

DAS SEHORGAN

***Tunica fibrosa et
Tunica vasculosa bulbi
Lens, Akkomodation,
Corpus vitreum, Augenkammer***

Dr. Andrea D. Székely

Semmelweis Universität

Medizinische Fakultät

Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie

Budapest



DAS SEHORGAN

Das Auge befähigt den Menschen elektromagnetische Strahlung als Licht wahrzunehmen und Hell-/Dunkelkontraste sowie Farbe zu sehen.

Das eigentliche Sehorgan umfasst den

- **Augapfel** mit seinem **3-Schichtenbau** und die Hilfseinrichtungen des Auges
- **Augenlider** und **Tränenapparat**

Aufbau des Auges

- äußere Augenhaut (***Tunica fibrosa bulbi***) (bzw. *Conjunctiva, Bindehaut*)

Sclera (Lederhaut)

Cornea (Hornhaut)

- mittlere Augenhaut (***Tunica vasculosa bulbi, Uvea***)

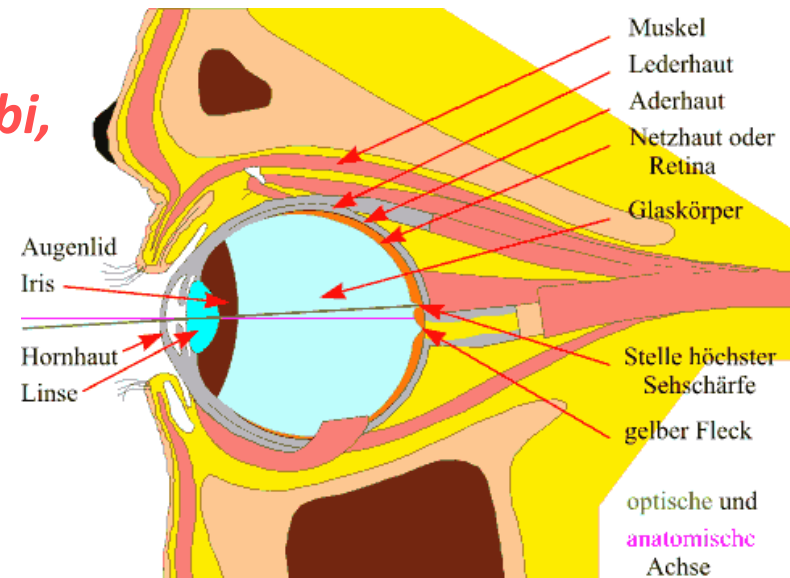
Choroidea (Aderhaut)

Corpus ciliare (Strahlenkörper)

Iris (Regenbogenhaut)

- innere Augenhaut (***Tunica nervosa bulbi***)

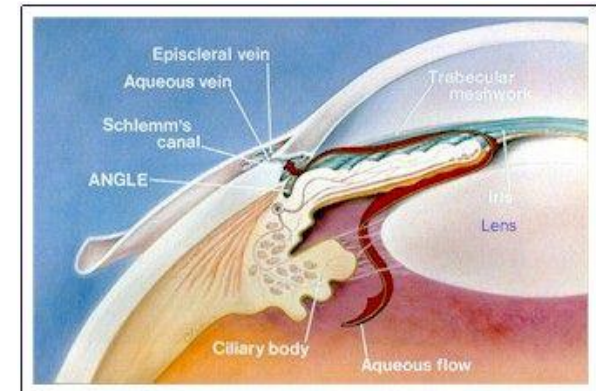
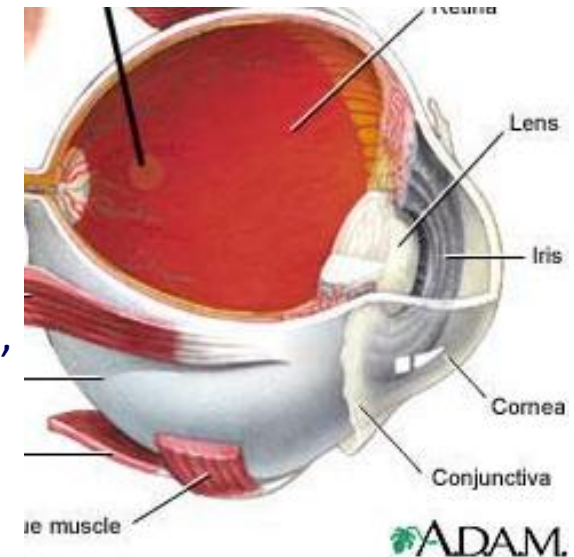
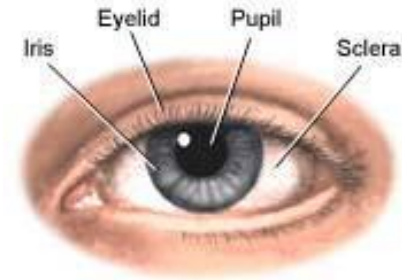
Retina (Netzhaut)



ÄUßERE AUGENHAUT (TUNICA FIBROSA BULBI)

SCLERA (Lederhaut)

- Sie ist aus *straffem kollagenfaserigem Bindegewebe* aufgebaut und hat für die Aufrechterhaltung der Formkonstanz des Augapfels eine große Bedeutung.
- Vorne endet sie am *Limbus corneae*, wo sie einen **Sulcus scleralis internus** für die Verzapfung mit der Cornea bildet.
- Im Innenbereich dieses Sulcus ist auch der *Sinus venosus sclerae (SCHLEMMscher Kanal)* eingelagert.
- Am sog. Skleralsporn ist auch das korneosklerale Trabekelwerk, *Reticulum trabeculare*, aufgehängt.
- Vom Sinus ausgehende Kanäle durchstoßen die Sclera und leiten das Kammerwasser in die episkleralen Venenplexus.
- Die Sclera wird durch viele weitere arterielle, venöse Gefäße und Nerven durchzogen (*Aa. ciliares longi et breves, Vv. vorticosae* und *Nn. ciliares longi*).
- In der Sclera inserieren auch die Sehnen der äußeren Augenmuskeln.



ÄUßERE AUGENHAUT (TUNICA FIBROSA BULBI)

CORNEA (Hornhaut)

- gehört zu **den lichtbrechenden Medien** (Gesamtbrechkraft des Auges ca. 60 Dioptrien)
- die Brechkraft der Cornea beträgt **43 Dioptrien**
- die Transparenz wird durch das **Fehlen von Gefäßen**, dem **geringen Metabolismus**, der **Bauweise des Stroma** corneae und der **regelmäßigen Anordnung des Epithels** verursacht.

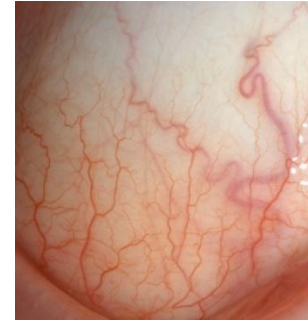
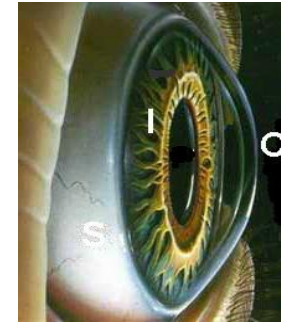
Ernährung

erfolgt durch Diffusion aus drei Richtungen:

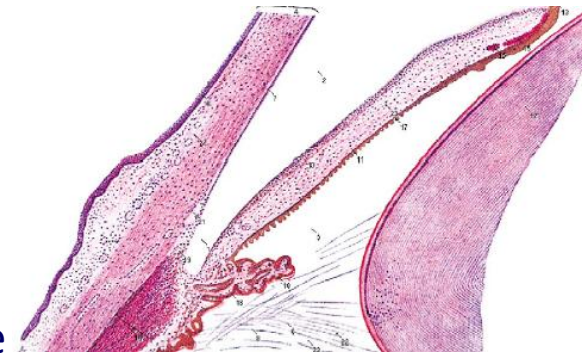
1. von hinten aus dem **Kammerwasser**
2. aus den **konjunktivalen Blutgefäßen** am Limbus corneae
3. von vorne aus dem **Tränenfilm**

Limbus corneae: = corneosclerale Grenze

- Die Hornhaut geht an ihrem Rand, Limbus corneae, unmittelbar in die Lederhaut (Sclera) über.
- von hier aus können Leukozyten und Blutgefäße pathologischerweise in die Cornea einwandern.



Avaskulär!!



ÄUßERE AUGENHAUT (TUNICA FIBROSA BULBI)

Cornea Schichten

1. *Epithelium corneae*

5-6 Lagen von unverhornten Zellen, die einer Basallamina aufsitzen. Gehört zu Bindehaut.

In der oberflächlichen Schicht besitzen die Zellmembranen Mikrovilli und Mikroplicae zur „Befestigung“ des Tränenfilms.

2. *Lamina limitans anterior* BOWMANsche Membran

Eine 10 µm dicke zellfreie Lage von Kollagenfasern (Typ I und V), mit basalmembranartigem Charakter.

3. *Stroma corneae* *Substantia propria*

Die besteht aus 200-250 Kollagenlamellen, von denen jede ca. 2 µm dick ist. Damit macht das Stroma ca. 90% der Dicke der Cornea aus. Proteoglykane, Wasser und Fibrozyten; keine Blutgefäße

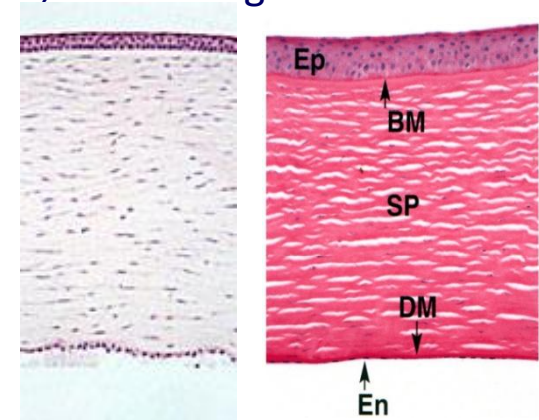
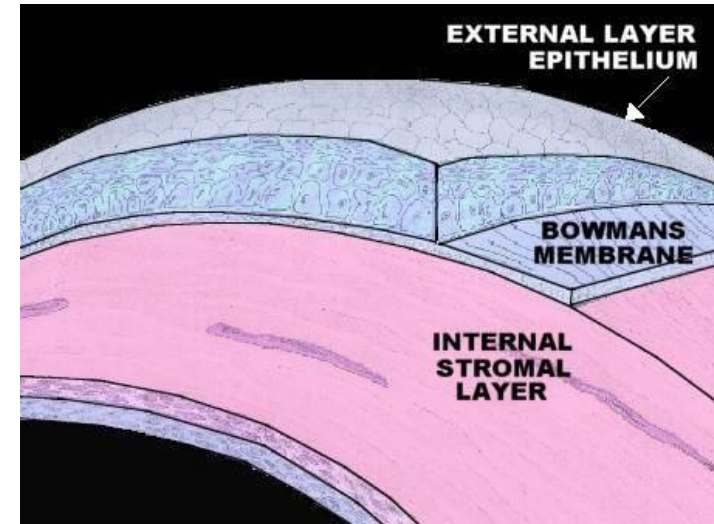
4. *Lamina limitans posterior* DESCOMETsche Membran

Diese Glashaut entspricht der Basallamina des Endothels.

5. *Endothelium camerae anterioris*

Es ist ein einschichtiges Plattenepithel, dessen Interzellulargaps durch Zonulae occludentes abgedichtet sind. Regulation des Wassergehaltes im Stroma.

Der Erhalt dieser Grenzschicht zur vorderen Augenkammer bedingt entscheidend den Erfolg von Hornhauttransplantationen.



MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

UVEA (Gefäßhaut)

(Lat. uva, Traube)

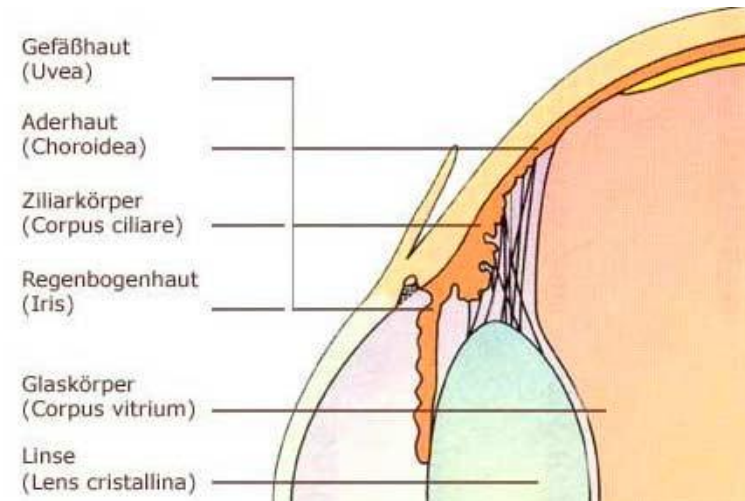
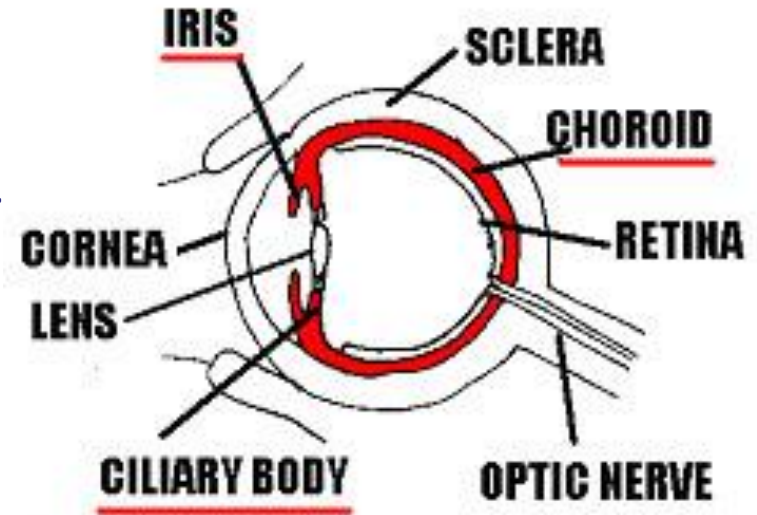
Regenbogenhaut (*Iris*) umgrent als Blende die Pupille.

Die Iris geht auf Höhe des Beginns der Sclera in den **Strahlenkörper** (*Corpus ciliare*), über.

Nach dorsal setzt dieser sich in die **Aderhaut** (*Choroidea*), fort.

Die Uvea ist individuell stark unterschiedlich **pigmentiert**. Dies bewirkt z. B. die unterschiedlichen Augenfarben. Zusammen mit der bei fast allen Menschen stark pigmentierten Außenschicht der inneren Augenhaut sorgt die Pigmentierung der Uvea für die **Abdunkelung des Auges gegen Streustrahlung von außen und innen**.

Das Gewebe der Uvea entspricht phylogenetisch der **weichen Hirnhaut** (*Pia mater und Arachnoidea*) und versorgt die innenliegende Nervenzellschicht, die **Netzhaut**, die einen Teil des zentralen Nervensystems darstellt.

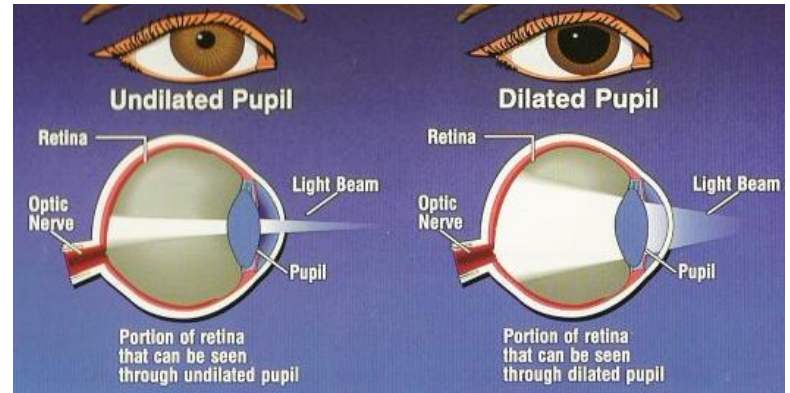


MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

Iris (Regenbogenhaut)

Die als **Blende** funktionierende Iris ist der vordere Anteil der Uvea. Sie stellt eine bewegliche Scheidewand zwischen **Camera anterior bulbi** und **Camera posterior bulbi** dar.

- Durch ihre Eigenmuskulatur kann der, in Abhängigkeit der Lichtintensität, von ihr freigegebene Teil der Linse (Pupille!) von **1,5 mm (Pupillenverengung, Miosis)** bis **12 mm (Pupillenerweiterung, Mydriasis)** schwanken.



Der **M. sphincter pupillae** ist nahe am Pupillenrand (Margo pupillaris iridis) lokalisiert und besteht aus einem zirkulär angeordneten Netz von glatten Muskelzellen. Jede dieser Zellen wird durch eine **cholinerge Synapse** innerviert.

Der **M. dilatator pupillae** setzt dieses System glatter Muskulatur zum Margo ciliaris iridis hinfort und ist aus einem radiär angeordneten einschichtigen Muskelzellnetz aufgebaut. Er wird durch **noradrenerge Nervenfasern** des Centrum ciliospinale (via Ganglion cervicale superius) innerviert.

MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

Iris Schichten

ENDOTHELIUM CAMERAE ANTERIORIS auf der Vorderseite der Iris einen Überzug durch eine *lückenhafte Lage von Mesothelzellen*

STROMA – hier finden wir (Melanozyten, Mastzellen, Makrophagen und Fibrozyten, reichlich Gefäße und Nerven,

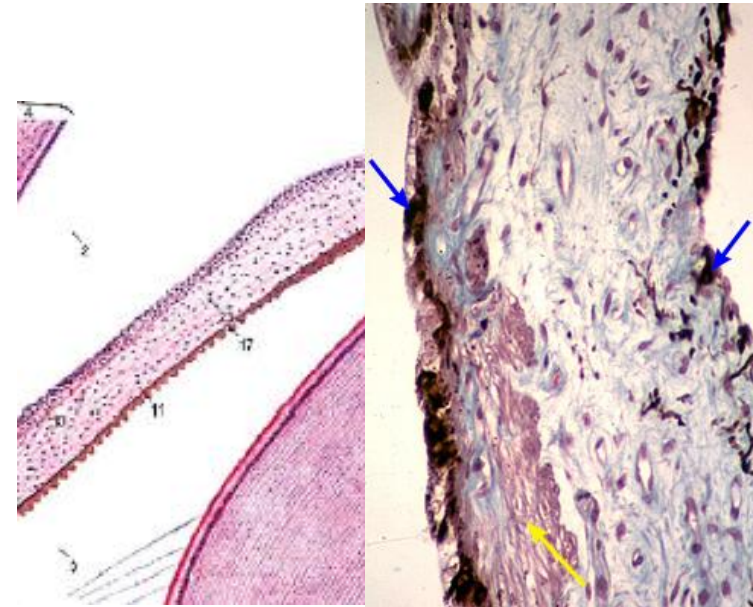
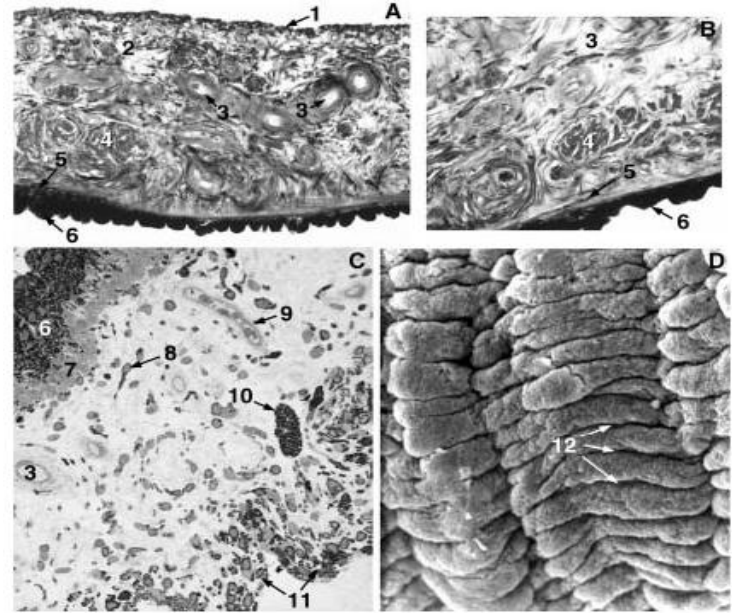
- *M. sphincter pupillae* ist *nahe* am Pupillenrand
- *M. dilatator pupillae* ist aus einem radiär angeordneten einschichtigen Muskelzellnetz aufgebaut

PARS IRIDICA RETINAE - die Rückseite wird von einem *zweischichtigen Pigmentepithel* überzogen.

Circulus arteriosus iridis major - die Aa. ciliares posteriores longae und die Aa. ciliares anteriores bilden am Margo ciliaris ein dichtes Anastomosennetz.

Circulus arteriosus iridis minor Von dort aus ziehen radiäre Gefäße zum Margo pupillaris iridis.

Die Kapillaren sind **nicht fenestriert** und Tracerstudien zeigen, dass hier **kein Kammerwasser resorbiert** wird.

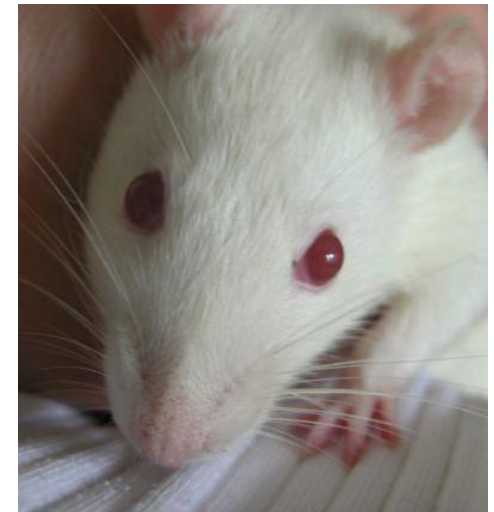


Die Anzahl der Melanozyten bestimmt die Augenfarbe

blaues Auge: wenig Melanozyten im Stroma

braunes Auge: viele Melanozyten im Stroma

Bei Albinos fehlt das Pigment Melanin, man schaut durch das Irisepithel auf die Aderhaut = das Auge erscheint rot.



MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

Corpus ciliare (Ziliarkörper, Strahlenkörper)

1. Sein Epithel bildet das **liquorähnliches Kammerwasser** (*Humor aqueus ca. 0,3 ml / Auge*), wird in die Hinterkammer sezerniert, gelangt zwischen Zonulafasern, Linse und Iris durch die Pupille in die Vorderkammer und fließt durch das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal und schließlich in die episkleralen Venen. Er ernährt die Linse und Teile der Kornea.

