

Parte III "La forja de la cadena del conocimiento en neurooftalmología. Un fascinante viaje desde el remoto pasado..."

Sobre el oftalmoscopio directo y su impacto en la práctica médica

Rafael Muci-Mendoza

rafaelmuci@gmail.com

¿Por qué en condiciones habituales la pupila es negra? Fue esa una pregunta que atrajo la atención de los médicos desde la antigua Roma; no obstante, las razones que se esgrimieron para explicarla, aunque de un interés meramente histórico conviene resaltarlas para explicar cómo el conocimiento último se va dando mediante pequeños saltos y retrocesos, momentos de inspiración e hipótesis, de certitudes o falsedades, de mano de múltiples observadores, eslabones de una larga cadena que se van uniendo y extendiéndose hasta que ocurre la revelación última, muchas veces en un paréntesis casual. Reconocemos hoy día que las invenciones pueden ser exitosas o fallar por diferentes razones; las fallas a menudo se achacan a que ocurren "antes del tiempo que les toca", como si el tiempo pasado transcurrido sirviera para madurar la mente humana hasta lograr alcanzar un estado de receptividad que permita la percepción de la verdad.

- **Los inicios...** (1-12)

Inicialmente se sostuvo que la humedad del ojo era negra; también se sugirió que la negrura se debía a que el ojo era una especie de cubeta profunda. Sin embargo, los antiguos también estaban familiarizados con el hecho de que los ojos de los animales crepusculares eran luminosos; así, **Plinio El Viejo** (23-79 d.C.) observó que los ojos de los animales nocturnos, como los gatos,

brillaban en la oscuridad. La explicación tuvo que esperar muchos siglos hasta que en el cuarto ensayo de sus *Oeuvres de Mariotte* (2 volúmenes, Leiden, 1717), **Edme Mariotte** (1620-1684), que era a la vez físico y sacerdote, observó que los ojos de un perro es luminosa porque su "coroides" era de color blanco; y la coroides es más oscura en el hombre que en los animales, no permitiendo una imagen clara. Fue este un tímido acercamiento a la existencia del *tapetum lucidum*. **Bidloo** en el siglo 17 apreció que ningún ojo animal irradiaba una luz que no hubiera recibido; pero no fue sino hasta 1810 cuando la simple observación de que la luminosidad de los animales desaparecía en la completa oscuridad fuera establecido por **Benedict Prevost** (1755-1819). Este hallazgo erradicó para siempre aquellos conceptos como los que consideraban que la luminosidad era una especie de fosforescencia, o que la radiación nocturna provenía de la luz absorbida durante el día, o una vez más, que la luminosidad era el resultado de alguna actividad interna o "electricidad desnuda" como la de la luciérnaga, puntos de vista que se habían invocado para explicar el supuesto de que los animales con los ojos brillantes podían ver en la oscuridad...

El avance hacia una comprensión más clara del problema fue aportada por el trabajo de **Rudolphi** en 1821, quien demostró que la luminosidad del ojo animal dependía en gran medida de la dirección de los rayos incidentes; ello además confirmó que el problema era puramente físico, siendo ratificado por su observación de que el ojo de un gato decapitado igualmente producía la misma luminosidad que la del animal vivo. Años más tarde **Esser** fue todavía más lejos al mostrar que el gato decapitado era más apropiado, en razón de que sus pupilas estaban ampliamente dilatadas.



De que al menos parcialmente se trataba de un problema óptico lo que provocaba esta luminosidad animal fue demostrado más de un siglo antes, cuando **Jean Méry** (1645-1722) que trabajó en el Hotel Dieu de París, apreció en 1703 que la luminosidad del ojo del gato podía ser vista fácilmente cuando el animal se sumergía en agua. En aquel estado de animación suspendida, más que la simple dilatación de la pupila como responsable de este fenómeno, se debía a que el agua llenaba "las irregularidades de la córnea". La explicación correcta fue avanzada por **Philippe de la Hire** (1640-1818) seis años más tarde, al sostener que el fondo de ojo del gato había sido visto debido a la abolición de la refracción de la córnea debajo del agua; consecuentemente los rayos emanaban divergentes y algunos de ellos impresionaban el ojo del observador.

