

Aus dem Laboratorium für Neuroophthalmologie (Prof. Dr. J. R. WOLTER)
der Abteilung für Neuropathologie (Prof. Dr. K. SCHARENBERG)
und aus der Augenabteilung (Prof. Dr. F. B. FRALICK)
des Universitätskrankenhauses Ann Arbor, Mich., USA

Über Endigungen zentrifugaler Nervenfasern an den Blutgefäßen der menschlichen Netzhaut *

Von

J. REIMER WOLTER

Mit 9 Textabbildungen

Verschiedene histologische Befunde erlaubten kürzlich die Folgerung, daß im Sehnerven und in der Nervenfaserschicht des menschlichen Auges neben der Mehrzahl zentripetaler (afferenter) Nervenfasern auch zentrifugale (efferente, antidrome) Fasern vorhanden sind. Diese Befunde waren: 1. die Tatsache, daß Nervenfasern in Sehnerventümpfen noch jahrelang nach der Enucleation der zugehörigen Augen vorhanden waren (WOLTER und LISS⁷), 2. das Vorkommen von Nervenfaserstümpfen mit typischen Cajalschen Endkolben in *beiden* Verlaufrichtungen der Nervenfasern des Sehnerven und der Nervenfaserschicht der Netzhaut unter pathologischen Bedingungen (WOLTER⁸, WOLTER, GOLDSMITH und PHILLIPS⁹) und 3. das Überleben von Nerven der Nervenfaserschicht in völlig degenerierten Netzhäuten bei fortgeschrittener Phthisis bulbi (WOLTER¹⁰). Die Existenz von zentrifugalen Nervenfasern im Sehnerven ist schon vor langer Zeit von CAJAL¹ beim Vogel und von TELLO⁶ beim Kaninchen nachgewiesen worden. Doch wurde das Vorkommen solcher Fasern beim Menschen bisher von verschiedenen Seiten bestritten. Unsere Befunde, die eine Existenz zentrifugaler Nervenfasern beim Menschen beweisen, passen zu den elektrophysiologischen Beobachtungen an der Kaninchenretina von DODT².

Material und Methodik

Die untersuchten Präparate stammen teils von normalen menschlichen Augen, die nach dem Tode entnommen wurden, und teils von pathologisch veränderten Augen, wie sie nach der Enucleation zur histopathologischen Untersuchung kamen. Fixiert wurden alle Augen in Bromformalin (Cajalscher Lösung) — durch Injektion sofort nach der Entnahme der Augen. Für die vorliegenden Untersuchungen wurden Teile der isolierten Netzhäute der Augen auf dem Gefriermikrotom flach geschnitten und nach der Hortegaschen „doppelten Imprägnation ohne Reduktion“ versilbert, die von SCHARENBERG und ZEMAN⁵ in der deutschen Literatur ausführlich beschrieben ist. Alle vorgelegten Bilder sind unretouchierte Mikrophotogramme.

* Mit Unterstützung des US-Department of Public Health, Education and Welfare, Grant No B-475-C3.

Beschreibung und Erörterung der histologischen Befunde

In den erwähnten früheren Veröffentlichungen haben wir demonstriert, daß zentrifugale Nervenfasern vom Sehnerven her in die Nervenfaserschicht der Netzhaut eintreten⁷⁻¹⁰. Diese Fasern weisen histologisch gegenüber den zentripetalen Fasern keine besonderen Merkmale auf und lassen sich daher mit den von uns benutzten Färbetechniken unter normalen Bedingungen nicht von den zentripetalen Elementen unter-