2. Er produziert die **Hyaluronsäure** für das *Corpus vitreum*.

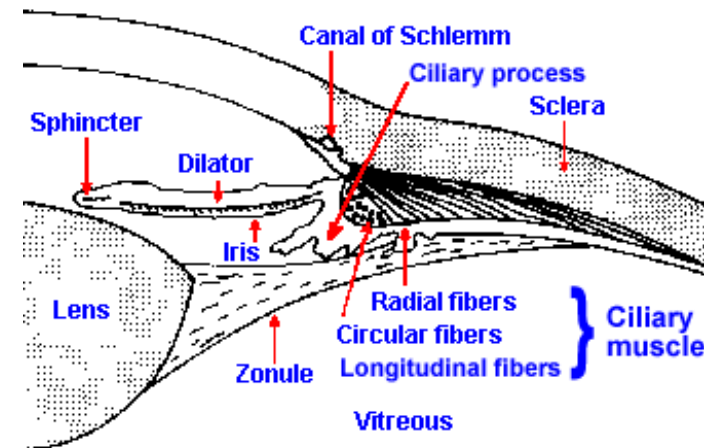
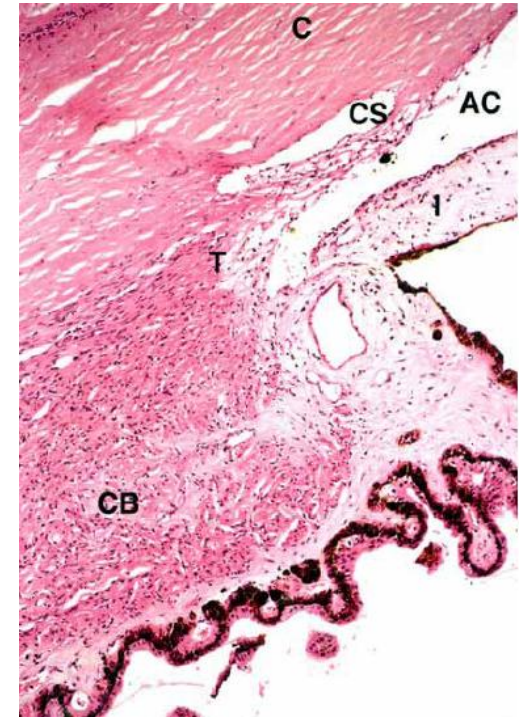
3. Er enthält den für die **Akkommodation** (Naheinstellung, parasympathisch) notwendigen Muskel (**M. ciliaris**),

4. Er ist Teil des **Aufhängeapparats der Linse**.

-Das Corpus ciliare dehnt sich von der Ora serrata bis zur Iriswurzel im Bereich des Limbus corneae aus.

- Der vordere Teil des Strahlenkörpers ist an seiner Oberfläche gefaltet (**Pars plicata**), an seinem hinteren Teil glatt (**Pars plana**).

- Die seitlichen Zellwände weisen eine Vielzahl von Zellkontakten auf (Haft- und Kommunikationskontakte), die als wesentliches Element **der Blut-Kammerwasser-Schranke** angesehen werden.



MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

Choroidea (Aderhaut)

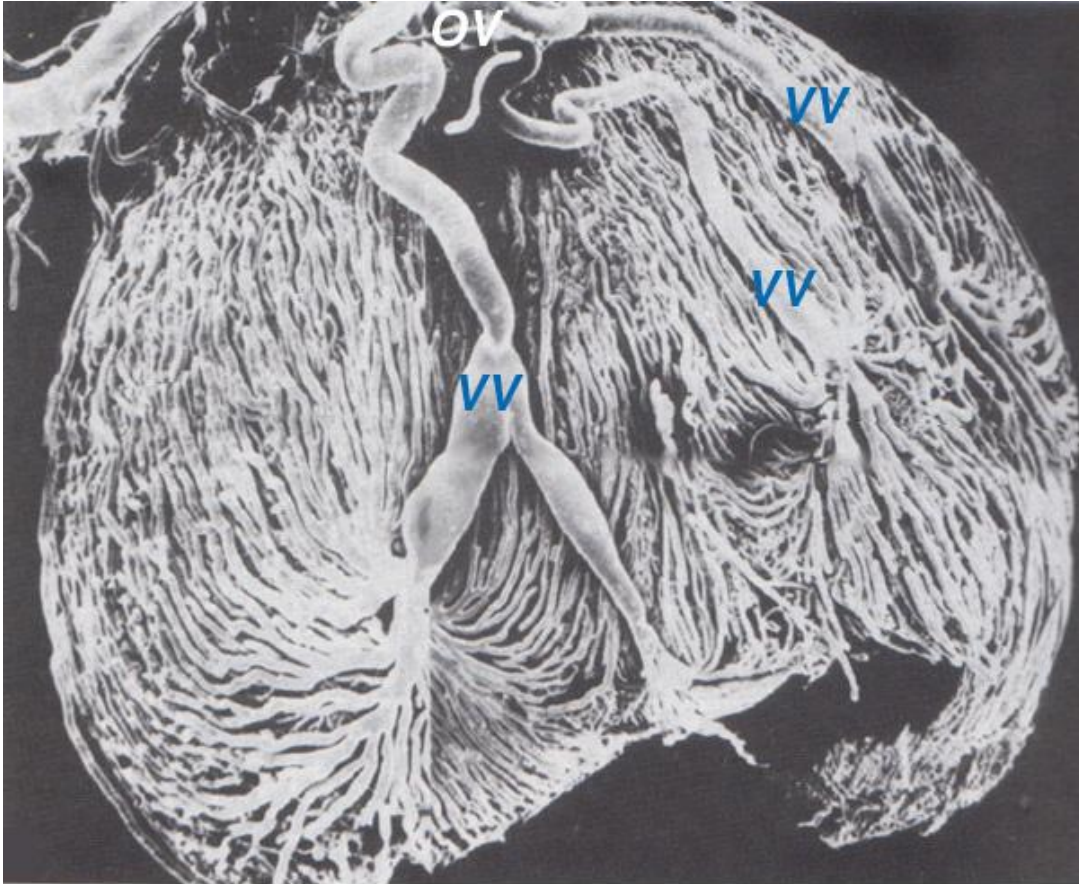
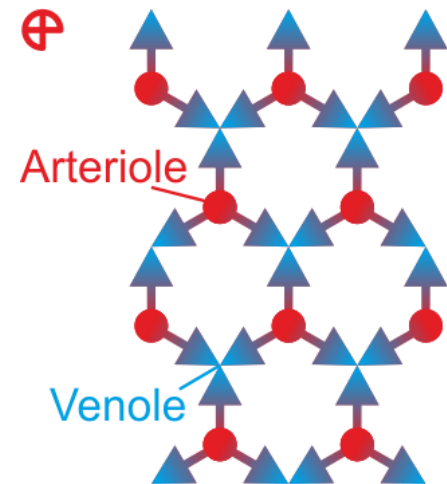
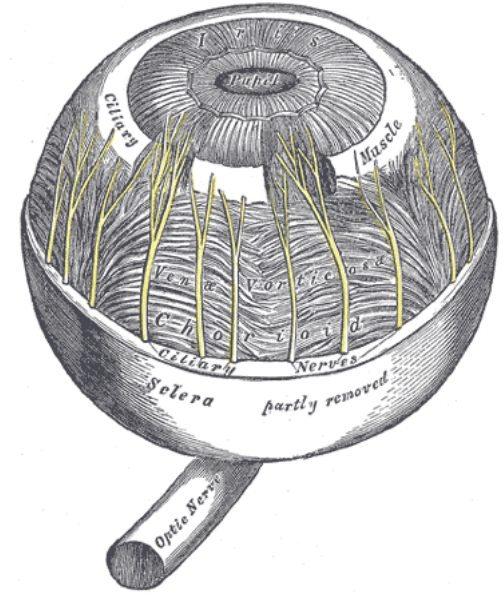


Fig. 21b. Corrosion cast of the upper back of the human eye with the sclera removed. The vortex veins (VV) collect the blood from the equator of the eye and merge with the ophthalmic vein (OV). (From Zhang, 1994).



MITTLERE AUGENHAUT (TUNICA VASCULOSA BULBI)

Choridea Schichten:

1. **HALLERsche Schicht** (Arterien)
 2. **Lamina vasculosa** (Arteriolen)
 3. **Lamina choriocapillaris** (Kapillaren)
 4. **Lamina vitrea** (BRUCHsche Membran)
- ca. 2 µm dicke kollagen-elastische Schicht

Die Kapillaren zeigen einen glomerulusartigen Aufbau und münden über kurze venöse Sammelgefäße in die Vv. Vorticosae, 4 in die Sklera eingebettete Venen, die in die V. ophthalmica superior et inferior drainieren.

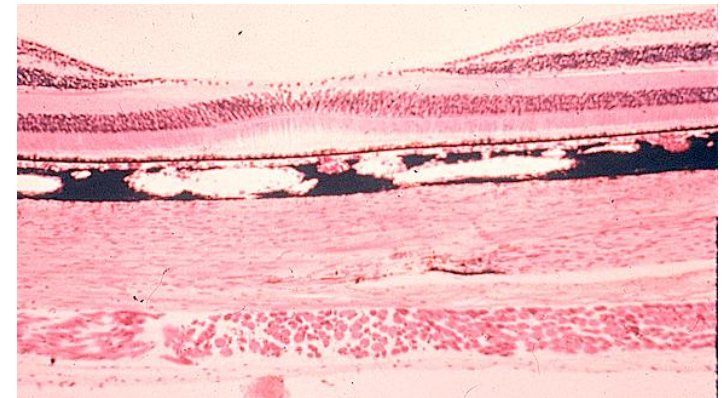
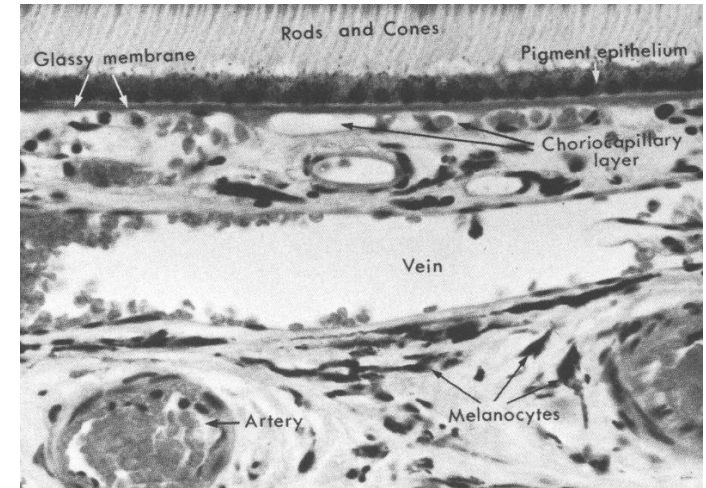
Die BRUCHsche Membran ist dreischichtig und liegt zwischen der Basallamina der Choriokapillaris und des Pigmentepithels der Retina.

Aufgaben:

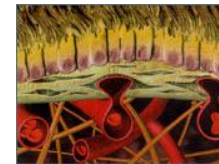
1. Aufrechterhaltung des intraokulären Drucks,
2. Bildung der Blut-Retina-Schranke,
3. Desakkommodation.

