



FUSIÓN MOTORA & VERGENCIAS

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, EEUU

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, EEUU

INTRODUCCIÓN A LA FUSIÓN MOTORA

La inervación aislada para un solo músculo extraocular no existe, así como tampoco se puede inervar solo un ojo. Los impulsos que se generan para llevar a cabo un movimiento ocular siempre son integrados y todos los movimientos oculares están asociados. Los movimientos oculares disociados se ven únicamente en estados patológicos. Cuando se envía un impulso para llevar a cabo un movimiento ocular, los músculos correspondientes de cada ojo reciben la misma inervación ya sea para contraerse o relajarse. Esta es la ley básica de inervación... propuesta inicialmente por Hering. (von Noorden, p. 65-66)

De manera similar, cuando existe una visión binocular normal las acciones de los seis músculos de cada ojo son coordinadas de manera tal que ambos ejes visuales apunten hacia el objeto de fijación. Basándose en las leyes de dirección visual, es sabido que ambas líneas visuales primarias se deben intersectar en el objeto para ser percibido como único. El movimiento de los ojos para alinear ambos ejes visuales en el objeto de fijación se conoce como **fusión motora**. La fusión motora es un requisito para la **fusión sensorial**, que es el proceso neurofisiológico mediante el cual el sistema visual combina la información visual de ambos ojos en un único estímulo perceptual.

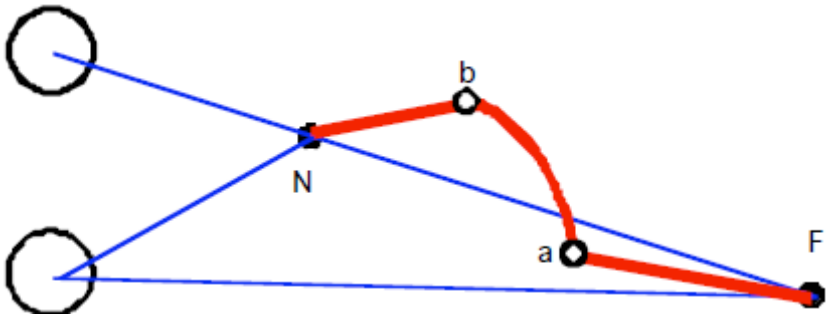
MOVIMIENTOS OCULARES BINOCULARES

La fusión motora puede clasificarse en dos clases de movimientos oculares: versiones y vergencias, cada uno de los cuales, parece estar controlado por diferentes sistemas oculo motores en el cerebro.

VERSIONES

Estos son movimientos que hacen que los ojos cambien de dirección hacia la derecha o izquierda, sin dejar de fijar un objeto. Se conocen como movimientos oculares **conjugados**, ya que ambos ojos rotan en un ángulo de igual magnitud hacia la derecha o izquierda.

De acuerdo a la **ley de inervacional de Hering**, durante un movimiento vergencial, ambos ojos reciben la misma inervación, la cual les informa que deben rotarse a la misma velocidad, con el mismo ángulo, en la misma dirección. Luego la fijación cambia a un nuevo punto ya sea a la derecha o a la izquierda.

