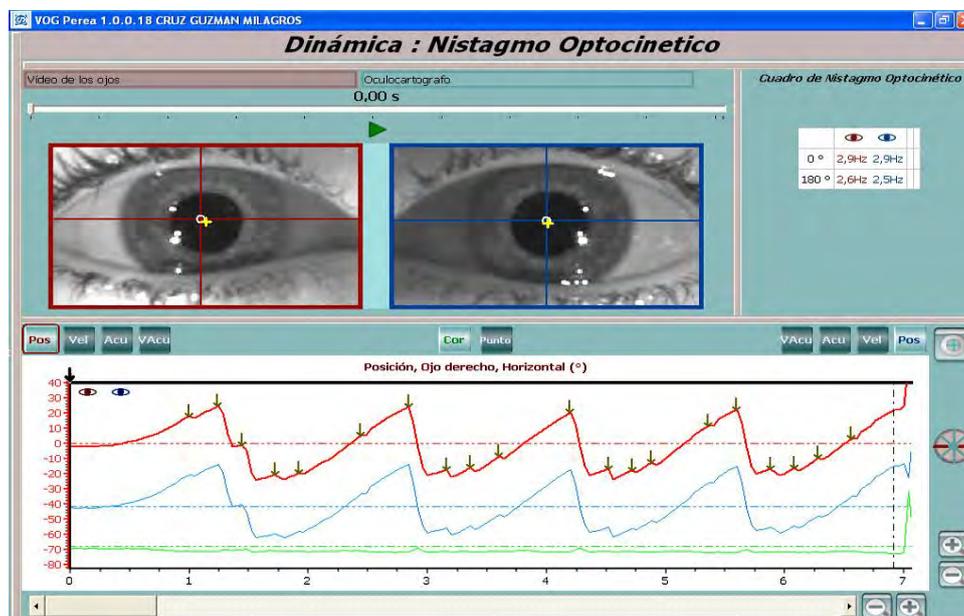


Figura 42-a. Nistagmo optocinético a 60°/s (velocidad adecuada).

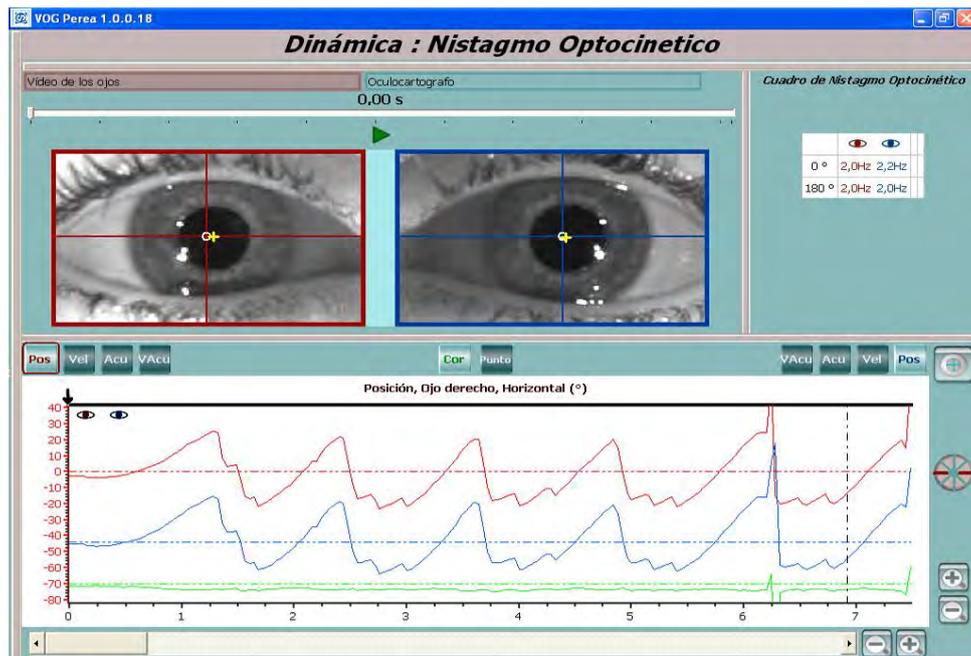


Figura 42-b. Nistagmo optocinético a 90°/s.

Caso de la Figura anterior. Al aumentar la velocidad disminuye la frecuencia del nistagmo (como puede verse en el Cuadro de nistagmo).