Hasta este momento todas estas consideraciones parecían no tener ninguna importancia práctica y aun cuando se conocía de la luminosidad en ojos humanos, el problema seguía siendo un ejercicio puramente académico. **Duddell**, en 1735, describió la luminosidad espontánea del ojo de un albino, como **Woolhouse** antes que él lo había observado en ratas blancas. Más tarde en el siglo, **Fermín** tomó nota de la luminosidad del ojo de un albino de Etiopía (y de paso sostuvo que este paciente por lo tanto podría ver en la noche, porque sus ojos eran como los de animales crepusculares). Más interés en la luminosidad espontánea del ojo humano se despertó por

la observación de **Richter** (1790) de que en una forma de ceguera, la luminosidad estaba presente. Esto llevó a **Georg Joseph Beer** en 1792 a introducir el término de "pseudo-glioma amaurótico" en casos de retinoblastoma, quien también la observó en la aniridia en 1829.

En 1821, el naturalista sueco **Karl Asmund Rudolphi** (1771-1832) notó que la luz también brillaba en los ojos de un gato decapitado y mostró que el reflejo de la luz se emitía a lo largo de la misma línea que la dirección de los rayos en curso.

- **Los años productivos...** (13-29)

Veintisiete años antes del trabajo de **Hermann von Helmholtz**, en 1823, **Jan Evangelista Purkinjé** (1787-1869), profesor de fisiología en Breslau, observó que en determinadas condiciones como al utilizar lentes para examinar la parte posterior del ojo, la pupila de los ojos humanos podía hacerse también luminosa. -"Examiné el ojo de un perro usando unas gafas con lente de miope y colocando una vela detrás de la espalda del perro... me encontré con que la luz se reflejaba desde la concavidad de la lente al interior del ojo; y a partir de allí se reflejaba nuevamente. De inmediato repetí el experimento en un ojo humano y encontré el mismo fenómeno. Un tono hermoso de color naranja se reflejó cuando la luz incidió en él". Su obra fundamental, publicada en latín, no fue reconocida durante muchos años.



Inadvertido de esta comunicación, el fenómeno fue redescubierto independientemente por **William Cumming** en Inglaterra, quien, en 1846, escribió "Sobre una apariencia luminosa del ojo humano y su aplicación a la detección de enfermedades de la retina y la parte posterior del ojo". Se explica que el eje de iluminación y observación debían que ser coincidentes para poder ver el fondo de ojo. Un año más tarde, el fisiólogo de Berlín, **Ernst Wilhelm von Brücke Ritter** (1819-1892) hizo la misma observación.

Luego no se hizo ningún intento para explicar esta luminosidad espontánea en el hombre, aunque como se vio en el caso de los animales ya había sido hecho un acercamiento cercano. Tuvo que ser redescubierto independientemente por **Cumming** en 1846 y por **Brücke Ritter** (1819-1892) en 1847. Finalmente se dio cuenta de que el observador tenía que estar en la trayectoria de los rayos emergentes. **Ernst Brucke** (1819-1892) de hecho, se acercó a la invención del oftalmoscopio al mirar a través de un tubo colocado en la llama de una vela que iluminaba el ojo, y por lo tanto podía visualizar algunos de los rayos emergentes.

Bénédict Prévost, Profesor de Filosofía en Montaubon en Francia (1755-1819), repitió los experimentos de **Mariotte**, el examen de los ojos de un gato en la oscuridad, y explicó que la retina era invisible: "No es la luz que procede desde el ojo a un objeto lo que permite al ojo percibir ese objeto, es la luz que llega a los ojos desde aquél". Este fue un descubrimiento importante que disipaba las nociones aceptadas de que la luz provenía del interior del ojo para permitir a los animales nocturnos ver en la oscuridad.

Un intento consciente de ver el fondo de ojo fue hecho más o menos al mismo tiempo (1845) por **Adolf Kussmaul** (1822-1902). Sobre la base de la explicación de **De la Hire** sobre la observación del fondo del ojo de un gato sumergido bajo el agua de **Méry**, aplica al ojo una lente plano-cóncava del mismo poder que la córnea con la esperanza ver el nervio óptico en el ojo humano vivo - un procedimiento que según dijo "debe ser de gran valor en el diagnóstico de determinadas

enfermedades de los ojos". Fracasó, porque no se percató de la necesidad de iluminar el ojo.