Makuladegeneration vorwiegend in den westlichen, industrialisierten Ländern tritt auf, Mögliche Ursachen:

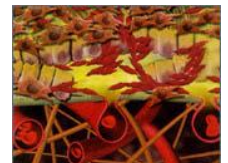
*Genetische Faktoren, Bluthochdruck
Rauchen, Vitamin- & mineralienarme Ernährung
Umweltfaktoren wie UV-Licht etc.*



Verdickung der Bruchmembrane

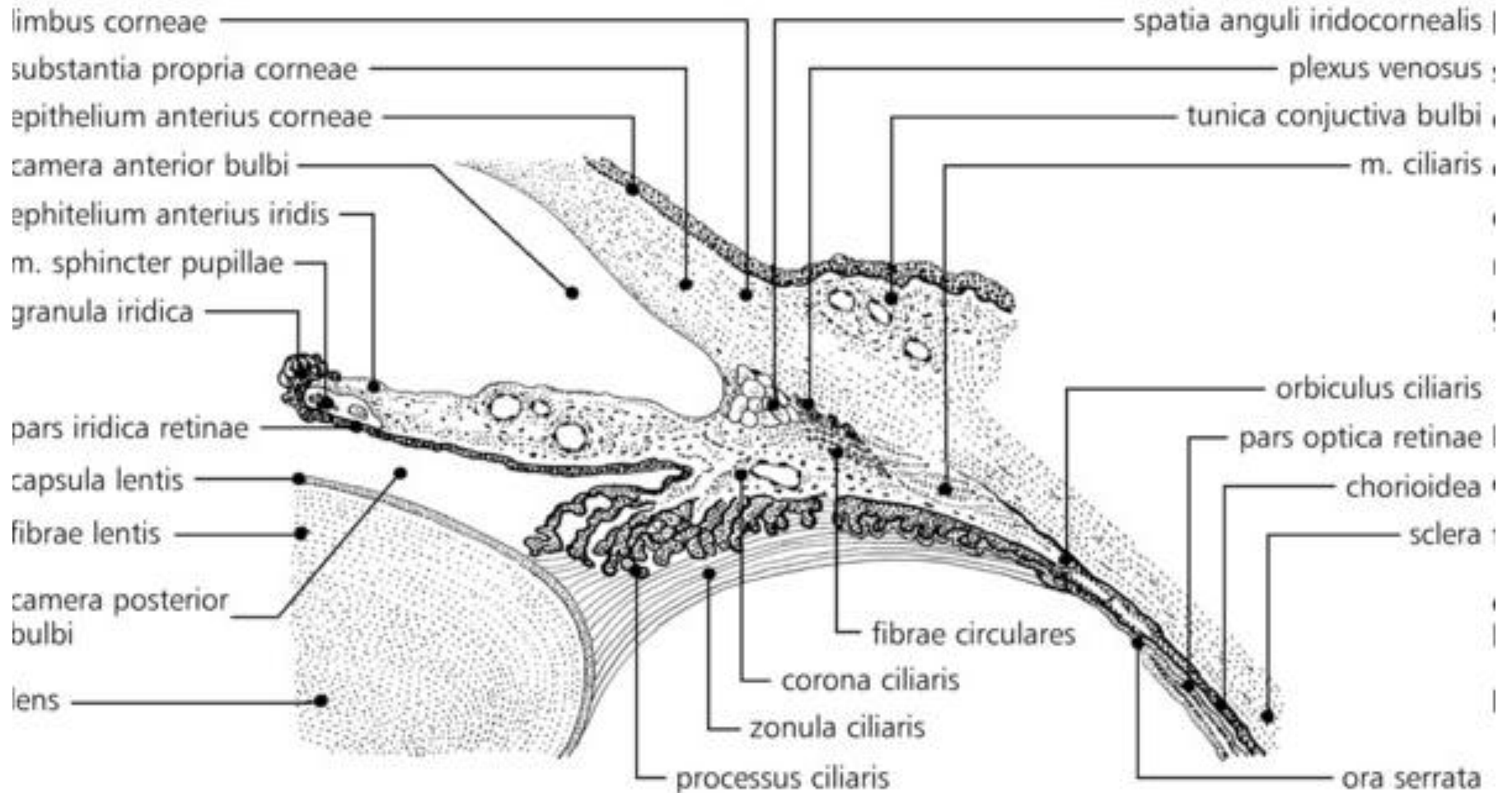


Eindringen neuer Gefäße



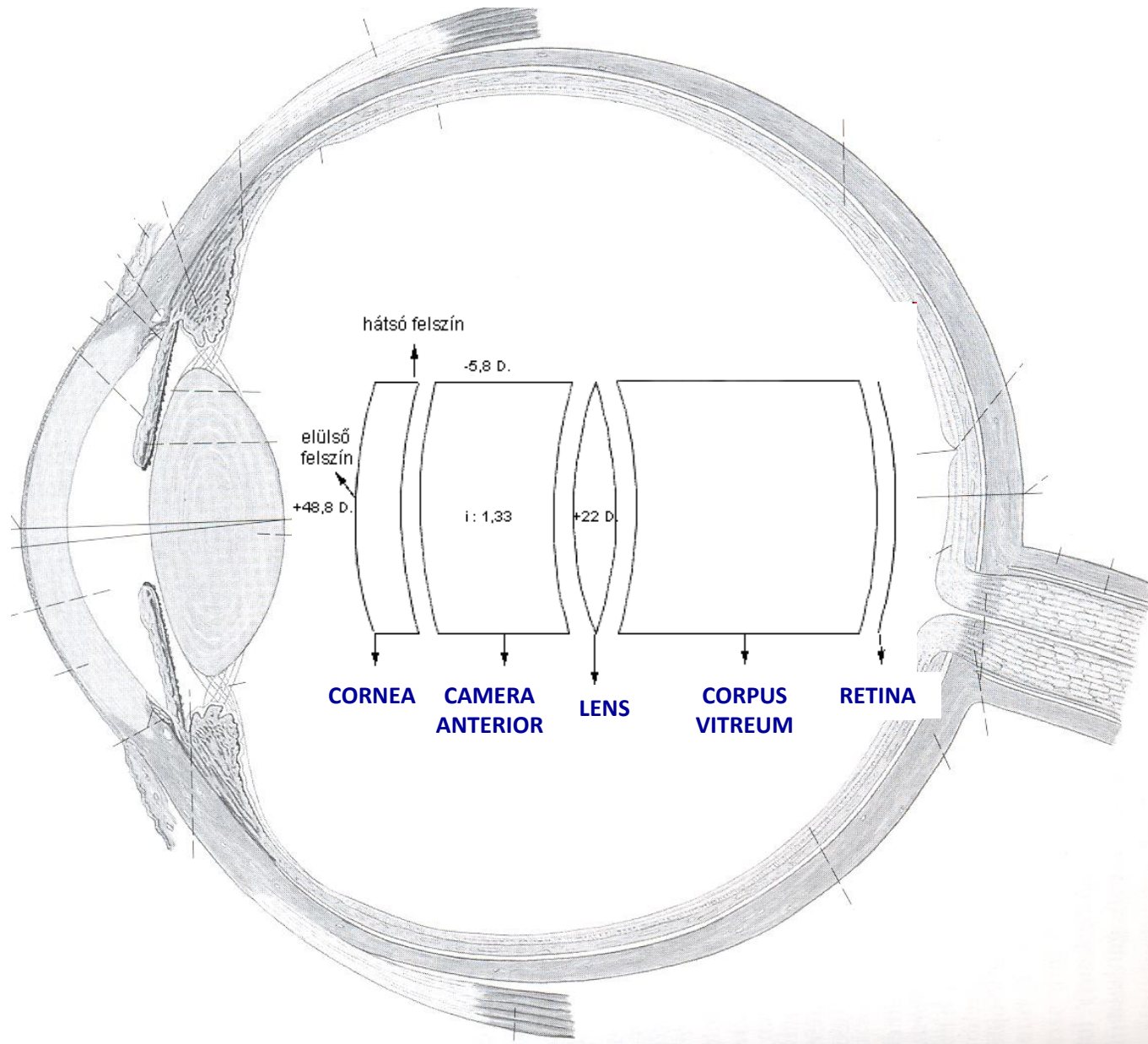
Vernarbung

polus anterior

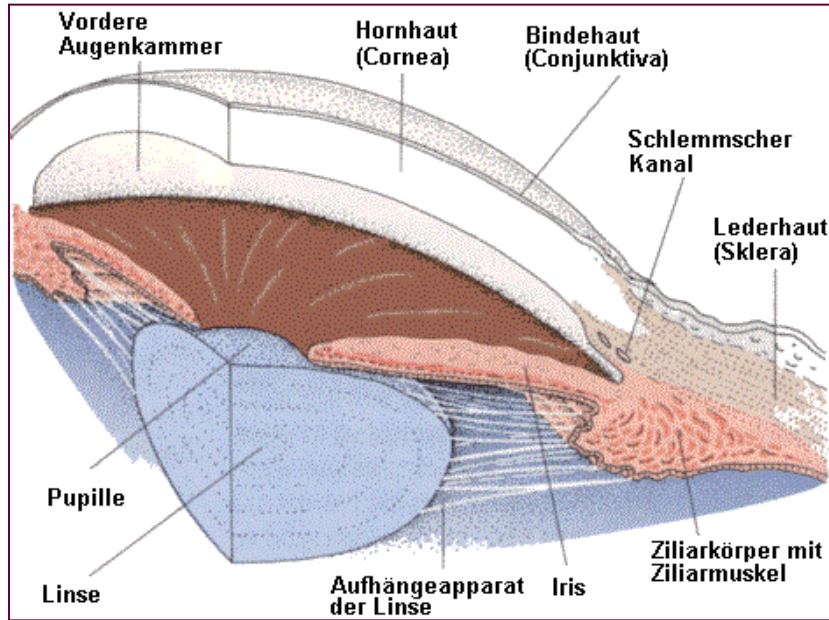


polus posterior

DIE LICHTBRECHENDE MEDIEN DES AUGES



DIE LINSE



Bei Kindern ist die ganze Linse noch weich. Da sich aber immer neue Linsenfasern anlagern, ohne daß alte Linsenfasern abgestoßen werden, wird die Linse im Laufe des Lebens nicht nur größer, sondern auch immer starrer. Der Linsenkern wird immer größer. **Mit dem 40-45 Lebensjahr hat die Elastizität der Linse häufig derart abgenommen, daß viele Menschen in 30-45 cm Entfernung nicht mehr ohne Brille lesen können (vgl. Alterssichtigkeit).** **Ab dem 80. Lebensjahr ist die Linse vielfach völlig starr.**

Die Linse ist gefäß- und nervenfrei, so daß es zu keinen Entzündungen oder Schmerzen der Linse kommt.

Ernährt wird sie durch das Kammerwasser (Elektrolyten, Eiweiß, Zuckern, Ascorbin- und Hyaluronsäure und anderen Bestandteilen). Es dient nicht nur der Ernährung der Linse und der Hornhaut aber es hilft die Form des Auges zu stabilisieren.

Der Stoffwechsel der Linse sehr aktiv. Störungen des auf zellulärer Ebene fein regulierten Austausches von Nähr- und Abfallstoffen oder der Zusammensetzung des Kammerwassers, können zu Linsentrübungen führen.

Wird die Linsenkapsel geschädigt, dringt Kammerwasser in die Linse ein und kann dort zu einer Aufquellung der Rinde führen. Auch in diesem Fall ist der Stoffwechsel der Linse gestört.

