

IGNACIO RENERO***
SADÍ DE BUEN**
RAÚL SANTOS*

**FOTOCOAGULACION
CON
LASER**

**Estudio experimental
en ojos de conejo**

EL LASER es una forma de energía electromagnética situada en el espectro visible y el infrarrojo. El rayo tiene cualidades extraordinarias de alta energía en una breve descarga, monocromatismo y coherencia que lo sitúan en un plano especial no sólo como un triunfo de la física teórica sino también por sus importantes aplicaciones biológicas, médicas e industriales. El rayo *Laser* al compartir las propiedades de la luz tiene importantes efectos sobre el órgano de la visión. Uno de nosotros (R. S.) se trasladó a los Estados Unidos de Norte América para iniciar la experimentación en ojos de animales con uno de los primeros modelos de prueba para oftalmología. Un equipo más perfeccionado fue adquirido por el mismo autor, para continuar la experimentación en México. Los resultados iniciales de este estudio son objeto de la presente comunicación.

En este trabajo se presentan: 1o. los principios físicos del *Laser*; 2o. las alteraciones que el rayo produce en los tejidos del ojo, desde el punto de vista clínico e histológico y, 3o. se discute su aplicación terapéutica en oftalmología.

Principios físicos en que se basa la operación del *Laser*:

El término *Laser* es un acróstico formado por las iniciales de las palabras "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" y como su nombre lo indica es un rayo luminoso, o sea, una forma de radiación situada en la zona visible del espectro electromagnético. Para compren-

* Jefe del Servicio de Oftalmología del Hospital Rubén Leñero. Consultor en Oftalmología del Registro Nacional de Anatomía Patológica de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

** Profesor Titular de Histología, Facultad de Medicina, UNAM. Consultor en Patología Ocular del Registro Nacional de Anatomía Patológica.

*** Investigador del Instituto de Física de la UNAM.

der las características especiales de este tipo de radiación debemos revisar las condiciones bajo las cuales se produce el fenómeno de la emisión de la luz ordinaria. De acuerdo con los principios de la Mecánica Cuántica los electrones que giran alrededor de los núcleos formando los átomos sólo pueden encontrarse en ciertos niveles de energía. La transición de un electrón de un nivel de energía a otro ocasiona la absorción o emisión de un fotón o cuanto de luz de frecuencia bien definida. La emisión puede ser espontánea o estimulada por los propios fotones de la radiación, que actúan, por así decirlo, como catalizadores de este proceso. Para que la emisión estimulada predomine sobre la espontánea es necesario elevar un porcentaje considerable de electrones a alguno de los niveles superiores de energía. Este proceso, llamado bombeo óptico, presenta dificultades técnicas considerables debido sobre todo a que los electrones en dichos niveles tienen vidas medias muy cortas, o sea que permanecen en ellos sólo durante fracciones de tiempo del orden de millonésimos de segundo. Así pues, dos condiciones son esenciales para obtener la emisión estimulada o efecto Laser: un bombeo óptico intenso y un nivel de vida media relativamente largo llamado nivel metastable.

En el caso que nos ocupa, del Laser de rubí, el bombeo es proporcionado por un flash de Xenón de alta intensidad y para aumentar aún más la intensidad obteniendo a la vez un efecto de colimación (rayos paralelos) se emplea un dispositivo de reflexiones múltiples en el interior del cristal de rubí. Cuando se llega a un punto crítico el *Laser* se dispara produciendo un haz de alto grado de colimación, de fuerte intensidad y de radiación coherente.

Estas propiedades, características de la radiación estimulada permiten una gran cantidad de aplicaciones, entre ellas las de fotocoagulación de la retina.

DATOS CLÍNICOS

El globo ocular constituye un órgano excelente para experimentar el efecto del rayo *Laser*, pues es transparente a las radiaciones de la frecuencia del Laser de rubí, contiene tejidos representativos de las tres capas embrionarias, algunos de ellos pigmentados y es accesible al examen *in vivo* mediante el oftalmoscopio y la lámpara de hendidura. Además la aplicación al tratamiento de enfermedades oculares del hombre es un importante corolario de los resultados experimentales.