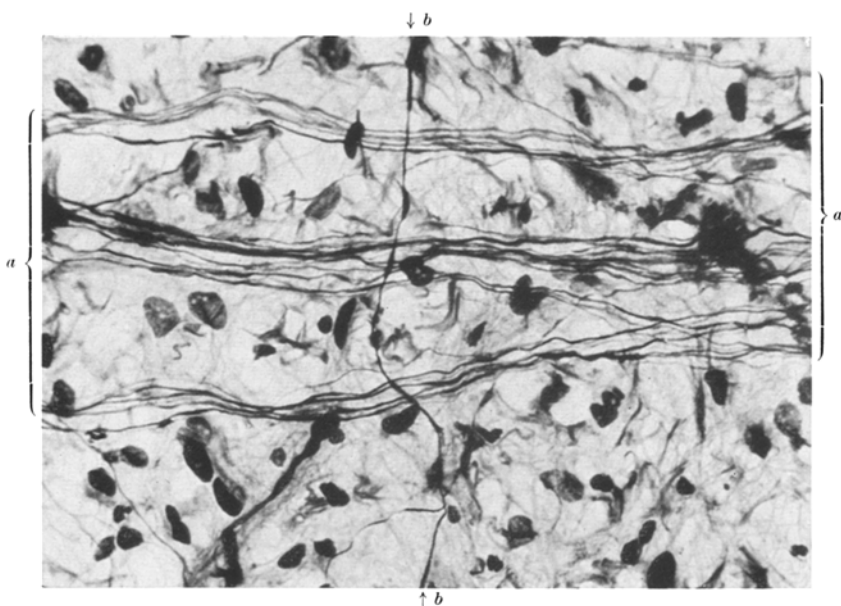


Abb. 1. Flachschnitt durch die Nervenfaserschicht der Netzhaut eines Auges mit sekundärem Glaukom. Eine Gruppe von Nervenfasern (*a—a*) liegt in der üblichen Ordnung der Fasern dieser Netzhautschicht. Eine einzelne Nervenfaser (*b—b*) verläuft quer.
Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 600 ×

scheiden. Es ist allerdings aufgefallen, daß einige von diesen zentrifugalen Fasern in der Nervenfaserschicht von der üblichen Anordnung abweichen, mit der die Fasern radiär zur Papille ausgerichtet sind. Solche Fasern können schräg oder sogar quer zur allgemeinen Verlaufsrichtung liegen (Abb. 1). Außerdem teilen sich solche Nervenfasern manchmal dichotomisch während ihres Verlaufes in der Nervenfaserschicht. Es läßt sich weiter beobachten, daß diese querverlaufenden Fasern oder deren Äste die Nervenfaserschicht nach außen hin verlassen, die Ganglienzellschicht und die innere plexiforme Schicht durchziehen und in die innere Körnerschicht eintreten.

Abb. 2 und 3 zeigen die erwähnten Nervenfasern, die die Nervenfaserschicht verlassen haben, auf ihrem Weg durch die innere plexiforme Schicht. Diese langen Nervenfasern in der genannten Netzhautschicht

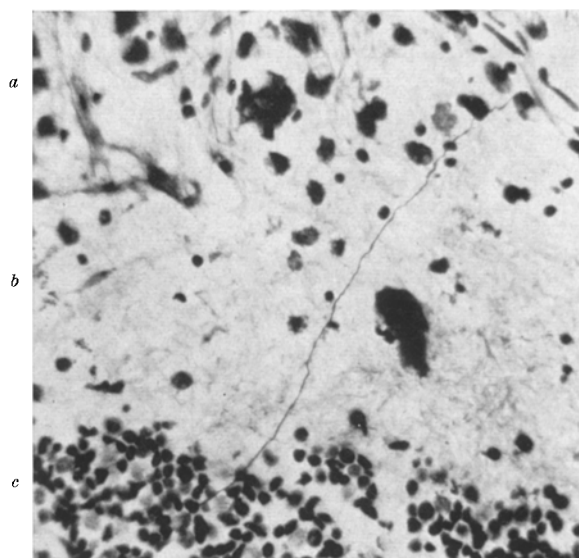


Abb. 2. Verlauf einer zentrifugalen Nervenfasern durch die Ganglienzellschicht (a), die innere plexiforme Schicht (b) und die innere Körnerschicht (c) der Netzhaut desselben Auges mit Sekundärglaukom wie in Abb. 1. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 300 ×

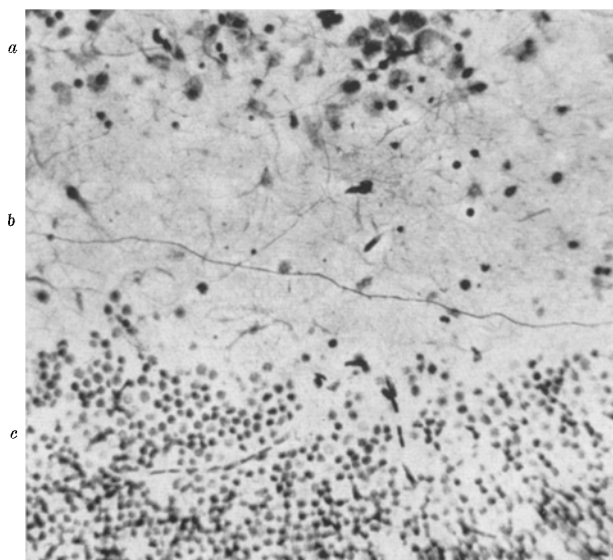


Abb. 3. Verlauf einer anderen zentrifugalen Nervenfasern in der inneren plexiformen Schicht (b) desselben Auges mit Sekundärglaukom. a Ganglienzellschicht; c innere Körnerschicht. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 300 ×