También existe una demanda británica de precedencia. Tres años antes de que Helmholtz anunciara su descubrimiento, **Charles Babbage** FRS (1791-1871) físico precursor de las máquinas de calcular y de las computadoras, aunque no se sabe si actuando tan conscientemente como **Kussmaul** y de qué se tratara exactamente lo que él inventó, construyó un oftalmoscopio entre 1846-1847 en ignorancia del trabajo de **Purkinjé** y adelantándose al citado **Helmholtz**. El instrumento por él inventado consistía en un trozo de espejo plano, con el plateado raspado para formar 2 o 3 pequeños agujeros en el centro, colocado dentro de un tubo en un ángulo de manera que los rayos de luz incidieran sobre él y a través de una abertura en el lado se reflejaba en el ojo del paciente; el observador veía a través de los agujeros claros desde el otro extremo del espejo. Aunque no hay evidencia documental de lo que construyó, lo hizo para ayudar al diagnóstico y tratamiento de su propia diplopía monocular. En 1847 se lo mostró al oftalmólogo **Thomas Wharton Jones** (1808-1891), afamado Profesor de Medicina Oftálmica y Quirúrgica en el University College de Londres, quien rechazó el invento, pero sólo lo hizo saber siete años después en una corta nota incluida en el capítulo sobre Oftalmoscopia en su consultado libro, "Principio y Práctica de la Medicina Oftálmica" en su edición de 1865, donde reza, "Aquí yo desearía no omitir que en la primavera del año 1854, el señor **Babbage** me mostró el modelo de un instrumento que él había ideado para mirar en el interior del ojo". Señaló **Helmholtz** acerca del instrumento: siendo el reflector un espejo de cristal, el instrumento de **Babbage** hubiera funcionado si se hubiera incluido una lente cóncava de 4 o 5 dioptrías para corregir los rayos convergentes.

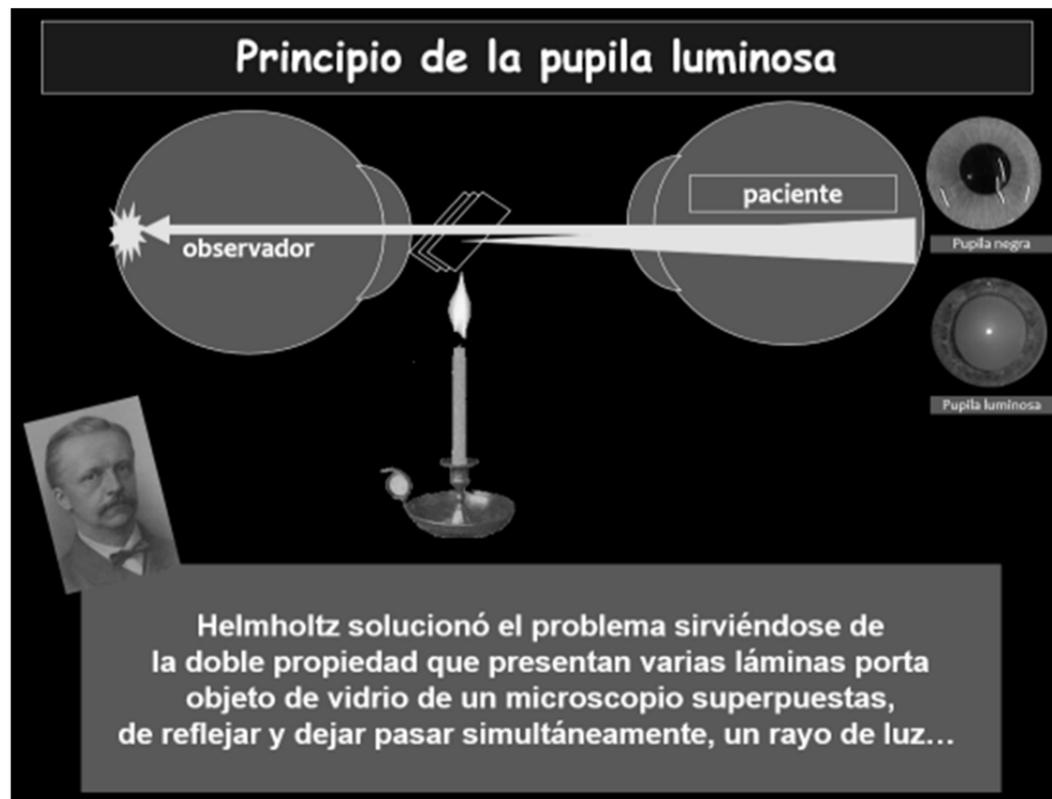
En este momento el problema óptico de luminosidad de los ojos de los animales y del ojo humano bajo ciertas condiciones de luz casi llegaba a su solución. En efecto, el hecho de que el ojo no era luminoso en condiciones normales, porque conforma un sistema óptico que retorna los rayos que provienen desde un foco lejano de