El rayo del Laser de rubí sigue en el ojo el mismo trayecto de la luz natural. El *Laser* de neodinium, de longitud de onda de 10,000 Å en la región del infrarrojo, se aplica a través de la esclerótica y produce un efecto similar al del *Laser* de rubí¹.

El efecto del *Laser* sobre el ojo, llamado fotocoagulación, fue estudiado ampliamente por Zaret y col.² en 1963 y posteriormente por Noyori y col.³ 1963 y Flocks y Zweng⁴, 1964.

Desde principios de 1964 iniciamos la experimentación cuyos resultados ahora publicamos. Se aplicó el rayo Laser a ojos de conejos, macacos y, en casos seleccionados, a seres humanos. Al variar la intensidad o la colimación del rayo se obtuvieron lesiones, retinianas o retinocoroideas, de intensidad mínima, mediana o máxima. Se estudió el efecto inmediato y a intervalos variables de tiempo, *in vivo* y en cortes histológicos.

La región del fondo de ojo donde se aplica el rayo muestra de inmediato una pequeña mancha blanco grisácea, de bordes poco definidos, de forma oval y de una a varias décimas de milímetro, (Fig. 1). En la observación oftalmoscópica o en las fotografías con la cámara de fondo de ojo la lesión aparece de mayor tamaño por la amplificación de los medios ópticos del ojo. Entre los cuatro a los ocho días se inicia la pigmentación de la lesión y a los quince días se presenta como una pequeña mancha moteada con gránulos negros. La región que rodea a la lesión no sufre alteraciones y particularmente el vítreo permanece transparente, sin alteraciones oftalmoscópicas o biomicroscópicas aparentes. La descripción anterior corresponde a lesiones de mediana intensidad.

Cuando el rayo se regula a una intensidad mínima da lugar a una opacificación tan discreta que apenas es perceptible al examen oftalmoscópico, haciéndose más visible a las pocas horas. Pasados algunos días suele ser imposible localizarla. Esto puede ser debido a que dicha lesión escape a nuestros métodos de examen o a que se produzca una restitución *ad integrum*.

Por otra parte, la intensidad máxima da lugar a una explosión coroidea con aparición de una burbuja en la retina seguida de una hemorragia hacia el vítreo.

HISTOLOGÍA DE LAS LESIONES RETINOCOROIDEAS

Las lesiones retinocoroideas observadas al microscopio consisten en un proceso degenerativo con necrosis por coagulación y reacción in-

flamatoria, de variable intensidad, de acuerdo con la energía del rayo y el tiempo transcurrido entre su aplicación y la enucleación del ojo.

Las alteraciones de pequeña o mediana intensidad se localizan en las capas externas de la retina e interesan en especial las capas nuclear externa, la de conos y bastones y el epitelio pigmentado de la retina.

Cuando la enucleación se hace a las pocas horas las alteraciones principales consisten en degeneración de algunas células del epitelio pigmentado, con pérdida de las granulaciones de melanina. Las células degeneradas alternan con otras en que sólo se aprecia discreta desorganización pigmentaria, (Fig. 2). Los conos y bastones pierden su individualidad, se aglutinan y adhieren a la capa subyacente. En las capas nuclear externa e interna se aprecia ligero edema, (Figs. 2 y 3).

Cuando la enucleación se hace tardíamente (desde nueve días en adelante) hay una íntima fusión entre retina y coroides. La mitad externa de la retina está desorganizada, con destrucción total de la capa de conos y bastones y del epitelio pigmentado y migración de pigmento a la retina sensorial. La membrana de Bruch está interrumpida y en la coroides hay moderada fibrosis y discreta infiltración linfocitaria. Los linfocitos se extienden hasta la retina. La membrana limitante interna de la retina y el vítreo adyacente no muestran alteraciones, (Figs. 4 y 5).

La aplicación de alta energía produce hemorragias coroideas y subretinianas, a veces con ruptura de la retina, (Fig. 6). En estos casos la hemorragia suele extenderse hasta el espacio prerretiniano, quedando limitada por la hialoides posterior.

COMENTARIO

Debido a la longitud de onda del rayo Laser de rubí, que lo coloca dentro del espectro visible, el rayo sufre la refracción por los medios ópticos del ojo que lo concentran limitando su acción a pequeñas zonas. Además, es absorbido, al igual que la luz ordinaria, por los tejidos pigmentados, sobre los cuales actúa de preferencia.