sind ein zunächst überraschender Befund. Es handelt sich dabei mit Sicherheit weder um Fortsätze der Bipolarzellen oder der Amakrinen- oder Horizontalzellen noch um Dendriten der Elemente der Ganglienzellschicht noch um Gliafasern. Vielmehr deutet alles darauf hin, daß diese langen Fasern die periphere Endstrecke von zentrifugalen Nerven darstellen, die vom Sehnerven her in der Nervenfaserschicht verlaufen.

Solche Nervenfasern, die in der Nervenfaserschicht von der Papille weg verlaufen, die sich nicht immer an die radiäre Faserordnung halten, die sich dichotomisch teilen und die aus der Nervenfaserschicht in die tieferen Netzhautschichten eintreten, enden an den Blutgefäßen der Netzhaut. Diese Fasern teilen sich gewöhnlich noch weiter dichotomisch und senden ihre Äste dann sowohl an die groben Gefäße in der inneren Netzhaut als auch an die feineren Gefäße und Capillaren der Ganglienzellschicht, der inneren plexiformen Schicht und der inneren Körnerschicht. Abb. 4 und 5 zeigen die Endformation eines solchen Nerven in der Adventitia einer größeren Arterie in der Nähe der Papille der hochgradig degenerierten Netzhaut eines blinden Auges mit hämorrhagischem Glaukom. Ohne das Gefäß selbst zu treffen, liegt der Schnitt glücklicherweise gerade so, daß er sowohl den Stamm der Nervenfaser als auch die zahllosen feinen Endäste in der Adventitia deutlich zeigt. Die Nervenfaser in diesem Bild muß als Ende eines zentrifugalen Nerven aufgefaßt werden, der aus der Nervenfaserschicht in die innere Körnerschicht kommt. Die Faser verläuft als recht grobes Element nahe an das Gefäß heran und endet in einem relativ kleinen Gefäßbereich nach vielfacher dichotomischer Teilung. Solch Verhalten ist bei den größeren Gefäßen häufig aber insgesamt nicht absolut typisch. Oftmals teilt sich der Nervenfaserstamm zunächst in viele feine Äste und diese treten dann an die Gefäße und können in unregelmäßiger Weise noch für ein Stück auf der Gefäßwand verlaufen, bevor es zur Endigung der Fasern kommt (Abb. 6). Endigungen solcher feinen Nervenäste findet man regelmäßig an den Capillaren (Abb. 7 und 8).

Es ist wichtig zu erwähnen, daß die geschilderten zentrifugalen Nervenfasern mit ihren Endigungen an den Blutgefäßen nicht nur an normalen Augen, sondern auch in solchen Netzhäuten darzustellen waren, in denen fortgeschrittene Degeneration zur Atrophie aller Neurone der Ganglienzellschicht geführt hatte (vgl. Abb. 4 und 5). Diese Tatsache weist darauf hin, daß diese Gefäßnerven zentrifugale Elemente sind, deren zugehörige Ganglienzellen nicht in der Netzhaut, sondern im Gehirn angenommen werden müssen.

Zusammen beweisen die geschilderten Befunde, daß die Blutgefäße der Netzhaut durch die Endverzweigungen von Nervenfasern innerviert werden, die aus der Nervenfaserschicht austreten und die selbst dann überleben, wenn alle Neurone der Ganglienzellschicht degeneriert sind.