iluminación, había ya sido ya indicado por los crudos experimentos de **Kussmaul**. A pesar de que había fallado en ver el fondo del ojo vivo mediante la neutralización de la refracción de la córnea, demostró que modificando la estructura óptica del ojo a través de la eliminación tanto de la córnea como del cristalino, el fondo podría ser visto y la retina, se hacía evidente si se extraía el vítreo.

El logro al fin llegó cuando el 6 de diciembre de 1850, ante la Sociedad de Física de Berlín, **Hermann von Helmholtz** presenta su «*augenspiegel*» o espejo ocular, aparato por medio del cual se podía observar el fondo del ojo y el que después se conocería mundialmente como oftalmoscopio (Οφθαλμοσκόπια, *ophthalmoskopia* -percepción del ojo-).

Siendo profesor de Fisiología en la Universidad de Königsberg, esa ciudad que Kant jamás abandonó, mostró otra de las virtudes de la interdisciplinariedad: preparando una de sus clases se dio cuenta de que las sencillas leyes de la óptica geométrica permitían construir un instrumento de inmenso potencial para la comunidad médica: el oftalmoscopio. Pero veamos el recuento que el propio Helmholtz hace de su descubrimiento/invencción. En diciembre de 1850, escribió a su padre expresando su sorpresa porque nadie antes que él hubiese dado con la idea de ese instrumento: "Durante mis clases sobre la fisiología de los órganos sensoriales he realizado un invento que podría ser de extraordinaria utilidad en oftalmología. De hecho, es tan obvio que no se necesita saber de óptica más de la que aprendí en el Instituto. Me parece ahora ridículo que otros, o yo mismo, hayamos sido tan obtusos como para no haber pensado antes en él. Es una combinación de lentes con la que es posible iluminar el fondo oscuro del ojo a través de la pupila, sin emplear una luz cegadora, y al mismo tiempo ver detalles de la retina con mucha mayor precisión de la que permite observar los rasgos externos del ojo y sin necesidad de amplificación, ya que las partes transparentes del ojo actúan como una lupa de 20 aumentos. Se pueden ver los vasos sanguíneos más delicados, las ramas de las arterias y venas, la entrada del nervio óptico en el ojo, etc."

Helmholtz conocía perfectamente bien la anatomía del ojo y tenía conocimientos de que la retina era una superficie reflectante; sabía también que la luz que entra al ojo es reflejada, así como también que sigue el mismo camino de salida que de entrada. El experimento que **von Helmholtz** realizó ante sus alumnos consistía en una demostración sobre la conservación de la energía. Para este experimento utilizó cartón, pegamento, así como tres delgadas láminas de vidrio portaobjeto para aumentar el número de rayos reflejados en y desde el ojo, que funcionaban a la vez como espejo reflectante pero que además, permitían el paso de la luz reflejada desde el ojo del paciente hacia el ojo del observador. Agregó además una fuente luminosa próxima, si se consideran las opciones, para entonces pobre de necesidad, la cual se reflejaba en los vidrios y se dirigía al interior del ojo observado. El paso siguiente fue colocar su ojo en el trayecto de la luz y de esa forma observó el fondo del ojo, y así, el fondo de ojo en el ser humano pudo ser observado por primera vez! Fue, como él mismo señaló, "el primer hombre en contemplar claramente una retina humana en un ser vivo".



Escribió ese mismo año, "Al principio fue difícil utilizarlo -el oftalmoscopio-. Si no hubiera sido por mi firme convicción teórica de que era posible observar el fondo ocular, yo no hubiera perseverado, pero en cerca de una semana, yo fui el primero en tener éxito en obtener una clara visión de una retina humana viviente".

Las modificaciones se sucedieron en rápida secuencia, el espejo plateado con un orificio central llegó dentro del primer año. Asimismo dos grandes mejoras se introdujeron en una etapa temprana. En el oftalmoscopio original de Helmholtz se montó un soporte para una lente, pero las lentes debían cambiarse constantemente para adaptarse a los ojos de diferente refracción. **Egbert Rekoss**, un técnico de su laboratorio, modificó el instrumento haciendo algunos cambios en cuanto a la iluminación e introdujo dos discos giratorios

que llevan una serie de lentes para intercambiar y que 168 años después continúa utilizándose; mientras **Ruete** en 1852 introdujo el método indirecto de oftalmoscopia. El instrumento empezó a ser usado por diversos oftalmólogos en Inglaterra, Alemania y Holanda.

