

Глаз человека: От послойного строения до функциональных зависимостей

Комплексный анатомический анализ строения глазного яблока — от наружной фиброзной оболочки до тончайших нейронных слоёв сетчатки. Настоящий документ охватывает морфологию трёх оболочек глаза, системы кровоснабжения и иннервации, раскрывая неразрывную связь между структурной организацией и функциональной специализацией каждого компонента органа зрения.

O1

Наружная оболочка

Склера и роговица — опора и преломление

O3

Внутренняя оболочка

Сетчатка — фототрансдукция и нейронная обработка

O2

Средняя оболочка

Увея — питание, пигмент и регуляция света

O4

Кровоснабжение и иннервация

Артерии, вены и черепные нервы

Наружная (Фиброзная) Оболочка: Склера и Роговица

Наружная, или фиброзная, оболочка глазного яблока представляет собой прочный защитный каркас, обеспечивающий ему форму и служащий точкой прикрепления экстраокулярных мышц. Она состоит из двух морфологически и функционально различных частей: плотной белой **склеры**, занимающей около пяти шестых поверхности, и прозрачной передней **роговицы**, составляющей примерно одну шестую её площади. Склера выполняет исключительно опорную и защитную функцию, тогда как роговица является ключевой оптической структурой, ответственной за первичное и наиболее мощное преломление проходящего через неё света — до 40 диоптрий.

Склера (Sclera)

Плотная волокнистая соединительная ткань, состоящая преимущественно из коллагеновых волокон типа I (~95% массы). Имеет несколько слоёв: эписклера, строма и капсула Тенона. В заднем полюсе образует решетчатую пластинку (lamina cribrosa) — опору для волокон зрительного нерва.

- Сохранение формы глазного яблока
- Защита внутренних структур
- Прикрепление экстраокулярных мышц

Роговица (Cornea)

Единственная ткань организма, полностью лишённая кровеносных сосудов. Прозрачность обеспечивается не только аваскулярностью, но и строжайшей упорядоченностью пяти гистологических слоёв. Зона перехода между роговицей и склерой — **лимб** — содержит Шлеммов канал и является местом дренажа внутриглазной жидкости.

- Первичное преломление света (~40 дптр)
- Механический барьер
- Трофика за счёт диффузии

Пять Слоёв Роговицы: Гистологическая Архитектура Прозрачности

Прозрачность роговицы обеспечивается чрезвычайно строгой организацией её гистологического строения, состоящего из пяти чётко выраженных слоёв, расположенных от внешней поверхности к внутренней. Каждый слой имеет специфическую ультраструктуру и функцию, направленные на достижение максимальной оптической прозрачности и механической прочности.

Слой	Тип ткани / Структура	Основные функции
Эпителий роговицы	Многорядный плоский эпителий, 5–7 слоёв клеток, толщина 40–50 мкм	Барьерная защита, регенерация поверхности, участие в гидратационном контроле (Na ⁺ /K ⁺ -АТФаза)
Боуменова мембрана	Аморфная, плотная бесклеточная пластинка	Механическая опора, ограничение пролиферации эпителия вглубь; не регенерирует
Строма	200–250 слоёв коллагеновых фибрилл (тип I и III), фибробласты; ~90% толщины роговицы	Основная опорная структура; кристаллический порядок фибрилл обеспечивает прозрачность
Десцеметова мембрана	Плотная базальная мембрана эндотелия; утолщается с возрастом	Защитный барьер между стромой и эндотелием; опора для эндотелиального монослоя
Эндотелий	Однослойный кубический эпителий; не способен к митозу после роста глаза	Механизм «насос-утечка» (Na ⁺ /K ⁺ -АТФаза): поддержание относительной дегидратации стромы и её прозрачности

❗ Нарушение функции эндотелия (например, при дистрофии Фукса) ведёт к отёку стромы и необратимой потере прозрачности роговицы, поскольку эндотелиальные клетки не делятся.

