

Aus der Universitäts-Augenklinik Köln (Direktor: Prof. Dr. K. vom Hofe)

Experimentelle Ultraschalluntersuchungen bei primärer und sekundärer Netzhautablösung*

Von

BERND LÖPPING und ARNO NOVER

Mit 7 Textabbildungen

Die Anwendung des Ultraschalls zur Diagnostik intraocularer Veränderungen hat ergeben, daß Ultraschallwellen im gesunden Auge nur an den Grenzflächen der brechenden Medien (Hornhaut, Linsenvorder- und -hinterfläche sowie Bulbusrückwand) reflektiert werden.

Darüber hinaus führen aber auch eine abgelöste Netzhaut, intraoculare Tumoren und Fremdkörper zu Schallreflexionen, die diagnostisch verwertet werden können (MUNDT u. HUGHES, OKSALA u. LEHTINEN, BAUM u. GREENWOOD, STALLKAMP, LÖPPING, NOVER).

Nachdem wir früher über klinische und experimentelle Ultraschall-Untersuchungen *am gesunden Auge* und bei *intraocularen Fremdkörpern* berichtet haben (STALLKAMP u. NOVER), konnten wir inzwischen eine größere Zahl von Patienten mit *Netzhautablösung unterschiedlicher Genese* untersuchen. Dabei ließ sich eine seröse Netzhautablösung mit schallhomogenem subretinalen Raum von einer solchen mit schallinhomogenem unterscheiden.

Das Echogramm bei seröser Amotio

Charakteristisch für das Echogramm einer serösen Amotio ist eine eingipfelige hohe Zacke, die im normalerweise schallhomogenen Glaskörperraum auftritt (Abb. 1). Sie kommt dadurch zustande, daß ein Teil der Schallwellen an der abgelösten Netzhaut reflektiert wird und auf den Prüfkopf zurückfällt. Allerdings bekommt man solche eindeutigen Bilder nicht in allen Fällen, sondern erhält oft auch andere Formen des Netzhautechos, die dann erhebliche diagnostische Schwierigkeiten machen.

Wir versuchten daher, die Faktoren, die zu diesen Abweichungen vom „Idealbild“ einer Netzhautablösung führen, zu analysieren. Im Experiment zeigte sich, daß unter standardisierten Untersuchungsbedingungen (konstante Sendeimpuls- und Empfangsverstärkung des Gerätes, gleichbleibende Entfernung der Netzhaut vom Prüfkopf und gleichbleibende schallhomogene Medien vor und hinter der Netzhaut)

* *Klinische* Untersuchungen zum gleichen Thema s. Klin. Mbl. Augenheilk. 142, 176 (1963).

und unter der Voraussetzung einer prinzipiell gleichen stofflichen Beschaffenheit und Oberfläche der Netzhaut, deren *Echo in Form und Höhe nur noch abhängig ist von der Stellung, die die Retina zur Schallrichtung einnimmt*. Dies zeigt ein einfacher Modellversuch (Abb. 2).

In einem Eisenrähmchen wurde ein faltenfrei verspanntes kreisrundes Stück der Netzhaut eines Schweinsauges (Durchmesser etwa 25 mm) in einem Wasserbad in einer Entfernung von etwa 20 mm vom Prüfkopf so angebracht, daß die Stellung der Netzhaut zur Schallrichtung in einer Ebene variabel war. Hinter der Netzhaut wurde in konstantem Abstand zur Schallquelle und senkrecht zur Schallstrahlrichtung ein Stück aus der Sklera des Schweinsauges fest angebracht. Wurde nun der Winkel zwischen Netzhaut und Schallrichtung geändert —

was im folgenden als „Verkantung“ bezeichnet wird — so änderte sich auch das jeweils entstehende Netzhautecho.

