

HANDBUCH DER MIKROSKOPISCHEN ANATOMIE DES MENSCHEN

BEGRUNDET VON
WILHELM v. MÖLLENDORFF

FORTGEFUHRT VON
WOLFGANG BARGMANN
KIEL

DRITTER BAND
HAUT UND SINNESORGANE

VIERTER TEIL
DAS AUGE UND SEINE HILFSORGANE
ERGÄNZUNG ZU BAND III/2



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1964

HAUT UND SINNESORGANE

VIERTER TEIL

DAS AUGEN UND SEINE HILFSORGANE ERGÄNZUNG ZU BAND III/2

BEARBEITET VON
JOHANNES W. ROHEN
O. PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT
MARBURG/LAHN

MIT 227 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1964

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses
Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)
oder auf andere Art zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1964
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg 1964
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1964
Library of Congress Catalog Card Number 55-37658

ISBN 978-3-642-48158-1 ISBN 978-3-642-48157-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-48157-4

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in
diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme,
daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung
als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften
Titel Nr. 5268

Meinem verehrten Lehrer,
Prof. Dr. med. et phil. nat., Dr. med. h. c.
Adolf Dabelow,
der die ersten Anregungen zu unseren
Untersuchungen über die funktionelle
Anatomie des Sehapparates
gegeben hat und in dessen Institut die meisten
dieser Arbeiten durchgeführt worden sind,
zum 65. Geburtstag gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkungen	1
I. Allgemeines	4
1. Bau- und Entwicklungsprinzipien	4
2. Form und Größenverhältnisse des Auges	8
a) Allgemeines	8
b) Unterschiede in der Gestalt des Auges bei tages- und nachtaktiven Tieren	9
3. Duplizitätstheorie	11
4. Neuere Arbeiten zur vergleichenden Anatomie des Auges	20
5. Rudimentäre Augen	21
6. Allgemeine Reaktionsformen der Netzhaut (Verhalten in der Gewebekultur, Überlebenszeit, Unter- bzw. Überdruck, Alter)	22
Innere Augenhaut	
II. Der optische Apparat	26
A. Retina	26
1. Rezeptoren	26
a) Allgemeines	26
b) Stäbchen	27
α) Außenglieder	27
β) Innenglieder	32
γ) Verbindendes Cilium	34
δ) Kerne und Stäbchenfaser	35
ε) Verschiedene Stäbchenformen	35
c) Zapfen	35
α) Das Zapfenaußenglied	36
β) Das Zapfennenglied	37
γ) Die Zapfenkerne und Zapfenfasern	37
δ) Besondere Zapfenformen	37
d) Die Synapsen der Lichtrezeptoren	40
e) Lichtrezeptoren der Evertrebraten	47
f) Histochemische Befunde über Photorezeptoren	58
α) Außenglied	58
β) Innenglied	60
γ) Henlesche Fasern und Membrana limitans externa	61
δ) Äußere Körnerschicht	61
g) Zur funktionellen Bedeutung der Rezeptorenstrukturen	63
h) De- und Regeneration der Rezeptoren	68
α) Spontane und experimentelle Netzhautdegenerationen	68
β) De- und Regeneration der Rezeptoren nach Vitamin A-Mangel	70
i) Photorezeptoren im Zwischenhirndach (Epiphyse, Stirnorgan, Parietalaug)	73
2. Äußere, plexiforme Schicht und ihre Synapsen	75
a) Die Synapsen der äußeren plexiformen Schicht	75
b) Horizontalzellen	77
c) Membrana limitans externa	79
3. Die bipolaren Ganglienzellen der Retina	79
a) Monosynaptische Bipolaren	80
b) Polysynaptische Bipolaren	81
c) Amacrine Zellen	83
4. Innere, plexiforme Schicht	85
5. Opticusganglienzellen	87
6. Nervenfaserschicht	91
a) Opticusfasern	91
b) Zentrifugale Nervenfasern	92

