

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 560/1963

Tonschwingungen am überlebenden menschlichen Mittelohrapparat

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1964

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht
Länge der Kopie (16-mm-Stummfilm, schwarz-weiß): 113 m
Vorführdauer: 10½ Min. — Vorführgeschwindigkeit: 24 B/s

In dem Film sind die Schwingungen des Schalleitungsapparates bei Beschallung sichtbar gemacht. Das ist durch eine Aufnahme­frequenz von 4000 bis 7500 Bilder pro Sekunde ermöglicht worden. An frischen, wenige Stunden überlebenden Felsenbeinapparaten werden die eigentümlichen Bewegungen von Trommelfell, Hammer, Amboß, Steigbügel und deren Gelenken, der Stapesfußplatte und der Membran des runden Fensters gezeigt. Der Film enthält Übersichtsaufnahmen und Aufnahmen von stark vergrößerten Teilausschnitten.

Die Aufnahme des Films erfolgte mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Jahre 1963 durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen
(Direktor: Dr.-Ing. G. WOLF)

Sachbearbeitung: Dr. K.-H. HÖFLING

Aufnahme: E. HEYSE

Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. W. WAGEMANN
Hals-, Nasen- und Ohrenklinik der Universität Kiel
(Direktor: Prof. Dr. E. MÜLLER)

Tonschwingungen am überlebenden menschlichen Mittelohrapparat

W. WAGEMANN, Essen

Allgemeine Vorbemerkungen

Der vorliegende Film ist eine Zusammenstellung von Beispielen und kurzen Ausschnitten aus dem Gesamtmaterial. Um die anatomische Orientierung zu erleichtern, ist in der Beschreibung des Filminhalts die Bildsituation knapp skizziert, denn der Mittelohrapparat — es ist stets der linke — und seine Teile werden immer aus anderer Blickrichtung gezeigt. Die Vergrößerungen ergeben sich aus den Bildbreiten.

Bei den Präparaten handelt es sich um frische sogenannte überlebende menschliche Felsenbeine, die meist wenige Stunden nach dem Tode gewonnen wurden und in Einzelfällen bei besonderer Aufbewahrung sogar noch nach 46 Stunden funktionstüchtig waren. Die Präparation wurde in minutiöser mikrochirurgischer Technik durchgeführt.

Die Beschallung geschah durch den Gehörgang. Über Knochenleitung ließ sich erwartungsgemäß keine sichtbare Amplitude provozieren. Meistens setzt der Ton erst bei laufendem Film ein, so daß auch die Einschwingvorgänge beobachtet werden können.

Die Aufnahmen erfolgten mit einer modifizierten Hochgeschwindigkeitskamera Modell Fastax mit Aufnahmefrequenzen zwischen 4000 B/s und 7500 B/s. Außerhalb der Perforationen des 16-mm-Films geben auf der einen Seite Zeitmarken die Zeitdehnung und auf der anderen Seite Tonmarken die Frequenz des verwendeten Tones wieder. Die Marken stellen eine Hilfe für die statistischen Analysen der Bewegung dar.

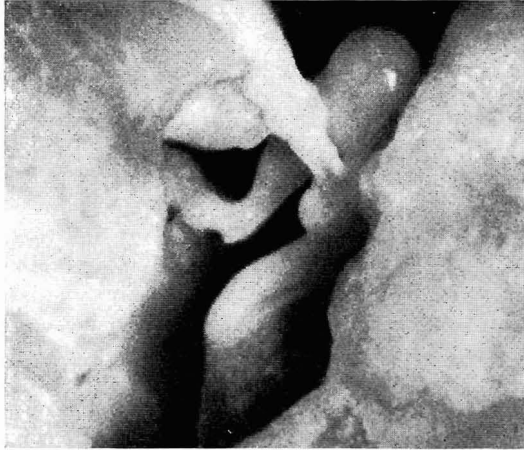
Für einzelne Übersichtsaufnahmen wurde eine Arriflex-Kamera mit einer Bildfrequenz von 24 B/s benutzt. — Als Beleuchtung diente das zentrierte Licht einer Xenonlampe.

Filminhalt

Der Film gliedert sich in sechs Komplexe, deren Bezeichnungen aber nicht im Film erscheinen. Jeder Komplex beginnt mit einer Übersicht und geht dann ins Detail jener Regionen, die in seinem Mittelpunkt stehen.