Средняя (Сосудистая) Оболочка: Увея

Средняя, или сосудистая, оболочка — увея (uvea) — является наиболее богатой сосудами и пигментом структурой глазного яблока. Она выполняет две жизненно важные функции: обеспечивает питание всех внутренних структур глаза и предотвращает рассеивание света внутри полости глаза, что необходимо для получения чёткого изображения. Увея представляет собой единую непрерывную структуру, состоящую из трёх последовательных отделов.

Хориоидея (Choroidea)

Задняя и наибольшая часть увеи. Расположена между RPE и склерой. Богата меланином и сосудами — основной источник питания наружных слоёв сетчатки и фоторецепторов.

Цилиарное тело (Corpus ciliare)

Средняя часть увеи. Включает цилиарную мышцу, отростки и двойной эпителий. Вырабатывает водянистую влагу и управляет механизмом аккомодации через зонулу Зинна.

Радужка (Iris)

Передний отдел увеи. Дисковидная структура с центральным отверстием — зрачком. Содержит мышцы-антагонисты: сфинктер (миоз) и дилататор (мидриаз) зрачка.

Хориоидея и Механизм Аккомодации Цилиарного Тела

Двойная роль меланина хориоидеи

Хориоидея богата меланоцитами, продуцирующими меланин. Этот пигмент выполняет две критически важные оптические функции. Во-первых, он действует как светопоглощающий пигмент — подобно чёрным стенкам фотоаппарата, поглощает рассеянный свет после прохождения через сетчатку, обеспечивая контрастность и чёткость зрительного образа. Во-вторых, меланин является мощным антиоксидантом, нейтрализующим свободные радикалы, которые образуются в фоторецепторах в процессе фототрансдукции, защищая их от окислительного повреждения.

- ✓ Хориоидея — не пассивная кровеносная ткань, а активный оптический элемент и антиоксидантный барьер для фоторецепторов.

Механизм аккомодации

Цилиарное тело является двигателем аккомодации. Цилиарная мышца состоит из трёх групп волокон: продольных, радиальных и круговых. При взгляде на близкий объект мышца сокращается, уменьшая диаметр цилиарного кольца, что ослабляет натяжение зонулы Зинна. Хрусталик, освобождённый от натяжения, под действием собственной упругости принимает более выпуклую форму, увеличивая рефракционную силу. При взгляде вдаль мышца расслабляется, зонала натягивается, хрусталик уплощается.



Таким образом, цилиарное тело объединяет секреторную функцию (выработка водянистой влаги) и двигательную функцию (регуляция формы хрусталика), являясь физической основой адаптации глаза к различным условиям видения.

Внутренняя (Светочувствительная) Оболочка: Сетчатка

Сетчатка (Retina) является конечным преобразователем энергии света в нервный импульс. Зрительная часть сетчатки выстилает заднюю треть полости глаза и представляет собой сложный нейронный аппарат, состоящий из десяти различных слоёв. Её структура полностью соответствует главной функции — преобразованию и первичной обработке зрительной информации прямо внутри глаза.

№	Слой	Клеточный состав	Функция
1	Слой фоторецепторов	Палочки, колбочки	Фототрансдукция — преобразование света в электрохимический сигнал
2	Наружная пограничная мембрана (ELM)	Концевые отростки клеток Мюллера	Структурная граница; поддержание поляризации фоторецепторов
3	Наружный ядерный слой (ONL)	Ядра палочек и колбочек	Сосредоточение ядер основных рецепторов света
4	Наружный сплетениевидный слой (OPL)	Синаптические контакты фоторецепторов и биполярных клеток	Первичный синаптический контакт в зрительном пути
5	Внутренний ядерный слой (INL)	Биполярные, горизонтальные, амакринные клетки	Первичная обработка и модуляция зрительного сигнала
6	Внутренний сплетениевидный слой (IPL)	Синапсы биполярных, ганглиозных и амакринных клеток	Вторичная модуляция перед передачей на ганглиозные клетки
7	Слой ганглиозных клеток (GCL)	Ядра ганглиозных нейронов	Генерация нервных импульсов, передаваемых по зрительному нерву
8	Слой волокон зрительного нерва (NFL)	Аксоны ганглиозных клеток	Передача зрительной информации в головной мозг
9	Внутренняя пограничная мембрана (ILM)	Концевые отростки клеток Мюллера	Граница между сетчаткой и полостью глаза
10	Ретинальный пигментный эпителий (RPE)	Пигментированные эпителиальные клетки	Поглощение рассеянного света, метаболическая поддержка, регенерация родопсина