Por estas razones, el epitelio pigmentado de la retina es el que se altera inicialmente, y desde él, la lesión se extiende a las estructuras vecinas, dando por resultado la cicatriz retinocoroidea que se desea.

Cuando se usa la intensidad conveniente, la lesión resulta bien localizada, pues interesa únicamente las capas externas de la retina sen-

sorial, el epitelio pigmentado y la coroides adyacente. Las capas internas de la retina, sin exceptuar su membrana limitante interna y el vítreo no sufren alteraciones.

La intensidad puede juzgarse por el aspecto oftalmoscópico de la lesión, ya que siempre se obtuvo una perfecta correlación clinicopatológica. Es decir, una vez que en el transcurso de esta investigación se obtuvo suficiente experiencia, los cambios oftalmoscópicos permitieron preveer la alteración histológica.

La necrosis por coagulación producida por el rayo *Laser* induce una reacción tisular que termina por una cicatriz coriorretiniana firme como se demuestra en la figura 4, donde se aprecia la retina desprendida artificialmente sólo alrededor del lugar en que se aplicó el rayo *Lasser*. Esto significa que la adherencia es de tal firmeza que resistió la tracción ejercida sobre la retina al hacer los cortes histológicos.

Los resultados favorables en el ojo del conejo nos han estimulado a continuar las investigaciones en ojos de especies superiores y autorizado a aplicarlo en casos humanos seleccionados.

El rayo *Laser* tiene importantes aplicaciones experimentales y terapéuticas. La producción de alteraciones graduales en los tejidos profundos del ojo sin alterar la integridad del órgano permitirá delicados estudios histoquímicos y enzimáticos, así como de los procesos de cicatrización del tejido nervioso representado por la retina. En terapéutica se emplea para destruir algunos tumores pigmentados, obliterar formaciones vasculares (angiomas retinianos de *Von Hippel*) y especialmente en el tratamiento del desprendimiento de retina.

La aplicación del *Laser* para el desprendimiento de retina se funda en sus propiedades de fotocoagulación. La retina del ser humano puede desprenderse de su lecho ya que está fija por débiles fuerzas fisicoquímicas que la mantienen en aposición. Existe un espacio potencial entre la retina y su lecho, el cual se hace real cuando se desprende la retina. La causa desencadenante del desprendimiento primario en el hombre, es por lo general un desgarro de la retina. El desgarro, por pequeño que sea, puede ser suficiente para permitir la comunicación de la cavidad vítrea al espacio latente subretiniano, lo cual facilita la acumulación de líquido en dicho espacio con el consiguiente desprendimiento de la retina y pérdida de la visión. Para reaplicar la retina a su lecho se requieren dos pasos fundamentales: la punción del globo para evacuar el líquido subretiniano y la obliteración del desgarro.

El único método para lograr la obliteración es produciendo la adherencia de los bordes del desgarro al tejido coroideo subyacente mediante una lesión que de por resultado una cicatriz adherente. La lesión puede ser producida por aplicaciones a la capa externa del globo. En este grupo se incluye la lesión térmica por frío (criocoagulación), radiación electromagnética de varios centímetros a metros (electrodiatermia), sustancias químicas (hidróxido de potasio). La lesión también puede ser producida a través de los medios transparentes del ojo siguiendo el curso normal de la luz. Este método presenta la ventaja de la observación simultánea y directa del sitio que se desea tratar.

La producción de lesiones por la luz es conocida desde la antigüedad. La observación prolongada del sol como en los casos de eclipse solar ha determinado lesiones maculares en numerosas personas a través de la historia. Por ejemplo, en 1912 se tuvo conocimiento de tres mil pacientes afectados en Alemania. En 1956 *Meyer Schwickerath* informó de la producción de lesiones del fondo del ojo mediante un fotocoagulador de xenón, el cual emite radiaciones entre 3,000 y 12.000 Å. La radiación es filtrada y aplicada durante un segundo aproximadamente.

El descubrimiento del *Laser* abre un nuevo camino en fotocoagulación por su alta energía y breve exposición, monocromatismo y coherencia.