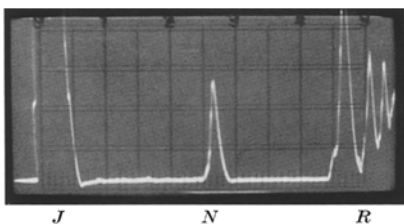


Abb. 1. Echogramm einer serösen Netzhautablösung. *J* Initialecho; *N* Netzhautecho; *R* Echo der Bulbusrückwand

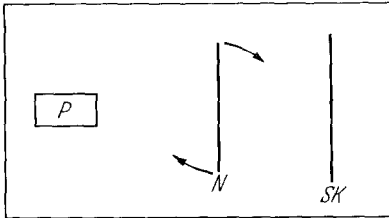
Bei senkrechtem Auftreffen des Schallstrahles auf die Retina hob sich das Netzhautecho als hohe, einfache, schmale Zacke aus der Nulllinie zwischen Initialecho und dem Doppelecho von Skleravorder- und -rückwand hervor (Abb. 2a). War die Retina um 10° verkantet, betrug also der Winkel zwischen Netzhautebene und Schallrichtung 80° , so blieb die Netzhautzacke kleiner als vorher

(Abb. 2b). Dies liegt daran, daß jetzt ein Teil der an der Retina reflektierten Schallwellen (die unter einem dem Einfallswinkel entgegengesetzten, gleichgroßen Ausfallswinkel zurückgeworfen werden) am Prüfkopf vorbeigehen, und die auf den Empfangsquarz wieder auftreffende Schallenergie daher geringer ist.

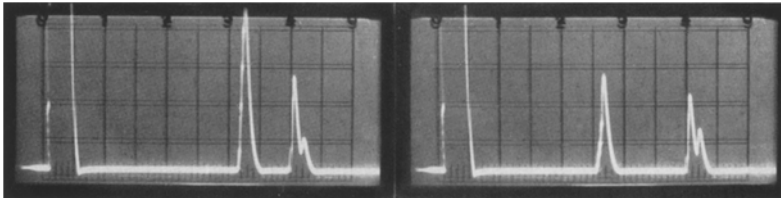
Die *Höhe des Netzhautechos* nimmt um so mehr ab je stärker die Verkantung ist, weil immer weniger reflektierte Schallenergie auf den Prüfkopf zurückgelangt. Es wäre also theoretisch zu erwarten, daß, wenn die Verkantung eine bestimmte Größe überschritte, die gesamte reflektierte Schallenergie am Prüfkopf vorbeigehe und das Netzhautecho ganz ausbliebe (Abb. 2c). Die Abb. 2d und 2e zeigen aber, daß dies auch bei sehr starker Verkantung nicht der Fall ist. Allerdings tritt dann an die Stelle einer *einfachen Zacke* ein niedriges *Doppelecho*. Diese zunächst überraschenden Befunde erklären sich wohl daraus, daß die Oberfläche der Retina nicht ideal glatt ist, sondern eine gewisse Rauigkeit besitzt, und die auftreffenden Schallwellen nicht nur in eine Richtung, sondern auch diffus reflektiert werden. Dabei ließ sich nachweisen, daß der größte Teil der reflektierten Schallenergie im Ausfallswinkel zurückgeworfen wird, also den Reflexionsgesetzen an glatten Grenzflächen folgt.

Der kleinere Teil der Schallenergie, der diffus reflektiert wird, reicht aus, um auch bei einer verkanteten Retina ein Netzhautecho empfangen zu können.

Überraschend blieb zunächst, daß bei stärkerer Verkantung anstelle eines einfachen Netzhautechos eine Doppelzacke entsteht.

