

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Л. В. ДРАВИЦА, Н. И. ШТАНЕНКО,
Ф. И. БИРЮКОВ

АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ

ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

Учебно-методическое пособие
для студентов всех факультетов медицинских вузов,
клинических ординаторов, аспирантов,
врачей-стажеров-офтальмологов

Гомель
ГоГМУ
2009

УДК 611.814.4+612.843.7

ББК 56.74

Д 72

Рецензенты:

кандидат медицинских наук,
доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии
Гомельского государственного медицинского университета

Е. К. Солодова;

доктор медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии
Белорусской медицинской академии последипломного образования

В. Л. Красильникова

Дравица, Л. В.

Д 72 Анатомия и физиология зрительного анализатора: учеб.-метод. пособие для студентов всех факультетов медицинских вузов, клинических ординаторов, аспирантов, врачей-стажеров-офтальмологов / Л. В. Дравица, Н. И. Штаненко, Ф. И. Бирюков; под ред. Л. В. Дравица, Н. И. Штаненко. — Гомель: учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», 2009. — 68 с.

ISBN 978-985-506-235-7

В основу пособия положены курсы лекций, читаемые авторами для студентов лечебного, медико-диагностического и факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран. Представлены современные сведения по анатомии, гистологии и физиологии зрительного анализатора. Подробно рассмотрены вопросы оптической системы глаза, аномалии рефракции и их коррекции, аккомодация, фотохимические процессы в рецепторах сетчатки, функции органа зрения: центральное зрение, цветоощущение, периферическое зрение и др.

Предназначено для студентов всех факультетов медицинских вузов, клинических ординаторов, аспирантов, врачей-стажеров-офтальмологов.

Утверждено и рекомендовано к изданию Центральным учебным научно-методическим советом Учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 25 марта 2009 г., протокол № 3.

УДК 611.814.4+612.843.7

ББК 56.74

ISBN 978-985-506-235-7

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2009

1. ОБЩАЯ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Все организмы живут в среде, полной изменений, полной событий. Для выживания организму необходима максимальная информация о том, что происходит, поэтому он развил целый арсенал сенсорных датчиков. Сенсорные детекторы специализированы для того, чтобы отвечать на определенный тип изменений окружающей среды. Под сенсорной системой понимают совокупность органов и структур, обеспечивающих *восприятие* различных раздражителей, действующих на организм; *преобразование и кодирование* внешней энергии в нервный импульс, *передачу* по нервным путям в *подкорковые и корковые* центры, где происходят *анализ* поступившей информации и *формирование субъективных ощущений*.

Сенсорная система — это анализаторы внешней и внутренней среды, которые не только различают информацию, но и обеспечивают формирование представлений и образов, а также специфических форм приспособительного поведения, т. е. адаптацию организма к конкретным условиям.

Учение об анализаторах впервые было создано И. П. Павловым, который выделял три отдела анализатора: *периферический (рецепторный), промежуточный и центральный*.

Периферическая часть представлена органами, в которых находятся специализированные рецепторные клетки. По специфичности восприятия стимулов различают **механорецепторы** (рецепторы органа слуха, равновесия, тактильные рецепторы кожи, рецепторы аппарата движения, барорецепторы), **хеморецепторы** (органов вкуса, обоняния, сосудистые интерорецепторы), **фоторецепторы** (сетчатки глаза), **терморецепторы** (кожи, внутренних органов), **болевые рецепторы**. Рецепторные клетки периферического отдела анализаторов являются составной частью органов чувств (глаз, ухо и др.) и органов, выполняющих в основном несенсорные функции (нос, язык и др.).

Промежуточная (проводниковая) часть сенсорной системы представляет собой цепь вставочных нейронов, по которым нервный импульс от рецепторных клеток передается к корковым центрам. На этом пути могут быть промежуточные, подкорковые, центры, где происходят обработка афферентной информации и переключение ее на эфферентные центры.

Центральная часть сенсорной системы представлена участками коры больших полушарий. В центре осуществляются анализ поступившей информации, формирование субъективных ощущений. Здесь информация может быть заложена в долговременную память или переключена на эфферентные пути.

Классификация органов чувств. В зависимости от строения и функции рецепторной части органы чувств делятся на три типа: к первому типу

относятся органы чувств, у которых рецепторами являются *специализированные нейросенсорные клетки* (орган зрения, орган обоняния), преобразующие внешнюю энергию в нервный импульс; ко второму типу относятся органы чувств, у которых рецепторами являются *эпителиальные (сенсо-эпителиальные) клетки*. От них преобразованное раздражение воспринимается дендритами чувствительных нейронов, которые порождают нервный импульс (органы слуха, равновесия, вкуса); к третьему типу с невыраженной анатомически органной формой относятся *проприоцептивная (скелетно-мышечная) кожная и висцеральная сенсорные системы*. Периферические отделы в них представлены различными инкапсулированными и неинкапсулированными рецепторами.

2. ЗРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР

Зрительный анализатор — важнейший из органов чувств человека. Он представляет собой совокупность структур, воспринимающих световое излучение (электромагнитные волны длиной 390–760 нм) и формирующих зрительные ощущения. Это сенсорный канал, который связывает его с внешним миром. Он дает более **90 %** информации, идущей к мозгу от рецепторов. Благодаря зрению мы воспринимаем окружающий нас мир в объеме и красках, мы читаем, смотрим телевизор.

Зрительная система (зрительный анализатор) представляет собой совокупность защитных, оптических, рецепторных и нервных структур, воспринимающих и анализирующих световые раздражители.

В ходе развития нервной системы сетчатка, пигментный эпителий, зрительный нерв закладываются на самых ранних этапах развития и являются производными промежуточного мозга (diencephalon) — стадия трех, затем пяти мозговых пузырей. У всех хордовых и позвоночных передний мозговой пузырь дает мешкообразное выпячивание — глазной пузырь, конец которого превращается в двухстенный глазной бокал. Из внутренней стенки бокала образуется сетчатка, из наружной стенки формируется пигментный эпителий. Перешеек, соединяющий глазной бокал с полостью переднего мозгового пузыря, вначале суживается, а затем полностью запус­тевает и превращается в зрительный нерв, в котором устанавливается двусторонняя связь сетчатки с мозгом. Поэтому есть все основания считать сетчатку «частью мозга, вынесенного на периферию».

В зрительной системе человека можно выделить следующие уровни обработки сигналов. На периферии находится сетчатка, содержащая цепочку из трех нейронов. Следующий уровень обработки зрительной информации находится в таламусе, это наружное коленчатое тело (pulvinar thalami — подушка зрительного бугра). Аксоны нейронов наружного коленчатого тела проецируются в кору затылочного полюса больших полушарий

(поля 17, 18, 19). Высший этап обработки зрительных сигналов происходит в ассоциативных полях коры больших полушарий — пятый нейрон.

Таким образом, функция глаза состоит в получении зрительной информации от окружающей среды и передаче ее в сенсорные области головного мозга.

Выделяют три аппарата глаза:

1. Светопроводящий, светопреломляющий, или диоптрический (*роговица, передняя и задняя камера глаза (водянистая влага), хрусталик, стекловидное тело*).

2. Аккомодационный (*радужка и ресничное тело*).

3. Рецепторный (*сетчатка*).

АНАТОМИЯ

2.1. СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

Глаз (ophthalmos, oculus) — орган зрения, представляющий собой *периферическую часть зрительного анализатора*, в котором рецепторную функцию выполняют нейроны сетчатой оболочки. У всех позвоночных он построен по камерному типу. Более 160 лет назад Герман Гельмгольц предположил, что глаз представляет собой шаровидное тело (глазное яблоко). Глаз расположен в глазнице черепа и снаружи виден как сферическое образование, прикрытое верхним веком, имеет 9 г веса и переднезадний размер 24 мм (рисунок 1, см. вкладыш).

Клиническая анатомия органа зрения

Различают:

— придаточные части глаза — орбита, веки, слезопродуцирующие и слезоотводящие органы;

— глазное яблоко;

— проводящие пути зрительного анализатора;

— корковый отдел.

Орган зрения расположен в орбите — костном вместилище, находящемся на лицевой части черепа, имеющим вид усеченной пирамиды, основанием открытой наружу.

Орбита имеет 2 стенки:

— наружную, самую крепкую и сформированную нижней поверхностью скулового отростка лобной, глазничной поверхностью большого крыла основной, основным отростком скуловой кости;

— внутреннюю, самую хрупкую, представленную, в основном, бумажной пластинкой решетчатой кости, спереди — слезной костью, лобным отростком

верхней челюсти у вершины орбиты. Именно здесь чаще всего возникают переломы, в результате чего воздух из придаточных пазух носа попадает под кожу век, при пальпации определяется характерный хруст — симптом подкожной эмфиземы. Состояние это безопасное, со временем воздух рассасывается. Категорически запрещается сморкаться, так как это способствует поступлению новых порций воздуха под кожу век и замедляет выздоровление;

— верхняя стенка образована спереди — орбитальной частью лобной, сзади — малым крылом основной кости. Верхняя стенка орбиты отделяет ее от передней черепной ямки. В наружном углу орбиты имеется *fossa glandulae lacrymalis*, в месте перехода верхней стенки во внутреннюю расположена *incisura*, или *foramen supraorbitalis*;

— нижняя стенка образована орбитальной поверхностью верхней челюсти, орбитальным отростком небной кости, глазничным отростком скуловой кости.

Орбита имеет ряд отверстий:

1) **foramen rotundum (canalis nervi optici)**, через которое покидает полость орбиты зрительный нерв и входит в орбиту *a. ophthalmica*, которая является ветвью внутренней сонной артерии;

2) **fissura orbitalis superior**. Через нее из полости глазницы выходит *v. Ophthalmica superior* и, в свою очередь, входят следующие образования:

— *n. Oculomotorius* — иннервирует глазодвигательные мышцы, за исключением внутренней косой и наружной прямой;

— отводящий нерв — иннервирует наружную прямую мышцу;

— блоковый нерв — иннервирует внутреннюю косую мышцу;

— *ramus ophthalmicus nervi trigemini*; I-ветвь

— симпатические волокна шейного узла;

3) **fissura orbitalis inferior**, в которой проходят *v. Ophthalmica inferior*, *nervus infraorbitalis*.

В ситуациях механического ущемления вышеперечисленных образований развивается синдром верхнеглазничной щели, включающих в себя следующие клинические проявления:

— тотальная офтальмоплегия (полная неподвижность глазного яблока);

— птоз (опущение верхнего века);

— анестезия глаза, кожи век, лба и спинки носа;

— мидриаз (расширение зрачка);

— расширение вен на глазном дне;

— умеренный экзофтальм.

Глазное яблоко находится в центре орбиты, оно подвешено как в гамаке за счет связок, идущих от стенок глазницы и вплетающихся в покрывающую глазное яблоко тенонову капсулу, со всех сторон глаз обложен жировой тканью.

ГЛАЗНОЕ ЯБЛОКО (BULBUS OCULI) состоит из трех оболочек:

— **наружная (фиброзная) оболочка** глазного яблока (*tunica fibrosa bulbi*), к которой прикрепляются наружные мышцы глаза, обеспечивает защитную функцию;

— **средняя (сосудистая) оболочка** (*tunica vasculosa bulbi*) находится между сетчаткой и склерой и выполняет основную роль в обменных процессах. Продолжением сосудистой оболочки спереди является **ресничное тело и радужка**. Т. е. она имеет три части: часть радужки, часть цилиарного тела и собственно сосудистую — хориодею (*chorioides*);

— **внутренняя, чувствительная оболочка глаза** — **сетчатка** (*tunica interna sensoria bulbi, retina*) — сенсорная, рецепторная часть зрительного анализатора. По своему строению и происхождению сетчатка представляет **нервный центр**, в котором происходит первичная обработка зрительных сигналов, преобразование их в нервные импульсы и передача информации о внешнем мире в подкорковые и корковые зрительные центры.

2.2. НАРУЖНАЯ (ФИБРОЗНАЯ) ОБОЛОЧКА глазного яблока (*tunica fibrosa bulbi*), к которой прикрепляются наружные мышцы глаза, обеспечивает механическую прочность глаза, защищая хрупкую внутренность глаза и поддерживая его форму. В ней различают передний прозрачный отдел — **роговицу** и задний непрозрачный отдел — **склеру** (рисунок 2, см. вкладыш). Поверх поверхности роговицы располагается слой прозрачных эпителиальных клеток, являющихся продолжением эпидермиса кожи — **конъюнктива**.

2.2.1. РОГОВИЦА (cornea) является прозрачным защитным образованием, кривизна поверхности которого определяет особенности преломления светового пучка. Прозрачная часть (1/5) фиброзной оболочки глаза, место перехода ее в склеру (лимб), имеет вид полукольца шириной до 1 мм. Наличие его объясняется тем, что глубокие слои роговицы распространяются несколько дальше, чем передние. Температура роговицы у лимба +35,4 °С, в центре +35,1 °С, при открытых веках +30 °С. Поэтому в ней возможен рост плесневых грибов с развитием специфического кератита.

Роговица отличается высокой оптической гомогенностью, пропускает и преломляет световые лучи и является составной частью светопреломляющего аппарата глаза. Она выполняет две основные функции: **оптическую** — преломляющая сила 43,0 дптр и **защитную**. Оптические свойства определяются прозрачностью, менисковой формой и более высоким (1,377) показателем преломления по сравнению с воздухом (1,0). Поскольку оптическая плотность роговицы и водянистой влаги (1,366) передней камеры глаза практически одинаковы, то преломление светового пучка осуществляется, в основном, ее передней поверхностью. В воздушном же «окружении» (например, при введении после экстракции катаракты в переднюю камеру пузырька воздуха) роговица ведет себя уже как слабая минусовая линза (радиус кривизны передней поверхности 7,7 мм, задней 6,8 мм).

Роговица не содержит кровеносных сосудов. Только поверхностные слои лимба снабжены краевым сосудистым сплетением и лимфатическими сосудами. Процессы обмена обеспечиваются за счет краевой петливой сосудистой сети, слезы и влаги передней камеры. Нормально протекающие обменные процессы — залог прозрачности роговицы. Вопрос о прозрачности является едва ли не самым существенным в физиологии роговицы. До сих пор остается загадкой, почему роговица прозрачна. Высказывают предположения, что прозрачность зависит от свойств протеинов и нуклеотидов роговичной ткани. Придают значение правильности расположения коллагеновых фибрилл. Пластинки коллагеновых фибрилл, из которых состоит основная часть роговицы, имеют правильное расположение (рисунки 3, 4), одинаковый показатель преломления с нервными ветвями и межуточной субстанцией, что вместе с химическим составом определяет ее прозрачность. Толщина роговицы 0,5–0,6 мкм в центре и 1,1 мкм на периферии, радиус кривизны 7,8 мкм, показатель преломления — 1,377.

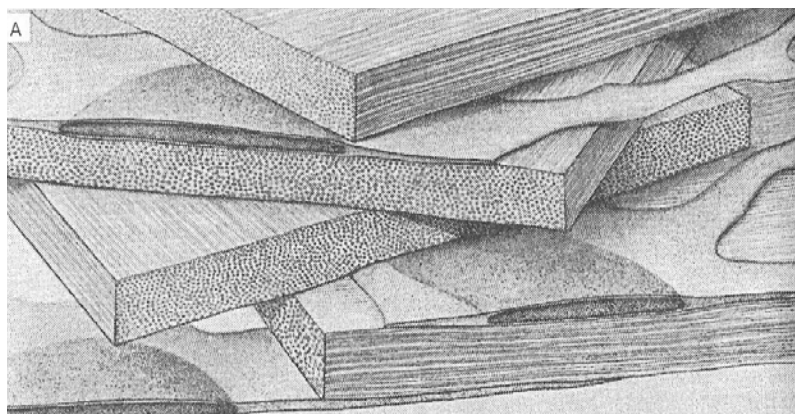


Рисунок 3 — Коллагеновые ламеллы в роговице (А).

Ориентация ламелл в роговице. Показаны три фибробласта между ламеллами.

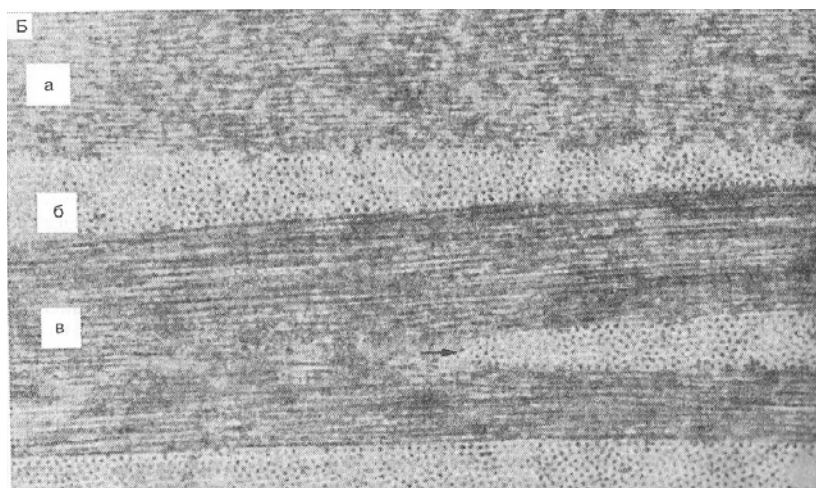


Рисунок 4 — Коллагеновые ламеллы в роговице (Б)

Электронная микрофотография (увеличение 28000х) коллагеновых волокон стромы роговицы. Вследствие их ориентации (см. выше (А), первый коллагеновый слой (а) срезан косо, второй (б) поперечно, третий (в) — продольно. Стрелка показывает место бифуркации ламеллы (воспроизводится по К. Смиуту, Биология сенсорных систем, 2005)

Таблица 1 — Нормальные возрастные параметры роговицы по И. С. Зайдулину (1991)

| Параметры, мм | Новорожденные | 1 год | 6 лет | Взрослые |
|------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Горизонтальный диаметр | 9,62 ± 0,10 | 11,29 ± 0,08 | 11,36 ± 0,20 | 12 |
| Толщина в центре | 0,560 ± 0,006 | 0,524 ± 0,007 | 0,535 ± 0,01 | 0,516 ± 0,005 |

Гистологически в роговице выделяют пять слоев (рисунок 5), каждый из которых играет определенную роль. **Роговичный эпителий** — 5–6-слойный полиморфный эпителий выполняет следующие функции:

1. **Оптическая** — «выравнивание» всех неровностей поверхности.
2. **Осмотическая** — регуляция поступления жидкости в строму роговицы.
3. **Тектоническая** — заполнение глубоких дефектов ткани.
4. **Дыхательная** — «захват» кислорода, растворенного в слезной пленке.

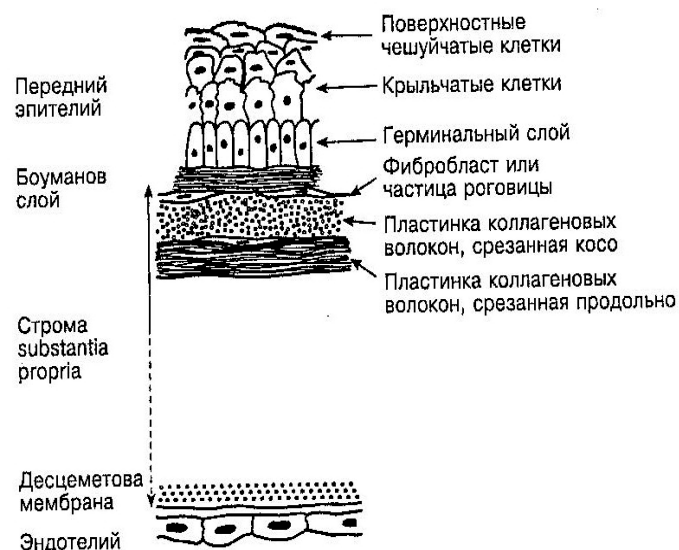


Рисунок 5 — Поперечный срез роговицы глаза взрослого человека

Передний эпителий состоит из пяти или шести слоев стратифицированных неороговевших клеток. Самый внутренний слой — герминальный. Его клетки делятся в течение всей жизни. По мере их движения к поверхности они уплощаются и, в конце концов, смываются слезной жидкостью. Здесь также представлены немногочисленные неэпителиальной природы клетки, такие как лимфоциты, макрофаги, а также узкие сильно окрашивающиеся клетки неизвестной природы, иногда полигональной и отростчатой формы. Иногда их называют клетками Лангенгарса.

Обе пограничные пластинки (**lam. Limitans anterior s. Bowman et posterior s. Descement**) бесструктурны. Связь переднего эпителия и передней пограничной пластинки даже в нормальной роговице довольно слабая. Поэтому самое легкое неосторожное касание любым инструментом сопровождается слущиванием эпителиального покрова.