El aparato de que disponemos en México, M-10, tiene una amplia gama de energías útiles y control de la colimación del rayo. La energía máxima es de 50 milijoules y las energías útiles están entre 10 y 30 milijoules.

Creemos que los resultados obtenidos por nosotros son muy prometedores pues logramos producir adherencias retinocoroideas firmes, en el sitio escogido y con la intensidad requerida.

RESUMEN

Los A. A. describen el principio físico de rayo *Laser*, presentan su experiencia en la aplicación a ojos de conejo y los resultados clínicos e histopatológicos obtenidos. Hacen énfasis en la bondad del método para producir cicatrices retinocoroideas y describen su uso en el tratamiento del desprendimiento de la retina.

SUMMARY

The authors describe the physical principles of Laser emission. They present their experience in the experimental application of the rubi Laser for ophthalmic use. Eyes of rabbits were treated exposing the eyeground to the laser ray through the dilated pupil. The eyes were studied clinically and histologically at different times after exposure, correlating the ophthalmoscopic appearances with the histopathologic findings. The laser produced localized chorioretinal lesions that healed with a firm adherent scar. The authors find the method is useful to produce controlled chorioretinal lesions and retinal adhesions. They describe the use of laser photocoagulation in the treatment of retinal detachment.

Agradecemos al Dr. J. J. Izquierdo, Jefe del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina, UNAM, su valiosa ayuda al poner a nuestra disposición las facilidades de la granja de animales de experimentación.

El trabajo técnico lo hicieron las Sras. Angeles B. de Buen y Guadalupe Quintero de Casillas, en el Departamento de Histología de la Facultad de Medicina, UNAM.

REFERENCIAS

1. Campbell, C. J.; Noyori, K. S.; Rittler, M. C.; Innis, R. E. y Koester, C. J.: *The Application of the Fiber Laser techniques to Retinal Surgery*. Arch. Ophth. 72: 850-857, 1964.
2. Zaret, M. M.; Ripps, H.; Siegel, I. M. y Breinin, G. M.: *Laser Photocoagulation of the Eye*. Arch. Ophth. 69: 97-104, 1963.
3. Noyori, K. S.; Campbell, C. J.; Rittler, C. y Koester, C. J.: *The characteristics of Experimental Laser Coagulation of the Retina*. Arch. Ophth. 72: 254-263, 1964.
4. Flocks, M. y Zweng, H. C.: *Laser Coagulation of Ocular Tissues*. Arch. Ophth. 72: 604-611, 1964.