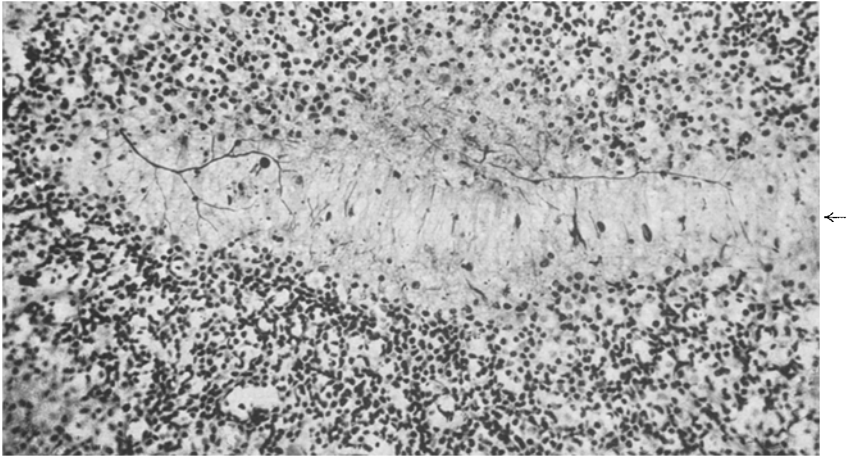


Abb. 4. Schnitt durch die Adventitia einer Arterie nahe der Papille der Netzhaut eines Auges mit hämorrhagischem Glaukom. Die Arterie (Pfeil) liegt in der inneren Körnerschicht. Im Bild von links her kommt der Stamm eines zentrifugalen Nerven, der sich auf der Adventitia verteilt. Weiter rechts im Bild ist eine andere zentrifugale Nervenfasern auf der Gefäßwand zu sehen. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 200 ×

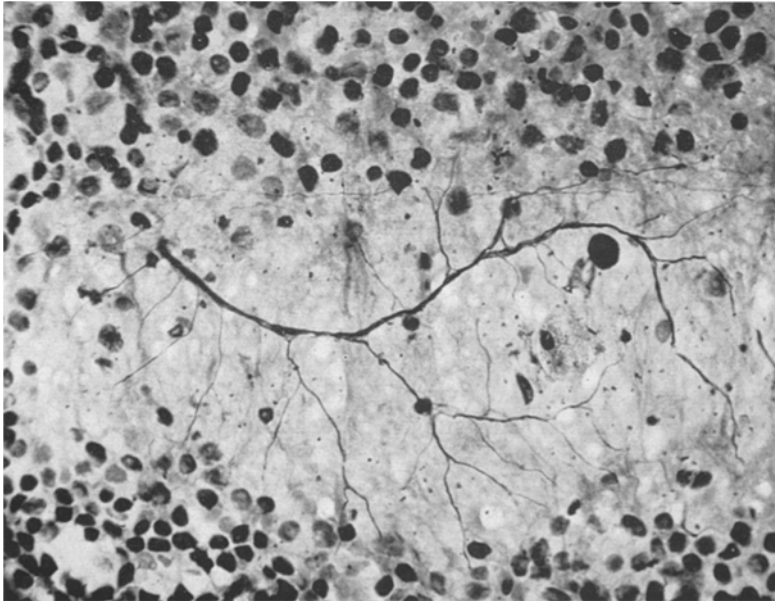


Abb. 5. Ausschnitt aus Bild 4 bei starker Vergrößerung. Zeigt die Entzweigung eines zentrifugalen Nerven in der Adventitia einer Netzhautarterie mit zahlreichen Endästen. Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 800 ×

Wir halten es für sicher, daß es sich bei diesen Gefäßnerven jedenfalls um einen Teil derselben zentrifugalen Nervenfasern handelt, die wir unter anderen Bedingungen früher im menschlichen Sehnerven beob-

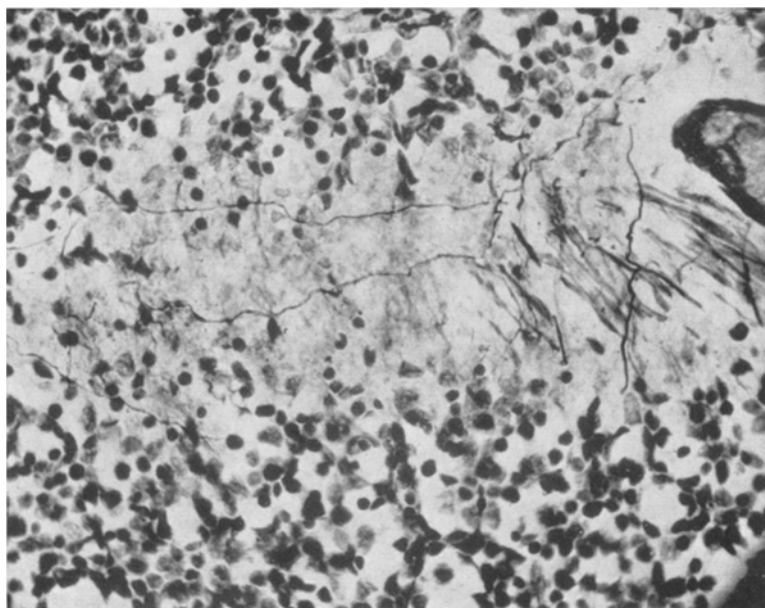


Abb. 6. Endäste zentrifugaler Nervenfasern in der Adventitia der Arterienwand einer normalen menschlichen Netzhaut. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 600 ×