Десцеметова оболочка — толщина даже в пожилом возрасте достигает лишь 20–30 мкм (у новорожденных 2–3 мкм), относится к разряду довольно прочных тканей. Тем не менее, при грубых манипуляциях со стороны передней камеры десцеметова оболочка нередко разрывается на протяжении нескольких миллиметров. При этом она отслаивается от стромы и в силу своей анизотропной эластичности сворачивается в типичную «трубочку». Эти «трубочки», как правило, не опасны. Лишь при значительной длине их концы могут давить на задний эпителий, вызывая его хроническую травматизацию. В случае тотального распада стромы (глубокий ожог, гнойный процесс) десцеметова оболочка под воздействием внутриглазного давления выпячивается кпереди в виде маленькой кисты (**десцеметоцеле**). Десцеметова оболочка начинается в зоне переднего пограничного кольца Швальбе, соответствующей передней границе фильтрующих участков угла передней камеры. Поскольку основание передней камеры имеет форму почти правильного круга, то и переднее пограничное кольцо Швальбе и край десцеметовой оболочки также почти правильные окружности (диаметром около 12 мм). Только по линии горизонтального меридиана видимый на поверхности диаметр прозрачной роговицы соответствует ее поперечнику и в самых глубоких слоях. В вертикальном меридиане периферическая граница десцеметовой оболочки оказывается прикрытой, как бы вползающей на роговицу склерой, что создает предпочтительные условия для вмешательств на передней камере через разрезы именно в верхнем и нижнем участках глазного яблока, где отсепаровка конъюнктивы в сторону центра роговицы возможна на большем протяжении, чем в других секторах. Таким образом, известная асимметричность строения фиброзной капсулы в области перехода роговицы в склеру делает предпочтительным вскрытие глазного яблока в зоне лимба при выполнении наиболее распространенных операций в верхнем (крайнем случае нижнем) секторе, а не в боковых меридианах. Во-первых, в боковых меридианах роговично-склеральная зона наиболее открыта для внешнего наблюдения, что делает особенно заметными послеоперационные рубцы. Во-вторых, в этих участках подход к передней камере через субконъюнктивальный разрез, с учетом последующей необходимости наложения герметизирующих швов, может сопровождаться выходом лезвия на дренажную зону камерного угла, тогда как в верхнем и нижнем секторах наклонная структура лимба и смещение линии прикрепления конъюнктивы в сторону роговицы при любом профиле разреза обеспечивают достаточную свободу для наложения швов и, вместе с тем, выход внутреннего края разреза роговой оболочки не непосредственно на фильтрующую зону, а на известном удалении от нее.

Со стороны передней камеры роговица выстлана задним эпителием (**эндотелием**). Через его гексагональные клетки, располагающиеся одним пластом, осуществляется регулярное и строго дозированное поступление камерной влаги в роговицу. При любом хирургическом вмешательстве со вскрытием передней камеры какая-то часть этих клеток повреждается

(струей жидкости, вводимой в переднюю камеру, кончиками инструментов контактирующих с задним эпителием и т. д.). Небольшие дефекты «затягиваются» за счет уплощения и раздвигания этих клеточных элементов (но не за счет их размножения). При потере определенной части гексагональных клеток нормальная функция эндотелия нарушается. В результате изменяется водный баланс в роговице и, как следствие, развивается тяжелейшее осложнение — эпителиально-эндотелиальная дистрофия.

Собственное вещество роговицы (*substantia propria*) — **строма роговицы** — представляет собой упорядоченно расположенные (параллельно ее поверхности) пластинки и роговичные клетки, находящиеся в промежутках между ними. Каждая пластинка состоит из коллагеновых фибрилл, очень тонких (до 0,3 мкм в диаметре), «склеенных» в единое целое так называемой межуточной субстанцией. Эти пластинки располагаются горизонтальными слоями на всю глубину стромы, отдавая вверх и вниз многочисленные тканевые анастомозы, которые не мешают, однако, выкраивать в ней при необходимости послойные трансплантаты нужной толщины. Роговичные клетки за счет протоплазматических отростков образуют своеобразный межпластичный синцитий неуловимой толщины. Коллагеновые волокна ориентированны крестообразно, как бы исходя из тех волокон склеры, которые тянутся к лимбу от мест прикрепления прямых мышц глаза. Таким образом, меридиональные разрезы роговицы менее всего склонны к зиянию не в «косых» меридианах, а в секторах 3, 6, 9 и 12 часов, а параллельные лимбу разрезы как раз в этих зонах склонны к зиянию более всего (и к формированию роговичного астигматизма). В зоне сквозных ранений (разрезов) роговицы выраженность отека краев повреждения, а, следовательно, и толщина неравномерны. Сильнее отекает тот край, который ближе расположен к центру. При вовлечении в патологический процесс непосредственно роговицы нарушается прочная связь между внутренними слоями стромы и формируются щелевидные пространства, заполненные жидким содержимым. В случае необходимости в эти полости возможно введение лекарственных препаратов в достаточно большом объеме. Прозрачность роговицы обеспечивается упорядоченным гистологическим строением, определенным содержанием воды, одинаковым показателем преломления света фибриллами пластинок и межуточным веществом.

Роговица очень богата нервами и является одной из самых высокочувствительных тканей человеческого организма. Роговица обладает тремя видами чувствительности: **тактильная, болевая и температурная**. Наиболее низкий порог чувствительности у тактильного восприятия и очень высок у температурного. Веточки нервных стволов, входящие в строму роговицы, лишены миелиновой оболочки и поэтому не видны при обычных методах исследования. Концевые разветвления их образуют под эпителием густую сеть (сплетение Райзера). Наряду с чувствительными нервами, источником которых является тройничный нерв, в роговице установлено наличие симпатической иннервации, выполняющей трофическую функцию.

Трофическая и чувствительная иннервация обеспечивается веточками из plexus pericornealis (образуется анастомозами длинных и коротких ресничных нервов). При повреждении последних или тройничного узла в роговице могут развиваться тяжелые дистрофические изменения. **Питание роговицы** осуществляется двояко: за счет диффузии из перилимбальной сосудистой сети, образованной передними цилиарными артериями, и осмоса из влаги передней камеры и слезной жидкости. Для того, чтобы обмен веществ происходил нормально, необходима точная сбалансированность между тканевыми процессами и кровью. Именно поэтому излюбленным местом клубочковых рецепторов является роговично-склеральная зона, богатая сосудами. Здесь располагаются сосудисто-тканевые рецепторы, регистрирующие малейшие сдвиги в нормальных процессах обмена веществ. На гидратацию оказывает влияние избирательная проницаемость эпителия. Нарушение взаимодействия в одной из этих сложных цепей приводит к потере прозрачности роговицы.

Таким образом, основными свойствами роговицы следует считать прозрачность, зеркальность, сферичность, определенный размер, высокую чувствительность. Эта относительная изолированность благоприятно сказывается на пересадке роговицы при бельмах. Антитела не достигают пересаженной роговицы и не разрушают ее, как это происходит с другими чужеродными тканями.

2.2.2. СКЛЕРА (sclera) — наибольшая по площади (5/6) непрозрачная часть фиброзной капсулы глазного яблока, толщиной 0,3–1,0 мм. Основные функции склеры — каркасная (остов глазного яблока) и защитная (от воздействия повреждающих факторов, боковых засветов сетчатки). Она 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 (2/3) истонченной фиброзной оболочки сливается с твердой оболочкой зрительного нерва, а истонченные внутренние слои образуют решетчатую пластинку (lamina cribrosa), через которую выходят около 400 пучков аксонов ганглиозных клеток сетчатки. Зоны истончения склеры уязвимы к воздействию повышенного внутриглазного давления (развитие стафилом, экскавация диска зрительного нерва) и повреждающих факторов, прежде всего механических (субконъюнктивальные разрывы в типичных местах — на участках между местами прикрепления экстраокулярных мышц). Вблизи роговицы толщина склеры составляет 0,6–0,8 мм.

Иногда на склере глаз ближе к внутреннему углу глаза образуются желтоватые выпуклости. Они называются пингвенкулами и представляют собой отложения белка и жира, которые не мешают зрению и не требуют лечения.

Место перехода роговицы в склеру называется лимбом. Эта анатомическая область представляет особый клинический интерес. Во-первых, здесь происходит слияние трех совершенно разных структур — роговицы, склеры и конъюнктивы глазного яблока. Эта зона может быть исходным пунктом развития полиморфных патологических процессов, начиная от воспалительных и аллергических до опухолевых (папиллома, меланома) и связанных с аномалиями развития (дермоид). Во-вторых, лимбальная зона богата васкуляризирована за счет передних цилиарных артерий (ветви мышечных артерий), которые в 2–3 мм от нее отдают веточки не только внутрь глаза, но и еще в трех направлениях: непосредственно к лимбу (образуют краевую сосудистую сеть), к эписклере и прилежащей конъюнктиве (образует сплетение передних конъюнктивальных сосудов). В-третьих, по окружности лимба находится густое нервное сплетение, образованное короткими и длинными цилиарными нервами. От него отходят ветви, входящие затем в роговицу. Лимбальное кольцо фиброзной капсулы глаза играет особую роль в поддержании стабильности объема глазного яблока и его тургора, а, следовательно, и постоянства длины и клинической рефракции глаза. Здесь, во внутреннем углублении склеры, размещается аппарат, обеспечивающий дозированный отток постоянно образующейся внутриглазной жидкости. Ограниченный от передней камеры пластом проницаемой для внутриглазной жидкости трабекулярной ткани, углубленный в склеру синус (Шлемов канал) связан с системой влагосодержащих сосудов (водяные вены) и далее с венозной эписклеральной сетью. К поверхности склеры крепятся 6 глазодвигательных мышц. Собственно склеральная ткань состоит из плотных коллагеновых волокон, между которыми находятся фиксированные клетки — фиброциты. Их отростки, сливаясь, образуют своеобразную сеть. Наружные слои склеры разрыхлены и их принято выделять в отдельный эписклеральный слой, который хорошо васкуляризован за счет аа. *episclerales* и многочисленными соединительно-ткаными тяжами связан с теноновой капсулой глаза. Наиболее богаты сосудами те участки эписклеры, которые располагаются кпереди от мест прикрепления прямых мышц глаза, здесь с мышц на поверхность глазного яблока переходят 7 передних цилиарных артерий (одна артерия из наружной прямой мышцы и по 2 — с остальных прямых мышц) и, наоборот, подходят к мышцам из глаза соответствующие вены. Поэтому пересечение всех прямых мышц может привести к развитию некротических процессов в переднем отрезке глазного яблока. Внутренний слой склеры имеет вид бурой пластинки (*lamina fusca*). Она состоит из истонченных волокон склеры с примесью эластической ткани и пигментсодержащих клеток (хроматофоров) и покрыта эндотелием. Ткань склеры бедна сосудами и почти лишена чувствительных нервных окончаний. В силу своей структуры она подвержена развитию патологических процессов, характерных для коллагенозов. Кроме того, в склере в области эмиссариев имеются особые сквозные каналы,

связывающие наружную поверхность склеры с внутренней, по одним из которых к сосудистой оболочке проходят артерии и нервы, а по другим — отходят венозные стволы различного калибра. В частности, эмиссарии коротких задних цилиарных артерий расположены вокруг зрительного нерва и имеют различное направление (прямое, косое и изогнутое). Четыре выпускника вортикозных вен находятся в области экватора глаза и прободают склеру под очень острым углом. Длина одного из них (верхне-височного) достигает 4,6 мм, а остальных — 3,0 мм. Как известно, задние длинные цилиарные артерии сопровождаются крупными нервными стволами. Поэтому они имеют общий выпускник, длина которого по склере при строго горизонтальном направлении равна 3–7 мм. Наконец, эмиссарии передних цилиарных сосудов, локализующиеся в переднем отделе склеры, имеют преимущественно вертикальное направление и отличаются относительно большой шириной. С внутренней стороны по переднему краю склеры проходит циркулярный желобок шириной до 0,75 мм. Задний край его несколько выступает впереди и носит название склеральной шпоры, к которой крепится цилиарное тело (переднее кольцо прикрепления сосудистой оболочки). Передний край желобка граничит с десцеметовой оболочкой роговицы. На дне его у заднего края находится венозный синус склеры (Шлеммов канал). Остальная часть склерального углубления занята трабекулярной диафрагмой.

Конъюнктива — прозрачная ткань, снабженная кровеносными сосудами, которая на переднем полюсе глаза соединяется с роговицей. При воспалении конъюнктивы (*конъюнктивите*) сосуды расширяются, и глаз выглядит красным. Конъюнктивит может быть результатом инфекции, аллергии или внешних раздражителей.

Роговица и конъюнктива покрыты тонкой пленкой *слезной жидкости*, которая образуется в слезных железах, расположенных в височной части глазницы. Протоки слезных желез заканчиваются в конъюнктиве над наружным углом глаза. Слезы улучшают оптические свойства роговицы, защищают глаз от высыхания, благодаря наличию в них ферментов разрушают бактерии и таким образом защищают глаз от инфекции. Мигание распределяет слезную жидкость по поверхности глаза, ее излишки стекают в носовую полость через слезный проток.

2.2.3. ХРУСТАЛИК

Хрусталик (lens) с его подвешивающим аппаратом анатомически разделяет внутреннюю поверхность глаза на *две камеры*: переднюю камеру, заполненную водянистой влагой, и заднюю камеру, заполненную стекловидным телом. Хрусталик представляет собой прозрачную двояковыпуклую эластичную линзу, которая находится сразу же за радужкой в углублении (*fossa patellaris*) на передней поверхности стекловидного тела. В этом положении он удерживается многочисленными волокнами, образу-

щими в сумме подвешивающую связку (ресничный пояс) — *zonula ciliaris*. Эти волокна тянутся к экватору хрусталика от плоской части ресничного тела и его отростков. Частично перекрещиваясь, они вплетаются в капсулу хрусталика в 2 мм впереди и 1 мм сзади от экватора (рисунок 6, см. вкладыш). Пространство в виде треугольника, основанием обращенное к экватору хрусталика носит название канала Ганновера (Hannover, 1845). Щелевидное пространство между задними волокнами цинновых связок спереди и передней (ретрозонулярной) поверхностью стекловидного тела сзади носит название канал Пети (J. L. Petit, 1726). Вследствие сокращения или ослабления круговых волокон цилиарной мышцы (мышца Мюллера) хрусталик меняет свою кривизну, обеспечивая аккомодацию глаза для видения объектов на разных расстояниях. Форма хрусталика 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 (*epithelium lens*)**. 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 (*florae lentis*)**. Каждое волокно представляет собой прозрачную шестиугольную призму. В цитоплазме хрусталиковых волокон находится прозрачный белок — кристаллин. Волокна склеиваются друг с другом особым веществом, которое имеет такой же, как и они, коэффициент преломления. Центральные расположенные волокна теряют свои ядра, укорачиваются и, накладываясь друг на друга, образуют **ядро хрусталика**.

Особенностью химического состава хрусталика является высокий процент (свыше 35) содержащихся в нем белковых веществ. Хрусталик не имеет сосудов. Поступление составных частей для обмена веществ и выделение продуктов обмена происходят путем диффузии и осмоса и протекают крайне медленно, причем передняя капсула хрусталика играет роль полупроницаемой перепонки. В регуляции питания хрусталика принимает участие субкапсулярный эпителий передней поверхности хрусталика и экваториальная его часть.

Источником питания хрусталика являются внутриглазная жидкость и прежде всего камерная влага. Недостаток необходимых для питания хрусталика веществ или проникновение вредных, лишних ингредиентов нарушает процесс нормального обмена и приводит к расщеплению белка, распаду волокон, помутнению хрусталика — катаракте.

Знание закономерностей строения и гистофизиологии хрусталика позволило разработать методы создания искусственных хрусталиков и широ-

ко внедрить в клиническую практику их пересадку, что сделало возможным лечение больных с помутнением хрусталика (катаракта).

Камеры глаза. Понятия передняя камера (заполняемая внутриглазной жидкостью) и задняя камера глаза (заполняемая стекловидным телом) в чисто анатомическом аспекте не совпадают с понятиями передней и задней камеры клинико-анатомически. Для представления о путях оттока внутриглазной жидкости целесообразно описание передней и задней камер глаза в традиционном клинико-анатомическом аспекте.

Передняя камера. Наружной стенкой передней камеры служит купол роговицы, задняя ее стенка представлена радужной оболочкой, в области зрачка — центральной частью передней капсулы хрусталика, а на крайней периферии передней камеры, в ее углу — небольшим участком цилиарного тела у его основания. Состав камерной влаги может меняться в зависимости от характера метаболизма тканей и находится под регулирующим влиянием нервной системы. С. С. Головин (1923) характеризует переднюю камеру как «отрезок шаровой полости, имеющей круглое основание и сферический, покрывающий ее купол». Передняя камера доступна непосредственному осмотру невооруженным глазом за исключением ее угла. Из-за непрозрачности лимба камерный угол доступен осмотру лишь при помощи гониоскопа. Камерный угол граничит непосредственно с дренажным аппаратом. Состояние камерного угла имеет большое значение в оттоке внутриглазной жидкости и может играть важную роль в изменении внутриглазного давления при глаукоме, особенно вторичной.

Благодаря сферичности роговицы глубина передней камеры (расстояние от задней поверхности роговицы до переднего полюса хрусталика) неодинакова: в центре она достигает 2,6–3 мм, на периферии глубина камеры значительно меньше. В условиях патологии диагностическое значение приобретает как глубина передней камеры, так и ее неравномерность. Объем передней камеры 0,2–0,4 см, т. е. 2–4 деления шприца Проваца (С. С. Головин, 1923). По Аксенфельду (Axenfeld, 1958), объем передней камеры колеблется от 0,02 до 0,3 см³. Камера заполнена бесцветной прозрачной жидкостью — камерной влагой, содержащей главным образом соли в растворе (0,7–0,9 %) и следы белка (0,02 %); следует отметить и наличие аскорбиновой кислоты. Стенки передней камеры выстланы эндотелием, прерывающимся в области крипт радужной оболочки.

Задняя камера. Задняя камера расположена позади так называемой иридо-хрусталиковой диафрагмы (*lens iris diaphragm*), непрерывность которой нарушается только узкой капиллярной щелью между зрачковым краем радужной оболочки и передней поверхностью хрусталика. В норме эта щель служит местом сообщения передней и задней камер. При патологических процессах (например, при растущей в заднем отделе глаза опухоли, при глаукоме) иридо-хрусталиковая диафрагма может продвигаться вперед как единое целое. Прижатие хрусталика к задней поверхности радужной оболочки,

так называемая блокада зрачка, ведет к полному разобщению обеих камер и повышению внутриглазного давления. Зальцман на основании топографических особенностей подразделяет заднюю камеру на ряд отделов:

1) презонулярное пространство, или задняя камера в узком смысле слова, пространство между радужной оболочкой, передней поверхностью хрусталика и передними зонулярными волокнами;

2) околохрусталиковое пространство — промежуток кольцевидной формы между вершинами цилиарных отростков и экватором хрусталика; сзади оно соприкасается с *membrana hyaloidea* стекловидного тела, спереди — с передними зонулярными волокнами, идущими к передней капсуле хрусталика;

3) цилиарные впадины, представляющие собой ряд каналов между отростками цилиарного тела, прикрытых изнутри пограничным слоем стекловидного тела; через них проходят зонулярные волокна;

4) орбикулярный отдел, наиболее периферический, в виде узкой щели между плоской частью цилиарного тела (*orbiculus ciliaris*) снаружи и пограничным слоем стекловидного тела снутри.

Задняя камера, как и передняя, заполнена камерной влагой.

Угол передней камеры и дренажный аппарат глаза. Камерная влага и ее динамика. В пределах передней камеры особое внимание привлекает к себе ее периферический отдел, расположенный кольцевидно, — угол передней камеры или, как его нередко называют, фильтрационный угол камеры. В физиологических условиях он играет существенную роль в обмене камерной влаги, в ее оттоке. Патологическое состояние угла передней камеры обуславливает нарушение внутриглазного давления. Угол передней камеры (иридокорнеальный угол) граничит снаружи с фиброзной капсулой глаза, соответственно лимбу. Задней его стенкой служит корень радужной оболочки, а у самой его вершины короткий отрезок цилиарного тела, его основания (этот контакт цилиарного тела с передней камерой обуславливает возможность раннего прорастания в угол камеры злокачественной опухоли цилиарного тела, меланобластомы, при ее исходе из карниза цилиарного тела). Соответственно вершине угла в склере, как выше было указано, проходит неглубокий, кольцевидно располагающийся желобок — *sulcus sclerae internus*. Задний край желобка несколько утолщен и образует так называемый склеральный валик или склеральную шпору, он сформирован за счет круговых волокон склеры (заднее пограничное кольцо Швальбе, наблюдаемое в гониоскоп). Склеральный валик служит местом прикрепления поддерживающей связки цилиарного тела и радужной оболочки — трабекулярного аппарата, заполняющего в виде губчатой ткани переднюю часть склерального желобка, в задней части он прикрывает Шлеммов канал. Трабекулярный аппарат, ошибочно ранее именовавшийся гребенчатой связкой (*lig. Pectinatum*), состоит из двух частей: склеро-корнеальной (*lig. Sclero-corneale*), составляющей большую часть трабекулярного аппарата, и второй, более нежной, увеальной части, которая расположена с внутренней

стороны, и представляет собственно гребенчатую связку (lig. Pectinatum), сильно развитую у птиц и слабо выраженную у человека.

На меридиональном срезе трабекулярный аппарат представляет треугольник, вершина которого соприкасается с десцеметовой оболочкой, сливаясь с ней и с глубокими пластинками роговицы (рисунок 7, см. вкладыш).

Склерокорнеальный отдел трабекулярного аппарата, прикрепляясь к склеральной шпоре, частично сливается с цилиарной мышцей. При фазовом сокращении циркулярных, косых и продольных волокон цилиарной мышцы водянистая влага через корнеосклеральные трабекулы поступает в Шлеммов канал.

Волокна увеальной части трабекулярного аппарата огибают камерный угол в виде нежных дугообразных нитей, идущих к корню радужной оболочки.

Склерокорнеальная часть трабекулярного аппарата состоит из сети переплетающихся трабекул, имеющих сложную структуру. В центре каждой трабекулы, представляющей плоский тонкий тяж, проходит коллагеновое волокно, отходящее частично от роговицы и частично от склеры, обвитое и укрепленное эластическими волокнами, покрытое снаружи футляром из гомогенной стекловидной оболочки, составляющей продолжение десцеметовой оболочки и эндотелием (задним эпителием роговицы).

