

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗНАЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИИ  
ОРГАНА ЗРЕНИЯ  
В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Учебное пособие

Уфа  
2016

УДК 611.84:612.84 (075.8)

ББК 28.706 +56.7

Р 17

Рецензенты:

Зав. кафедрой физиологии человека и зоологии  
ФГБОУ ВО "Башкирский государственный университет",  
профессор, доктор биологических наук *З.Р. Хисматуллина*

Профессор кафедры офтальмологии  
ФДО ГБОУ ВПО «Южно-Уральская Государственная медицинская академия»  
Минздрава России, доктор медицинских наук *Е.А. Дроздова*

**Значение строения и функции органа зрения в клинической**  
Р 17 **практике:** учеб. пособие / Сост.: А.Ф. Габдрахманова, Ф.А. Каюмов,  
С.Р. Авхадеева. – Уфа: Изд-во ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России,  
2016. – 72 с.: ил. 37.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с требованиями ФГОС ВО, учебными планами и рабочими программами дисциплин «Офтальмология» и «Гистология» как междисциплинарное издание для формирования профессиональных компетенций специалистов, обучающихся по специальности «Лечебное дело».

Учебное пособие содержит сведения о строении и функции органа зрения, их значений в клинической практике, оснащено тестовыми заданиями и ситуационными задачами с эталонами ответов.

Данное учебное пособие предназначено в качестве дополнительной литературы для изучения дисциплин при подготовке обучающихся.

Рекомендовано в печать Координационным научно-методическим советом и утверждено решением Редакционно-издательского совета ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России.

УДК 611.84:612.84(075.8)

ББК 28.706 +56.7

© ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2016  
© Габдрахманова А.Ф., Каюмов Ф.А., Авхадеева С.Р., 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Эмбриогенез органа зрения.....	6
Строение глаза.....	7
Светопреломляющий аппарат глаза.....	8
Гидродинамическая система глаза.....	12
Аккомодационный аппарат глаза.....	13
Рецепторный аппарат глаза.....	16
Механизм фотовосприятия.....	25
Вспомогательный аппарат глаза.....	29
Клиническое значение морфо-функциональных особенностей органа зрения.....	31
Тестовые задания.....	35
Ситуационные задачи.....	43
Эталоны ответов к тестовым заданиям и ситуационным задачам.....	46
Рекомендуемая литература.....	47
Приложения (микрофотографии и рисунки).....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Данное учебное пособие составлено в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и рабочей программой по дисциплинам «Офтальмология» и «Гистология» по специальности «Лечебное дело».

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов теоретических представлений о развитии и функциональной морфологии органов чувств, обеспечивающих базис для изучения клинических дисциплин и способствующих формированию врачебного мышления.

Дисциплины «Офтальмология» и «Гистология» относятся к медико-биологическому и клиническому циклу дисциплин высшего профессионального медицинского образования. Основные знания, необходимые для изучения дисциплины формируются в цикле медико-биологических дисциплин, наряду с биологией, органической биологической химией, анатомией человека, нормальной физиологией и гистологией. На цикле «Офтальмология», полученные знания по анатомии и гистологии органа зрения закрепляются и рассматриваются в контексте офтальмологических заболеваний.

В результате освоения дисциплины студент должен:

*знать* основные закономерности развития и жизнедеятельности органа зрения на основе структурной организации клеток и тканей; гистофункциональные особенности тканевых элементов; методы их исследования;

*уметь* пользоваться учебной, научной, научно-популярной литературой, сетью Интернет для профессиональной деятельности; пользоваться лабораторным оборудованием; анализировать гистофизиологическое состояние различных клеточных и тканевых структур органа зрения;

*владеть* медико-функциональным понятийным аппаратом; навыками постановки предварительного диагноза на основе результатов клинического и лабораторного исследования.

Процесс изучения дисциплин «Офтальмология» и «Гистология» направлен на формирование ряда компетенций, в том числе:

- готовности к использованию основных физико-химических, математических и иных естественно-научных понятий и методов при решении профессиональных задач (ОПК-7);

- способности к оценке морфофункциональных, физиологических состояний и патологических процессов в организме человека для решения профессиональных задач (ОПК-9);

- готовности к сбору и анализу жалоб пациента, данных его анамнеза, результатов осмотра, лабораторных, инструментальных, патолого-анатомических и иных исследований в целях распознавания состояния или установления факта наличия или отсутствия заболевания (ПК-5);

- способности к определению у пациента основных патологических состояний, симптомов, синдромов заболеваний, нозологических форм в соответствии с Международной статистической классификацией болезней и проблем, связанных со здоровьем, X пересмотра (ПК-6).

## ЭМБРИОГЕНЕЗ ОРГАНА ЗРЕНИЯ

**Глаз** (ophthalmos oculus) – орган зрения, представляющий собой периферическую часть зрительного анализатора, в котором рецепторную функцию выполняют нейроны сетчатой оболочки.

**Глаз** состоит из **глазного яблока**, содержащего фоторецепторные (нейросенсорные) клетки, и **вспомогательного аппарата**, к которому относятся **веки, слезный аппарат и глазодвигательные мышцы**.

Глаз развивается из различных эмбриональных зачатков (рис. 1-4). Сетчатка и зрительный нерв формируются из нервной трубки путем образования сначала так называемых **глазных пузырьков**, сохраняющих связь с эмбриональным мозгом при помощи полых **глазных стебельков**. Передняя часть глазного пузырька впячивается внутрь его полости, благодаря чему он приобретает форму двустенного глазного бокала. Часть эктодермы, расположенная напротив отверстия глазного бокала, утолщается, инвагинирует и отшнуровывается, давая начало зачатку **хрусталика**. Первоначально хрусталик имеет вид полого эпителиального пузырька. Затем клетки эпителия его задней стенки глазного бокала преобразуются в **сетчатку**, наружная – в **пигментный слой сетчатки**. Из нейробластов внутренней стенки глазного бокала образуются **колбочки и палочки (нейросенсорные клетки)** и другие нейроны сетчатки. Развитие фоторецепторных элементов тесно связано с развитием **пигментного слоя сетчатки**. При этом диски будущих колбочек и палочек развиваются сначала одинаково – путем образования складок плазматической мембраны и ресничек, затем часть эмбриональных колбочек претерпевает дополнительную дифференцировку, приводящую к замыканию дисков, отрыву их от плазмолеммы и превращению в палочковые клетки. Образование дисков индуцируется витамином А. В его отсутствие они не развиваются, а у взрослых при продолжительной недостаточности витамина А диски разрушаются.

Стебелек глазного бокала пронизывается аксонами, образующими в сетчатке ганглиозные клетки. Эти аксоны и формируют **зрительный нерв**, направляющийся в мозг. Из окружающей, глазной бокал, мезенхимы формируются **сосудистая оболочка и склера**. В передней части глаза склера переходит в покрытую многослойным плоским эпителием прозрачную **роговицу**. Сосуды и мезенхима, проникающие на ранних стадиях развития внутрь глазного бокала, совместно с эмбриональной сетчаткой принимают участие в образовании **стекловидного тела и радужки**. **Мышца радужки, суживающая зрачок**, раз-

вивается из краевого утолщения наружного и внутреннего листков глазного бокала, а **мышца, расширяющая зрачок**, – из наружного листка. Таким образом, обе мышцы радужки по своему происхождению являются нейральными (рис. 1-3 и 9–10).

## СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

**Глазное яблоко** (*bulbus oculi*) состоит из трех оболочек. **Наружная (фиброзная) оболочка** глазного яблока, к которой прикрепляются наружные мышцы глаза, обеспечивает защитную функцию. В ней различают передний прозрачный отдел – роговицу и задний непрозрачный отдел – склеру. **Средняя (сосудистая) оболочка** выполняет основную роль в обменных процессах. Она имеет три части: радужку, цилиарное тело и собственно сосудистую – хориоидею (*chorioidea*).

**Внутренняя, чувствительная оболочка глаза – сетчатка** (*tunica interna sensoria bulbi, retina*) – сенсорная, рецепторная часть зрительного анализатора, в которой происходят под воздействием света фотохимические превращения зрительных пигментов, фототрансдукция, изменение биоэлектрической активности нейронов и передача информации о внешнем мире в подкорковые и корковые зрительные центры.

Оболочки глаза и их производные формируют три функциональных аппарата: **светопреломляющий, или диоптрический** (роговица, жидкость передней и задней камер глаза, хрусталик и стекловидное тело); **аккомодационный** (радужка, ресничное тело с ресничными отростками); **рецепторный аппарат (сетчатка)**.

**Наружная фиброзная оболочка – склера** (*sclera*) – образована плотной оформленной волокнистой соединительной тканью, содержащей пучки коллагеновых волокон, между которыми находятся уплощенной формы фибробласты и отдельные эластические волокна. Пучки коллагеновых волокон, истончаясь, переходят в собственное вещество роговицы.

Толщина склеры в заднем отделе вокруг зрительного нерва наибольшая – 1,2-1,5 мм, впереди склера истончается до 0,6 мм у экватора и до 0,3-0,4 мм позади места прикрепления прямых мышц. В области диска зрительного нерва большая часть (1/3) истонченной фиброзной оболочки сливается с твердой оболочкой зрительного нерва, а истонченные внутренние слои образуют решетчатую пластинку. При повышении внутриглазного давления фиброзная оболочка истончается, что является причиной некоторых патологических изменений.



## Светопреломляющий аппарат глаза

Светопреломляющий (диоптрический) аппарат глаза включает роговицу, хрусталик, стекловидное тело, жидкости передней и задней камер глаза.

**Роговица** (cornea) занимает 1/16 площади фиброзной оболочки глаза и, выполняя защитную функцию, отличается высокой оптической гомогенностью, пропускает и преломляет световые лучи и является составной частью светопреломляющего аппарата глаза. Пластинки коллагеновых фибрилл, из которых состоит основная часть роговицы, имеют правильное расположение, одинаковый показатель преломления с нервными ветвями и межуточной субстанцией, что вместе с химическим составом определяет ее прозрачность.

Толщина роговицы 0,8-0,9 мкм в центре и 1,1 мкм на периферии, радиус кривизны 7,8 мкм, показатель преломления – 1,37, сила преломления 40 дптр.

В роговице микроскопически выделяют 5 слоев: 1) передний многослойный плоский неороговевающий эпителий; 2) переднюю пограничную мембрану (боуменову оболочку); 3) собственное вещество роговицы; 4) заднюю пограничную эластическую мембрану (десцemetову оболочку); 5) задний эпителий («эндотелий»).

Клетки **переднего эпителия роговицы** плотно прилегают друг к другу, располагаются в 5 слоев, соединены десмосомами. Базальный слой расположен на боуменовой оболочке. В патологических условиях (при недостаточности прочной связи базального слоя боуменовой оболочки) происходит отслойка от базального слоя боуменовой оболочки. Клетки базального слоя эпителия (герминативный, зародышевый слой) имеют призматическую форму и овальное ядро, расположенное близко к вершине клетки. К базальному слою примыкают 2–3 слоя многогранных клеток. Их вытянутые в сторону отростки внедряются между соседними клетками эпителия, подобно крыльям (крылатые, или шиповатые, клетки). Ядра крылатых клеток округлые. Два поверхностных эпителиальных слоя состоят из резко уплощенных клеток, не имеют признаков ороговения. Удлиненные узкие ядра клеток наружных слоев эпителия располагаются параллельно поверхности роговицы. В эпителии имеются многочисленные свободные нервные окончания, обуславливающие высокую тактильную чувствительность роговицы. Поверхность роговицы увлажнена секретом слезных и конъюнктивальных желез, который защищает глаз от вредных физико-химических воздействий внешнего мира, бактерий. Под эпителием роговицы расположена бесструктурная **передняя пограничная мембрана – боуменова оболочка** толщиной 6–9 мкм. Она представляет собой модифицированную ги-

линизированную часть стромы, трудноотличима от последней и имеет тот же состав, что и собственное вещество роговицы. Граница между боуменовой оболочкой и эпителием хорошо выражена, слияние боуменовой оболочки со стромой происходит незаметно.

**Собственное вещество роговицы – строма** – состоит из гомогенных тонких соединительнотканых пластинок, взаимопересекающихся под углом, но правильно чередующихся и расположенных параллельно поверхности роговицы. В пластинках и между ними располагаются отростчатые плоские клетки, являющиеся разновидностями фибробластов. Пластинки состоят из параллельно расположенных пучков коллагеновых фибрилл диаметром 0,3 – 0,6 мкм (по 1000 в каждой пластинке). Клетки и фибриллы погружены в аморфное вещество, богатое гликозаминогликанами (в основном кератинсульфатами), которое обеспечивает прозрачность собственного вещества роговицы. В области радужно-роговичного угла оно продолжается в непрозрачную наружную оболочку глаза – **склеру**. Собственное вещество роговицы не имеет кровеносных сосудов.

**Задняя пограничная пластинка – десцеметова оболочка** – толщиной 5–10 мкм, представлена коллагеновыми волокнами диаметром 10 нм, погруженными в аморфное вещество. Это стекловидная, сильно преломляющая свет мембрана. Она состоит из двух слоев: наружного – эластического, внутреннего – кутикулярного и является производным клеток заднего эпителия («эндотелия»). Характерными особенностями десцеметовой оболочки являются прозрачность, резистентность к химическим агентам и расплавляющему действию гнойного экссудата при язвах роговицы.

При гибели передних слоев десцеметова оболочка выпячивается в виде прозрачного пузырька (десцеметоцеле). На периферии она утолщается, и у людей пожилого возраста на этом месте могут формироваться округлые бородавчатые образования – тельца Гассалья–Генле.

У лимба десцеметова оболочка, истончаясь и разволокняясь, переходит в трабекулы склеры. **Лимб** – граница между прозрачной роговицей и непрозрачной склерой.

**Задний эпителий (эндотелий)**, состоит из одного слоя плоских полигональных клеток. Он защищает строму роговицы от воздействия влаги передней камеры. Ядра клеток эпителия округлые или слегка овальные, их ось располагается параллельно поверхности роговицы. Клетки эпителия нередко содержат вакуоли. На периферии эпителий переходит непосредственно на волокна трабе-

кулярной сети, образуя наружный покров каждого трабекулярного волокна, вытягиваясь в длину.

В регуляции водного обмена играют роль боуменова и десцеметова оболочки, а процессы обмена в роговице обеспечиваются диффузией питательных веществ из влаги передней камеры глаза и за счет краевой петливой сети роговицы, многочисленными концевыми капиллярными ветвями, образующими густое перилимбальное сплетение.

Лимфатическая система роговицы формируется из узких лимфатических щелей, сообщающихся с ресничным венозным сплетением. Роговица отличается высокой чувствительностью, что объясняется наличием в ней нервных окончаний.

Длинные цилиарные нервы, представляя ветви назоцилиарного нерва, отходящего от первой ветви тройничного нерва, на периферии роговицы проникают в ее толщу, теряют миелин на некотором расстоянии от лимба, делясь дихотомически. Нервные ветви образуют следующие плетения: в собственном веществе роговицы, претерминальное и под боуменовой оболочкой – терминальное, суббазальное (сплетение Райзера).

При воспалительных процессах кровеносные капилляры и клетки (лейкоциты, макрофаги и др.) проникают из области лимба в собственное вещество роговицы, что приводит к ее помутнению и ороговению, образованию бельма (рис. 4–5).

**Хрусталик (lens).** Это прозрачное выпуклое тело, форма которого меняется во время аккомодации глаза к видению близких и отдаленных объектов. Вместе с роговицей и стекловидным телом хрусталик составляет основную светопреломляющую среду. Радиус кривизны хрусталика варьирует от 6 до 10 мм, показатель преломления составляет 1,42. Хрусталик покрыт прозрачной капсулой толщиной 11-18 мкм. Его передняя стенка, прилежащая к капсуле, состоит из однослойного плоского эпителия хрусталика.

По направлению к экватору эпителиоциты становятся выше и образуют **ростковую зону хрусталика**. Эта зона «поставляет» в течение всей жизни новые клетки, как на переднюю, так и на заднюю поверхность хрусталика. Новые эпителиоциты преобразуются в так называемые **хрусталиковые волокна**. Каждое волокно представляет собой прозрачную шестиугольную призму. В цитоплазме хрусталиковых волокон находится прозрачный белок – **кристаллин**. На начальных стадиях дифференцировки клетки хрусталика синтезируют небольшое количество  $\alpha$ - и  $\beta$ -кристаллинов. По мере дифференцировки удлинен-

ные клетки хрусталика, кроме  $\alpha$ - и  $\beta$ -кристаллинов, начинают синтезировать гамма кристаллины. Волокна склеиваются друг с другом особым веществом, которое имеет такой же, как и они, коэффициент преломления. Центральные расположенные волокна теряют свои ядра, укорачиваются и, наклоняясь друг на друга, образуют **ядро хрусталика**.

Хрусталик поддерживается в глазу с помощью волокон **ресничного пояса**, образованного радиально расположенными пучками нерастяжимых волокон, прикрепленных с одной стороны к цилиарному телу, а с другой – к капсуле хрусталика, благодаря чему сокращение мышц цилиарного тела передается хрусталику. Знание закономерностей строения и гистофизиологии хрусталика позволило разработать методы создания искусственных хрусталиков и широко внедрить в клиническую практику их имплантацию, что сделало возможным лечение больных с помутнением хрусталика (катаракта).

**Стекловидное тело.** Это прозрачная масса желеобразного вещества, заполняющего полость между хрусталиком и сетчаткой. На фиксированных препаратах стекловидное тело имеет сетчатое строение. На периферии оно более плотное, чем в центре. Через стекловидное тело проходит канал – остаток эмбриональной сосудистой системы глаза – от сосочка сетчатки до задней поверхности хрусталика. Стекловидное тело содержит белок витреин и гиалуроновую кислоту. Показатель преломления стекловидного тела равен 1,33.

### **Гидродинамическая система глаза**

**Задняя камера** образована радужной оболочкой (передняя стенка) и стекловидным телом и хрусталиком (задняя стенка). **Передняя камера** образована роговицей (наружная стенка) и радужной оболочкой (задняя стенка), в области зрачка – передней капсулой хрусталика. Внутриглазная жидкость образуется в отростках ресничного тела. Продуцированная жидкость попадает в заднюю камеру, через зрачок циркулирует в переднюю камеру и оттекает в угол передней камеры. На крайней ее периферии в углу передней камеры имеется камерный, или радужно-роговичный, угол с небольшим участком цилиарного тела. Камерный (так называемый фильтрационный) угол граничит с дренажным аппаратом – **шлеммовым каналом**. Состояние камерного угла играет большую роль в обмене внутриглазной жидкости и в изменении внутриглазного давления. Соответственно вершине угла в склере проходит кольцевидно располагающийся **желобок**. Задний край желобка несколько утолщен и образует склеральный **валик**, сформированный за счет круговых волокон склеры (заднее по-

граничное кольцо Швальбе). Склеральный валик служит местом прикрепления поддерживающей связки цилиарного тела и радужной оболочки – трабекулярного аппарата, заполняющего переднюю часть склерального желобка. В задней части он прикрывает шлемов канал.

**Трабекулярный аппарат**, ранее ошибочно называвшийся гребенчатой связкой, состоит из 2 частей: склерокорнеальной, занимающей большую часть трабекулярного аппарата, и второй, более нежной, – увеальной части, которая расположена с внутренней стороны и является собственно гребенчатой связкой. Склерокорнеальный отдел трабекулярного аппарата прикрепляется к склеральной шпоре, частично сливается с цилиарной мышцей (мышца Брюкке). Склерокорнеальная часть трабекулярного аппарата состоит из сети переплетающихся трабекул, имеющих сложную структуру. В центре каждой трабекулы, представляющей плоский тонкий тяж, проходит коллагеновое волокно, обвитое, укрепленное эластическими волокнами и покрытое снаружи футляром из гомогенной стекловидной оболочки, являющейся продолжением десцеметовой оболочки. Между сложным переплетом корнеосклеральных волокон остаются многочисленные свободные щелевидные отверстия – **фонтановы пространства**, выстланные «эндотелием», переходящим с задней поверхности роговицы. Фонтановы пространства направлены к стенке венозного **синуса склеры – шлеммова канала**, расположенного в нижнем отделе склерального желобка шириной 2,5 мм. В некоторых местах он разделяется на ряд канальцев, далее сливающихся в один ствол. Внутри шлемов канал выстлан эндотелием. С его наружной стороны отходят широкие, от которых берут начало вены, отводящие камерную влагу в глубокое склеральное венозное сплетение.

### **Аккомодационный аппарат глаза**

Аккомодационный аппарат глаза (радужка, ресничное тело с ресничным пояском) обеспечивает изменение формы и преломляющей силы хрусталика, фокусировку изображения на сетчатке, а также приспособление глаза к интенсивности освещения.

**Радужка (iris)**. Представляет собой дисковидное образование с отверстием изменчивой величины (зрачок) в центре. Она является производным сосудистой (в основном) и сетчатой оболочек. Сзади радужка покрыта пигментным эпителием сетчатой оболочки, расположена между роговицей и хрусталиком на границе между передней и задней камерой глаза. Край радужки, соединяющий ее с цилиарным телом, называется **цилиарным краем**. Строма радужки состо-

ит из рыхлой волокнистой соединительной ткани, богатой пигментными клетками. Здесь располагаются гладкие миоциты, образующие мышцы, суживающие или расширяющие зрачок.

В радужке различают 5 слоев: **передний эпителий**, покрывающий переднюю поверхность радужки, **наружный пограничный (бессосудистый) слой**, **сосудистый слой**, **внутренний пограничный слой** и **пигментный эпителий**.