	Seite
7. Membrana limitans interna	94
8. Retinale Glia	95
a) Müllersche Stützzellen	95
b) Übrige Glia der Retina	98
c) Zur Frage der Existenz eines Extracellulär- raums in der Retina	98
9. Morphologische Grundlagen der Zentralisation der Retina	99
a) Allgemeines	99
b) Macula lutea und Fovea centralis	102
c) Besonderheiten der peripheren Retina	106
10. Veränderungen der Netzhaut bei Licht- und Dunkeladaptation	108
a) Allgemeines	108
b) Veränderungen histochemischer Reaktionen der Netzhaut durch Belichtung	110
c) Veränderungen der Opticusganglienzellen durch Belichtung	112
d) Elektronenmikroskopische Befunde über die Reaktionen der Netzhaut auf Belichtung	114
11. Gefäße der Retina	115
a) Allgemeines	115
b) Methodisches	116
c) Morphologie der Retinagefäße	116
d) Vergleichende Anatomie der Retinagefäße	121
e) Entwicklung der Retinagefäße	128
f) Innervation der Retinagefäße	131
12. Entwicklung der Retina	132
a) Allgemeines	132
b) Morphogenese der Rezeptoren	135
c) Histochemische Befunde über die Retina- entwicklung	138
d) Entwicklungsanomalien der Netzhaut	140
B. Papilla n. optici und N. opticus	140
1. Papilla n. optici, Pecten oculi	140
2. Nervus opticus	143
a) Faserzahl und Faseranordnung	144
b) Glia und Bindegewebe	146
c) Gefäße der Sehbahn und Siebplatte	148
d) Die Opticusscheiden	154
e) Entwicklung des N. opticus	155
f) Spontane und experimentelle Degenerationen des N. opticus. Die Opticusregeneration	156
C. Verbindungen zwischen Retina und Hypothalamus	158
1. Allgemeines	158
2. Über die retino-hypothalamischen Bahn- verbindungen	160
III. Pigmentepithel	163
1. Allgemeines	163
2. Histochemie des Pigmentepithels	164
3. Morphologie und Elektronenmikroskopie des Pigmentepithels	164
4. Die Pigmentgranula	168
a) Morphologie	168
b) Histogenese der Pigmentgranula	169
c) Histochemisches Verhalten der Pigmentgranula	171
5. Vergleichend-Anatomisches	171
6. Reaktionen des Pigmentepithels	171

Mittlere Augenhaut

IV. Aderhaut	174
1. Allgemeines	174
2. Gefäße	177
a) Morphologie der Aderhautgefäße	177
α) Arterien	177
β) Choriocapillaris	178
γ) Venen	179
δ) Arteriovenöse Anastomosen	180
ϵ) Vergleichend-Anatomisches	181

	Seite
b) Histologie der Aderhautgefäße	183
c) Funktionelle Betrachtungen	184
3. Lamina vitrea oder Bruchsche Membran	185
4. Innervation der Aderhaut	188
V. Ciliarkörper (Corpus ciliare)	189
1. Allgemeines	189
a) Allgemeine Architektur des Ciliarkörpers	189
b) Gefäßsystem des Ciliarkörpers	194
2. Ciliarfortsätze	196
a) Allgemeines	196
b) Ciliarepithel	201
α) Histologie und Histochemie	201
β) Elektronenmikroskopische Befunde	204
γ) Postnatale Entwicklung des Ciliarepithels	205
c) Membrana limitans interna	205
d) Problem der Kammerwasserbildung	206
α) Bisherige Theorien	206
β) Die funktionelle Bedeutung der Zellstrukturen für die Kammerwasserbildung	208
γ) Blut-Kammerwasserschranke	210
e) Reaktives Verhalten des Ciliarkörpers und Ciliarepithels	211
3. Ciliarmuskulatur	214
a) Konstruktiver Aufbau des Ciliarmuskelsystems	215
b) Vergleichend-Anatomisches	223
c) Architektur und Funktion	226
α) Der funktionelle Umbau des Ciliarmuskelsystems	226
β) Veränderungen der Kammerbucht bei der Akkommodation	229
d) Altersveränderungen des Ciliarmuskels	233
e) Innervation des Ciliarmuskels	235
4. Entwicklung des Ciliarkörpers	237
VI. Iris	239
1. Allgemeines	239
2. Vorderes Stromablatt	243
a) Irisoberfläche und vordere Grenzschicht	243
b) Struktur und Vererbung	253
3. Stroma iridis	254
4. Pigmentmuskelblatt der Iris	257
a) Muskellamelle	257
b) Pigmentepithel der Iris	260
5. Funktionsmechanismus der Iris	262
6. Vergleichend-Anatomisches	264
7. Innervation der Iris	268
a) Morphologie	268
b) Funktionelles	269
8. Entwicklung der Iris	270
VII. Die Organisation der Kammerbucht	271
1. Allgemeines (Nomenklatur und Allgemeine Gliederung)	271
2. Morphologie des Trabekelwerkes beim Menschen	274
a) Trabeculum iridis (uveales Gerüstwerk oder Lig. pectinatum)	274
b) Trabeculum ciliare	279
c) Trabeculum corneosclerale (i.e.S.)	280
d) Trabeculum cribriforme (Innenwand des Schlemmschen Kanals)	285
e) Die Sondermannschen Innenkanälchen	289
3. Morphologische Besonderheiten im Übergangsbereich von Cornea und Trabekelwerk	291
4. Innervation des Trabekelwerkes	295
5. Vergleichende Anatomie der Kammerbucht	296
6. Die Entwicklung der Kammerbucht	306
7. Reaktives Verhalten des Trabekelwerkes	308
a) Altersveränderungen des Trabekelwerkes	308
b) Reaktives Verhalten des Trabekelwerkes unter experimentellen Bedingungen	310
VIII. Schlemmscher Kanal und episklerale Abflußwege (Kammerwasservenen)	320