<p>VERGENCIAS</p>	<p>En estos movimientos, la dirección visual no cambia, pero la distancia al punto de fijación sí. Los ojos rotan en dirección opuesta; ambos rotan hacia dentro (convergencia) o hacia afuera (divergencia), por lo tanto se conocen como movimientos disyuntivos.</p> <p>Ley inervacional de Hering</p> <p>Esta ley también aplica durante los movimientos vergenciales, pero, de manera distinta a las versiones. Durante la convergencia, el ojo derecho rota hacia la izquierda y el ojo izquierdo rota hacia la derecha. En la divergencia, ocurre lo opuesto. Las inervaciones que controlan los movimientos vergenciales son iguales en términos de velocidad y ángulo, pero, opuestas en dirección.</p> <p>Latencias y velocidad</p> <p>La diferencia en las latencias y la velocidad de las versiones versus las vergencias sustenta la teoría de que son controladas por sistemas neurológicos distintos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Las versiones mueven los ojos a una velocidad más alta que las vergencias. Por ejemplo, una sacada horizontal de 3° tiene una latencia de alrededor de 200mseg, luego mueve los ojos a una velocidad de alrededor de 150°/seg. Los movimientos vergenciales se dan en una velocidad más lenta que las versiones. Cuando ambos ojos convergen 3°, la latencia es de alrededor de 175 mseg y la velocidad es de tan solo 10°/seg (Ono, 1991, p. 3, in Regan, 1991)
<p>VERGENCIAS</p>	<p>Movimientos combinados</p> <p>En situaciones naturales los ojos tienen que cambiar la fijación a un nuevo objeto que está localizado tanto a una distancia distinta como en una diferente dirección. En estos casos, las vergencias y las versiones no se integran totalmente en un movimiento uniforme, sino que se dan por separado, como se muestra en la figura 4.1.</p>  <p><i>Figura 17.1 Tomado de Ono's Fig. 1.2, p. 3 in Regan, 1991.</i></p> <p>Al comienzo del movimiento ambos ojos fijan el punto F. Después de una breve latencia, el movimiento convergente inicia, rotando ambos ojos hacia dentro hacia el punto a. Poco después, las versiones comienzan; ambos ojos rotan hacia la izquierda a la misma velocidad, apuntando ambos ejes visuales hacia un punto b. Finalmente, ambos ojos convergen juntos de un punto b al punto N.</p> <p><i>Por tanto, ambos ojos no constituyen dos subsistemas oculomotores separados. Por el contrario, son sistemas separados para las versiones y las vergencias, y es el funcionamiento de estos dos sistemas lo que lleva ambos ejes visuales a un objeto, permitiendo así que un observador no vea solamente como único sino también que lo vea con el mayor detalle de manera consecuente con la estimulación de las foveas de ambos ojos. La falla en cualquiera de los subsistemas conlleva a la visión doble, pues la intersección de ambos ejes visuales no coincidirá con el objeto. (Ono, 1991 p. 3, in Regan, 1991)</i></p>
<p>IMPORTANCIA DE LOS MOVIMIENTOS VERGENCIALES HORIZONTALES.</p>	<p>Entre ambos tipos principales de los movimientos oculares (versiones y vergencias), las anomalías vergenciales, en lugar de anomalías versionales, generan manifestaciones clínicas. Usted ya ha estudiado el nexo entre la acomodación y la convergencia. Dada su importancia en la visión binocular y las manifestaciones clínicas, estudiaremos los movimientos vergenciales horizontales en mayor detalle. La referencia principal para el material de lectura de hoy es: McCormack GL. Capítulo 5 – Fusión y binocularidad, en Borish's Clinical Refraction (1998), 133-146.</p>

**TIPOS DE
VERGENCIAS
HORIZONTALES**

Las vergencias horizontales pueden subdividirse en 6 tipos. Estos son:

- Disparidad de vergencia (también llamado vergencia fusional)
- Vergencia acomodativa
- Vergencia tónica
- Adaptación vergencial
- Vergencia proximal
- Vergencia voluntaria

A pesar de que el libro de acomodación ocular, convergencia y disparidad de fijación de Goss, se refiere a 4 tipos de convergencia, no menciona la adaptación vergencial y la vergencia voluntaria.

TIPOS DE
VERGENCIA
HORIZONTAL

Disparidad de Vergencia

De nuestro estudio de dirección visual, podemos concluir que en una visión binocular normal, y para los objetos ubicados en la línea media:

1. Los objetos localizados en la intersección de ambos ejes visuales se verán como sencillos.
2. Los objetos en cualquier otra distancia se verán como dobles. Aquellos que estén más allá del punto de fijación se verán en **diplopia homónima**; los objetos vistos más cerca que el punto de fijación se verán en **diplopia cruzada**.

Usted puede demostrar esto con un simple experimento como el que se muestra en **Steinman, fig 2-20 (p.35)**. Mantenga dos dedos o esferos frente a usted, uno cerca y otro lejos, y fije uno de ellos. Al fijar el objeto que se encuentra cercano (los ejes visuales se intersecan aquí), el objeto lejano se verá doble y viceversa. Recordando las leyes de Hering de dirección visual, se puede predecir que el objeto no fijado se verá doble porque tiene una dirección visual distinta en cada ojo.

La figura 17.2 muestra un objeto que se encuentra antes del punto de fijación. Esto estimulara los puntos temporales de ambas retinas. Al transferir ambas líneas óculo-céntricas (señal local) de ambos ojos al ojo cíclope, se puede ver que la información de dirección visual de cada ojo es diferente. Las líneas visuales no se corresponden porque caen en puntos retinianos no correspondientes (puntos en ambos ojos que tienen direcciones visuales distintas). Por lo tanto existe una coincidencia errónea o **disparidad** en las direcciones visuales asociadas con las imágenes retinianas en ambos ojos.