Между сложным переплетом корнеосклеральных волокон остаются многочисленные свободные щелевидные отверстия — фонтановы пространства, выстланные эндотелием, переходящим с задней поверхности роговицы. Фонтановы пространства направлены к стенке кругового синуса — Шлеммова канала, расположенного в нижнем отделе склерального желобка. Со стороны передней камеры Шлеммов канал прикрывают, как указано выше, волокна трабекулярного аппарата. Увеальная часть трабекулярного аппарата слабее и проще устроена. Эластическая сеть в ней отсутствует. Шлеммов канал проходит в виде кольцевидного сосуда по дну склерального желобка. Канал представляется одиночным, шириной в 0,25 мм, местами он разделяется на ряд канальцев, далее сливающихся снова в один ствол. Изнутри Шлеммов канал выстлан эндотелием.

С наружной стороны Шлеммова канала отходят широкие, местами варикозно расширенные сосуды (числом 20–40), образующие сложную сеть анастомозов. Наибольшее количество отводящих коллекторов имеется в нижне-наружной части Шлеммова канала. От сети анастомозов берут начало сосуды — водяные вены (hammer wasser venae), отводящие далее камерную влагу в глубокое склеральное венозное сплетение. Часть водяных вен, впрочем, не связана со склеральным сплетением, а проходит прямо на соединение с эписклеральными венами. В глубокое склеральное сплетение открываются и эфферентные вены, несущие кровь от наружного слоя цилиарной мышцы (вены небольшого наружного участка цилиарной мышцы оттекают не в v. Vorticosa, а в небольшие передние цилиарные вены). По Эштону, влага, вытекающая из глаза, через Шлеммов канал изливается в

венозное русло, которое соединяется как с внутриглазной венозной системой через эфферентные вены сплетения цилиарной мышцы, так и с наружной венозной системой через эписклеральные и конъюнктивальные вены.

Трабекулярный аппарат глаза, Шлеммов канал и его отводящие коллекторы, являющиеся путями оттока камерной влаги в целом, носят название фильтрационного, или дренажного, аппарата глаза.

Циркуляция внутриглазной жидкости. Источником камерной влаги является цилиарное тело, его отростки. Камерная влага образуется из плазмы крови путем диффузии из сосудов цилиарного тела и при активном участии цилиарного эпителия. Об этой функции цилиарного тела говорят уже анатомические данные — увеличение внутренней поверхности цилиарного тела за счет многочисленных его отростков (70–80), обилие сосудов в цилиарном теле и особенно сеть широких его капилляров, расположенных в его отростках, непосредственно под эпителием.

О том же свидетельствует наличие обильных нервных окончаний у цилиарного эпителия. Главная масса камерной влаги проникает из задней камеры в переднюю через капиллярную щель между зрачковым краем радужной оболочки и хрусталиком, чему способствует постоянная игра зрачка под действием света. Далее, камерная влага через фонтановы отверстия путем диффузии благодаря разнице осмотического давления в камерной влаге и Шлеммовом канале проникает в Шлеммов канал и его отводящие коллекторы и через водяные вены оттекает в эписклеральные вены и попадает в конечном итоге в ток крови.

2.2.4. СТЕКЛОВИДНОЕ ТЕЛО

Стекловидное тело (*corpus vitreum*). 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*.

По своей химической природе стекловидное тело представляет собой гидрофильный гель органического происхождения. В состав стекловидного тела входит 98–99 % воды. Стекловидное тело обеспечивает глазу определенную форму и постоянное соотношение частей оптического аппарата, а также тесное прилегание внутренних оболочек глаза. Преломляющая способность стекловидного тела не имеет большого значения в диоптрическом аппарате глаза. Показатель преломления стекловидного тела равен 1,33. Вследствие отсутствия в стекловидном теле сосудов самостоятельных воспалительных процессов в нем не возникает. Изменения, наблюдаемые в

нем, зависят от заболеваний цилиарного тела, хориоидеи, сетчатки, из которых экссудат поступает в стекловидное тело. Травматические повреждения глаза и послеоперационные осложнения говорят о том, что стекловидное тело представляет благоприятную среду для развития бактерий, вызывающих в глазу разнообразные инфекционные процессы.

2.3. СРЕДНЯЯ (СОСУДИСТАЯ) ОБОЛОЧКА (TUNICA VASCULOSA BULBI) — СОСУДИСТЫЙ ТРАКТ (UVEA) — эмбриогенетически соответствует мягкой мозговой оболочке. Она находится между сетчаткой и склерой. Сосудистая оболочка играет роль в обменных процессах. Состоит из трех частей: **собственно сосудистой оболочки (хориоидеи), цилиарного тела (corpus ciliare) и радужной оболочки (iris).**

СОСУДИСТАЯ ОБОЛОЧКА (CHOROIDEA) осуществляет питание пигментного эпителия и фоторецепторов сетчатки, регулирует давление и температуру глазного яблока. Эта сосудистая ткань пигментирована (богата меланоцитами), толщина ее в заднем полюсе 0,22–0,3 мкм, а на периферии 0,1–0,15 мкм. Сосудистая система хориоидеи представлена короткими задними ресничными артериями, которые в количестве 6–8 проникают у заднего полюса склеры и образуют густую сосудистую сеть. Обилие сосудистой сети соответствует активной функции сосудистой оболочки. Хориоидея является энергетической базой, обеспечивающей восстановление непрерывно распадающегося зрительного пурпура, необходимого для зрения. На всем протяжении оптической зоны сетчатка и хориоидея взаимодействуют в физиологическом акте зрения.

В ней различают *надсосудистую, сосудистую, сосудисто-капиллярную пластинки и базальный комплекс* (рисунок 8).

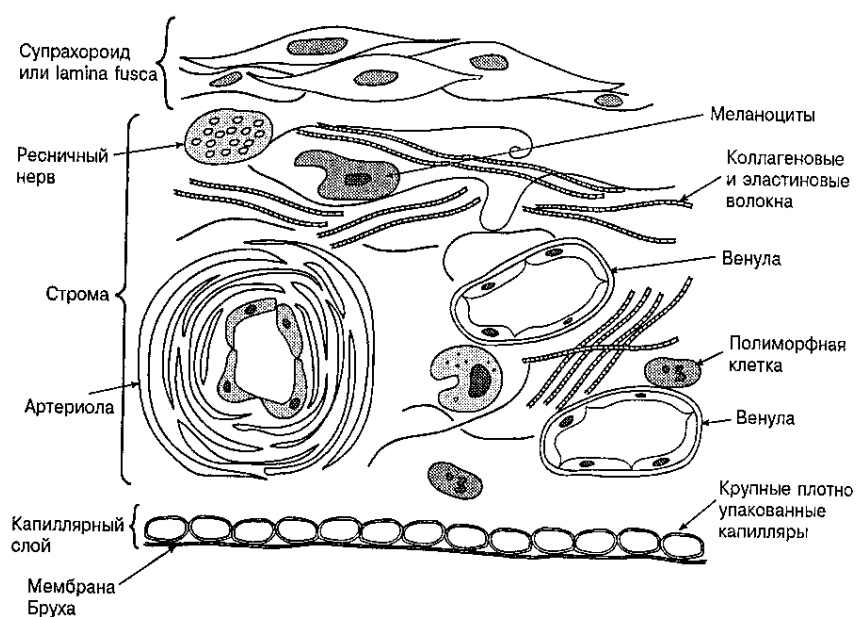


Рисунок 8 — Поперечный срез сосудистой оболочки

Надсосудистая пластинка (lamina suprachoroidea) толщиной 30 мкм представляет самый наружный слой сосудистой оболочки, прилежащий 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 передней 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 Заттлера).

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

Базальный комплекс (complexus basalis) — **мембрана Бруха** (lamina vitrea, lamina elastica, 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**.

2.3.1. РАДУЖНАЯ ОБОЛОЧКА (IRIS). Это самая передняя часть сосудистого тракта определяет цвет глаз, располагается непосредственно перед хрусталиком, играет роль диафрагмы. Отверстие в радужке образует зрачок (рисунок 9, см. вкладыш). В радужной оболочке есть две мышцы — сфинктер и дилататор. В результате взаимодействия двух этих антагонистов радужная оболочка получает возможность путем рефлекторного сужения и расширения зрачка регулировать поток проникающих внутрь глаза световых лучей, причем диаметр зрачка может изменяться от 2 до 8 мм. Возможность изменять диаметр зрачка очень существенна для контроля количества света, достигающего сетчатки при различных условиях освещенности. Изменения размера зрачка также влияют на глубину фокуса (рисунок 10).

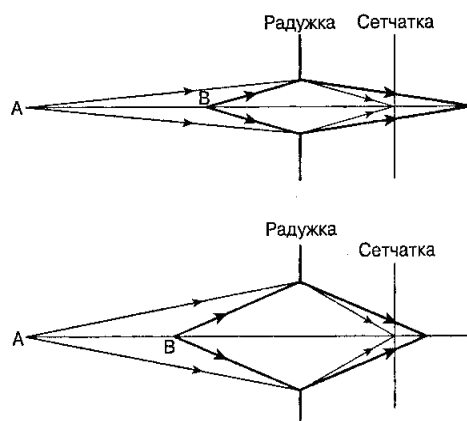


Рисунок 10 — Влияние размера зрачка на глубину фокуса.

Глубина фокуса (АВ) меньше при большом диаметре зрачка (рисунок внизу), чем при малом (вверху) (из Смита, 2005)

Сфинктер получает иннервацию от глазодвигательного нерва (n. Oculomotorius) с ветвями коротких цилиарных нервов. По тому же пути к диллятору подходят иннервирующие его симпатические волокна. Однако «распространенное мнение о том, что сфинктер радужной оболочки и цилиарная мышца обеспечиваются исключительно парасимпатическим, а диллятор зрачка только лишь симпатическим нервом, на сегодняшний день неприемлемо» (Роген, 1958).

Зрачковый рефлекс

Зрачок — отверстие в центре радужной оболочки, через которое лучи света проходят внутрь глаза. Зрачок способствует четкости изображения предметов на сетчатке, пропуская только центральные лучи и устраняя сферическую аберрацию. Зрачок может менять свой диаметр, т. е. регулировать поток света, попадающий в глаз.

Оптимальным в условиях дневного зрения является диаметр зрачка — **2,4 мм**, на ярком свету **d = 1,8 мм**, в темноте — **d = 7,5 мм**.

Это приводит к ухудшению качества изображения на сетчатке, но увеличивает световую чувствительность глаза. Реакция зрачка на изменение освещенности несет адаптивный характер на действие света. Зрачок рефлекторно сужается.

В радужной оболочке имеются два вида мышечных волокон, окружающих зрачок: одни — **кольцевые (циркулярные)** иннервируются парасимпатической системой; вторые — **радиальные волокна** — иннервируются симпатической нервной системой. Сокращение первых вызывает сужение зрачка, сокращение вторых — его расширение.

Атропин вызывает расширение зрачка (выключается парасимпатическая система, т. к. работает симпатическая система).

Расширение зрачка — важный симптом ряда патологических состояний (например, **болевого шока**). Зрачки расширяются также при гипоксии (во время операции при глубоком наркозе — указывает на гипоксию и является признаком опасности для жизни).

Сужение зрачка происходит при рассматривании предметов находящихся вблизи. Зрачки обеих глаз всегда содружественны, т. е. сужаются и расширяются вместе. Сужение зрачка — **миоз**. Расширение — **мидриаз**.

Анизокория — несодружественные реакции зрачков — при одностороннем поражении симпатического нерва на одной стороне лица (одновременное сужение глазной щели — симптом Горнера).

2.3.2. ЦИЛИАРНОЕ ТЕЛО (CORPUS CILIARE) недоступно осмотру невооруженным глазом в отличие от радужной оболочки. Только при гониоскопии, у вершины камерного угла можно видеть небольшой участок передней поверхности цилиарного тела, слегка прикрытого нежными волокнами увеальной части трабекулярного аппарата. На вертикальном срезе глазного яблока ресничное (цилиарное) тело имеет форму кольца шириной в среднем 5–6 мм (в носовой половине и вверху 4,6–5,2 мм, в височной и внизу — 5,6–6,3 мм), на меридиональном — треугольника, который своим основанием обращен в переднюю камеру глаза. Ресничное тело является производным сосудистой и сетчатой оболочек. Выполняет функцию фиксации хрусталика и изменения его кривизны, тем самым участвуя в акте аккомодации.

На рисунке 11 видно, что ресничное тело состоит из двух основных частей — выростов ресничного тела и ресничной мышцы. Оно может быть подразделено и по эмбриологическому происхождению — из эпителиального и мезодермального слоев. В задней части ресничное тело имеет гладкую форму (*pars plana*; *obicularis ciliaris*), а в передней — переходит в 80 ресничных выростов (*pars plicata*; *corona ciliaris*). Ресничные выросты переходят в связки (*zonules*), удерживающие хрусталик. При взгляде на них понятно, почему античные анатомы думали, что они нашли второй набор глазных ресниц.

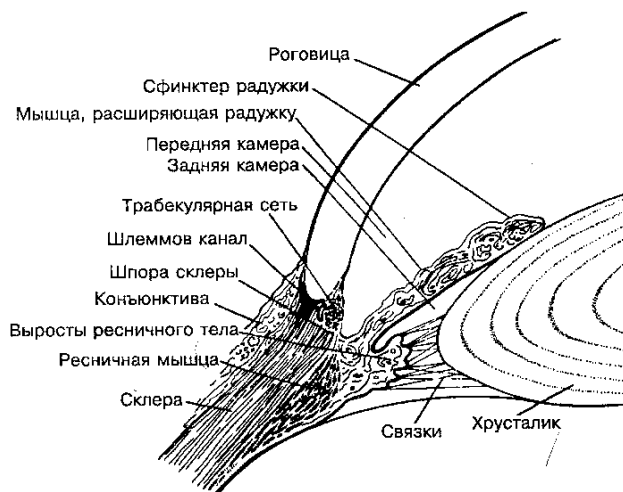


Рисунок 11 — Ресничное тело

Показано расположение ресничного тела по отношению к хрусталику, роговице и склере. Видно также, что ресничное тело состоит из двух основных частей — *pars plana*, содержащей внутренние мышцы глаза, и *pars plicata*, посылающей ресничные выросты, участвующие в секреции водянистой влаги (из Смита, 2005).

Цилиарное тело подразделяется на две части: внутреннюю — *цилиарную корону* (corona ciliaris) и наружную — *цилиарное кольцо* (orbiculus ciliaris). От поверхности цилиарной короны отходят по направлению к хрусталику *цилиарные отростки* (processus ciliares), к которым прикрепляются волокна ресничного пояска. 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 пояска хрусталика, вследствие чего хрусталик становится выпуклым и его преломляющая сила увеличивается, т. е. участвует в фокусировке хрусталика.

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.

2.3.3. РЕЦЕПТОРНЫЙ АППАРАТ ГЛАЗА (СЕТЧАТКА)

Внутренняя, чувствительная оболочка глаза — сетчатка (tunica interna sensoria bulbi, retina) — сенсорная, рецепторная часть зрительного анализатора. По своему строению и происхождению сетчатка представляет *нервный центр*, в котором происходит первичная обработка зрительных сигналов, преобразование их в нервные импульсы и передача информации о внешнем мире в подкорковые и корковые зрительные центры. Сетчатка имеет сетчатое строение, поэтому чаще всего называется сетчаткой (retina). Сетчатка мягкая, прозрачная, но не эластичная. 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 retinae). В заднем полюсе глаза находится желтоватого цвета пятно (macula) с небольшим углублением — центральной ямкой (fovea centralis). Толщина сетчатки на разных участках не одинакова — у края диска зрительного нерва 0,4–0,5 мм, в области фовеолы желтого пятна 0,07–0,08 мм, а у зубчатой линии 0,14 мм. К подлежащей сосудистой оболочке сетчатка крепится прочно лишь в нескольких зонах: вдоль зубчатой линии, вокруг зрительного нерва и по краю желтого пятна. На остальных участках соедине-

ние рыхлое и поэтому именно здесь сетчатка легко отслаивается от пигментного эпителия. Оптическая часть сетчатки распространяется от диска зрительного нерва до плоской части ресничного тела, где заканчивается у зубчатой линии (*ora serrata*).

Сетчатка эмбриологически является частью мозга и состоит из **10 слоев**: внутренней пограничной мембраны, слоя волокон зрительного нерва, слоя ганглиозных клеток, внутреннего плексиформного(сетчатого) слоя, внутреннего нуклеарного (ядерного) слоя, наружного плексиформного слоя, наружного нуклеарного слоя, наружной пограничной мембраны, слоя палочек и колбочек и пигментного эпителия (рисунок 12).

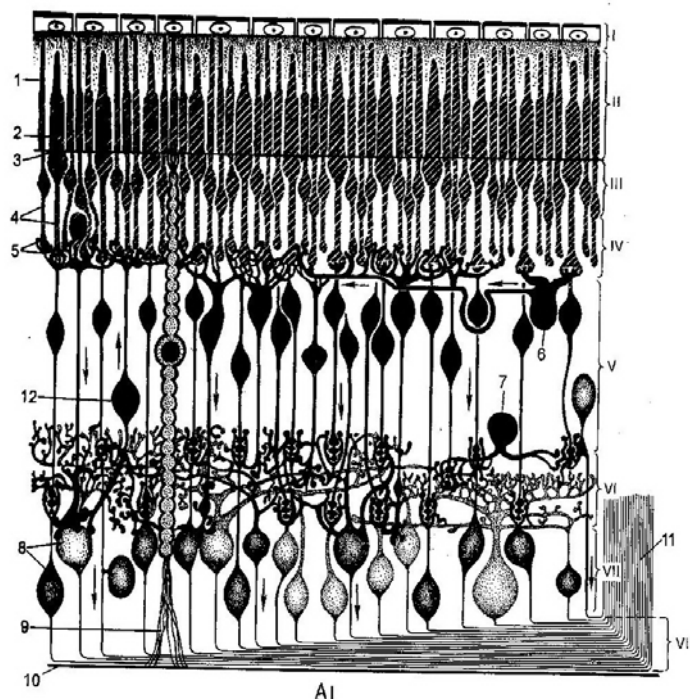


Рисунок 12 — Сетчатка. Схема нейронального состава сетчатки (по Ю. А. Афанасьеву)

I — пигментный эпителий сетчатки; II — фотосенсорный слой (слой колбочек и палочек); III — наружный ядерный слой; IV — наружный сетчатый слой; V — внутренний ядерный слой; VI — внутренний сетчатый слой; VII — ганглионарный слой; VIII — слой нервных волокон;

1 — палочки; 2 — колбочки; 3 — наружный пограничный слой; 4 — центральные отростки биполярных нейронов; 5 — синапсы между фоторецепторами, биполярами и горизонтальными нейронами; 6 — горизонтальные нейроны; 7 — амакриновый нейрон; 8 — ганглионарные клетки; 9 — радиальный глиоцит; 10 — внутренний пограничный слой; 11 — волокна зрительного нерва; 12 — центрифугальный нейрон.

Таким образом, в сетчатке различают три иерархически организованных структуры: **наружный нуклеарный слой**, представленный ядрами фоторецепторов, **внутренний слой**, состоящий из **биполяров**, и **слой ганглиозных нейроцитов**. Из отростков (аксонов) ганглиозных нейроцитов формируется зрительный нерв. В структуре зрительного пути, включающей фоторецепторы, биполярные и ганглиозные нейроциты, имеются

два типа интернейронов: горизонтальные клетки в наружном плексиформном слое и амакриновые клетки во внутреннем плексиформном слое. Горизонтальные клетки имеют синаптические контакты друг с другом и биполярными нейронами, и обратную связь с фоторецепторами. У богатых нейромедиаторами амакриновых клеток есть синаптические связи с другими амакриновыми и ганглиозными клетками, а по системе обратной связи — с биполярными нейронами.

Наружный слой сетчатки — пигментный слой, образован одним рядом эпителиальных клеток, содержащих большое количество различных внутриклеточных органелл, включая меланосомы, придающие этому слою **черный цвет**. Он содержит **пигмент фусцин**, этот пигмент, называют также экранирующим пигментом. Фусцин поглощает свет, препятствует его отражению и рассеиванию, что способствует четкости восприятия.

Клетки пигментного эпителия имеют многочисленные отростки, которые плотно окружают светочувствительные наружные сегменты палочек и колбочек. Пигментный эпителий играет решающую роль в целом ряде функций, в том числе в ресинтезе (регенерации) зрительного пигмента после его обесцвечивания, в фагоцитозе и переваривании обломков наружных сегментов палочек и колбочек, т. е. в механизме постоянного обновления наружных сегментов зрительных клеток, в защите зрительных клеток от опасности светового повреждения. Пигментный слой также имеет значение в переносе к фоторецепторам кислорода и необходимых им веществ. Следует отметить, что контакт между клетками пигментного эпителия и фоторецепторами достаточно слабый и именно в этом месте может происходить отслойка сетчатки — опасное заболевание глаз, вследствие которого происходит дегенерация рецепторов из-за нарушения процессов метаболизма самих рецепторов. Метаболические нарушения усугубляются тем, что нарушается доставка питательных веществ из капилляров сосудистой оболочки глаза, так как сам слой фоторецепторов капилляров не содержит. К слою пигментного эпителия изнутри примыкает слой фоторецепторов, которые своими светочувствительными члениками обращены в сторону, противоположную свету. Фоторецепторы сетчатки делятся на два типа: палочковые и колбочковые (рисунок 13).

Палочковые клетки являются рецепторами сумеречного (ночного зрения), колбочковые клетки-фоторецепторы дневного зрения. Строение фоторецепторов: каждый фоторецептор — палочка или колбочка состоит из чувствительного к действию света наружного сегмента (светочувствительный участок, где световая энергия преобразуется в рецепторный потенциал), содержащего зрительный пигмент и внутреннего сегмента, который содержит ядро и митохондрии, обеспечивающие энергетические процессы в фоторецепторной клетке. Имеются аппарат Гольджи, гранулярная и гладкая ЭПС. В сегменте происходит синтез белка.