Специализированные Зоны Сетчатки: Macula, Fovea и RPE

Жёлтое пятно и центральная ямка

В центре сетчатки, чуть латерально от диска зрительного нерва, расположено **жёлтое пятно (Macula lutea)** — область максимальной остроты зрения. В его центре находится **центральная ямка (Fovea centralis)** — небольшое углубление, где все слои сетчатки, кроме слоя волокон, смещены в стороны, открывая прямой доступ света к максимально плотно упакованным колбочкам. Здесь полностью отсутствуют кровеносные сосуды, а слой RPE предельно тонок, что минимизирует рассеяние и обеспечивает теоретически максимальную остроту зрения.

Слепое пятно (Papilla nervi optici) — место выхода аксонов ганглиозных клеток из глазного яблока. Здесь нет фоторецепторов, и мозг «заполняет» этот пробел информацией из соседних областей сетчатки.

Ретинальный пигментный эпителий (RPE)

RPE — однослойный эпителий между фоторецепторами и хориоидеей. Его клетки богаты меланосомami. Ключевые функции:

- **Пигментная защита:** поглощение рассеянного света и антиоксидантная защита от свободных радикалов
- **Метаболическая поддержка:** транспорт глюкозы и витаминов от хориоидеи к фоторецепторам
- **Фагоцитоз и регенерация:** утилизация отшнуровавшихся кончиков наружных сегментов и синтез новых дисков
- **Витаминный цикл:** восстановление родопсина после его фотораспада

□ RPE — не пассивный пигментный слой, а активный многофункциональный орган, чья деятельность является необходимым условием для нормального функционирования всей зрительной системы. Совместно с хориоидеей он формирует «внешнюю гемато-ретиальную барьерную систему».

Кровоснабжение Глазного Яблока: Артерии и Вены

Кровоснабжение глазного яблока характеризуется строгим разделением на два независимых, но взаимодополняющих компонента: систему кровоснабжения внутренних слоёв сетчатки и систему кровоснабжения наружных слоёв, сосудистой оболочки и других структур.

Источником всей офтальмической артериальной системы является **глазная артерия (Arteria ophthalmica)** — первая ветвь внутренней сонной артерии, отходящая от неё после выхода из кавернозного синуса и входящая в глазницу через оптический канал вместе со зрительным нервом.

Центральная артерия сетчатки (A. centralis retinae)

Входит в глазное яблоко через зрительный нерв, распределяется по внутренней поверхности сетчатки, питая её внутренние слои (до INL включительно). Является **конечной артерией (end-artery)** — без значимых анастомозов. Оклюзия ведёт к немедленной необратимой потере зрения вследствие некроза ганглиозных клеток.

Задние короткие ресничные артерии (Aa. ciliares posteriores breves)

Группа из 15–20 мелких артерий, проникающих в склеру у заднего полюса вокруг зрительного нерва. Основной источник кровоснабжения хориоидеи и её хориокапиллярного слоя. Хориоидея, в свою очередь, питает наружные слои сетчатки и фоторецепторы путём диффузии через RPE.

Задние длинные ресничные артерии (Aa. ciliares posteriores longae)

Две артерии, проникающие в склеру в области цилиарного тела и идущие вперёд вдоль цилиарной мышцы. Питают радужку, цилиарное тело и переднюю часть хориоидеи. Являются основным источником кровоснабжения диска зрительного нерва.