DIE LINSENNÄHTE

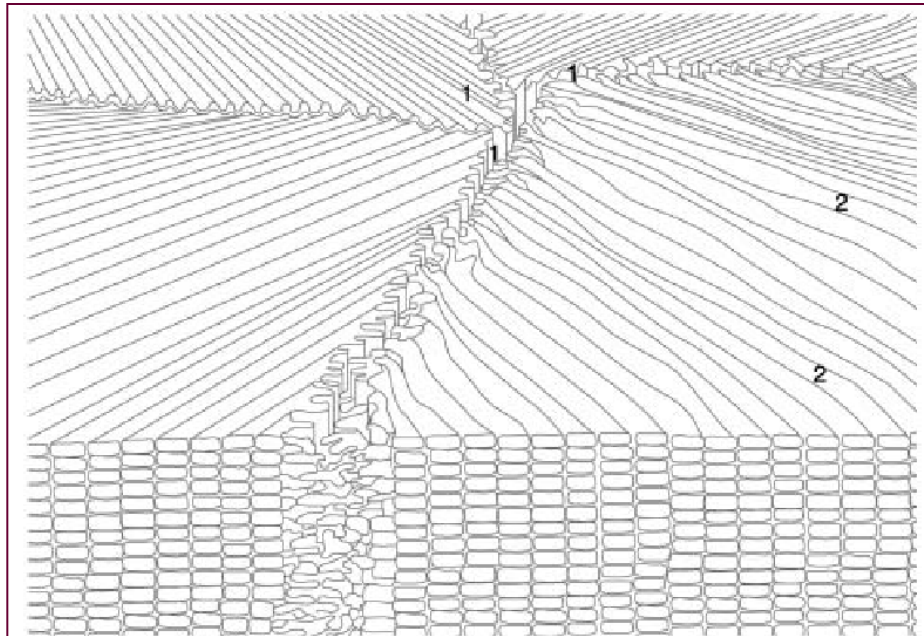
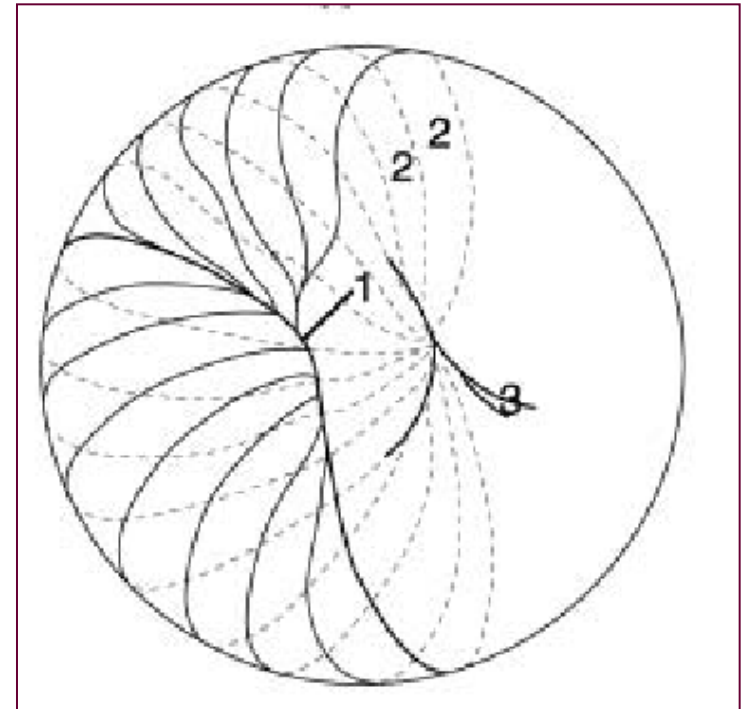


Fig. 2.7

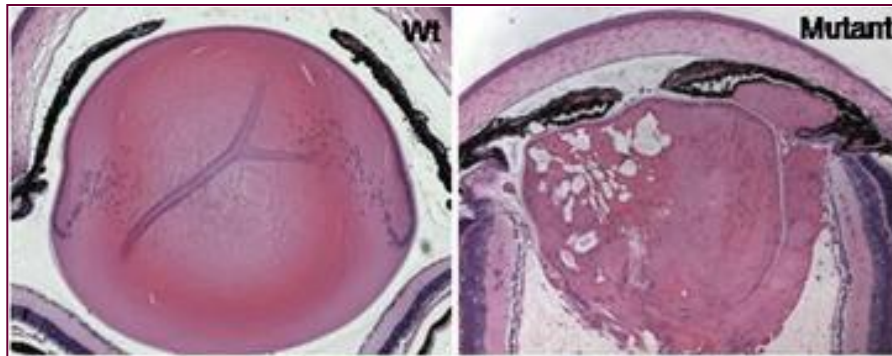
Schematic illustration of the arrangement of lens fibers (after Hogan MJ, Alvarado JA and Weddell JE, 1971).

1. Sutures 2. Lens fibers

Sutures of the lens. A – fetal pattern, oblique view; B – adult pattern, surface view (after Hogan MJ, Alvarado JA and Weddell JE, 1971).



1. Anterior Y suture
2. Bundles of lens fibers
3. Posterior inverted Y suture



DER GLASKÖRPER

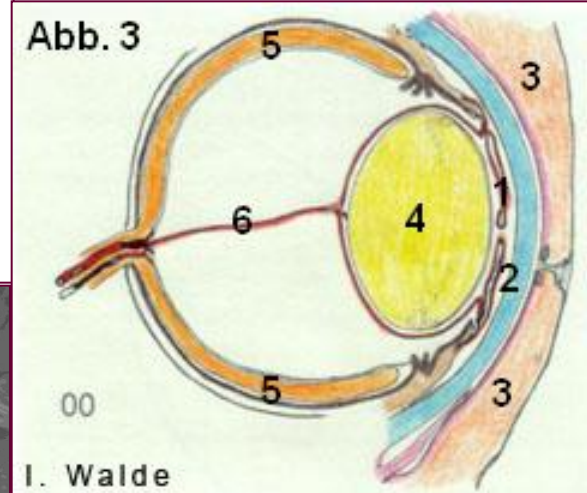
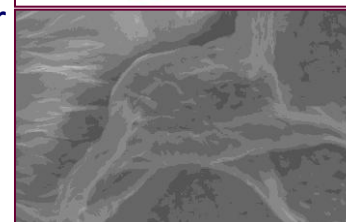
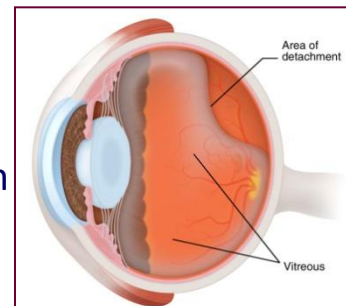
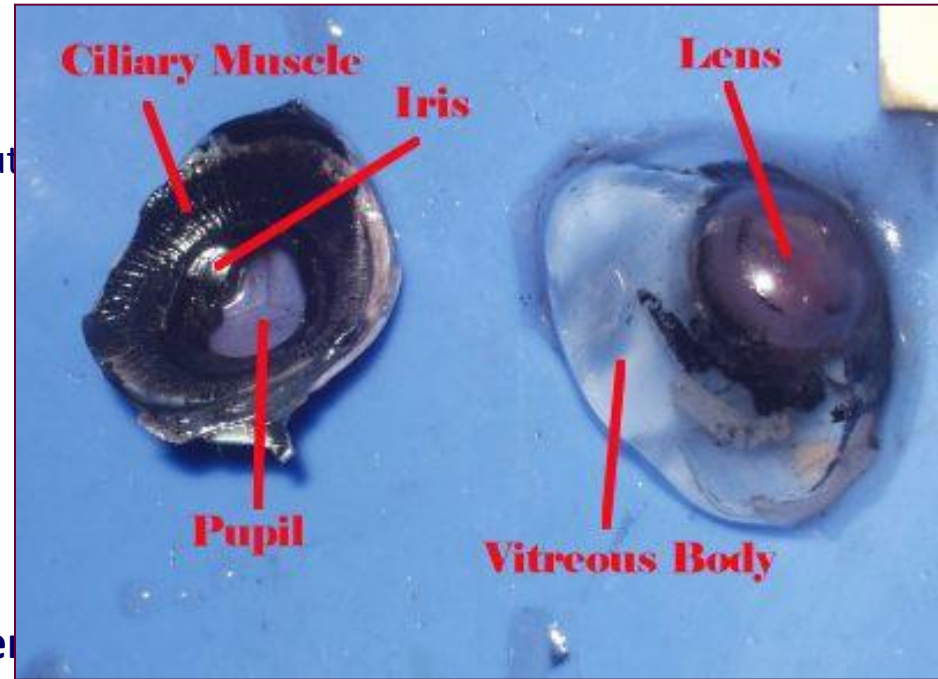
Begrenzt durch die Netzhaut, die Linse und den Ziliarkörper. Folglich durchquert das von der Linse gesammelte Licht auf seinem Weg zur Netzhaut den Glaskörper.

Diese Strukturen sind durch eine Membran (Membrana hyaloidea) fest miteinander verbunden.

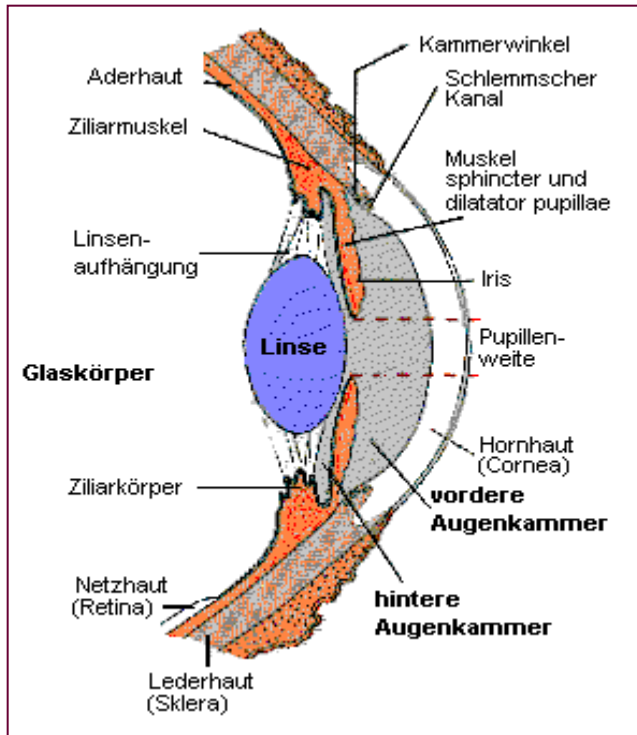
Dort, wo Linse und Glaskörper zusammenstoßen, befindet sich ein kleine Mulde, die **als Fossa patellaris** genannt wird.

Der Glaskörper besteht zu ca. **98 % aus Wasser** sowie aus ca. **2 % Hyaluronsäure** und einem **Netz von Kollagenfasern (<<1 %)**.

Das angesprochene feine, dreidimensionale Netzwerk der Kollagene besteht hierbei vornehmlich aus **Kollagen Typ II und IX**. Die Assoziation von Hyaluronsäure in diesem weitmaschigen Netzwerk sowie die hohe Kapazität der Hyaluronsäure, Wasser zu binden, bedingen die homogene, gelartige Konsistenz des Glaskörpers und seine Durchsichtigkeit.



DER KAMMERWINKEL



Der Augapfel wird anatomisch unterteilt in drei Räume:

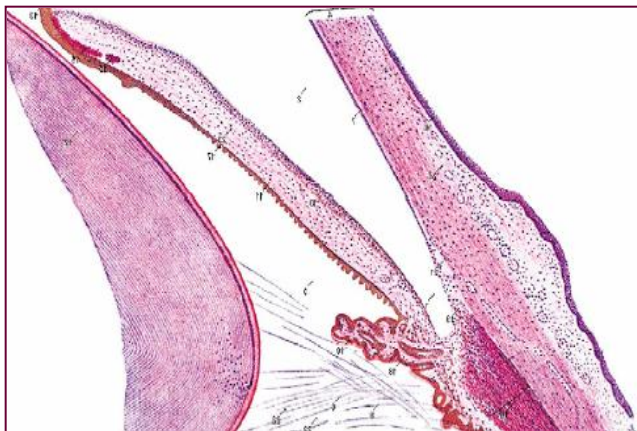
- die vordere Augenkammer,
- die hintere Augenkammer und
- den Glaskörperraum.

Im **Ziliarkörper** im Bereich der hinteren Augenkammer findet **die Produktion des Kammerwassers** statt. Durch eine Lücke zwischen Linse und Iris gelangt das Kammerwasser in die vordere Augenkammer. Diese beiden Augenkammern sind ständig von Kammerwasser gefüllt.