Las imágenes, que caen en puntos retinianos no correspondientes, no pueden ser fusionadas porque tienen una disparidad retiniana, o diferencias en sus direcciones visuales óculo-céntricas. Esta disparidad retinal estimula un reflejo neurológico llamado disparidad de vergencia.

Dado que la disparidad de vergencia es la única forma de inervación vergencial que responde directamente a la disparidad retiniana, es la principal responsable del mantenimiento de la Binocularidad mediante la reducción de la disparidad retiniana (para el objeto de interés) al mínimo. Todas las otras formas de inervación vergencial juegan un papel de soporte para la disparidad vergencial. La disparidad de vergencia se asocia con el punto de fijación pretendido. El comportamiento reflejo de la disparidad de vergencia libra la atención del acto de convergencia, permitiendo que la atención se concentre en el procesamiento de la información visual. (McCormack, p. 1328).

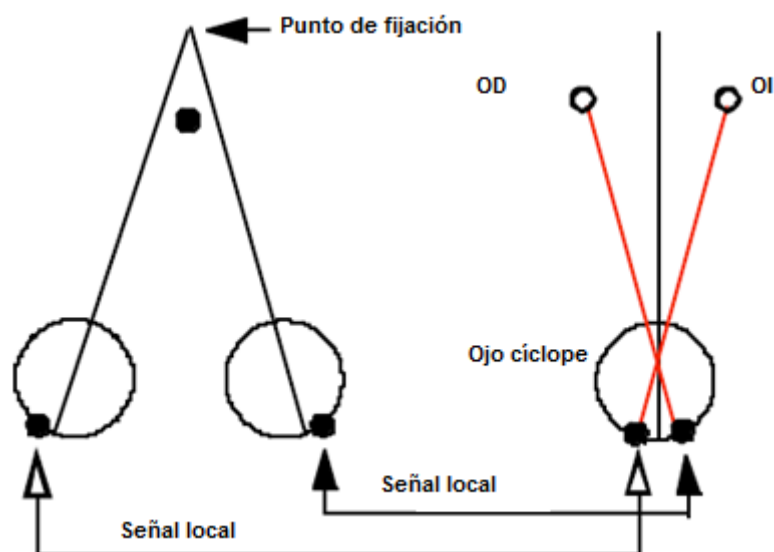


Figura 17.2 Disparidad cruzada

La figura 17.2 ilustra un ejemplo de **disparidad cruzada**, que da origen a la diplopia heterónima. La disparidad retinal para un objeto no-fijado significa que su imagen cae en puntos retinianos que tienen diferentes direcciones visuales en ambos ojos. La diplopia heterónima se da cuando un objeto está más cerca que el punto de fijación.

TIPOS DE VERGENCIAS HORIZONTALES

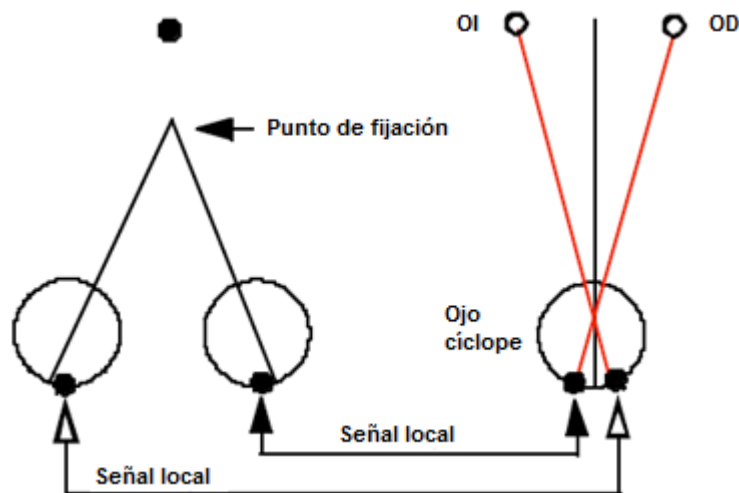


Figura 17.3 Disparidad no cruzada

La figura 17.3 muestra como un objeto localizado más allá del punto de fijación es visto en **disparidad no cruzada**. Esto resulta en diplopia homónima

La presencia ya sea de disparidad cruzada o no cruzada en ambas retinas es detectada por un centro de control vergencial en el cerebro, cuya función es mantener la fusión motora y la visión binocular. Cuando se detecta una disparidad retiniana, se estimula una disparidad vergencial y se envía una señal inervacional a los músculos extraoculares para hacerlos converger o divergir, según se necesite, con el fin de eliminar la disparidad. La disparidad es monitoreada constantemente por un circuito de retroalimentación. Esto se resume en la **fig 5-10 en McCormack (Borish)**.