Венозный отток

Осуществляется через систему глазничных вен (Venae orbitales) — бесклапанных вен с прямыми анастомозами с кавернозным синусом.

Повышение давления в синусе (например, при тромбозе) вызывает застой и отёк диска зрительного нерва. Отток из передней камеры — через трабекулярную сеть и Шлеммов канал.

⚠ «Зоны водораздела» (watershed zones) — области на границе кровоснабжения разных ресничных артерий — являются зонами повышенного риска ишемических повреждений при системных нарушениях кровообращения (например, при задней ишемической нейропатии зрительного нерва).

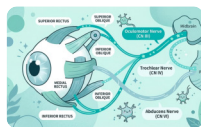
Иннервация Глазного Яблока: Чувствительная, Двигательная и Автономная

Иннервация глазного яблока представляет собой сложную и строго дифференцированную систему, в которой различные черепные нервы выполняют чётко определённые функции: чувствительную, двигательную и автономную. Эта система обеспечивает восприятие болевых и тактильных ощущений от поверхности глаза, управление движением глазного яблока, регуляцию размера зрачка и аккомодацией хрусталика.



Чувствительная иннервация

Глазной нерв (N. ophthalmicus, V1) — первая ветвь тройничного нерва. Несёт болевую, температурную и тактильную чувствительность от роговицы, склеры, радужки и цилиарного тела через длинные и короткие ресничные нервы. Высочайшая чувствительность роговицы — важнейший защитный механизм, вызывающий рефлекторное мигание.



Двигательная иннервация

III пара (N. oculomotorius) — иннервирует 4 из 6 экстраокулярных мышц, цилиарную мышцу и сфинктер зрачка (парасимпатика). **IV пара (N. trochlearis)** — верхняя косая мышца. **VI пара (N. abducens)** — латеральная прямая мышца.



Автономная иннервация

Парасимпатика: ядро Эдингера-Вестфала → III пара → цилиарный ганглий → короткие ресничные нервы → сфинктер зрачка (миоз) и цилиарная мышца (аккомодация). **Симпатика:** гипоталамус → грудной спинной мозг → верхний шейный ганглий → длинные ресничные нервы → дилатор зрачка (мидриаз).

Заключение: Анатомия Глаза как Воплощение Функциональной Целесообразности

Глаз человека — это не просто оптический прибор, а сложнейшая, многоуровневая биологическая система, чья анатомия является воплощением принципа целесообразности. Каждая структура, от мельчайшего слоя роговицы до сложной сети нейронов сетчатки, имеет свою уникальную форму и организацию, которые напрямую детерминированы её функцией.



Наружная оболочка

Склера создаёт прочный коллагеновый каркас, а пятислойная роговица — уникальный гидромеханический барьер с эндотелиальным «насосом», обеспечивающим прозрачность и 40 диоптрий рефракции.



Средняя оболочка

Хориоидея — активный светофильтр и антиоксидантный барьер. Цилиарное тело — секреторный и аккомодационный узел. Радужка — регулятор светового потока с двойной мышечной системой.



Внутренняя оболочка

Десятислойная сетчатка — нейробиологический компьютер. Центральная ямка обеспечивает максимальную остроту зрения. RPE — многофункциональный орган поддержки фоторецепторов.



Кровоснабжение и иннервация

Двойная система кровоснабжения (центральная артерия + ресничные артерии) обеспечивает стабильность сетчатки. Строго дифференцированная иннервация (V, III, IV, VI пары) — точное управление всеми функциями глаза.

Анатомия глаза — это не набор изолированных структур, а единая, целостная и функционально взаимосвязанная система, чья сложность и совершенство являются результатом миллионов лет эволюционного отбора. Изучение этой анатомии — это понимание того, как форма и функция неразрывно связаны в одном из самых удивительных органов человеческого тела.