I. Komplex: Mittelohr-Übersicht

Die ersten Einstellungen sind aus gleicher Blickrichtung aufgenommen, damit der Beschauer sich in die Topographie der dargestellten Mittelohrteile hineinlesen kann. Es wechselt lediglich das aufrechte Bild mit der Querlage. Darüber hinaus dient dieser Komplex der Einführung in die Aufnahmemethode. Während nämlich die ersten beiden Aufnahmen Tonimpulse in normaler Frequenz vorführen, demonstriert die dritte erstmalig den schwingenden Mittelohrapparat in starker Zeitdehnung.



Menschliches Mittelohr

Blick in die Paukenhöhle in Sicht von vorn

Im trichterförmig ins Mittelohr hineinragenden Trommelfell ist der Hammergriff zu erkennen, der sich nach oben in den Hammerkopf fortsetzt. Dieser verdeckt den Amboßkörper. Der lange Amboßschenkel zieht hinter der Sehne des *M. tensor tympani* abwärts. An seiner Spitze schließt sich rechtwinklig das Steigbügelgelenk an.

(Aufnahme aus dem Film)

*Trommelfeil und Gehörknöchelchenkette*¹⁾

Kurze Tonimpulse

24 B/s

1. Übersicht über den Mittelohrapparat. Die Situation entspricht etwa der Lage im menschlichen Körper in Sicht von vorn. Der Gehörgang wäre also am rechten Bildrand zu suchen. Im einzelnen sind zu

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

erkennen: Das trichterförmig in die Paukenhöhle hineinragende Trommelfell, der Hammergriff, das Hammerköpfchen, das Hammer-Amboß-Gelenk, der Amboß-Körper, der lange Amboßschenkel (hinter der waagrecht verlaufenden Sehne der *M. tensor tympani*), das Steigbügelgelenk und das Stapesköpfchen mit den Ansätzen der Steigbügelschenkel. — Bildbreite 14,5 mm. Während der Tonimpulse sieht man am Trommelfell deutlich das Unschärfwerden der Konturen, vermindert am Stapesköpfchen. 500 Hz, 112 dB¹⁾, Impulsdauer 1 s, Aufnahmedauer und Vorföhrdauer 15 s.

2. Die nächste Aufnahme zeigt die gleiche Situation, jedoch in Querlage. Der Gehörgang liegt oben. Gleich hoher und gleich lauter Ton, gleiche Tonimpulsfolge, 24 B/s, etwas stärkere Vergrößerung.

Bei diesem Präparat ist bei aufmerksamer Beobachtung das Unschärfwerden der Trommelfellkonturen während der Tonimpulse zu erkennen. Kaum noch Verwischung der Stapesköpfchen-Umgrenzung. Wie in der vorigen Aufnahme scheint die Gegend des Hammer-Amboß-Gelenkes stillzustehen. — 500 Hz, 112 dB, Impulsdauer 1 s, Aufnahmedauer und Vorföhrdauer 26 s.

Tonfrequenz 500 Hz
Lautstärke am Trommelfell 112 dB

5000 B/s

3. Situation in Querlage wie in der vorigen Einstellung. Noch etwas stärkere Vergrößerung. Erstmals erscheint jetzt in Zeitdehnung der einschwingende und schließlich wieder ausschwingende Mittelohrapparat. Die Zeitdehnung ist bei 5000 B/s Aufnahmegeschwindigkeit und 24 B/s Vorföhrgeschwindigkeit 210fach. Von einer 500-Hz-Schwingung werden also zehn Situationen abgebildet. Die größte Schwingungsamplitude ist am Trommelfell zu beobachten, eine kleinere in der Stapesgelenk-Gegend. Indessen ist auch noch in Hammer-Amboß-Gelenk-Nähe eine geringe Bewegung auszumachen. — Vorföhrdauer 40 s.

II. Komplex: Trommelfell

Bei der Vorföhrung von Aufnahmen mit drei verschiedenen Lautstärken in abnehmender Reihenfolge bleibt die eingewöhnte Blickrichtung noch erhalten. Danach wird ein Ausschnitt des schwingenden Trommelfelles bei zwei Frequenzen im Abstand von 2¹/₂ Oktaven dargeboten.

¹⁾ Absolute Dezibel (dB), zu beziehen auf $2 \cdot 10^{-4}$ μ -Bar.