A partir de entonces una interminable serie de modificaciones y mejoras siguió. La búsqueda de la fuente ideal de iluminación llevó a los intentos de utilizar aceite, gasolina, gas, luz de día y casi cada una de las llamas monocromáticas concebibles. El oftalmoscopio refractante se introdujo en 1870, mientras que las tentativas para inventar oftalmoscopios eléctricos fueron llevadas a cabo unos quince años más tarde, siendo uno de los primeros el de **Juler** en 1886.

La introducción del oftalmoscopio en oftalmología clínica fue facilitada por la brillante aplicación por **von Graefe** y sus colegas. Recibida con entusiasmo por ellos pero no tan bien en otros lugares, pues se argumentó que era peligroso para un ojo enfermo someterlo a toda esta iluminación. **Dixon**, de Londres, 1853, expresó el temor de que su uso podría conducir a la amaurosis. Algunos, más condescendientes, sostuvieron que podría ser un instrumento útil para aquel tipo de oculistas que tuvieran problemas visuales ellos mismos. En Francia, se brindó apoyo calificado al oftalmoscopio - como de hecho fue el caso con los modelos anteriores que tenían solamente una lente cóncava-.

Fue **Anagnostakis** quien en 1854, popularizó el instrumento en Francia a través de una serie de excelentes observaciones. En Inglaterra, el trabajo pionero fue hecho por **Spencer Watson**, y el apoyo ardiente vino de **sir William Bowman** (1816-1892), y tan tarde como en 1855 la Revista *The Lancet* todavía se refería al instrumento mostrando escepticismo acerca de su valor. En otros países, Holanda exceptuado, penetró aún más lentamente. Sin embargo, para el momento en la Primera Conferencia Internacional de Oftalmología llevada a cabo en 1857 el oftalmoscopio había llegado a ser lo suficientemente significativo como para reclamar la primera discusión. En apenas una década el oftalmoscopio había revolucionado la oftalmología.

Pero también, el oftalmoscopio reforzó la atención sobre el estado refractivo del ojo, proporcionando al mismo tiempo, medios objetivos para su cálculo. En gran medida el trabajo de **Franciscus Donders** (1818-1889) fue el resultado de la introducción del oftalmoscopio. Pero incluso de mayor alcance, fue la demolición del rompecabezas de la amaurosis. De un solo golpe conjeturas sin fin, especulaciones, teorías y discusiones dejaron de tener sentido. Una nueva concepción del glaucoma surgió tempranamente gracias al instrumento, incluso, si al principio se sostuvo que en el glaucoma no habían cambios presentes en el fondo del ojo, esta opinión fue reemplazada por el temprano error de que existía edema del disco, pero para 1855 **von Graefe**, que con otros habían caído en el error anterior, describió la excavación patológica y la pulsación de la arteria central de la retina, y en adición, la iridectomía como un método de tratamiento de la hasta entonces mal entendida y desesperanzada enfermedad, se desarrolló rápidamente.

Un nuevo capítulo – **la oftalmología médica** – fue abierta por **von Graefe** en 1855 y **Heymann** en 1856 por la descripción de la retinitis albuminúrica –como se designó inicialmente a la retinopatía hipertensiva maligna–, mientras que en 1860 el mismo **von Graefe** presta una gran ayuda a la neurología por su observación del “edema de papila bilateral” como expresión de la hipertensión intracraneal. **Coccius** en 1853 describe el desprendimiento de la retina y la retinosis pigmentaria. La trombosis de la vena central fue reconocida por **Liebrich** en 1855, mientras que **von Graefe** describió la embolia de la arteria central en 1860.

Este instrumento pequeño, de fácil manejo y transporte genera un haz de luz, consta de una cabeza, un cuello y un mango. Visto por su parte frontal superior tiene un orificio visor de unos 3 mm de diámetro.