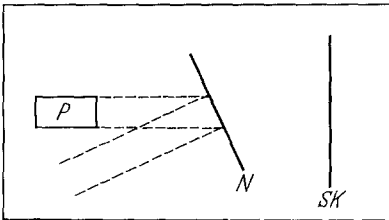


In dem Modellversuch kann die vor der Sklera (Sk) liegende Netzhaut (N) durch Drehung in verschiedene Stellungen zum einfallenden Schallstrahl gebracht werden

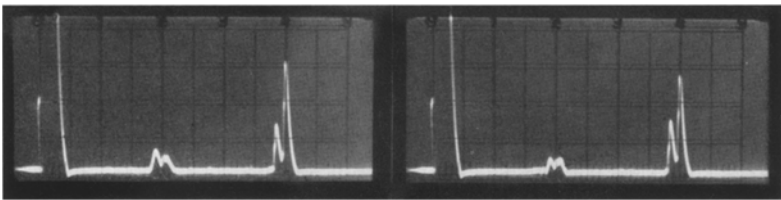


a Steht die Netzhaut senkrecht zur Schallrichtung, liegt eine hohe, spitze Echozacke vor dem Doppelecho der Sklera

b Schon bei geringfügiger Veränderung dieser Stellung wird das Echo merklich kleiner



c Wird eine bestimmte Verkantung überschritten, müßte bei Befolgen der Reflexionsgesetze die gesamte an der Netzhaut reflektierte Schallenergie am Prüfkopf vorbeigelenkt werden

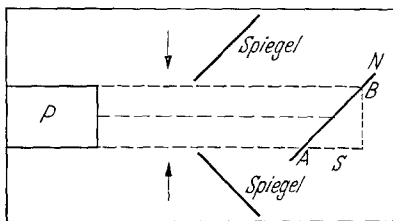


Bei solcher hoher Verkantung wird jedoch weiterhin ein Echo der Netzhaut in Form einer niedrigen Doppelzacke erhalten. d Verkantung um 30°. e Verkantung um 40°

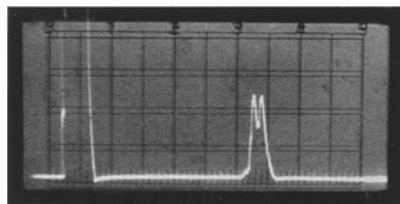
Abb. 2. Das Netzhautecho ist abhängig von der Stellung der Retina zur Schallrichtung

Um diesen Befund zu klären, wurde in einem Modellversuch die Netzhaut im Wasserbad um 40° gegen die „Normalstellung“ verkantet, so daß wieder ein gedoppeltes Netzhautecho entstand (Abb. 3 a). Aus der Zeichnung dieser Versuchsanordnung geht hervor, daß die seitlichen Abschnitte der verkanteten Netzhaut (A und B) unterschiedliche Abstände zum

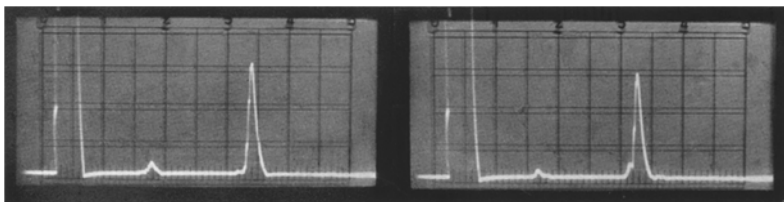
Schallgeber haben. Die Differenz dieser Abstände ist mit „s“ bezeichnet. Die bei „A“ reflektierten Schallwellen werden eher wieder auf den Empfänger auftreffen als die bei „B“ reflektierten, da sie einen um $2s$ kürzeren Weg zurückgelegt haben. Sie werden demnach auch eher registriert werden. Bringt man eine Glasplatte so in den Schallstrahl zwischen Prüfkopf und Retina, daß die Schallwellen auf sie unter einem den Grenzwinkel der Totalreflexion übersteigenden Einfallswinkel