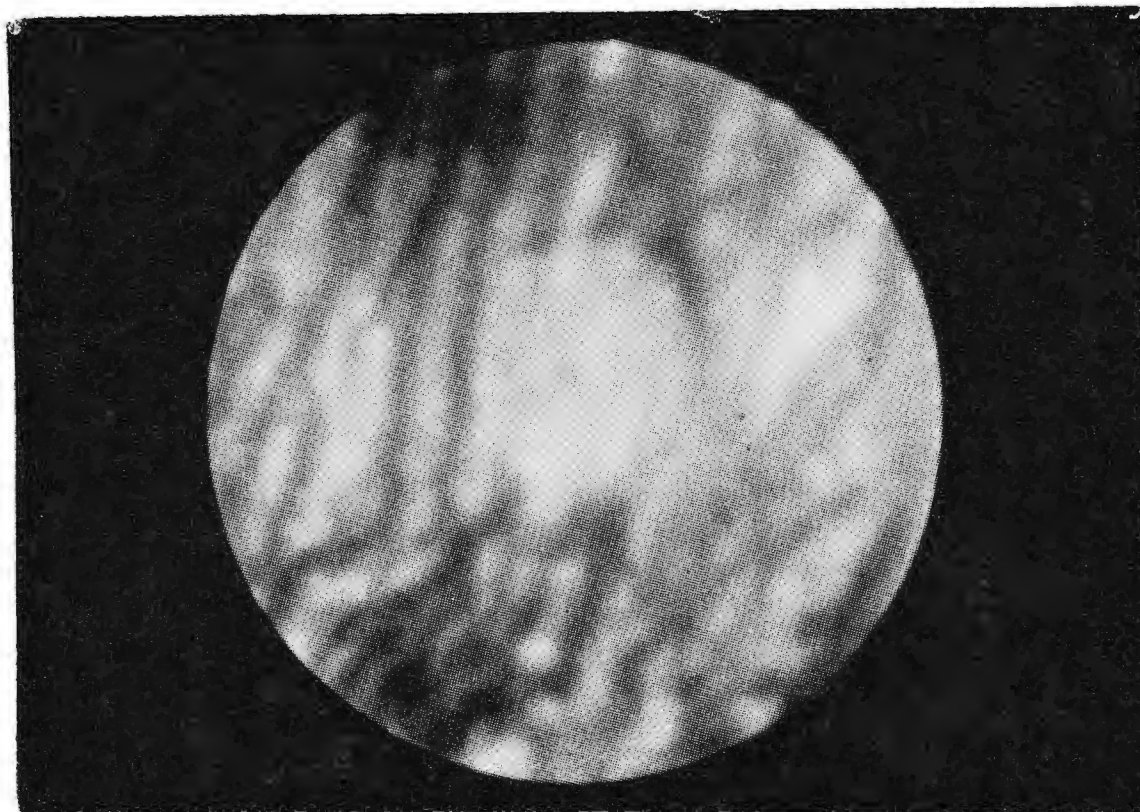


Fig. 1. Lesion retinocoroidea producida por el rayo Laser. Fotografía de fondo de ojo tomada inmediatamente después de aplicar el rayo.

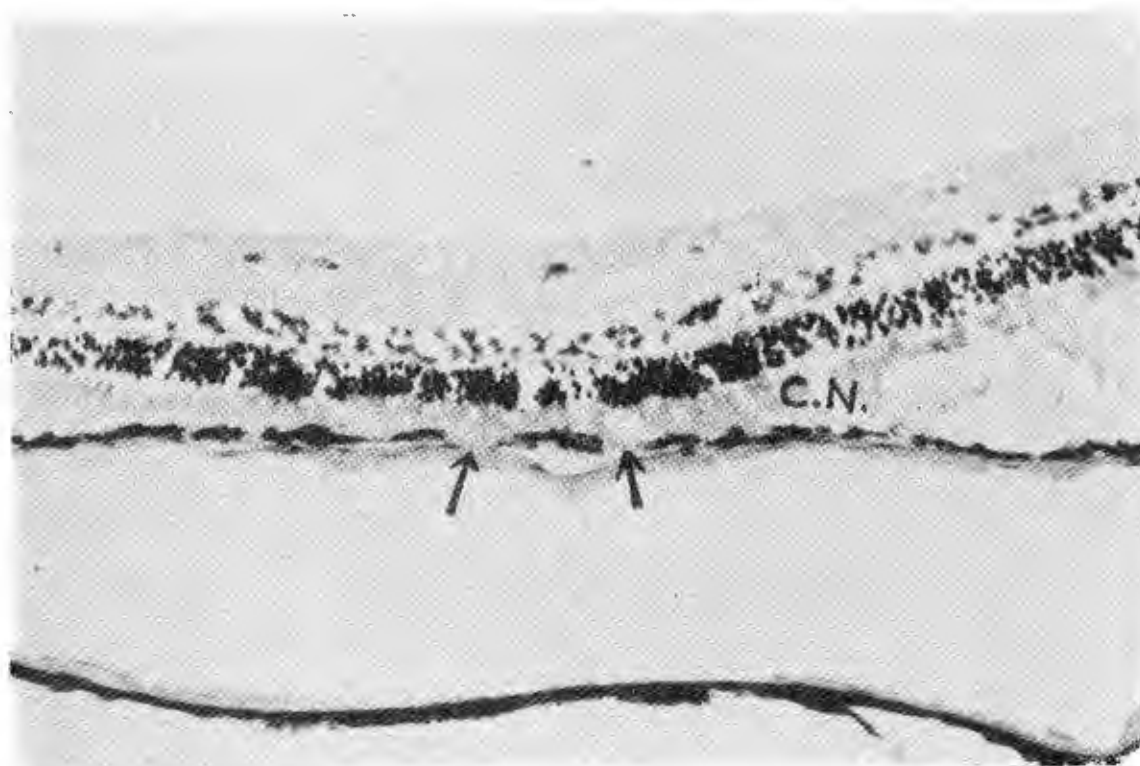


Fig. 2. Lesion retinocoroidea. Enuclación inmediata. Nótese la degeneración de algunas células del epitelio pigmentado (flechas) y la degeneración incipiente de la capa de conos y bastones (C. N.). A la derecha la retina está desprendida artificialmente. Tinción hematoxilina-eosina. (715-G, O. I.).