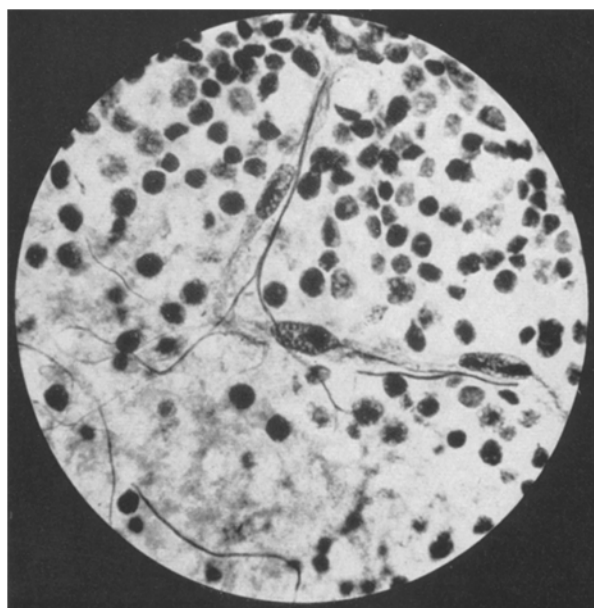


Abb. 7. Endäste zentrifugaler Nervenfasern aus der Nervenfaserschicht an Capillaren der inneren Körnerschicht eines normalen menschlichen Auges. Von den Capillaren ist nur eine blasse Kontur mit den Endothelzellkernen darauf zu erkennen. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 800 ×

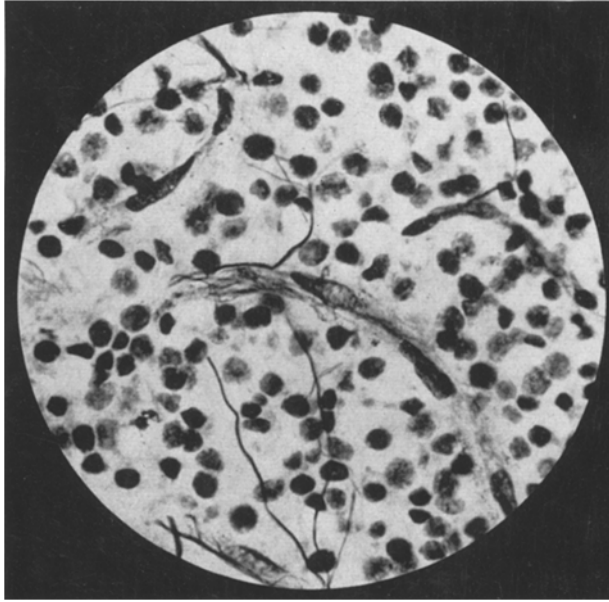


Abb. 8. Endäste zentrifugaler Nervenfasern an Capillaren der inneren Körnerschicht eines normalen menschlichen Auges. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 800 \times

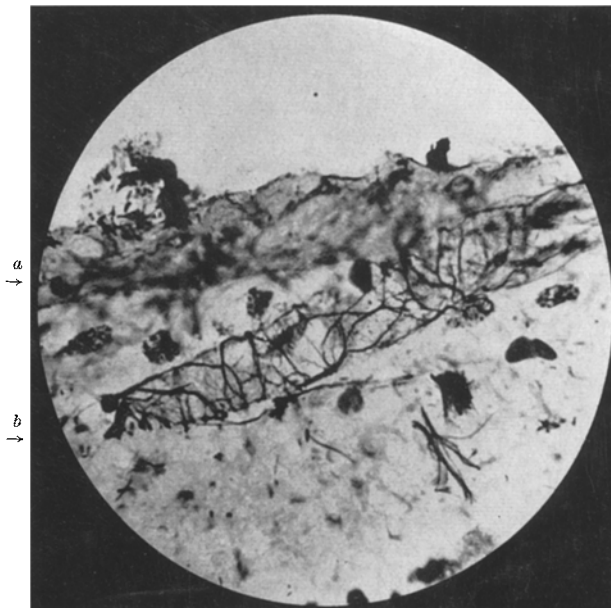


Abb. 9. Eine mittlere Vene der normalen menschlichen Netzhaut mit dem feinen Geflecht der netzartigen Nervenfasern, das hier besonders klar dargestellt ist (b). Die innere Grenzmembran der Netzhaut ist als dunkle Kontur (a) zu erkennen. — Hortega-Methode, Mikrophotogramm, Vergrößerung 300 \times