Aufriß der im Text beschriebenen Versuchsanordnung. P Prüfkopf, N Netzhaut



a Echo einer gegen die Schallrichtung verkanteten Netzhaut



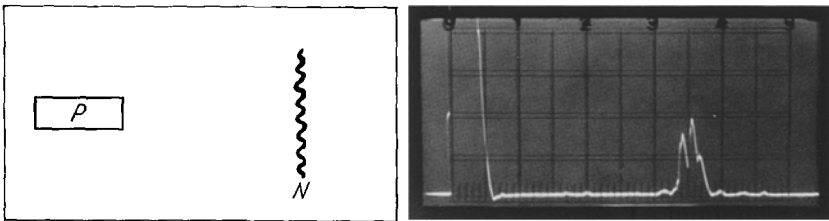
b Verschwinden der vorderen Echozacke c Verschwinden der hinteren Echozacke

Abb. 3. Modellversuch zur Erklärung warum bei einer verkanteten Netzhaut ein Doppelcho entsteht

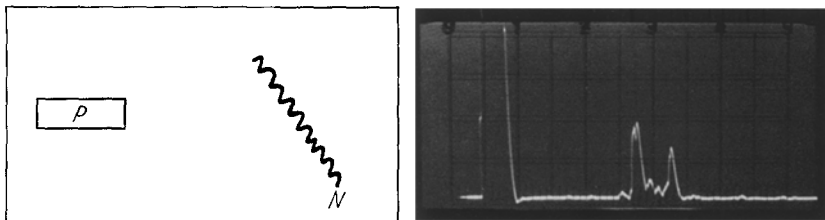
treffen, und somit die gesamte auf die Glasplatte auffallende Schallenergie reflektiert wird, dann läßt sich jeweils eine Hälfte des Schallstrahles abdecken und am Prüfkopf vorbeireflektieren. Wird die zu „A“ gehörige Hälfte des Schallbündels abgedeckt, verschwindet die vordere Zacke des Netzhaut-Doppelchos (Abb. 3 b), wird die zu „B“ gehörige Hälfte verdeckt, dann verschwindet die hintere Echozacke (Abb. 3 c). Die kleinen Echos kurz hinter der Initialzacke in den Abb. 3 b und 3 c rühren von der ebenfalls den Schall reflektierenden Kante der Glasplatte her. Die Schallreflexionen, die von den vom Zentrum des Schallbündels getroffenen Netzhautabschnitten ausgehen, werden vom Empfänger nicht registriert, da sie in dessen Refraktärzeit fallen.

Ein solches Doppelcho der Netzhaut kann aber nicht nur von einer verkanteten, sondern auch von einer in sich *gewellten* Netzhaut entstehen, wie sich bei Untersuchungen an Patienten mit lange bestehender Amotio zeigte. Wir reproduzierten dies in einem Versuch, in dem die Retina eines Schweinsauges so in ein Rähmchen eingespannt

wurde, daß sie gefältelt war, wobei die Niveaudifferenz zwischen „Wellenberg“ und „Wellental“ etwa 1,5 mm betrug. Es entsteht in diesem Fall auch bei senkrechter Stellung der Netzhaut zur Schallrichtung ein Mehrfachecho, da die Ultraschallwellen sowohl von der Höhe als auch aus der Tiefe der Falten reflektiert werden (Abb. 4 a). Bei zusätzlicher Verkantung einer solchen gewellten Netzhaut findet man im Echogramm zahlreiche Zacken unterschiedlicher Höhe (Abb. 4 b).



a Echogramm einer zur Schallrichtung senkrecht stehenden, welligen Netzhaut



b Echogramm bei gleichzeitiger Verkantung der Netzhaut zur Schallrichtung

Abb. 4. Das Echogramm einer in sich gewellten Netzhaut

In den bisherigen experimentellen Versuchen bildete die in ein Rähmchen eingespannte Netzhaut eine Ebene. Dies ist aber bei Netzhautablösungen in vivo höchstens in kleinen umschriebenen Bezirken der Fall. Bei hochblasigen Abhebungen ist die Netzhaut weit in den Glaskörper vorgewölbt, bei flachen Ablösungen verläuft sie ungefähr wie die Wölbung der Bulbusrückwand. Während also das Schallbündel beim Aufprall auf die vorgewölbte Netzhaut teilweise zerstreut wird, wird es im anderen Fall wie durch einen Hohlspiegel gesammelt. Die Schallenergie pro Flächeneinheit wird also in einem Fall kleiner, im anderen größer werden.