**Передний эпителий** представлен плоскими полигональными клетками. Он является продолжением эпителия, покрывающего заднюю поверхность роговицы.

**Наружный пограничный слой** состоит из основного вещества, в котором располагаются значительное количество фибробластов и пигментных клеток. Различное положение и количество меланинсодержащих клеток обуславливают цвет глаз. У альбиносов пигмент отсутствует и радужка имеет красный цвет в связи с тем, что через ее толщу просвечивают кровеносные сосуды. В пожилом возрасте наблюдается депигментация радужки и она делается более светлой.

**Сосудистый слой** состоит из многочисленных сосудов, пространство между которыми заполнено рыхлой волокнистой соединительной тканью с пигментными клетками.

**Внутренний пограничный слой** не отличается по строению от наружного слоя.

**Задний пигментный эпителий** является продолжением двухслойного эпителия сетчатки, покрывающего цилиарное тело и отростки.

Радужка осуществляет свою функцию в качестве диафрагмы глаза с помощью двух мышц: суживающей и расширяющей зрачок.

**Ресничное тело** (corpus ciliare). Ресничное тело является производным сосудистой и сетчатой оболочек. Выполняет функцию фиксации хрусталика и изменения его кривизны, тем самым участвуя в акте аккомодации. На меридиональных срезах через глаз цилиарное тело имеет вид треугольника, который своим основанием обращен в переднюю камеру глаза. Цилиарное тело подразделяется на две части: внутреннюю – **цилиарную корону** и наружную – **цилиарное кольцо**. От поверхности цилиарной короны отходят по направлению к хрусталику **цилиарные отростки**, к которым прикрепляются волокна ресничного пояса. Основная часть цилиарного тела, за исключением отростков, образована **ресничной, или цилиарной, мышцей** (m. ciliaris), играющей важную

роль в аккомодации глаза. Она состоит из пучков гладких мышечных клеток, располагающихся в трех различных направлениях.

Различают наружные меридиональные мышечные пучки, лежащие непосредственно под склерой, средние радиальные и циркулярные мышечные пучки, образующие кольцевой мышечный слой. Между мышечными пучками расположена рыхлая волокнистая соединительная ткань с пигментными клетками. Сокращение цилиарной мышцы приводит к расслаблению волокон **круговой связки** – ресничного пояса хрусталика, вследствие чего хрусталик становится выпуклым и его преломляющая сила увеличивается.

Цилиарное тело и цилиарные отростки покрыты **цилиарной частью сетчатки**. Последняя представлена слоем кубического интенсивно пигментированного эпителия. Эпителиальные клетки, покрывающие цилиарное тело и отростки, принимают участие в образовании водянистой влаги, заполняющей обе камеры глаза.

**Сосудистая оболочка** (choroidea) осуществляет питание пигментного эпителия и фоторецепторов, регулирует давление и температуру глазного яблока. Эта сосудистая ткань очень пигментирована (богата меланоцитами), толщина ее в заднем поле 0,22–0,3 мкм, а на периферии 0,1–0,15 мкм. В ней различают **надсосудистую, сосудистую, сосудисто-капиллярную пластинки и базальный комплекс**.

**Надсосудистая пластинка** (lamina suprachoroidea) толщиной 30 мкм представляет самый наружный слой сосудистой оболочки, прилежащей к склере. Она образована рыхлой волокнистой соединительной тканью, содержит большое количество пигментных клеток (меланоцитов), коллагеновых фибрилл, фибробластов, нервных сплетений и сосудов. Тонкие (диаметром 2–3 мкм) коллагеновые волокна этой ткани направлены от склеры к хориоидею, параллельно склере, имеют косое направление в средней части, переходят в цилиарную мышцу.

**Сосудистая пластинка** (lamina vasculosa) состоит из переплетающихся артерий и вен, между которыми располагаются рыхлая волокнистая соединительная ткань, пигментные клетки, отдельные пучки гладких миоцитов. Сосуды хориоидеи являются ветвями задних коротких цилиарных артерий (орбитальные ветви глазной артерии), которые проникают на уровне диска зрительного нерва в глазное яблоко, а также ветвями длинных цилиарных артерий (имеющих обратный ход от зубчатой линии к экватору) и от передних цилиарных артерий, дающих ветви в цилиарную мышцу и затем образующих капилляры. Между

передней и задней цилиарными системами имеется множество анастомозов. В сосудистой пластинке выделяют слой крупных сосудов (венчик Галлера, сосудистое кольцо зрительного нерва) и слой средних сосудов, артериол, которые, анастомозируя между собой, образуют сплетение, и венул (слой Зоттлера).

**Сосудисто-капиллярная пластинка** (*lamina choroïcapillaris*) содержит гемокапилляры висцерального или синусоидного типа, отличающиеся неравномерным калибром. Между капиллярами располагаются уплощенные фибробласты.

**Базальный комплекс** (**complexus basalis**) – мембрана Бруха (*lamina vitrea, lamina elastic, membrane Brucha*) – очень тонкая пластинка (1–4 мкм), располагающаяся между сосудистой оболочкой и пигментным слоем (эпителием) сетчатки. В ней различают наружный коллагеновый слой с зоной тонких эластических волокон, являющихся продолжением волокон сосудисто-капиллярной пластинки; внутренний коллагеновый слой, волокнистый (фиброзный), более широкий; третий слой представлен базальной мембраной пигментного эпителия – кутикулярный (рис. 11–20).

### Рецепторный аппарат глаза

Рецепторный аппарат глаза представлен зрительной частью сетчатой оболочки (сетчатки).

**Внутренняя чувствительная оболочка глазного яблока, сетчатка** (*tunica interna sensorial bulbi, retina*) состоит из **наружного пигментного слоя** (*pars pigmentosa, stratum pigmentosum*) и **внутреннего светочувствительного нервного** (*pars nervosa*). Функционально выделяют заднюю большую зрительную часть сетчатки (*pars optica retinae*), меньшие части – цилиарную, покрывающую цилиарное тело (*pars ciliares retinae*) и радужковую, покрывающую заднюю поверхность радужки (*pars iridica retina*). В заднем полюсе глаза находится желтого цвета **пятно** (*macula*) с небольшим углублением – **центральной ямкой** (*fovea centralis*).

Свет входит в глаз через роговицу, жидкость передней камеры, хрусталик, жидкость задней камеры, стекловидное тело и, пройдя через толщу всех слоев сетчатки, попадает на отростки фоточувствительных нервных клеток, называемых палочками и колбочками, в наружных сегментах которых начинаются физиологические процессы возбуждения, фототрансдукции. Таким образом, сетчатка глаза человека относится к типу так называемых инвертированных



органов, т.е. таких, в которых фоторецепторы направлены от света и образуют самые глубокие слои сетчатки, обращенные к слою пигментного эпителия.

Сетчатка состоит из трех типов радиально расположенных нейронов и двух слоев синапсов. Первый тип нейронов, расположенных наружно, – это **фоторецепторные нейроны** (палочки и колбочки), второй тип – **биполярные нейроны**, осуществляющие контакты между первым и третьим типом, третий тип – **ганглионарные нейроны**. Кроме того, имеются нейроны, осуществляющие и горизонтальные связи, – горизонтальные клетки и амакринные клетки. **Наружный ядерный слой** содержит тела фоторецепторных нейронов, **внутренний ядерный слой** – тела биполярных, горизонтальных и амакринных клеток, а **слой ганглиозных клеток** – тела ганглиозных и перемещенных амакринных клеток.

**В наружном сетчатом слое** контакты между колбочками и палочками осуществляются вертикально ориентированными биполярными клетками и горизонтально ориентированными горизонтальными клетками, **во внутреннем сетчатом слое** осуществляется переключение информации с вертикально ориентированных биполярных нейронов на ганглиозные клетки, а также на различные виды вертикально и горизонтально направленных амакриновых клеток, влияющих на интеграцию сигнала ганглиозных клеток. В этом слое происходят кульминация всех интегральных процессов, связанных со зрительным образом, и передача информации через зрительный нерв в мозг. Через все слои сетчатки проходят радиальные глиальные клетки (клетки Мюллера).

В сетчатке выделяют также **наружную пограничную мембрану**, которая состоит из множества описанных выше синаптических комплексов, расположенных между клетками Мюллера и фоторецепторами; слой **нервных волокон**, который состоит из аксонов ганглиозных клеток. Последние, достигнув внутренней части сетчатки, поворачивают под прямым углом и затем идут параллельно внутренней поверхности сетчатки к месту выхода зрительного нерва. Они не содержат миелина и не имеют шванновских оболочек, что обеспечивает их прозрачность. **Внутренняя пограничная мембрана** представлена окончаниями отростков мюллеровых клеток и их базальными мембранами. Кнутри от центральной ямки (fovea centralis) имеется зона длиной 1,7 мм, в которой отсутствуют фоторецепторы сетчатки – **слепое пятно**, а аксоны ганглиозных нейроцитов формируют зрительный нерв. Последний при выходе из сетчатки через решетчатую пластинку склеры виден как диск зрительного нерва (discus nervi optici) с приподнятыми в виде валика краями и небольшим углублением в центре.

**Зрительный нерв** является промежуточной частью зрительного анализатора. По нему информация о внешнем мире передается от сетчатки в центральные отделы зрительной системы. Впереди турецкого седла и воронки гипофиза волокна зрительного нерва образуют **перекрест (хиазма)**, где волокна, идущие от носовой половины сетчатки, перекрещиваются, а идущие от височной части сетчатки не перекрещиваются. Далее в составе **зрительного тракта** перекрещенные и неперекрещенные нервные волокна направляются в **латеральное коленчатое тело** промежуточного мозга соответствующей гемисферы (подкорковые зрительные центры) и верхние холмики крыши среднего мозга. В латеральном коленчатом теле аксоны нейроцитов третьего нейрона заканчиваются и контактируют со следующим нейроном, аксоны которого, проходя под чечевицеобразную часть внутренней капсулы, формируют зрительную лучистость (*radiation optica*), направляются в **затылочную долю**, зрительные центры, располагающиеся в области шпорной борозды и в экстрастриарные зоны.

**Фоторецепторы сетчатки** делятся на два типа: палочки и колбочки. Палочки являются рецепторами сумеречного (ночного зрения), колбочки – фоторецепторами дневного зрения. Морфологически фоторецепторные нейроны представляют собой длинные цилиндрической формы клетки, которые имеют несколько отделов. Дистальная часть фоторецепторов – **наружный сегмент** (палочка или колбочка) – содержит фоторецепторные мембраны, где и происходит поглощение света и начинается зрительное возбуждение. Наружный сегмент связан с внутренним соединительной ножкой – **цилией**. **Во внутреннем сегменте** находятся множество митохондрий и полирибосом, цистерны аппарата Гольджи и небольшое количество элементов гранулярного и гладкого эндоплазматического ретикулума. В сегменте происходит синтез белка. Тело клетки, расположенное проксимальнее внутреннего сегмента, переходит в отросток (аксон), который формирует синапс с растущими внутренними окончаниями дендритов биполярных и горизонтальных нейроцитов. Однако палочки отличаются от колбочек. У палочек сегмент цилиндрической формы, а диаметр внутреннего сегмента равен диаметру наружного. Наружные сегменты колбочек обычно конические, внутренний сегмент по диаметру значительно превосходит наружный.

Наружный сегмент представляет собой стопку плоских мембранных мешочков – **дисков**, число которых доходит до 1000. В процессе эмбрионального развития диски палочек и колбочек образуются как складки-впячивания плазматической мембраны реснички, растущей из апикального конца фоторецептора. В палочках новообразование складок продолжается у основания наружного

сегмента в течение всей жизни. Вновь появившиеся складки оттесняют старые в дистальном направлении. При этом диски отрываются от поверхности мембран и превращаются в замкнутые структуры, полностью отделенные от оболочки наружного сегмента. Отработанные дистальные диски фагоцитируются клетками пигментного эпителия. Дистальные диски колбочек так же, как у палочек, фагоцитируются пигментными клетками. Механизм синтеза новых дисков в колбочках неясен.

Таким образом, фоторецепторный диск в наружном сегменте палочковых нейронов полностью отделен от плазматической мембраны. Он образован двумя фоторецепторными мембранами, соединенными по краям и внутри диска, на всем его протяжении имеется узкая щель. У края диска щель расширяется, образуется петля, внутренний диаметр которой составляет несколько десятков нанометров. Параметры диска: толщина – 15 нм, ширина внутреннего пространства – 1 нм, расстояние между дисками – междискового цитоплазматического пространства – 15 нм.

У колбочек в наружном сегменте диски не замкнуты и внутридисковое пространство сообщается с внеклеточной средой. У них более крупное округлое и светлое ядро, чем у палочек. Во внутреннем сегменте колбочек имеется участок, называемый **эллипсоидом**, состоящий из липидной капли и скопления плотно прилегающих друг к другу митохондрий. Внутренний конец аксона каждой колбочки имеет пуговчатое расширение, которое иногда называют **синаптическим тельцем или ножкой колбочки**. Найдены также прямые контакты ножек смежных колбочек друг с другом, что создает основу для межрецепторной передачи. Другие ножки разделяются отростками мюллеровых клеток.

От ядродержащей части отходят центральные отростки – **аксоны**, которые образуют синаптические соединения с дендритами палочковых биполяров, горизонтальных клеток, а также с карликовыми и плоскими биполярами. Электронная микроскопия клеток, окрашенных по Гольджи, показала, что имеются два способа образования синаптических окончаний с колбочками: **инвагинирующие синапсы** для контактов дендритов с синаптической лентой (пластинкой) в области инвагинации и **плоский базальный синаптический контакт** на поверхности ножки вдали от синаптической пластинки. Длина колбочек в центре желтого пятна 75 мкм, толщина – 1-1,5 мкм.

Структура фоторецепторной мембраны диска строго упорядочена и обеспечивает физиологические процессы возбуждения (фототрансдукции) и адаптации зрительной клетки.

**Фоторецепторная мембрана** диска наружного сегмента палочек составляет около 7 нм (двойной слой фосфолипидных молекул – 4 нм, гидрофильные интегральные фрагменты белковых молекул – 3 нм), полипептидные цепи фрагментов белковых молекул пронизывают мембрану насквозь, изгибаясь несколько раз, а на поверхности их располагаются более гидрофильные премолекулные белки и олигосахариды. Основным белком фоторецепторной мембраны (до 95-98% интегральных белков) является зрительный пигмент **родопсин**, который обеспечивает поглощение света в некоторой характерной области длин волн и тем самым определяет спектральный диапазон той или иной фоторецепторной клетки, запускает фоторецепторный процесс.

Зрительный пигмент представляет собой хромогликопротеид. Эта сложная молекула содержит одну хромофорную группу, две олигосахаридные цепочки и водонерастворимый мембранный белок **опсин**. **Хромофорной группой** зрительных пигментов служит ретиналь-1 (альдегид витамина А) или ретиналь-2 (альдегид витамина А<sup>2</sup>). Все зрительные пигменты, содержащие ретиналь-1, относятся к родопсинам, а содержащие ретиналь-2 – к порфиросинам. Светочувствительная молекула зрительного пигмента при поглощении одного кванта света претерпевает ряд последовательных превращений, в результате которых обесцвечивается. Ретиналь на последних стадиях фотолиза отщепляется от белка – опсина и переносится в пигментный эпителий. Поглощение одного фотона вызывает изомеризацию хромофора фотопигментов и превращение его из 11-цис-формы в полную трансконфигурацию. В результате изомеризации образуется конформационно активное промежуточное соединение фотопигмента, который запускает каскад электрических реакций. На первой ступени каскада происходит активация трансдукцина (G-белка), который в свою очередь активирует цГМФ-фосфодиэстеразу. В результате снижения уровня цГМФ в цитоплазме наружного сегмента фоторецепторов происходит закрытие цГМФ-зависимых ионных мембранных каналов и фоторецепторная клетка гиперполяризуется.

Колбочки содержат три типа зрительных пигментов (колбочковый опсин), различия которых определяются структурой опсиновой молекулы, с максимальной чувствительностью в длинноволновой (558), средневолновой (531) и коротковолновой (420) части спектра. Один из пигментов – **иодопсин** – чувствителен к длинноволновой части спектра. Известно, что молекула опсина длинно- и средневолновых чувствительных колбочковых пигментов (идентичность по аминокислотному набору 96%) состоит из 364 аминокислот.

Морфологические исследования последнего времени показали значительное отличие коротковолновых специфических колбочек (S-колбочки, голубые) от средне- и длинноволновых. Известно, что S-колбочки имеют более длинный внутренний сегмент, что позволяет им проникать дальше в субретинальное пространство; их внутренний сегмент утолщен в центральной области и более тонок в периферической части сетчатки; они имеют меньшую по величине и морфологически различимую ножку по сравнению с длинноволновыми колбочками.

При понижении плотности в фовеальной области (3% от других колбочек) S-колбочки имеют еще и другое распределение в сетчатке и не складываются в регулярную гексагональную мозаику, типичную для других колбочек. Пигмент, чувствительный к коротковолновой части спектра, более сходен с родопсином. У человека гены, кодирующие пигмент коротковолновой части спектра и родопсина, находятся на длинном плече 3-й и 7-й хромосом и имеют сходство по структуре. Различные видимые части цвета зависят от соотношения трех видов стимулируемых колбочек.

Итак, **фоторецепторные клетки** – палочки и колбочки. Различают центральное и периферическое зрение, что связано с характером распределения в сетчатке палочек и колбочек. Периферические отростки фоторецепторных клеток состоят из наружного и внутреннего сегментов, соединенных ресничкой.

**Наружный сегмент** имеет множество уплощенных замкнутых дисков, содержащих зрительные пигменты: родопсин – в палочках; красный, зеленый и синий пигмент – в колбочках.

**Внутренний сегмент** заполнен митохондриями и содержит базальное тельце, от которого в наружный сегмент отходят 9 пар микротрубочек.

**Центральное зрение**, а также **острота зрения** реализуется колбочками.

**Периферическое зрение**, а также **ночное зрение и восприятие подвижных объектов** – функции палочек.

**Цветовосприятие** – функция колбочек. Существует три типа колбочек, каждый из которых содержит только один из трех разных (красный, зеленый и синий) зрительных пигментов.

**Зрительный пигмент** состоит из апопротеина (**опсин**), ковалентно связанного с хромофором (11-цис-дегидроретиналь).

**Спектральная чувствительность** красного, зеленого и синего зрительных пигментов различна – соответственно 560, 535 и 440 нм – и определяется первичной структурой апопротеина.

## Нейроны

**Горизонтальные нервные клетки** располагаются в один или два ряда. Они отдают множество дендритов, которые контактируют с аксонами фоторецепторных клеток. Аксоны горизонтальных нейронов, имеющие горизонтальную ориентацию, могут вытянуться на довольно значительном расстоянии и вступать в контакт с аксонами как палочковых, так и колбочковых нейронов. Передача возбуждения с горизонтальных клеток на синапсы фоторецепторного и биполярного нейронов вызывает временную блокаду в передаче импульсов от фоторецепторов (эффект латерального торможения), что увеличивает контраст в зрительном восприятии.

По последним данным, горизонтальные клетки образуют малые круги, влияющие на передачу информации внутри сетчатки, благодаря синаптическим связям, расположенным латерально от синаптических полосок фоторецепторов, вместе с центрально расположенными синапсами биполярных клеток. Считают, что существует обратная связь между горизонтальной клеткой и фоторецептором. Круг дает информацию биполярной клетки об окружении.

**Биполярные нервные клетки** соединяют палочки и колбочки с горизонтальными клетками сетчатки. В центральной части сетчатки несколько палочек соединяются с одной биполярной, а колбочки контактируют в соотношении 1:1 или 1:2. Такое сочетание обеспечивает более высокую остроту цветового видения по сравнению с черно-белым. Биполярные клетки имеют радиальную ориентацию. Различают несколько разновидностей биполярных клеток по строению, содержанию синаптических пузырьков и связям с фоторецепторами. Биполярные нейроны, контактирующие с палочковыми нейронами, условно называют палочковыми биполярами, а контактирующие с колбочковыми нейронами – колбочковыми биполярами. Биполярные клетки играют существенную роль в концентрации импульсов, получаемых от фотосенсорных нейронов и затем передаваемых ганглиозным клеткам.

Взаимоотношения биполярных клеток с палочковыми и колбочковыми нейронами неидентичны. Несколько палочковых клеток (15–20) конвергируют на одной биполярной клетке в наружном сетчатом слое, а аксон биполяров во внутреннем сетчатом слое дивергирует на несколько типов амакриновых клеток, которые конвергируют на ганглионарной клетке. Значение дивергенции и конвергенции заключается в ослаблении или усилении палочкового сигнала, что обуславливает чувствительность зрительной системы к единичному кванту света.

Колбочковые пути конвергируют в меньшей степени, чем палочковые. Колбочковые пути у человека и обезьян состоят из двух параллельных информационных каналов: прямого (от фоторецепторов на ганглионарную клетку) и непрямого (через биполярную клетку). В результате такой организации один канал проводит на ганглионарную клетку информацию о стимуле ярче фона, а другой о стимуле темнее фона. Это основа контраста в зрительном восприятии.

Во внутреннем сетчатом слое, где информация с колбочковых биполяров переходит на ганглионарные клетки, находятся только синапсы возбуждающих каналов.