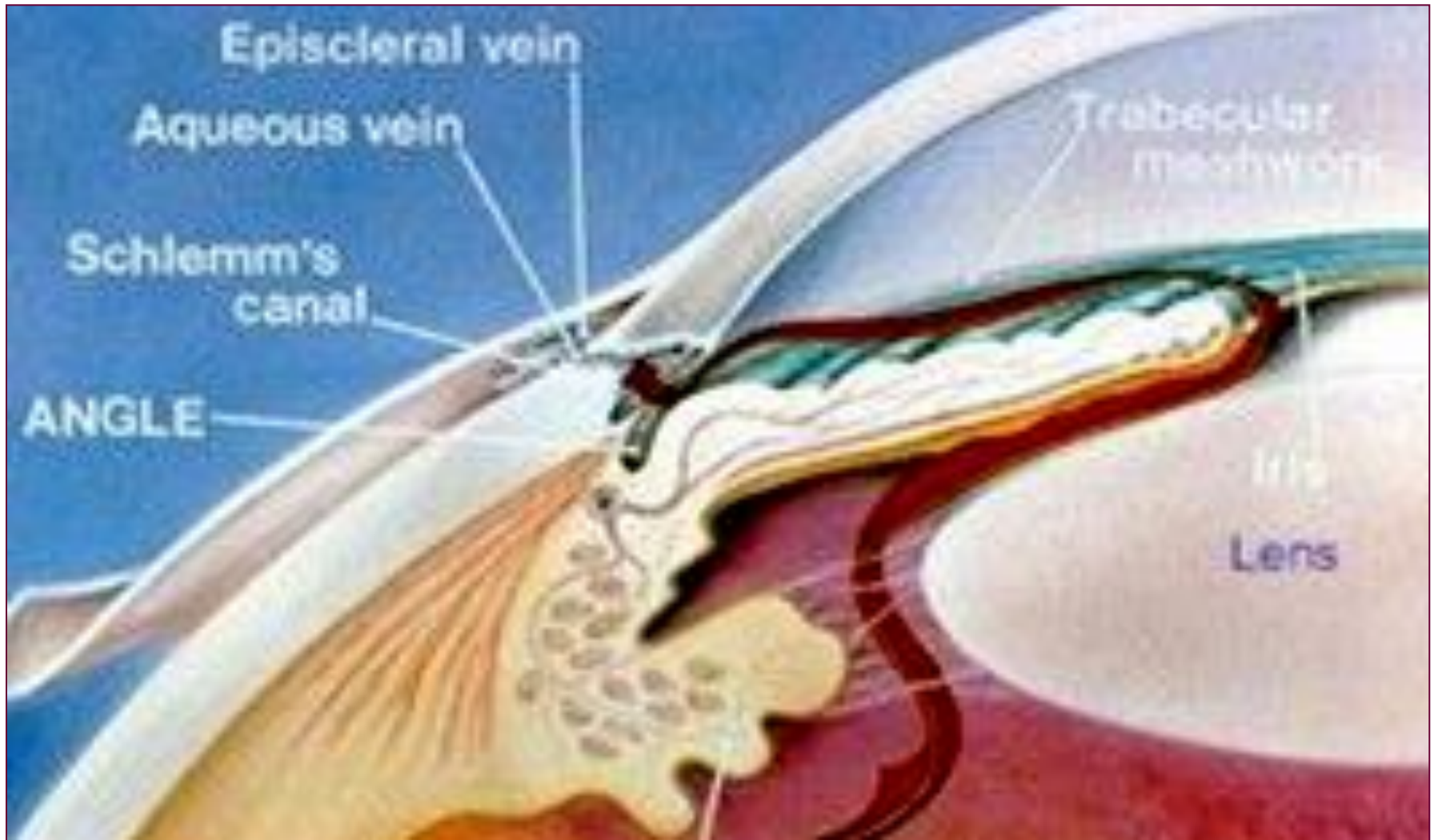
Ist dieser Abfluß behindert, erhöht sich der Innendruck. Der Innendruck ist je nach Alter unterschiedlich und wird zwischen **10 und 30 mm Hg** angegeben.

Normalerweise wird bei einem Erwachsenen in mittleren Jahren von einem durchschnittlichen Innendruck von 21 mm Hg ausgegangen.

Bei einem akuten Glaukomanfall kann der Innendruck bis auf 70 mm Hg ansteigen.



DIE ZIRKULATION DES HUMOR AQUEUS



ABFLUSS DES KAMMERWASSER

Das Kammerwasser wird von den Ziliarkörperperforationen mit einer Rate von 2-4 $\mu\text{l}/\text{Minute}$ in die hintere Augenkammer sezerniert. Es fließt von dort über den hinteren in die vordere Augenkammer und wird über die Abflußstrukturen in der Kammerwinkelbahn abgeführt.

1 Der Hauptanteil (85-90%) fließt durch den Ringkanal, den sog. **Schlemm-Kanal** und über den Anschluß an das episklerale Venensystem ab.

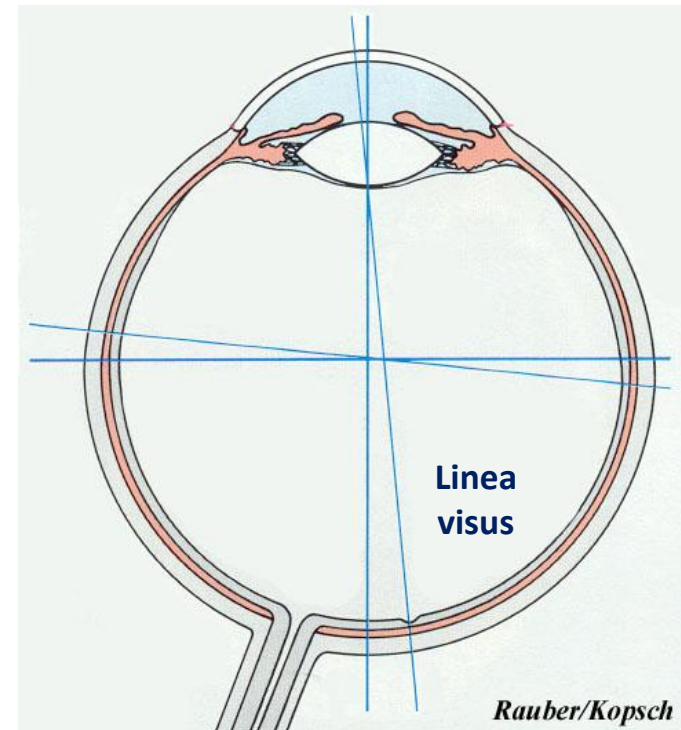
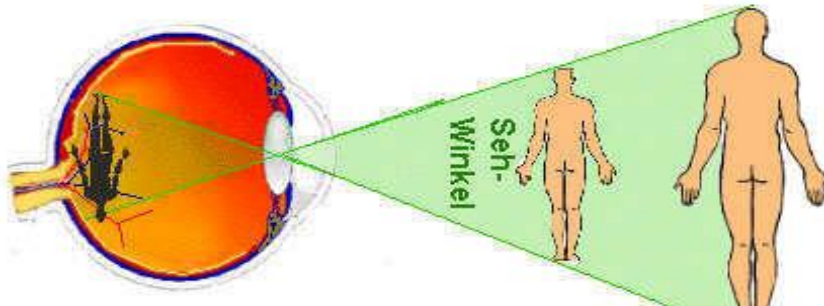
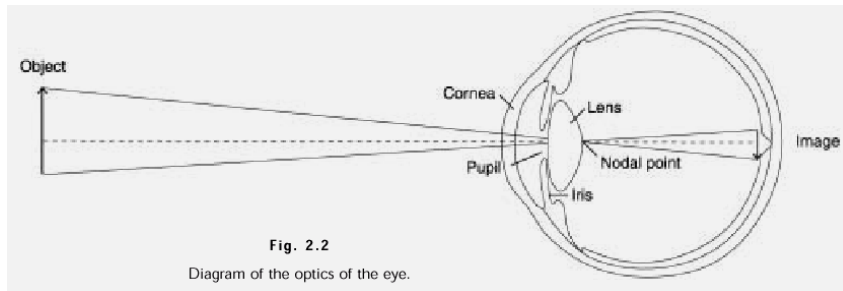
2 Zu einem geringeren Anteil (10-15%) fließt das Kammerwasser über die **uveosklerale Route** ab.

Im Trabekelwerk lassen sich drei strukturelle Einheiten unterscheiden:

- **das uveale Maschenwerk**, das an die Vorderkammer angrenzt;
- **das korneosklerale Maschenwerk**, das sich zwischen Sklerasporn und Hornhaut erstreckt;
- **das an den Ringkanal angrenzende juxtakanalikuläre Bindegewebe**, das nicht aus Trabekelbalken und Kanälen, sondern aus einem schmalen Streifen Bindegewebes besteht



DAS SEHEN



Axis bulbi
externus
et internus
(Axis opticus)

Zwei Objekte mit dem selben Sehwinkel haben auf der Netzhaut die selbe Größe. Sie werden deshalb auch in gleicher Größe wahrgenommen. Dies gleicht die Differenzen durch die Entfernung aus, kann aber auch zu Fehleinschätzungen führen.

SCHARFES SEHEN

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F P O T E C	8	20/20
L E F O D P C T	9	
F D P L T C E O	10	
P E Z O L C F T D	11	

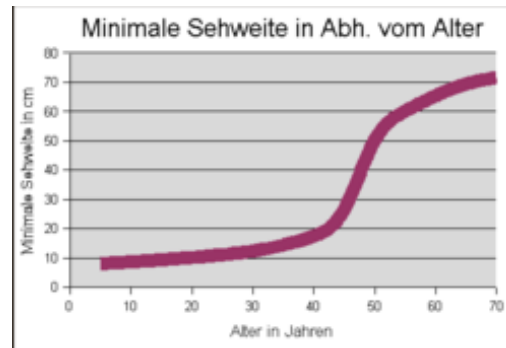
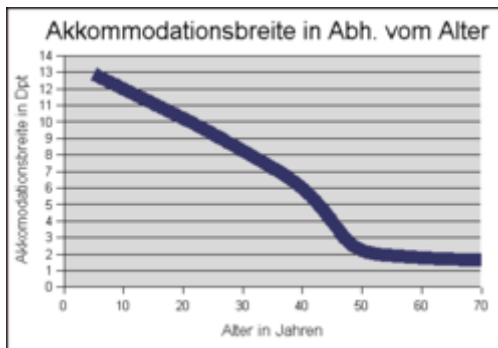
SCHARFES SEHEN – abhängig von der Schärfe des Fokus auf der Retina und der Sensitivität (bzw, Grosshirnrinde, und Interpretation)

Es ist auch ein Zeichen von raumlicher Auflösung des Visuellen Systems

Dioptrie - steht für die Maßeinheit für die Brechkraft optischer Systeme und stellt den Kehrwert der Längeneinheit Meter dar **1/meter**

Brechkraft

10 J approx 14 dioptries,
 20 J nur 9,
 mitte-30es 4,
 Zw 40-50 J 1-2,
 70 J 0 dioptries.

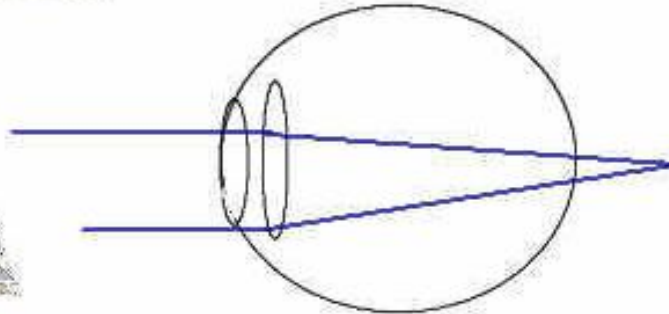


DIE AKKOMODATION

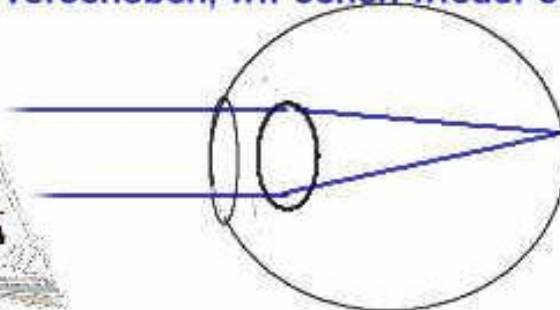
Wenn das Objekt mehr als 6 m vom Auge entfernt ist, treffen die Lichtstrahlen fast parallel auf der Netzhaut ein, die Bildebene ist bei entspanntem Auge auf der Netzhaut. Wir sehen scharf.