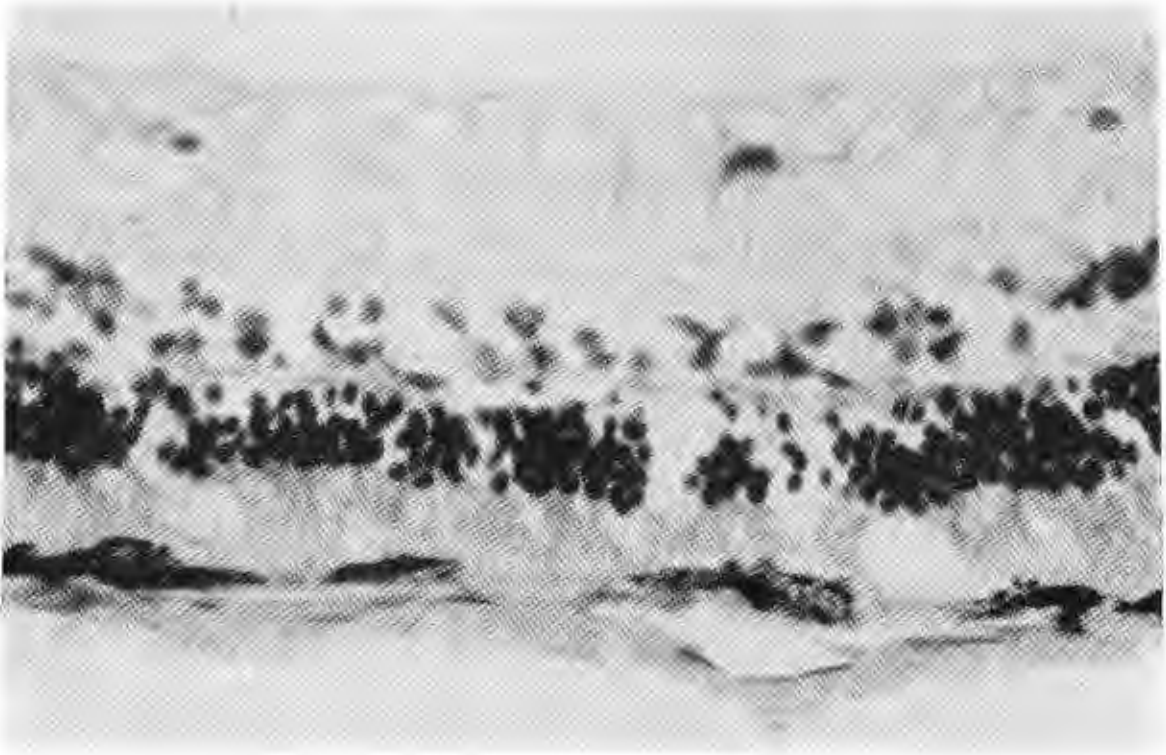


Fig. 3. Detalle de la microfotografía anterior. Aquí se aprecia mejor el edema en las capas nucleares. Tinción hematoxilina-cosina. (715-G, O. I.).