**Амакриновые клетки** относятся к интернейронам, которые осуществляют связь на втором синаптическом уровне вертикального пути: фоторецептор – биполяр – ганглионарная клетка. Их синаптическая активность во внутреннем сетчатом слое проявляется в интеграции, модуляции, включении сигналов, идущих к ганглионарным клеткам. Эти клетки, как правило, не имеют аксонов, однако некоторые амакриновые клетки содержат длинные аксоноподобные отростки. Иммуноцитохимические исследования, внутриклеточная регистрация электрической активности позволили выделить 40 различных морфологических подтипов амакриновых клеток. По диаметру поля их дендритов различают клетки с узкими, маленькими, средними и широкими полями. Амакриновые клетки A17 осуществляют обратную синаптическую связь с палочковыми биполярами, так же как и горизонтальные клетки с фоторецепторами. Синапсы амакриновых клеток бывают химическими и электрическими. Например, дистальные дендриты амакриновой клетки A2 образуют синапсы с аксонами палочковых биполяров, а проксимальные дендриты – с ганглионарными клетками. Более крупные дендриты A2 формируют электрические синапсы с аксонами колбочковых биполяров. В палочковых путях играют большую роль допаминергические и ГАМКергические амакриновые клетки. Они ремоделируют палочковые сигналы и осуществляют с ними обратную связь.

**Ганглионарные клетки** – наиболее крупные клетки сетчатки, имеющие большой диаметр аксонов, способных проводить электрические сигналы. В их цитоплазме хорошо выражено базофильное вещество. Они собирают информацию от всех слоев сетчатки как по вертикальным путям (фоторецепторы → биполяры → ганглионарные клетки), так и по латеральным путям (фоторецепторы → горизонтальные клетки → биполяры → амакриновые клетки → ганглионарные клетки) и передают ее в мозг. Тела ганглионарных клеток образуют слой, который носит название ганглионарного, а их аксоны (более миллиона воло-

кон) формируют внутренний **слой нервных волокон**, переходящий в зрительный нерв, где они уже окружены миелиновой оболочкой. Ганглионарные клетки подразделяются по морфологическим и функциональным свойствам. Выделяют в настоящее время 18 типов ганглионарных клеток. Ранее морфологически выделенные  $\alpha$  -,  $\beta$  - и гамма-типы соответствует физиологическим Y, X, W.

Высокую остроту зрения и цветовое зрение в настоящее время связывают с наличием парво- и магноганглионарных клеток (соответственно). Парвоганглионарные клетки – карликовые клетки ( $\alpha$ - клетки кошки), имеющие средний размер тела и маленькое дерево дендритов, входят в «карликовый» путь и связаны с парвоцеллюлярными (мелкоклеточными) слоями латеральных колленчатых тел. Магноклетки ( $\alpha$ -клетки кошки) очень разнообразны (малые и большие зонтичные клетки): с большими телами и многочисленными укороченными ветвями, маленькими телами и большим разветвлением дендритов, которые проецируются в крупноклеточные слои латеральных колленчатых тел. Выделяют ганглионарные клетки, связанные с палочковыми и колбочковыми нейронами, с on- b off-центрами, которые отвечают на световое раздражение деполяризацией или гиперполяризацией соответственно. Дендриты клеток с on-центром разветвляются в **подуровне  $\alpha$** , с off-центром в **подуровне в подуровне G** внутреннего сетчатого слоя. Цветной канал связан с красным, зеленым и синим типом on/off-ганглионарных клеток. Если красный и зеленый тип ганглионарных on/off- клеток относится к карликовому пути, то синий тип не относится к последнему. On/off-ответы ганглионарных клеток определяются специальными контактами колбочковых биполяров и расположением ганглионарных клеток в соответствующем подуровне внутреннего сетчатого слоя.

**Нейромедиаторы.** Нейроны сетчатки синтезируют ацетилхолин, дофамин, L-глутаминовую кислоту, глицин, гамма-аминомасляную кислоту. Некоторые нейроны содержат серотонин, его аналоги (индоламины) и нейропептиды.

### **Функциональные особенности**

**Биполярные клетки** реагируют на контрастность изображения. Некоторые биполяры сильнее реагируют на синий, нежели на черно-белый контраст. Одни получают информацию преимущественно от палочек, другие – от колбочек.

**Ганглионарные клетки** реагируют на множество свойств зрительного объекта (например, на светлые и темные объекты, однородность освещения, цвет объекта, его ориентацию).



**Центральная ямка.** В области центральной ямки расположены преимущественно колбочки. Каждая колбочка центральной ямки образует синапс только с одним биполярным нейроном. Внутренний ядерный и ганглиозный слои в области центральной ямки истончены.

**Глия.** Кроме нейронов, сетчатка содержит крупные клетки радиальной глии – **мюллеровские клетки**. Их ядра расположены на уровне центральной части внутреннего ядерного слоя. Наружные отростки заканчиваются микроворсинками, образуя наружный пограничный слой. Внутренние отростки имеют расширение (ножку) во внутреннем пограничном слое на границе со стекловидным телом.

**Функция.** Глиальные клетки играют важную роль в регуляции ионного гомеостаза сетчатки. В частности, они снижают концентрацию  $K^+$  во внеклеточном пространстве, где концентрация этих ионов при световом раздражении резко увеличивается. Плазматическая мембрана **мюллеровских** клеток в области ножки характеризуется высокой проницаемостью для ионов  $K^+$ , выходящих из клетки. **Мюллеровская** клетка захватывает  $K^+$  из наружных слоев сетчатки и направляет поток этих ионов через свою ножку в жидкость стекловидного тела.

### **Механизм фотовосприятия**

В состав дисков фоторецепторных клеток входят зрительный пигмент, в т. ч. родопсин палочек.

**Родопсин** состоит из белковой части (опсин) и хромофора – 11-цис-ретиналя, под действием фотонов переходящего в **транс**-ретиналь. Мутации генов, кодирующих синтез опсинов, приводят к развитию пигментного ретинита и ночной (**куриной**) слепоты. Описано около 40 мутаций генов опсинов.

**Каскад фотоактивации.** При попадании квантов света на наружные сегменты в фоторецепторных клетках последовательно происходят следующие события: активация родопсина в результате фотоизомеризации → каталитическая активация G-белка ( $G^1$ , трансдукции) родопсином → активация фосфодиэстеразы при связывании с  $G^1\alpha$  → гидролиз цГМФ цГМФ-фосфодиэстеразой → переход цГМФ-зависимых  $Na^+$ -каналов из открытого состояния в закрытое → гиперполяризация плазмолеммы фоторецепторной клетки → передача сигнала на биполярные клетки.

**Активация родопсина в результате фотоизомеризации.** Свет, поглощаемый родопсином, инициирует ответ в каскаде цГМФ.

**Каталитическая активация G-белка ( $G^1$ , трансдуцин) родопсином.** Активированный родопсин взаимодействует с G-белком ( состоит из трех SE). A-SE G-белка активирует цГМФ-фосфодиэстеразу.

**Активация фосфодиэстеразы при связывании с  $G^1\alpha$ .** Увеличение активности цГМФ-фосфодиэстеразы снижает концентрацию цГМФ, что сопровождается закрытием ионных каналов.

**Гиперполяризация плазмолеммы фоторецепторной клетки** – следствие закрытия ионных каналов. В результате рецепторная клетка гиперполяризуется, что служит сигналом для изменения характера секреции медиатора в синапсе между внутренним сегментом рецепторной клетки и дендритом биполярной клетки. Если рецепторные клетки отвечают на свет гиперполяризацией, то другие типы нейронов сетчатки при этом гиперполяризуются или деполяризуются.

**Темновой ток.** В темноте ионные каналы в клеточной мембране рецепторных клеток поддерживаются в открытом состоянии за счет связывания белков ионных каналов с цГМФ. Потоки внутрь клетки  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$  через открытые каналы обеспечивают **темновой ток**.

**Нейроглия.** Три типа глиальных клеток найдено в сетчатке человека: клетки Мюллера, астроглия и микроглия, описанные более 100 лет назад Кахалем. Через все слои сетчатки проходят радиально главные глиальные клетки, которые были впервые описаны Мюллером. Они длинные, узкие. Их удлиненное ядро лежит на уровне ядер биполярных нейроцитов. Многочисленные длинные микроворсинки, идущие от наружных концов мюллеровых клеток, спускаются ниже уровня синаптических комплексов и проходят между внутренними сегментами фоторецепторов, в наружном ядерном слое, а внутренние отростки образуют внутренний пограничный слой.

**Пигментный слой, эпителий** – наружный слой сетчатки – состоит из призматических полигональных, пигментных клеток – пигментоцитов. Своими основаниями клетки располагаются на базальной мембране, которая входит в состав мембраны Бруха сосудистой оболочки. Общее количество пигментных клеток, содержащих коричневые гранулы меланина, варьирует от 4 до 6 млн. В центре желтого пятна они более высокие, а на периферии уплощаются, становятся шире. Апикальные мембраны пигментных клеток контактируют непосредственно с дистальной частью наружных сегментов фоторецепторов сетчатки. Между ними имеется пространство. Апикальная поверхность пигментоцитов имеет два типа микроворсинок: длинные микроворсинки, которые распола-

гаются между наружными сегментами фоторецепторов, и короткие микроворсинки, которые соединяются с концами наружных сегментов фоторецепторов. Один пигментоцит контактирует с 30–45 наружными сегментами фоторецепторов, а вокруг одного наружного сегмента палочек обнаруживается 3–7 отростков пигментоцитов, содержащих меланосомы, фагосомы и органеллы общего значения. В то же время вокруг наружного сегмента колбочки – 30–40 отростков, которые длиннее и не содержат органелл, за исключением меланосом. Фагосомы образуются в процессе фагоцитоза дисков наружных сегментов фоторецепторов. Считают, что пигментоциты являются разновидностью специализированных макрофагов ЦНС. Наличие меланосом обуславливает поглощение 85%-90% света, попадающего в глаз. Под воздействием света меланосомы перемещаются в апикальные отростки пигментоцитов, а в темноте меланосомы возвращаются в цитоплазму. Это перемещение происходит с помощью микрофиламентов при участии гормона меланотропина. Пигментный эпителий существенно влияет на электрическую реакцию глаза, являясь источником постоянного потенциала глаза. Располагаясь вне сетчатки, он тесно взаимодействует с ней, выполняя ряд важных функций: оптическую защиту и экранирование от света; транспорт метаболитов, солей, кислорода и т. д. из сосудистой оболочки к фоторецепторам и обратно; фагоцитарную, обеспечивающую уборку отработанных дисков наружных сегментов фоторецепторов и доставка материала для постоянного обновления фоторецепторной мембраны; участие в регуляции ионного состава в субретинальном пространстве.

В пигментном эпителии велика опасность развития темновых и фотоокислительных деструктивных процессов. Все ферментативные и неферментативные звенья антиокислительной защиты присутствуют в клетках пигментного эпителия: пигментоциты участвуют в защитных реакциях, тормозящих перекисное окисление липидов с помощью ферментов микропероксисом и функциональных групп меланосом. Например, в них найдена высокая активность пероксидазы, как селензависимой, так и селеннезависимой, и высокое содержание  $\alpha$ -токоферола. Меланосомы в клетках пигментного эпителия, обладающие выраженным антиоксидантным свойством, служат специфическими участками системы антиоксидантной защиты. Они эффективно связывают прооксидантные зоны (ионы железа) и не менее эффективно взаимодействуют с активными формами кислорода.

На внутренней поверхности сетчатки у заднего конца оптической оси глаза имеется округлое или овальное **желтое пятно** диаметром около 2 мм. Слегка углубленный центр этого образования называется **центральной ямкой** (fovea centralis). Центральная ямка – место наилучшего восприятия зрительных раздражений. В этой области внутренний ядерный и ганглиозный слои резко истончаются, а несколько утолщенный наружный ядерный слой представлен главным образом телами колбочковых нейросенсорных клеток.

**Регенерация сетчатки.** Процессы физиологической регенерации палочковых и колбочковых нейронов происходят в течение всей жизни. Ежедневно в каждой палочковой клетке ночью или в каждой колбочковой клетке днем формируется около 80 мембранных дисков. Процесс обновления каждой палочковой клетки длится 9–12 дней.

В одном пигментоците ежедневно фагоцитируется около 2–4 тыс. дисков, образуется 60–120 фагосом, каждая из которых содержит 30–40 дисков.

Таким образом, пигментоциты обладают исключительно высокой фагоцитарной активностью, которая повышается при напряжении функции глаза в 10–20 раз и более.

Выявлены циркадные ритмы утилизации дисков: отделение и фагоцитоз сегментов палочковых клеток происходят обычно утром, а колбочковых – ночью.

В механизмах отделения отработанных дисков важная роль принадлежит ретинолу (витамин А), который в больших концентрациях накапливается в наружных сегментах палочковых клеток на свету и, обладая сильно выраженными мембранолитическими свойствами, стимулирует указанный выше процесс. Циклические нуклеотиды (цАМФ) тормозят скорость деструкции дисков и их фагоцитоз. В темноте, когда цАМФ много, скорость фагоцитоза невелика, а на свету, когда уровень цАМФ снижена, она возрастает.

**Васкуляризация.** Ветви **глазничной артерии** формируют две группы разветвлений: одна образует ретинальную сосудистую систему сетчатки, васкуляризирующую сетчатку и часть зрительного нерва; вторая образует цилиарную систему, снабжающую кровью сосудистую оболочку, цилиарное тело, радужку и склеру. Лимфатические капилляры располагаются только в склеральной конъюнктиве, в других участках глаза они не найдены (рис. 6–8 и 21-33).

## Вспомогательный аппарат глаза

К вспомогательному аппарату глаза относятся **глазные мышцы, веки и слезный аппарат.**

**Глазные мышцы.** Они представлены поперечнополосатыми (исчерченными) мышечными волокнами.

**Веки (palpebrae).** В них различают переднюю **кожную поверхность** и заднюю – **конъюнктиву**, которая продолжается в конъюнктиву глаза, покрытую многослойным эпителием. Внутри века, ближе к его задней поверхности, располагается **тарзальная пластинка**, состоящая из плотной волокнистой соединительной ткани. Ближе к передней поверхности в толще век залегает **кольцевая мышца**. Между пучками мышцы располагается прослойка рыхлой волокнистой соединительной ткани. В этой прослойке оканчивается часть сухожильных волокон мышцы, поднимающей верхнее веко. Другая часть сухожильных волокон этой мышцы прикрепляется прямо к проксимальному краю тарзальной (соединительнотканной) пластинки. Наружная поверхность покрыта тонкой кожей, состоящей из тонкого многослойного плоского ороговевающего эпителия и рыхлой соединительной ткани, в которой залегают волосяные эпителиальные влагалища коротких пушковых волос, а также ресниц (по краям смыкающихся частей век). В соединительной ткани кожи находятся мелкие трубочки – мерокриновые потовые железы. Около волосяных фолликулов встречаются апокриновые потовые железы. В воронку корня ресницы открываются мелкие простые разветвленные сальные железы. Вдоль внутренней поверхности века, покрытой конъюнктивой, располагаются 20–30 и более особого вида простых разветвленных трубчато-альвеолярных голокриновых (мейбомиевых) желез (в верхнем веке их больше, чем в нижнем), вырабатывающих сальный секрет. Над ними и в области свода (fornix) лежат мелкие **слезные железы**. Центральная часть века на всем его протяжении состоит из плотной волокнистой соединительной ткани и пучков исчерченной мышечной ткани, ориентированных по вертикали (m. levator palpebrae superioris), а вокруг глазной щели кольцевая мышца (m. orbicularis oculi). Сокращения этих мышц обеспечивают смыкание век, а также смазывание передней поверхности глазного яблока слезной жидкостью и липидным секретом желез.

**Сосуды века** образуют две сети – кожную и конъюнктивальную. Лимфатические сосуды формируют третье дополнительное, тарзальное сплетение.

**Конъюнктива** – тонкая соединительнотканная пластинка с многослойным плоским неороговевающим эпителием, которая покрывает заднюю по-

верхность век и переднюю часть глазного яблока. В области роговицы конъюнктив срастается с ней. Под эпителием конъюнктивы в области век имеется хорошо выраженная капиллярная сеть, способствующая всасыванию лекарственных препаратов (капель, мазей), которые наносятся на поверхность конъюнктивы.

**Слезный аппарат глаза.** Он состоит из слезопродуцирующей **слезной железы** и слезоотводящих путей – **слезное мяско, слезные канальцы, слезный мешок и слезно-носовой канал.**

Слезная железа располагается в слезной ямке глазницы и образуется из нескольких групп сложных альвеолярно-трубчатых серозных желез. Секрет слезных желез содержит около 1,5% хлорида натрия, незначительное количество альбумина (0,5%) и слизи. Слезная жидкость имеет в своем составе лизоцим, оказывающий бактерицидное действие. Слезная жидкость увлажняет и очищает роговицу глаза. Она непрерывно выделяется в верхний конъюнктивальный свод, а оттуда движением век на роговицу, медиальный угол глазной щели, где образуется слезное озеро. Сюда открываются устья верхнего и нижнего слезных канальцев, каждый из которых впадает в **слезный мешок**, а он продолжается в **слезно-носовой проток**, открывающийся в нижний носовой ход. Стенки слезного мешка и слезно-носового протока выстланы двух- и многоядным эпителием (рис. 34–37).

**Возрастные изменения.** С возрастом ослабляется функция всех аппаратов глаза. В связи с изменением общего метаболизма в организме в хрусталике и роговице часто происходят уплотнение межклеточного вещества и помутнение, которое практически необратимо. У пожилых людей откладываются липиды в роговице и склере, что обуславливает их потемнение. Утрачивается эластичность хрусталика, и ограничивается его аккомодационная возможность. Склеротические процессы в сосудистой системе глаза нарушают трофику тканей, особенно сетчатки, что приводит к изменению структуры и функции рецепторного аппарата.

## КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ

Любое затруднение оттока влаги, вызванное непроходимостью дренирующих каналов, приводит к повышению внутриглазного давления, вызывая заболевание, известное как **глаукома** (табл.1).

С возрастом эластичность хрусталика снижается, что затрудняет аккомодацию при рассмотрении близко расположенных объектов. Это – нормальный процесс старения (**пресбиопия**, или **старческая дальнозоркость**), который можно скорректировать с помощью очков с выпуклыми линзами. В старости у людей в хрусталиковых волокнах накапливается коричневатый пигмент, отчего они становятся менее прозрачными. Если хрусталик становится непрозрачным, то такое состояние известно как **катаракта**; это поражение может возникнуть также вследствие избыточного воздействия ультрафиолетового облучения. При сахарном диабете развитию катаракты, как предполагают, способствуют высокие уровни глюкозы.

Поскольку ни один из указанных типов выростов анатомически не связан с фоторецепторами, эти участки могут отделяться друг от друга, например, когда развивается **отслойка сетчатки**. Это распространенное и серьезное заболевание человека можно эффективно лечить с использованием лазерной хирургии.

Клинические наблюдения повреждения сетчатки при ее отслойке показывают, что светочувствительные клетки получают питательные вещества из хориокапиллярного слоя. Поверхностное расположение сосудов сетчатки дает возможность легко изучать их с помощью офтальмоскопа. Такое исследование имеет большую ценность в диагностике и оценке заболеваний, влияющих на кровеносные сосуды, таких, как сахарный диабет и повышенное кровяное давление.

**Трихромазия** – возможность различать любые цвета, определяется присутствием в сетчатке всех трех зрительных пигментов (для красного, зеленого и синего – первичные цвета). Эти основы теории цветного зрения предложил Томас Янг (1802).

**Дихромазии** – дефекты цветного восприятия (преимущественно у мужчин; например, в Европе разные дефекты у мужчин составляют 8% общей популяции) по одному из первичных цветов – подразделяют на протанопии, дейтанопии и тританопии (от греч.- первый, второй и третий; имеются в виду порядковые номера первичных цветов: соответственно красный, зеленый, синий).

**Протанопия** (страдает восприятие красного, примерно 25% случаев цветовой слепоты) развивается при связанном с хромосомой X наследовании генного дефекта.

Протанопия – нарушение цветоощущения на красный цвет (ранее ошибочно называлось дальтонизмом). У Джона Дальтона благодаря последним достижениям молекулярной генетики выявлена дейтератопия (нарушение цветоощущения на зеленый цвет) с простым длинноволновым геном опсина в ДНК.

**Дейтанопия** – цветовая слепота по восприятию зеленого, около 75% всех случаев, связанное с хромосомой X наследование, полиморфизм гена.

**Тританопия** (страдает преимущественно восприятие фиолетового цвета, дефектное зрение по синему и желтому). Аутосомное доминантное наследование дефектного гена (7q31.3-q32)

В таблице 1 наглядно представлено, какие особенности строения анатомических структур органа зрения могут способствовать возникновению патологических симптомов.