Vergencia acomodativa

Si un objeto de interés se localiza más cerca a la persona que al punto de fijación, se verá borroso. La acomodación es requerida para enfocar en material cercano y cuando se cambia la atención al objeto cercano, la acomodación refleja se estimula de manera inconsciente. De manera similar, la vergencia refleja también se estimulará. El paralelo entre ambos mecanismos se ilustra en la **Fig. 5-13 in McCormack..**

Note que el sistema de convergencia refleja y acomodación refleja están conectados. El centro de disparidad de vergencia envía dos señales. Una es la inervación de disparidad de vergencia, pero, también envía una señal para estimular la acomodación. Esto se conoce como inervación convergencia /acomodación (ICA) y combina la inervación de acomodación refleja (IAR) para estimular el músculo ciliar (MC).

Igualmente, la acomodación también ayuda a converger a los ojos. El centro de reflejo de acomodación (RA) envía una señal para estimular la inervación de acomodación refleja y una señal para estimular la inervación vergencia/acomodación. Estas inervaciones se computan y estimulan los músculos extraoculares.

La cantidad de vergencia acomodativa (en dioptrías prismáticas) asociadas con una dioptría de acomodación se conoce como el radio AC/A, y generalmente es de 4:1. Puede tener un rango desde 1:1 hasta 7:1. El análisis del radio AC/A es importante en el diagnóstico y tratamiento de las anomalías de la visión binocular.

Similarmemente, el radio de acomodación (dioptrías) estimulado por dioptría prismática de reflejo vergencial es del CA/C, generalmente alrededor de 1:10 para un adulto joven.

Vergencia tónica

Si se cortara toda la inervación de los músculos extraoculares, los ojos divergirían alrededor de 17 dioptrías prismáticas rompiendo el paralelismo (postura exo). Esto se conoce con el nombre de **posición anatómica de reposo**. También es la posición de los ojos durante la anestesia.

TIPOS DE VERGENCIAS HORIZONTALES

Cuando se proporciona una inervación normal a los músculos, pero no se tiene un estímulo visual (en la oscuridad o con los ojos cerrados), el tono muscular normal lleva los ojos a una posición paralela (o levemente endo). Esto se conoce como **vergencia tónica**. También se conoce con el nombre de **vergencia en la oscuridad**.

Esto facilita el trabajo de la disparidad de vergencia, pues la mayoría del trabajo para converger los ojos desde su posición anatómica de reposo a una paralela, es hecho por la vergencia tónica. La vergencia tónica no recibe un estímulo visual y no provee de inervación sinkinética a ningún otro mecanismo.

Una leve cantidad de **acomodación tónica** está presente también. Cuando los ojos están totalmente relajados (por ejemplo, al cerrarlos), el músculo ciliar aun está acomodando en alguna cantidad. McCormack dice que la acomodación tónica es de alrededor de 1 dioptría.

La vergencia tónica está estrechamente correlacionada con las forias en visión lejana. Goss (p.11) dice, "la convergencia tónica representa la posición fisiológica de descanso. La foria en visión lejana con la refracción subjetiva en uso se toma como una medida de convergencia tónica".

Otras referencias dicen que la posición de los ojos asociadas con la vergencia tónica no es generalmente la foria en visión lejana, aunque estén estrechamente relacionadas. Se resalta que la vergencia tónica generalmente deja a los ojos en una leve convergencia (3-5 dioptrías prismáticas), pero, la foria en visión lejana generalmente es un poco más divergente (exo). Esto puede darse porque durante la vergencia tónica (no fijación), los ojos convergen y acomodan hacia un punto de alrededor de 1.2 metros de distancia. No obstante, durante la medición de las forias los ojos fijan un objeto lejano. En ese caso, un reflejo de acomodación negativo junto con un reflejo vergencial negativo actúan, haciendo que los ojos se muevan hacia una postura mucho más exofórica.

Adaptación vergencial

La adaptación vergencial es el tipo de vergencia que lentamente se da varios minutos después de que los ojos han cambiado a un nuevo punto de fijación. No es estimulada directamente por ningún estímulo visual de la retina, sino por la disparidad de vergencia y la vergencia por acomodación.

Con la fijación firme en algún punto cercano (al leer), la disparidad de vergencia y las vergencias acomodativas disminuyen gradualmente y son reemplazadas con la adaptación vergencial. La disparidad de vergencia y la vergencia acomodativa responden rápidamente a cambios en la distancia de fijación. La adaptación vergencial requiere de varios minutos para desencadenarse.