Äußere Augenhaut

I. Sklera	329
1. Allgemeines	329
2. Lamina cribrosa sclerae	331
3. Entwicklung der Sklera	332
4. Vergleichend-Anatomisches	334
II. Cornea	335
1. Allgemeines	335
2. Mikroskopische Anatomie der Hornhautschichten	336
a) Epithel	336
b) Die subepitheliale Basalmembran und Lamina limitans anterior (Bowman)	340
c) Stroma corneae	342
d) Lamina limitans posterior (Descemeti)	346
e) Hornhautendothel	350
3. Corneaentwicklung	355
4. Innervation der Hornhaut	360
5. Regeneration und Wundheilung im Bereich der Cornea	364
6. Problem der Transparenz	373

Mikroskopische Anatomie des Bulbuskernes

I. Glaskörper (Corpus vitreum)	375
II. Zonulaapparat (Apparatus suspensorius lentis, Zinn)	384
1. Struktur der Zonula Zinni	384
a) Ursprung der Zonulafasern	384
b) Faserkategorien und Verlauf	386
c) Ansatz der Zonulafasern	390
2. Entwicklung des Zonulaapparates	391
III. Linse	392
1. Allgemeines	392
2. Linsenepithel	395
3. Linsenkapsel	399
4. Linsenfaser	400
5. Linsenentwicklung	405
a) Linsenregeneration	405
b) Embryonale Entwicklung der Linse	409

Hilfsorgane des Auges

I. Orbita und Orbita-Inhalt	413
1. Knöcherne Orbita	413
2. Orbitales Fettgewebe. Bindegewebs- und Fascienapparat der Orbita	414
3. Entwicklung des Orbita-Inhaltes	418
4. M. orbitalis (Müller)	419
II. Augenmuskulatur	422
1. Allgemeines	422
2. Entwicklung der äußeren Augenmuskeln	424
3. Innervation der Augenmuskulatur	425
III. Lidapparat	431
1. Äußere Form des Lidapparates	431
2. Mikroskopische Anatomie der Augenlider	431
a) Muskulatur	431
α) Der M. orbicularis oculi	431
β) Quergestreifte und glatte Lidheber (M. levator palpebrae superioris und Mm. tarsales)	435
b) Drüsen- und Bindegewebsapparat der Lider	438
c) Lidepithel und Conjunctiva palpebralis	441
3. Der Bewegungsmechanismus der Lider	442
4. Tränenapparat	446
a) Tränenrüse	446
b) Tränenwege	448

	Seite
5. Entwicklung von Lid- und Tränenapparat	451
6. Zur vergleichenden Anatomie des Lid- und Tränenapparates	454
a) Lider	454
b) Nickhaut (Membrana nictitans)	459
α) Aufbau und Drüsenapparat	459
β) Bewegungsmechanismus der Nickhaut	462
7. Conjunctiva	464
a) Allgemeines	464
b) Innervation	465
c) Blut- und Lymphgefäße der Conjunctiva	466
Das Gefäßsystem des Auges	471
Nervenapparat des Auges	480
Literatur	484
Namenverzeichnis	601
Sachverzeichnis	634

Abkürzungen

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| vgl. a. = vergleiche auch | i. e. S. = im engeren Sinne |
| d. h. = das heißt | i. w. S. = im weiteren Sinne |
| s. S. = siehe Seite | u. a. = und andere |
| s. a. = siehe auch | et al. = und Mitarbeiter |