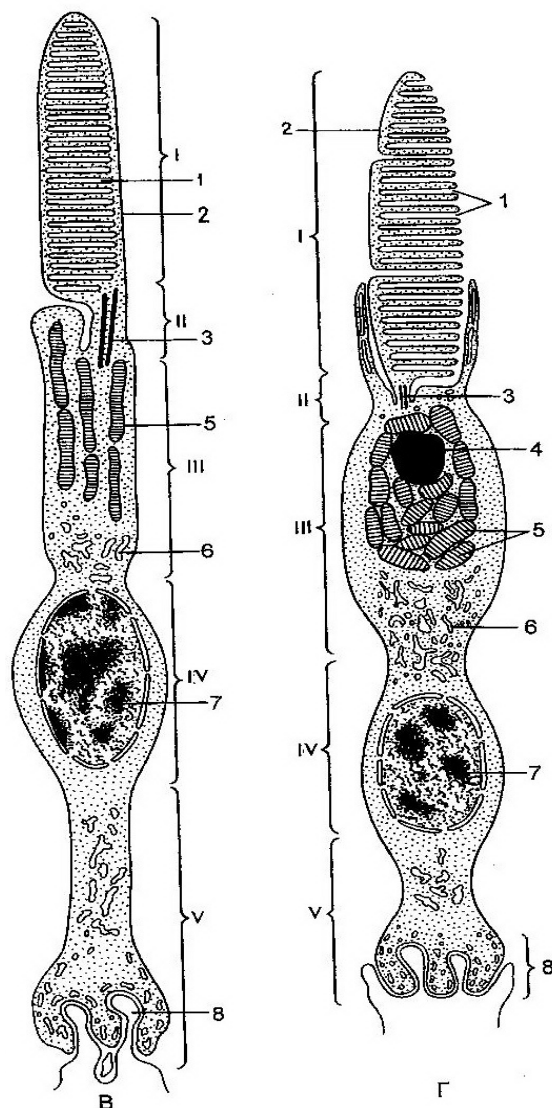


Рисунок 13 — Ультрамикроскопическое строение палочковой (в) и колбочковой (г) нейросенсорных клеток (схема по Ю. А. Афанасьеву, 1999):

I — наружный сегмент; II — связующий отдел; III — внутренний сегмент; IV — перикарион; V — аксон. 1 — диски (в палочках) и полудиски (в колбочках); 2 — плазмолемма; 3 — базальные тельца ресничек; 4 — липидное тело; 5 — митохондрии; 6 — эндоплазматическая сеть; 7 — ядро; 8 — синапс.

Электронно-микроскопические исследования выявили, что наружный сегмент заполнен мембранными дисками, образованными плазматической мембраной. У палочек наружный сегмент цилиндрической формы, а диаметр внутреннего сегмента равен диаметру наружного. Наружные сегменты колбочковых клеток обычно конические, а внутренний сегмент по диаметру значительно превосходит наружный.

Палочки: 110–123 млн (длина 0,06 мм, диаметр 2 мкм). В палочках, в каждом наружном сегменте, содержится **600–1000 дисков**, которые представляют собой уплощенные мембранные мешочки, уложенные как столбик монет.

Колбочки: 6–7 млн (длина 0,035 мм, диаметр 6 мкм). В колбочках мембранных дисков меньше. Это частично объясняет более высокую чувствительность палочки к свету (палочку может возбудить всего один квант света, а для активации колбочки требуется больше сотни квантов).

Каждый диск представляет собой двойную мембрану, состоящую из двойного слоя *молекул фосфолипидов*, между которыми находятся молекулы белка. С молекулами белка связан *ретиноаль*, входящий в состав *зрительного пигмента родопсина*. Наружный и внутренний сегменты фоторецепторной клетки разделены мембранами, через которые проходит пучок из **16–18 тонких фибрилл**. Внутренний сегмент переходит в отросток, с помощью которого фоторецепторная клетка передает возбуждение через синапс на контактирующую с ней биполярную нервную клетку. Наружные сегменты рецепторов обращены к пигментному эпителию, так что свет в начале проходит через 2 слоя нервных клеток и внутренние сегменты рецепторов, а потом достигает пигментного слоя.

Фоторецепторы распределены в сетчатке неравномерно. Центральная ямка сетчатки (*fovea centralis*) содержит только колбочки (до 140 тыс. на 1 мм²). По направлению к периферии сетчатки их число уменьшается, а число палочек возрастает.

Макула: 5–5,5 мм (3–3,5 диаметра ДЗН) — округлая зона, почти достигающая височных сосудистых аркад и ДЗН. В макулярной области выделяют следующие зоны: 1) *фовеола* (зона диаметром 500 мкм); 2) *фовеа* (1500 мкм, 1 диаметр ДЗН); 3) *парафовеа* (2500 мкм — пояс вокруг фовеа шириной 1/3 диаметра ДЗН — 500 мкм); 4) *перифовеа* (пояс между границами макулы и парафовеа шириной около 1 диаметра ДЗН).

Наибольшая плотность колбочек 147–238 тысяч на 1 мм² в центральной зоне (*фовеа*) размером 50×50 мкм (5°) (рисунок 14). Дальше от центра плотность колбочек уменьшается, в *парафовеа* (8,6°) она составляет 95000 на 1 мм², а в *перифовеа* 10000 на 1 мм² (Osterberg G., 1935). Центральная зона — 250–750 мкм свободна от палочек. Плотность палочек максимальна в кольце вокруг *фовеа* (10–18° от центра) — 150–160 тысяч на 1 мм², затем их количество уменьшается к крайней периферии, где имеется около 60 тыс. палочек на 1 мм². Средняя плотность палочек — 80–100 тыс. на 1 мм².

В настоящее время установлено, что более чувствительные к длинноволновой и средневолновой частям спектра колбочки человека, распределены случайным образом и имеют одинаковое число, а не соотношение 1:2 как это предполагалось ранее. В макуле синие колбочки отсутствуют.

Распределение биполяров и ганглиозных клеток в фовеолярной области соответствует плотности колбочек. В фовеолярной зоне (2°) одна колбочка соединена с двумя ганглиозными клетками. Следует отметить, что на периферии распределение этих клеток значительно изменяется, т.к. множество палочек и некоторые колбочки конвергируют к меньшему числу биполяров и еще меньшему числу больших ганглиозных клеток, от которых аксоны несут информацию в кору головного мозга.

На периферии сетчатки соотношение фоторецепторов и ганглиозных нейроцитов составляет 1000 к 1. Диск зрительного нерва находится в носовой половине сетчатки (в 4 мм от заднего полюса глаза). Он лишен фоторецепторов и поэтому в поле зрения, соответственно месту его проекции, имеется слепая зона.

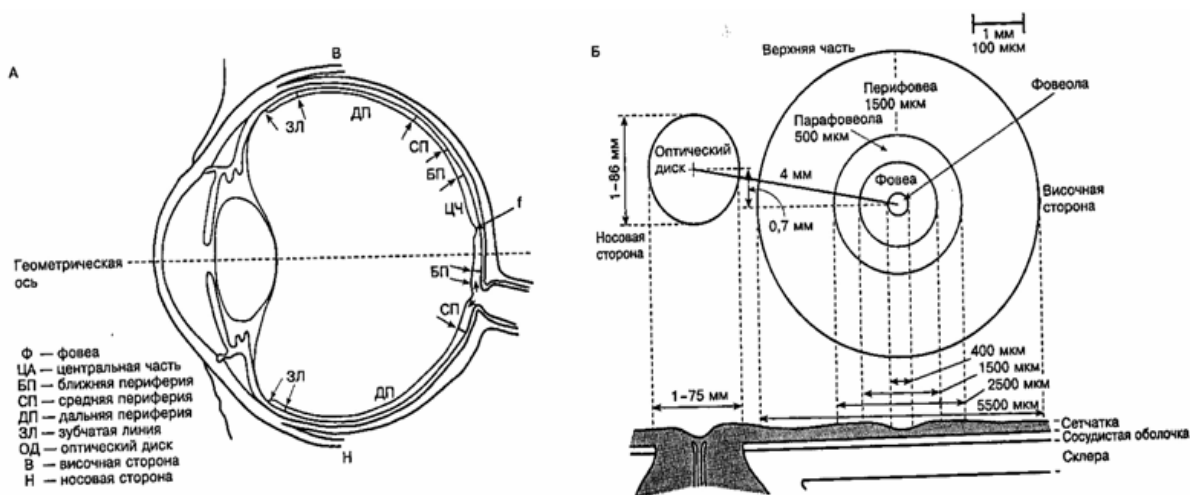


Рисунок 14 — Участок сетчатки

(А) Горизонтальный срез показывает различные участки сетчатки. В — височная сторона, Н — носовая. По мере продвижения к периферии число биполярных клеток, и особенно ганглиозных клеток резко уменьшается, однако резкая граница отсутствует. (Б). Вид в плане и в разрезе центрального участка сетчатки. (В) Тангенциальный срез через разные участки оптики. Наружные сегменты фоторецепторов перерезаны поперек. (а) Фовеа: плотно упакованные тонкие колбочки. (б) Парафовеа: наружные сегменты окружены белым пространством — из-за большого диаметра внутренних сегментов. Колбочки окружены наружными сегментами палочек. (в) Средняя периферия: доля палочек по отношению к колбочкам увеличивается. (г) Дальняя периферия: доля колбочек значительно уменьшена (воспроизводится из К. Смита, 2005).

Основной функцией зрительного анализатора человека является восприятие света, а также формы предметов окружающего мира и их положения в пространстве, свет вызывает сложные изменения в сетчатке, обуславливающие так называемый зрительный акт. Таким образом, свет является адекватным раздражителем для органа зрения. Свет — магнитные колебания с определенной частотой (369–760 нм — видимая часть спектра).

Видимый нами спектр электромагнитных излучений заключен между коротковолновым (длина волны от 400 нм) излучением, которое мы называем фиолетовым цветом, и длинноволновым излучением (длина волны до 700 нм) называемым красным цветом (рисунок 15).

Палочки. В палочках находится особый пигмент — **родопсин**, или зрительный пурпур, максимум спектра, поглощения которого находится в области 510 нанометров. Пороговая чувствительность — 12 квантов света при длине волны 419 нм, пороговая энергия 48×10^{-19} Дж. Родопсин ресинтезируется в темноте и выцветает на свету. При недостатке витамина А нарушается сумеречное зрение — «куриная слепота».

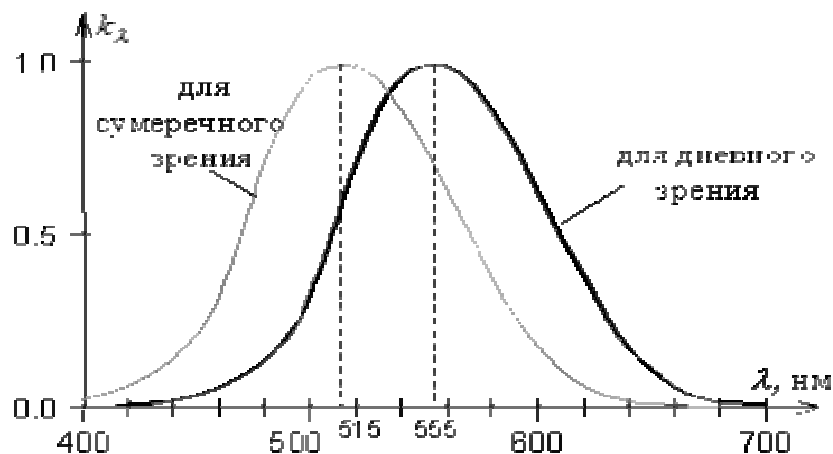


Рисунок 15 — Кривая спектральной чувствительности глаза

Колбочки. Различают три различных типа, в которых содержится по одному пигменту — сине-голубому (диапазон поглощения 435–450 нм), зеленому (525–540 нм) и красному (565–570 нм). Порог чувствительности — 30 квантов света, пороговая энергия — 120×10^{-19} Дж.

Различная световая чувствительность палочек и колбочек обуславливает то обстоятельство, что первые функционируют при яркости до $1 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ (ночное, скотопическое зрение), а вторые — выше $10 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ (дневное, фотопическое зрение). Когда яркость колеблется в пределах от $1 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ до $10 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$, функционируют на определенном уровне все фоторецепторы (сумеречное, мезопическое зрение). **Колбочки** функционируют в условиях больших освещенностей — обеспечивают дневное и цветное зрение, а **палочки** — отвечают за сумеречное зрение. Красный колбочковый пигмент получил название «йодопсин». Структура йодопсина близка к родопсину.

Питание сетчатки осуществляется из двух источников: внутренние шесть слоев получают его из **системы центральной ее артерии** (ветвь глазной), а нейроэпителий — **из хориокапиллярного слоя собственно сосудистой оболочки**. Ветви центральной артерии и вены проходят в слое нервных волокон и, отчасти, в слое ганглиозных клеток. Они образуют слоистую капиллярную сеть, развитую сильнее всего в задних отделах. Первый артериальный слой капилляров также лежит в слое нервных волокон. От него, в свою очередь, отходят восходящие веточки, идущие к внутреннему зернистому слою. На его передней и задней поверхности они образуют затем по венозной капиллярной сети. Уже от этих сетей отходят венозные корешки к слою нервных волокон. Далее кровоток идет в сторону более крупных вен, в конечном итоге в — v. centralis retinae. Важной анатомической особенностью сетчатки является то обстоятельство, что аксоны ее ганглиозных клеток на всем протяжении лишены миелиновой оболочки. Кроме того, сетчатка, как и сосудистая оболочка, лишена чувствительных нервных окончаний.

3. ДВИЖЕНИЕ ГЛАЗ

У млекопитающих с бинокулярным зрением при рассматривании окружающих предметов глаза движутся координировано. Такие движения глаз называются содружественными. Глаза никогда не находятся в стоянии при рассматривании предмета — глаз непрерывно мелко дрожит и дрейфует (медленно смещается с точки фиксации взора).

Глазодвигательная система человека выполняет следующие задачи:

- 1) сохраняет неподвижным изображение внешнего мира на сетчатке во время движения относительно этого мира;
- 2) выделяет во внешнем мире некоторые объекты, помещает их в зоне сетчатки с высоким разрешением (зрительная ямка — fovea) и прослеживает их движениями глаз и головы;
- 3) скачкообразные (саккадические) перемещения взора для рассматривания внешнего мира.

Чтобы исследовать бинокулярную координацию направления взгляда, голову испытуемого закрепляют неподвижно, а положение точки фиксации взгляда меняют. При таком исследовании выявляются два класса двигательных программ.

1. **Содружественные движения глаз:** движение глаз осуществляется одновременно и содружественно, они движутся в системе координат внешнего пространства одинаково вверх, вниз, влево и вправо. Веки поднимаются, когда мы смотрим вверх и опускаются, когда мы смотрим вниз.

2. **Вергентные движения:** движения одного глаза примерно зеркально симметрично движению другого относительно систем координат головы. Если точка фиксации перемещается издали все ближе и ближе, два глаза совершают *конвергентное движение*. *Дивергентное* движение сопровождается переводом взгляда с ближнего предмета на дальний.

При рассматривании объектов на большом расстоянии зрительные оси глаз расходятся до такой степени, что становятся практически параллельными друг другу (рисунок 16).



Рисунок 16 — Содружественные и вергентные движения глаз

Глаз человека приводится в движение шестью наружными мышцами, которые иннервируются тремя парами черепно-мозговых нервов: III — **глазодвигательным**, IV — **блоковым** и VI — **отводящим**.

Движение глаз осуществляется при помощи **6 мышц**: 2 косые и 4 прямые мышцы — наружная, внутренняя, верхняя и нижняя (рисунок 17 А, см. вкладыш). Формирование мышц заканчивается к 2–3 годам, хотя функционируют они с момента рождения. Если прямая латеральная мышца одного глаза сокращается, то прямая медиальная мышца другого глаза сокращается на такую же величину. Прямые верхние мышцы работают вместе и перемещают глаза назад, чтобы можно было смотреть вверх. Прямые нижние мышцы дают возможность смотреть вниз. Косая верхняя мышца вращает глаз вниз и наружу, а косая нижняя мышца — вверх и наружу.

Имеется 4 типа движений глаз (рисунок 18):



Рисунок 18 — Типы движений глаза

Саккады — неощущаемые быстрые скачки (в сотые доли секунды) глаза, прослеживающие контуры изображения. Саккадические движения поддерживают удержание изображения на сетчатке, что достигается периодическим смещением изображения по сетчатке, приводящим к активации новых фоторецепторов и новых ганглиозных клеток.

Плавные следящие движения глаза за движущимся объектом, а также при фиксации объекта во время движения головы или тела наблюдателя.

Конвергирующие движения — сведение зрительных осей навстречу друг другу при рассматривании объекта вблизи от наблюдателя. Каждый тип движений контролируется нервным аппаратом отдельно, но в конечном итоге все влияния заканчиваются на мотонейронах, иннервирующих наружные мышцы глаза.

Вестибулярные движения глаза — регулирующий механизм, появляющийся при возбуждении рецепторов полукружных каналов и поддерживающий фиксацию взора во время движений головы.

Физиологический нистагм. Даже в условиях, когда субъект пытается фиксировать взглядом неподвижный предмет, глазное яблоко продолжает осуществлять скачкообразные и другие движения (физиологический нистагм). Другими словами, нервно-мышечный аппарат глаза берет на себя функцию удержания зрительного образа на сетчатке, так как попытка удержать зрительный образ неподвижно на сетчатке приводит к его исчезновению из поля зрения. Именно поэтому необходимость постоянного удержания объекта в поле зрения требует постоянного и быстрого смещения зрительного образа по сетчатке.

Диплопия. Поскольку основная часть зрительного поля бинокулярна, ясно, что необходима высокая степень координации движений обоих глаз для удержания зрительного образа на корреспондирующих точках обеих сетчаток, чтобы тем самым избежать двоения в глазах (диплопия).

Нейронная регуляция движения глаз. Двигательные программы обоих глаз обычно хорошо согласованы, находятся под контролем глазодвигательных центров ствола мозга. Нейроны, управляющие горизонтальными движениями глаз, расположены главным образом в парамедиальной ретикулярной формации варолиева моста (ПМРФ), а управляющие вертикальными движениями — в ретикулярной формации среднего мозга (РФСМ). Отсюда их аксоны идут к нейронам отводящего, глазодвигательного и блокового ядер глазных мышц и мотонейронам верхней шейной части спинного мозга, так что движения глаз и головы координируются друг с другом. Уровень возбуждения глазодвигательных центров регулируется различными зрительными областями мозга — верхними холмиками четверохолмия, вторичной зрительной корой, теменной интегративной корой, фронтальным (лобным) глазным полем. Нейроны вестибулярных ядер, клочка и около клочка мозжечка также образуют связи с ПМРФ и РФСМ. Нейронные механизмы, управляющие направлением взгляда, были выявлены с помощью микроэлектродной техники. Полученные результаты можно использовать для интерпретации нарушений движений глаз при поражении ствола мозга. Патология ПМРФ затрудняет горизонтальный поворот глаз в ту сторону, с которой пострадал мозг. Поражения РФСМ препятствуют смещению обоих глаз по вертикали.

3.1. КРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА СЛИЯНИЯ МЕЛЬКАНИЙ

Глаз сохраняет следы световой стимуляции в течение некоторого времени (150–250 мс) после выключения света. Иными словами, глаз воспринимает прерывистый свет как непрерывный при определенных интервалах между вспышками. Минимальная частота следования световых стимулов, при которой происходит слияние отдельных ощущений мелькания в ощущение непрерывного света — критическая частота слияния мельканий (24 кадра в секунду). На этом явлении базируются телевидение и кино: человек не

замечает промежутков между отдельными кадрами, так как зрительное ощущение от одного кадра еще длится до появления другого. Тем самым создается иллюзия непрерывности изображения и его движения.

4. ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГЛАЗА

Основы физической оптики. Простейший оптический прибор-камера **обскура** — устройство, в котором маленькое входное отверстие создает перевернутое изображение. Последнее будет резким только в том случае, если это отверстие (апертура) будет достаточно мало. Но тогда освещенность получаемого изображения оказывается очень слабой. Апертуру можно увеличить, если спереди или позади отверстия поместить выпуклую линзу. Изображение на «воспринимающей поверхности» будет перевернутым и уменьшенным. Тот же принцип реализуется в сложной оптической системе глаза — граница между воздухом и роговицей действует как линза, помещенная перед апертурой (зрачком, диаметр которого изменяется при сокращении мышц радужной оболочки), а позади нее расположен двояковыпуклый хрусталик.

Лучепреломление (рефракция) и фокусное расстояние. Если луч света падает на границу раздела двух прозрачных сред с разными коэффициентами преломления (n), то он преломляется на угол, зависящий от его угла падения луча. Все лучи, параллельные оптической оси сферической поверхности раздела (т. е. линии, проходящей через главную точку H (рисунок 19) преломляются таким образом, что сходятся в фокусе (F_1, F_2). Преломляющая сила системы зависит от радиуса кривизны (r) границы раздела двух сред и их коэффициентов преломления n_1 и n_2 . Параллельные лучи, проходящие через поверхность раздела со стороны среды с меньшим коэффициентом преломления (n_1), сходятся в точке фокуса (F_2), лежащей в среде с большим коэффициентом преломления.

Фокусное расстояние «позади линзы» ($f_2 = H - F_2$) вычисляется по формуле:

$$f_2 = \frac{n_2 \times r}{n_2 - n_1} \text{ [м]}. \quad (1)$$

Если же параллельные лучи проходят через границу раздела с противоположной стороны, они сходятся в точке F_1 . Тогда фокусное расстояние «перед» линзой определяется формулой:

$$f_1 = \frac{n_1 \times r}{n_2 - n_1} \text{ [м]}. \quad (2)$$

Эти уравнения справедливы только в узкой гауссовой зоне вокруг оптической оси. Оптической осью называется линия, соединяющая фокусы F_1 и F_2 , а главной точкой H называется точка, в которой пересекаются оптическая ось и поверхность раздела. Узловой точкой N называется центр сферы, частью которой является поверхность раздела.