Таблица 1

**Клинические проявления гистологических особенностей анатомических структур органа зрения**

Анатомическая структура	Особенности строения	Симптомы	Нозология
Веки	Между пучками кольцевой мышцы век располагается прослойка рыхлой волокнистой соединительной ткани, хорошо удерживающая жидкость.	Отек век	Отек Квинке
Веки	Вдоль внутренней поверхности века, располагаются 20–30 и более особого вида простых разветвленных трубчато-альвеолярных голокриновых (мейбомиевых) желез, вырабатывающих сальный секрет. При закупорке желез секрет скапливается.	Отек, гиперемия, локальное повышение температуры края века	Блефарит
Конъюнктива	Под эпителием конъюнктивы в области век имеется хорошо выраженная капиллярная сеть, способствующая всасыванию лекарственных препаратов. Наличие мобильной глазничной части (переходных складок) позволяет значительно увеличивать площадь оболочки	Отек конъюнктивы, хемоз, гиперемия	Конъюнктивит
Трабекулярный аппарат	Любое затруднение оттока влаги, вызванное непроходимостью дренирующих каналов, приводит к повышению внутриглазного давления	Бессимптомное течение, иррадиирующие боли, концентрическое сужение полей зрения	Глаукома
Хрусталик	Уплотнение межклеточного вещества и помутнение, которое практически необратимо	Снижение остроты зрения	Катаракта (врожденная или возрастная)
Хрусталик	Утрачивается эластичность хрусталика, и ограничивается его аккомодационная возможность	Снижение остроты зрения при работе на близком расстоянии	Пресбиопия (возрастная гиперметропия)

Радужка	Различное положение и количество меланинсодержащих клеток обуславливают цвет глаз. У альбиносов пигмент отсутствует и радужка имеет красный цвет в связи с тем, что через ее толщу просвечивают кровеносные сосуды.	Косметический дефект, светобоязнь, снижение остроты зрения	Альбинизм
Хориоидеа	Между передней и задней цилиарными системами имеется множество анастомозов. В сосудистой пластинке выделяют слой крупных сосудов (венчик Галлера, сосудистое кольцо зрительного нерва) и слой средних сосудов, артериол, которые, анастомозируя между собой, образуют сплетение, и венул (слой Зоттлера). Все это приводит к замедлению кровотока.	Снижение остроты зрения, дефекты поля зрения	Хориоидит
Стекловидное тело	Через стекловидное тело проходит канал – остаток эмбриональной сосудистой системы глаза – от сосочка сетчатки до задней поверхности хрусталика. К моменту рождения он должен облитерироваться.	Низкая острота зрения, дефект поля зрения	Первичное персистирующее гиперпластическое стекловидное тело (врожденная патология стекловидного тела)
Сетчатка	Поскольку ни один из указанных типов выростов анатомически не связан с фоторецепторами, эти участки могут отделяться друг от друга	Дефект поля зрения, снижение остроты зрения	Отслойка сетчатки
Сетчатка	Цветной канал связан с красным, зеленым и синим типом on/off-ганглионарных клеток. On/off-ответы ганглионарных клеток определяются специальными контактами колбочковых биполяров и расположением ганглионарных клеток в соответствующем подуровне внутреннего сетчатого слоя.	Дефекты цветного восприятия по одному из первичных цветов – подразделяют на протанопии, дейтанопии и тританопии	Дихромазия

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

*Выберите один ответ или завершение утверждения, наиболее соответствующее каждому случаю.*

### 1. СТРУКТУРЫ, КОТОРЫЕ НЕ РАЗВИВАЮТСЯ ИЗ НЕЙРОЭКТОДЕРМЫ:

- (А) нервной трубки;
- (Б) нервного гребня;
- (В) обонятельной плакоды;
- (Г) хрусталика;
- (Д) цилиарных мышц.

### 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯМКИ СЕТЧАТКИ:

- (А) здесь резко истончены внутренний ядерный и ганглиозный слои;
- (Б) место наилучшего восприятия зрительных раздражений;
- (В) это область формирования и выхода зрительного нерва;
- (Г) находится на заднем полюсе глазного яблока;
- (Д) содержит преимущественно колбочки.

### 3. ЦЕПЬ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В СЕТЧАТКЕ:

- (А) пигментная клетка – биполярный нейрон – фоторецептор;
- (Б) фоторецептор – биполярный нейрон – ганглиозная клетка;
- (В) ганглиозная клетка – биполярный нейрон – фоторецептор;
- (Г) фоторецептор – ганглиозная клетка – биполярный нейрон;
- (Д) пигментная клетка – фоторецептор – ганглиозная клетка – биполярный нейрон.

### 4. ДЛЯ КОЛБОЧЕК ХАРАКТЕРНО:

- (А) рецепторы цветового зрения;
- (Б) развиваются из глазного пузыря нервной трубки;
- (В) содержат зрительные пигменты разных типов;
- (Г) аксон образует синаптический контакт с ганглиозной клеткой;
- (Д) фотоны активируют зрительный пигмент в наружных сегментах.

5. ЧАСТЬ ФОТОРЕЦЕПТОРА, РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ФОТОНЫ:

- (А) наружный сегмент;
- (Б) связующий отдел;
- (В) внутренний сегмент;
- (Г) перикарион;
- (Д) аксон.

6. РОГОВИЦА:

- (1) покрыта многослойным эпителием;
- (2) задняя поверхность выстлана эндотелием;
- (3) не имеет кровеносных сосудов;
- (4) собственное вещество содержит нервные окончания и капилляры.

Ответ: А – если верно 1,2,3;

Б – Если верно 1,3;

В – Если верно 2,4;

Г – Если верно 4;

Д – Если верно все.

7. ФОТОРЕЦЕПТОРЫ СОДЕРЖАТ:

- (1) зрительный пигмент;
- (2) митохондрии;
- (3) мембранные диски;
- (4) базальное тельце.

Ответ: А – если верно 1,2,3;

Б – Если верно 1,3;

В – Если верно 2,4;

Г – Если верно 4;

Д – Если верно 1,2,3,4.

8. РАССТРОЙСТВА ТЕМНОВОЙ АДАПТАЦИИ МОГУТ ПРОЯВЛЯТЬСЯ В ВИДЕ:

- (1) повышения порога раздражения;
- (2) одновременного характера зрения;
- (3) замедления адаптации;
- (4) монокулярного зрения.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

9. УЧИТЫВАЯ АНАТОМИЧЕСКОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФЕКЦИОННОГО ВОСПАЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ГЛАЗНИЦУ МОЖЕТ ПРОИСХОДИТЬ ИЗ:

- (1) верхнечелюстной пазухи;
- (2) решетчатой кости;
- (3) крылонебной ямки;
- (4) лобной пазухи.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

10. КОНЪЮНКТИВАЛЬНЫЙ МЕШОК ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ЩЕЛЕВИДНУЮ ПОЛОСТЬ МЕЖДУ:

- (1) задней поверхностью век;
- (2) внутренней поверхностью склеры;
- (3) передним сегментом глазного яблока;
- (4) наружной поверхностью хориоидеи.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

11. У ХРУСТАЛИКА С ВОЗРАСТОМ ПРИНЯТО ВЫДЕЛЯТЬ

- (1) кору;
- (2) переднюю пограничную пластинку;
- (3) ядро;
- (4) заднюю пограничную пластинку.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

12. ПИТАНИЕ РОГОВИЦЫ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ЗА СЧЕТ ...

- (1) краевой петливой сети;
- (2) слезы;
- (3) влаги передней камеры;
- (4) задних коротких ресничных артерий.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

13. В ЦЕНТРЕ ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА ИМЕЕТСЯ

- (1) склеральный синус;
- (2) трабекула;
- (3) отверстие;
- (4) углубление.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

#### 14. ФУНКЦИИ СЛЕЗНОЙ ЖИДКОСТИ

- (1) служит смазкой между конъюнктивой и веком;
- (2) предохраняет роговицу и конъюнктиву от высыхания;
- (3) обладает бактерицидным действием;
- (4) способствует удалению инородных тел из глаза.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

#### 15. СООБЩЕНИЕ МЕЖДУ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕДНЕЙ КАМЕРАМИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЧЕРЕЗ:

- (1) стекловидное тело;
- (2) сетчатку;
- (3) хрусталик;
- (4) зрачок.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

#### 16. ПРИЧИНЫ ВРОЖДЕННОЙ ГЛАУКОМЫ

- (1) недоразвитие связочного аппарата хрусталика;
- (2) отсутствие угла передней камеры;
- (3) закрытие угла набухающим хрусталиком;
- (4) закрытие угла передней камеры мезодермальной тканью.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно все.

### 17. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ХИАЗМЫ В ...

- (1) области диска зрительного нерва;
- (2) борозде птичьей шпоры;
- (3) сетчатке;
- (4) области турецкого седла.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

### 18. ОСОБЕННОСТИ ВЕНОЗНОГО КРОВОТОКА В ОБЛАСТИ ОРБИТЫ:

- (1) существование анастомозов между венами лица и глазницы;
- (2) отсутствие клапанов у вен;
- (3) циркуляция крови в различных направлениях;
- (4) отсутствие анастомозов между венами лица и глазницы.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

### 19. ФУНКЦИИ РЕСНИЧНОГО ТЕЛА:

- (1) выработка внутриглазной жидкости;
- (2) светопроведение;
- (3) участие в аккомодации;
- (4) светопреломление.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.



20. БЛАГОДАРЯ МУЦИНОВОМУ СЛОЮ ПРЕКОРНЕАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ:

- (1) прекорнеальная пленка прочно удерживается на роговице;
- (2) сглаживаются микронеровности эпителия роговицы;
- (3) обеспечивается зеркальность роговицы;
- (4) обеспечивается газообмен.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

21. В РАДУЖКЕ ИМЕЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ МЫШЦЫ

- (1) сфинктер;
- (2) меридиональные волокна аккомодационной мышцы;
- (3) дилататор;
- (4) радиальные волокна аккомодационной мышцы.

Ответ: А –Если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно всё.

22. МЕСТА ПРИКРЕПЛЕНИЯ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА К ОКРУЖАЮЩИМ ЕГО ОТДЕЛАМ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

- (1) несколько кпереди от зубчатого края;
- (2) к задней капсуле хрусталика;
- (3) в области диска зрительного нерва;
- (4) в области лимба.

Ответ: А – если верно 1,2,3;  
Б – Если верно 1,3;  
В – Если верно 2,4;  
Г – Если верно 4;  
Д – Если верно все.

### 23. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОНУС ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

- (1) состояние гидродинамики внутриглазной жидкости;
- (2) форма роговой оболочки;
- (3) состояние гемодинамики;
- (4) состояние рефракции.

Ответ:      А – если верно 1, 2, 3;  
                  Б – Если верно 1,3;  
                  В – Если верно 2,4;  
                  Г – Если верно 4;  
                  Д – Если верно всё.

## СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

### Задача № 1.

К врачу поликлиники обратился мужчина с сыном в возрасте 15 лет. Подросток предъявляет жалобы на ухудшение зрения в вечернее время. Со слов больного, симптомы появились около года назад без видимых причин.

*Объективно:* Vis OU = 1,0; ВГД 17/16 мм. рт. ст.

OU – конъюнктивы бледно-розовая, гладкая, прозрачная, роговица прозрачная, гладкая. Влага в передней камере прозрачная, передняя камера глубиной 3 мм. Рисунок радужки четкий, зрачок в центре, круглый, прямая и содружественная реакция на свет сохранены. Глазное дно: диск зрительного нерва бледный, границы четкие, на периферии глазного дна по ходу ретинальных сосудов множественные пигментные отложения темно-коричневого цвета в виде «костных телец». Поля зрения резко сужены (10 градусов от точки фиксации по всем меридианам).

Функции каких клеток нарушены и с чем это связано?

Возможно ли ожидать улучшения остроты зрения у пациента после лечения?

### Задача № 2.

Больная 70 лет жалуется на отсутствие зрения в правом глазу и снижение зрения в левом глазу. Зрение снижалось постепенно в течение 2 лет, к врачу не обращалась.

*Объективно:* Vis OD = 1/рг. 1. certa, OS = 0,04 н/к; ВГД 20/20 мм рт. ст.

OD – конъюнктивы спокойная, роговица прозрачная, сферичная. Передняя камера мельче средней глубины, влага прозрачная. Радужка субатрофична, пигментная кайма сохранена, зрачок реагирует на свет. Хрусталик неравномерно мутный, серого цвета с перламутровым оттенком. Рефлекс с глазного дна отсутствует. OS – роговица прозрачная, спокойная, передняя камера средней глубины, влага прозрачная. Радужка субатрофична, пигментная кайма частично отсутствует, зрачок реагирует на свет. Хрусталик диффузно мутный в центральных отделах, но по периферии виден розовый рефлекс с глазного дна. В этой зоне глазное дно без патологии.

Какой процесс происходит в хрусталике?

Возможно ли восстановление прозрачности хрусталика?

### **Задача № 3.**

Поступил мальчик 6 лет. В лесу веточка задела по левому глазу, после чего появились жалобы на снижение остроты зрения левого глаза, светобоязнь, блефароспазм.

*Объективно:* Vis OD = 1,0; OS = 0,4 н/к.

OD спокоен. Преломляющие среды прозрачные. OS – раздражен, перикорнеальная инъекция, линейная эрозия в центре роговице. На глазном дне OU: ДЗН бледно-розовый, границы четкие, сосуды нормального калибра, периферия без особенностей.

Возможен ли процесс регенерации?

Если возможен, то за счет каких клеток?

### **Задача № 4.**

У больной 48 лет после перенесенного инсульта появились жалобы на двоение, отклонение правого глазного яблока кнутри.

*Объективно:* Vis OU = 1,0; ВГД 17/16 мм. рт. ст.

OU – спокойные. OD – положение глазного яблока правильное, движения в полном объеме. OS – глазное яблоко отклонено кнутри на 15 градусов по Гиршбергу, движение глаза кнаружи невозможно, в остальных секторах движения сохранены. OU – Преломляющие среды прозрачные. Глазное дно: ДЗН бледно-розовые, границы четкие, сосуды среднего калибра, периферия сетчатки без особенностей. Характер зрения (на четырехточечном цветотесте) – одновременный.

О поражении какого нерва можно сделать предположение?

Какую мышцу иннервирует данный нерв?

### **Задача № 5.**

Родители 2-х месячного ребенка жалуются педиатру на слезостояние и периодическое гнойное отделяемое из правого глаза. Слезостояние появилось на третий день после рождения.

*Объективно:* Vis OU = фиксация взора на ярком предмете.

OD слегка раздражен. Инъекция конъюнктивы нижнего века, больше у внутреннего угла глазной щели. Слезостояние. При надавливании на область слезного мешка из нижней слезной точки выделяется слизисто-гнойное отделяемое.

OS – спокоен. Конъюнктива бледно-розового цвета, слезостояния нет. OU – преломляющие среды прозрачные. Глазное дно: ДЗН бледно-розовый, границы четкие, сосуды нормального калибра, периферия без особенностей.

Какой отдел вспомогательного аппарата органа зрения поврежден, каковы причины?

## ЭТАЛОНЫ ОТВЕТОВ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ И СИТУАЦИОННЫМ ЗАДАЧАМ

### Тестовые задания

№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ
1	Г	7	Б	13	Г	19	Б
2	В	8	Б	14	Д	20	Д
3	Б	9	А	15	Г	21	Б
4	Г	10	Б	16	В	22	А
5	А	11	Б	17	Г	23	Б
6	А	12	А	18	А		

### Ситуационные задачи

**Задача 1.** Наружный сегмент отростка фоторецепторных клеток содержит стопку из 1000-1500 мембранных дисков (уплощенных мешочков). В мембранах дисков находится зрительный пигмент родопсин, в состав которого входит белок и альдегид витамина А. Врожденный дефект или недостаток в пище витамина А может приводить к нарушению сумеречного зрения (куриная слепота). Лечение малоэффективно. Прогноз для зрения неблагоприятный.

**Задача 2.** На фоне возрастного нарушения обменных процессов происходит уплотнение межклеточного вещества и помутнение коры хрусталика, которое практически необратимо.

**Задача 3.** Клетки базального слоя переднего эпителия роговицы способны делиться и обладают высокой способностью к регенерации. Дефект роговицы в пределах эпителия без повреждения передней пограничной мембраны эпителизируется без образования рубца.

**Задача № 4.** Можно предположить повреждение ядра отводящего нерва. Отводящий нерв иннервирует латеральную прямую мышцу глаза, имеющей антагонистом медиальную прямую мышцу. При параличе латеральной прямой превалирующий тонус медиальной мышцы вызовет сходящееся косоглазие.

**Задача №5.** Врожденная патология системы слезоотведения может быть связана с атрезией носослезного протока, а также закупоркой слезно-носового канала слизистой пробкой, не рассосавшейся мембраной.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная:*

1. Сомов Е.Е. Клиническая офтальмология. – М.: МЕДпресс-информ, 2012. – 3-е изд. – 400 с.
2. Гистология: учебник. Под ред. Афанасьева Ю., Юрьевой Н.А. – М: Медицина, 2006.
3. Гистология. Комплексные тесты: ответы и пояснения. Под ред. Кузнецова С. Л. и Чельшева Ю.А. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. - 312 с.
4. Жункейра Л. К., Кайнейро Ж. Гистология: учебное пособие.. – М.: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2009.

### *Дополнительная:*

1. Анатомия человека. Под. ред. М. Р. Сапина. – Москва, 2009. – Т. 1, 2.
2. Быков В. Л. Частная гистология человека. СПб.: СОТИС, 1999.
3. Кански Д. Клиническая офтальмология: систематизированный подход [пер. с англ.] 2-е изд; под ред. В.П. Еричева. – 2009. – 944 с.
4. Каюмов Ф. А. Атлас по гистологии. – Уфа, 2012. – 207 с.
5. Сапин М. Р. Атлас нормальной анатомии человека. – М., 2007. – Т. 1, 2.

## ПРИЛОЖЕНИЯ (МИКРОФОТОГРАФИИ И РИСУНКИ)

Микрофотографии с 1 по 8, д. м. н., профессора Каюмова Ф. А.

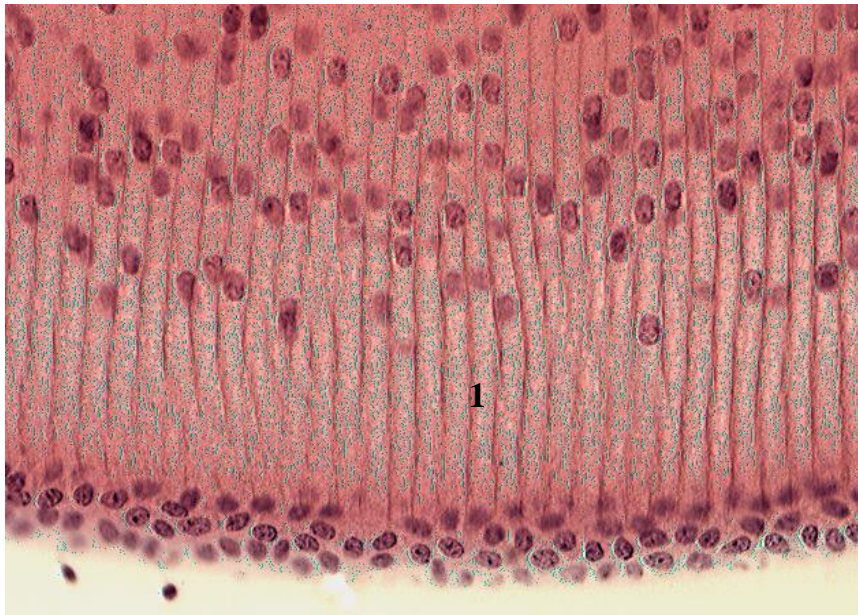


**Рис. 1. Развитие глазного яблока зародыша 8 недель:**  
роговица – 1, хрусталик – 2, сетчатка – 3 и зрительный нерв – 4.  
Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение среднее.

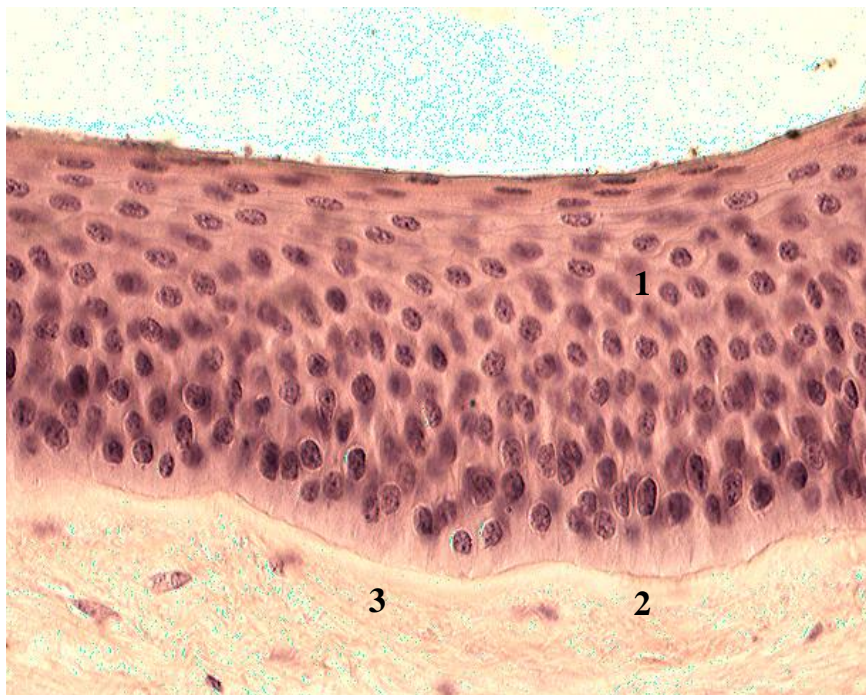


**Рис. 2. Развитие глазного яблока зародыша 8 недель:**  
роговица – 1, хрусталик – 2, сетчатка и зрительный нерв – 3.  
Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение среднее.