Trommelfell

500 Hz
Lautstärken 122 dB, 111 dB, 98 dB
5000 B/s

4.—6. Das linke Trommelfell steht aufrecht. Hammerkopf und Amboßkörper sind weitgehend verdeckt. Der lange Amboßschenkel ist hinter der quer verlaufenden Tensorsehne sichtbar, ebenfalls das Stapesgelenk. Sicht von vorn oben unter etwa 45°. — Bildbreite 13 mm. Die drei Einstellungen zeigen bei gleicher Frequenz und gleicher Aufnahmegeschwindigkeit jeweils um etwas über 10 dB abnehmende Lautstärken.

500 Hz, 122 dB, 5000 B/s, Vorföhrdauer 15 s
„ 111 dB, „ „ 20 s
„ 98 dB, „ „ 20 s

Trommelfell unterhalb des Umbo

500 Hz 113 dB
7500 B/s

7. Trommelfellausschnitt, der links in Limbusnähe jenseits des Hauptschwingungsbereiches und rechts jenseits des in die Paukenhöhe hineinragenden Umbo abgegrenzt ist. — Die Bildbreite ist auf 1,25 mm eingengt. Vorföhrdauer 10 s.

3000 Hz 113 dB
7500 B/s

8. Wie Einstellung 7, jedoch Erhöhung der Tonfrequenz auf 3000 Hz; Vorföhrdauer 10 s.

III. Komplex: Hammer-Amboß-Gelenk

Beginn mit dem Zusammenspiel von Hammer und Amboß in größerer Übersicht. Dann engt sich das Blickfeld auf die Hammer-Amboß-Gelenkgegend ein, um diese schließlich nur noch im Ausschnitt zu zeigen. Die komplizierte Bewegungsform läßt sich recht gut erkennen.

Mittelohr von medial gesehen — Hammer-Amboß-Gelenk

500 Hz 120 dB
5000 B/s

9. Trommelfell querstehend. Sicht von medial und cranial der Richtung des Facialisverlaufes im Labyrinthmassiv. Darstellung von Hammer und Amboß, besonders des langen Amboßschenkels durch Resektion der

Tensorsehne. Hammergriff und Amboßschenkel liegen auf gleicher Ebene, wodurch besonders gut die Amplitudenverminderung zu studieren ist. — Bildbreite 13,0 mm, Vorführdauer 30 s.

10. Sicht von medial und cranial dem Labyrinthmassiv. Hammerkopf und Amboßkörper liegen in etwa gleicher Ebene, so daß die Funktion des Gelenkes besonders zum Ausdruck kommt. Der antrumwärts (nach links) lagernde kurze Schenkel des Amboß stellt ungefähr einen Drehpunkt der Amboßbewegung dar. Der lange Amboßschenkel deutet sich unterhalb des Gelenkes an, der Hammergriff taucht mit dem Trommelfell rechts in den Hintergrund. — Bildbreite 13,5 mm, Vorführdauer 50 s.

11. Hammer-Amboß-Gelenk im Ausschnitt. Dieses frische Präparat von einem vergifteten jungen Manne zeigt nicht so ausgeprägte Amplituden wie das Präparat der vorigen Einstellungen. Dennoch ist die besondere Bewegungsform des Gelenkes gut auszumachen. — Bildbreite 3,2 mm, Vorführdauer 10 s.

IV. Komplex: Steigbügel

Zunächst erscheint die Steigbügelbewegung im Zusammenspiel mit anderen Teilen des Mittelohrapparates. Darauf werden in einzelnen Einstellungen Partien des Stapes vom Steigbügelgelenk bis zur Fußplatte gezeigt. Hierbei sind besonders von einer Stempelbewegung abweichende Exkursionen auffällig. Die Beschallung erfolgte mit großen Lautstärken.

Bewegungsübertragung auf Steigbügel

500 Hz 112 dB

4000 B/s

12. Darstellung der ventralen Partien des Mittelohrapparates — querstehend. Der Sichtbereich von vorn und 30° medial reicht vom Hammerkopf (links) zum unteren Trommelfellrand (rechts) und vom oberen Trommelfellrand (oben) zu den Stapeschenkeln und dem Promontorium (unten). Im Bildmittelpunkt steht das Stapesgelenk. — Vorführdauer 30 s.