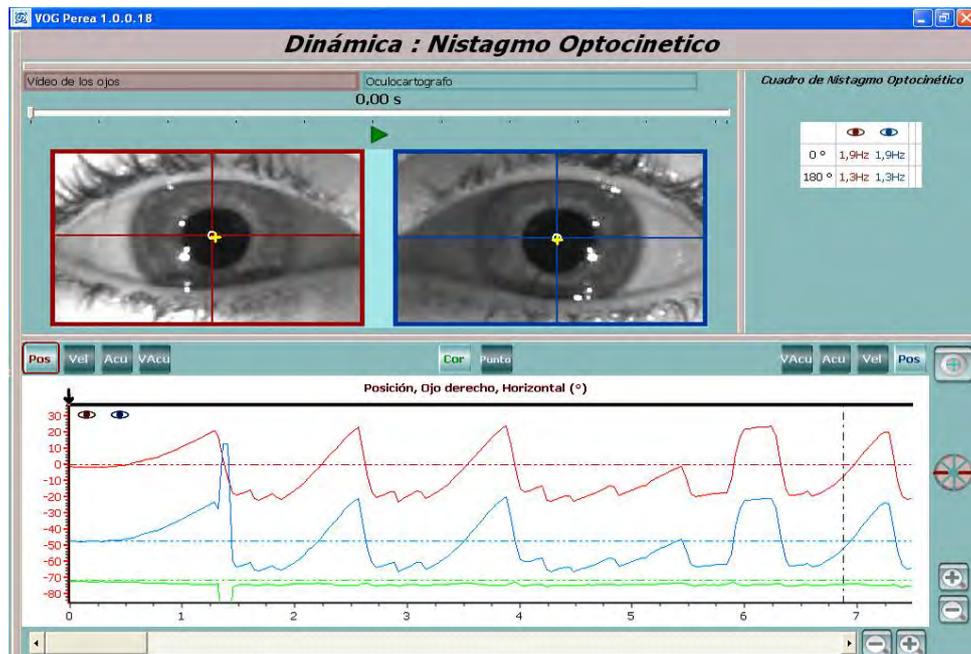


Figura 42-c. Nistagmo optocinético a 100°/s.

Al aumentar la velocidad de la figura anterior, disminuye de modo más considerable la frecuencia.

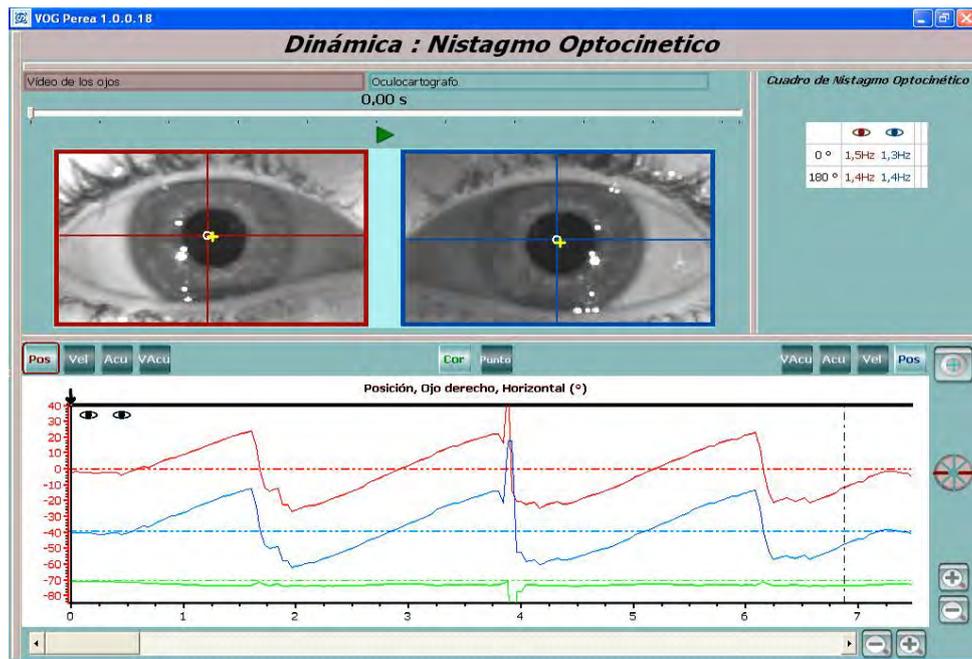


Figura 42-d. Nistagmo optocinético a 30°/s.

Del mismo modo, si disminuimos excesivamente la velocidad, también disminuye la frecuencia.