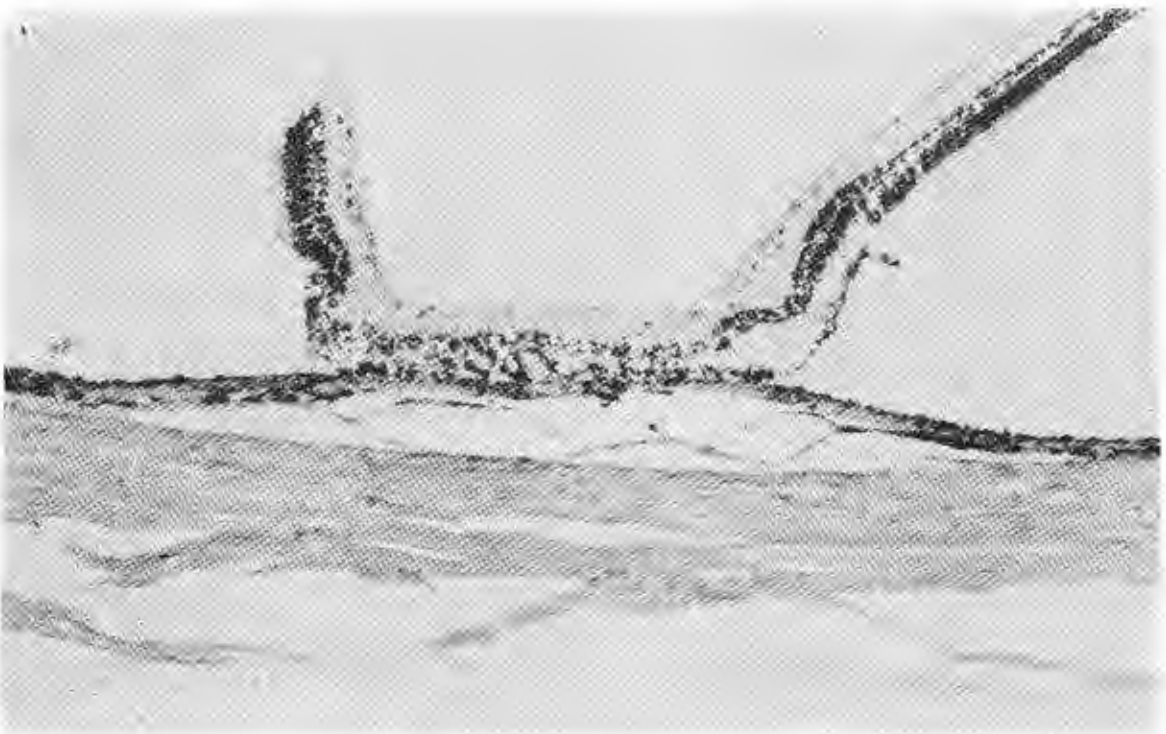


Fig. 4. Cicatriz retinocoroidea. Enucleación a los nueve días. Tinción hematoxilina-cosina. (722-G, O. D.).