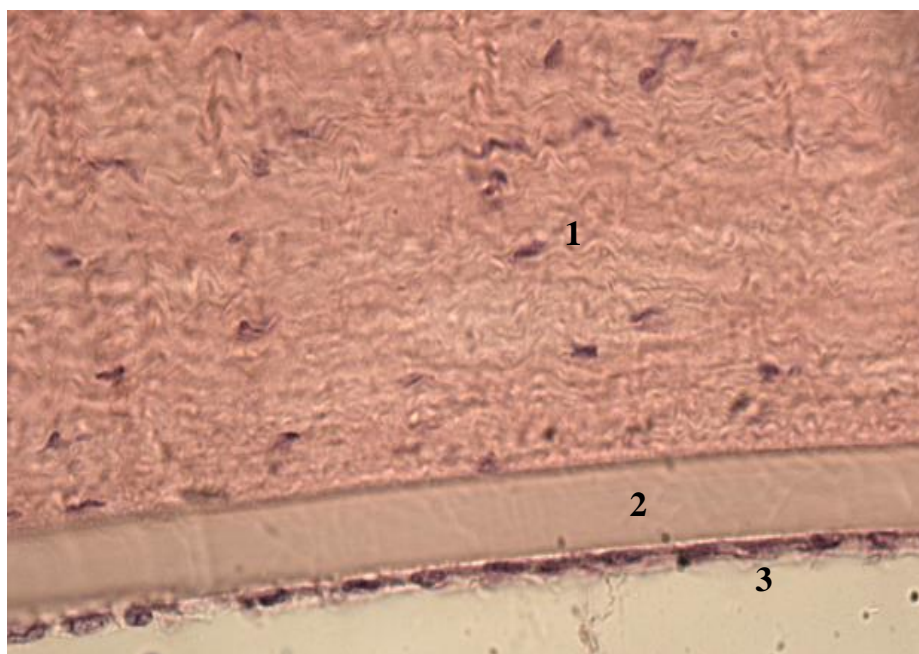




**Рис. 3. Развитие глаза:**  
эпителий передней стенки хрусталика и первичные хрусталиковые волокна – 1.  
Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение большое.



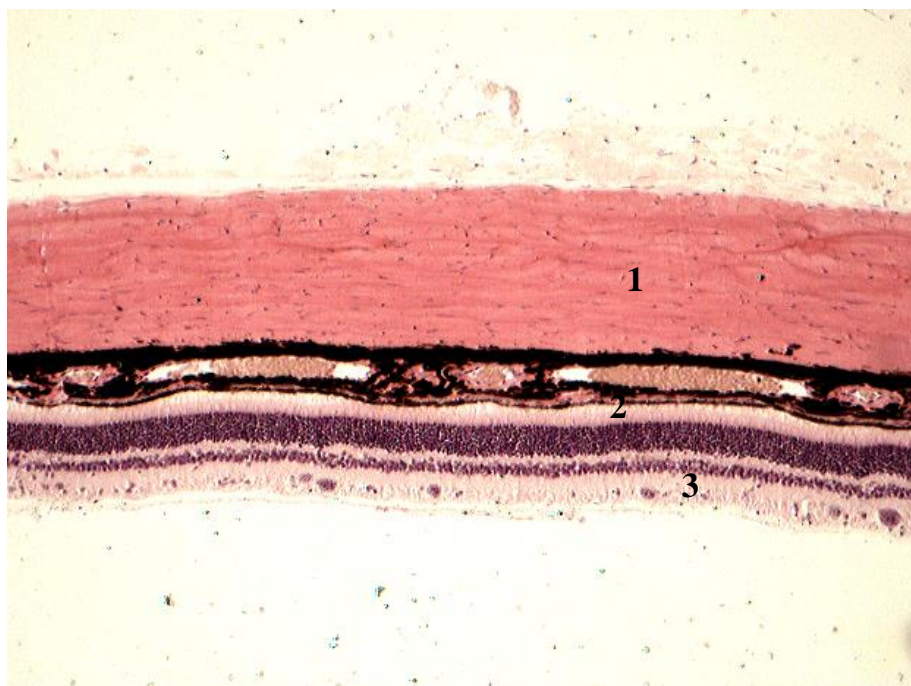
**Рис. 4. Роговица:**  
многослойный плоский неороговевающий эпителий (передний) – 1, передняя пограничная мембрана – 2, собственное вещество, состоящее из коллагеновых волокон и уплощенных фиброцитов – 3.  
Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение большое.



**Рис. 5. Роговица:**

**собственное вещество – 1, задняя пограничная мембрана – 2 и задний эпителий – одно-  
слойный плоский – 3.**

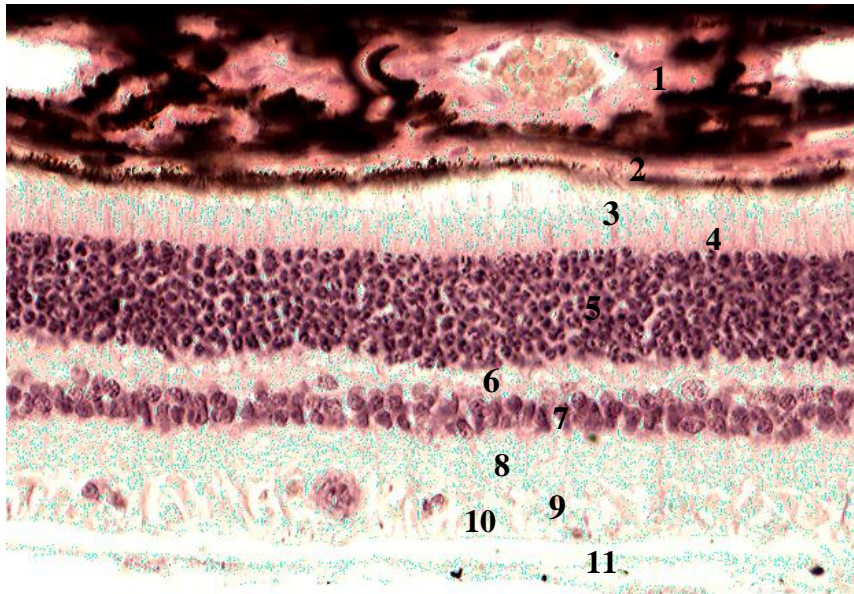
Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение среднее.



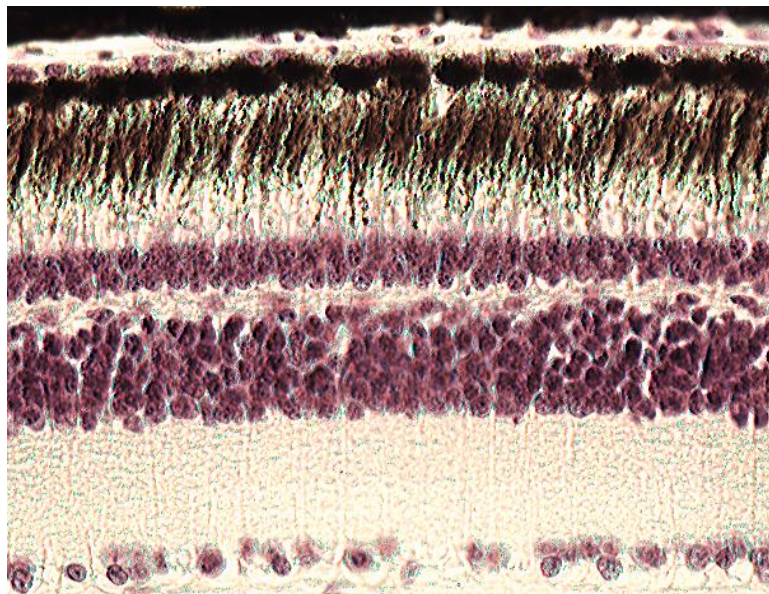
**Рис. 6. Задняя стенка глазного яблока:**

**фиброзная оболочка (склера) – 1, сосудистая оболочка с кровеносными сосудами и пиг-  
ментными клетками – 2, сетчатая оболочка – 3.**

Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение среднее.

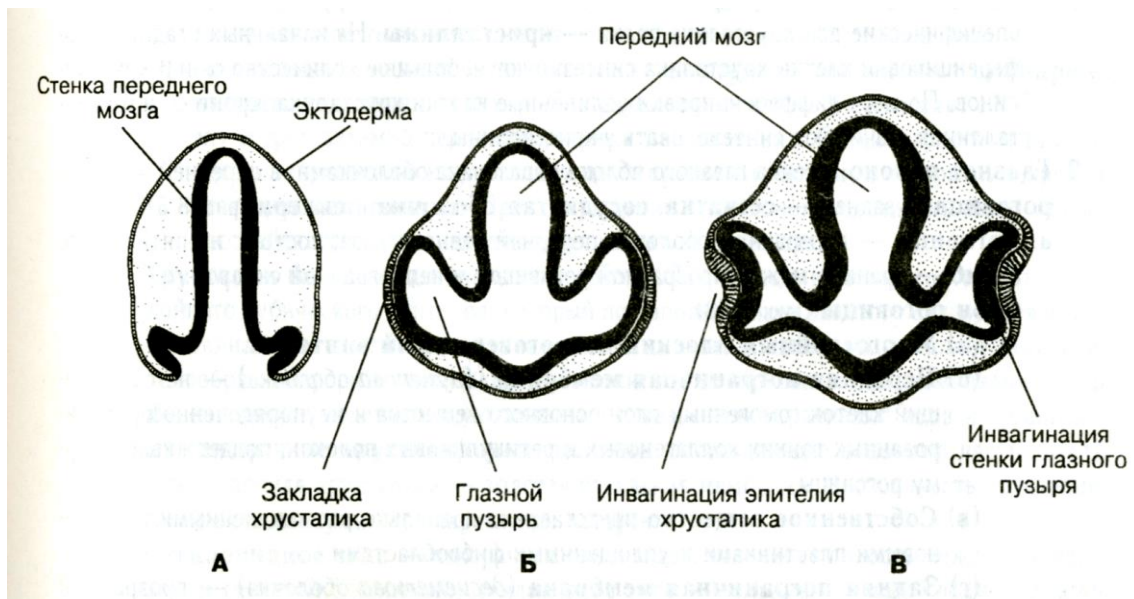


**Рис. 7. Сосудистая оболочка с кровеносными сосудами и пигментными клетками:**  
 Пигментные клетки – 1. Сетчатка: пигментный эпителий – 2, слой палочек и колбочек – 3, наружная пограничная мембрана – 4, наружный ядерный слой – 5, наружный сетчатый слой – 6, внутренний ядерный слой – 7, внутренний сетчатый слой – 8, ганглионарный слой – 9, слой нервных волокон – 10 и внутренняя пограничная мембрана – 11.  
 Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение большое.



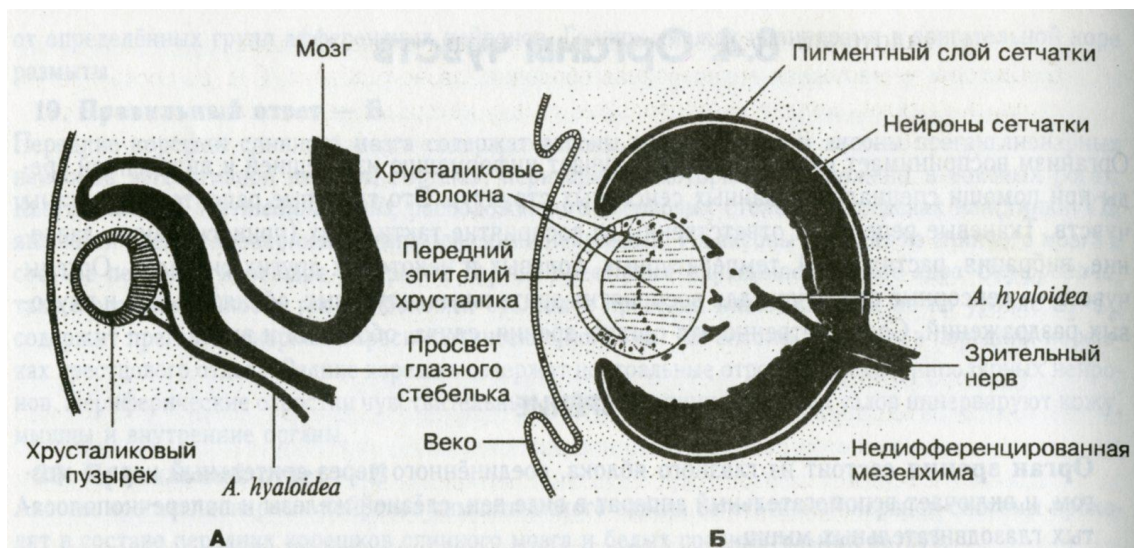
**Рис. 8. Пигментный эпителий сетчатки** прочно связан с базальной пластинкой (мембраной Бруха) сосудистой оболочки и менее прочно – с палочками и колбочками. Апикальная поверхность пигментоцитов образуют микроворсинки, которые располагаются между наружными сегментами фоторецепторов. Под воздействием света меланосомы перемещаются в апикальные отростки пигментоцитов, а в темноте меланосомы возвращаются в цитоплазму.  
 Окраска Г+Э. Микрофотография. Увеличение большое.

Микрофотографии и рисунки с 9 по 37 из Жункейра Л.К., Карнейро Ж., Гистология, 2009; Э.Г. Улумбеков, Ю.А. Челышев, Гистология, 1997 и Ю.И. Афанасьев, Н.А. Юрина, Гистология, 1999.



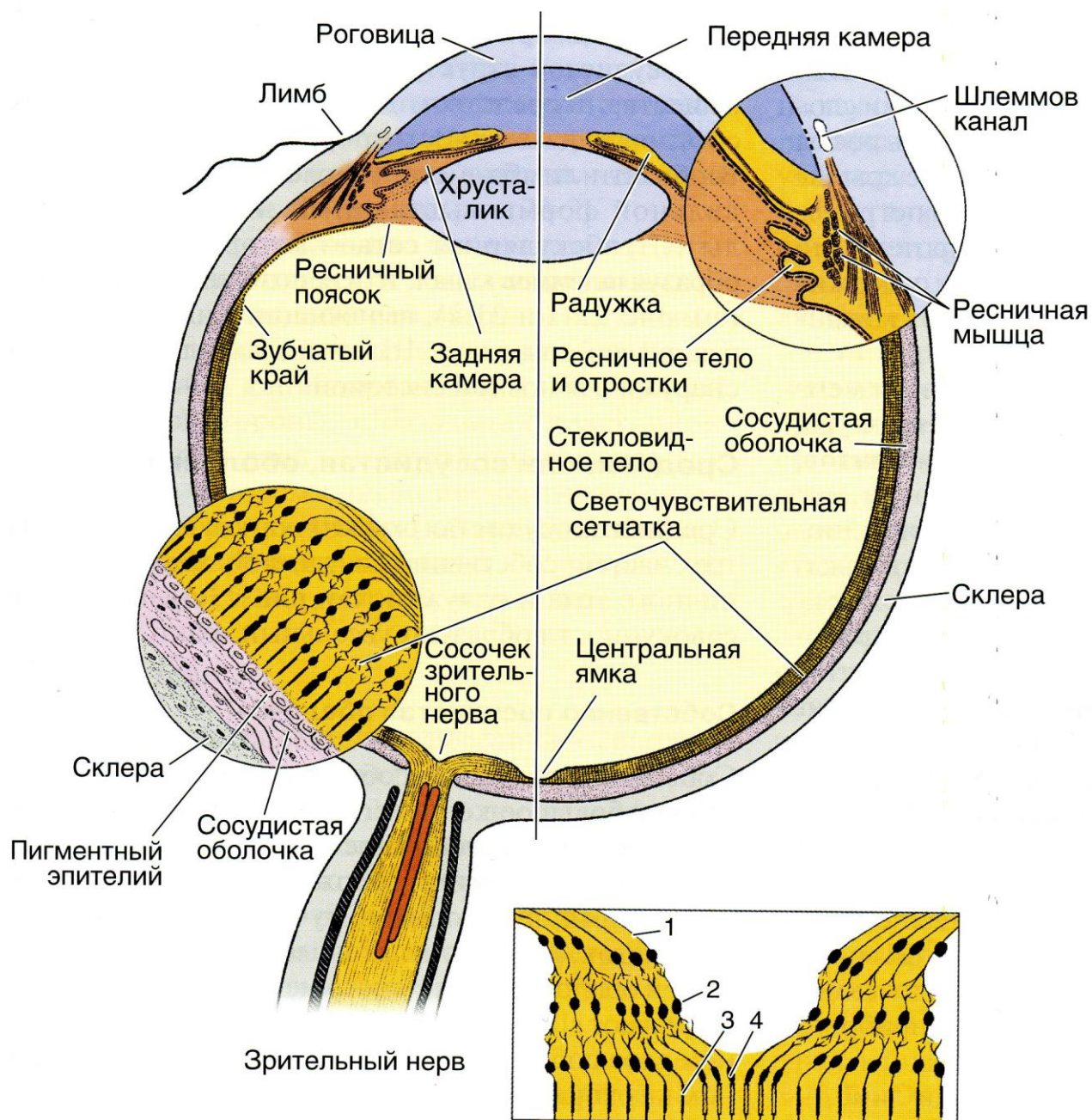
**Рис. 9. Развитие глаза:**

**А** – 22-дневный эмбрион; **Б** – 4-недельный эмбрион; **В** – эмбрион длиной 5 мм (из Sadler TW, 1990).



**Рис. 10. Развитие глаза:**

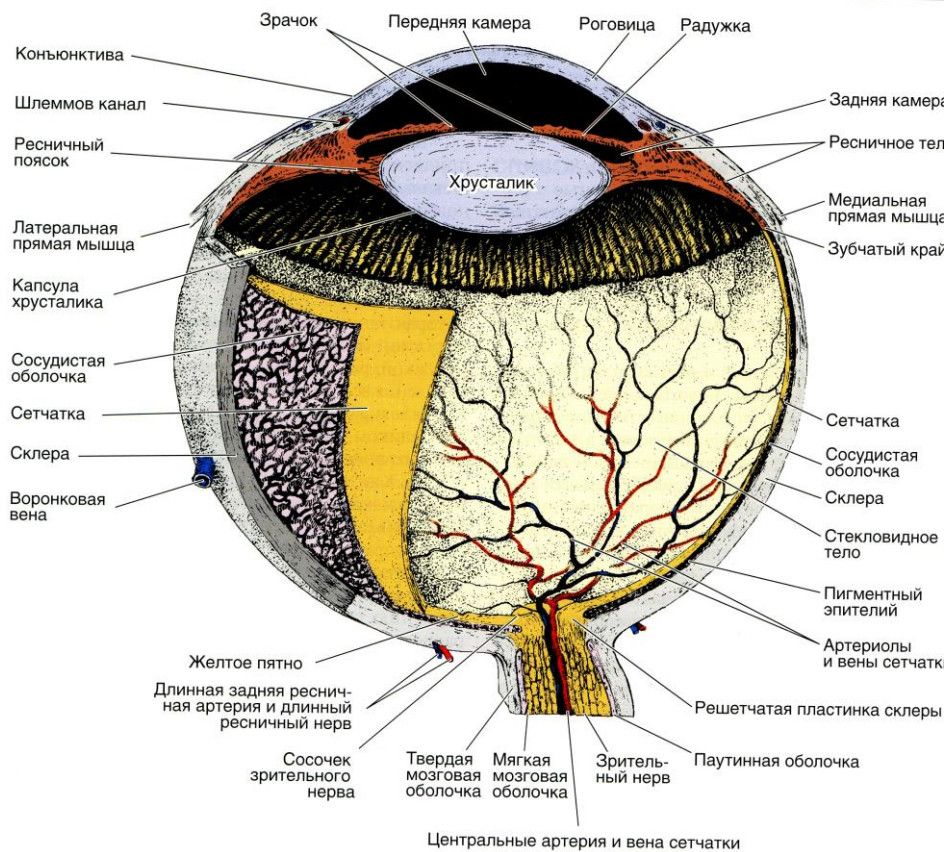
**А** – 6-недельный зародыш; **Б** – 7-недельный зародыш (из Mann IS, 1974).



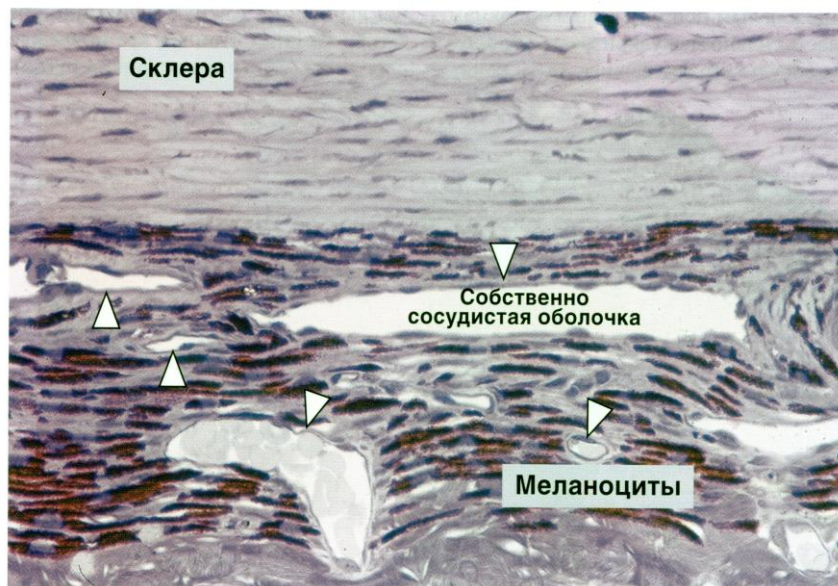
**Рис. 11. Строение правого глаза (вид сверху, схема).**

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

Показано общее строение глаза, строение сетчатки, центральной ямки и ресничного тела. Увеличенное схематическое изображение центральной ямки представлено внизу справа: аксоны ганглионарных клеток (1); биполярные клетки (2); палочки (3); колбочки (4). Представлены также увеличенные схематические изображения ресничного тела (наверху справа) и сетчатки (внизу слева)



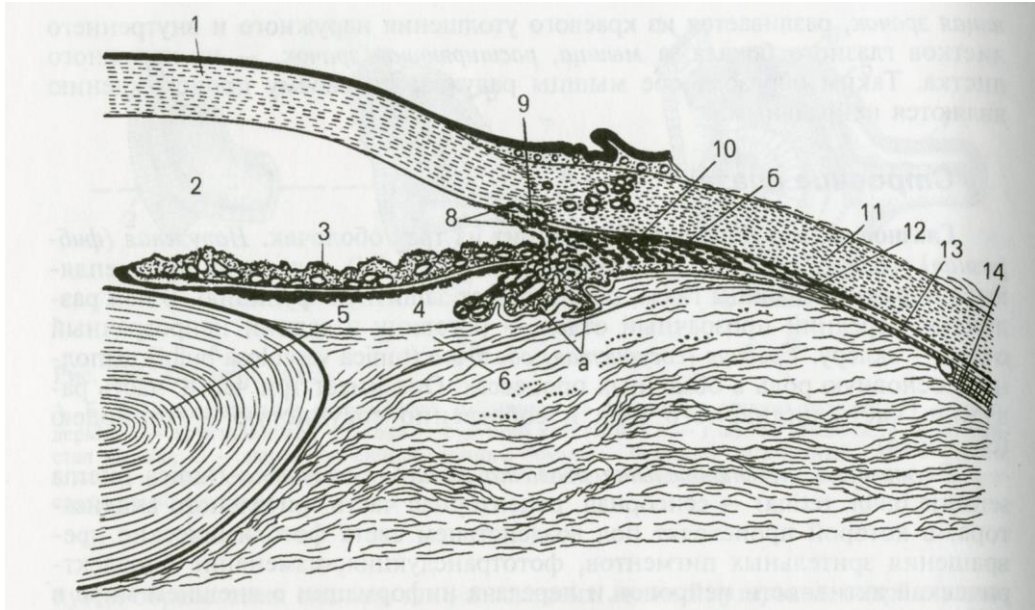
**Рис. 12. Внутренние структуры глаза человека**  
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).