Преломляющая сила данной поверхности определяется как $1/f$.

Формирование изображения с помощью диоптрического аппарата глаза. Оптическая система глаза представляет собой сложную, неточно центрированную систему линз, которая отбрасывает перевернутое, сильно уменьшенное изображение (рисунок 19) окружающего мира на сетчатку (мозг «переворачивает» обратное изображение, и оно воспринимается как прямое).

Диоптрический аппарат состоит из прозрачной *роговицы, передней и задней камер*, заполненных *водянистой влагой, хрусталика*, окруженного прозрачной сумкой *и стекловидного тела*, занимающего большую часть глазного яблока.

Узловая точка — точка в оптической системе глаза, через которую лучи идут не преломляясь. Это то расстояние позади линзы, на котором параллельные пучки света сходятся в одной точке.

При прохождении лучей через глаз, они преломляются на четырех поверхностях раздела:

- 1. Между воздухом и роговицей.*
- 2. Между роговицей и водянистой влагой.*
- 3. Между водянистой влагой и хрусталиком.*
- 4. Между хрусталиком и стекловидным телом.*

Рефракция (оптическая сила) любой оптической системы измеряется ее фокусным расстоянием (f) и выражается в диоптриях (D).

Диоптрия — величина, обратная главному фокусному расстоянию, и вычисляется следующей формулой:

$$D = \frac{1}{F} .$$

Она равна преломляющей силе линзы с фокусным расстоянием 100 см, или 1 метр.

Рефракция бывает физической и клинической

Физическая рефракция — преломляющая сила оптической системы глаза, выраженная в диоптриях. Физическая рефракция глаза человека, по данным разных исследователей, варьирует от 51,8 до 71,3 D . У новорожденного около 80,0 D . Преломляющие среды имеют разные показатели преломления (рисунок 20). В норме размер глаза и преломление (преломляющая сила, или рефракция) оптических сред варьируют в очень малых пределах. Большая часть преломления происходит при переходе из воздуха в роговицу — эта поверхность действует как сильная линза в **38–46 D** , а также на поверхностях хрусталика **15–23 D** . В нормальном глазу общая преломляющая сила диоптрического аппарата (роговица плюс хрусталик) составляет **53 D** при рассматривании далеких предметов и около **70 D** — при рассматривании близких предметов.

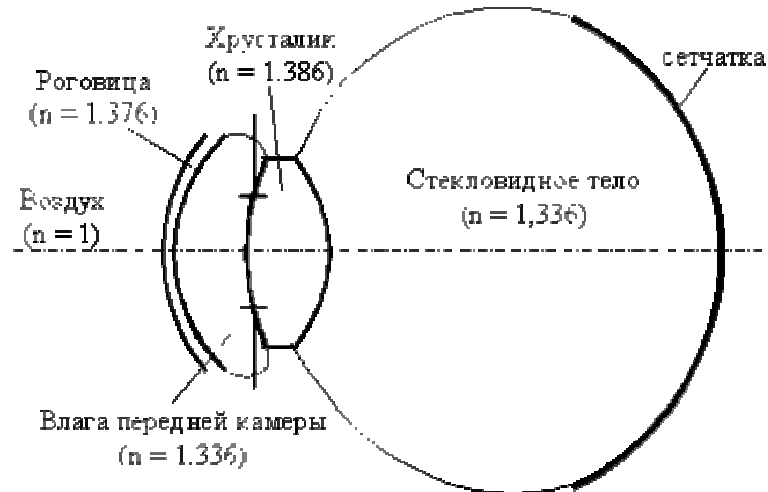


Рисунок 20 — Оптическая система глаза

Однако для получения четкого изображения важна не только преломляющая сила оптической системы глаза сама по себе, но и ее способность фокусировать лучи на сетчатке. В связи с этим в офтальмологии используют понятие **клиническая рефракция**.

Клиническая рефракция — это соотношение между преломляющей силой и положением сетчатки. Различают клиническую рефракцию двух видов — *статическую и динамическую*.

Статическая рефракция характеризует способ получения изображений на сетчатке в состоянии максимального расслабления аккомодации. Это условное понятие, отражающее лишь структурные особенности глаза как оптической камеры, формирующей изображение на сетчатке.

Динамическая рефракция — преломляющая сила оптической системы глаза относительно сетчатки при действующей аккомодации.

Статическая рефракция определяется положением главного фокуса оптической системы глаза относительно сетчатки. При соразмерной клинической рефракции, или эмметропии (от греч. Emmetros — соразмерный, orsis — зрение) этот фокус оптической системы глаза совпадает с сетчаткой, при несоответствующих видах клинической рефракции, или аметропиях — не совпадает.

Таблица 2 — Возрастная динамика анатомо-оптических показателей

| Показатель | Новорожденные | Возраст, лет | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------|------|-------|
| | | 1 | 3 | 5–7 | 14–15 |
| Рефракция роговицы | 48,4 | 45,9 | 42,9 | 42,5 | 42,5 |
| Диаметр роговицы | 10,25 | — | 11,3 | 11,5 | 11,7 |
| Длина переднезадней оси | 16,8 | 19,0 | 21,0 | 22,1 | 23,2 |

Теоретически несоответствие клинической рефракции может быть обусловлено двумя основными причинами: несоответствием физической рефракции глаза длине глаза и, наоборот, несоответствием длины глаза

рефракции. В первом случае аметропию обозначают как рефракционную, во втором — как осевую. В общем аметропии следует рассматривать как результат дискорреляции между оптическими и анатомическими компонентами глаза. Из двух компонентов — анатомического и оптического, сочетанием которых определяется рефракция глаза, значительно более подвижным является анатомический. Через него главным образом и реализуется регулирующее влияние организма на формирование рефракции глаза.

Методы исследования рефракции:

- Субъективный — основанный на определении максимальной остроты зрения с коррекцией.

- Скиаскопия — способ объективного определения клинической рефракции, основанный на наблюдении за движением теней, получаемых в области зрачка при освещении последнего. Для установления ее степени обычно применяют метод нейтрализации движения тени.

- Рефрактометрия.

Клиническая рефракция глаза — отношение главного фокуса сетчатки в покое к аккомодации. В обычном глазу фокусное расстояние роговицы равно примерно 23,5 мм и именно на этом расстоянии от нее располагается сетчатка. Такой человек видит четкое изображение предмета (если, конечно, у него не имеется других глазных заболеваний).

Однако в некоторых случаях возникает несоответствие между фокусным расстоянием роговицы и местом, где расположена сетчатка (то есть, длиной глаза). При этом изображение получается или перед, или за сетчаткой.

Возможны 3 варианта (рисунок 21, см. вкладыш) положения этого фокуса:

Эмметропическая рефракция (эмметропия, соразмерная клиническая рефракция) — задний фокус оптической системы глаза совпадает с сетчаткой, то есть падающие на глаз параллельные лучи от предмета собираются на его сетчатке. Эмметропы хорошо видят вдаль и вблизи благодаря подключению аккомодационного аппарата. Эмметропическая рефракция возможна в тех случаях, когда преломляющая сила оптической системы глаза и, следовательно, ее задний фокус правильно соотношены с передне-задним размером глаза.

Миопия (близорукость) — сильная клиническая рефракция — задний фокус оптической системы глаза не совпадает с сетчаткой, а располагается перед ней (т. е. если расстояние между хрусталиком и сетчаткой больше, чем фокусное расстояние (f) хрусталика). Это может быть обусловлено либо чрезмерно сильным оптическим преломлением глаза, или, чаще, увеличенным его передне-задним размером. У такого человека обычно либо увеличено расстояние от вершины роговицы до сетчатки (длина, или ось глаза — осевая близорукость), либо радиус кривизны роговицы слишком маленький, т. е. роговица слишком «крутая», световые лучи преломляются сильно, поэтому глаз имеет небольшое фокусное расстояние — рефракционная близорукость. Как правило, имеет место сочетание этих двух момен-

тов. Близкие предметы близорукий видит без аккомодации, отдаленные предметы видит неясными, расплывчатыми. У близорукого дальняя точка ясного видения находится не в бесконечности, а на конечном, близком расстоянии. Корректирование — необходимо уменьшить преломляющую силу глаза, используя вогнутые линзы с отрицательными диоптриями.

Актуальность проблемы близорукости обусловлена высокой степенью распространенности заболевания (до 45 % детского и 25 % взрослого населения) и инвалидизирующими последствиями осложненной миопии (1–2 место среди причин инвалидности). В современном обществе значительно возросли зрительные нагрузки. Каждый четвертый житель планеты страдает близорукостью.

Осложненная близорукость — одна из главных причин инвалидности вследствие заболеваний глаз. Медико-социальная значимость проблемы увеличивается в связи с тем, что осложненная миопия развивается у лиц самого работоспособного возраста. Прогрессирующая близорукость может привести к серьезным необратимым изменениям в глазу и значительной потере зрения. Поэтому профилактика прогрессирования миопии является важной медико-социальной задачей.

Теорий возникновения миопии много. Ведущей является трехфакторная **теория Аветисова**: наследственный фактор, слабость аккомодационного аппарата, нарушение баланса склера — ВГД (внутриглазное давление).

Опасности миопии — в длинной оси глаза. В таком глазу сетчатка растянута и всегда существует риск ее отслойки или разрыва. Миопия часто прогрессирует (растет ось глаза) — пик этого процесса приходится на школьные годы: в этот период обычно у ребенка интенсивны зрительные нагрузки. Параллельно с этим идет активный рост организма (и глаза, в частности). Именно в возрасте 10–14 лет дети впервые одевают очки, меняя их на более сильные, если близорукость прогрессирует. Задача окулиста в этой ситуации — остановить прогрессирование миопии. В зависимости от скорости прогрессирования близорукости лечение проводится как консервативными, так и хирургическими методами. В первом случае тренируют мышцы, напряжение которых приводит к росту миопии. Во втором случае проводится операция — склеропластика, когда под конъюнктиву глаза (без проникновения в глаз) в косых меридианах глаза к его заднему полюсу подводятся небольшие полоски биоткани — трансплантаты. Они плотно прирастают к склере, укрепляя задний полюс глаза и не давая глазу удлиняться. Внешне они совершенно незаметны. Зрение при этой операции не изменяется. Все методы остановки прогрессирования миопии не дают 100 % гарантии, но значительно снижают риск ее прогрессирования.

Гиперметропия (дальнозоркость) — слабая клиническая рефракция — задний главный фокус глаза не совпадает с сетчаткой, а располагается как бы за ней. Дальнозоркие люди, как правило, достаточно хорошо видят вдаль и хуже вблизи. Этот недостаток рефракции может быть компенсирован путем аккомодационного усилия, т. е. увеличением выпуклости хру-

сталика. Коррекция с помощью положительных диоптрий, т. е. двояковыпуклых линз. Строение дальновзорного глаза предрасполагает к развитию глаукомы: ось таких глаз укорочена, и хрусталик вместе с радужкой как бы смещены вперед. Это приводит к тому, что корень радужки прикрывает или совсем закрывает дренажные пути, по которым внутриглазная жидкость покидает глаз, что вызывает подъем ВГД.

Две последние разновидности клинической рефракции (близорукость и дальновзорность), в отличие от эметропической, характеризуются как **аметропические (несоизмеренные)**.

Кроме того, к аметропии еще относят и **астигматизм** (от греческого stigma — точка, а — отрицание). Астигматизм характеризуется разной силой преломления оптических сред глаза (чаще роговицы) во взаимно перпендикулярных меридианах (осях). Это чисто оптическое понятие, которое относится к разряду оптических аберраций, т. е. искажений, присущих любым линзам и роговице, в частности. При астигматизме сферичность роговицы нарушена, в разных ее меридианах радиусы кривизны разные. То есть форма роговицы напоминает поверхность не футбольного мяча, а мяча для регби.

Внешне это, конечно, незаметно даже под микроскопом. Однако специальные приборы (например, кератометры, офтальмометры, рефрактометры) эти изменения регистрируют. Безусловно, астигматизм (как правило, свыше 0,5 дптр.) ощутим и самим человеком, так как изображение предмета при прохождении световых лучей через такую роговицу получается на сетчатке не в виде точки, а в виде отрезка прямой. Человек при этом видит изображение искаженным, в котором одни линии четкие, другие — размытые. Все люди в небольшой степени являются астигматиками. Это связано с несовершенством строения глаза в результате не строгой сферичности роговицы ее коррекцию осуществляют цилиндрическими линзами.

Каждый вид клинической рефракции характеризуется определенным положением в пространстве, так называемой дальнейшей точки ясного видения (зрения) — наиболее удаленная от глаза точка, лучи, исходящие из которой соберутся на сетчатке данного глаза в покое аккомодации. Дальнейшая точка ясного видения у эметропа находится «как бы в бесконечности», то есть дальше 5 м, так как на его сетчатке собираются параллельные лучи; у близорукого человека дальнейшая точка ясного зрения располагается на определенном конечном расстоянии перед глазом. Удаленность ее зависит от величины (силы) клинической рефракции, и с увеличением близорукости дальнейшая точка ясного зрения приближается к глазу: так, если дальнейшая точка ясного зрения располагается на расстоянии 25 см, то, согласно формуле $D = \frac{1}{F}$, величина близорукости человека равна 4,0 D. Дальнейшая точка ясного зрения дальновзорного человека не может быть перед глазом на каком-либо конечном или бесконечном расстоянии, так как у него на сетчатке собираются лучи, которые образовали бы сходящийся, а не расходящийся пучок еще до того, как они по-

пали в глаз. Воображаемая точка пересечения этих сходящихся лучей находится в мнимом, отрицательном, пространстве, то есть как бы за глазом. Она и будет считаться дальнейшей точкой ясного видения у гиперметропа.

Коррекция аметропии производится различными видами стекол. Близорукость М (-) корригируется наименьшим отрицательным стеклом, дающим наивысшую остроту зрения. Дальнозоркость корригируется наибольшим положительным стеклом, дающим наивысшую остроту зрения. Это делается для того, чтобы глаз несколько расслабился, «включение» аккомодации не выгодно.

Также коррекция производится контактными линзами. Появились линзы в середине 50-х годов. Одеваются прямо на глаз. Преимущества контактных линз:

- отсутствие анизоконии при разнице между глазами более 2 D — явление диплопии вследствие разности рефракции. Анизокония — состояние, при котором на сетчатке обоих глаз размер изображений объекта разный;

- мягкие линзы могут носиться длительно, пропускают кислород, то есть не нарушают питания роговицы;

- существуют цветные контактные линзы.

Хирургическая коррекция применяется в основном при близорукости, выполняется операция Сато (Япония), модифицированная Федоровым: производятся резы по периферии роговицы.

Недостатки:

- операционный риск;

- надо оперировать, по сути, вариант нормы;

- после разреза остаются рубчики, которые работают как отражатели;

- запрещено делать призывникам;

- при травмах роговицы разрывается по рубчикам.

Показания: высокая анизокония в сочетании с невозможностью носить линзы.

2. Эксимерлазерная хирургия близорукости.

5. АККОМОДАЦИЯ

Глаз позвоночных часто сравнивают с фотокамерой, так как система линз (роговица и хрусталик) дает перевернутое и уменьшенное изображение объекта на поверхности сетчатки (Герман Гельмгольц) (рисунок 22, см. вкладыш). Количество проходящего через хрусталик света регулируется *переменной диафрагмой (зрачком)*, а хрусталик способен фокусировать более близкие и более удаленные объекты.

Для получения четкого изображения предмета на каком-то определенном расстоянии оптическая система должна быть перефокусирована. Для этого существуют два простых способа:

а) смещение хрусталика относительно сетчатки, как в фотокамере (у лягушки); (Уильям Бейтс — американский офтальмолог — теория связана с поперечными и продольными мышцами — 19 век);

б) увеличение его преломляющей силы (у человека) — (Герман Гельмгольц).

Аккомодация (лат. *accomodatio* — приспособление) — приспособительная функция глаза, обеспечивающая возможность четкого различия предметов, расположенных на разных расстояниях от него (рисунок 23). Аккомодацию характеризует ближайшая (*punctum remotum*) и дальнейшая (*punctum proximum*) точка ясного видения. Точку зрительной оси на минимальном расстоянии, с которого глаз еще может отчетливо различать какой-либо предмет при максимальном напряжении аккомодации, принято называть ближней точкой ясного зрения (*punctum proximum*). Ближняя точка ясного видения находится на расстоянии 10 см от глаза (ближе четко видеть нельзя лучи идут параллельно). Для нормального глаза молодого человека дальняя точка ясного видения лежит в бесконечности. По их разности можно определить длину или область аккомодации. Объем аккомодации — разница в преломляющей силе оптической системы глаза, которая возникает при переводе взора от дальнейшей к ближайшей точке ясного видения. Следовательно, аккомодация — это способность глаза четко различать предметы, располагающиеся между дальнейшей и ближайшей точками ясного видения. Можно сказать, что аккомодация обеспечивает четкое изображение, то есть ясное определение предметов, расположенных ближе дальнейшей точки ясного зрения. Аккомодационный аппарат глаза (ресничное тело с ресничным пояском и радужка) обеспечивает изменение формы и преломляющей силы хрусталика, фокусировку изображения на сетчатке, а также приспособление глаза к интенсивности освещения.

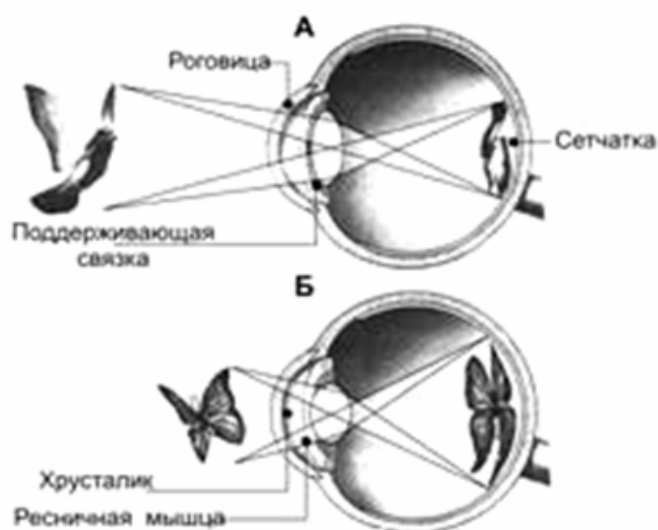


Рисунок 23 — Механизм аккомодации

А — удаленный объект; Б — близкорасположенный объект
(воспроизводится по Р. С. Орлову, А. Д. Ноздрачеву, 2005).

Основной механизм аккомодации заключается в непроизвольном изменении кривизны хрусталика глаза. Усиление рефракции хрусталика при аккомодации на ближнюю точку достигается увеличением кривизны его поверхности, т. е. он становится более округлым, а на дальнюю точку — плоским. Изменения кривизны хрусталика обеспечиваются его *эластичностью и цинновыми связками*, которые прикреплены к ресничному телу. В ресничном теле находятся гладкомышечные волокна (рисунок 24, см. вкладыш). Благодаря изменению кривизны хрусталика, особенно задней поверхности, его преломляющая сила может меняться в пределах 10–14 диоптрий. Хрусталик заключен в капсулу, которая по краям его (вдоль экватора хрусталика) переходит в фиксированную хрусталик связку (циннова связка). Последняя, в свою очередь, соединена с волокнами цилиарной (ресничной) мышцы. При сокращении цилиарной мышцы натяжение цинновых связок уменьшается, а хрусталик вследствие своей эластичности становится более выпуклым. Преломляющая сила глаза увеличивается, и глаз настраивается на видение близко расположенных предметов. Когда человек смотрит вдаль, циннова связка находится в натянутом состоянии, что приводит к растягиванию сумки хрусталика и его утолщению. Таким образом, ресничные мышцы являются аккомодационными мышцами.

Иннервация цилиарной мышцы осуществляется симпатическими и парасимпатическими нервами. Импульсация, поступающая по парасимпатическим волокнам глазодвигательного нерва, вызывает сокращение мышцы. Симпатические волокна, отходящие от верхнего шейного узла, вызывают ее расслабление. Если закапать *атропин* (выключается парасимпатическая система) *нарушается ближнее зрение*, так как происходит расслабление ресничного тела и натяжение цинновых связок — хрусталик уплощается. Парасимпатические вещества — *пилокарпин и эзерин* — вызывают сокращение ресничной мышцы и расслабление цинновых связок.

Изменение степени сокращения и расслабления цилиарной мышцы связано с возбуждением сетчатки и находится под влиянием коры головного мозга.

В глазу с нормальной рефракцией резкое изображение далекого объекта на сетчатке образуется только в том случае, если расстояние между передней поверхностью роговицы и сетчаткой составляет **23,5 мм**.

Расстояние наилучшего зрения — это расстояние, на котором нормальный глаз испытывает наименьшее напряжение при рассматривании деталей предмета. Нормальная рефракция глаза носит название **эмметропии**, а такой глаз называют **эмметропическим**.

Объем аккомодации (ширина, сила) — разница в преломляющей силе оптической системы глаза, которая возникает при переводе взора от дальнейшей к ближайшей точке ясного видения.

Объем аккомодации в диоптриях определяется по формуле:

$$A = \frac{t}{P} - \frac{t}{p} = P - R ,$$

где P и R — величины рефракции в Дптр (диоптрия), соответствующие ближайшей и дальнейшей точкам ясного зрения. Объем аккомодации равен той прибавке к рефракции глаза, которая получается в результате максимального напряжения аккомодационного аппарата глаза, то есть разности между максимальной динамической (P) и статической (R) рефракцией.

Различают **абсолютную и относительную аккомодацию**. Аккомодация, определяемая для одного глаза, называется *абсолютной*. Если зрение осуществляется двумя глазами, бинокулярно, то процесс аккомодации обязательно сопровождается конвергенцией, сведением зрительных осей глаз на фиксируемой предмете. Такая аккомодация характеризуется как *относительная*.