Es zeigte sich allerdings, daß dieser Faktor wegen der geringen Entfernung zwischen Netzhaut und Prüfkopf auf die Höhe der Netzhautzacke praktisch kaum einen Einfluß hat.

OXSALA u. LEHTINEN hatten festgestellt, daß eine Netzhautablösung, erst dann durch Ultraschall diagnostiziert werden kann, wenn sie eine bestimmte Höhe hat. Um den dafür notwendigen *Mindestabstand* zwischen Netzhaut und Bulbusrückwand zu ermitteln, variierten wir

die Entfernung zwischen Retina und Sklera in der oben beschriebenen Versuchsanordnung. Dabei wurden beide in möglichst senkrechter Stellung zur Schallausbreitungsrichtung fixiert.

Die erhaltenen Echogramme (Abb. 5) lassen erkennen, daß eine deutliche, von der Bulbusrückwand einwandfrei zu trennende, hohe

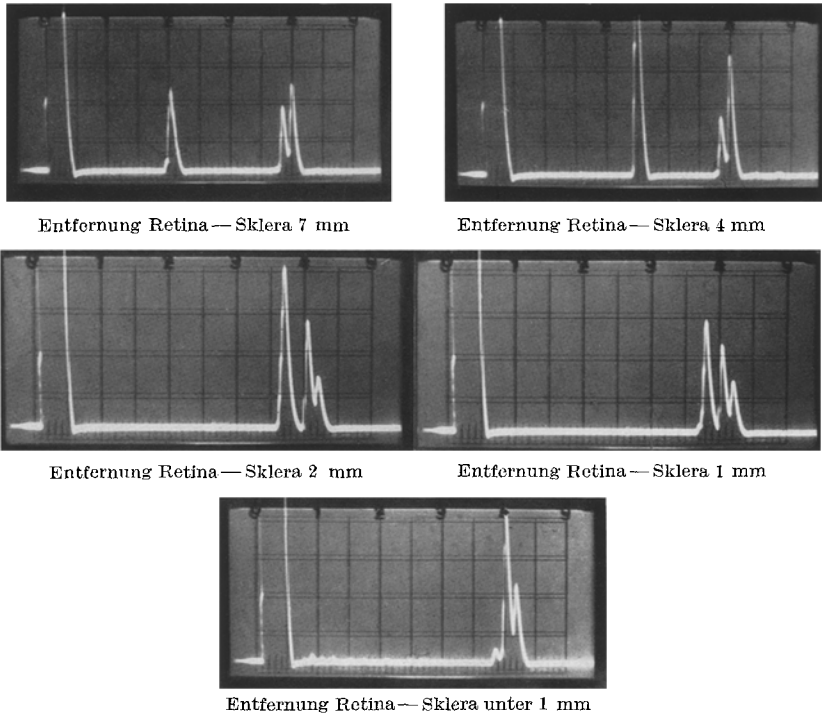


Abb. 5. Netzhautechos bei unterschiedlichen Entfernungen zwischen Netzhaut und Bulbusrückwand

Netzhautzacke nur dann zustande kommt, wenn der Abstand zwischen Sklera und Retina nicht weniger als 1 mm beträgt, was mit dem von OKSALA u. LEHTINEN gefundenen Wert übereinstimmt.