**Рис. 13. Собственно сосудистая оболочка и склера.**

Окраска парарозанилин – толуидиновый синий. Увеличение большое  
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

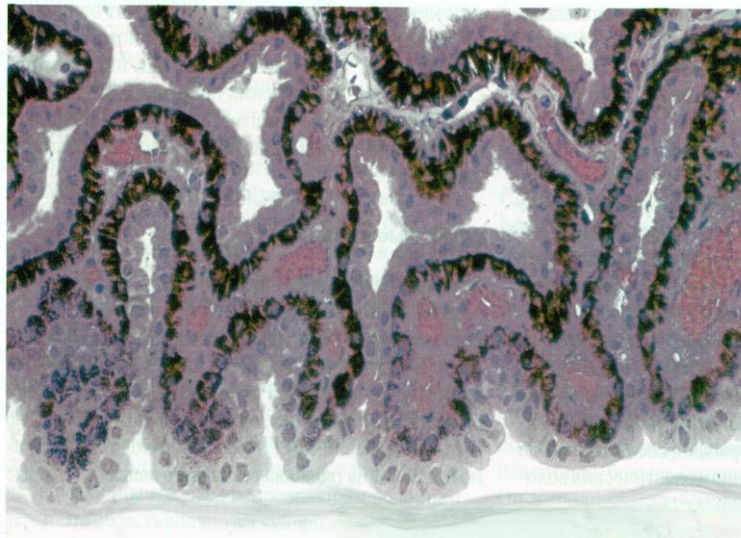
Собственно сосудистая оболочка – соединительная ткань с большим количеством сосудов (треугольники), содержащая меланоциты, которые предотвращают отражение падающего света. Многие питательные вещества попадают в сетчатку из кровеносных сосудов собственно сосудистой оболочки. Склера представляет собой плотный слой соединительной ткани с высоким содержанием волокон, образованных коллагеном I типа, которые собраны в параллельные пучки.



**Рис. 14. Строение переднего отдела глазного яблока (схема):**

**1 – роговица, 2 – передняя камера глаза, 3 – радужка, 4 – задняя камера глаза, 5 – хрусталик, 6 – ресничный пояс (циннова связка), 7 – стекловидное тело, 8 – гребенчатая связка, 9 – венозный синус склеры, 10 – цилиарное тело, а – отростки цилиарного тела, б – цилиарная мышца, 11 – склера, 12 – сосудистая оболочка, 13 – зубчатая линия, 14 – сетчатка**

(из Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной, 1999).



**Рис. 15. Ресничные отростки.**

Окраска парарозанилин – толуидиновый синий. Увеличение большое  
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

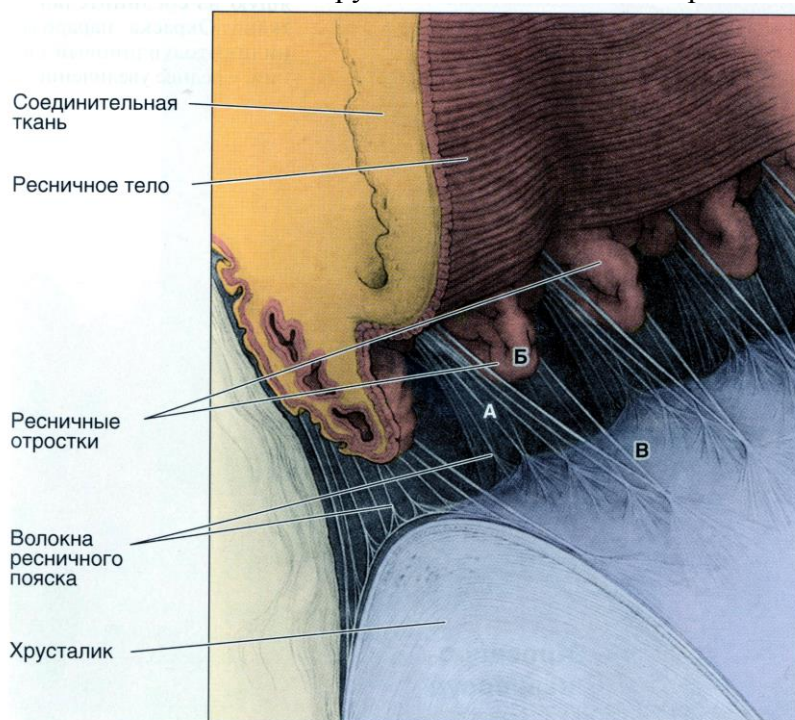
Отростки покрыты двойным слоем пигментированных и непигментированных эпителиальных клеток. Обратите внимание также на центральную часть (основу) отростков, состоящую из соединительной ткани.



**Рис. 16. Ресничный отросток.**

Окраска парарозанилин – толуидиновый синий. Увеличение большое (из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

Обратите внимание на темные гранулы меланина, расположенные в цитоплазме внутреннего слоя эпителиальных клеток. Наружный эпителий не содержит меланина.

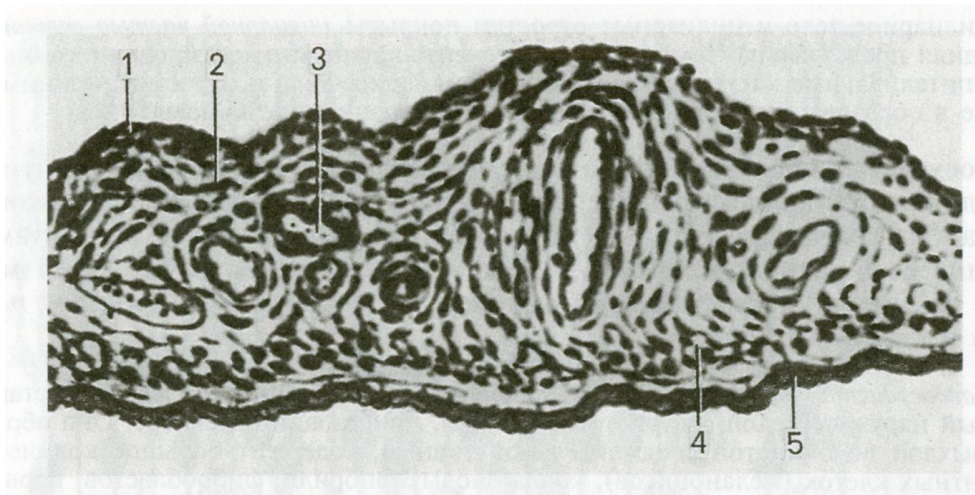


**Рис. 17. Ресничные отростки (вид спереди).**

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

Показаны волокна ресничного пояса, прикрепляющиеся к хрусталику. Волокна ресничного пояса представляют собой пучки микрофиламентов (окситалановые волокна), относящихся к системе эластических волокон. Волокна ресничного пояса образуют колонки (А) по обеим сторонам ресничных отростков (Б), которые, прикрепляясь к хрусталику, сходятся в одном участке (В)

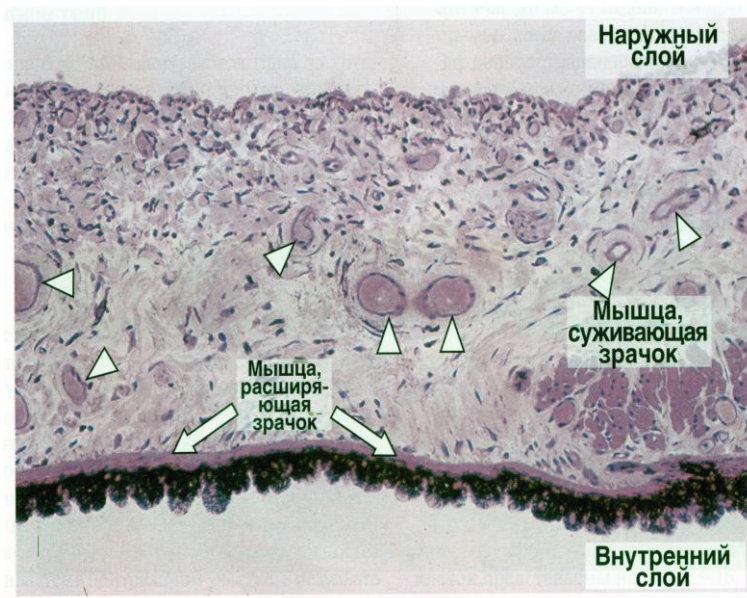




**Рис.18. Радужка:**

**1 – однослойный плоский эпителий, 2 – наружный пограничный слой, 3 – сосудистый слой, 4 – внутренний пограничный слой, 5 – задний пигментный эпителий**

(из Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной, 1999).

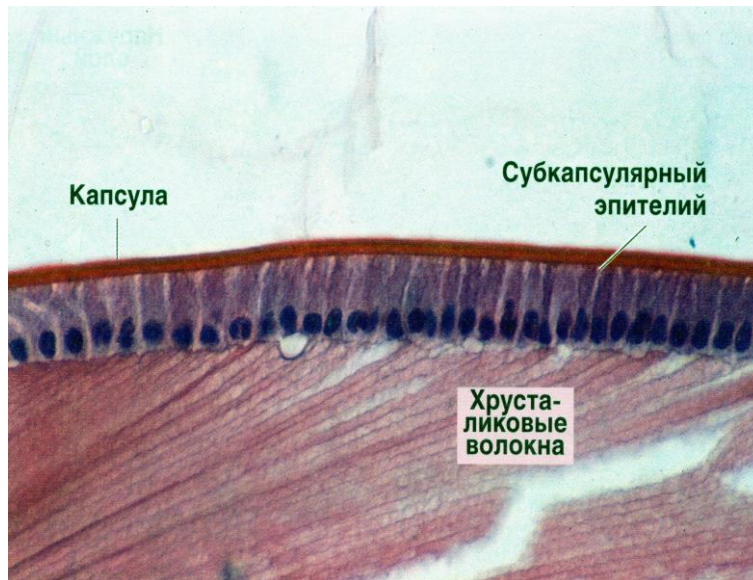


**Рис. 19. Радужка.**

Окраска парарозанилин-толуидиновый синий. Увеличение большое

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

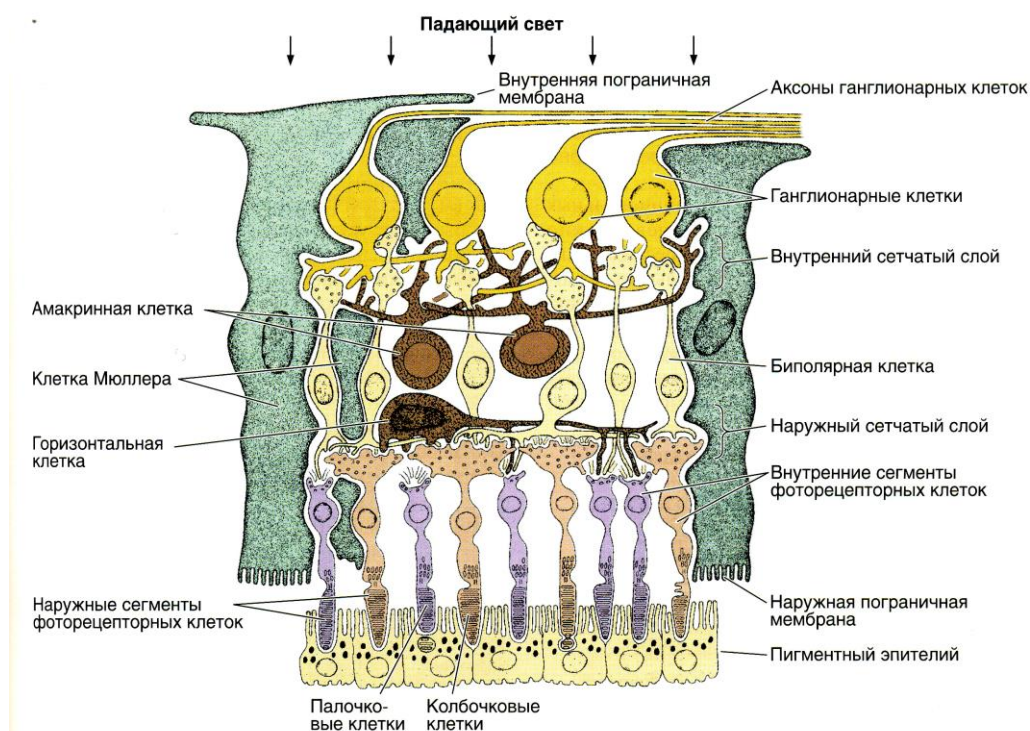
Основа радужки образована соединительной тканью, в некоторых участках которой содержится большое количество сосудов (треугольники). Наружный слой содержит фибробласты и немногочисленные пигментные клетки (на данной микрофотографии не видны). Напротив, внутренний слой сильно пигментирован для защиты внутренних структур глаза от постороннего света. Диаметр зрачка регулируют мышцы, расширяющий зрачок, и мышца, суживающая зрачок.



**Рис. 20. Передняя часть хрусталика.**

Окраска пикросириус – гематоксилин. Увеличение большое (из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж ., 2009).

Субкапсулярный эпителий вырабатывает капсулу хрусталика, которая окрашена в красный цвет. Капсула хрусталика представляет собой толстую базальную мембрану, содержащую коллаген IV типа и ламинин. Обратите внимание на хрусталиковые волокна, лежащие под субкапсулярным эпителием, которые являются клетками, утратившими свои ядра и органеллы и превратившимися в тонкие, удлиненные, прозрачные структуры.

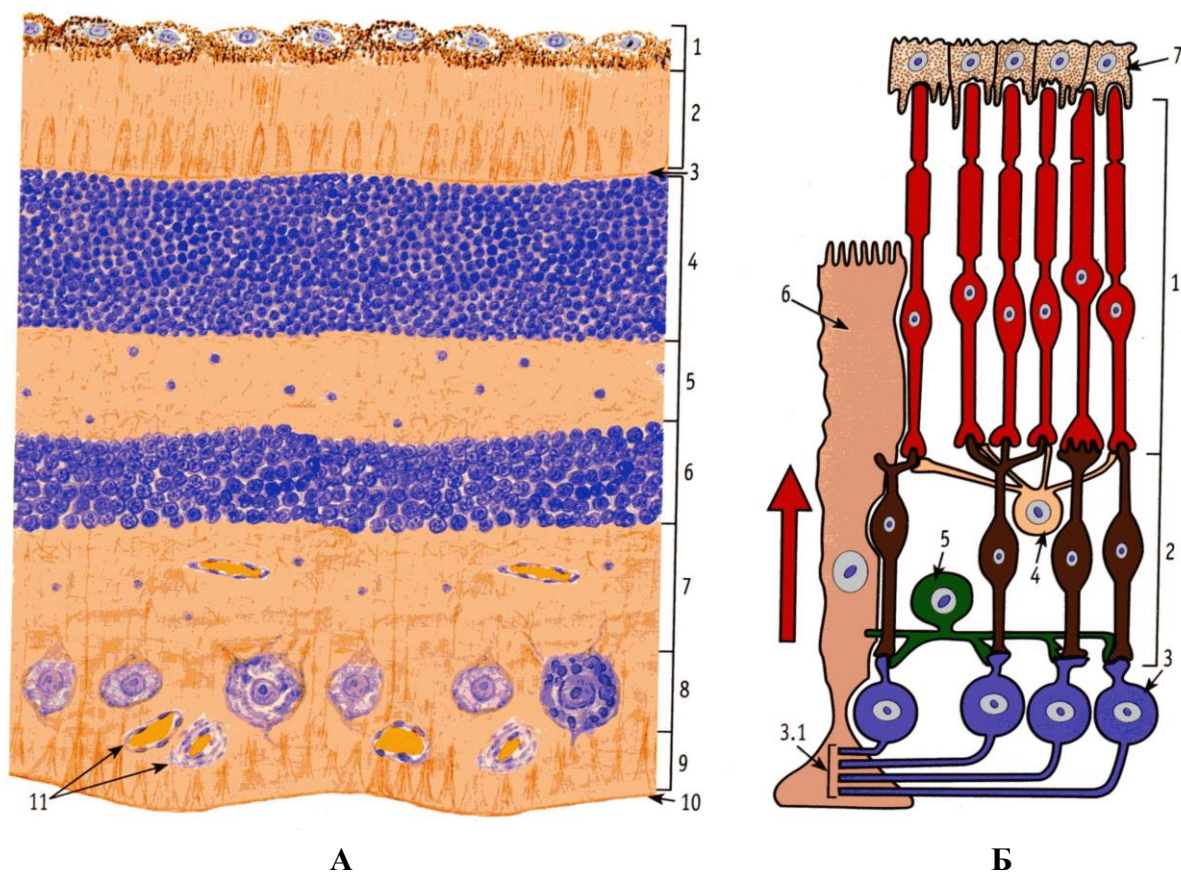


**Рис. 21. Три слоя нейронов сетчатки.**

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж ., 2009).

Стрелки указывают направление падающего света.