Vorbemerkungen

Der hiermit vorgelegte Handbuchbeitrag, dem die einschlägige Literatur der Jahre 1936—1963 zugrunde liegt, bildet einen Ergänzungsband zu der klassischen Veröffentlichung von KOLMER und LAUBER (1936). Er macht also die Benutzung der hervorragenden Monographien von SALZMANN (1912), EISLER (1930) sowie KOLMER und LAUBER (1936) nicht überflüssig. Die dort zitierten Arbeiten wurden hier nicht mehr besprochen. Nur in einigen Fällen, in denen die älteren Handbuchbeiträge zu unvollständig erschienen, wichtige Arbeiten früherer Zeitschnitte nicht berücksichtigt worden sind oder ein besonderes historisches Interesse vorlag, haben wir auf die Ergebnisse älterer Arbeiten verwiesen.

Es liegt im Wesen der gegenwärtigen Wissenschaftssituation, daß auch die hier gegebene Darstellung, obwohl mehr als ein Vierteljahrhundert nach Erscheinen des Kolmer-Lauberschen Bandes verstrichen ist, fragmentarisch bleiben muß und an vielen Stellen mehr Fragen offen läßt als beantwortet. Die mikroskopische Anatomie ist weit davon entfernt, ein abgeschlossenes Arbeitsfeld zu sein. Nachdem SALZMANN (1912) sein viel zitiertes Buch über die mikroskopische Anatomie des Augapfels veröffentlicht hatte, glaubten viele Untersucher, daß auf diesem Gebiet wesentlich neue Erkenntnisse nicht mehr zu gewinnen seien und neu Hinzukommendes nur noch Rankenwerk darstellen könne. Die Entwicklung hat uns jedoch eines anderen belehrt. Biochemie, Topochemie und Elektronenmikroskopie haben die Morphologie revolutioniert und grundlegende neue Erkenntnisse gebracht, deren zusammenfassende Darstellung hinsichtlich des Sehapparates in vielen Teilen heute noch gar nicht möglich ist. Hinzu kommt, daß durch eine ungewöhnliche Entwicklung experimentell-morphologischer Bestrebungen und eine ausgedehnte Bio- und Vitalmikroskopie gerade am Auge viele morphologische Probleme einen ganz neuen Aspekt bekommen haben. In der Regel wurden jedoch dadurch die klassischen Beobachtungen keineswegs überholt; im Gegenteil, viele der älteren Befunde wurden durch die mit modernen Methoden gewonnenen Ergebnisse eher bestätigt als widerlegt, so daß sich unser Verständnis für zahlreiche biologische Grundprobleme am Auge wesentlich vertieft hat. Man denke nur an die Befunde über die Feinstruktur der Photorezeptoren, an die Ergebnisse der strukturellen und funktionellen Analyse von Pigmentepithel, Hornhaut, Trabekelwerk, Ciliarepithel, um nur einige Beispiele zu nennen.

An vielen Stellen geht die Erforschung der Struktur dieses so komplizierten Sinnesorgans heute weit über das rein Morphologische hinaus und mündet in eine Diskussion allgemein-biologischer Probleme ein, etwa in der Frage nach der funktionellen Bedeutung der Netzhautstruktur, bei den Problemen der Hornhauttransplantation, der Altersveränderungen der Linse, der morphologischen Grundlagen der Kammerwasserzirkulation, der Glaskörperstruktur usw. Eine Lösung dieser Probleme konnte vielfach nur durch die enge Zusammenarbeit oder Fühlungnahme von Wissenschaftlern verschiedener Fachrichtungen ange-