Schließlich blieb noch die Frage zu klären, ob auch ein *Netzhautriß* mit dieser Untersuchungsmethode zu finden ist. Ein solcher Riß wird sich, wenn beide Rißränder die gleiche Entfernung zum Prüfkopf haben und nicht weiter als 5 mm auseinanderliegen, im Echogramm als eine einfache spitze Echozacke darstellen, also nicht von dem Echo der abgehobenen Netzhaut unterscheiden lassen. Bei unterschiedlicher Entfernung der Rißränder zum Schallgeber können doppelgipfelige Echos entstehen. Liegen sie nahe beieinander, dann sind sie nicht von Echozacken einer verkanteten Netzhaut zu unterscheiden, liegen sie weiter

voneinander entfernt, nicht von Echos einer gewellten und verkanteten Netzhaut. Das Echogramm bietet dabei also keinen charakteristischen Befund und keinen diagnostischen Fortschritt.

Das Echogramm bei sekundärer Amotio

Im Gegensatz zum Echogramm bei primärer Amotio durch serösen Erguß findet man bei den meisten *sekundären Netzhautablösungen* noch

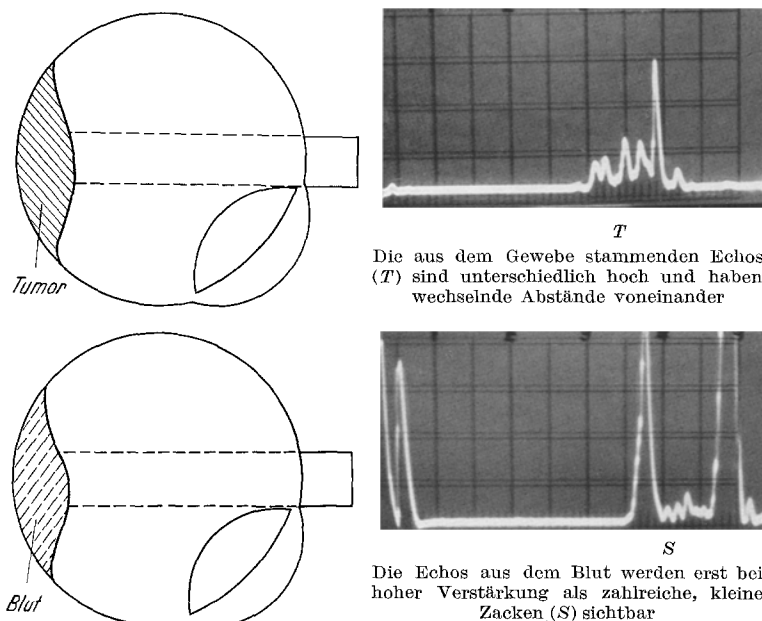


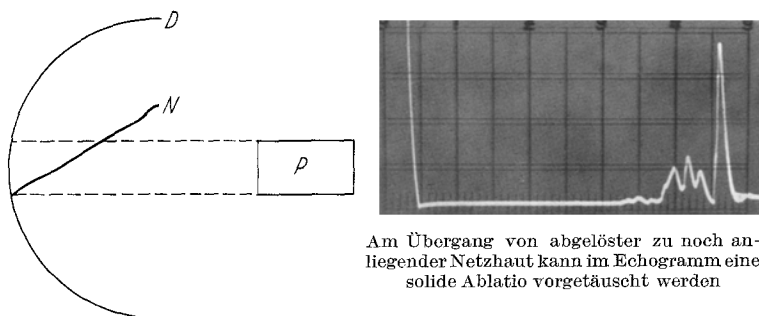
Abb. 6. Echogramme von Netzhautablösungen durch subretinale gewebliche Veränderungen und subretinale Blutungen

andere Veränderungen im Echogramm, die die zusätzlichen Schallreflexionen aus dem schallinhomogenen subretinalen Raum wiedergeben.

Um die klinisch wichtige Frage nach der Unterscheidung solcher zusätzlicher Zacken von den bisher bekannten Netzhautechos zu klären, wurden Ultraschalluntersuchungen an frisch enukleierten Ochsenaugen durchgeführt. In einem Fall waren ein Stückchen Muskelgewebe und im anderen einige Kubikzentimeter Citratblut hinter die Netzhaut gebracht worden (Abb. 6). Richtete man nun den Schallstrahl genau auf den Gipfel der abgelösten Netzhaut, so zeigte das Echogramm im ersten Fall zahlreiche hohe Echozacken als Ausdruck des „soliden“ Muskelgewebes zwischen Netzhaut und Bulbusrückwand. Ein solches Echogramm unterschied sich nicht von dem bei Patienten mit intraocularen Tumoren.