A los lados, abulta en la estructura, el disco rotatorio de Rekoss, que contiene lentes de diferente poder dióptrico, las cuales permiten enfocar el fondo del ojo. Existen 12 lentes positivas o convergentes

(+1, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8, +10, +12, +15, +20; en algunos hay otra adicional, +40), y 11 negativas o divergentes (-1, -2, -3, -4, -5, -6, -8, -10, -15, -20, -25). El disco de Rekoss gira en sentido horario lentes positivos (+) y en sentido anti horario lentes negativos (-). El observador puede estar al tanto de la lente que usa mediante una ventanilla que se encuentra en la base de la cabeza del oftalmoscopio a través de la cual se ven los signos +/- en colores negro o azul para lentes positivas y rojo para las negativas. Las primeras se usan en ojos hipermétropes o afáquicos y las segundas en ojos miópicos.



El oftalmoscopio directo de Welch-Allyn y sus aperturas



Colofón

Como la adquisición de todo conocimiento, la invención o descubrimiento del oftalmoscopio, según se le vea, ha sido un proceso largo y tortuoso guiado por la curiosidad del hombre, tamizado por su intelecto y dado a la vida por su grandeza. Con todo, no sabemos que maravillas nos depara el futuro.

El mayor alcance del oftalmoscopio fue la desvelación y la demolición del rompecabezas de la "amaurosis" o "catarata negra", y así, de un solo golpe, conjeturas sin fin, especulaciones, teorías y discusiones dejaron de tener algún sentido. ¡La amaurosis, esa condición que había sido definida como aquella en la que el paciente no veía nada y el oculista tampoco, había dejado de existir...!

En 1852, el gran neurólogo francés **Jean-Martin Charcot** (1867-1936), dos años después de su descubrimiento escribió: *"L'ophtalmoscopie c'est l'anatomie pathologique faite sur le vivant. Mieux encore, c'est l'anatomie pathologique vivante"* -"La oftalmoscopia es la anatomía patológica realizada sobre el ser viviente, por tanto, es la anatomía patológica viviente"; y su preminencia no ha sido superada por ningún otro método endoscópico a la cabecera del enfermo.

En su simpleza, el oftalmoscopio directo ha permitido el prodigio de traer hacia el «exterior» la enfermedad sistémica agazapada en el «interior» del humano enfermo, infortunadamente la evolución de la técnica está poniendo en peligro el que su importancia y empleo vaya siendo olvidado por las nuevas generaciones médicas.

Sea pues este un homenaje a todos los pioneros y a quienes mantienen, a pesar de todo, encendida su luz...

Referencias

1. Loring EG. Text-Book of Ophthalmology, Part 1. London, England: Henry Kimpton; 1892.
2. Friedenwald H. The history of the invention and of the development of the ophthalmoscope. JAMA 1902;38:549-552.
3. Schett A. The ophthalmoscope. Vol 1 [textbook]. In: Hirschberg History of Ophthalmology: The Monographs. Vol 2. Ostend, Belgium: J-P Wayenborgh; 1996:40.

4. Keeler CR. The ophthalmoscope. Vol 2 [atlas]. In: Hirschberg History of Ophthalmology: The Monographs. Vol 2. Ostend, Belgium: J-P Wayenborgh; 1996:97.
5. Chambers Encyclopaedia. Vol 1. London, England: William & Robert Chambers. 1901.
6. Dennett WS. The electric light ophthalmoscope. Trans Am Ophthalmol Soc. 885;4:156-157.
7. Rucker WC. A History of the Ophthalmoscope. Rochester, Minn: Whiting Printers.1971.
8. Walton H. A Practical Treatise on the Diseases of the Eye. 3rd ed. London, England: Churchill. 1875.
9. von Helmholtz HLF. Beschreibung eines AugenSpiegels. Berlin, Germany: A Foerstner'sche Verlagsbuchhandlung. 1851.
10. Davidson JM. The electric light applied to the ophthalmoscope. Lancet. January 1886:209-210.
11. den Tonkelaar I, Henkes HE, Van Leersum GK, eds. Eye and instruments. In: Nineteenth Century Ophthalmological Instruments in the Netherlands. Amsterdam, the Netherlands: Batavian Lion; 1996.
12. Keeler CR. A brief history of the ophthalmoscope. Optom Pract. 2003;4:137-147.
13. Bell WO. Recent advances in the construction of the ophthalmoscope. Arch Ophthalmol. 1932;7:601-612.
14. Chance B. Short studies on the history of ophthalmology. The coming of the ophthalmoscope into England. Arch Ophthalmol. 1935;13:348-361.
15. Clark WD. The ophthalmoscope. Dioptric Rev. 1936;39:317-336.
16. Emsley HH. Some notes on the history of the development of the ophthalmoscope. Refractionist. 1928;16 July, 280-283; 1 Aug, 296-298; 16 Aug, 311-313; 1 Sep, 326-327.
17. Friedenwald J. A critical study of the modern ophthalmoscope. Trans Am Ophthalmol Soc. 1928;26,381-426.

