

Федеральное Государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени И.М.СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**кафедра глазных болезней**

## **ФУНКЦИИ ОРГАНА ЗРЕНИЯ**

Учебное пособие студентов



Москва 2025

**Функции органа зрения** / Под редакцией С.Э. Аветисова /  
Составители: Аветисов С.Э., Асламазова А.Э., Сипливый В.И.,  
Стоюхина А.С., Фетцер Е.И., Фокина Н.Д., Шерстнева Л.В.

Учебное пособие состоит из семи глав, посвященных основным вопросам физиологии зрения и зрительных функций. Каждая глава включает основные базовые сведения по рассматриваемому разделу и описание методов исследования в клинике.

Учебное пособие предназначено для студентов лечебного, медико-профилактического, стоматологического и педиатрического факультетов..

## КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

**Аветисов Сергей Эдуардович** — академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Асламазова Анна Эдуардовна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Сипливый Владимир Иванович** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Стоюхина Алевтина Сергеевна** – доктор медицинских наук, профессор кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Фетцер Елена Игоревна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Фокина Наталья Дмитриевна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

**Шерстнева Людмила Валентиновна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).

## **Введение.**

Зрение обеспечивающий восприятие окружающего мира. Около 90% информации о нашем окружении мы получаем именно через зрение. Это делает его ключевым элементом в нашем взаимодействии с миром, позволяя нам ориентироваться в пространстве, распознавать объекты и людей, а также воспринимать цвета и движения. Зрение помогает нам формировать представление о реальности и принимать решения на основе визуальной информации.

Мы склонны больше доверять зрению, чем другим чувствам. Подтверждением этому может служить эффект МакГурка. Это интересное явление, которое демонстрирует, как зрительная информация может кардинально влиять на восприятие слуховых сигналов. Он был впервые описан в 1976 году исследователями Гарри МакГурком и Джоном Макдональдом. Эксперимент заключается в том, что участникам показывают видео, на котором человек произносит один звук (например, "ба"), но при этом артикуляция речи соответствует другому звуку (например, "га"). В результате большинство участников начинают слышать смешанный звук, который не соответствует ни одному из представленных.

Это явление показывает, что восприятие речи — это многосенсорный процесс, в котором зрение играет ключевую роль. Например, в условиях шумной обстановки или при недостаточном слухе визуальные подсказки могут помочь людям лучше понимать речь. Таким образом, эффект МакГурка подчеркивает, что наше восприятие звуковой информации не является изолированным процессом, а зависит от контекста и от того, что мы видим. Исследования этого эффекта имеют важные последствия для понимания коммуникации и обработки информации в мозге. Они помогают объяснить, почему люди могут иногда неправильно интерпретировать сказанное, особенно когда слуховая информация и визуальные подсказки не согласуются. Это также имеет практическое значение для разработки технологий распознавания речи и обучения людей с нарушениями слуха, поскольку понимание взаимодействия между слухом и зрением может улучшить методы обучения и коммуникации.

Качество зрения напрямую влияет на качество жизни человека. Хорошее зрение способствует успешному обучению, работе и общению. Например, дети с нарушениями зрения могут испытывать трудности в школе, что может сказаться на их самооценке и социализации. Взрослые, имеющие проблемы со зрением, могут сталкиваться с ограничениями в

профессиональной деятельности, что также влияет на их финансовое благополучие и общее состояние здоровья.

Разнообразие заболеваний глаз и нарушений зрения требует внимательного подхода к их диагностике и лечению. Наиболее распространенные проблемы включают аномалии рефракции, помутнение оптических сред глаза, заболевания сетчатки и зрительного нерва, функциональные причины снижения зрения. Эти состояния могут возникать по разным причинам, включая генетическую предрасположенность, возрастные изменения или воздействие внешних факторов. Регулярные осмотры у офтальмолога помогают выявлять проблемы на ранних стадиях, что значительно увеличивает шансы на успешное лечение.

Современные технологии и медицинские достижения позволяют эффективно диагностировать и лечить различные заболевания глаз. Например, эксимерлазерная кераторефракционная коррекция рефракции достаточно популярной процедурой для исправления рефракционных ошибок. Кроме того, новые хирургические методы лечения катаракты обеспечивают быстрое восстановление и минимальные риски для пациента. Эти достижения значительно улучшили качество жизни многих людей.

Профилактика заболеваний глаз играет важную роль в поддержании здоровья глаз. Правильное освещение в помещениях, регулярные перерывы при работе за компьютером и соблюдение правил гигиены зрения могут существенно снизить риск развития зрительных проблем. Также важно следить за питанием. Полноценный рацион и избегание экзотических диет положительно влияют на здоровье глаз.

Важным аспектом сохранения зрения является защита от вредного воздействия окружающей среды. Ношение защитных очков с UV-защитой при нахождении в условиях с повышенным ультрафиолетовым облучением, помогает предотвратить повреждение острого поражения роговицы, а также профилактирует повреждение сетчатки и развитие катаракты. С возрастом риск развития заболеваний глаз увеличивается. Например, возрастная макулярная дегенерация и глаукома чаще встречаются у пожилых людей. Поэтому регулярные осмотры у офтальмолога становятся особенно важными в зрелом возрасте. Раннее выявление этих заболеваний может значительно замедлить их прогрессирование и сохранить зрение.

Социальные аспекты также играют свою роль. Люди с нарушениями зрения могут сталкиваться с барьерами в образовании и трудоустройстве. Общество должно быть более внимательным к потребностям таких людей, обеспечивая доступность информации и услуг. Инклюзивные программы обучения и трудоустройства могут помочь людям с нарушениями зрения

адаптироваться и успешно интегрироваться в общество.

Аппарат, позволяющий нам воспринимать и обрабатывать поступающую зрительную информацию, называется зрительный анализатор. Он состоит из:

- периферического «рецепторного» отдела – глазного яблока, сетчатки глаза;
- проводникового отдела - зрительный нерв, хиазма и зрительные тракты;
- и центрального – подкоркового и коркового зрительного центра головного мозга.

Адекватным раздражителем зрительного анализатора является свет в узком диапазоне длин волн от 380 до 760 нм. Мы не видим свет в других диапазонах длин волн (например, инфракрасный или ультрафиолетовый) из-за особенностей строения и функционирования нашего глаза, а именно прозрачности оптических сред и чувствительности фоторецепторов которые в нем находятся.

Атмосфера Земли фильтрует часть электромагнитного спектра солнца. Жесткий ультрафиолет поглощается озоновым слоем, а инфракрасный свет атмосферой и содержащимися в ней парами воды. Человеческий глаз эволюционировал для восприятия именно такого отфильтрованного света, который наиболее распространен. Особенности нашего эволюционного пути также накладывают некоторые ограничения. В наших сетчатках есть два типа фоторецепторов - палочки и колбочки. Колбочки более специализированы и способны воспринимать свет в достаточно узком диапазоне длин волн. У человека их 3 вида: длинноволновые (красные), средневолновые (зеленые) и коротковолновые (синие).

У наших далеких предков существовали еще другие виды колбочек, специализировавшиеся на других диапазонах длин волн. Но ранние млекопитающие, по-видимому, в основном были активны в сумерках и ночью, когда узкоспециализированные колбочки не давали ни какого эволюционного преимущества. В результате часть типов колбочек была потеряна, но появились палочки, чувствительные к более широкому спектру длин волн, что позволяло улавливать большее количество света в темноте. В результате большинство современных млекопитающих имеют только 2 вида колбочек, приспособленных для работы на свету и палочки, помогающие ориентироваться в темноте.

Относительно поздняя мутация, возникшая у общего предка человека и обезьян, привела к расщеплению одного из типов колбочек на два с небольшим сдвигом максимума чувствительности зрительного пигмента отпочковавшейся колбочки. В результате в наших глазах имеется 3 типа

колбочек, обеспечивающих нас более качественным цветным зрением, чем у остальных млекопитающих. Так пятнистый олененок для тигра и волка не отличим от цвета листвы, мы же, за счет наличия третьего типа колбочки, можем замечать его коричневую шкурку на фоне зелени. Поскольку мутация, давшая нам третий тип колбочки, произошла по эволюционным меркам недавно, а локус соответствующего гена находится на половой X хромосоме, количество цветаномалов среди мужчин значительно больше чем среди женщин.

Таким образом, наш зрительный анализатор оптимизирован для восприятия тех длин волн, которые наиболее важны для нашей жизни и взаимодействия с окружающей средой, с учетом пройденного нами эволюционного пути.

Кроме адекватных раздражителей зрительный анализатор может давать ощущение света и при раздражении его не адекватными стимулами. Так механическое давление на глаз через веки в зоне проекции оптически деятельной сетчатки может вызывать механофосфен - появление световых вспышек или цветных пятен в поле зрения, без воздействия на глаз света. Возникновение его связывают с механической деформацией сетчатки и подлежащей сосудисто оболочки глаза. В некоторых случаях, при наличии в глазу патологического процесса приводящего к тракции сетчатки, эти зрительные ощущения могут быть признаком патологии.

Неспецифическое раздражение зрительного анализатора также может возникнуть под действием электрического тока. Ощущение вспышек света в этом случае называют электрофосфеном. Это явление находит применение в офтальмологии как для диагностики, так и для лечения различных заболеваний глаз. В диагностике электрофосфен используется для оценки функционального состояния сетчатки и зрительного нерва. Например, он помогает определить, сохранилась ли способность зрительной системы реагировать на стимуляцию, даже если пациент не видит свет обычным образом. Это особенно важно при диагностике атрофии зрительного нерва развитых стадий глаукомы, врожденных патологий сетчатки. Измерение минимальной силы тока, необходимой для возникновения электрофосфена, позволяет оценить степень повреждения зрительного анализатора.

В лечебных целях электрофосфен используется для стимуляции зрительного нерва. Также электрофосфен применяется в реабилитации пациентов с нарушениями зрения, включая тех, кто страдает частичной или полной потерей зрения. В таких случаях он помогает тренировать зрительную систему и поддерживать её активность, что может замедлить прогрессирование заболевания.

Электрофосфен также играет важную роль в научных исследованиях. Он используется для изучения механизмов передачи зрительных сигналов в мозг, что помогает лучше понять работу зрительной системы. Явление активно применяется в разработке зрительных протезов, таких как бионические глаза или имплантаты сетчатки, которые могут частично восстановить зрение у пациентов, если зрительный нерв хотя бы частично сохранен. Электрофосфен может возникать и при транскраниальной или прямой стимуляции зрительных центров головного мозга. В этом направлении также ведутся исследования, направленные на разработку зрительных протезов нового поколения.

Также известен фосфен, возникающий под действием ионизирующего излучения. Это зрительное ощущение света или вспышек, которое может возникать у человека при воздействии на глаза или головной мозг высокоэнергетических частиц, гамма, рентгеновского излучения или космических лучей. Ионизирующее излучение, проходя через ткани глаза или мозга, вызывает ионизацию молекул, что может приводить к возбуждению нейронов зрительной системы. Это возбуждение воспринимается мозгом как световые вспышки или пятна, даже в отсутствие реального светового стимула. Фосфены, вызванные космическим излучением, наблюдаются у космонавтов во время космических полетов. Это явление известно как "видимые космические лучи" (cosmic ray visual phenomena). Космонавты сообщают о вспышках света, даже когда их глаза закрыты. Это связано с воздействием высокоэнергетических космических лучей, которые проникают через структуры глаза и мозг. Изучение этого феномена помогает оценивать радиационную нагрузку на организм космонавтов и разрабатывать методы защиты от космического излучения. Радиационные фосфены могут служить индикатором значительного превышения допустимой дозы облучения у работников, занятых в сферах с повышенным радиационным фоном. В начале 20-го века рентгеновские фосфены использовали для измерения размеров глазного яблока. Из-за наличия радиационной нагрузки и в связи с появлением альтернативных ультразвуковых и оптических методов, данная методика больше не применяется.

Количество глаз у живых существ может варьироваться в зависимости от вида и его эволюционной адаптации. Более того, глаза в процессе эволюции возникали неоднократно. Реакцией на свет обладают даже одноклеточные, так инфузория-туфелька способна избегать ярко освещенных частей водоема. У веслоногих рачков - циклопов, живущих в пресноводных водоемах, имеется всего один непарный глаз. Два глаза присутствуют у

большинства позвоночных животных, включая млекопитающих. Однако у некоторых пресмыкающихся, например у гаттерии(таутары), игуаны и у некоторых видов черепах, есть третий теменной глаз. На прямую он не участвует в зрении, но является своеобразным датчиком общей освещенности, регулирующей циркадный ритм животного. У человека и млекопитающих остался рудимент этого третьего глаза – эпифиз. Он спрятан глубоко в голове, свет туда не попадает, но функция у него схожая – он также участвует в регуляции циркадного ритма. У рыбы четырехглазки (Anableps), как понятно из ее названия, есть 4 глаза. Их глаза разделены горизонтальной перепонкой, разделяющей их зрачок на две части. Таким образом четырёхглазки в состоянии смотреть одновременно, как над, так и под водой. У большинства пауков восемь глаз, хотя у некоторых видов их может быть меньше, например, шесть или даже два. У многих насекомых, таких как пчелы и мухи, есть два сложных глаза, состоящих из множества омматидиев (фасеток), которые функционируют как отдельные зрительные единицы. У морских звезд глаза расположены на концах лучей. Количество глаз зависит от количества лучей (обычно пять, но может быть больше). У виноградной улитки 6 глаз на кончиках усиков, причем два из них обычно спрятаны под панцирем. У кубомедузы 24 глаза, причем они объединены в 4 грозди (сложных глаза) смотрящих в разные стороны. У морских гребешков по краю мантии проходит ряд, насчитывающий сотни маленьких глаз.

## Зрительный анализатор человека.

Как уже было сказано ранее, человеческие глаза воспринимают свет в достаточно узком диапазоне видимого спектра от 380 до 760 нм. Рассеянный или излученный объектами окружающей нас среды он фокусируется оптической системой глаза и преобразуется в перевернутое изображение этих объектов на сетчатке, где происходит преобразование получившейся картинке в нервные импульсы.

На этом, самом первом, этапе зрительного восприятия возможны ошибки. При аномалиях рефракции четкое изображение может не попасть на сетчатку, а сформироваться перед ней (миопия) или как бы за ней (гиперметропия). При более сложных видах рефракции четкого изображения вообще не получается. Рефракционные проблемы встречаются достаточно часто и являются причиной снижения зрения примерно в 2/3 всех случаев.

Площадь оптически деятельной сетчатки глаза составляет около 12 квадратных сантиметров и относится к инвертированному типу, т.е. основные фоторецепторы находятся ближе к поверхности глаза и соседствуют с пигментным эпителием и сосудистой оболочкой, их питающими. Свету приходится проходить все слои сетчатки, прежде чем он попадет на рецепторы (см. рис.1).

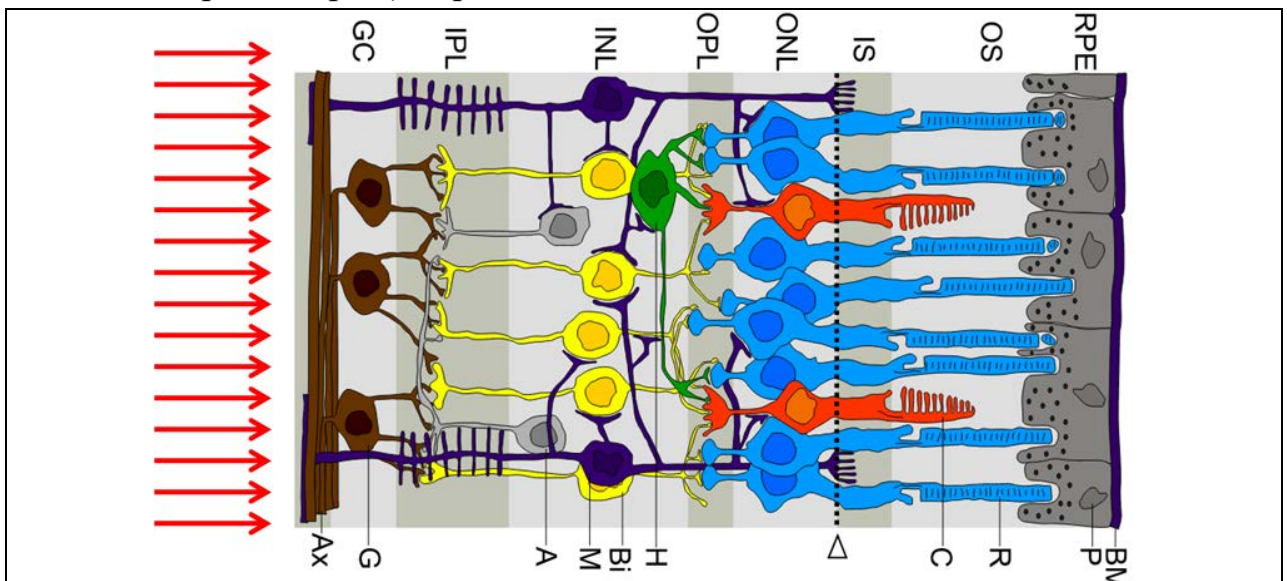


Рис. 1. Схематическое изображение слоев сетчатки. Свет попадает на сетчатку с внутренней поверхности. Чтобы достигнуть наружных сегментов фоторецепторов, ему необходимо пройти через внутренние слои клеток сетчатки. Палочки – обозначены голубым цветом, колбочки – красным, биполярные клетки – желтым, горизонтальные – зеленым, амакриновые – серым, ганглиозные – коричневым.