bahnt werden. Diese Tatsache macht es dem Morphologen schwer, der Darstellung einen einheitlichen Charakter zu geben. Auch wenn man versucht, sich möglichst an die Grenzen des Faches zu halten und bestrebt ist, sich weitestgehend auf die Beschreibung des Morphologischen zu beschränken, wird man bei der gegenwärtigen Wissenschaftsentwicklung zwangsläufig über das Morphologische hinaus in Nachbargebiete geführt. Eine im klassischen Sinne deskriptive Beschreibung der organischen Form, wie sie etwa noch Anfang des Jahrhunderts in der Beschränkung auf das Faktisch-Gegebene geübt wurde, ist heute nicht mehr fruchtbar. Nicht nur die Form als solche, sondern auch ihre funktionale Wertigkeit, ihre Bedeutung für spezielle Leistungen und ihre Beziehungen zu biochemischen und physikalischen Vorgängen stehen bevorzugt im Mittelpunkt des Interesses. Der große Schritt der Physik ins Dynamische ist auch in der Biologie nicht ohne Nachwirkungen geblieben. Hier aber setzt für den Morphologen eine neue Problematik ein, die, wie ich glaube, in ihrer Tragweite noch nicht allgemein erkannt worden ist. Viele der neuen Ergebnisse sind mit Methoden erarbeitet worden, die der Morphologie fremd sind und vielfach vom üblichen Arbeitsfeld der Anatomie aus kaum noch sachgemäß beurteilt werden können. Dennoch sind sie für die morphologische Betrachtung von größter Bedeutung, soweit eine im echten Sinne funktionelle Wertung der Struktur angestrebt wird.

Bei dieser Sachlage kann man nicht erwarten, daß durch einen Band wie den vorliegenden, der einen kaum noch zu überblickenden Abschnitt der menschlichen Anatomie beinhaltet, ein Schlußstrich unter das Kapitel „Mikroskopische Anatomie des Sehapparates“ gezogen wird; im Gegenteil, man muß einen solchen Versuch wohl mehr als Auftakt zu einer dynamischeren und funktionsbezogenen Darstellung auffassen, die bei der augenblicklichen wissenschaftlichen Situation nicht anders als äußerst unvollkommen sein kann. Man möge daher Verständnis dafür haben, wenn dieser Band noch kein abgerundetes Ganzes, kein „klassisches Monument“, das am Ende einer größeren Wissenschaftsperiode steht, sondern eher die bescheidene, vielfach gestückelte Zusammenfassung unseres bisherigen, leider noch allzu sehr im Übergang befindlichen Wissens darstellt. Dieser Sachverhalt möge auch die Unvollkommenheiten des Textes und die unvermeidlichen Fehler in der Beurteilung eigener oder anderer Arbeiten entschuldigen.

Mehr als in einer der vergangenen Wissenschaftsperioden sind uns gegenwärtig die Schwächen des menschlichen Denkens beim Übergang vom Statischen zum Dynamischen im Streben nach einer realen und exakten Wissenschaft, die den biologischen Phänomenen voll gerecht wird, bewußt geworden. Aber gerade dieses Bewußtsein hat die heutigen Wissenschaftsbestrebungen besonders stimuliert. Die bisherigen Ergebnisse ermutigen sehr, auf diesem Wege weiterzuschreiten, sind aber leider noch nicht so weit gediehen, daß eine abschließende Darstellung möglich ist. Dieses wird in Zukunft auch wohl nur noch durch das Zusammenwirken mehrerer Forscher verschiedener Fachrichtungen möglich sein.

Grundsätzlich bezieht sich die hier versuchte Beschreibung auf die menschlichen Verhältnisse. Soweit möglich, wurden jedoch auch die neueren vergleichend-anatomischen Befunde in den Text mit eingegliedert. Daß dabei die Primaten mehr in den Vordergrund gerückt sind als die übrigen Wirbeltiergruppen, erklärt sich einmal aus der zunehmenden Bedeutung, die die Primatologie in der modernen Literatur gewinnt, zum anderen aber auch aus der persönlichen Arbeitsrichtung des Verfassers. Lediglich im Kapitel über die Rezeptoren wurde die vergleichende Anatomie in größerem Umfang berücksichtigt,

da die elektronenmikroskopische Analyse der Sinnesorgane von Evertebraten und verschiedenen Vertebratengruppen zu grundlegenden neuen Befunden geführt hat, die eine einheitliche Theorie der Rezeptorenfunktion außerordentlich gefördert haben und auf diese Weise auch von allgemein-biologischem Interesse sind. Lehrbuchartige Aufzählungen und Wiederholungen altbekannter Tatsachen, die aus früheren handbuchartigen Darstellungen entnommen werden können, wurden tunlichst vermieden. So kommt es auch, daß manche Kapitel nur wenige Daten enthalten, da hier neuere Arbeiten weitgehend fehlen. In der Berücksichtigung der Literatur ganz vollständig zu sein, wird wohl keinem Handbuchautor bei dem Umfang des gegenwärtigen Schrifttums gelingen.