Стимуляция палочковых и колбочковых клеток, обусловленная падающим светом, распространяется в противоположном направлении

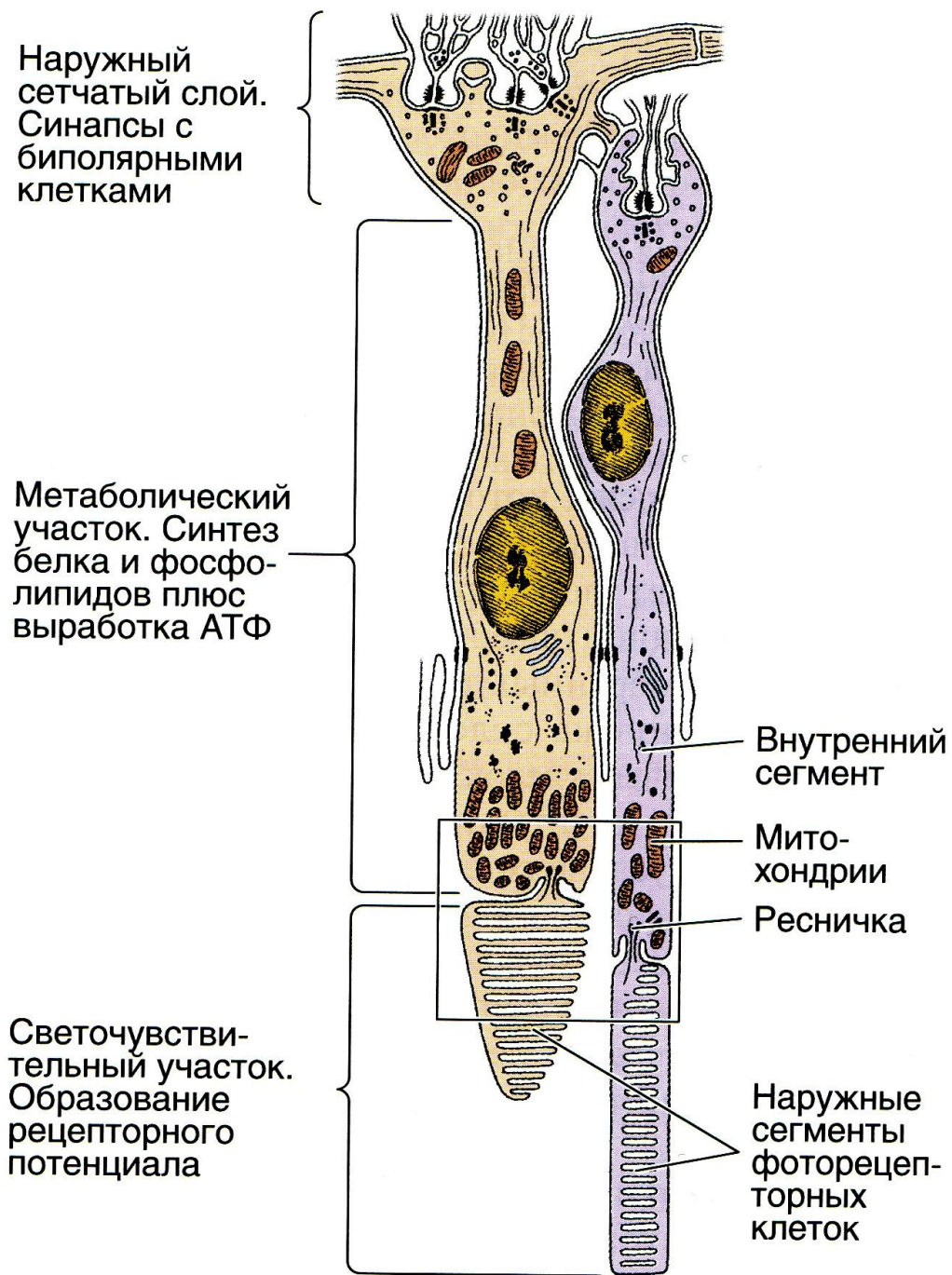


**Рис. 22. Глаз.**

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

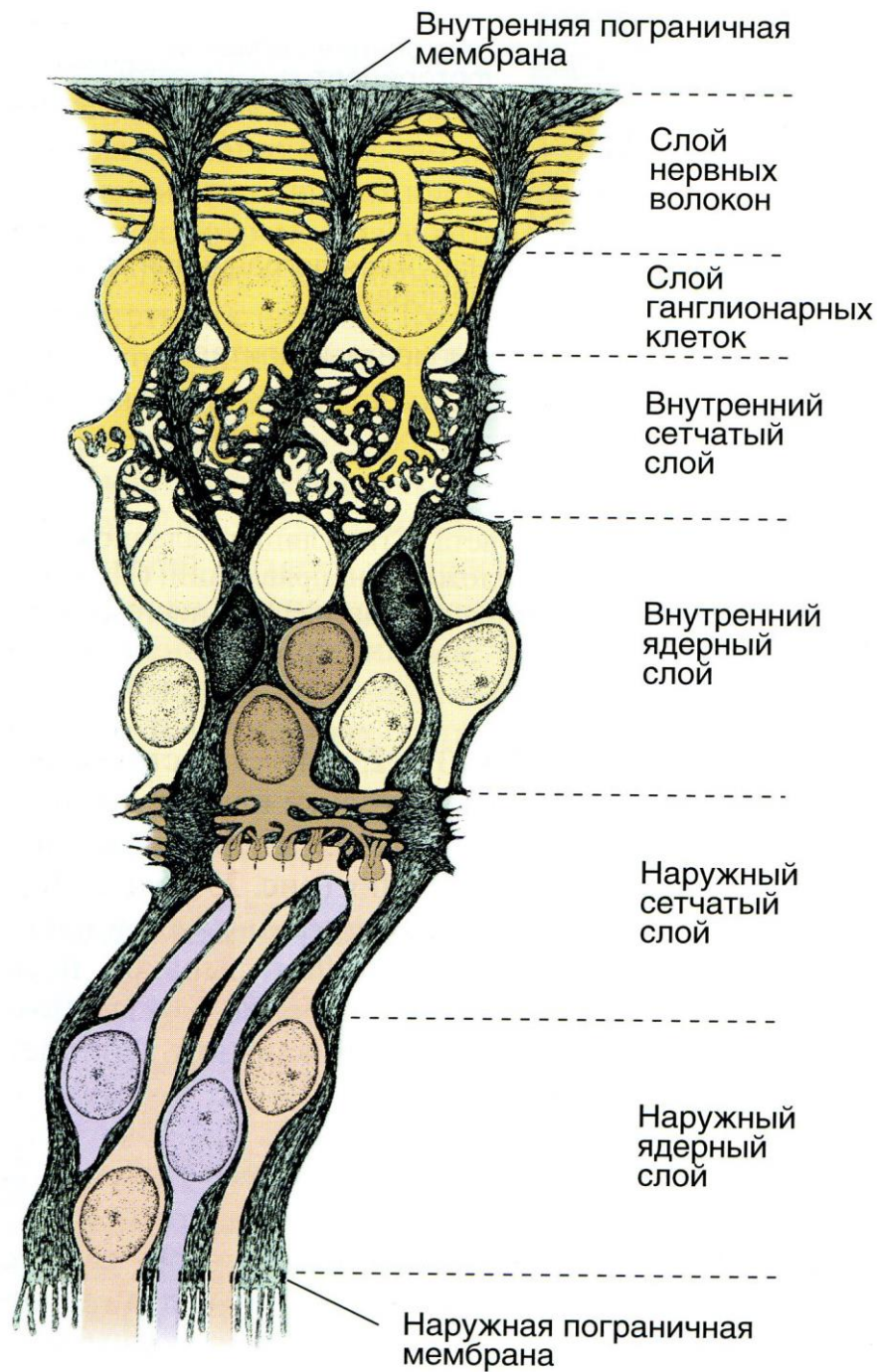
**А. Сетчатая оболочка:** 1 – пигментный слой; 2 – фотосенсорный слой; 3 – наружная глиальная пограничная мембрана; 4 – наружный ядерный слой; 5 – наружный сетчатый слой; 6 – внутренний ядерный слой; 7 – внутренний сетчатый слой; 8 – ганглионарный слой; 9 – слой нервных волокон; 10 – внутренняя глиальная пограничная мембрана; 11 – кровеносные сосуды.

**Б. Схема строения сетчатки:** 1 – фоторецепторные клетки; 2 – биполярный нейрон; 3 – ганглионарный нейрон; 3.1 – нервные волокна; 4 – горизонтальный нейрон; 5 – амакринный нейрон; 6 – радиальный глиоцит (мюллеровы волокна); 7 – пигментный эпителий. Стрелка показывает ход световых лучей через сетчатку



**Рис. 23. Ультраструктура палочковой (справа) и колбочковой (слева) клеток.**  
 (из Жункейра Л. К., Кайнейро, 2009).

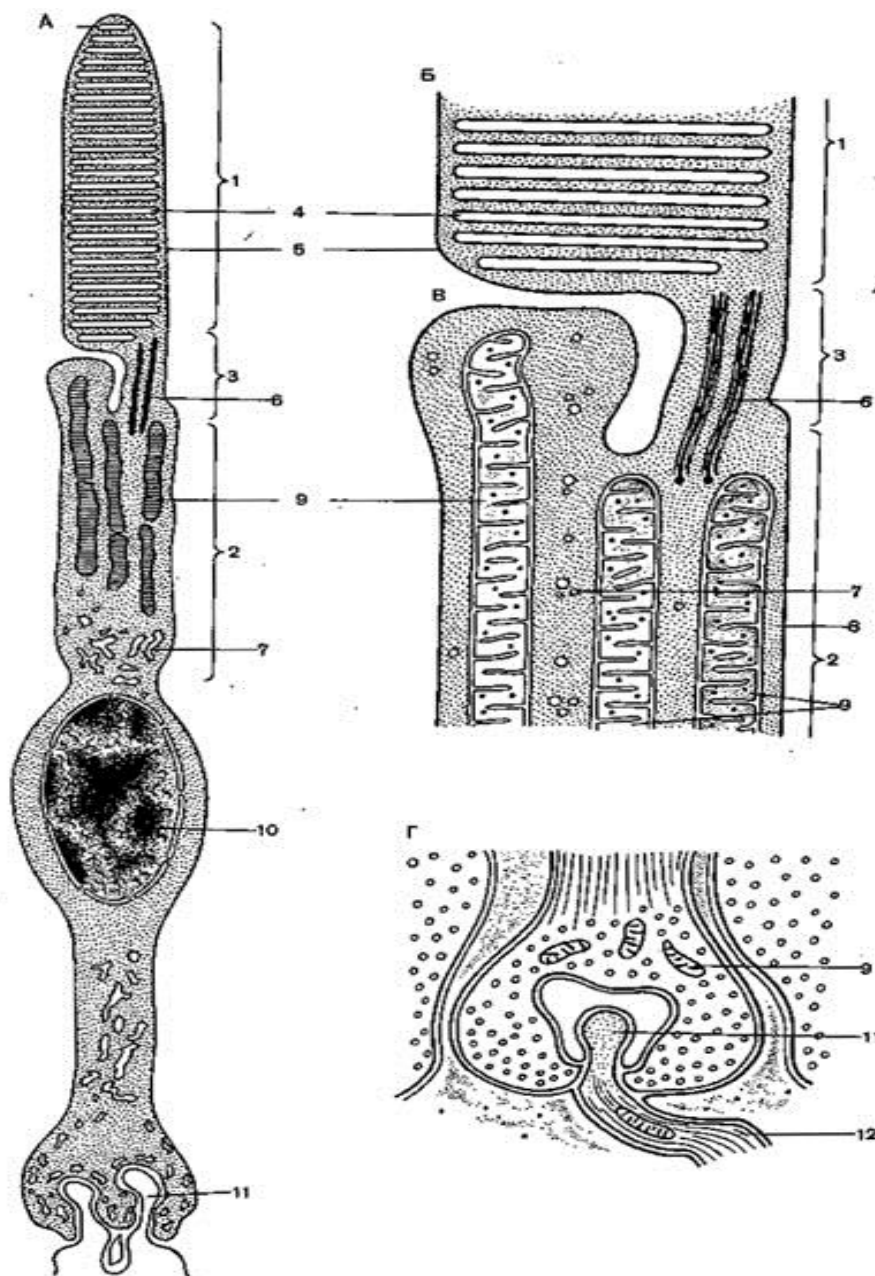
Выделенный прямоугольный участок показан на электронной микрофотографии



**Рис. 24. Тесная связь клеток Мюллера с нейральными элементами в светочувствительной сетчатке.**

(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

Клетки Мюллера (темные волокнистые клетки) считают структурными и функциональными элементами астроцитов центральной нервной системы, поскольку они окружают и поддерживают нейроны и нервные отростки сетчатки



**Рис. 25. Ультрамикроскопическое строение палочковой нейросенсорной клетки:**  
**I – наружный сегмент; II – связующий отдел; III – внутренний сегмент; IV – перикарион; V – аксон. 1 – диски; 2 – плазмолемма; 3 – базальные тельца ресничек; 4 – митохондрии; 5 – эндоплазматическая сеть; 6 – ядро; 7 – синапс.**

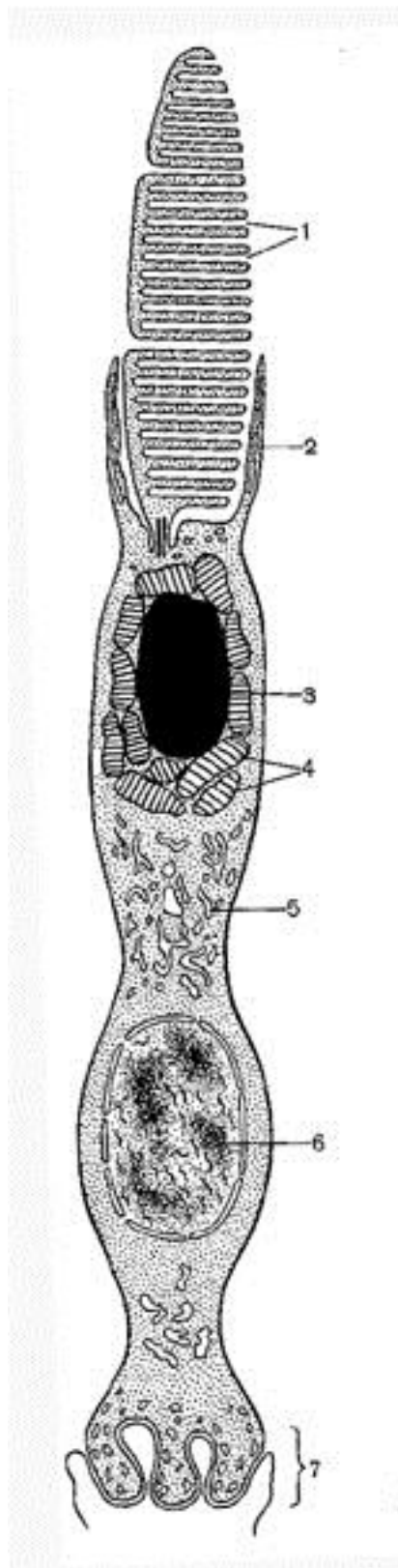
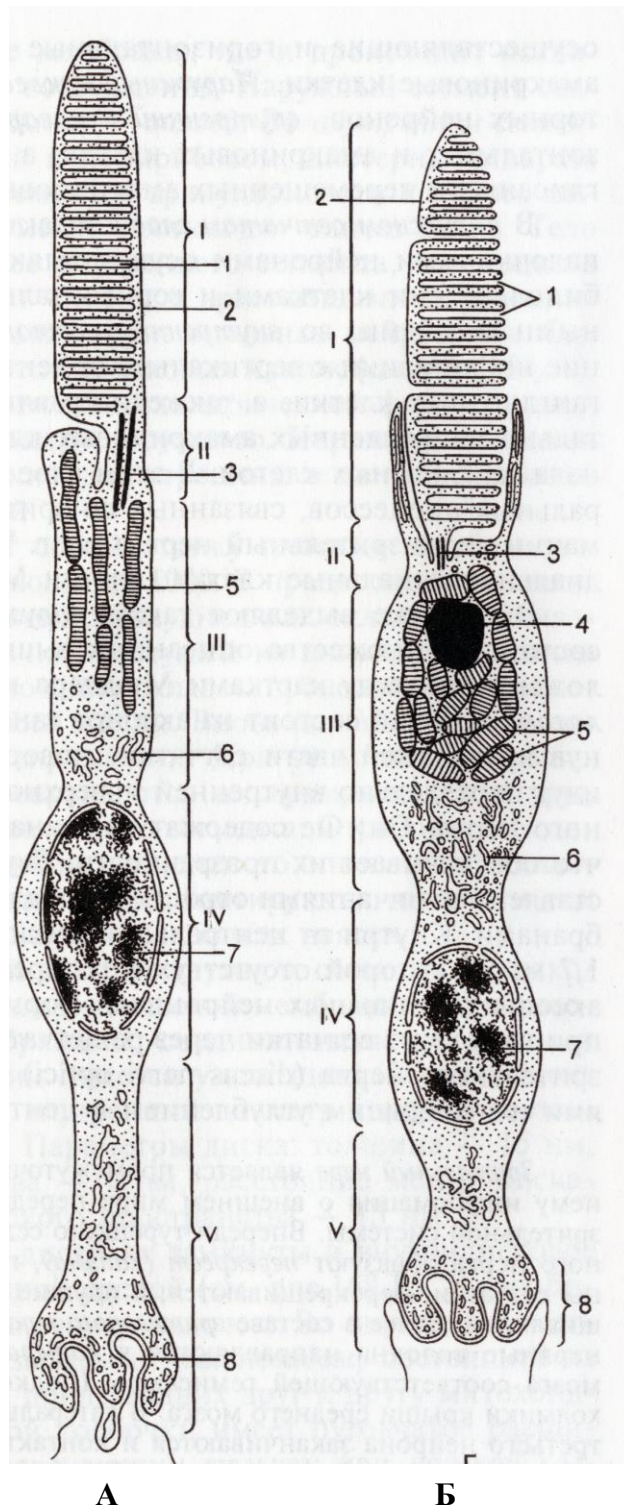


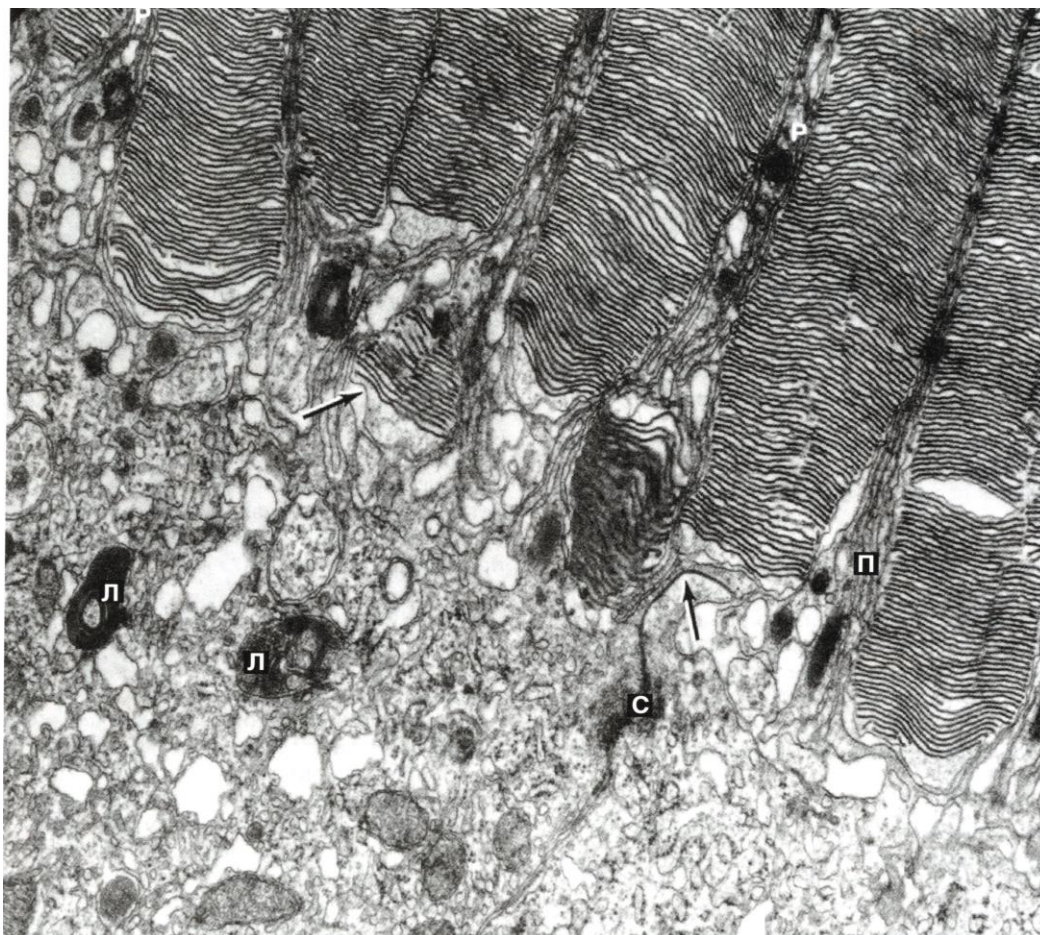
Рис. 26. Колбочковая нейросенсорная клетка.



**Рис. 27. Ультрамикроскопическое строение палочковой (А) и колбочковой (Б) нейросенсорных клеток:**

**I – наружный сегмент; II – связующий отдел; III – внутренний сегмент; IV – перикарион; V – аксон. 1 – диски; 2 – плазмолемма; 3 – базальные тельца ресничек; 5 – митохондрии; 6 – эндоплазматическая сеть; 7 – ядро; 8 – синапс**  
(из Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной, 1999).

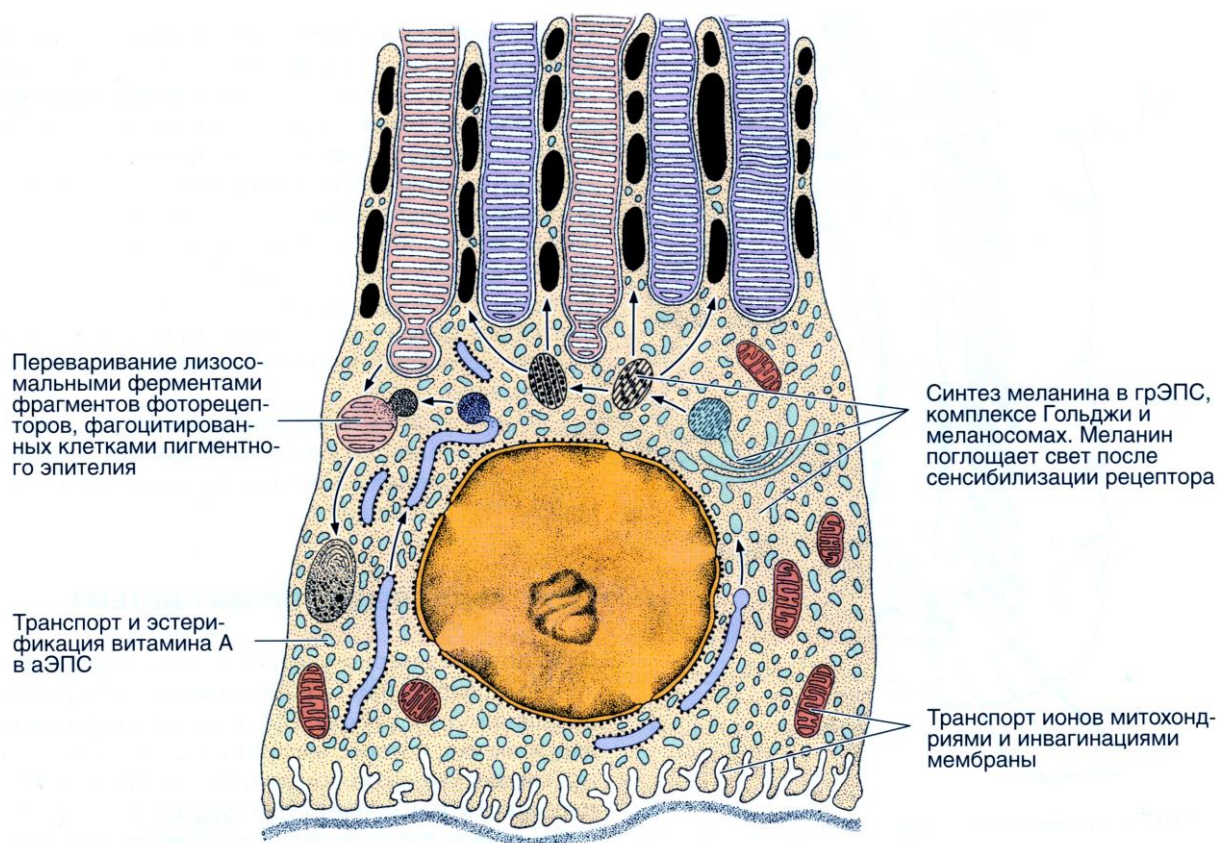




**Рис. 28. Граница между светочувствительным слоем  
и слоем пигментного эпителия сетчатки.**

Электронная микрофотография  
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

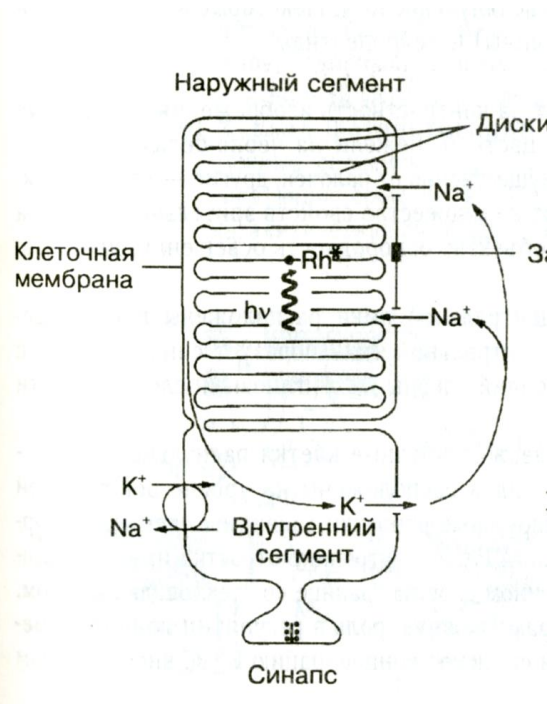
В нижней части микрофотографии располагаются части двух клеток пигментного эпителия со специализированными соединениями (С) между их латеральными плазмолеммами. В нижней части микрофотографии располагаются части двух клеток пигментного эпителия со специализированными соединениями (С) между их латеральными плазмолеммами. Ад пигментными клетками находятся концы нескольких наружных сегментов палочковых клеток, которые интердигитируют с апикальными отростками клеток пигментного эпителия (П). Крупные вакуоли, содержащие уплощенные мембраны (стрелки), отделились от концов палочковых клеток. Л – лизосомальные пузырьки.