Peter Hartmann at de.wikipedia, edited by Marc Gabriel SchmidCreating SVG version by Юкатан / CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>). [commons.wikimedia.org/wiki/File:Retina\\_layers.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Retina_layers.svg) (с изм.)

Исключением является центральная зона сетчатки, центральная ямка в центре желтого пятна (фовеола). Здесь все слои сетчатки и кровеносные сосуды раздвинуты в стороны и свет падает прямо на фоторецепторы, это позволяет избежать паразитного рассеяния и поглощения света (см. рис 2).

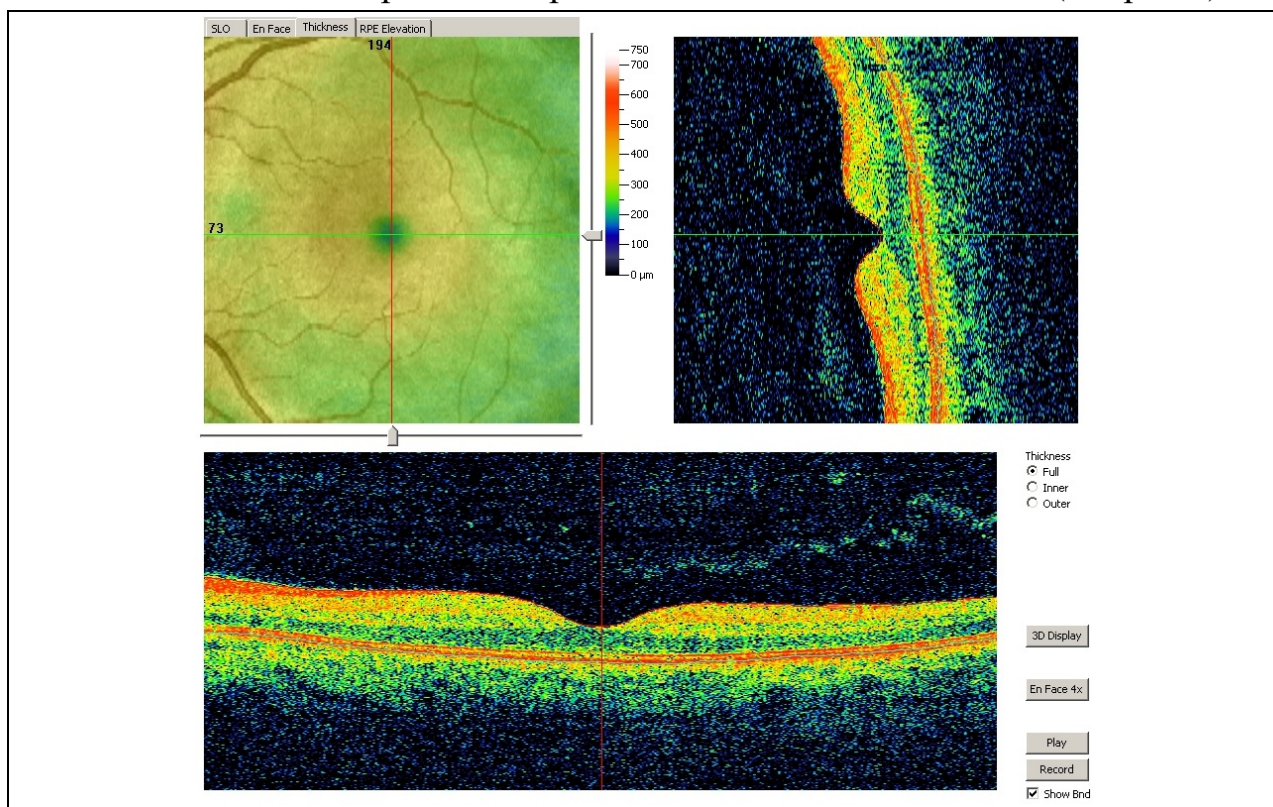


Рис. 2 Оптическая когерентная томограмма (ОКТ) макулярной области. Срез через фовеолу. Хорошо различимо исчезновение внутренних слоев сетчатки в центральной ямке желтого пятна.

Из архива автора.

Это специально выделенная область оптически деятельной сетчатки, приспособленная для наилучшего разрешения мелких деталей. У человека эта зона находится примерно на 15 градусов височной центра диска зрительного нерва. Ее размер не превышает 0,35 мм., но это самая функционально активная зона. Фовеола содержит исключительно колбочки — фоторецепторы, отвечающие за цветное и дневное зрение, и расположены они очень тесно. Плотность колбочек в фовеоле достигает 200 000 на квадратный миллиметр, что является самым высоким показателем в сетчатке. Под фовеолой расположен слой пигментного эпителия, который поглощает избыточный свет и поддерживает метаболизм фоторецепторов.

В сетчатке выделяют два основных типа фоторецепторов: палочки (их около ста двадцати миллионов) и колбочки (около семи миллионов), причем палочки преобладают на периферии, а колбочки в центре сетчатки в

макулярной области. Колбочки в основном приспособлены для работы при ярком освещении, а палочки – для работы в полутьме.

Кроме фоторецепторов в сетчатке есть другие нервные клетки: биполярные, амакриновые, горизонтальные клетки, и большие ганглиозные клетки, передающие своим длинным аксоном, формирующим весь проводящий отдел зрительного анализатора, информацию в головной мозг (см. рис. 1).

Каждая ганглиозная клетка, посредством остальных нейронов, получает информацию от множества фоторецепторов, которые образуют ее рецепторное поле. Причем чем ближе она находится к центру сетчатки (к фовеоле), тем ее рецепторное поле меньше по размеру.

Сетчатка не только преобразует изображение в нервный импульс, но и осуществляет первичную обработку информации. Ганглиозные клетки сетчатки по-разному возбуждаются при освещении различных участков их рецепторных полей. Если клетка максимально возбуждается при освещении центра ее рецепторного поля, то она называется on-клеткой, если максимум возбуждения возникает при освещении периферии – off-клеткой. Существуют как бесцветные on и off клетки, так и реагирующие на цветовой контраст, конкретно на красно-зеленые и сине-желтые клетки.

Уже на уровне ганглиозных клеток сетчатки, из-за организации их рецепторных полей, выделяется информация о границах различных уровней освещенности и цветности картинки. При этом информация сжимается почти в 130 раз (на входе около 130 млн. фоторецепторов, на выходе 1 млн. ганглиозных клеток). Сжатие это не равномерное. 30% ганглиозных клеток (с маленькими рецепторными полями) передает информацию от небольшого центрального участка сетчатки – желтого пятна, где сосредоточены колбочки, остальные – от периферических отделов сетчатки, где преобладают палочки. Фактически в зрительный нерв уходит информация о контрастных областях картинки и градиентах, и возможно лишь отдельные нейроны несут собственно информацию о яркости и цвете фона. В результате такого неравноправия различных областей сетчатки, наиболее точное представление о рассматриваемой картине мира формируется в центре поля зрения, за который отвечает маленькая макула. Чем дальше мы уходим к периферии, тем больше будут искажения из-за увеличения размеров рецепторных полей ганглиозных клеток. Качество зрения на периферии снижается, и появляются ошибки восприятия из-за сжатия информации большими рецепторными полями ганглиозных клеток. Примером такой ошибки может служить зрительная иллюзия, возникающая при рассматривании решетки Германа (рис. 3).

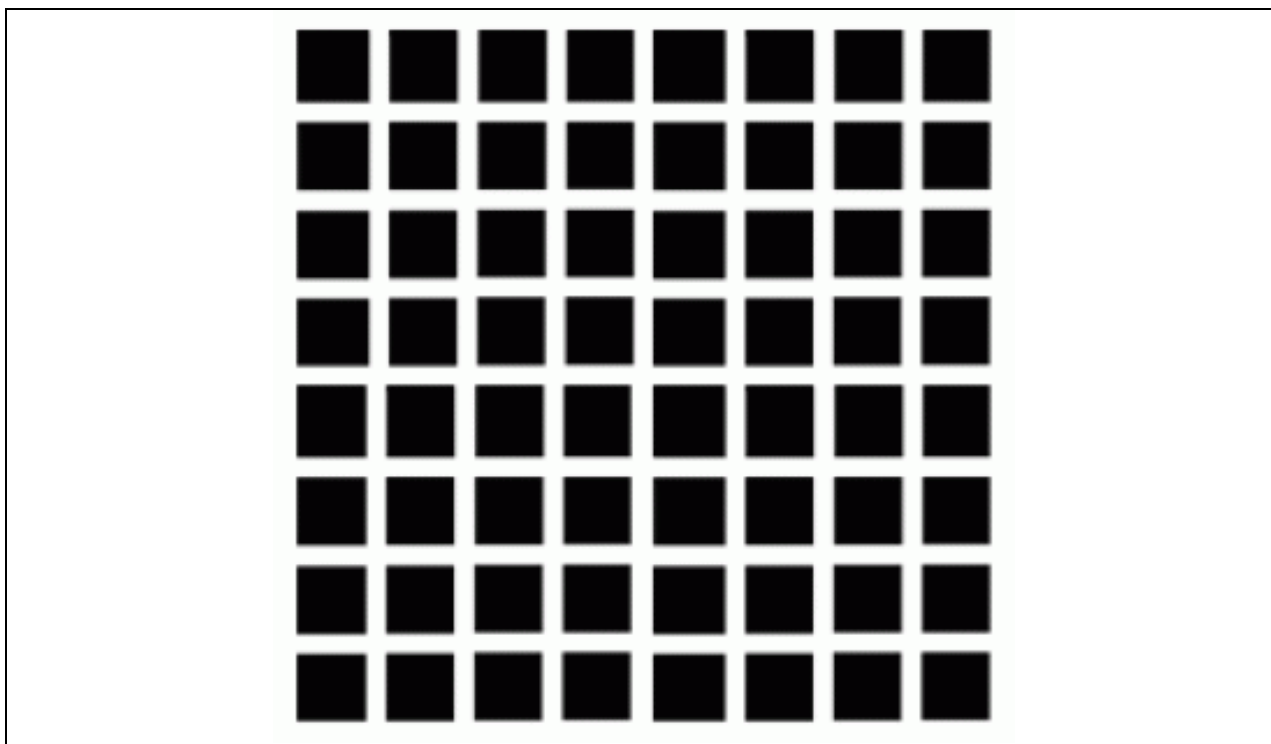


Рис. 3. Решетка Германа.

Изображение из архива автора.

При рассматривании этой картинки на пересечении всех белых полос, кроме той, на которую вы смотрите в данный момент, можно заметить появление серых пятен. Это не дефект типографской печати, это результат ошибочной обработки информации уже на уровне сетчатки вашего глаза.

Проводящий отдел зрительного анализатора состоит из аксонов ганглиозных клеток сетчатки. Каждый зрительный нерв содержит около 1 миллиона волокон, несущих информацию от одного глаза. На пути к мозгу зрительные нервы от правого и левого глаза направляются к основанию черепа, где они встречаются и частично перекрещиваются в области хиазмы, расположенной в нижней части мозга, непосредственно под гипоталамусом и над турецким седлом. В хиазме происходит разделение зрительных волокон: волокна от носовой (внутренней) половины сетчатки каждого глаза перекрещиваются и переходят на противоположную сторону, а волокна от височной (внешней) половины сетчатки продолжают свой путь без перекреста. Этот перекрест имеет важное функциональное значение. Волокна от носовой половины сетчатки правого глаза переходят на левую сторону, а волокна от носовой половины сетчатки левого глаза — на правую сторону. В результате, после хиазмы, каждый зрительный тракт (правое и левое ответвление после перекреста) содержит информацию от обоих глаз, но только от одной половины поля зрения. Например, правый зрительный тракт несет информацию от левой половины поля зрения обоих глаз, а левый зрительный тракт — от правой половины.

Зрительные тракты направляются в сторону таламуса и попадают в подкорковые зрительные центры, в первую очередь латеральные коленчатые тела. Подкорковые зрительные центры — это структуры головного мозга, расположенные ниже коры больших полушарий, которые играют ключевую роль в обработке и передаче зрительной информации. Эти центры являются промежуточными этапами на пути зрительных сигналов от сетчатки глаза к зрительной коре. Основными подкорковыми зрительными центрами являются латеральные коленчатые тела и верхние холмики среднего мозга. Каждый из этих центров выполняет свои уникальные функции, обеспечивая сложную и многоуровневую обработку зрительной информации.

Латеральные коленчатые тела (ЛКТ) представляют собой парные структуры, расположенные в таламусе. Они являются основным ретрансляционным центром для зрительных сигналов, поступающих от сетчатки. После перекреста зрительных волокон в хиазме зрительные тракты направляются к ЛКТ, где происходит первичная обработка информации. ЛКТ организованы слоисто: у приматов, включая человека, они состоят из шести слоев (два слоя крупных, магноцеллюлярных нейронов и четыре слоя мелких, парвоцеллюлярных), каждый из которых получает информацию от определенного типа ганглиозных клеток сетчатки. На внутренней поверхности каждого слоя находятся нейроны третьего типа — конеоцеллюлярные. Магноцеллюлярные — самые древние клетки, информация о цвете в них не попадает, они обрабатывают информацию о движении и яркостном контрасте. От красно-зеленых ганглиозных клеток сигналы попадают в парвоцеллюлярные клетки коленчатого тела. Скорость передачи по этому каналу ниже чем по магноцеллюлярному, хуже передается информация о градиенте освещенности, зато рецепторные поля этих клеток достаточно малы, что позволяет передавать информацию о мелких деталях. Конеоцеллюлярные клетки связаны с сине-желтыми ганглиозными клетками. Слияния информации от двух глаз на уровне ЛКТ не происходит. Клетки каждого слоя связаны с ганглиозными клетками только одного глаза.

В результате такой структурной организации в каждом коленчатом теле имеется 6 расположенных точно одна под другой нейронных карт (3 для правого и 3 для левого глаза), передающих различные аспекты противоположной стороны бинокулярного зрительного поля (см. рис. 4).

Нейроны ЛКТ могут получать информацию не только от сетчаток глаз, но и от ретикулярной формации и коры. В случае если возбуждение, распространяющееся из этих структур, превысит приходящее от глаз, возможны различные изменения зрения. Например, сужение полей зрения при проведении исследования в шумном помещении или истерическая

слепота могут быть объяснены именно таким образом. После обработки в ЛКТ зрительные сигналы передаются через зрительную лучистость (радиацию Грациоле) в первичную зрительную кору (V1) затылочной доли мозга.

Верхние холмики среднего мозга — это еще один важный подкорковый зрительный центр, который играет ключевую роль в обработке зрительной информации, связанной с движением и пространственной ориентацией. Верхние холмики получают информацию как от сетчатки, так и от зрительной коры. Они участвуют в управлении саккадическими движениями глаз (быстрыми скачкообразными движениями, которые позволяют фиксировать взгляд на объектах), а также в координации зрительных и моторных реакций, таких как поворот головы или тела в сторону зрительного стимула и моргание. Верхние холмики тесно связаны с другими структурами мозга, включая ретикулярную формацию и мозжечок, что позволяет им интегрировать зрительную информацию с другими сенсорными и моторными системами.

Кроме ЛКТ и верхних холмиков, к подкорковым зрительным центрам можно отнести супрахиазматическое ядро гипоталамуса, которое регулирует циркадные ритмы организма в зависимости от уровня освещенности, и претектальную область, участвующую в управлении зрачковым рефлексом и аккомодацией. Эти структуры обеспечивают базовые, но жизненно важные функции, такие как адаптация к изменению освещения и поддержание фокусировки на объектах.