Аккомодация и конвергенция у человека, имеющего эмметропию, обычно совершаются параллельно и согласованно. Для того, чтобы человек мог свободно и долго работать на близком расстоянии, необходимо, чтобы, кроме затрачиваемого напряжения аккомодации (отрицательная часть относительной аккомодации), оставалась в запасе (положительная часть) не меньше чем половина затраченного. Если запас аккомодации мал, то во время работы быстро возникает зрительное утомление.

С возрастом аккомодационная способность глаза ослабевает. Так, в 20–30 лет ближайшая точка зрения находится на расстоянии примерно 10 см:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{100\text{см}}{10\text{см}} = 10 \text{ Дптр} .$$

Таким образом, рассматривая предметы с расстояния 10 см мы усиливаем свою рефракцию на 10 см. Обычно человек читает с расстояния в 25 см:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{100\text{см}}{25\text{см}} = 4 \text{ Дптр} .$$

Таблица 3 — Возрастные нормы запаса относительной аккомодации

| Возраст, лет | A, дптр. |
|--------------|----------|
| 7–9 | 3 |
| 10–12 | 4 |
| 13–20 | 5 |
| 21–25 | 4 |
| 26–30 | 3 |
| 31–35 | 2 |
| 36–40 | 1 |
| 41–45 | 0 |

Постепенное уменьшение аккомодационных возможностей глаза может быть обусловлено изменением физико-химического состава хрусталика, обеднением его водой, уплотнением в связи с формированием ядра (с 20-летнего возраста), потерей эластичности, гиперкоррекцией миопии. Вследствие этого ближайшая точка ясного зрения постепенно удаляется от глаза.

После 40 лет эта точка находится уже на довольно большом расстоянии, и поэтому для рассматривания мелких предметов их приходится не приближать, а отодвигать от глаза все дальше и дальше. Возникает так называемая пресбиопия, то есть, старческая (от греческого — presbys — старый) дальнорукость. Корректируется этот недостаток за счет двояковыпуклых линз. Так, в 50 лет ближайшая точка зрения располагается на расстоянии 1 метра.

Таблица 4 — Подсчет коррекции пресбиопии

| Возраст | Эмметропия | Гиперметропия | Миопия (если близорукость 1 дптр) |
|---------|------------|---------------|-----------------------------------|
| 40 лет | +1 дптр | +1 дптр | очки не нужны |
| 50 лет | +2 дптр | +2 дптр | +1 дптр |
| 60 лет | +3 дптр | +3 дптр | +2 дптр |

Таким образом, подбор линз пресбиопу может осуществляться соответственно формуле:

$$D_b = D_d + A - \frac{30}{10},$$

где D_b — сила сферической линзы для близи (дптр); D_d — сила линзы, корригирующей зрение вдаль (дптр); A — возраст пациента в годах.

6. ФУНКЦИИ СЕТЧАТКИ

При изучении сетчатки необходимо выяснить следующие проблемы: во-первых, каким образом палочки и колбочки преобразуют поглощаемый ими свет в электрические и химические сигналы; во-вторых, как последующие клетки двух других слоев — биполяры, горизонтальные, амакриновые и ганглиозные — интерпретируют эту информацию.

6.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ФОТОРЕЦЕПЦИИ

Сетчатка по своему строению и происхождению представляет собой нервный центр, в котором происходит первичная обработка зрительных сигналов, преобразование их в нервные импульсы, передающиеся в головной мозг.

Она имеет сложную многослойную структуру. Здесь расположены два вида вторично-чувствующих, различных по своему функциональному значению фоторецепторов и несколько видов нервных клеток (рисунок 25, см. вкладыш).

Возбуждение фоторецепторов активирует **первую нервную клетку сетчатки — биполярный нейрон**. Возбуждение биполярных нейронов активирует **ганглиозные клетки** сетчатки, передающие свои импульсы в подкорковые зрительные центры. В процессах передачи и переработки информации в сетчатке участвуют также **горизонтальные и амакриновые клетки**. Все перечисленные нейроны сетчатки с их отростками образуют нервный аппарат глаза, который не только передает информацию в зри-

тельные центры мозга, но и участвует в ее анализе и переработке. Поэтому сетчатку называют «частью мозга, вынесенной на периферию».

Внутриклеточные регистрации от колбочек и палочек животных показали, что *в темноте вдоль фоторецептора течет темновой ток, выходящий из внутреннего сегмента и входящий в наружный сегмент. Освещение приводит к блокаде этого тока.* Рецепторный потенциал модулирует выделение медиатора (**глутамата**) в синапсе фоторецептора.

Было показано, что в темноте фоторецептор непрерывно выделяет медиатор, который действует **деполяризирующим** образом на мембраны постсинаптических отростков горизонтальных и биполярных клеток. На рисунке 26 показаны направления ионных токов, текущих через плазматическую мембрану фоторецептора в темноте. Градиенты концентрации Na^+ и K^+ поддерживаются на плазматической мембране палочки активной работой натрий-калиевого насоса, локализованного в мембране внутреннего сегмента.

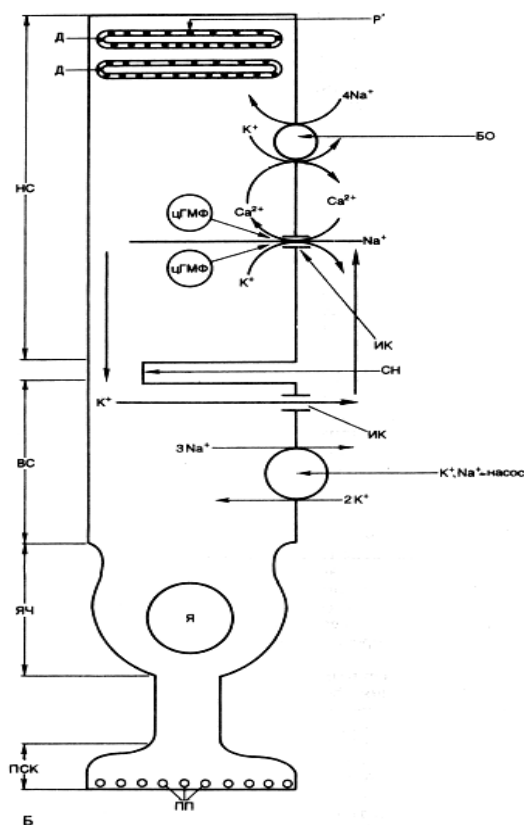


Рисунок 26 — Фотохимические процессы в палочковом аппарате сетчатки. Ионные токи через наружную мембрану палочки в темноте

Д — диск; СН — соединительная ножка; ЯЧ — ядерная часть; ПП — пресинаптические пузырьки; НС — наружный сегмент; ВС — внутренний сегмент; ПСК — пресинаптический комплекс; Я — ядро (воспроизводится по В. М. Покровскому, 1998).

Уменьшение или прекращение входа внутрь наружного сегмента Na^+ приводит к **гиперполяризации** клеточной мембраны, т. е. к возникновению на ней рецепторного потенциала.

Палочки и колбочки обладают уникальной среди всех рецепторов электрической активностью, их рецепторные потенциалы при действии света — *гиперполяризующие*, потенциалы действия под их влиянием не возникают. При поглощении света молекулой зрительного пигмента — родопсина в ней происходит мгновенная *изомеризация* ее хромофорной группы: **11-цис-ретиаль превращается в транс-ретиаль** (рисунок 27), (рисунок 28, см. вкладыш). Вслед за фотоизомеризацией ретиналя происходят пространственные изменения в белковой части молекулы: она обесцвечивается и переходит в состояние *метародопсина II*. В результате этого молекула зрительного пигмента приобретает способность к взаимодействию с другим примембранным белком *гуанозин трифосфат (ГТФ)* — *связывающим белком-трансдуцином (Т)*.

В комплексе с метародопсином трансдуцин переходит в активное состояние и обменивает связанный с ним в темноте гуанозиндифосфат (ГДФ) на ГТФ. Трансдуцин + ГТФ, активируют молекулу другого примембранного белка — фермента фосфодиэстеразы (ФДЭ). Активированная ФДЭ разрушает несколько тысяч молекул цГМФ.

В результате падает концентрация цГМФ в цитоплазме наружного сегмента рецептора. Это приводит к закрытию ионных каналов в плазматической мембране наружного сегмента, которые были открыты **в темноте** и через которые *внутри клетки* входили Na^+ и Ca^{2+} . Ионные каналы закрываются вследствие того, что **падает концентрация цГМФ, которая держала каналы открытыми**. В настоящее время выяснено, что поры в рецепторе открываются благодаря *цГМФ* — *циклическому гуанозинмонофосфату*.

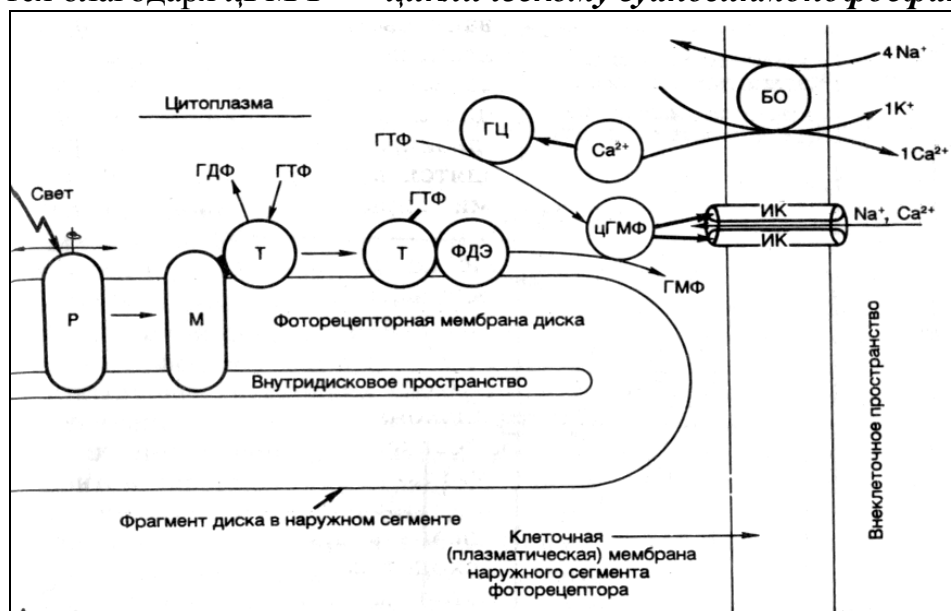
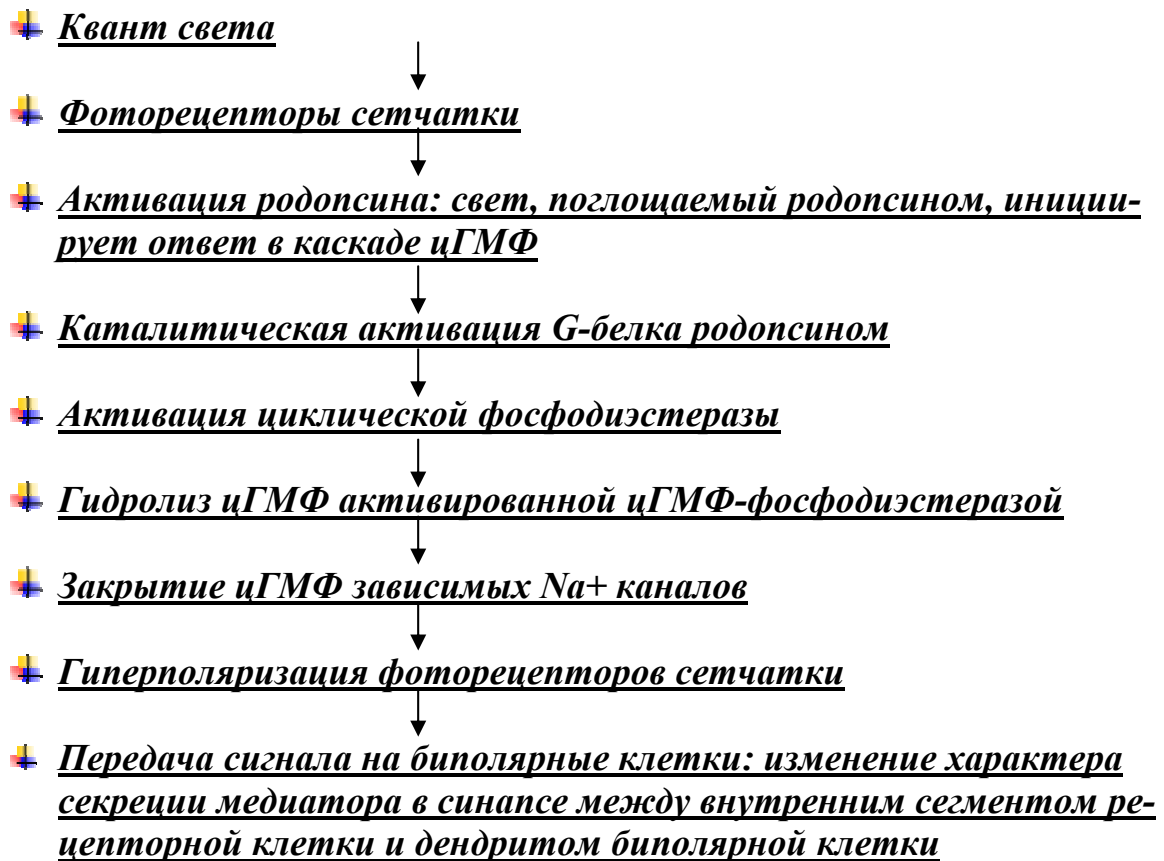


Рисунок 27 — Фотохимические процессы в палочковом аппарате сетчатки

Фрагмент фоторецепторного диска. Р — молекула родопсина; М — метародопсина II; БО — белок-обменник; ИК — ионный канал; Т — трансдуцин; ФДЭ — фосфодиэстераза; ГЦ — гуанилатциклаза; цГМФ — циклический гуанозинтрифосфат; ГМФ — гуанозинмонофосфат; ГДФ — гуанозиндифосфат; ГТФ — гуанозинтрифосфат (воспроизводится по В. М. Покровскому, 1998).

ТРАНСФОРМАЦИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ В НЕРВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ



Механизм восстановления исходного темного состояния фоторецептора связан с повышением концентрации цГМФ (в темновую фазу с участием алкагольдегидрогеназы + НАДФ). Повышение концентрации свободного цГМФ обеспечивается утратой метородопсином II способности взаимодействовать с трансдуцином и активацией фермента гуанилатциклазы (ГЦ), способного синтезировать ЦГМФ и ГТФ. Активацию этого фермента вызывает падение концентрации в цитоплазме свободного кальция из-за закрытия ионного канала мембраны и постоянной работы белка-обменника, выбрасывающего кальций из клетки. В результате всего этого концентрация цГМФ внутри клетки повышается и цГМФ вновь связывается с ионным каналом плазматической мембраны, открывая его. Через открытый канал внутрь клетки вновь начинают входить Na^+ и Ca^{2+} , деполяризуя мембрану рецептора и переводя его в «темновое» состояние. Из пресинаптического окончания деполяризованного рецептора вновь ускоряется выход медиатора.

Таким образом, поглощение света молекулами фотопигмента приводит к снижению проницаемости для Na^+ , что сопровождается гиперполяризацией, т. е. возникновением рецепторного потенциала. Гиперполяризационный рецепторный потенциал, возникший на мембране наружного сегмента, распространяется затем вдоль клетки до ее пресинаптического окон-

чания и приводит к уменьшению скорости выделения медиатора **-глутамата**. Кроме глутамата нейроны сетчатки могут синтезировать и другие нейромедиаторы, такие как **ацетилхолин, дофамин, глицин и ГАМК**.

На уровне рецепторов происходит торможение, и сигнал колбочки перестает отражать число поглощенных фотонов, а несет информацию о цвете, распределении и интенсивности света, падающего на сетчатку в окрестностях рецептора.

Фоторецепторы связаны между собой — электрическими (щелевыми) контактами. Эта связь избирательная: палочки связаны с палочками, а колбочки с колбочками.

Эти ответы от фоторецепторов сходятся на горизонтальные клетки, которые приводят к деполяризации, в соседних колбочках возникает отрицательная обратная связь, которая повышает световой контраст.

Существует три типа нейронов сетчатки — **биполярные, горизонтальные и амакриновые клетки**. Биполярные клетки непосредственно связывают фоторецепторы с ганглиозными клетками, т. е. осуществляют передачу информации через сетчатку в вертикальном направлении. Горизонтальные и амакриновые клетки передают информацию по горизонтали (рисунок 29, см. вкладыш).

Биполярные клетки занимают в сетчатке стратегическую позицию, поскольку все сигналы, возникающие в рецепторах и поступающие к ганглиозным клеткам, должны пройти через них.

Экспериментально было доказано, что **биполярные клетки имеют рецептивные поля** в которых выделяют **центр и периферию** (Джон Даулинг и др., Гарвардская медицинская школа).

Рецептивное поле — совокупность рецепторов, посылающих данному нейрону сигналы через один или большее число синапсов.

Размер рецептивных полей: **d = 10 мкм** или 0,01 мм — вне центральной ямки.

В самой ямке d = 2,5 мкм (благодаря этому мы способны различать две точки при видимом расстоянии между ними лишь 0,5 угловых минут — 2,5 мкм — если сравнить, то это монета в 5 копеек на расстоянии около 150 метров).

Начиная с уровня биполярных клеток нейроны зрительной системы дифференцируются на две группы (рисунок 30), противоположным образом реагирующие на освещение и затемнение: 1 — клетки, возбуждающиеся при освещении и тормозящиеся при затемнении — **«on»-нейроны** и 2 — клетки, **возбуждающиеся при затемнении и тормозящиеся при освещении** — **«off»-нейроны**.

Клетка с on-центром разряжается с заметно повышенной частотой. Если слушать разряды такой клетки через громкоговоритель, то сначала вы услышите спонтанную импульсацию, отдельные случайные щелчки, а затем после включения света, возникает залп импульсов, напоминающий пулеметную очередь. Наоборот, в клетках с off-реакцией (при выключении света — залп импульсов). Такое разделение сохраняется на всех уровнях зрительной системы, до коры включительно.

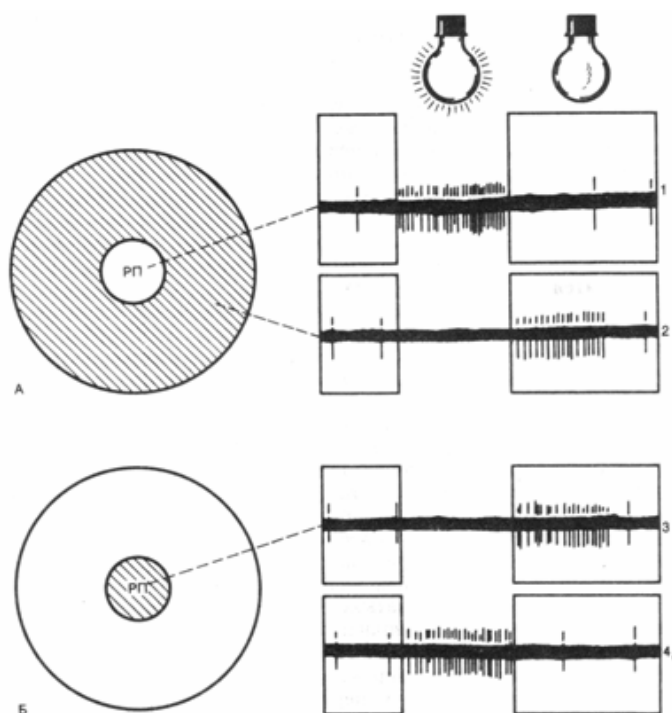


Рисунок 30 — Концентрические рецептивные поля (РП) двух ганглиозных клеток

Тормозные зоны рецептивных полей заштрихованы. Показаны реакции на включение (1 и 4) и выключение (2 и 3) света при стимуляции световым пятном центра РП (1 и 3) и его периферии (2 и 4).

А — «on»-нейроны.

Б — «off»-нейроны.

В пределах самой сетчатки передача информации осуществляется *безимпульсным путем* (распространением и трансинаптической передачей градуальных потенциалов).

В горизонтальных, биполярных и амакриновых клетках переработка сигнала происходит путем медленных изменений мембраны потенциалов (тонический ответ). ПД не генерируется.

Ответы палочек, колбочек и горизонтальных клеток являются гиперполяризирующими, а ответы биполярных клеток могут быть как гиперполяризирующие, так и деполяризирующие. Амакриновые клетки создают деполярирующие потенциалы.

Чтобы понять, почему это так, следует представить себе влияние малого светлого пятна. Рецепторы активны в темноте, а свет, вызывая гиперполяризацию, уменьшает их активность. Если **синапс, возбуждающий биполяр, будет активироваться в темноте, а инактивироваться на свету**; если же **синапс тормозной, биполяр в темноте тормозится, а на свету, выключая рецептор, снимает это торможение, т. е. биполярная клетка активируется**. Таким образом, является ли рецепторно-биполярный синапс возбуждающим или тормозным, зависит от выделяемого рецептором медиатора.

В передаче сигналов от биполярных клеток на ганглиозные участвуют горизонтальные клетки, которые передают информацию от фоторецепторов к биполярным клеткам и далее к ганглиозным.

Горизонтальные клетки отвечают на свет гиперполяризацией с ярко выраженной пространственной суммацией. Горизонтальные клетки не генерируют нервных импульсов, но мембрана обладает нелинейными свойствами, обеспечивающими безимпульсное проведение сигнала без затухания.

Клетки делятся на два типа: В и С. Клетки В-типа, или яркостные, всегда отвечают гиперполяризацией вне зависимости от длины волны света. Клетки С-типа, или хроматические делятся на двух- и трехфазные. Хроматические клетки отвечают или гипер-, или деполяризацией в зависимости от длины стимулирующего света.