Dagegen verhielt sich Citratblut fast wie ein schallhomogenes Medium; erst bei sehr hoher Gesamtverstärkung des Gerätes konnten schwache Echos aus ihm empfangen werden. Sie liegen als zahlreiche, kaum aus der Nulllinie herausragende Zacken zwischen den hohen Netzhaut- und Bulbusrückwandechos.

Schließlich wurde noch untersucht, ob bei bestimmten Stellungen der Netzhaut zur Schallrichtung Verwechslungen zwischen den Echogrammen seröser und solider Netzhautablösungen möglich sind (Abb. 7). Dazu wurde ein frisch enukleiertes Ochsenauge am Äquator durchgeschnitten und der hintere Bulbusabschnitt in einer



Am Übergang von abgelöster zu noch anliegender Netzhaut kann im Echogramm eine solide Ablatio vorgetäuscht werden

Abb. 7. Echogramm einer serösen Netzhautablösung bei Richtung des Schallbündels auf den Übergang von abgelöster zu noch anliegender Netzhaut

bestimmten Entfernung von dem Prüfkopf im Wasserbad fixiert. Wir achteten darauf, daß der Schallstrahl möglichst senkrecht auf die Bulbusrückwand gerichtet war. Dann wurde die Netzhaut stark gegen die Schallrichtung verkantet. Traf der Schallstrahl auf die Grenze von abgelöster zu anliegender Netzhaut, so entstand ein Echobild, das sich von einem Tumorechogramm nicht unterscheiden ließ (Abb. 7).

Die schwierige Zuordnung der Echozacken zu Schallreflexionen an der Netzhaut bzw. aus dem subretinalen Raum macht die Differentialdiagnose gegenüber einem soliden Tumor — allein aus dem Echogramm — unter Umständen unmöglich, falls man sich nicht mit dem Augenspiegel über Lage und Verlauf der Netzhaut orientieren und klären kann, ob die ermittelten Zacken auch tatsächlich aus dem subretinalen entstammen. Das ist dann der Fall, wenn die Prüfkopfstellung so gewählt wird, daß nur möglichst senkrecht zur Schallrichtung stehende Netzhautabschnitte vom Schallstrahl getroffen werden.

Eine gewisse diagnostische Hilfe ist die Tatsache, daß sich bei ausgedehnteren intraocularen Tumoren Echos aus dem subretinalen Raum bei *zahlreichen* eng benachbarten Prüfkopfstellungen erhalten lassen, bei einer serösen Netzhautablösung dagegen nur bei sehr *wenigen* Prüfkopfstellungen.

Zusammenfassung

Experimentelle Untersuchungen über die diagnostische Anwendung des Ultraschalls bei Augen mit primärer und sekundärer Netzhautablösung hatten folgende Ergebnisse:

1. Von einer abgelösten Netzhaut kann bei genügend hoher Gesamtverstärkung des Gerätes immer ein Echo erhalten werden.

2. Eine abgelöste Netzhaut kann aber nur dann *sicher* mit dieser Methode erkannt werden, wenn die Entfernung zwischen Netzhaut und Bulbusrückwand mindestens 1 mm beträgt.

3. Höhe und Form dieses Netzhautechos hängen im wesentlichen von der Stellung der abgelösten Retina zur Schallstrahlrichtung ab. Das Netzhautecho kann ein-, doppel- und mehrgipfelig sein. Bei systematischer Durchschallung des Auges wird sich die abgelöste Retina beim Auftreffen der Schallwellen auf die Stelle der höchsten Abhebung, wo sie ja annähernd senkrecht zur Schallrichtung steht, als einfache, spitze Zacke aus der Glaskörperringlinie darstellen.