achtet haben⁷. In einer früheren Studie wurde gezeigt, daß ein kleiner Teil der zentrifugalen Fasern des Sehnerven bereits im Sehnerven selbst an den Blutgefäßen endet (LISS und WOLTER⁴).

Betont muß werden, daß die geschilderten Gefäßnerven *nicht das einzige Nervelement an den Blutgefäßen* der menschlichen Netzhaut sind. Neben diesen relativ groben Fasern und ihren Endigungen gibt es nämlich an allen Blutgefäßen der Netzhaut ein dichtes Netzwerk äußerst feiner Nervenfasern. Dies Netzwerk läßt weder Anfang noch Ende erkennen, liegt in den inneren Schichten der Gefäßwand und begleitet die Gefäße (Abb. 9). Es liegt also eine histologisch darstellbare Doppelinnervation dieser Blutgefäße vor, die derjenigen weitgehendst gleicht, die im menschlichen Sehnerven gefunden wurde⁴. Die Tatsache, daß die Innervation der Blutgefäße in der Netzhaut und im Sehnerven so ähnlich ist, ist nicht überraschend. Eine autonome Doppelinnervation der Blutgefäße durch einen feinen netzartigen Nerventyp und durch einen zweiten gröberen Fasertyp, der sich dichotomisch teilt und in der Peripherie an die Gefäßwand herantritt, wurde auch an den Gefäßen anderer Gewebe des menschlichen Auges beobachtet (vgl. WOLTER¹¹). Wir halten es für möglich, daß es sich grundsätzlich bei den feinen netzartigen Fasern der Gefäßwand um Vertreter des sympathischen Nervensystems handelt, welches sich vom Plexus caroticus kontinuierlich ins Auge fortsetzt. Die gröberen Nerven der Gefäßwand, die bei den Netzhautgefäßen mit dem Sehnerven durch die Nervenfaserschicht an die Blutgefäße kommen, könnten dagegen parasympathisch sein.

KURUS⁸ hat vor ein paar Jahren die Innervation der Netzhautgefäße studiert und schilderte die Nervenverhältnisse grundsätzlich genau so, wie wir sie vorgefunden haben.

Zusammenfassung

Histologisch läßt sich nachweisen, daß die Blutgefäße der menschlichen Netzhaut durch zentrifugale Nervenfasern der Nervenfaserschicht versorgt werden. Diese Fasern sind als einer von zwei verschiedenen Nerventypen aufzufassen, die an den Netzhautgefäßen enden.

Literatur

- ¹ CAJAL, S. R.: Degeneration and regeneration of the nervous system, Bd. II, S. 584. London: Oxford University Press 1928. — ² DODT, E.: J. of Neurophysiol. **19**, 301 (1956). — ³ KURUS, E.: Klin. Mbl. Augenheilk. **121**, 318 (1952). — ⁴ LISS, L., u. J. R. WOLTER: Klin. Mbl. Augenheilk. **129**, 793 (1956). — ⁵ SCHARENBERG, K., u. W. ZEMAN: Arch. f. Psychiatr. u. Z. Neur. **188**, 430 (1952). — ⁶ TELLO, F.: Trab. Labor. Invest. biol. Univ. Madrid **5**, 237 (1907). — ⁷ WOLTER, J. R., u. L. LISS: Graefes Arch. **158**, 1 (1956). — ⁸ WOLTER, J. R.: Graefes Arch. **158**, 235 (1956). — ⁹ WOLTER, J. R., R. I. GOLDSMITH and R. L. PHILLIPS: A.M.A. Arch. of Ophthalm. **57**, 376 (1957). — ¹⁰ WOLTER, J. R.: Klin. Mbl. Augenheilk. (im Druck). — ¹¹ WOLTER, J. R.: Acta neurovegetativa (Wien) **5**, 257 (1953).

Prof. Dr. J. REIMER WOLTER, Neuropsychiatric Institute,
University of Michigan Hospital, Ann Arbor, Mich., USA