Двухфазные клетки бывают либо красно-зеленые (деполяризуются красным светом, гиперполяризуются зеленым), либо зелено-синие (деполяризуются зеленым светом, гиперполяризуются синим). Трехфазные клетки деполяризуются зеленым светом, а синий и красный свет вызывает гиперполяризацию мембраны.

Амакриновые клетки регулируют синаптическую передачу на следующем этапе от биполяров к ганглиозным клеткам. Дендриты амакриновых клеток разветвляются во внутреннем слое, где контактируют с отростками биполяров и дендритами ганглиозных клеток. На амакриновых клетках оканчиваются центробежные волокна, идущие из головного мозга.

Амакриновые клетки генерируют градуальные и импульсные потенциалы (фазный характер ответа). Эти клетки отвечают быстротекущей деполяризацией на включение и выключение света и демонстрируют слабый пространственный антагонизм между центром и периферией.

Выходными элементами сетчатки являются ганглиозные клетки.

В сетчатке на **110–123 млн палочек** и **6–7 млн колбочек** приходится около 1,6 млн ганглиозных клеток. В среднем на одну ганглиозную клетку конвергирует **60 палочек** и **2 колбочки**.

Ганглиозная клетка сетчатки — это первый нейрон «классического» типа в прямой цепи передачи информации от фоторецепторов к мозгу.

Возбуждение ганглиозных клеток сетчатки приводит к тому, что по их аксонам (волоконкам зрительного нерва) в мозг устремляются нервные импульсы.

Различают 3 типа ганглиозных клеток. Среди ганглиозных клеток выделяют:

I. Тонические нейроны (X-нейроны — 55 %), которые возбуждаются адекватно световыми стимулами и отвечают в течение всего времени действия стимула.

II. Фазические (Y-нейроны — 5%) — самые крупные ганглиозные клетки, *кратковременный ответ длиной в несколько секунд, реагируют на движущиеся стимулы.*

III. W-нейроны (составляют 40 % от общего числа). Получают сигналы от палочек и отвечают за сумеречное зрение.

В рецептивном поле ганглиозных клеток выделяют центр и периферию (**on**-реакция), (**off**-реакция), (**on-off**-реакции).

То есть клетки (см. рисунок 26), противоположным образом реагирующие на освещение и затемнение: 1 — клетки, возбуждающиеся при освещении и тормозящиеся при затемнении «**on**»-нейроны; 2 — клетки возбуждающиеся при затемнении и тормозящиеся при освещении — «**off**»-нейроны.

Антогонистическая организация РП ганглиозных полей обусловлена наличием 2-х путей проведения в сетчатке.

Центр обладает максимальной световой чувствительностью, а на краю чувствительность снижается.

Реакции на возбуждение центра связана с вертикальным путем проведения от фоторецептора к биполярным клеткам и далее к ганглиозным.

Реакции на раздражение периферии обусловлены горизонтальным путем проведения.

Конвергенция и дивергенция связей в сетчатке составляют основу рецептивных полей ганглиозных клеток сетчатки.

7. ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММА

С 1945 г. электроретинография (ЭРГ) заняла особое место среди функциональных методов исследования в клинике глазных болезней [Karger G., 1945]. Наряду с общеизвестными физиологическими и психофизическими методами, с помощью которых получают данные о функции зрительного анализатора на всем протяжении зрительного пути от сетчатки до центральных отделов, ЭРГ применяют для количественной оценки функционального состояния нейронов сетчатки, более точного определения локализации патологического процесса.

ЭРГ представляет собой графическое отображение изменений биоэлектрической активности клеточных элементов сетчатки в ответ на световое раздражение. В фоторецепторах происходит трансформация световой энергии в нервное возбуждение. В рецепторах, а затем в нейронах сетчатки генерируются электрические потенциалы, возникающие при увеличении или уменьшении количества света.

Суммарный электрический ответ сетчатки на свет носит название **электроретинограммы**. Он может быть зарегистрирован от целого глаза или же непосредственно от сетчатки. Для записи электроретинограммы один электрод помещают на поверхности роговой оболочки, а другой прикладывают к коже лица вблизи глаза или на мочке (рисунок 31, см. вкладыш).

В суммарной электроретинограмме различают несколько типов волн: (**a**, **b**, **c**, **d**) (рисунок 32).

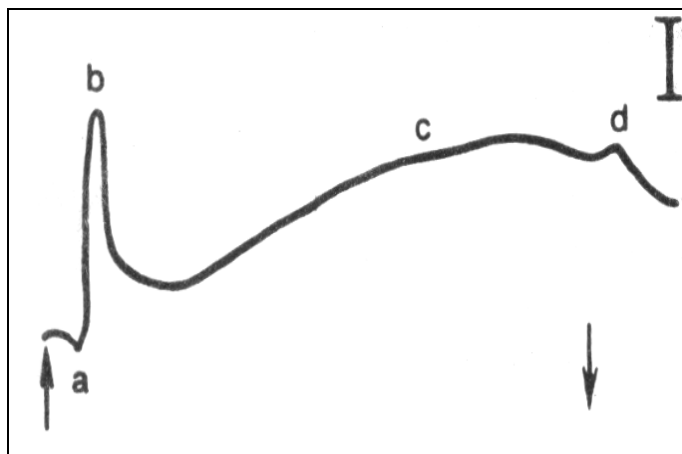


Рисунок 32 — Электроретинограмма (по Граниту)

a — электроотрицательные колебания отражают суммацию потенциалов возникающих в фоторецепторах и горизонтальных клетках;

b — отражает изменение мембранных потенциалов глиальных клеток (мюллеровых клеток) сетчатки ионами калия при возбуждении биполярных и амакриновых нейронов;

c — отражает биопотенциалы пигментных клеток при «включении света» (on-эффект);

d — горизонтальных клеток фоторецепторов (и биполярных клеток) при «выключении света» (off-эффект) (она тем больше, чем длительнее действовал свет).

Общая ЭРГ отражает электрическую активность большинства клеточных элементов сетчатки и зависимость от количества здоровых функционирующих клеток. Каждый компонент ЭРГ генерируется различными структурами сетчатки. Результатом взаимодействия электрической активности нескольких процессов являются **a**-, **b**-, **c**-волны.

ЭРГ глаза человека содержит негативную **a**-волну, отражающую функцию фоторецепторов как начальную часть позднего рецепторного потенциала. На нисходящей части **a**-волны можно видеть две волночки очень маленькой латентности — ранние рецепторные потенциалы (РРП), отражающие цикл биохимических превращений родопсина. Волна **a** имеет двойное происхождение соответственно двум видам фоторецепторов. Более ранняя **a**₁-волна связана с активностью фотопической системы сетчатки, **a**₂-волна — со скотопической системой. Волна **a** переходит в позитивную **b**-волну, отражающую электрическую активность биполяров и клеток Мюллера с возможным вкладом горизонтальных и амакриновых клеток.

Волна **b**, или **on-эффект**, отражает биоэлектрическую активность в зависимости от условий адаптации, функции фотопической и скотопической системы сетчатки, которые представлены в позитивном компоненте

волнами b_1 и b_2 . Большинство исследователей, связывая происхождение **b-волны с активностью биполяров и клеток Мюллера**, не исключают вклад ганглиозных клеток сетчатки. На восходящей части **b-волны** отмечается 5–7 волночек, называемых осцилляторными потенциалами (ОП), которые отражают взаимодействие клеточных элементов во внутренних слоях сетчатки, в том числе, амакриновых клеток.

При прекращении действия стимула (выключение света) регистрируется **d-волна (off-эффект)**. Эта волна, последняя фаза ЭРГ, является результатом взаимодействия **a-волны** и компонента постоянного тока **b-волны**. Эта волна — зеркальное отражение **a-волны** — имеет фотопическую и скотопическую фазы. Она лучше регистрируется в случае преобладания в сетчатке колбочковых элементов. Таким образом, считается, что главным источником **a-волны** в ЭРГ позвоночных являются фоторецепторы, как колбочки, так и палочки.

Следующее медленное позитивное отклонение с быстрым (45 сек) и медленным (12 мин) пиками осцилляций названо **c-волной**, которая может быть выделена лишь при использовании стимулов, непрерывно предъявляемых, высокой интенсивности и большой длительности в темноадаптированном глазу. Это транспигментный потенциал эпителия, медленный позитивный потенциал внеклеточного тока, образующийся в связи с изменением концентрации калия, который выделен при введении микроэлектрода в субретинальное пространство. Регистрация этого медленного потенциала осуществляется непрямым способом с помощью электроокулографии. В настоящее время существует мнение, что позитивный компонент **c-волны**, генерируемой в слое пигментного эпителия, представляет собой разницу в гиперполяризации между апикальной и базальной мембранами, возникающий в процессе световой стимуляции, а негативный компонент регистрируется от клеток Мюллера. Так как **c-волна** ЭРГ сохраняется при отсутствии пигментного эпителия, ее происхождение связывают с активностью фоторецепторных клеток, субстанциями, отвечающими за световой пик (ЭОГ), трансмиттерами (мелатонин, допамин) фоторецепторов. Однако **c-волна** ЭРГ не может быть зарегистрирована без нормальных физических и биохимических связей между пигментным эпителием и наружными сегментами фоторецепторов, обновление дисков, фотохимических превращений зрительных пигментов и нормального питания сетчатки. Отделение пигментного эпителия от наружного сегмента фоторецепторов, отслойка сетчатки, приводит к функциональной несостоятельности сетчатки, сопровождающейся нерегистрируемой ЭРГ.

Существует ряд критериев, обуславливающих необходимость проведения электрофизиологических исследований в клинике глазных болезней:

1. Необходимость оценки функционального состояния сетчатки в тех случаях, когда определить зрительные функции обычным методом невоз-

можно, а глазное дно не офтальмоскопируется, при помутнении сред глаза, гемофтальме. Проведение электроретинографических исследований особенно ценно для решения вопроса о целесообразности хирургического лечения заболевания.

2. Диагностика заболеваний сетчатки, так как в ряде случаев измерения ЭРГ являются патогномоничными симптомами заболевания.

3. Оценка глубины, распространенности, степени поражения сетчатки и его локализации.

4. Изучение звеньев патогенеза заболеваний сетчатки и зрительного нерва.

5. Дифференциальная диагностика заболеваний сетчатки и зрительного нерва различного генеза.

6. Диагностика начальных функциональных изменений сетчатки, предшествующих клиническим проявлениям заболевания (медикаментозная интоксикация, диабетическая ретинопатия, сосудистые нарушения и пр.)

7. Необходимость определения прогноза течения патологического процесса, контроль за его эволюцией.

8. ПРОВОДНИКОВЫЕ И ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗВЕНЬЯ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

Из сетчатки зрительная информация по волокнам зрительного нерва (II-пара черепных нервов) устремляется в мозг. Благодаря круглой форме полей ганглиозных клеток сетчатки происходит точечное описание сетчатого изображения, также и в подкорковых структурах происходит взаимодействие — повышение или снижение сигналов от рецепторов к мозгу.

Таким образом, зрительная информация передается в мозг через *аксоны ганглиозных клеток* сетчатки, которые *образуют зрительный нерв*. Правый и левый зрительные нервы сливаются у основания черепа и образуют хиазму (рисунок 33, см. вкладыш). Здесь часть волокон каждого зрительного нерва переходит на противоположную от своего глаза сторону.

Нервные волокна, идущие от *носовых (назальных) половин* обеих сетчаток, пересекаются и переходят на противоположную сторону. Волокна, идущие от *височных (темпоральных) половин* каждой сетчатки, продолжают *идти с той же стороны (инсилатерально)* объединяясь вместе с перекрещенным пучком аксонов из контрлатерального зрительного нерва и образуют зрительный тракт. **В результате в правом таламусе оканчиваются волокна от правых половин каждого глаза в левом от левых.**

Зрительный тракт приводит к первым зрительным станциям **латеральным коленчатым телам и верхним бугоркам четверохолмия**. Их аксоны проходят через заднюю часть внутренней капсулы, образуя в белом веществе полушарий мозга **зрительную лучистость** и заканчиваются **в коре затылочной доли мозга по краям ипсорной борозды (поля 17, 18, 19**

по Бродману). Края шпорной борозды является корковым концом зрительного анализатора. Считают, что первичная проекционная область (17-е поле) осуществляет специализированную, но более сложную, чем в сетчатке и в наружных колленчатых телах, переработку информации. Предполагается, что информация, выделенная нейронами первичного поля 17, далее передается для обработки во вторичную (поле 18) и третичную (поле 19) области коры. В каждом участке коры по глубине сконцентрированы нейроны, которые образуют колонку, проходящую через все слои вертикально. При этом происходит функциональное объединение нейронов, выполняющих сходную функцию. Разные свойства зрительных объектов (цвет, форма, движение) обрабатываются в разных частях зрительной коры большого мозга параллельно.

Зрительная кора организована ретинотопически: расположение какого-либо из нейронов в этой коре соответствует локализации его рецептивного поля в сетчатке.

Корковые нейроны могут быть разделены не только по рецептивным полям и **по глазодоминантности** и по **чувствительности к движению**.

9. ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ

Цветное зрение человека играет огромное значение для многих сторон его жизни, часто придавая ей эмоциональную окраску. Поэт Гете писал «Желтый цвет радует глаз, расширяет сердце, бодрит дух, и мы сразу ощущаем тепло. Синий цвет, наоборот представляет все в печальном виде».

Цветное зрение подобно остроте зрения является функцией колбочкового аппарата, а, следовательно, зависит от состояния макулярной области сетчатки. Развитие цветного зрения идет параллельно остроте зрения, но обнаружить его наличие удастся значительно позже. Первая более или менее отчетливая реакция на яркие красные, желтые или зеленые цвета появляется у ребенка к 6 месяцам жизни. Нормальное формирование цветного зрения зависит от условий освещенности. Если новорожденного содержать в помещении с плохой освещенностью, то развитие соответственно задержится. Кроме того, развитие цветного зрения обусловлено развитием условнорефлекторных связей.

Человек может различать примерно 7 миллионов различных цветовых оттенков. Все многообразие зрительных ощущений может быть разделено на две группы: **1 — ахроматическое** — восприятие белого, черного, серого цвета от самого светлого до самого темного и **2 — хроматическое** — восприятие всех цветов. Хроматические цвета различают по тону, светлоте, насыщенности. **Цветовой** тон определяется длиной волны излучения. **Насыщенность** — качество, под которым понимают интенсивность цветового тона, слабую или сильную окрашенность. **Светлоту** характеризуют как безразмер-

ную величину, используемую для количественной оценки различий между световыми ощущениями от двух смежных одноцветных поверхностей. Человеческий глаз может различить около 13000 цветовых оттенков.

Человеческий глаз способен видеть цвета от 396 до 760 нм. Невидимыми считаются лучи с длиной волны более короткой — ультрафиолетовые и длинноволновые инфракрасные.

Обычно цветовые ощущения вызываются не монохроматическим лучом с определенной длиной волны, а совокупностью лучей с различной длиной волны. Однако, глядя на любой цветной объект, глаз видит не каждую точку его многоцветной, а замечает один результирующий цвет, подчиняясь законам смешения цветов. Смешение цветов происходит не только тогда, когда оба цвета посылают в один глаз, но и тогда, когда в один глаз направляют монохроматический свет одного цвета, а во второй — другого. Бинокулярное смешение цветов говорит о том, что основную роль в его осуществлении играют центральные, а не периферические процессы.

Трихроматичность цветового зрения. Представление о существовании в сетчатке нормального человеческого глаза трех цветовых рецепторов, которые различаются преимущественной цветовой чувствительностью к одному из трех основных цветов и вместе с тем способны воспроизвести все многоцветие окружающего мира, связывают с именами М. В. Ломоносова, Т. Юнга и Г. Гельмгольца.

Экспериментальные подтверждения справедливости гипотезы о существовании трех классов колбочек получены лишь в середине XX столетия благодаря возможностям в то время новых методов отраженной денситометрии и микроспектрофотометрии.

В настоящее время установлено наличие трех типов колбочек, содержащих различные пигменты с пиком спектральной чувствительности в зоне 570–590, 535–555 и 440–450 нм соответственно. Чувствительность каждого из зрительных пигментов резко снижается на длинноволновой стороне пика, но уменьшение чувствительности к данной волне компенсируется включением соседнего фоторецептора. Достаточно близкие данные спектральной чувствительности были получены при микроспектрофотометрии: 549–570 нм; 522–539 нм; 414–424 нм для каждого класса рецепторов [Dartnall H. et. al., 1983].

Трехрецепторная теория цветового зрения Гельмгольца подтверждалась тем, что цветность любой длины волны можно составить, смешивая в определенных пропорциях три монохроматических цвета: **400–450, 510–520, 630–700 нм**. Правильность представлений о смеси цветов определяется нормальным состоянием как соответствующих колбочек в сетчатке, так и нейронов зрительных центров.

Цвет имеет три основных показателя: **тон (оттенок), интенсивность и насыщение.**

Цветовой тон определяется длиной волны излучения.

Насыщенность — качество, под которым понимают интенсивность цветового тона, слабую или сильную окрашенность.

Светлоту характеризуют как безразмерную величину, используемую для количественной оценки различий между световыми ощущениями от двух смежных одноцветных поверхностей.

Видимый нами спектр электромагнитных излучений заключен между коротковолновым (**длина волны от 400 нм**) излучением, которое мы называем фиолетовым цветом, и длинноволновым излучением (**длина волны до 700 нм**), называемым красным цветом. Остальные цвета видимого спектра (синий, зеленый, желтый, оранжевый) имеют промежуточные значения длины волны. Смещение лучей всех цветов дает белый цвет. Если произвести смещение трех основных цветов — красного, зеленого и синего, то могут быть получены любые цвета.

Теории цветоощущения

Цветовосприятие — функция колбочек. Наибольшим признанием пользуется **трехкомпонентная теория механизма** восприятия цветов (*теория Ломоносова - Юнга (Янг) - Гельмгольца*). Согласно этой теории, в сетчатке глаза размещены **три различных типа колбочек**, из которых каждый обладает совершенно определенной спектральной чувствительностью. Одни чувствительны к **красному цвету** (λ_{\max} **559 нм**), другие — к **зеленому** (λ_{\max} **531 нм**), а третьи — к **синему (фиолетовому)** (λ_{\max} **419 нм**). Всякий цвет оказывает действие на все три цветоощущающих элемента, но в разной степени.

Эти возбуждения суммируются зрительными нейронами и, дойдя до коры, дают ощущение того или иного цвета.

Согласно другой теории — теории **оппонентных цветов**, предложенной **Эвальдом Герингом в XIX веке** (во многих сенсорных системах используют **оппонентные пары**: тепло/холод; черное/белое и т. д.).

Для доказательства использовался метод микроспектрофотометрических изменений одиночных колбочек. Геринг предположил, что имеются четыре основных цвета — **красный, желтый, зеленый и синий** — и что они попарно связаны с помощью двух антагонистических механизмов: **зелено-красного** механизма и **желто-синего** механизма. Предполагается такой же механизм для ахроматических дополнительных цветов **белого и черного**. Из-за полярного характера восприятия этих цветов Геринг назвал эти цветовые пары «**оппонентными цветами**».

Из его теории следует, что не может быть таких цветов, как «зеленовато-красный» и «синевато-желтый». Таким образом, теория оппонентных цветов постулирует наличие антагонистических цветоспецифических нейронных механизмов.

Стимуляция одного из оппонентов вызывает возбуждение (или торможение), тогда как стимуляция другого — противоположные эффекты (торможение или возбуждение, соответственно). Если нейрон **возбуждается** под действием **зеленого светового** стимула, то **красный стимул должен вызывать его торможение** (рисунок 34, см. вкладыш). Следовательно, когда стимулы сбалансированы (например, поступает соответствующее количество красного и зеленого цветов), разные компоненты такого канала отключаются, и система формирует ощущение желтого цвета. Такая обработка информации начинается, по-видимому, еще в сетчатке, но затем продолжается в наружном колленчатом теле и зрительной коре.

В настоящее время признаются обе теории — так как при использовании микроэлектродных отведений было доказано, что импульсы в ганглиозных клетках могут возникать в следующих случаях: (при действии любого света (*доминаторы*) и при освещении только одним светом (*модуляторы*)).

Установлено **7 типов модуляторов** оптимально реагирующих на свет с разной длиной волны (от 400 до 600 нм).

НАРУШЕНИЯ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

Различные патологические изменения, нарушающие цветовосприятие, могут происходить на уровне зрительных пигментов, на уровне обработки сигналов в фоторецепторах или в высших отделах зрительной системы, а также в самом диоптрическом аппарате глаза.

ДАЛЬТониЗМ

Цветовая слепота — дальтонизация. Частично была описано **в конце XVIII века физиком Д. Дальтоном**. Он сам страдал цветовой слепотой (поэтому аномалию цветовосприятия называли дальтонизмом). Дальтонизм встречается у **5–8 % мужчин** и намного реже у **женщин (0,4 %)**: возникновение его связывают с отсутствием определенных генов в определяющей пол, непарной у мужчин X-хромосоме. Для диагностики дальтонизма используют специальные полихромные таблицы (*Рабкина или Ишихара*).

Люди, страдающие этим заболеванием, не могут быть полноценными водителями транспорта, так как сохраняется два фоторецептора дихроматического зрения.

Существует три разновидности дальтонизма, каждая из них характеризуется отсутствием восприятия одного из трех основных цветов.

1. *Протанопия* — не воспринимается красный цвет, краснопелые, сине-голубые лучи кажутся им бесцветными.

2. *Дейтеранопия* — зеленый, не отличают зеленые цвета от темно-красного и голубого.

3. **Тританопия** — не воспринимает лучи синего и фиолетового цвета. Встречается редко.