Рис. 4.

А. Гистологический срез латерального коленчатого тела. Пунктирная линия проходит через зоны ЛКТ, обрабатывающие информацию от одной и той же области поля зрения.

Б. Возможный вид карт нервного возбуждения (нейрональные карты) в различных слоях ЛКТ.

A. Hiraoka, M., Inoue, K., Ninomiya, T., & Takada, M. (2012). Ischaemia in the Zinn–Haller circle and glaucomatous optic neuropathy in macaque monkeys. *British Journal of Ophthalmology*, 96(4), 597–603. doi:10.1136/bjophthalmol-2011-300831 с изм.

B.commons.wikimedia.org/wiki/File:Gioconda\_(copia\_del\_Museo\_del\_Prado\_restaurada).jpg с изм.

Информация от латерального коленчатого тела через зрительную лучистость передается в кору затылочной доли мозга вокруг шпорной борозды – первичную зрительную зону или поле № 17 по Бродману (V1). Только в зрительной коре происходит ассоциация информации поступающей от правого и левого глаз. Большинство нейронов этой области способны воспринимать информацию от обоих глаз. Есть нейроны реагирующие на простые элементы изображения, такие как отрезки разного наклона.

Первичная зрительная кора организована топографически, то есть каждая точка сетчатки проецируется на определенную точку в коре. Это отображение называется ретинотопическим и сохраняет пространственное соотношение между объектами в поле зрения. Например, информация от

центральной части сетчатки (фовеа) обрабатывается в самой затылочной части зрительной коры, а информация от периферии сетчатки — в передних отделах. Нейроны зрительной коры организованы в так называемые глазодоминантные колонки, которые представляют собой вертикальные структуры, предпочтительно реагирующие на сигналы от одного глаза. Эти колонки чередуются, создавая полосатую структуру (см. рис. 5), которую можно визуализировать с помощью специальных методов окрашивания гистологических препаратов. Такая организация позволяет коре интегрировать информацию от обоих глаз, что важно для бинокулярного зрения и восприятия глубины. Области коры, работающие преимущественно с правым и левым глазом чередуют друг друга, при этом площадь их в норме одинакова.

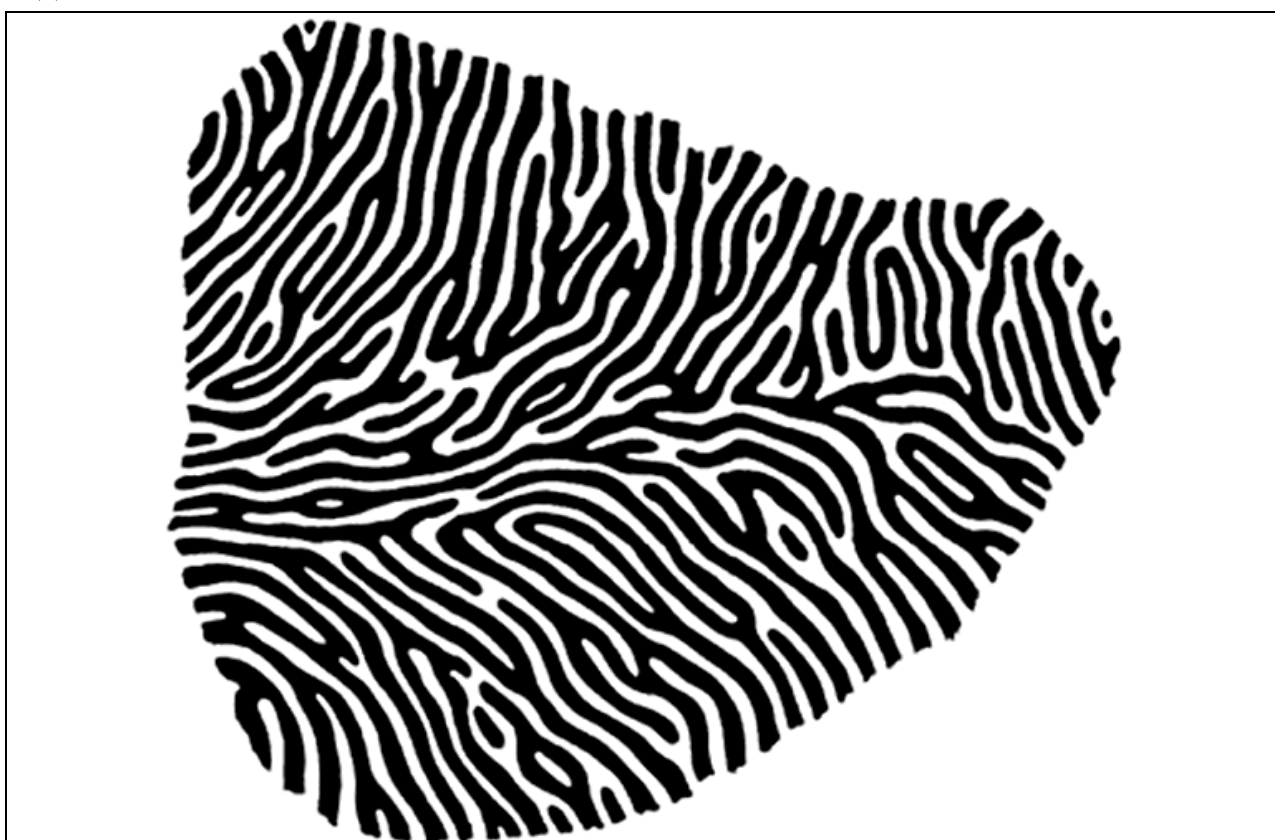


Рис. 5. Карта представительства правого (черный цвет) и левого (белый цвет) глаз в первичной зрительной коре.

LeVay, S., Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1975). The pattern of ocular dominance columns in macaque visual cortex revealed by a reduced silver stain. *The Journal of Comparative Neurology*, 159(4), 559–575. doi:10.1002/cne.901590408

Если изображение, формируемое оптикой одного из глаза на его сетчатке, становится нечетким, то сокращается объем информации, поступающей в кору от этого глаза (нет четких границ – ганглиозные клетки сетчатки возбуждаются слабо). В результате нейроны соответствующих

этому глазу участков, начинают переориентироваться на обработку информации от другого глаза. Этот процесс называют борьбой за доминантность в коре головного мозга. Этот процесс возможен только в детском возрасте (примерно до 10 лет), т.н. сенситивном периоде развития зрительного анализатора.

В раннем детском возрасте, пока нейрональные связи достаточно пластичны, в результате этой борьбы возможно значительное перераспределение площадей представительства правого и левого глаз. Уменьшение количества нейронов, обрабатывающих информацию от подавленного глаза, приводит к функциональному ухудшению качества зрения этого глаза. Такое состояние называют амблиопией. Считается что она может появиться только в детстве. У взрослого человека амблиопия не развивается, потому что процесс перераспределения доминантности в коре уже закончился. Однако по этой же причине и лечение амблиопии возможно также только пока ребенок мал. Если амблиопию (и часто сопутствующее ей содружественное косоглазие) выявляют у взрослого, шансы на повышение зрительных функций амблиопичного глаза практически равны нулю. К амблиопии может приводить врожденное опущение верхнего века одного из глаз, несимметричная рефракция, односторонняя врожденная катаракта и другие причины, приводящие к одностороннему снижению контрастности ретинального изображения.

Различные участки поля зрения также имеют различный размер коркового представительства, что описывается понятием "корковое увеличение". Это фундаментальный принцип организации сенсорных систем в коре головного мозга, который заключается в том, что определенные участки сенсорных органов (например, сетчатки глаза, кожи или внутреннего уха) представлены в коре непропорционально большими областями по сравнению с другими участками. Это явление особенно ярко выражено в зрительной коре, где участки, отвечающие за обработку информации от наиболее важных центральных зон занимают значительно больше места чем остальные.

В зрительной системе корковое увеличение проявляется в том, что центральная часть сетчатки, особенно фовеола, представлена в коре гораздо большей площадью, чем периферические участки сетчатки. Хотя фовеола занимает менее 1% площади сетчатки, она и окружающая ее макула могут быть представлены более чем в 50% площади первичной зрительной коры. Это явление называется корковым увеличением фовеальной области.

Корковое увеличение обеспечивает высокую разрешающую способность и точность обработки информации от наиболее важных

участков сенсорных органов. В случае зрительной системы это позволяет человеку четко видеть и различать мелкие детали в центре поля зрения, что критически важно для таких задач, как чтение, распознавание лиц или вождение. При этом периферические участки сетчатки, которые отвечают за менее детализированное зрение, представлены в коре значительно меньшими областями.

Корковое увеличение наблюдается не только в зрительной системе, но и в других сенсорных системах. Например, в соматосенсорной коре участки, отвечающие за обработку информации от кончиков пальцев или губ, занимают значительно больше места, чем участки, связанные с менее чувствительными областями тела, такими как спина или бедра. Это связано с тем, что кончики пальцев и губы имеют высокую плотность рецепторов и играют ключевую роль в тактильном восприятии и взаимодействии с окружающей средой.

Работа зрительной коры имеет некоторые черты характерные и для других ее участков, например соматосенсорных отделов. В обоих случаях наблюдается быстрое падение чувствительности к стимулам неподвижным относительно рецепторного поля. Так постоянное ношение часов на руке не привлекает нашего внимания, но стоит этой рукой потрясти, как движение часов по поверхности кожи заставляет нашу кору вновь ощутить их давление. Тот же эффект характерен и для зрительного восприятия. Нейроны зрительной коры снижают свою активность или перестают реагировать на стимулы, которые остаются неподвижными в поле зрения в течение длительного времени. Это связано с адаптацией зрительной системы к статичным объектам, что позволяет мозгу экономить ресурсы и сосредотачиваться на движущихся или изменяющихся стимулах. Неподвижное относительно сетчатки изображение за несколько секунд тускнеет и перестает восприниматься. Это было показано в экспериментах, где изображение искусственно стабилизируется на сетчатке (например, с помощью датчиков направления взора). Классическим примером толерантности зрительной коры к неподвижным стимулам является феномен Трокслера. Если фиксировать взгляд на одной точке, окружающие неподвижные объекты начинают исчезать из восприятия.

Для того чтобы избежать замораживания картинки на глазном дне, наши глаза постоянно совершают микродвижения (саккады). Даже когда мы пытаемся фиксировать взгляд на неподвижном объекте, наши глаза совершают 2-3 саккадических движения в секунду. Именно они предотвращают полное исчезновение изображения из-за нейронной адаптации, так как они постоянно смещают изображение на сетчатке,

активируя разные группы фоторецепторов. Саккадические движения глаз в процессе рассматривания изображений были подробно изучены советским физиологом Альфредом Лукьяновичем Ярбусом (1914–1986). Ярбус доказал, что глазодвижения играют ключевую роль в зрительном восприятии. Глаза не просто пассивно воспринимают информацию, а активно "сканируют" окружающую среду, выделяя наиболее важные детали. Его эксперименты продемонстрировали, что характер движений глаз зависит от задачи, которую выполняет наблюдатель. Например, при рассматривании лица глаза чаще фиксируются на глазах, рте и носу, а при изучении картины — на ключевых элементах композиции. Работы Ярбуса заложили основы для современных исследований в области айтрекинга (отслеживания движений глаз). Его методы и идеи используются в психологии, нейрофизиологии, офтальмологии, а также в прикладных областях, таких как дизайн интерфейсов, реклама и изучение поведения потребителей.

Примером неподвижного относительно сетчатки изображения являются тени от сосудов сетчатки (см. рис. 6). Обычно мы их не видим, но при создании специальных условий освещения (осциллирующее освещение), тень от них немного перемещается. Для этого нужно взять достаточно яркий фонарик и немного его покачивая, посветить на глаз через веки. При определенном навыке исследователя, тени сосудов сетчатки, в виде ветвистого дерева или картины потрескавшейся земли, становятся хорошо различимы. Данная методика называется аутоофтальмоскопией и иногда применяется в клинике для оценки работоспособности сетчатки, если она недоступна для прямого осмотра.



Рис. 6. Фотография глазного дна. Видны сосуды сетчатки, располагающиеся на внутренней ее поверхности. Мы не в состоянии заметить тень собственных сосудов сетчатки, отбрасываемую на фоторецепторный слой, поскольку она неподвижна.

Из архива автора

Исторически в работе зрительного анализатора искусственно выделяют пять аспектов или функций органа зрения:

1. **Центральное зрение**, необходимое для различения мелких деталей.
2. **Периферическое зрение**, отвечающее за быструю, но грубую ориентацию в пространстве, реакцию на внезапные события в поле зрения.
3. **Цветовое зрение или цветоощущение**, необходимое для различения цветов на основе спектральных характеристик приходящего в глаз света.
4. **Светоощущение или адаптация**, способность различать объекты с малой разницей в яркости в различных условиях освещения.
5. **Бинокулярное зрение или стереопсис** — способность объединять немного различающиеся изображения от двух глаз в единый образ. Облегчат трехмерное восприятие мира

Эти функции работают совместно и неразрывно друг с другом, обеспечивая полноценное зрительное восприятие и взаимодействие с окружающей средой.

### **Центральное зрение.**

Центральное зрение – это центральный участок видимого пространства. Основное его предназначение – восприятие и различение мелких предметов или деталей. Характеризуется понятием «Острота зрения» или «Visus». Центральное зрение обеспечивается колбочками, расположенными в центральной ямке желтого пятна (фовеола), диаметром 0.3 мм. По мере удаления от этой области способность сетчатки к различению резко падает (рис 7.). Центральное зрение осуществляется макулой и соответствует в поле зрения центральной области размером примерно 10 градусов или 3 мм. (по 5 градусов в каждую сторону от направления взора). Такой видимый размер имеет ладонь на расстоянии вытянутой руки. Разрешающая способность глаза за пределами этой условной ладони недостаточна для чтения газетного шрифта и осуществления бинокулярного зрения. Именно поэтому при чтении длинных строк нам необходимо пробегать их глазами, чтобы все слова в строчке попали в это 10-ти градусную зону.

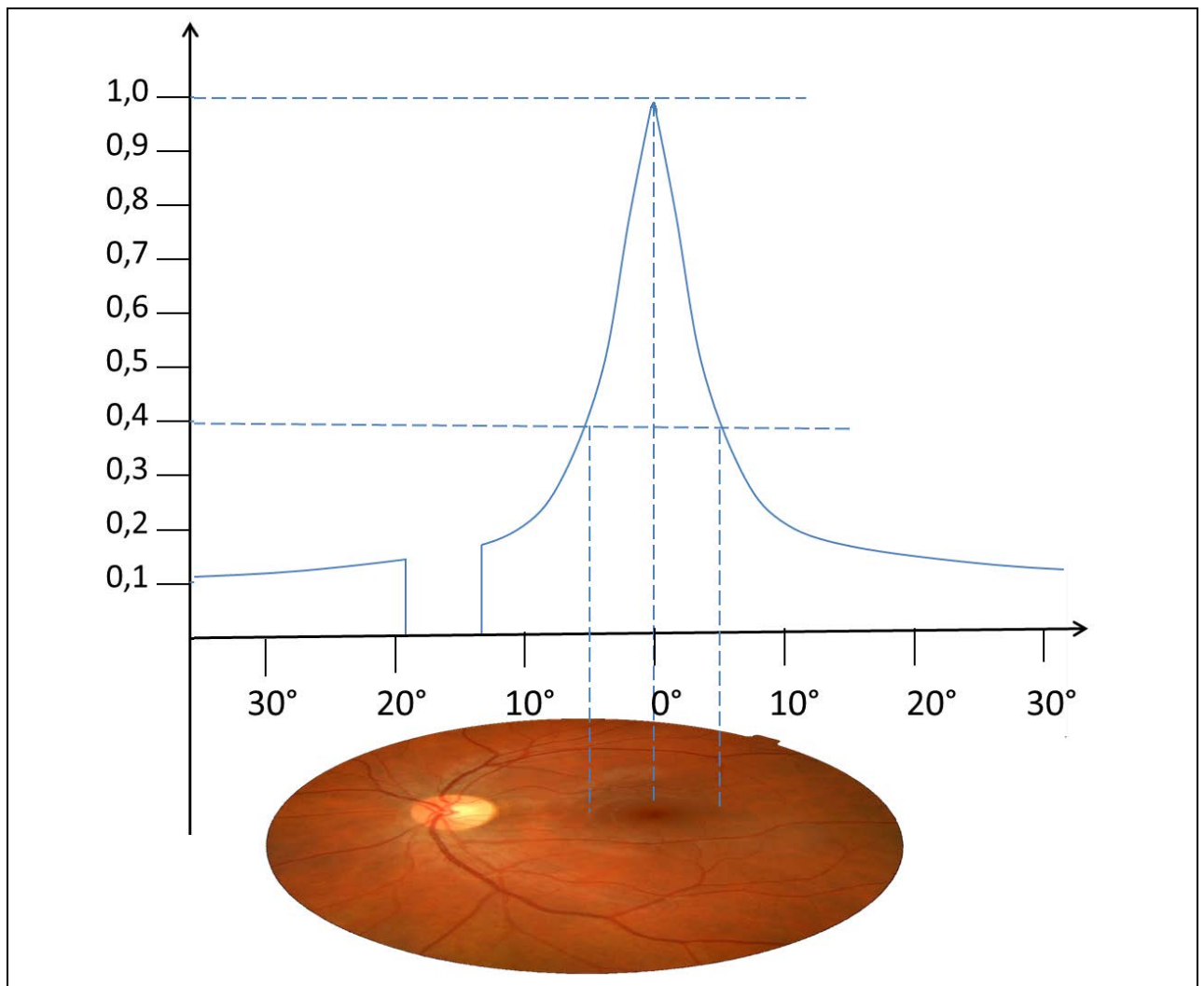


Рис. 7. Разрешающая способность сетчатки в различных отделах, по мере удаления от фовеолы. Вертикально – острота зрения, горизонтально – угол относительно направления взгляда в градусах. Снизу – соответствующие области сетчатки. В заднем полюсе глаза  $10^\circ$  примерно соответствует 3 мм. Изображение из архива автора.