13. Ausschnitt mit dem Stapesgelenk. Steigbügelschenkel links oben, Amboßschenkelspitze rechts unten. Große Amplitude des Amboßschenkels, kleine des Steigbügelköpfchens; auch ist eine Art Polsterwirkung des Gelenkes auffällig. — Bildbreite 2,3 mm, Vorführdauer 20 s.

14. Ausschnitt mit Steigbügelköpfchen. Steigbügelschenkel links, Gelenk rechts. Blick aus Tubenrichtung. Über dem vorderen (oberen) Steigbügelschenkel ein ruhender, kreisrunder Lichtreflex, welcher die eigentümliche Stapesbewegung auffälliger werden läßt. — Bildbreite 2,0 mm, Vorführdauer 20 s.

15. Stapes von vorn und 20° lateral, so daß sich die Steigbügelschenkel überlagern. Man sieht den vorderen Steigbügelschenkel am Übergang zur Fußplatte (links). Fixpunkte durch vorderen Rand des ovalen Fensters. Fußplattenwärts scheint sich die Amplitude zu verringern. — Bildbreite 23 mm, Vorführdauer 10 s.

V. Komplex: Stapesfußplatte

Für die Darstellung der Steigbügelfußplatte vom Labyrinth her ist die Paukenhöhle unberührt gelassen. Die Bewegung der Fußplatte erscheint einmal innerhalb des vollständig erfaßten ovalen Fensters bei Tonimpulsen in normaler Frequenz, zum anderen wird in Zeitdehnung an Ausschnitten der Randbezirke deutlicher offenbar, daß sie sich auch in Fensterebene bewegt.

Innenohrfläche der Steigbügelfußplatte

Kurze Tonimpulse

24 B/s

16. Ouales Fenster vom Labyrinth (Vestibulum) aus. Die körnige Beschaffenheit der Oberfläche rührt von einem Hauch Borpuder her. Denn ohne diesen gibt die Bewegung der Fußplatteninnenfläche gegenüber dem umgrenzenden Innenrand des ovalen Fensters keinen genügenden optischen Eindruck. Schaukelnde Lichtreflexe des Flüssigkeitssäumchens auf dem Ringband. — 500 Hz, 122 db. Impulsdauer 1 s, Aufnahmedauer und Vorführdauer 10 s (keine Zeitdehnung!).

500 Hz 122 dB

6000 B/s

17. Fußplattenrand hinten unten (Labyrinthfläche) in Zeitdehnung. — Vorführdauer 20 s, Bildbreite 0,5 mm.

18. Fußplattenrand vorn oben (Labyrinthfläche). — Bildbreite 0,5 mm, Vorführdauer 20 s.

VI. Komplex: Rundes Fenster

Das runde Fenster bildet eine Art Ausweich innerhalb der Schneckenfunktion. Die Amplitude seiner Membran ist der des Stapes fast entgegengerichtet. Im Übersichtsbild läßt sich das Gegeneinanderspiel dieser beiden beweglichen Teile der lateralen Paukenwand aus der Sicht von unten her beurteilen. Eine Großaufnahme der schwingenden Membran des runden Fensters schließt den Film ab.

Mittelohr von unten — Rundes Fenster

500 Hz 110 dB

6000 B/s

19. Projektionsrichtung vom Paukenhöhlenboden aus und etwas nach vorn tubenwärts abgewinkelt. Das runde Fenster (mit den lichtbrechenden Kügelchen) befindet sich unten im Bild. Die Steigbügel-schenkel (darüber) sind von einer durchscheinenden zeltförmigen Membran umgeben. Die Sehne des *M. stapedius* zieht dorsalwärts nach rechts. Das Stapesgelenk zeigt dem Betrachter seine caudale Fläche. Der lange Amboßschenkel verliert sich rechts in der Tiefe. Trommelfell oben im Bild. — Bildbreite 7,5 mm, Vorfuhrdauer 50 s.

300 Hz 110 dB

6000 B/s

20. Ausschnitt vom runden Fenster in Aufsicht. Links die schwingende Membran, deren Struktur zu erkennen ist. In der rechten Bildhälfte folgt dann nahe dem Fensterrand ein Lichtreflex und schließlich ganz rechts ein Ausschnitt der ruhenden wulstförmigen Fensterumgrenzung. Eine Tonschwingung wird in rund 20 Bildern dargestellt. — Bildbreite 3,6 mm, Vorfuhrdauer 15 s.