Встречается и полная цветовая слепота — **ахромазия** — *видят оттенки серого, поражается колбочковый аппарат.*

10. ОСТРОТА ЗРЕНИЯ

Острота зрения характеризует так называемое центральное зрение, т. е. такое состояние, когда достигающий сетчатки луч света фокусируется на желтом пятне и все детали предмета и его цвет ясно видны.

Однако острота зрения является одним из основных критериев оценки способности к зрительному анализу форм, размеров, структуры и ориентации объектов в пространстве, а *visible* относится к числу обязательных методик функциональных исследований органа зрения.

Нередко стимулом для фиксации взора на каком-либо объекте оказывается его внезапное появление в поле зрения или его продолжающееся движение. Таким образом, сигнал с периферии сетчатки, которая с помощью палочковой рецепции способна ответить на вопрос: «Где?», заставляет повернуть глаз в нужном направлении и при включении колбочкового аппарата дать ответ не более сложный вопрос: «Что?».

В этом едином процессе можно выделить три ступени зрительного анализа структуры, ориентации и формы предметов: 1) способность заметить присутствие объекта (*minimum visible*); 2) способность разглядеть структуру объекта в деталях (*minimum separable* или *minimum resolvable*) и 3) способность опознать, идентифицировать зрительный образ в соответствии с ранее известными представлениями об объектах внешнего мира (*minimum cognoscible*). На третьей ступени также анализируется относительное взаиморасположение видимых образов (*spatial minimum discriminable*) и оценивается их форма по контуру (*minimum deformable*).

Minimum visible — способность заметить стимул минимального размера, нарушивший непрерывность обозримого гомогенного пространства, характеризует абсолютный порог форменного зрения. Давно известно, что линейные предметы легче заметить, чем точечные. Так, черный волос толщиной 0,12 мм можно увидеть на белом фоне с расстояния до 12 м, т. е. при зрительном угле 2" [Burchardt D., 1869], но если на листе белой бумаги изобразить точку сходного диаметра (0,1 мм), то она будет заметна только с 0,6 м, при этом пороговый зрительный угол увеличится до 16". Если рядом с первой точкой поместить еще несколько таких же точек с интервалом 0,1 мм, то с прежнего расстояния уже не удастся различить промежутки между ними. Для того чтобы увидеть отдельно каждую из этих точек, нужно поднести лист бумаги еще ближе к глазу (до 0,16 м), при этом пороговый зрительный угол увеличится до 1', но это уже следующая ступень форменного зрения — собственно острота зрения (*minimum separable*).

Парадоксальная способность замечать протяженный объект, толщина которого меньше разрешающей способности колбочковых рецепторов [Westheimer G., 1979], объясняется следующим образом. Тончайшая линия шириной 1" по дуге, спроецированная оптической системой глаза на равномерно освещенной сетчатке, может стать видимой, поскольку благодаря расфокусировке ее изображение достигает значительной ширины. Однако еще важнее контрастность. Линия, оставаясь инвариантной по форме, будет заметна только в том случае, если яркостные различия (ΔI) между ее изображением и адаптационным фоновым освещением сетчатки (I) достигнут пороговой для восприятия контраста величины ($\Delta I/I$).

Minimum separable — способность разглядеть структуру объекта или собственно острота зрения.

Первыми простейшими опто типами для определения minimum separable были полосчатые знаки, состоявшие из чередующихся черных и белых линий.

Minimum cognoscible — способность опознать зрительный образ, оценив, в частности, его пространственную локализацию. Включающаяся при этом сверхвысокая острота зрения (hyperacuity) характеризует minimum deformable. Зрительные образы, как простые, так и сложные, опознаются благодаря не только непосредственному восприятию, но и зрительной памяти человека, а также его умственному развитию. При исследовании этой интегральной функции обязательно используют психофизические методы.

Острота зрения — максимальная способность различать отдельные объекты, ее определяют по наименьшему расстоянию между двумя точками, которые глаз различает, т. е. видит отдельно, а не слитно.

Нормальный глаз различает две точки, видимые под углом в 1 минуту. Угол в одну минуту принимается обычно в практике в качестве нормы остроты зрения (при правильной фиксации глазами точечного объекта его изображения попадают в центральные ямки обоих глаз.)

Обычно врачи определяют остроту зрения в зоне фиксации, предлагая пациенту фиксировать глазами некоторую стандартную цель. Наиболее общим способом определения остроты зрения вычисление отношения Снеллена: $V = d / D$ где d — расстояние, на котором данный стимул может быть опознан; D — расстояние, с которого данный стимул виден как объект с угловыми размерами в 1 угловую минуту.

— Таблица помещается на стандартном расстоянии, обычно 5 метров, а D вычисляется по величине наименьшей строчки букв, которые пациент может прочитать. Либо в таблицах Сивцева определяют самую последнюю из строк, буквы которой испытуемый смог правильно прочесть - эта строка используется для определения остроты зрения. Вначале не существовало единой методики определения остроты зрения, и оно обозначалось по объективному состоянию больного. В 1862 г. Дондерс предложил считать единицей измерения остроты зрения угол в 1 мин, а Снеллен — способ определения остроты зрения в таблицах, построенных на принципе нахождения наи-

меньшей величины изображения, видимой глазом. Для этого авторы использовали определенную зависимость между величиной видимого предмета и расстоянием, на котором он находится от исследуемого. Совершенно очевидно, что величина изображения предмета на сетчатке будет тем больше, чем больше предмет и чем ближе он находится к глазу.

Под нормальной остротой зрения понимается способность глаза различать отдельно две светящиеся точки под углом зрения в 1 мин.

Это значит, что глаз только в том случае видит отдельные предметы, если их изображение на сетчатке имеет протяжение не меньше, чем дуга угла в 1 мин. Расчеты показали, что этому углу соответствует линейная величина в 0,006 мм. Следовательно, нормальный глаз увидит две светящиеся точки отдельно, если расстояние между их изображением на сетчатке будет не меньше 0,004 мм, что приблизительно соответствует диаметру одной колбочки. В соответствии с общефизиологическим законом, по которому отдельные ощущения возникают при условии, что два раздраженных концевых элемента разделены не менее чем одним, остающимся в покое, очевидно, что отдельное восприятие двух светящихся точек возможно, если между двумя возбужденными колбочками одна остается в покое. Так как каждая колбочка является наименьшим элементом ощущения света, то ясно, что если на одну колбочку или на две рядом стоящие упадут два луча, возникает ощущение одной точки. Только в том случае если между ними одна колбочка остается в покое, получится восприятие двух отдельных точек.

Центральное зрение осуществляется желтым пятном сетчатки, его центральной ямкой, где сосредоточено максимальное количество колбочек. На расстоянии всего 10 градусов от центральной ямки острота зрения равна 0,2. Острота зрения, равная 1,0 не является предельной. Существуют племена, у представителей которых острота зрения равна 6,0. Гумбольдт у одного сапожника нашел феноменальную остроту зрения, равную 60,0 ед., этот человек мог видеть спутник Юпитера. В литературе описан случай, когда юноша-пастух мог сосчитать рога оленей на расстоянии 20 км. В связи с недостаточностью дифференцировки зрительного анализатора у детей в первые дни, недели, месяцы жизни острота зрения низкая. Она развивается постепенно и достигает максимума к 5 годам. Зрение ребенка первых месяцев жизни считается гипоталамическим, примитивным светоощущением. Развитие зрительного восприятия проявляется у новорожденных первых месяцев жизни в виде слежения. Это врожденная функция самая примитивная.

Предметное зрение начинает обнаруживаться у детей в возрасте 2–3 месяцев. К 6–8 месяцам ребенок начинает различать геометрические фигуры, к 2 годам различает рисунки. В трехлетнем возрасте острота зрения, равная 1,0 наблюдается в 5–10 %, в 5 лет у 45–55 % детей.

Определение остроты зрения проводится субъективным и объективным способом. Субъективным способом — таблицы ГОЛОВИНА-СИВЦЕВА, СНЕЛЛЕНА, кольца ЛАНДОЛЬТА объективный-нистагмоаппарат (рисунок 35).

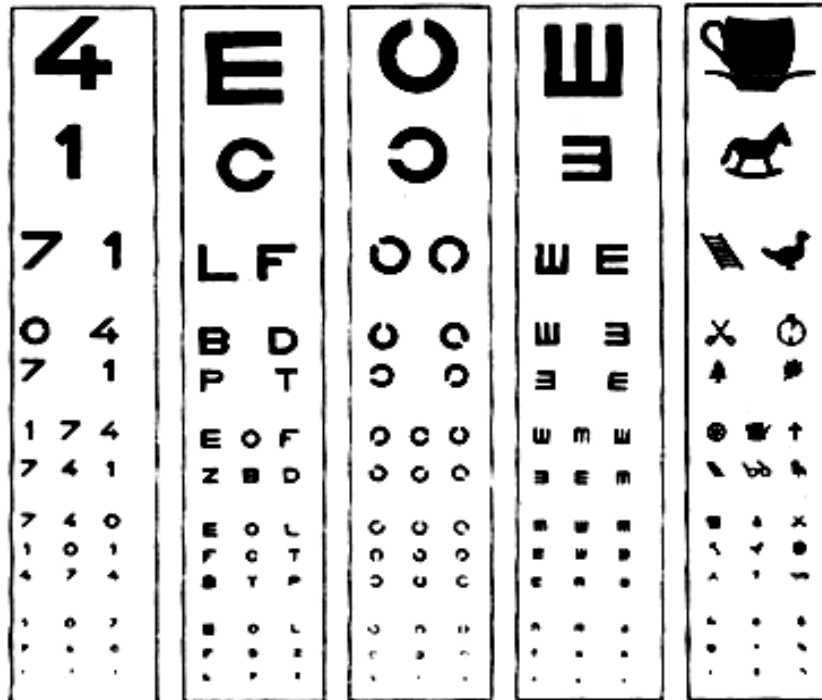


Рисунок 35 — Таблицы для определения остроты зрения

11. ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ

Периферическое зрение — функция остальных отделов сетчатки, кроме желтого пятна. Периферическое зрение определяется полем зрения пространством, видимым глазом, при условиях неподвижной фиксации глаза и головы. Большое значение в клинике имеет исследование поля зрения, ибо многие заболевания зрительного анализатора и центральной нервной системы сопровождаются его изменениями, своей характеристикой помогающими ранней диагностике, изучению динамики процесса и определению ее прогноза. Принцип исследования поля зрения заключается в том, что при неподвижном исследуемом глазе (и голове) определяются границы видимого испытуемым белого или цветного объектов периферией сетчатки.

Методы определения поля зрения:

1. Контрольный способ Дондерса.

2. Кампиметрия — исследование поля зрения на плоскости (Грефе, 1855 г.)

Учитывая, что кампиметрия есть проекция сферической поверхности сетчатки на плоскость. Она не дает возможность определить периферические границы поля зрения, она используется для определения границ слепого пятна, а также размеров дефектов поля зрения — центральных и парацентральных скотом.

3. Периметрия — проекция поля зрения на сферическую поверхность.

Границы поля зрения: на белый цвет: наружная — 90° ; внутренняя — 65° ; верхняя — 50° ; нижняя — 70° (рисунок 36, см. вкладыш).

С использованием объектов разной величины и яркости возможно дифференцированное исследование, так называемая квантитативная, или количественная периметрия.

Периметрия помогает установлению локализации болезненного очага в глазу, проводящих путях, нервных центрах. Все симптомы поля зрения можно разделить на 3 группы:

- 1) очаговые дефекты, или скотомы;
- 2) краевые дефекты или сужение поля зрения;
- 3) половинчатые дефекты, или гемианопсии.

Скотомой называется выпадение поля зрения на ограниченном участке. В зависимости от интенсивности дефекта они бывают *абсолютными и относительными*.

Абсолютная скотома — дефект поля зрения, в котором полностью исчезает восприятие объекта.

Относительная скотома, в зоне которой объект виден неясно. Скотомы замечает больной в виде темного пятна перед глазом при локализации процесса в нем (положительные) либо они выявляются при исследовании поля зрения (отрицательные).

Последние бывают результатом изменений в проводящих зрительных путях. Исключение составляет мерцательная скотома — кратковременные припадки затемнения зрения, заметные больным, но зависящие от расстройств мозгового кровообращения. Для скотом, связанных с поражением сетчатки, характерны жалобы больных на искажение формы предметов (метоморфопсии) и изменения их величены (ретиальная микро- и макропсия).

По локализации различают следующие виды скотом: центральные — сопутствуют центральному хориоретиниту, дегенерации сетчатки, поражению папило-макулярного пучка зрительного нерва, рассеянному склерозу и др.

Парацентральные скотомы возникают в начальной стадии при тех же заболеваниях.

Кольцевидная скотома окружает центральный участок сетчатки и бывает следствием различных заболеваний с поражением задних ресничных артерий или расстройством кровообращения в мозгу. Наблюдаются эти скотомы при пигментных заболеваниях сетчатки, хориоретинитах и заболеваниях ЦНС.

Секторообразная скотома с вершиной сектора выпадения до центра поля зрения достигает 90°. Она характерна для закупорки одной из ветвей ЦАС.

Периферические скотомы, нередко множественные, вызываются рассеянными очаговыми изменениями в сетчатой и сосудистой оболочках при диссеминированом хориоидите, кровоизлияниях в сетчатку и др.

Сужения поля зрения бывают различными.

Равномерное концентрическое сужение возникает при пигментном перерождении сетчатки, периферических, хориоретинитах, невритах и атрофиях зрительного нерва, в исходе глаукомы, при функциональных заболеваниях нервной системы и др.

Гемианопсии — двустороннее выпадение половины поля зрения или его симметричные дефекты, возникающие в связи с полуперекрестом зрительных путей. Различают гомонимные и гетеронимные гемианопсии.

Гомонимная гемианопсия — выпадение в одном глазу височной, а в другом носовой половины поля зрения, так что в каждом глазу отсутствует восприятие в одноименной правой или левой половине. Гемианопсия может быть полной, когда выпадает вся половина поля зрения, или **частичной, квадратной**.

Гетеронимная гемианопсия наступает при поражении внутренних перекрещенных или наружных неперекрещенных волокон зрительных трактов и характеризуется выпадением наружных (битемпоральные) или внутренних половин поля зрения (биназальная).

Битемпоральная гемианопсия возникает при поражении перекрещенных волокон, находящихся в центре хиазмы, и является частичным симптомом опухолей гипофиза, основной кости, базиллярного сифилиса.

Биназальная гемианопсия — выпадение носовых половин поля зрения, возникающее при наличии двух очагов, расположенных в боковых углах хиазмы и вызывающих сдавление или разрушение неперекрещенных пучков зрительных трактов или в случае склероза внутренней сонной артерии.

Особое место занимает исследование слепого пятна — физиологической скотомы или место выхода зрительного нерва из глаза.

12. СВЕТОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И АДАПТАЦИЯ И ИНЕРЦИЯ

СВЕТООЩУЩЕНИЕ — наиболее ранняя функция органа зрения в филогенезе. Светоощущение обусловлено функцией палочек в результате обратимой фотохимической реакции (распад молекул зрительного вещества).

Светоощущение характеризуется порогом раздражения (восприятие минимального светового потока) и порогом различия (различной минимальной разницы в освещении). **Одной из важных особенностей сумеречного зрения является его бесцветность.** Поскольку при низких освещенностях колбочки не функционируют, то цвета ночью не воспринимаются. В силу этого сумеречное и ночное зрение ахромотично, что хорошо отражено в русской поговорке «Ночью все кошки серы». **Второй особенностью сумеречного зрения является изменение светлоты (яркости) цветов.** При резком понижении освещенности не только не воспринимается цветовой тон, но изменяется его светлота. Днем наиболее светлым кажется зеленовато-желтый цвет, при сумеречном же освещении — зеленый. Это явление носит название феномена Пуркинье. «Теплые» цветовые тона (красный, оранжевый, желтый) в сумерках кажутся более темными, а хо-

лодные (голубые, синие, зеленые) — более светлыми. Общеизвестен пример с цветками мака и василька. Днем их светлота почти одинакова, но цветок красного мака кажется более ярким, чем скромный василек, а в сумерках красный цвет мака кажется почти черным, а василек выделяется в темноте. Явление Пуркинье широко используется в науке и светомаскировке.

Третья особенность сумеречного зрения — его периферический характер. Наиболее интересной и всесторонне важной для человека является четвертая особенность сумеречного зрения — световая и темновая адаптация.

Световая адаптация т. е. приспособление органа зрения к условиям более высокой освещенности, обычно протекает очень быстро. При переходе из темноты к яркому свету весь процесс приспособления длится 50–60 секунд. Чем ярче свет, тем дольше время в секундах для световой адаптации. Механизм адаптации связан с синтезом зрительных пигментов и результате переключения связей между элементами сетчатки. На процессы адаптации оказывает влияние ЦНС, а также звуковые, обонятельные и вкусовые сигналы. Если сочетать действие света на адаптированный к темноте глаз со звуком звонка, после ряда сочетаний, то только одно включение звонка вызывает изменение чувствительности сетчатки какое наблюдается при включении света (выработка условного рефлекса — роль коры). Вегетативная система также может оказывать влияние на адаптацию.

Темновая адаптация глаза есть приспособление органа зрения к работе в условиях пониженного освещения. Резко выраженные расстройства темновой адаптации приводят к потере больными ориентации в пространстве в условиях сумеречного освещения. Это явление носит название гемералопия. Различают три вида гемералопии.

Симптоматическая гемералопия встречается при пигментной дегенерации сетчатки, отслойке сетчатки, воспалительных поражениях зрительного нерва, сосудистой оболочки, глаукоме и т. д.

Функциональная гемералопия возникает вследствие недостатка или отсутствия витамина А.

Врожденная гемералопия. Темновая адаптация определяется при помощи аппарата — адаптора.

Контрастная чувствительность

Предмет воспринимается человеком в зависимости от фона (серая полоску на черном и белом фоне будет казаться разной интенсивности).

Инерция зрения и последовательность образов. Зрительные ощущения появляются при действии раздражителя не мгновенно. Прежде чем в зрительной области коры мозга возникает возбуждение, должен произойти ряд физиологических процессов в сетчатке и в подкорковых зрительных центрах. Время «инерции зрения», необходимое для возникновения зрительного ощущения, в среднем равно 0,03–0,1 с. Последовательность обра-

зования, т. е. восприятие предметов исчезает не сразу после исчезновения предмета-раздражителя, а через некоторое время. Минимальная частота следования стимулов, при которой уже происходит слияние отдельных ощущений, называется критической частотой слияния мельканий. Эта частота тем больше, чем выше яркость раздражителя. На этом свойстве зрения основана кинематография и телевидение (мы не видим промежутков между отдельными кадрами).

13. БИНОКУЛЯРНОЕ ЗРЕНИЕ

Способность зрительного анализатора определять третье измерение, телесность, стереоскопичность предметов окружающего мира, определять расстояние между предметами обусловлено одновременным зрением двумя глазами — бинокулярным зрением. Бинокулярное зрение создает и другие значительные преимущества зрительному анализатору, расширяет поля зрения в горизонтальном направлении до 180° , зрительные образы, полученные от двух глаз, ярче и четче вследствие суммации раздражений (острота зрения повышается), при помощи бинокулярного зрения человек более точно определяет расстояние (глазомер). Бинокулярное зрение — это чрезмерно тонкий, сложный условно-рефлекторный комплекс. Он развивается, совершенствуется и изменяется в течение всей жизни. Огромное значение в развитии функции бинокулярного зрения играет индивидуальный опыт. Физиологический механизм бинокулярного зрения при рождении отсутствует. Несмотря на то, что глаза новорожденного рефлекторно обращены в сторону яркого раздражителя, движения их еще полностью разобщены. Лишь в возрасте 5–6 недель устанавливается первая бинокулярная кортикальная связь, появляются параллельные движения взора к 3 месяцам.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. Общая морфофункциональная характеристика сенсорных систем..... | 3 |
| 2. Зрительный анализатор | 4 |
| 2.1. Строение глаза (клиническая анатомия | 5 |
| 2.2. Наружная (фиброзная оболочка) | 7 |
| 2.2.1. Роговица..... | 7 |
| 2.2.2. Склера | 12 |
| 2.2.3. Хрусталик | 14 |
| 2.2.4. Стекловидное тело..... | 19 |
| 2.3. Средняя (сосудистая) оболочка — сосудистый тракт | 20 |
| 2.3.1. Радужная оболочка | 21 |
| 2.3.2. Цилиарное тело | 23 |
| 2.3.3. Рецепторный аппарат глаза (сетчатка) | 24 |
| 3. Движение глаз | 31 |
| 3.1. Критическая частота мельканий | 33 |
| 4. Оптическая система глаза | 34 |
| 5. Аккомодация | 40 |
| 6. Функции сетчатки | 44 |
| 6.1. Молекулярная физиология фоторецепции..... | 44 |
| 7. Электроретинограмма | 51 |
| 8. Проводниковые и центральные звенья зрительного анализатора | 54 |
| 9. Цветовое зрение | 55 |
| 10. Острота зрения | 59 |
| 11. Периферическое зрение | 62 |
| 12. Световая чувствительность. Адаптация и инерция..... | 64 |
| 13. Бинокулярное зрение..... | 66 |

ISBN 978-985-506-235-7



Учебное издание

Дравица Людмила Владимировна
Штаненко Наталья Ивановна
Бирюков Федор Иванович

**АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ
ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА**

Учебно-методическое пособие
для студентов всех факультетов медицинских вузов,
клинических ординаторов, аспирантов,
врачей-стажеров-офтальмологов

Редактор *Т. Ф. Рулинская*
Компьютерная верстка *А. М. Елисеева*

Подписано в печать 12.05.2009
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная 80 г/м². Гарнитура «Таймс»
Усл. печ. л. 3,95. Тираж 1000 экз. Заказ № 119

Издатель и полиграфическое исполнение
Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
246000, г. Гомель, ул. Ланге, 5
ЛИ № 02330/0133072 от 08.04.2009