Максимальная разрешающая способность сетчатки реализуется центральной ямкой (фовеолой) в центре макулы. Ее диаметр порядка 0,3 мм., что соответствует пятну диаметром  $1^\circ$ , находящимся в самом центре поля зрения и накрывающем точку фиксации. Угловой размер этой зоны примерно соответствует видимому размеру ногтя указательного пальца, находящегося на расстоянии вытянутой руки. Наивысшая разрешающая способность фовеолы обеспечивается несколькими факторами. Это очень плотная упаковка колбочек (около 200 000 колбочек на  $\text{мм}^2$ ), минимальный размер рецепторных полей ганглиозных клеток работающих с этой зоной, отсутствие сосудов (фовеола – аваскулярная зона, она целиком получает питание через мембрану Бруха из хориоидеи) и доминирующее представительство фовеолы и макулярной зоны в первичной зрительной коре

(около 50% поверхности зрительной коры обрабатывают информацию из макулярных областей обоих глаз).

Из рис. 8 можно получить представление о неравномерности разрешающей способности различных участков сетчатки. При неподвижной фиксации взгляда в центре, читаемость всех символов примерно одинакова.

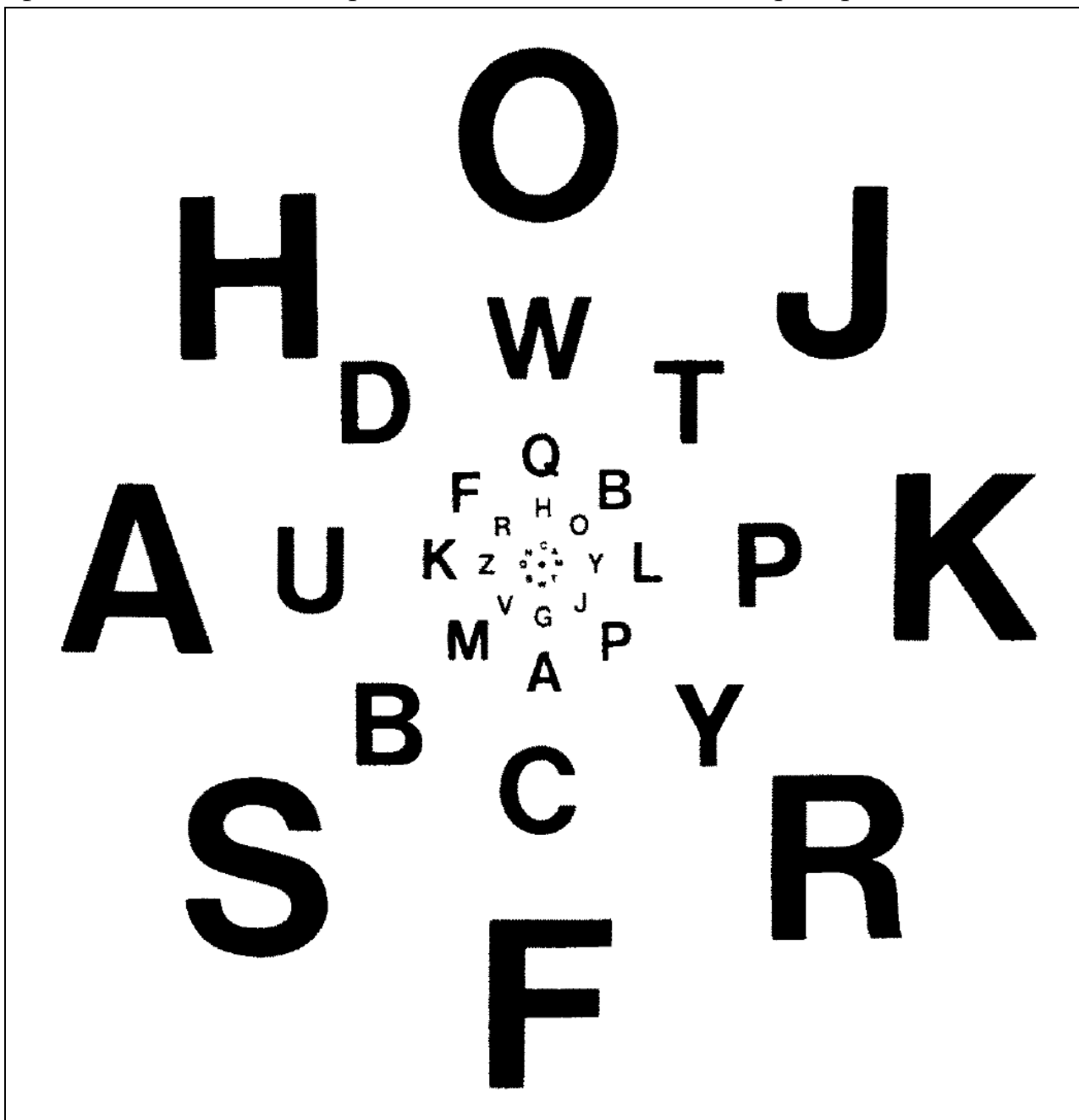


Рис. 8. При фиксации взгляда в центральной точке, все символы имеют примерно одинаковую легкость распознавания.

По Anstis SM. Letter: A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Res.* 1974 Jul;14(7):589-92. doi: 10.1016/0042-6989(74)90049-2

Качество центрального о зрения может быть охарактеризовано разными способами. Это классическая острота зрения, нониусная или

верньерная острота зрения, контрастная чувствительность и некоторые другие.

Острота зрения это способность глаза отдельно воспринимать две точки, расположенные друг от друга под минимальным углом зрения (минимальный угол разрешения или MAR – minimal angle of resolution). Этот критерий еще называют *minimum separabile* – минимально различимое. В большинстве случаев измерение MAR проводят с помощью чтения символов на визометрических таблицах, поскольку центральное зрение в современных условиях нужно в первую очередь для чтения. Однако распознавание символов, характеризующееся понятием *minimum cognoscibile*, не полностью соответствует различению двух точек. Узнавание букв может зависеть не только от их размера, но и от других причин: похожестью символов друг на друга, знакомством с используемым алфавитом и грамотностью исследуемого наконец.

Верньерная острота зрения — это способность глаза определять смещение одной линии относительно другой, что требует высокой точности работы зрительной системы. Этот тип остроты зрения также называют "гиперостротой", так как она превышает порог различения характерный для классической остроты зрения. Порог разрешения верньерной остроты зрения может достигать значений до 0,1 угловой минуты, что значительно меньше, чем минимальный угол разрешения для классической остроты зрения. Этот феномен объясняется суммацией информации от большого количества фоторецепторов и анализом ее зрительной корой, что позволяет заметить очень небольшие сдвиги протяженных объектов друг относительно друга. Понятие верньерной остроты зрения тесно связано с верньерной (или нониусной) шкалой, применяющейся для точного определения малых расстояний. Шкалы носят имя португальского математика Педру Нуниша (Petrus Nonius), предложившего ее для астрономического квадранта и бургундского изобретателя Пьера Вернье (Pierre Vernier), усовершенствовавшего эту шкалу. Подобная шкала используется например в штангенциркуле (см. рис 9). При работе с этой шкалой, для определения совпадающих и несовпадающих друг с другом рисок, требуется именно эта способность центрального зрения.

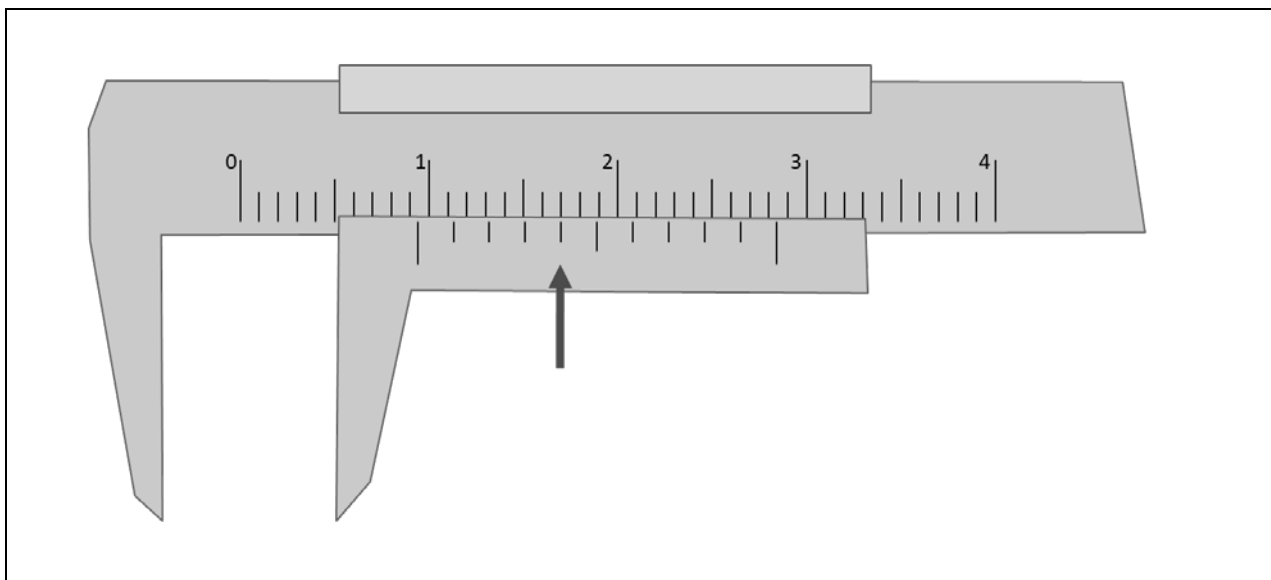


Рис. 9. Нониус штангенциркуля. Верхняя шкала – основная, нижняя – нониусная. Нулевая риска нониусной шкалы служит для грубого определения расстояния в миллиметрах. Риска нониусной шкалы, совпадающая с таковой основной шкалы (обозначена стрелкой), соответствует количеству десятых долей миллиметра. На рисунке ножки штангенциркуля раздвинуты на 9,4 мм

Из архива автора.

Контрастная чувствительность — это способность глаза различать объекты на фоне с минимальной разницей в яркости. В отличие от остроты зрения, которая измеряет способность видеть мелкие детали, контрастная чувствительность оценивает, насколько хорошо глаз воспринимает различия в яркости. Для её измерения используются например таблицы Пейли-Робинсона, которые состоят из символов одинакового размера, контрастность которых с фоном постепенно уменьшается. Эти таблицы позволяют оценить, как хорошо зрительная система справляется с задачами в условиях низкого контраста, что особенно важно для повседневной деятельности, такой как вождение в тумане или чтение при слабом освещении. Низкая контрастная чувствительность может наблюдаться при таких состояниях, как катаракта, глаукома или заболевания сетчатки, после проведения рефракционных вмешательств, даже если острота зрения остается высокой.

Визоконтрастометрия — это метод исследования, который объединяет оценку остроты зрения и контрастной чувствительности. С помощью специальных приборов или компьютерных программ пациенту предъявляются пространственные синусоидальные решетки с различными уровнями контраста и пространственной частоты. Это позволяет построить

контрастно-частотную характеристику глаза, которая отражает, как хорошо зрительная система воспринимает объекты разного размера и контраста. Визоконтрастометрия используется в научных исследованиях, диагностике заболеваний сетчатки, зрительного нерва и корковых нарушений.

Связь между остротой зрения, верньерной остротой зрения и контрастной чувствительностью заключается в том, что все эти параметры отражают разные аспекты работы зрительной системы. Острота зрения показывает, насколько мелкие детали может различить глаз, верньерная острота зрения — насколько точно он может определить взаимное расположение объектов, а контрастная чувствительность — насколько хорошо глаз справляется с задачами в условиях низкого контраста. Все эти параметры важны для полноценного зрительного восприятия и могут быть нарушены при различных патологиях.

Оценка всех этих параметров позволяет получить более полную картину состояния зрительной системы. Например, пациент с нормальной остротой зрения может жаловаться на трудности при чтении или вождении, что может быть связано со снижением контрастной чувствительности. В таких случаях визоконтрастометрия и использование таблиц Пейли-Робинсона помогают выявить скрытые проблемы, которые не обнаруживаются при стандартной проверке остроты зрения.

При измерении остроты зрения символы имеют высокий контраст и малый размер по сравнению с измеряемым углом. Верньерная острота зрения – тестовые изображения значительно (в десятки раз) больше измеряемого смещения. Контрастная чувствительность, на примере таблиц Пейли – Робинсона, характеризуются малым углом различения и понижающимся контрастом. Тесты для визоконтрастометрии имеют низкий контраст и малое значение измеряемого угла по сравнению с размером теста (см. рис. 10).

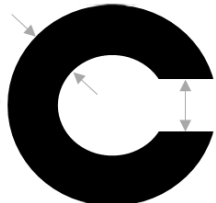


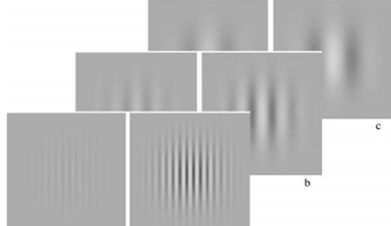
	Малый размер теста по сравнению с измеряемым углом	Большой размер теста по сравнению с измеряемым углом
Высокий контраст теста	<b>Острота зрения.</b> В 5 раз меньше опто типа 	Верньерная острота зрения. В десятки раз меньше. 
Низкий контраст теста	<b>Контрастная чувствительность.</b> 	<b>Визоконтрастометрия.</b> 

Рис. 10. Сравнение различных методов оценки центрального зрения. Сверху вниз и справа налево:

- кольцо Ландольта (стандартный визометрический опто типа);
- штриховой тест для измерения верньерной остроты зрения;
- таблицы Пейли – Робинсона для измерения контрастной чувствительности;
- пятна Габора для проведения визоконтрастометрии.

Изображения из архива автора.

### История визометрии.

В стандартной офтальмологической практике чаще всего ограничиваются исследованием остроты зрения. Как уже было сказано выше, она характеризует разрешающую способность глаза, т.е. способность распознавать мелкие детали. В основе лежит измерение того минимального (порогового) угла зрения между точками (см. рис. 11), под которым они еще видны по раздельности – минимального угла разрешения и или MAR.