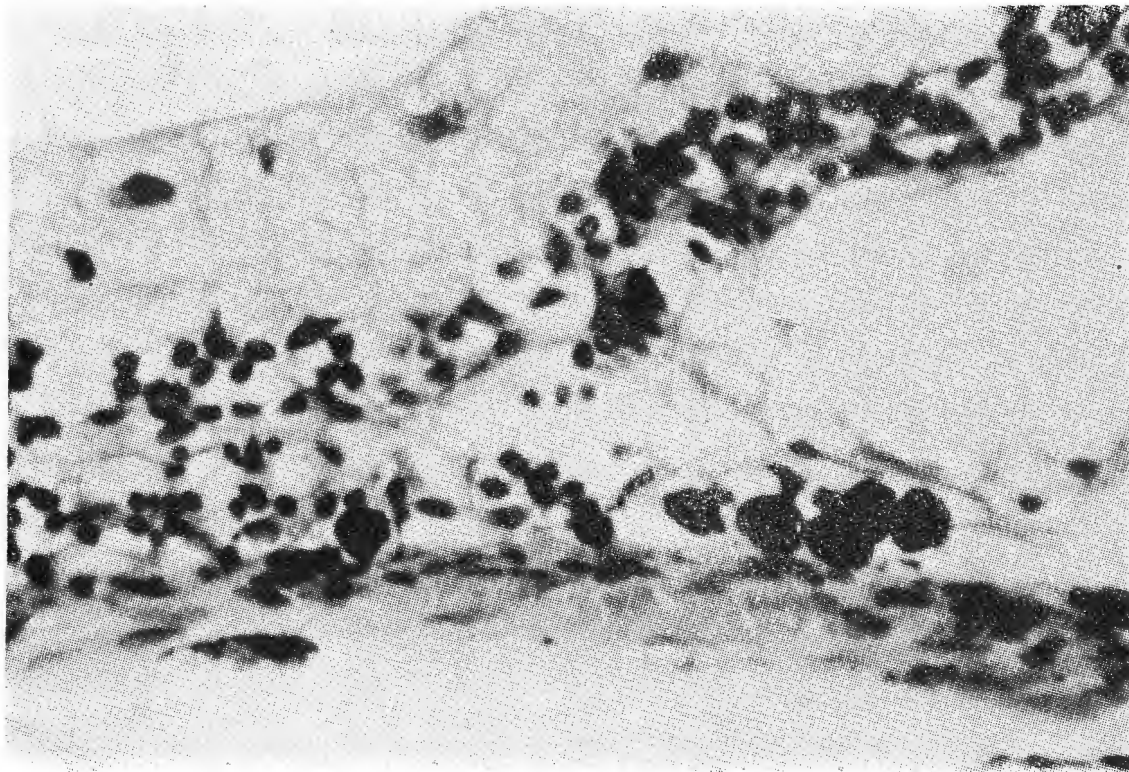


Fig. 5. Detalle de la microfotografía anterior que muestra la completa desorganización de las capas externas de la retina, con migración del pigmento melánico del epitelio pigmentado a la retina sensorial. Hay además discreta infiltración linfocitaria en la cicatriz retinocoroidea. Tinción hematoxilina- eosina. (722-G, O. D.).

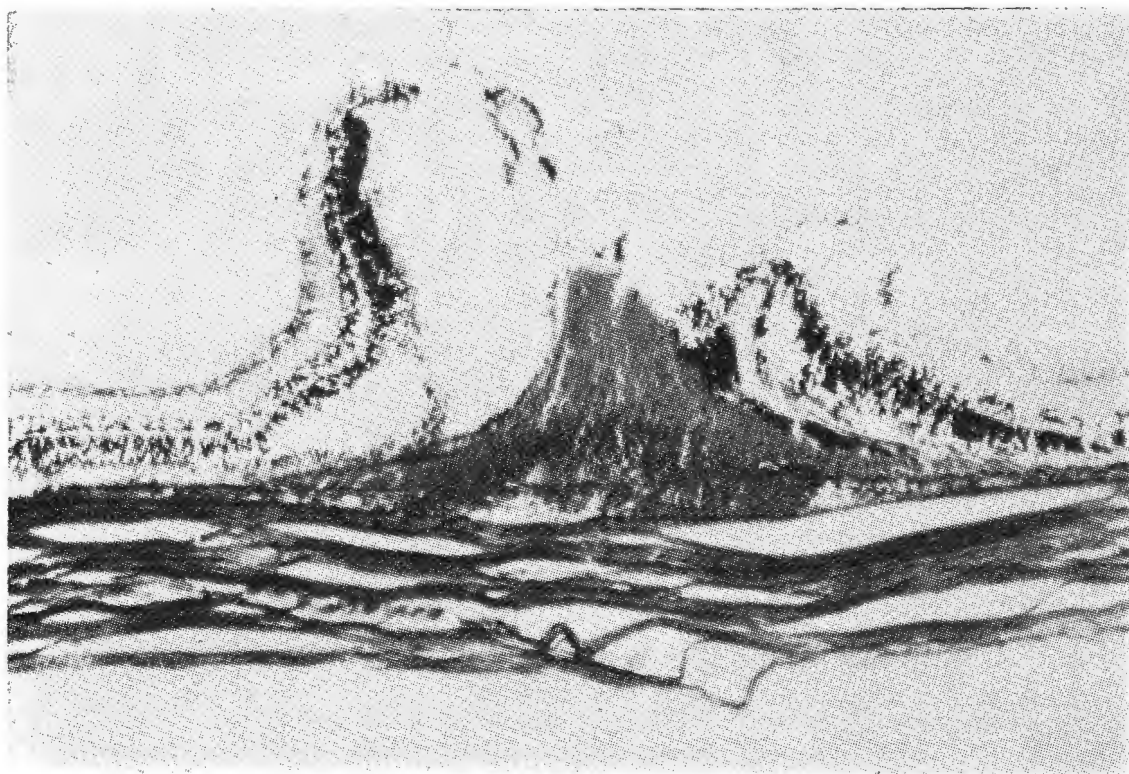


Fig. 6. Hemorragia coroidea y subretiniana, con ruptura de la retina. Aplicación de rayo Laser de alta energía; cnucleación inmediata. Tinción tricrómico de Masson. (711-G, O. I.).