Wenn das Objekt näher am Auge ist, ist die Bildebene hinter der Netzhaut, wir sehen unscharf



Durch Krümmung der Linse wird die Brechkraft erhöht, und damit die Bildebene nach vorne verschoben, wir sehen wieder scharf.



Durch eine Kontraktion des *Musculus ciliaris* stellen sich optisch-geometrische Veränderungen im Auge ein, die die Gesamtbrechkraft des Auges um bis zu 15 Dioptrien verändern. Nicht immer kann die Akkommodation bewusst gesteuert werden.

Bei Säugetieren und Vögeln wird zur Akkommodation die Form der elastischen Linse verändert, um die Brechkraft zu variieren. Reptilien und Wirbellose haben eine stabile Linse mit konstanter Brechkraft. Sie verändern den Abstand der Netzhaut zur Linse.

AKKOMODATION, FOKUSSIEREN

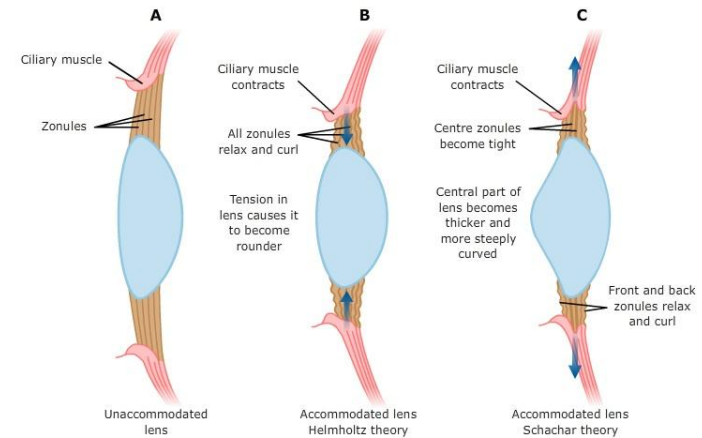
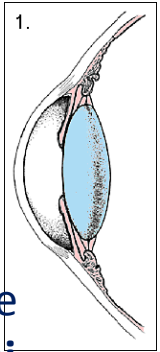
Die unelastische Zonulafasern bilden 3 Ringe um die Linse (zonula Zinni)

Die **Akkommodation** wird durch den ringförmigen Ziliarmuskel gesteuert, an dem die Augenlinse durch die Zonulafasern aufgehängt ist. **Die elastische Augenlinse wird bei Fernblick durch den Zug der Zonulafasern an der Linsenkapsel in eine flachere Ellipsenform gezogen.** Der Zug auf die Fasern wird dabei durch elastische Fasern, die den **entspannten Ziliarmuskel** zurückziehen, erzeugt (großer Durchmesser).

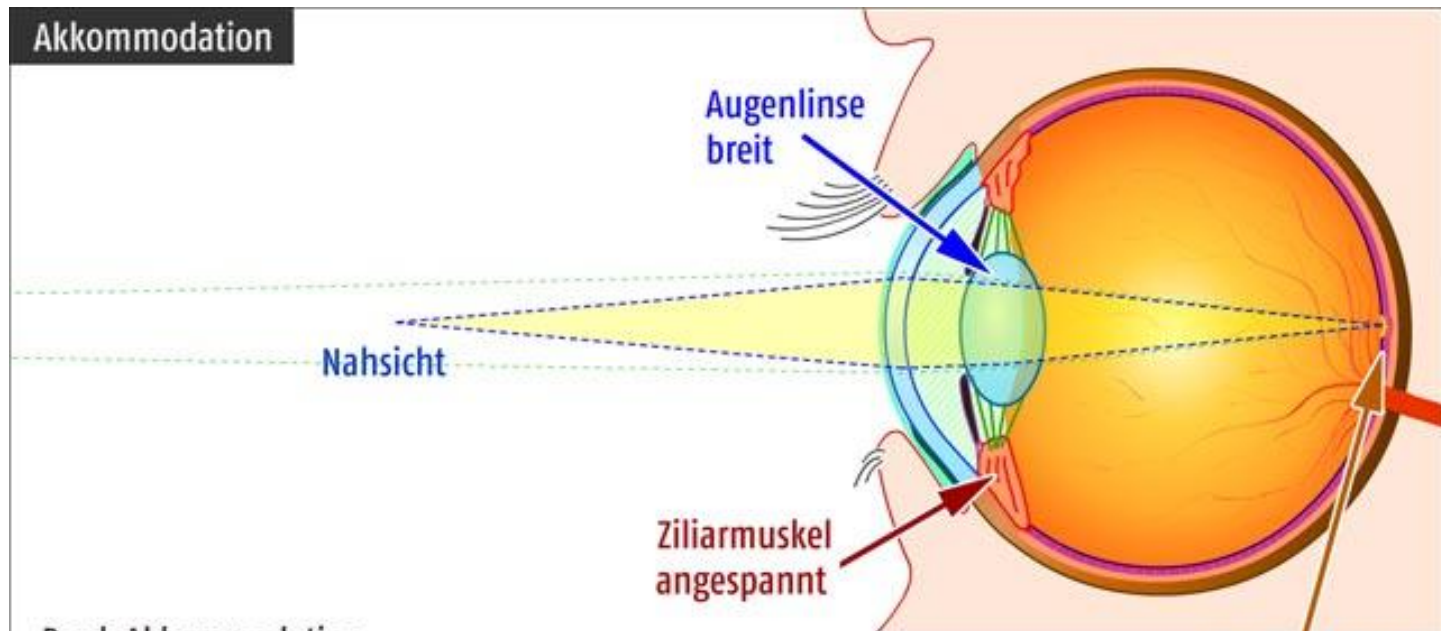
Bei **Nahakkommodation** wird der **Ziliarmuskel angespannt**, der Durchmesser des Ringmuskels verkleinert sich. Dadurch werden die **Zonulafasern entlastet und der Strahlenkörper konzentrisch verengt**. Die Linse verformt sich dabei durch die elastischen Kräfte der Linsenkapsel in ihre kugelförmigere Ruheform, was eine Zunahme der Brechkraft verursacht.

Naheinstellungstrias

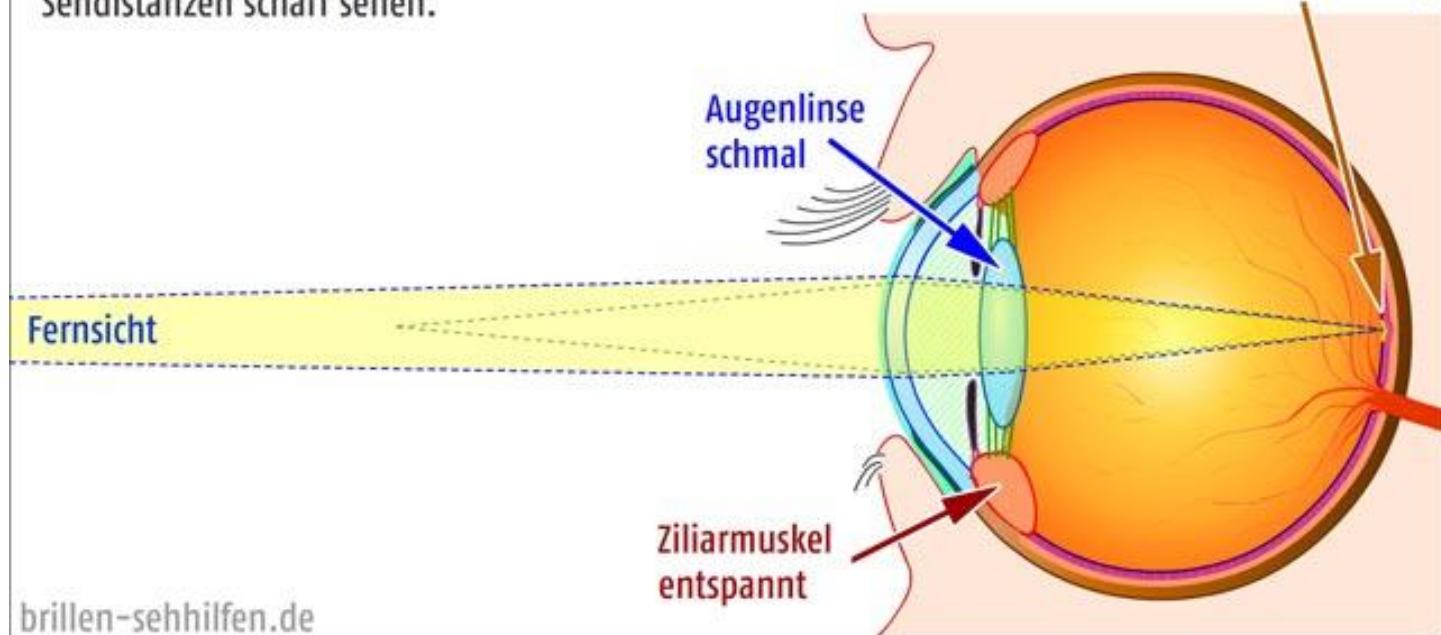
Gleichzeitig mit **der Anspannung des Ziliarmuskels** vollziehen die Augen eine **Konvergenzbewegung**, das heißt, die Augen bewegen sich zueinander hin, so dass sich die Sehachsen im Fixierpunkt schneiden. Diese Konvergenzbewegung ist u. a. Voraussetzung für die Fusion der Seheindrücke beider Augen in der Nähe. Weiterhin stellt sich **eine Pupillenverengung** (Konvergenzmiosis) ein.



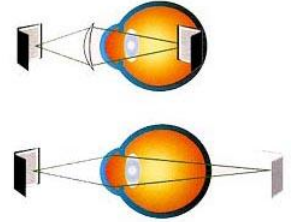
Akkommodation



Dank Akkommodation kann man in unterschiedlichen Sehdistanzen scharf sehen.



AKKOMODATIONSSTÖRUNGEN



Presbyopie (Alterssichtigkeit)

Fällt die Akkommodationsbreite mit zunehmendem Alter unter etwa 3 Dioptrien (die Zeitung muss zum Lesen mit Fernbrille in über 35 cm Abstand gehalten werden) spricht man von einer Presbyopie oder auch Alters(weit)sichtigkeit.

Akkommodationslähmung

Der Musculus ciliaris Nervus oculomotorius innerviert. Von manchen chemischen Stoffen (z. B. Atropin) wird diese Innervation gehemmt, *Zykloplegie* genannt wird. Eine Veränderung des Fernpunktes des Auges und damit für nicht-kurzsichtige Menschen ein scharfes Sehen in der Nähe ist nach Einwirkung dieser *Zykloplegica* für eine gewisse Zeitspanne nicht mehr möglich.