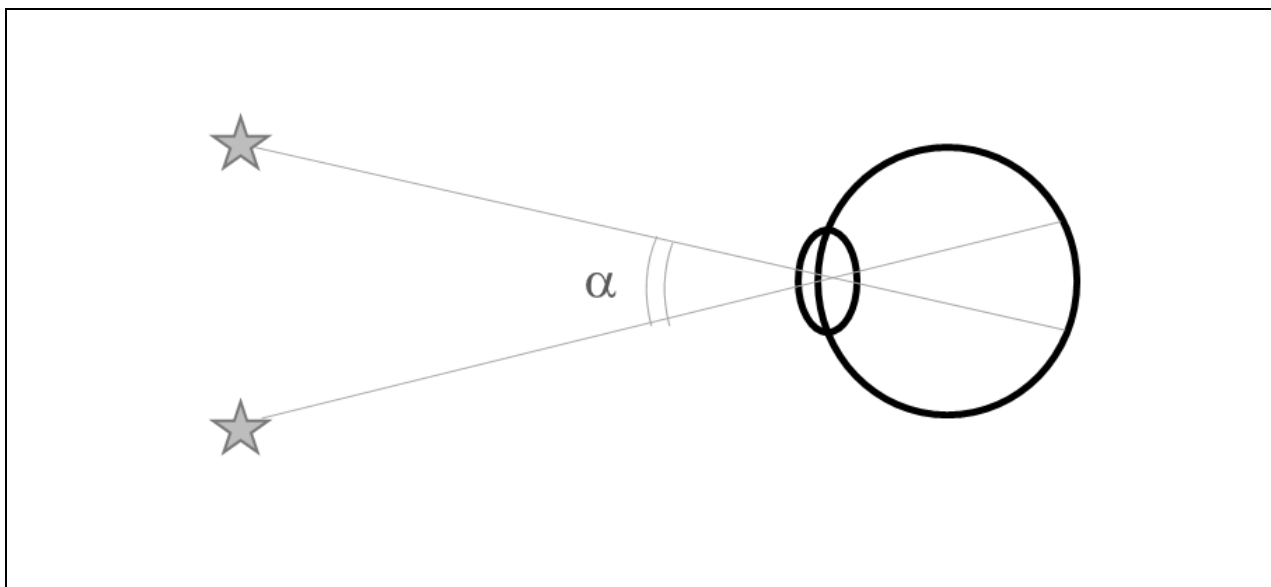


Рис. 11. Угол зрения между двумя точками — это угол, образованный лучами, идущими от этих двух точек к узловой точке глаза (у задней поверхности хрусталика). Этот угол определяет, насколько далеко они друг от друга находятся с точки зрения зрительного восприятия. Чем меньше угол зрения, тем сложнее их различить.

Изображение из архива автора

Таковыми точками могут быть например звезды на ночном небе. Самым древним описанным способом определения остроты зрения было наблюдение двойных звезд. Наиболее известной парой, использовавшейся в этих целях, являются звезды Мицар и Алькор, находящиеся во второй позиции ручки ковша созвездия Большой медведицы. Люди с хорошим зрением могут различить здесь две отдельные звезды Мицар и Алькор. В арабской литературе утверждается, что только обладающие самым острым зрением могут видеть компаньона Мицара. Персидский астроном, географ и писатель XIII века Закария аль-Казвини писал что «люди проверяли своё зрение этой звездой». Существует также легенда, что якобы в Древнем Египте в элитные войска фараона набирали юношей, которые могли различать эти звезды, это служило доказательством острого зрения. В версиях легенды фигурируют греческие лучники или индейские охотники.

В 1623 году, в своей книге *Uso de los Antioios* (Использование очков), Бенито Даза де Вальдес предложил для оценки остроты зрения использовать счет выложенных в линию зерен горчицы.

Первые письменные упоминания о математической величине, характеризующей остроту зрения, датируются 1674 годом. Английский естествоиспытатель и астроном Роберт Гук в своих трудах отмечал, что человек с нормальным зрением способен невооруженным глазом различить две звезды, если они расположены под углом в 1 угловую минуту. Он писал

«если две, три или даже десять звезд находятся на расстоянии меньше одной минуты друг от друга, глаз не может воспринять их как отдельные объекты, и они сливаются в одну звезду».

Стоит сразу подчеркнуть, что точечный источник света или яркая белая точка на черном фоне могут быть замечены человеком независимо от их углового размера, исключительно благодаря их яркости. Ярким примером этого является способность человеческого глаза видеть на небе яркие звезды, угловой диаметр которых значительно меньше одной минуты дуги. Это происходит благодаря тому, что на сетчатке глаза формируются круги светорассеяния, которые позволяют обнаружить светящуюся точку (явление иррадиации). В повседневной жизни мы часто сталкиваемся с этим явлением. Например, худые люди используют его, надевая светлую одежду, чтобы визуально казаться полнее, а полные, наоборот, выбирают темные наряды, чтобы выглядеть стройнее. Эти примеры показывают, что обнаружение белой точки на черном фоне связано с абсолютной световой чувствительностью глаза, а не с остротой зрения. Поэтому более корректным методом исследования остроты зрения является обнаружение темных объектов на светлом фоне. Из-за явления иррадиации при рассматривании белого квадрата на черном фоне угол зрения для стороны квадрата, согласно Ауберту, составляет всего 18 угловых секунд, тогда как при рассматривании черного квадрата на белом фоне этот угол увеличивается до 30 секунд. Аналогичные значения минимального угла зрения для восприятия черной точки на белом фоне были получены и другими исследователями: Т. Мейером — 30–36 секунд, Хаком — 30 секунд, Гофманом — 34 секунды. В настоящее время большинство тестов для определения остроты зрения основаны на использовании черных стимулов на белом фоне, что позволяет более точно оценить способность глаза различать детали.

В начале, проверять остроту зрения с помощью текста предложили изготовители и продавцы очков. Очки покупались главным образом для чтения книг и поэтому продавцы оптических стекол имели всегда вместе с очками и тексты с шрифтами различной величины. Веcker предлагал тем, кто хотел подобрать очки, использовать любой печатный текст, держа его на удобном для чтения расстоянии, и подбирать стекла, ориентируясь на четкость текста. Аналогичный метод предлагал и Chevalier (1815), который для этой цели использовал один и тот же шрифт из французской энциклопедии. Однако первым, кто создал настоящую оптометрическую таблицу, был врач Kuchler. Изначально он разработал таблицу для личного использования, но позже издал ее для общего применения. Таблица состояла из 12 рядов шрифтов, пронумерованных по размеру. Буквы в самом мелком

(12-м) ряду имели высоту 1,5 мм, в 11-м — 1,75 мм, в 10-м — 2 мм, а в 8-м — 3,5 мм. Самый крупный шрифт достигал высоты 21,5 мм. Kuchler сознательно не включал более крупные оптоотипы, считая, что пациенты с настолько низкой остротой зрения не поддаются лечению. Кроме того, он первым создал таблицы с шрифтами разной насыщенности, тем самым заложив основы контрастометрии. Однако таблицы Kuchler не получили широкого признания, которого заслуживали, поскольку офтальмологи того времени еще не осознавали важности стандартизации.

Оптометрические таблицы стали широко использоваться только после появления в 1854 году таблиц Jaeger в Вене, которую он опубликовал в приложении к своей книге посвященной катарактальной хирургии. Эти таблицы состояли из двух частей: первая включала 20 рядов букв разного размера на нескольких европейских языках, а вторая — ряд вертикальных черных линий, разделенных белыми промежутками. Линии во второй части уменьшались по высоте и толщине, а также по ширине светлых промежутков. Толщина каждой линии соответствовала определенному расстоянию, с которого она могла быть различима как отдельная. Например, линия толщиной 2 мм была видна с расстояния 20 футов (6 м), а линия толщиной 1 мм — с 10 футов (3 м). Острота зрения для близи записывалась по номеру прочитанного абзаца (J.1, J.2 и т.д.).

Примерно в то же время, в 1860 году, Striedinger предложил таблицу для исследования остроты зрения, состоящую из черных кружков на белом фоне. Задача пациента заключалась в том, чтобы подсчитать количество этих кружков. Такие таблицы получили широкое распространение в английской армии в конце XIX века. Позже аналогичные таблицы разработал Burchardt. Его таблицы были разделены черными полосами на белые поля разного размера, в каждом из которых располагалось от трех до шести кружков. Пациенту также предлагалось сосчитать количество кружков в каждом поле. Эти таблицы активно использовались в немецкой армии в тот же период.

В 1862 Franciscus (Franz) Cornelius Donders (основываясь на данных Роберта Гука) предложил использовать 1 угловую минуту в качестве эталона для проверки зрения, а его соратники голландский врач Herman Snellen, и французский исследователь Giraud - Teulon разработали способ проверки остроты зрения по таблицам, построенными на принципе нахождения наименьшей видимой глазом величины изображения, а точнее углового размера пробела или разрыва между элементами в стимуле. Donders предлагает определять остроту зрения не как номер прочитанной в какой-либо таблице строке, но по формуле, учитывающей размер оптоотипа и расстояние до него:

$$\text{Visus}=1/\text{MAR}$$

где MAR – минимальный угол различения исследуемого глаза в угловых минутах. Соответственно для «эталонного» глаза, острота зрения рассчитанная по этой формуле, соответствует 1,0. Значение остроты зрения также может быть представлено как отношение дистанции различения одного и того же опто типа с разного расстояния:

$$\text{Visus}=d/D$$

здесь d – дистанция с которого различает опто тип испытуемый, а D – дистанция различения того же опто типа «эталонным» глазом. Эта формула более известна как формула Снеллена.

Herman Snellen по предложению Donders'a представил способ определения остроты зрения таблицами, построенными на принципе нахождения наименьшего распознаваемого. Таблица Снеллена содержит строчки опто типов разных размеров, от самого большого вверху до самого маленького внизу, которые читаются поочередно каждым глазом на расстоянии 20 футов (см. рис.12). Острота зрения определяется по формуле Снеллена. Для печатанья таблиц были созданы новые типографские шрифты. Изначально Снеллен разрабатывал свои таблицы для использования их с расстояния 20 «Парижских» футов, однако после подписания в 1875 года международной Метрической Конвенции он откалибровал их для расстояния 5 и 6 метров. Запись измеренной остроты зрения осуществлялась в виде натуральной дроби (Снелленовская нотация). Например 20/40, это значит что при визометрии с 20 футов исследуемый смог прочитать только символы, которые человек с «эталонным» зрением видит с 40 футов. Такой способ нотации до сих пор сохранился в некоторых странах, где распространена имперская система мер.

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

Рис. 12. Таблица Снеллена. Символы с «засечками». Произвольный порядок изменения размера опто типов от строки к строке.

Jeff Dahl, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4262200> (с изм.)

В 1868 году John Green предложил таблицу с изменением размера опто типов от строчки к строчке по логарифмическому закону. Размер опто типов в соседних строчках отличался в  $\sqrt[10]{10} \approx 1,26$  раз. Расстояние между строчками и между опто типами в строчках в таблице Грина также напрямую зависела от размера опто типов. Данная компоновка позволяет выравнивать краундинг эффект (эффект скупенности), заключающийся в ухудшении различимости символа, если он находится слишком близко к соседним. Новшеством также являлось использование опто типов без засечек, в отличие от таковых у Снеллена

В 1875 г. французский офтальмолог Ferdinand Monoyer предложил таблицу нового дизайна. Им было предложено использовать для представления остроты зрения десятичные дроби вместо натуральных. Например 20/40 в Снелленовской нотации соответствует 0,5 в десятичной. Такой способ записи позволил оставлять таблицы удобным для устного счета способом. Так чтобы чтение каждой строчки повышало остроту зрения на 0,1. Его таблица состоит из 10 рядов букв, из которых верхний ряд виден под

углом 5 минут на расстоянии 5 м, а нижний – под тем же углом на расстоянии 50 м. Размеры знаков меняются через каждые 0,1 остроты зрения – от 1,0 до 0,1 в десятичной шкале (см. рис. 13).

MRTVFEUENCXOZD	10/10
DLVATBKUERSN	9/10
RCYHOFMESPA	8/10
EXATZHDWN	7/10
YOELKSFDI	6/10
OXP HBZD	5/10
NLTAVR	4/10
OH SUE	3/10
M C F	2/10
Z U	1/10

Рис. 13. Таблица Monoyer. Используется предложенная им десятичная нотация. Используются все символы латинского алфавита кроме G, J и Q. Строки выравнены по ширине, но расстояние между строками произвольное. Если читать первые и последние буквы каждой строки снизу вверх начиная со второй, можно прочесть имя автора таблицы MONOYER DM (docteur en médecine) FERDINAND.

LEMEN CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21557442>

В 1882 году А.А. Крюков разрабатывает первые русскоязычные таблицы. До этого в Российской империи для проверки остроты зрения применялись «Шрифты и таблицы для исследования зрения» с латинскими символами.

В 1888 году Edmund Landolt предложил оптотип в виде кольца с разрывом. Причем толщина линии и величина разрыва в кольце соответствует 1/5 диаметра символа.

Из-за разногласий в трактовании остроты зрения и методов ее исследования 10 Международный конгресс офтальмологов в Люцерне (1904)

предложил выбрать комиссию для изучения этого вопроса. Председателем комиссии выбрали известного немецкого офтальмолога Carl von Hess. Результаты работы комиссии были представлены на 11 Международном конгрессе в Неаполе (1909). Величина эталонного угла зрения в 1 угловую минуту стала международным стандартом, а эталонным оптоотипом было утверждено кольцо Ландольта. В дальнейшем (и по настоящее время) этот оптоотип использовался для сравнения его с другими по легкости узнавания.

В 1925 году С. Головин и Д. Сивцев на основании дизайна предложенного Монойе (только в обратном порядке следования строк), разрабатывают таблицу, ставшую в последующем наиболее распространенной на территории Советского Союза. Первое издание содержало 9 букв русского алфавита, начиная с 8-го издания 1932 года вторым **Ж** и **Ю** были исключены из-за сложности их распознавания (см. рис. 14). В одной части она содержит символы русского алфавита в разных сочетаниях, в другой — кольца Ландольта тех же размеров и в тех же позициях. Обе части таблицы сделаны в одинаковом дизайне, шаг от строки к строке выбран по десятичной шкале (от 0,1 до 1,0 шаг между строками — 0,1, затем идут строки со значениями 1,5 и 2,0), в строках имеется разное количество букв.



Рис. 14. Таблицы С. Головина и Д. Сивцева. Слева первое издание таблиц 1925 года, справа – современный вид таблиц, впервые использовавшийся в восьмом издании 1932 года.

Изображения из архива автора

На протяжении первой половины 20-го века при регистрации остроты зрения доминировала десятичная и Снелленовская (дробная) нотация. Однако в 1953 году Комитет по оптотипам Международного офтальмологического совета (Committee on Optotypes of the International Council of Ophthalmology) утвердил ряд рекомендаций, направленных на стандартизацию способов измерения остроты зрения. В том числе было рекомендовано использовать логарифмическую нотацию остроты зрения и напрямую связанную с ней логарифмическую прогрессию изменения размера оптотипов в строчках таблиц.

В 1959 году Louise Sloan, на основании проведенных исследований, предложила использовать 10 символов латинского алфавита близкой узнаваемости, одинаковой шириной и высотой (размером 5 x 5 элементов), а также опубликовала таблицы составленные из этих символов с логарифмической прогрессией размера опто типов.

В 1976 году Ian L. Baily и Jan E. Lovie попытались использовать при построении своей таблицы все известные практики стандартизации. Таблица была составлена из опто типов «Английского стандарта» (размером 5 x 4), предложенного в 1968 году Британским институтом стандартов. Каждая строка содержала по 5 символов. Расстояние между опто типами в строке равнялось ширине опто типа, расстояние между строками - высоте опто типов меньшей строки. Размер от строки к строке увеличивался в 1,26 раз. Таблица была рассчитана для использования с расстояния 6 метров и состояла из 14 строк. Для облегчения работы с этой таблицей предлагалась логарифмическая нотация с основанием 10.

$$\mathbf{LogMAR = \log_{10}(MAR)}$$

где LogMAR – острота зрения в логарифмической нотации.

Острота зрения для каждой строки была отмечена и в логарифмической и в дробной Снелленовской нотации. Возможен был также вариант таблиц с подписями значения строк в десятичной нотации. Из-за использования логарифмической прогрессии таблицу можно было использовать и с нестандартных расстояний (7,5; 4,8; 2,4; 1,5; 0,95 и 0,38 метров) добавляя к измеренной остроте зрения соответствующее расстоянию корректировочное значение.