**Рис. 29. Функции клетки пигментного эпителия сетчатки.**

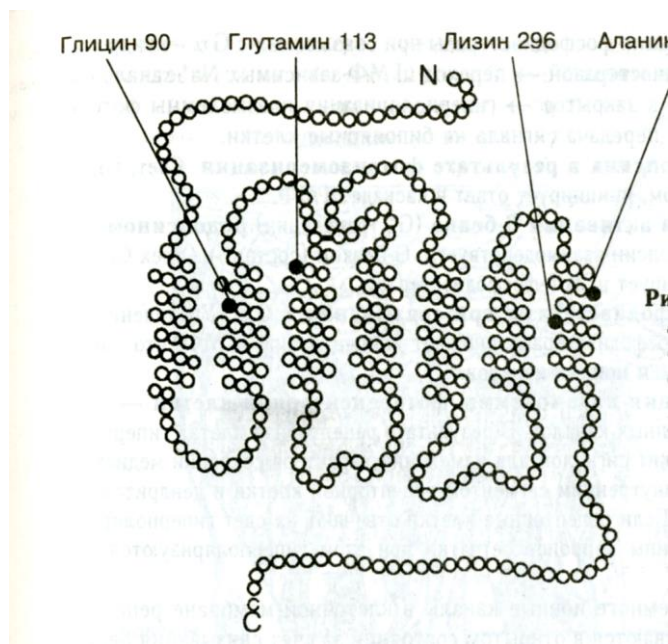
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009).

Обратите внимание на то, что от апикальной части клетки отходят многочисленные отростки, которые заполняют пространства между наружными сегментами светочувствительных клеток, а мембрана базального участка образует инвагинации в цитоплазму. Данный тип клеток выполняет несколько функций, включая синтез гранул меланина, поглощающих отраженный свет в камере глаза. Этот процесс представлен в правой части рисунка, которая показывает органеллы, участвующие в синтезе меланина. В левой части рисунка лизосомы, содержащие ферменты, синтезированные в гранулярной эндоплазматической сети (грЭПС), сливаются с фагоцитированными апикальными участками фоторецепторов и переваривают их. Помимо этих функций, пигментные клетки, вероятно, участвуют в транспорте ионов, поскольку они поддерживают электрический потенциал между двумя поверхностями мембраны эпителия. Относительно хорошо развитая агранулярная эндоплазматическая сеть (аЭПС) участвует в процессе эстерификации витамина А.



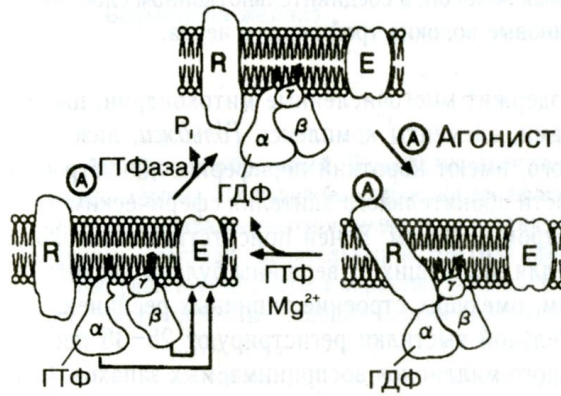
**Рис. 30. Схема палочки.**  
(из Lamb TD, 1986).

В наружном сегменте расположена стопка дисков, содержащих зрительный пигмент родопсин. Мембрана дисков и клеточная мембрана разобщены. Свет ( $h\nu$ ) активирует родопсин  $Rh^*$  в дисках, что закрывает  $Na^+$  – каналы в клеточной мембране и снижает вход  $Na^+$  в клетку



**Рис. 31. Структура родопсина.**  
(из Rao VR et al, 1994).

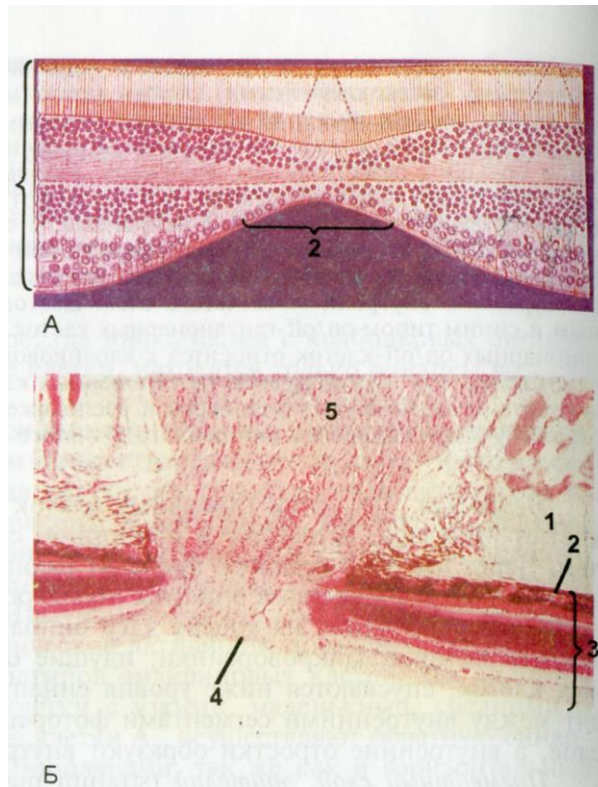
Молекула содержит 7 трансмембранных  $\alpha$ -спиральных участков. Черные круги соответствуют локализации наиболее распространенных молекулярных дефектов. Показано, какие из аминокислотных остатков в молекуле опсина при мутациях заменены на остатки других аминокислот. Так, при одной из мутаций глицин во втором трансмембранном участке в 90-м положении заменен на аспарагин, что приводит к врожденной ночной слепоте



**Рис. 32. Трансмембранный белок родопсин и его связь с G-белком (трансдуцин) в плазмолемме фоторецепторных клеток.**

(из Dratz EA et al, 1993)

Возбужденный фотонами родопсин активирует G-белок. При этом гуанозиндифосфат, связанный с  $\alpha$ -СЕ G-белок, заменяется на гуанозинтрифосфат. Отщепленные  $\alpha$ -СЕ и  $\beta$ -СЕ действуют на фосфодиэстеразу и заставляют ее превращать цГМФ в гуанозинмонофосфат. Это закрывает  $\text{Na}^+$ -каналы, и ионы  $\text{Na}^+$  не могут попасть в клетку, что приводит к ее гиперполяризации. **R** родопсин;  $\alpha$ ,  $\beta$  и гамма-СЕ G-белка; **A** – агонист (в данном случае кванты света); **E** – фермент-эффектор фосфодиэстераза

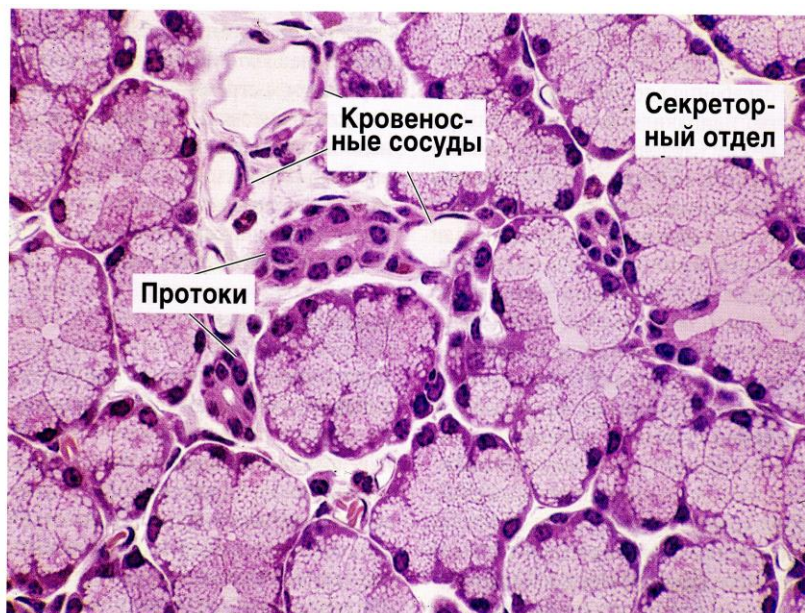


**Рис. 33. Центральная ямка (А) и диск зрительного нерва (Б).**

(из Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной, 1999).

**А:** 1 – центральная ямка (желтое пятно).

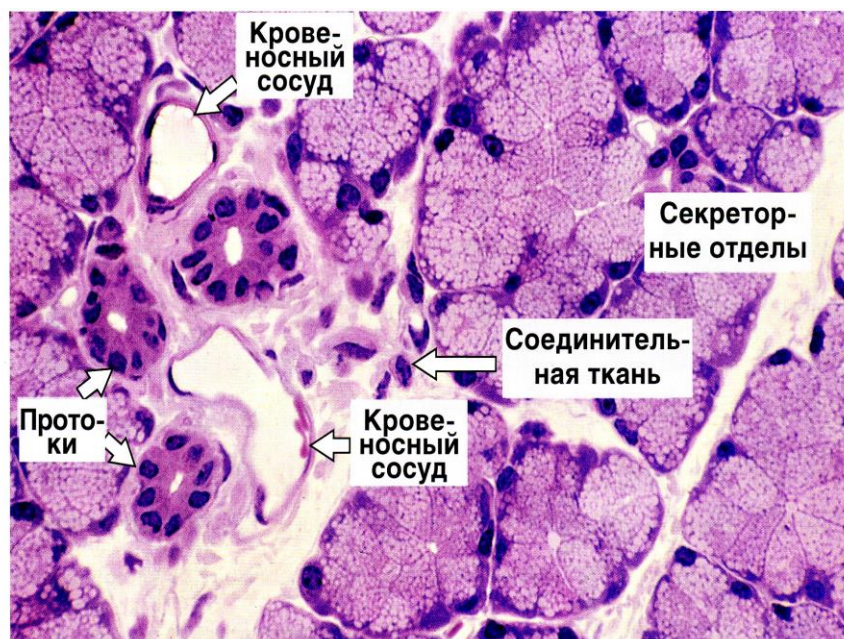
**Б:** 1 – склера, 2 – сосудистая оболочка, 3 – сетчатка, 4 – диск зрительного нерва («слепое пятно»), 5 – зрительный нерв



**Рис. 34. Слезная железа.**

Окраска Г+Э. Увеличение большое (из Жункейра Л. К., Кайнейро, 2009).

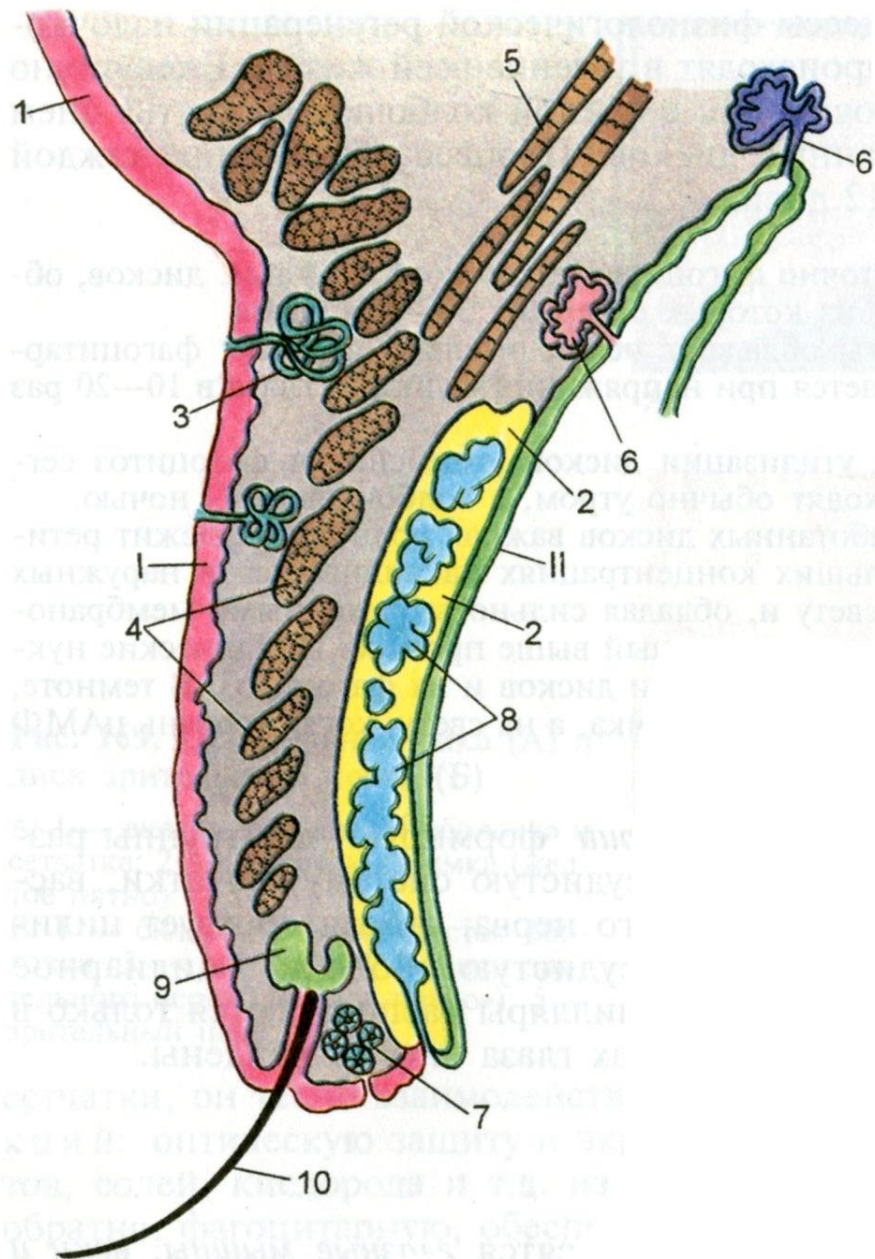
Обратите внимание на срезы трубчато-альвеолярных секреторных отделов, выводные протоки и кровеносные сосуды. Секреторные клетки содержат лишь небольшое количество РНК (базофилия). Они вырабатывают секрет с низким содержанием белков.



**Рис. 35. Слезная железа.**

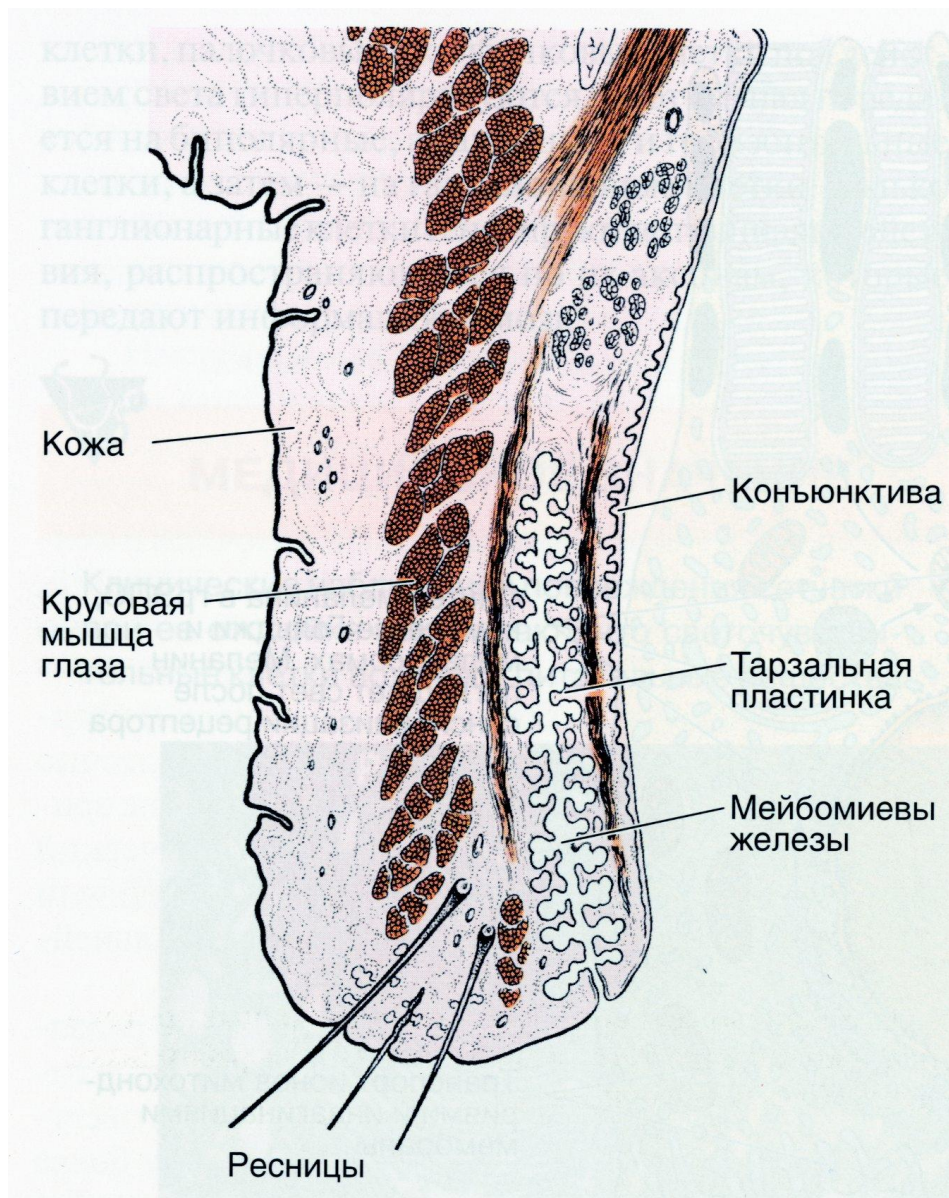
Окраска Г+Э. Увеличение большое (из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж., 2009.)

Три мелких выводных протока, два кровеносных сосуда и многочисленные трубчато-альвеолярные секреторные отделы.



**Рис. 36. Веко (сагиттальный срез):**

**1 – передняя (кожная поверхность), II – внутренняя поверхность (конъюнктив). 1 – многослойный плоский ороговевающий эпителий (эпидермис) и соединительная ткань (дерма), 2 – рудиментарная хрящевая пластинка, 3 – трубчатые мерокриновые потовые железы, 4 – круговая мышца века, 5 – мышца, поднимающая веко, 6 – слезные железы, 7 – апокриновые потовые железы, 8 – простые трубчато-альвеолярные (мейбомиевы) железы, 9 – простые разветвленные альвеолярные голокриновые (ресничные) железы, выделяющие салыный секрет, 10 – ресница**  
 (из Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной, 1999).



**Рис. 37. Строение века (схема).**  
(из Жункейра Л. К., Кайнейро Ж..., 2009).

Габдрахманова Аня Фавзиевна  
Каюмов Фарит Амирьянович  
Авхадеева Светлана Рудольфовна

**Значение строения и функций  
органа зрения в клинической практике**

Учебное пособие

Лицензия № 0177 от 10.06.96 г.  
Подписано к печати 26.11.2012 г.  
Отпечатано на цифровом оборудовании  
с готового оригинал-макета,  
представленного авторами.  
Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл.-печ. л. 4,19.  
Тираж 60 экз. Заказ № 04

450000, г. Уфа, ул. Ленина, 3,  
Тел.: (347) 272-86-31  
ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ЗНАЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИИ  
ОРГАНА ЗРЕНИЯ  
В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

**Учебное пособие**

**Уфа  
2016**