18. Keeler CR. Hirschberg's History of Ophthalmology. The Monographs, vol. 2. II The Ophthalmoscope: Atlas. Ostende: JP Wayenborgh. 1997.
19. Keeler CR. The evolution of the British ophthalmoscope. *Doc Ophthalmol.* 1997;94:139–150.
20. Keeler CR. 150 years since Babbage's ophthalmoscope. *Arch Ophthalmol* 1997;115:1456–1457.
21. Loring EG. Text-book of Ophthalmology, Part 1. London: Henry Kimpton. 1892.
22. McMullen WH. The evolution of the ophthalmoscope. *Br J Ophthalmol.* 1917;1:593–599.
23. Pain IDC. Ophthalmoscopes. *Dispens Optician* 1967; Jan/Feb, 3–15.
24. Ravin JG. Sesquicentennial of the ophthalmoscope. *Arch Ophthalmol.* 1999;56:1634–1638.
25. Rucker CW. A History of the Ophthalmoscope. Rochester, MN: Whiting Printers and Stationers. 1971.
26. Schett A. Hirschberg's History of Ophthalmology. The Monographs, vol. 2. I: The Ophthalmoscope. Ostende: JP Wayenborgh. 1996.
27. von Haugwitz T. Hirschberg's History of Ophthalmology, vol. 11, part 2. Optical Instruments. Ostende: JP Wayenborgh. 1986
28. Wilbur CK. *Antique Medical Instruments*, 4th ed, pp. 41–7. Atglen, USA: Schiffer. 2000.
29. Wood C. Ophthalmoscope. *Am Encycloped Ophthalmol.* XII, 8938–9018. 1918.
- 30.

Forms of abnormal angiogenesis encountered in ocular neovascular disorders. (A) The vascular network of the retina consists of the superficial and intraretinal vascular plexus, which provide oxygen and nutrients to the inner two-thirds of the retina. The outer one-third of the retina (photoreceptors and retinal pigment epithelium (RPE)) receives its blood supply from the choroidal circulation. (B) Retinal neovascularization involves the proliferation of new vessels from the superficial retina at the vitreoretinal interface. These fragile and tortuous neovessels often result in hemorrhage, fibrosis, and traction of the retina. (C) In choroidal neovascularization, new vessels arising from the choroidal circulation grow through breaks in Bruch's membrane (BM) under the RPE, neurosensory retina, or a combination of both. (D) In some cases, neovascularization forms in the neurosensory retina and at later stages may form

anastomoses with the choroidal circulation (CC), which is also known as retinal angiomatous proliferation (RAP) or retinochoroidal anastomosis (RCA). GCL, ganglion cell layer; INL, inner nuclear layer; POS, photoreceptor outer segments.

Formas de angiogénesis anormal (neovascularización) en los trastornos oculares. (A) La red vascular de la retina consiste en el plexo vascular superficial e intrarretiniano, que proporcionan oxígeno y nutrientes a los dos tercios internos de la retina. El tercio externo de la retina (fotorreceptores y epitelio retiniano del pigmento (RPE)) recibe su suministro de sangre de la circulación coroidea. (B) La neovascularización retinal consiste en la proliferación de nuevos vasos de la retina superficial en la interfase vítreo-retinal. Estos nuevos vasos son frágiles y tortuosos y a menudo producen tracción de la retina, hemorragia y fibrosis. (C) En la neovascularización coroidea, vasos neoformados derivados de la circulación coroidea, crecen a través de roturas en la membrana de Bruch (BM) en el epitelio pigmentado de la retina, la retina neurosensorial o una combinación de ambos. (D) En algunos casos, formas de neovascularización de la retina neurosensorial, en etapas posteriores pueden formar anastomosis con la circulación coroidea (CC), que es también conocida como proliferación angiomatosa retiniana (RAP) o anastomosis retinocoroideas (RCA). GCL: capa de células ganglionares; INL: capa nuclear interna; POS, segmentos externos de los fotorreceptores.