В 1982 году в Национальном глазном институте США (National Eye Institute) на основе таблиц Baily Lovie были разработаны таблицы для проведения исследования по раннему лечению диабетической ретинопатии (Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study). В последующем за ними закрепилась аббревиатура этого исследования (таблицы ETDRS). Опто типы «Английского» стандарта (5 x 4) были заменены на опто типы Sloan (5 x 5). Стандартное расстояние для проведения исследований было уменьшено с 6 метров до 4. Кроме того для предотвращения запоминания было предложено использовать таблицы с различными сочетаниями букв для предварительного определения рефракции (Chart R), определения остроты зрения правого и левого глаз (Chart 1 и Chart 2). В настоящий момент использование данной таблицы для проведения клинических исследований в офтальмологии признано «золотым стандартом» (см. рис. 15).



Рис. 15. Таблица из набора ETDRS. R Chart.

Из Ferris FL, Kassoff A, Bresnick GH, Bailey I. New Visual Acuity Charts for Clinical Research. Am. J. of Ophthalmology. 1982 Jul;94(1):91–6. [http://dx.doi.org/10.1016/0002-9394\(82\)90197-0](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9394(82)90197-0)

В 1994 году Международная организация по стандартизации выпустила два стандарта ISO 8596 (Оптика офтальмологическая. Проверка остроты зрения. Стандартные оптоотипы и их представление) и ISO 8597 (Оптика и оптические приборы. Проверка остроты зрения. Метод корреляции оптоотипов). Данные стандарты окончательно закрепили кольцо Ландольта в качестве международного стандартного оптоотипа, относительно которого необходимо проверять узнаваемость других. Кроме того еще раз была декларирована логарифмическая прогрессия изменение размера оптоотипов. В соответствии с этими стандартами в России были разработаны таблицы РОРБА (Розенблюм, Овечкин, Росляков, Бершанский, Айзенштат). Используемые в ней символы встречаются как в кириллическом так и в латинском алфавите.

Оригинальные таблицы ETDRS содержат только символы Sloan, некоторые из них нельзя найти ни в кириллице ни в греческом алфавитах. Это может вызывать сложности в распознавании у людей? живущих в странах использующих эти алфавиты в письменной речи. Достаточно активно ведутся работы по «переводу» этих таблиц на национальные языки. Так в 2007 году Критский университет разработал модификацию данной таблицы с использованием «символов европейских алфавитов», а в 2015 году была анонсирована таблица для носителей русского языка.

По мнению многих авторов, наиболее подходящим для научных исследований является логарифмическая нотация и поэтому для исследований остроты зрения чаще всего рекомендуется использовать таблицы ETDRS. Больше чем в 50% англоязычных научных публикаций последнего десятилетия, для определения остроты зрения использовались таблицы с логарифмической нотацией. В нашей стране наиболее распространены таблицы Головина Сивцева в десятичной нотации, поэтому многие исследователи публикуют данные именно в ней.

Пересчет исходных данных из одной нотации в другую довольно прост. Для этого можно использовать формулы пересчета или составленные на их основе таблицы соответствия.

$$Vis = 10^{-LogMAR}$$

$$LogMAR = -\log_{10} Vis$$

где LogMAR – острота зрения в логарифмической нотации, а Vis – острота зрения в десятичной нотации.

Из-за нелинейности преобразования из десятичной в логарифмическую нотацию возникают проблемы при попытке сравнения различных производных статистических значений, вычисленных из исходных данных в различной нотации. Так простое вычисление среднего значения остроты зрения в десятичной шкале всегда (за исключением случая когда острота зрения одинаково во всех случаях) оказывается больше чем при вычислении его в логарифмической нотации. Еще большие разногласия возможны при сравнении среднеквадратичного отклонения, расчёте коэффициентов корреляции или доверительных интервалов. Из-за этого сравнение статистических данных исследований остроты зрения, проведенных в различной нотации становится крайне затруднительным. Иногда не представляется возможным корректно сравнить результаты отечественных исследований, проведенных с помощью десятичной таблицы Головина Сивцева, и их аналога в таких же зарубежных, где для проверки остроты зрения использовалась какая-либо логарифмическая таблица.

Субъективная визометрия.

Принципы определения остроты зрения (визометрии) мало изменились со времен Дондерса и Снеллена. Используются таблицы, состоящие из опто типов разного размера. «Оптитип» это символ, знак, предъявляемый пациенту для распознавания в процессе визометрии. В качестве опто типа подходит далеко не каждый символ. Согласно классическому принципу, предложенному еще Дондерсом, каждый элемент опто типа должен быть в 5 раз меньше его размера. Хорошим примером может например служить буква

«Ш». При правильном подборе печатного шрифта, каждый ее элемент в 5 раз меньше всего символа целиком (палочка, пробел, палочка, пробел, палочка).

Бумажные таблицы — это классический и наиболее доступный способ проверки остроты зрения. Таблицы Головина-Сивцева или Снеллена, печатаются на белой плотной бумаге и содержат ряды букв или символов разного размера. Они просты в использовании, не требуют специального оборудования и подходят для применения в любых условиях. Однако их главный недостаток — ограниченность их применения размерами кабинета. Так таблица Головина – Сивцева требует наличия 5-ти метровой дистанции. Таблицы Снеллена рассчитаны на 6 метров. Существуют также таблицы используемые на 4-х метровом расстоянии (ETDRS). К ограничениям использования бумажных таблиц можно отнести сложности контроля освещенности и фиксированный набор оптопов.

Просвечиваемые таблицы печатаются на прозрачной пластиковой подложке и освещаются сзади на просвет. Они размещаются в специальных световых коробах с равномерной подсветкой, что обеспечивает стандартизированные условия освещения. Это особенно важно для точности измерений, так как яркость и контрастность остаются постоянными. Такие таблицы часто используются в офтальмологических кабинетах, но их функциональность также ограничена фиксированным набором символов.

Проекторы знаков — это более технологичный способ демонстрации оптопов. С помощью проектора изображения таблиц проецируются на экран или стену, что позволяет легко менять размер и тип символов. Проекторы часто используются в современных офтальмологических кабинетах благодаря их универсальности и возможности демонстрации различных тестов, включая кольца Ландольта, буквы и цифры. При использовании проекторов больше не нужно соблюдать определенное рассчитанное для каждой таблицы расстояние. Если испытуемый сидит рядом с проектором (обычно снизу), и расстояние от проектора до экрана и от экрана до пациента одинаковое, пациент будет видеть оптопы под необходимым углом зрения. Причем само расстояние до экрана может варьироваться в широких пределах. Это дает дополнительную свободу при выборе помещения для проведения визометрии. Недостатком этого способа предъявления является плохой контроль яркости поля, которое зависит от дистанции исследования по квадратичному закону.

Системы с LCD монитором — это наиболее современный и гибкий способ проверки остроты зрения. На экране монитора отображаются оптопы, которые можно легко менять, регулируя размер, яркость,

контрастность и даже цвет. Такие системы позволяют проводить комплексные тесты, включая проверку остроты зрения, контрастной чувствительности, бинокулярного зрения и цветовосприятия. Они также могут быть интегрированы с компьютерными программами для автоматизации диагностики. Такие системы часто используются в современных клиниках и исследовательских центрах.

Цифровые системы с сенсорными экранами — это инновационный способ проверки остроты зрения, который сочетает в себе преимущества LCD мониторов и интерактивных технологий. Пациент может взаимодействовать с экраном, выбирая или указывая на оптоотипы, что упрощает процесс диагностики. Пока что встретить их в кабинете офтальмолога практически невозможно.

Для исследования остроты зрения вблизи чаще всего используются бумажные таблицы, это как наиболее близкий аналог книги или газеты, для чтения которых необходимо иметь скорректированную для близи рефракцию. Они содержат тексты для чтения или символы разного размера и используются для подбора очков для работы или чтения. Их точность не очень велика, поскольку зависит от условий освещения и расстояния до глаз пациента, что очень сложно плохо контролировать в реальных условиях.

В зависимости от традиции, в разных странах запись остроты зрения ведется или в виде десятичной или в виде натуральной дроби, где в числителе и в знаменателе указывается соответствующее расстояние в футах или метрах. Сама же острота зрения является величиной безразмерной, поскольку единицы длины в формуле сокращаются. Например, привычная нам запись «эталонной» остроты зрения 1,0 (единица) соответствует принятой в США записи 20/20. Нормальной считается острота зрения равная или превышающая единицу.

В нашей стране для проверки остроты зрения чаще всего применяется бумажные таблицы Головина – Сивцева (рис. 14, правая часть). Проверка ведется с расстояния 5 метров для каждого глаза по отдельности. Таблица должна висеть на расстоянии 120 см. над уровнем пола. Кроме того она должна быть хорошо освещена, например с помощью электрической лампочки в аппарате Рота.

Начиная с первой, каждая последующая строка таблицы соответствует повышению остроты зрения на одну десятую. Например, если человек читает оптоотипы 4-й строчки таблицы, его острота зрения равна четвертому десятку (0,4), если пятой – пяти десяткам (0,5), если десятую – единице (1,0). Исключением являются 11 и 12 строчки, дающие остроту зрения 1,5 и 2.0 соответственно. Слева указано расстояние, с которого строчка читается

человеком с эталонным зрением (D), справа – острота зрения при определении ее с пяти метров (V).

Обычно остроту зрения проверяют для каждого глаза отдельно. При этом глаз, который не исследуется, не должен видеть знаки на таблице. Однако это не означает, что его нужно закрывать и погружать в темноту. Если один глаз находится в темноте, это вызывает расширение зрачка как в этом глазу, так и в другом, что приводит к избыточному попаданию света внутрь глаза и снижению остроты зрения. Не рекомендуется прикрывать парный глаз рукой. Давление руки на глаз ухудшает кровообращение в нем, а также рефлекторно влияет на исследуемый глаз. Стоит учитывать, что после проверки одного глаза обычно переходят к исследованию остроты зрения другого. При таком подходе недостатки метода исследования переносятся с одного глаза на другой. Лучше исключить парный глаз из бинокулярного зрения с помощью непрозрачного белого щитка. Для этого пациент должен приложить щиток к спинке носа, а наружный край щитка отодвинуть от глаза. При определении монокулярной остроты зрения веки обоих глаз должны быть открыты. Для изготовления щитка рекомендуется использовать материал, который можно дезинфицировать. Использование щитка из матированного полупрозрачного материала позволяет врачу наблюдать за парным глазом пациента.

Некоторые проблемы возникают в случае если испытуемый не в состоянии узнать все буквы в строчке. Иногда правильно читаются по несколько букв в соседних строках. В этом случае нет единого стандартного подхода. Одни руководства рекомендуют зачитывать только полностью прочитанные строки. Другие – отмечать частично распознанные строки как неполные. Третьи вводят некоторое пороговое значение букв для зачета строки, причем оно разное для разных строчек. Данная проблема однозначно решена в протоколе ETDRS, где каждая правильно прочитанная буква влияет на итоговый результат (чтение каждой буквы соответствует изменению остроты зрения на 0,02 в логарифмической нотации).

В случае, если испытуемый с пяти метров не может прочитать оптоотипы верхней строчки таблицы Головина – Сивцева, острота его зрения меньше одной десятой. Для более точного определения нужно попросить его подойти к таблице до тех пор, пока он не сможет их распознать. Поскольку толщина человеческих пальцев примерно соответствует размерам элементов оптоотипа в верхней строчке, которые человек с «эталонным» зрением может распознать с 50-ти метров. Исследователь может использовать свои пальцы в качестве своеобразного оптоотипа, показывая пациенту разное количество пальцев с разного расстояния. В этом случае острота зрения высчитывается

по формуле Снелена. Так, если испытуемый смог посчитать пальцы (или узнать верхние символы таблицы) с расстояния 2 метра, то острота его зрения равна ( $2/50 = 0,04$ ) четыре сотых.

Если человек не видит пальцев на расстоянии полуметра, то острота его зрения меньше одной сотой. Традиционно в этом случае запись остроты зрения ведется не цифрами, а словами. Возможны следующие градации:

- счет пальцев у лица (смог посчитать пальцы с расстояния менее полуметра);

- движение руки у лица (пальцев не видит, но видит руку и может определить направление ее движения);

- $1/\infty$  *proiectia lucis certa* (правильная проекция света – при освещении глаза фонариком всегда правильно определяет положение фонарика, примерно такова острота зрения здорового человека с закрытыми глазами);

- $1/\infty$  *proiectia lucis in certa* (неправильная проекция света – ошибается при определении направления на источник света);

- $1/\infty$  *perceptio lucts incerta* (неправильное или неуверенное светоощущение – больной неуверенно и неточно определяет, освещен ли его глаз или не освещен). Данная градация падения остроты зрения в настоящее время практически вышла из употребления.

- 0 (медицинская слепота – не может определить светят ли в глаз фонариком или нет).

При записи остроты зрения используют следующие сокращения:

OD (*oculus dexter*) — правый глаз;

OS (*oculus sinister*) — левый глаз;

OУ (*oculi utriusque*) — если острота зрения обоих глаз одинакова.

Например, запись:

Vis. OУ=1,0

равнозначна записи:

Vis. OD=1,0

OS=1,0

Особенности визометрии при проведении экспертизы.

Зрительные функции во многом зависят от психического состояния человека и могут изменяться под влиянием различных факторов. Например, при утомлении, негативных эмоциях, общем истощении или нарушении обменных процессов показатели функционального состояния зрения могут снижаться. Также значительное влияние на результаты исследования оказывает резкое ослабление внимания, наблюдаемое при некоторых психических состояниях, когда пациент не может сосредоточиться на

объектах, используемых для оценки зрительных функций. Важно учитывать возможность таких нарушений, как зрительная агнозия, при которой зрительное восприятие нарушается, несмотря на отсутствие патологий в глазу или зрительных путях.

При проведении экспертизы пациенты часто сознательно ухудшают (симуляция и аггравация) или пытаются улучшить результаты своей визометрии. В этих случаях врач располагает множеством контрольных методов, позволяющих выявить несоответствие между жалобами пациента и реальным состоянием его зрения. Многие из этих методов создают условия, при которых показания симулянта противоречат законам оптики и физиологии зрения. Кроме того, несоответствие между словами пациента и его поведением можно обнаружить, опросив людей, которые регулярно его наблюдают, например, во время пребывания в стационаре.

Для выявления односторонней или двусторонней симуляции, а также аггравации снижения остроты зрения, используются пробы, которые вводят пациента в заблуждение относительно размера показываемых знаков и расстояния, с которого они демонстрируются. Например, в первый день остроту зрения проверяют с помощью таблицы с кольцами Ландольта, а на следующий день — с использованием других таблиц. Наконец, могут применяться контрольные таблицы или вертикальные оптоотипы Б.Л.Поляка. В них использован принцип разной ширины оптоотипа и размеров разрыва в нем, при этом строки с одной и той же остротой зрения могут находиться в неправильном порядке, о чем исследуемый не догадывается. Истинные значения величины остроты зрения для каждого ряда таблицы и вертикальных полос известны только исследователю.

Симулянту сложно давать одинаковые показания, если ему предъявлять отдельные буквы, вырезанные из таблиц. Некоторые пациенты с эметропической рефракцией считают, что вызовут больше доверия, если покажут более высокую остроту зрения в очках. Если таким пациентам надеть пробную оправу с собирающим стеклом  $+1,0\text{ D}$ , а затем добавить рассеивающее стекло  $-1,0\text{ D}$ , они часто заявляют, что видят лучше с двумя стеклами, что также выдает их симуляцию. Кроме того, симулянты часто не учитывают изменение расстояния, с которого им показывают таблицы. Например, если пациент называет знаки первого или второго ряда с расстояния 5–6 метров, то с расстояния 2,5–3 метров он должен видеть второй или четвертый ряд. Несоответствие в его показаниях при изменении расстояния помогает выявить симуляцию.

Для выявления симуляции снижения остроты зрения также полезно исследование с использованием зеркала. Пациента сначала ставят лицом к

таблице на половине расстояния между таблицей и зеркалом, расположенным на стене напротив. После того как пациент правильно определяет положение разрывов в кольцах Ландольта, его поворачивают спиной к таблице и просят назвать знаки в их зеркальном отражении. Зеркало должно быть большим и не искажать изображение. Симулянт, думая, что знаки находятся на поверхности зеркала, будет называть их так же, как и раньше, хотя на самом деле они будут находиться на расстоянии, в три раза большем, что и выявит его обман.

Также можно использовать объективные, не зависящее от воли пациента методы определения остроты зрения. Они помогают оценить остроту зрения у пациентов с которыми невозможно общаться по объективным причинам (психически больные в состоянии обострения или люди находящиеся в сопорозном состоянии).