Unter Beachtung bestimmter Bedingungen gestattet das Echogramm Rückschlüsse auf Lage, Verlauf und Ausdehnung der abgelösten Netzhaut.

4. Bei einer soliden (z. B. Tumor-) Amotio werden zusätzlich Schallwellen aus dem subretinalen Raum reflektiert.

5. Differentialdiagnostische Schwierigkeiten gegenüber einer soliden Amotio können dann auftreten, wenn der Schallstrahl auf die Übergangsstelle von abgelöster zu noch anliegender Netzhaut trifft und ein „tumorähnliches“ Echo entsteht.

Literatur

- BAUM, G., and I. GREENWOOD: The application of ultrasonic locating techniques to ophthalmology. Part I. Amer. J. Ophthal. **46** (II), 319 (1958).
 — — The application of ultrasonic locating techniques to ophthalmology. Part. II. — — Arch. Ophthal. **60**, 263 (1958).
 — — Ultrasound in Ophthalmology. Amer. J. Ophthal. **49**, 249 (1960).
 LÖPPING, B.: Klinische und experimentelle Untersuchungen an Augen mit Netzhautablösung und intraocularen Tumoren. Med. Diss. Köln 1962.
 MUNDT, G. H., and W. F. HUGHES: Ultrasonic in ocular diagnosis. Amer. J. Ophthal. **41**, 488 (1956).
 NOVER, A.: Klinische Ultraschalluntersuchungen bei Netzhautablösungen und intraocularen Tumoren. Klin. Mbl. Augenheilk. **142**, 176 (1963).
 —, u. H. STALLKAMP: Über die Möglichkeiten und Grenzen der Ultraschalldiagnostik intraokularer Fremdkörper. Bericht 63. Zusammenkunft Dtsch. Ophthal. Ges., Berlin 1960, S. 251.
 — — Experimentelle Ultraschalluntersuchungen bei Augen mit intraocularen Fremdkörpern. Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. **164**, 517 (1962).
 OKSALA, A.: Observations on chorioidal detachment by means of ultrasound. Acta ophthal. (Kbh.) **36**, 651 (1958).
 — Echogram in melanoma of the chorioid. Brit. J. Ophthal. **43**, 408 (1959).
 — The echogram in retinoblastoma. Acta ophthal. (Kbh.) **37**, 132 (1959).

- OKSALA, A.: The echogram in detachment of the retina. *Ophthalmologica* (Basel) **138**, 350 (1959).
- Das Echogramm in der Diagnostik von Augenkrankheiten. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **137**, 72 (1960).
- Magnification of the echogram of the eye by a high-frequency oscilloscope. *Acta ophthal. (Kbh.)* **38**, 19 (1960).
- Analysis of echoes from the posterior bulbar wall. *Acta ophthal. (Kbh.)* **38**, 25 (1960).
- Acoustic biomicroscopy of intraocular tumors. *Amer. J. Ophthal.* **51**, 1203 (1961).
- OKSALA, A., u. A. LEHTINEN: Über die diagnostische Verwendung von Ultraschall in der Augenheilkunde. *Ophthalmologica* (Basel) **134**, 387 (1957).
- — Diagnosis of Detachment of the Retina by means of Ultrasound. *Acta ophthal. (Kbh.)* **35**, 461 (1957).
- STALLKAMP, H.: Klinische und experimentelle Ultraschalluntersuchungen am gesunden Auge und bei intraocularen Fremdkörpern. *Med. Diss. Köln* 1961.
- STALLKAMP, H., u. A. NOVER: Diagnostische Ultraschalluntersuchungen am gesunden Auge. *v. Graefes Archiv f. Ophthalmologie* **164**, 399 (1962).

Prof. Dr. A. NOVER, Universitäts-Augenklinik, 5 Köln, Lindenburg