La adaptación vergencial varía de una persona a otra. Algunas personas tienen un fuerte mecanismo de adaptación vergencial. Algunas tienen muy poca adaptación vergencial. El grado de adaptación vergencial responde a la disparidad de vergencia o a la vergencia acomodativa de una persona a otra.

La adaptación vergencial puede complicar el manejo clínico de la heteroforia. Algunos pacientes con exoforia en visión próxima pueden beneficiarse de un prisma base interna para VP. El prisma base interna le permitirá al paciente mantener una fijación bifoveal de los objetos cercanos. Después de usar el prisma por varios minutos, algunos pacientes se adaptan al mismo y muestran una exoforia mayor a la que originalmente tenían. En ese caso, la cantidad prismática que se prescribió tiene muy poco, o no tiene, efecto.

McCormack sugiere que antes de prescribir un prisma, se debe volver a examinar a los pacientes después de que han usado una corrección prismática alrededor de 15 minutos. Si el paciente no se ha adaptado a la corrección, las dos mediciones de la foria deben ser iguales. Si la foria aumenta luego de usar el prisma, significa que la adaptación vergencial puede ocurrir con prismas verticales y con lentes positivos o negativos.

Para resumir, la adaptación vergencial es un mecanismo que ayuda a la disparidad y a la vergencia acomodativa al encargarse cuando el paciente debe mantener una cierta cantidad de vergencia por un tiempo prolongado.

TIPOS DE VERGENCIAS HORIZONTALES

La vergencia proximal es un mecanismo oculomotor, distinto a los otros tipos de vergencia, que es estimulada por la distancia percibida de un objeto cercano. No es estimulada por la disparidad retiniana. Cuando la demanda de convergencia es grande, como cuando se cambia la fijación de lejos a cerca para leer, la vergencia proximal inicia la secuencia vergencial con un paso vergencial grande. Esto sitúa al objeto dentro de un rango para que la disparidad de vergencia actúe.

La distancia percibida para un objeto cercano también estimula **la acomodación proximal**. La vergencia proximal y la acomodación son estimuladas de manera automática siempre que el cerebro asume que los objetos están más cerca que el punto de fijación original. La **convergencia instrumental** y la **miopía instrumental** son ejemplos de esto.

Los microscopios, estereoscopios y otros instrumentos son diseñados para estimular la visión en visión lejana. Es decir, el principio óptico del instrumento crea un objeto virtual en el infinito, derecho al frente. Su cerebro sabe, sin embargo, que el objeto está cerca. Por ejemplo, usted puede estar manipulando un objeto microscópico y su retroalimentación táctil le dice que el objeto que está viendo está cerca. La percepción de cercanía estimula la convergencia proximal; los ojos pueden converger y resultar generando una diplopia. La imagen también puede verse borrosa debido a la acomodación proximal. Esto puede generar fatiga visual en algunas personas cuando emplean instrumentos como los microscopios.

Vergencia voluntaria

Esta es la vergencia que una persona puede aplicar de manera consciente. Por ejemplo, al intentar fusionar un estereograma, usted puede requerir ajustar su vergencia hacia afuera y adentro para lograr la fusión. Otro ejemplo común es cuando las personas voluntariamente convergen sus ojos.

Es difícil mantener la vergencia voluntaria por un largo periodo de tiempo. Si la persona necesita mantener voluntariamente la fusión por mucho tiempo, puede interferir con el procesamiento de la información visual, la vergencia voluntaria puede ser útil en terapia visual, porque permite que el paciente empiece a fusionar ciertos objetos de entrenamiento cuando otros mecanismos vergenciales siguen débiles.

BIBLIOGRAFÍA

- Howard IP and Rogers BJ. **Binocular Vision and Stereopsis**, Oxford University Press, New York. 1995; pp 595
- Ono, H. 1991. **Binocular visual directions of an object when seen as single or double**, in Regan D (ed). **Binocular Vision Vol 9. Vision and Visual Dysfunction. A 17 volume series** 1991.
- McCormack GL. **Chapter 5 - Fusion and Binocularity**, in **Borish's Clinical Refraction** (1998), 133-146. and Chapter 9, p. 747-751.
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000.
- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy**, 3rd Edition, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Kaufmann, PL. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.
- Regan D. **Binocular Vision (Vol 9 in Vision and Visual Dysfunction, 1991)**.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.