Методики основанные на регистрации оптокинетического нистагма. При наблюдении движущихся объектов, наши глаза непроизвольно осуществляют следящие движения. Это можно наблюдать у пассажиров едущих в поезде. Добиться такого эффекта можно двигая перед глазами пациента изображение в виде чередующихся полос. Если исследуемый не различает эти объекты, нистагм не появляется. Та наименьшая величина движущихся с определенном скоростью знаков, при фиксации которых с установленного расстояния у испытуемого еще появляется нистагм, и будет соответствовать действительной остроте зрения. Регистрация движений глаз может осуществляться как прямым наблюдением исследователя, так и автоматически с помощью устройств регистрирующих направления взора.

Вторая группа методов основана на регистрации зрительно вызванных потенциалов на электроэнцефалограмме. В этом случае пациенту обычно предъявляется стимул в виде периодически инвертируемой шахматной доски (черные клетки становятся белыми, а белые – черными). Инверсия не вызывает изменения общей освещенности поля, поэтому изменения на электроэнцефалограмме можно зарегистрировать только в том случае, если пациент может увидеть отдельно черные и белые клетки.

Наиболее частыми причинами снижения зрения являются рефракционные нарушения. Их частота примерно равна примерно 60-70%. Снизить остроту зрения может также помутнение прозрачных структур глаза, например катаракта (помутнение хрусталика). Заболевания сетчатки и зрительного нерва тоже могут явиться причиной снижения остроты зрения. Острота зрения может быть снижена в результате функциональных причин, например при амблиопии.

## Определение остроты зрения у детей.

Исследование остроты зрения у маленьких детей — это важный процесс, который помогает оценить, насколько хорошо ребенок может видеть и выявить возможные нарушения зрения на ранних этапах развития. Острота зрения у детей развивается постепенно, и её оценка требует специальных методов, адаптированных для разных возрастных групп.

Нормальная острота зрения у детей зависит от возраста, причем возрастные нормы в разных источниках немного разнятся.

Новорожденные (0–1 месяц) имеют очень слабое зрение, ребенок может различать только свет и тень. Фокусировка внимания на объектах практически отсутствует. Младенцы лучше реагируют на близкие объекты на расстоянии 20–30 см. (примерно расстояние до лица матери во время кормления). Могут реагировать на выражение лица взрослого, держащего младенца на руках. Оценка остроты зрения в этом возрасте затруднена, но не превышает нескольких сотых.

В 1–3 месяца ребенок начинает следить за движущимися объектами. Появляется способность реагировать на контрастные цвета (например, черный и белый). Острота зрения улучшается, но остается низкой, в пределах сотых.

4–6 месяцев. Ребенок начинает различать цвета и формы. Острота зрения улучшается до 0,1–0,2. В этом возрасте может начать появляться бинокулярная фиксация.

6–12 месяцев. Острота зрения продолжает улучшаться, достигая 0,3–0,6. Ребенок начинает лучше координировать движения глаз и рук.

1–3 года. Острота зрения приближается к уровню взрослого человека (близко к 1,0).

Поскольку младенцы не склонны к сотрудничеству, оценка остроты зрения в педиатрической практике представляет собой серьезную проблему. Для грубой оценки используется наблюдение за поведением ребенка. Врач или родители могут оценить, как ребенок реагирует на свет, движущиеся объекты и яркие цвета. Например, если ребенок не следит за игрушкой или не реагирует на свет, это может указывать на проблемы со зрением.

Чтобы определить наличие форменного зрения у ребенка в возрасте 2–5 месяцев, можно использовать ярко-красный шарик диаметром 4 см, подвешенный на нитке на фоне окна. Ребенка медленно приближают к шарiku, фиксируя расстояние, с которого он начинает следить за шариком глазами или пытается дотянуться до него рукой. Шарик рекомендуется слегка раскачивать. Для оценки остроты зрения у детей в возрасте 6–12 месяцев применяют аналогичный метод, но используют шарик меньшего

размера — диаметром 0,7 см. Если ребенок начинает следить за шариком (появляются следящие движения) с расстояния 5 метров, это свидетельствует об остроте зрения примерно 1,0. Если шарик различается с 1 метра — острота зрения около 0,2, а с 50 см — примерно 0,1. Для детей 1–2 лет рекомендуется другая методика. Ребенка с завязанным одним глазом приводят в хорошо освещенную комнату длиной не менее 5 метров. На полу комнаты нарисованы концентрические дуги с промежутками в 1 метр. На дуге с отметкой 5 метров размещают белый шарик диаметром 4 см. Ребенку показывают такой же шарик и просят найти его взглядом и принести. Если ребенок не справляется с задачей, шарик перемещают на отметки 4 метра, 3 метра и так далее, пока он не будет обнаружен. После успешного нахождения шарика диаметром 4 см его заменяют на шарик меньшего размера. Оценку остроты зрения осуществляют по таблице, в зависимости от размера шарика и расстояния его нахождения.

На аналогичном поисковом принципе, только для близкого расстояния, основан тест "Hundred's and Thousand's", название которого соответствует английскому идиоматическому выражению для определения неопределенного, но подчеркнуто большого числа. Это также название для вида декоративных кондитерских изделий, состоящих из крошечных разноцветных сахарных шариков, которые широко используются кондитерами. Некоторое количество таких шариков рассыпается по поверхности стола. Если ребенок их подбирает, его острота зрения не ниже 0,25. Недостатком этой поисковой группы методов является принципиальная неточность и невозможность стандартизации. Регистрация ребенком шарика говорит больше о контрастной чувствительности, чем о способности различать объекты. Яркие, но маленькие шарики могут быть заметнее больших, но менее контрастных с фоном.

Также могут применяться методы основанные на регистрации предпочтительного направления взора, основанному на предположении что ребенок будет чаще смотреть на картинку с контрастным рисунком, чем на серое изображение той же яркости. Для этого могут использоваться карты Forced Choice Preferential Looking (FCPL) с контрастными пространственными решетками разной частоты с одной стороны и серым фоном с другой. Исследователь регистрирует направление взора ребенка и движения головы, подсматривая через отверстие в центре карты. На аналогичном принципе основаны Teller Acuity Cards (см. рис. 16) и Keller Acuity Cards. Отличаются только расстояние предъявления и форма стимула. В случае теста Lea Gratings, стимул и нейтральный рисунок изображены на круглых табличках, предъявляемых врачом одновременно двумя руками. Аналогичное

исследование может проводиться отображения парных картинок на мониторе. В некоторых случаях регистрация направления взора может быть автоматизирована.



Рис. 16 Тест с определением предпочтительного направления взора с помощью Teller Acuity Cards. Движение глаз и головы ребенка видно исследователю через отверстие в центре карты.

Из Pardhi Chandrakishor Hemraj; Chahande Sujata Sanjay. Ophthalmic manifestations in children with delayed milestones. *Journal of Clinical Ophthalmology and Research* 8(1):p 18-23, Jan-Apr 2020. DOI: 10.4103/jcor.jcor\_87\_18

У детей способных к сотрудничеству с взрослыми, начиная примерно с 2,5 – 3-х лет, возможно определение остроты зрения по таблицам с небуквенными символами и рисунками. В случае если ребенок еще не разговаривает или речь его непонятна, он может отвечать, показывая аналогичный рисунок, лежащий перед ним. В нашей стране наибольшее распространение получили таблицы Орловой (см. рис. 17). В некоторых случаях, для упрощения ребенку задачи распознавания, количество опто типов в таблице сокращается, так в таблицах Lea имеются всего 4 символа хорошо узнаваемых символа (круг, квадрат, домик и яблоко) в разных комбинациях. Их компоновка в таблицу аналогична таковой для таблиц ETDRS. Похожим образом устроен Allen Picture Test, содержащий 6 опто типов. К этому типу таблиц также можно отнести Kindergarten Eye Test Chart и STYCAR test (Screen Test for Young Children and Retardates).

ТАБЛИЦА ОРЛОВОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТРОТЫ ЗРЕНИЯ ДЕТЕЙ

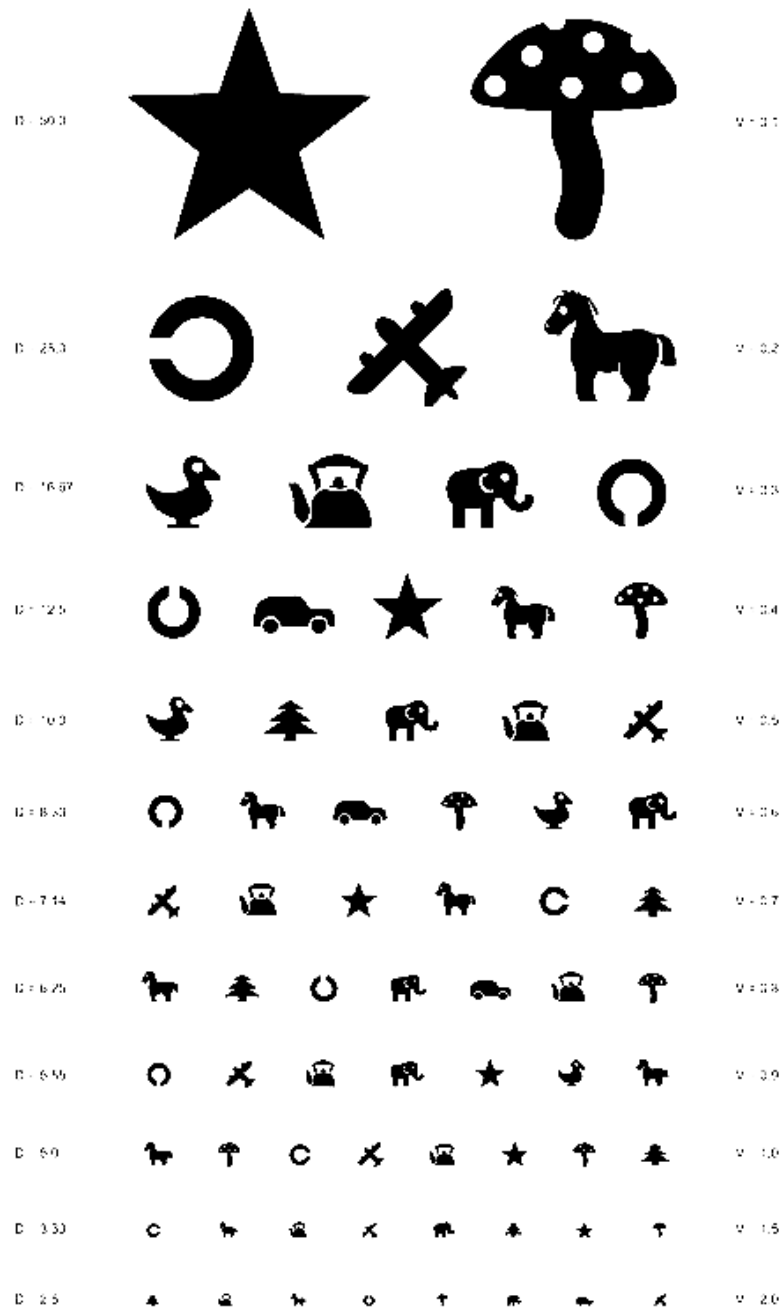


Рис. 17. Таблица Орловой для проверки остроты зрения у детей

Символы могут предъявляться ребенку и по отдельности. Так в Kay's picture test показывают по одному символу на карточке (6 типов узнаваемых картинок). В предельном варианте упрощения ребенку задачи распознавания может применяться всего один оптотип, но повернутый в разных направлениях. В этом случае для ответа достаточно рукой или пальцем

показать направление символа. Это могут быть таблицы с кольцами Ландольта, входящие в набор таблиц Головина Сивцева. Таблицы с «кувыркающимися» символами Е или оптоотипы в виде ладошки (Sjogren Hand Test, см. рис. 18).

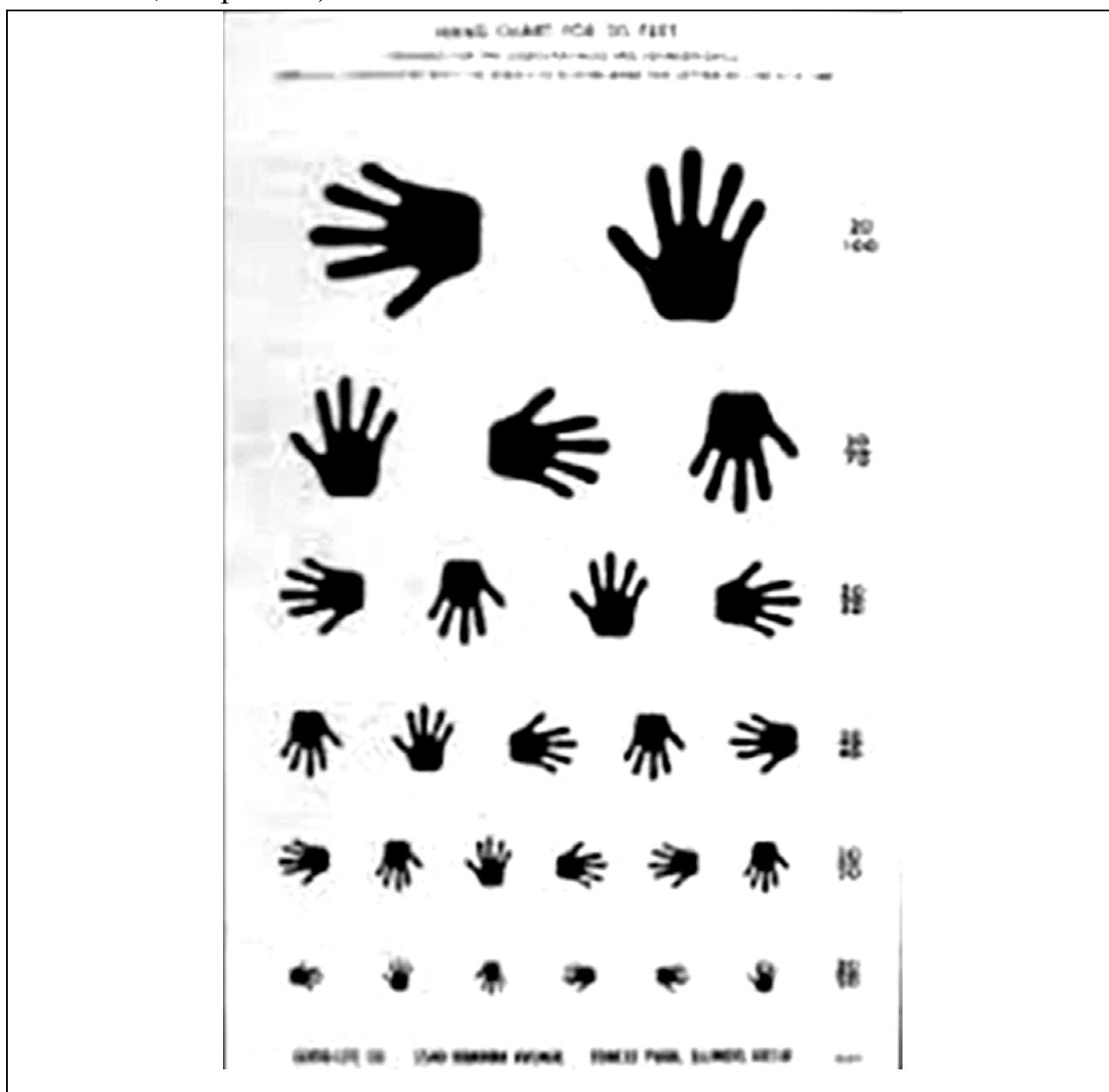


Рис. 18. Sjogren Hand Test (Tremble Palm Test). Задача ребенка максимально упрощена. Нужно показать свою ладошки как на картинке.

Могут использоваться «исчезающие» картинки. Размер самого оптоотипа здесь не очень важен, поскольку для отличения его от серого фона необходимо различить чередующиеся черные и белые полосы, очерчивающие контуры объекта. Ключевую роль играет их толщина. В случае если полосы сливаются друг с другом – рисунок исчезает. На этом принципе основаны Cardiff Acuity Cards, так же устроены контурированные

оптотипы Коскина для экспертной оценки зрения (см. рис.19).



Рис. 19. Исчезающие контурированные оптотипы Коскина

В педиатрической практике, а также при проведении экспертиз, могут использоваться методы, основанные на регистрации оптокинетического нистагма и зрительных вызванных потенциалов. Однако эти подходы требуют наличия специализированного оборудования и применяются в повседневной практике достаточно редко.