Hypoakkommodation

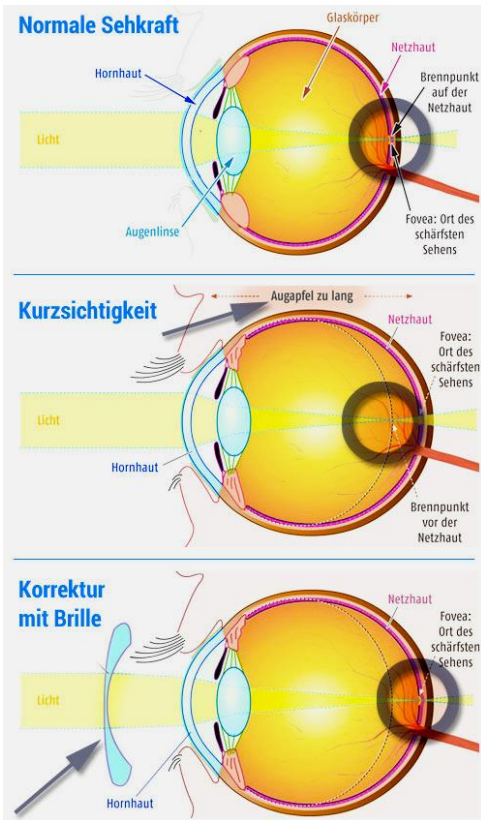
Unter Hypoakkommodation versteht man eine deutlich eingeschränkte Akkommodationsbreite, die nicht neurologisch bedingt ist und in aller Regel einen Konvergenzexzess auslöst. Sie ist äußerst selten und tritt in der Regel im Kindesalter auf. Therapie der Wahl ist die Verordnung einer Bifokalbrille. Die Durchführung einer Schieloperation ist definitiv kontraindiziert.

Akkommodationskrampf

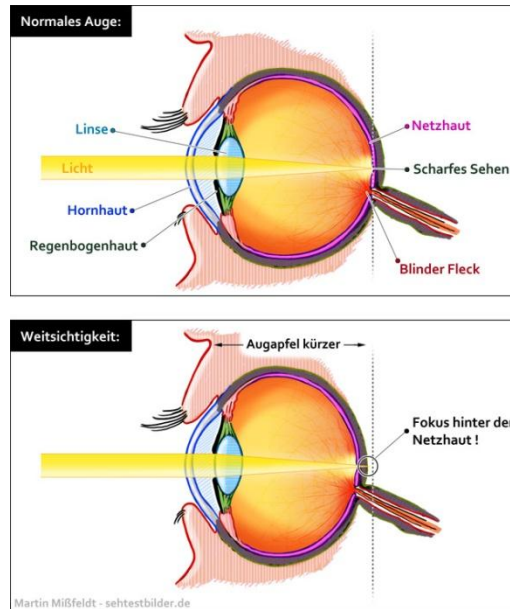
Bei erheblicher unkorrigierter Weitsichtigkeit oder bei einer durch zu starke Minusgläser korrigierten Kurzsichtigkeit kann sich nach längerer Zeit ein *Akkommodationsspasmus* einstellen. (Kopfschmerzen und vorübergehendem Verschwommensehen.)

SEHSTÖRUNGEN

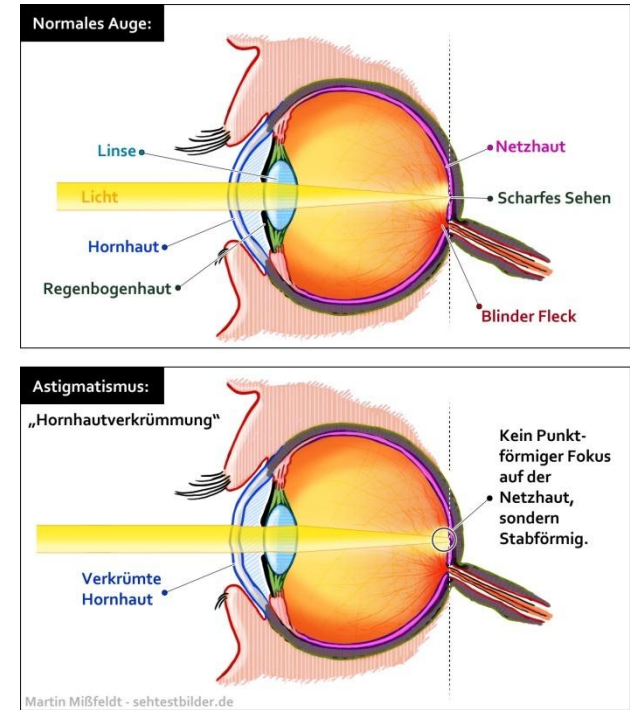
Myopie



Hyper(metr)opie

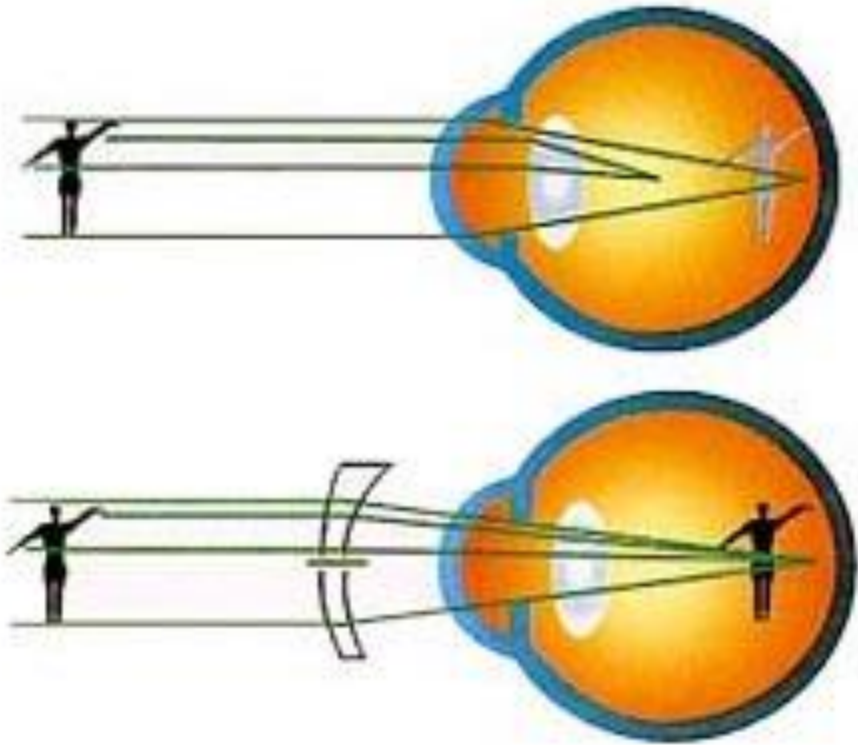


Astigmatismus



Töréshibák

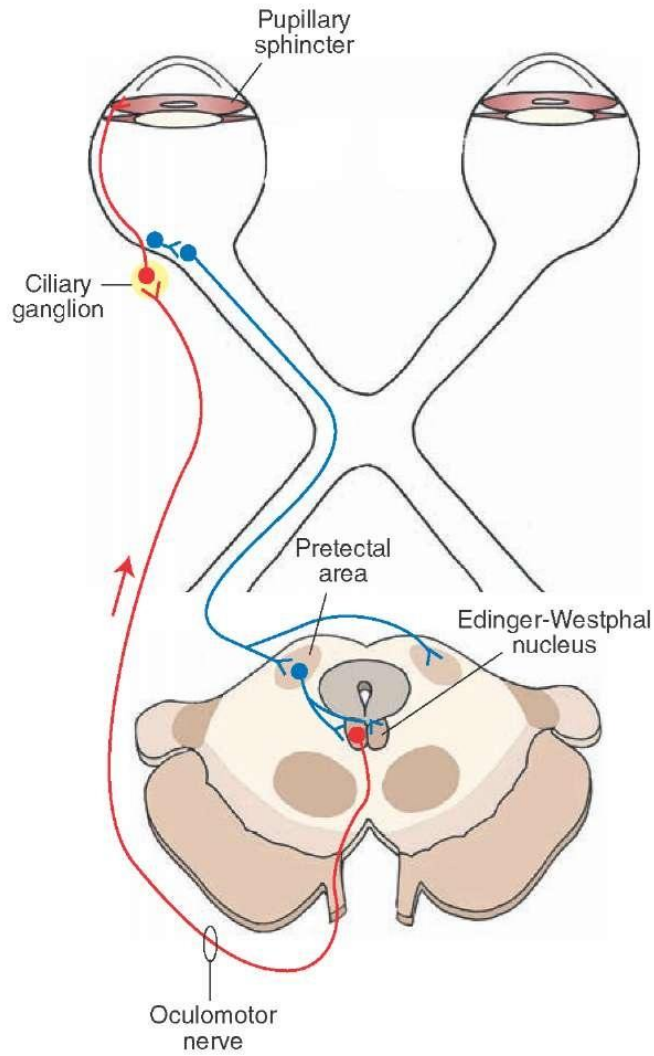
Astigmatismus



Egy meridian eltérő törőképességű

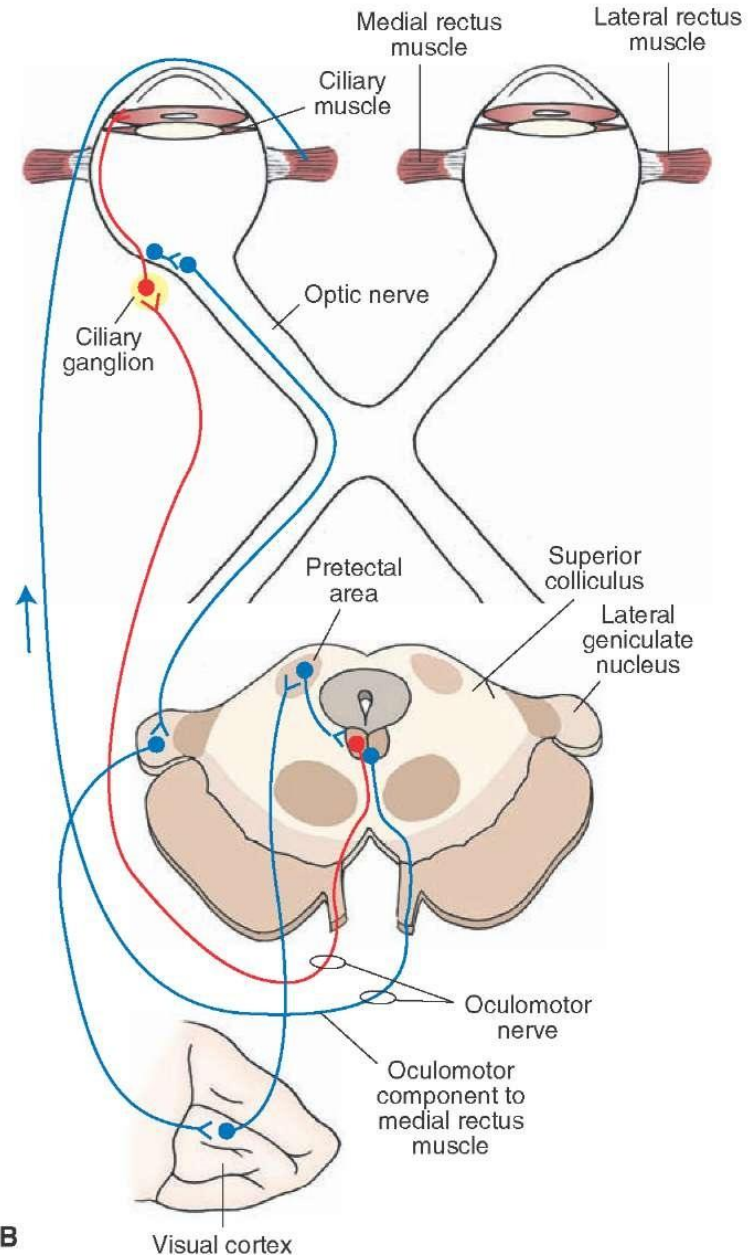
**A fény az egyes meridiánokban
Különböző mértékben törik**

LICHTREFLEX



A

AKKOMODATION



B