## **Периферическое зрение.**

Периферическое зрение является функцией палочкового и колбочкового аппарата всей оптически деятельной сетчатки и определяется понятием поле зрения.

«Поле зрения» это пространство, которое воспринимает неподвижный глаз. Граница поля зрения на ахроматический (бесцветный) объект в каком-либо меридиане, соответствует точке, где исследуемый начинает этот объект замечать. Граница поля зрения на цвет это точка, начиная с которой человек начинает правильно определять цвет. Границы поля зрения определяются в угловых координатах на поверхности сферы, а для простоты отображения проецируются на плоскость с помощью полярной проекции.

Способы периметрии разделяют на динамические (кинетические) и статические. При динамической периметрии движущийся объект (например, световая точка) перемещается от периферии к центру поля зрения. Пациент сигнализирует, когда замечает объект, что позволяет определить границы поля зрения и его дефекты. При статической – пациенту предъявляются неподвижные объекты разной яркости, величины в различных точках поля зрения. Этот метод позволяет более точно определить чувствительность сетчатки в разных участках поля зрения. Современные автоматические периметры, такие как Humphrey или Octopus, обычно используют именно этот подход.

Разработаны также особые виды периметрии, с нестандартным стимулом:

- Коротковолновая или периметрия синим стимулом на желтом фоне (SWAP);
  - Периметрия с иллюзией удвоения пространственной частоты (FDT);
  - Периметрия с быстрым изменением пространственного разрешения (HPR);
  - Контурная периметрия или Flicker Defined Form (HFR)
- и другие.

Для исследования центрального поля в пределах 30-40 градусов от точки фиксации может применяться методика предъявления стимулов на плоской поверхности - кампиметрии. Такой способ позволяет точнее выявить выпадения (скотомы) в этом участке поля зрения. Пациент располагается на расстоянии 1–2 метров от экрана, один из его глаз закрывается, а вторым он фиксирует взгляд на центральной точке. Врач перемещает объект (например, белую или цветную метку) по экрану, а пациент сообщает, когда видит объект и когда он исчезает. Это позволяет выявить скотомы и определить их форму и размер.

Самым простым методом исследования поля зрения является

ориентировочный (контрольный, аппозиционный) метод Дондерса (см. рис 20), когда врач просто сравнивает поле зрения пациента со своим. Врач садится напротив больного, закрывает свой правый глаз и просит пациента посмотреть на открытый глаз, прикрыв зеркально левый глаз (или наоборот, если исследуется поле зрения левого глаза). При таком положении, в гипотетической плоскости на середине расстояния между врачом и пациентом, границы полей зрения обоих находятся в одних и тех же точках пространства. Показывая различные объекты (пальцы, кончик ручки с цветным колпачком) в этой плоскости, врач сравнивает ответы пациента со своими ощущениями. Если в какой-то области врач может увидеть предъявляемый объект, а пациент не может, значит здесь находится дефект поля зрения пациента. Это метод может применяться в амбулаторных условиях при отсутствии соответствующего оборудования.



Рис. 20. Исследование поля зрения ориентировочным методом. Фото и поясняющая схема.

Из архива автора

Более точно измерить границы поля зрения позволяет дуговой периметр Ферстера и более совершенный полусферический периметр. Для определения границы поля зрения объект ведется по дуге периметра от периферии к центру. Границей поля зрения в данном меридиане считается место, в котором испытуемый замечает объект (см. рис. 21).

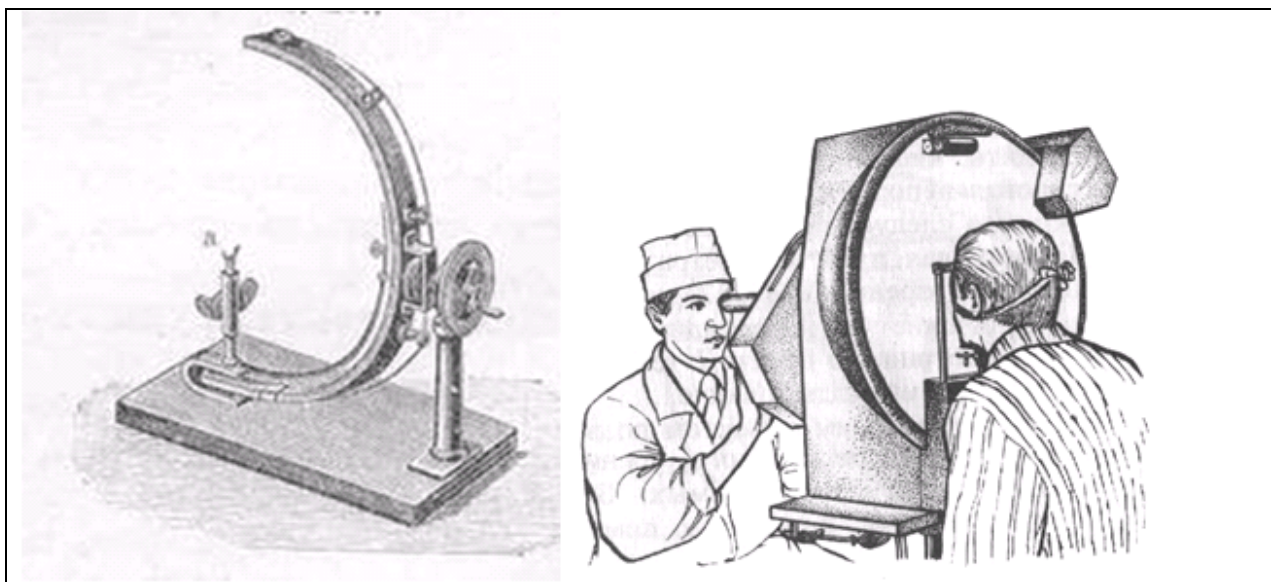


Рис. 21. Дуговой и полусферический периметры.

Учебник глазные болезни. А.А. Бочкарева, Т.И. Ерошевский, А.П. Нестеров и др. под ред. А.А. Бочкаревой. М. Медицина 1989г. 3-е изд, перераб и доп.

У ручной периметрии много недостатков: результаты ее сильно зависят от медперсонала, она трудоемка. В последнее время эталоном периметрического исследования стала статическая компьютерная периметрия.

Современные периметры, управляемые компьютером, состоят из полусферы, на внутренней поверхности которой предъявляются неподвижные светящиеся тест-объекты (стимулы) дозируемой яркости. Последними разработками стали периметры, проецирующие фоновый свет и световые стимулы непосредственно на сетчатку пациента и не требующие наличия громоздкого купола. Однако наиболее широкое распространение получили автоматизированные анализаторы поля зрения Humphrey (Carl Zeiss Meditec) и Octopus (Haag-Streit Diagnostics), см. рис. 22.



Рис 22. Периметры (анализаторы поля зрения) Humphrey II и Octopus 900.

Современные методы диагностики первичной открытоугольной глаукомы. Учебное пособие для ординаторов, врачей курса повышения квалификации. под ред. Аветисова С.Э., М. Издательство Сеченовского Университета 2019г.

Яркость фонового освещения или предъявляемых стимулов в периметрах измеряется в физических единицах, называемых апостильбами (асб). Однако для того, чтобы человеческий глаз заметил изменение яркости стимула, она должна измениться (увеличиться или уменьшиться) не менее чем на 10%. Например, если фон освещен с яркостью 0,1 асб, глаз сможет различить световой стимул, яркость которого всего на 0,01 асб выше. Для удобства физические единицы асб переводятся в физиологические, которые выражают порог светочувствительности сетчатки в обратных единицах — децибелах (дБ). Эти единицы находятся в обратной логарифмической зависимости. Один бел соответствует одному делению логарифмической шкалы и означает десятикратное изменение интенсивности света. Один децибел (дБ) равен 0,1 деления логарифмической шкалы. При этом значение 0 дБ соответствует стимулу максимальной яркости, которую может обеспечить конкретный периметр, т.е. это не «слепая» область поля зрения, а участок, в котором чувствительность сетчатки ниже максимальной яркости тест-объекта для данного периметра. Однако шкала децибелов не стандартизирована, так как максимальная яркость стимулов может отличаться в зависимости от используемого прибора.

Сдвиг пороговой яркости на 0,1 лог. ед. соответствует изменению порога световой чувствительности в противоположном направлении на 1 дБ, т.е. необходимость, например, увеличивать яркость стимула при определении порога свидетельствует об уменьшении светочувствительности сетчатки и наоборот. После 20 лет нормальный показатель светочувствительности

снижается на 1 дБ каждые 10 лет. Если в 20 лет светочувствительность в области центральной ямки составляет 35 дБ, то к 30 годам она составляет 34 дБ, а к 70 годам – 30 дБ.

В современных автоматических периметрах, таких как «Humphrey», яркость фона установлена в соответствии со стандартами, принятыми в 1979 году, и составляет 31,5 асб. Для более точной оценки светочувствительности на периферии поля зрения предпочтительнее использовать периметры с менее ярким фоном. Однако, поскольку периметрия в клинической практике чаще всего используется для диагностики глаукомы, основное внимание уделяется центральному полю зрения (в пределах 24–30 градусов), где обычно проявляются самые ранние связанные с этим заболеваниями изменения. Выбор именно такой фоновой освещенности обусловлен несколькими причинами:

- при этой яркости достигается баланс вклада палочек и колбочек в светочувствительность сетчатки (мезопические условия);
- нет необходимости в предварительной световой или темновой адаптации пациента;
- умеренная освещенность позволяет проводить исследование без создания полной темноты в помещении.

При проведении стандартной методики периметрии используют универсальный стимул диаметром  $0,43^\circ$  (площадью 4 мм<sup>2</sup>), эквивалентный объекту с размером III по Гольдману. При необходимости, например, при наличии помутнения оптических сред, возможно изменение его размера до V по Гольдману.

Длительность предъявления стимула моделирована с учетом времени нормальной сенсомоторной реакции, скорости распознавания объекта и скрытого времени произвольного движения глаз – в пределах 0,2-0,5 с. Принято считать, что при длительности стимула более 0,4 с для периферии сетчатки и 0,1 с для центральных ее отделов распознавание определяется только яркостью и уже не зависит от времени предъявления стимула.

Наиболее распространенным методом исследования полей зрения является стандартная автоматизированная периметрия (Standard Automated Perimetry, SAP). Этот метод представляет собой компьютерную пороговую статическую периметрию, при которой центральное поле зрения анализируется с использованием белого стимула на белом фоне. Пороговое исследование считается золотым стандартом в диагностике и наблюдении за глаукомой, обладая значительными преимуществами по сравнению с кинетической периметрией.

Стратегии статической периметрии предоставляет широкие

возможности для исследования как центральных, так и периферических отделов поля зрения. Выбор программы и стратегии зависит от диагностической задачи. Основные подходы включают скрининговую (ориентировочную, надпороговую) и пороговую (детальную) стратегии. Скрининг используется для первичной оценки поля зрения, выявления зон интереса и грубых изменений, особенно на поздних стадиях глаукомы. Пороговая стратегия, напротив, позволяет получить точные данные о глубине и площади поражения, что важно для мониторинга динамики заболевания.

Скрининговая стратегия применяется для быстрой оценки поля зрения, выявления зон интереса и грубых дефектов. Используется стимул надпороговой яркости, который корректируется с учетом индивидуальных параметров (возраст, эксцентриситет, прозрачность сред и т.д.). Включает двухзонную и трехзонную методики:

- Двухзонная: если стимул не виден, тест повторяется; при повторном пропуске фиксируется дефект.
- Трехзонная: если стимул не виден, предъявляется максимально яркий объект (10 000 асб). Если и он не воспринимается, скотома считается абсолютной; если воспринимается — относительной.

Дополнительные замеры вокруг точек с дефектами помогают уточнить размеры скотом.

Пороговая стратегия используется для детальной оценки поля зрения, особенно при подозрении на глаукому, начальных стадиях заболевания или мониторинге (см. рис. 23). Позволяет определить светочувствительность сетчатки в каждой точке поля зрения, выражая её в децибелах (дБ). Основана на алгоритме «лестницы или вилки»:

- Если стимул виден, яркость уменьшают на 4 дБ; если не виден — увеличивают на 4 дБ.
- После первого обнаружения стимула шаги уменьшаются до 2 дБ для точного определения порога.
- Стимулы предъявляются в случайном порядке, что исключает возможность угадывания пациентом их появления.

Результаты отображаются в виде серо-черной шкалы (чем темнее, тем ниже чувствительность) или цифровых значений в дБ.

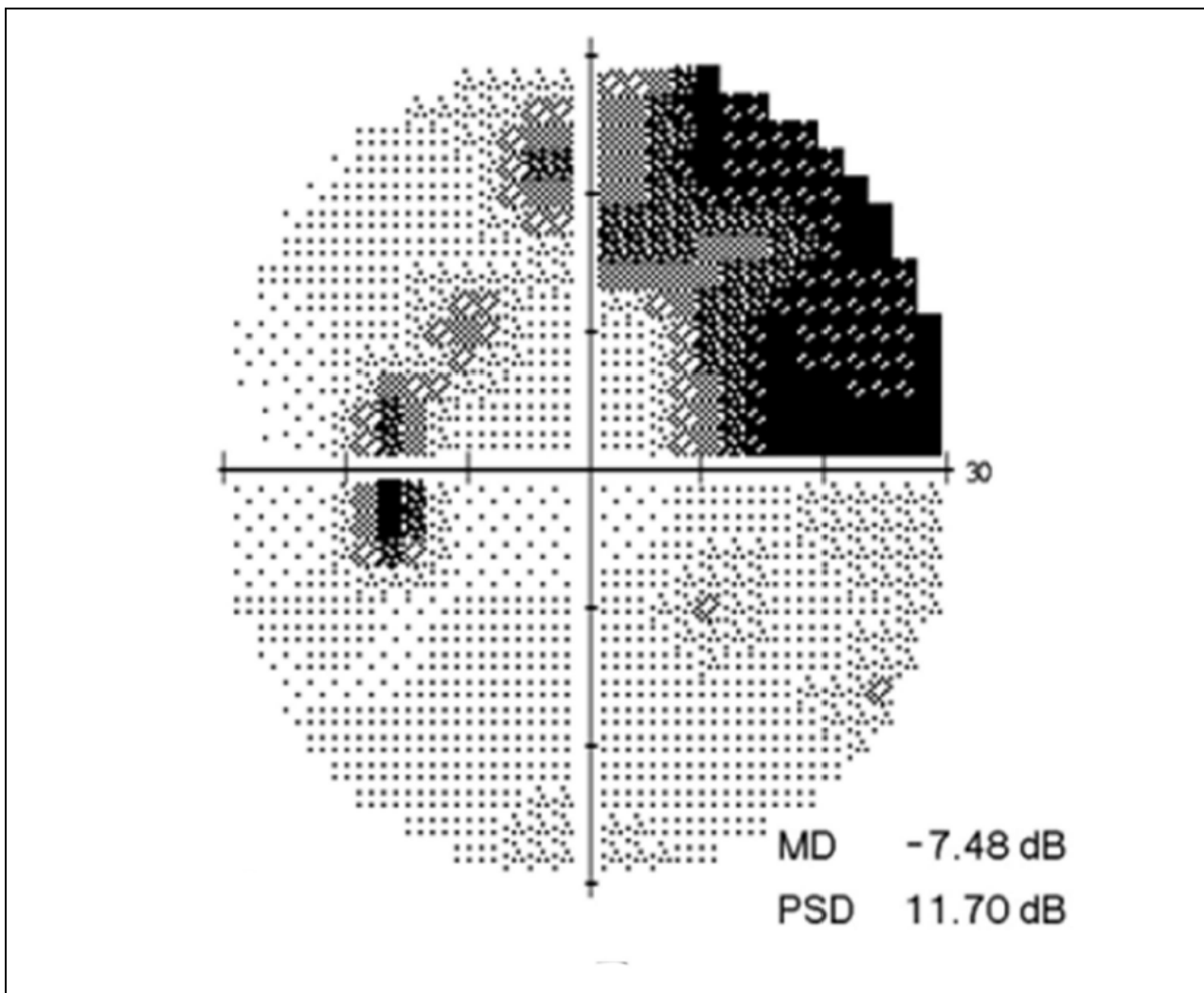


Рис. 23. Пример результатов измерения поля зрения по пороговой стратегии. Периметр Humphrey. 30-ти градусная зона. Скотома в виде носовой ступенька в поле зрения пациента с глаукомой.

MD – mean deviation (среднее отклонение) – отражает среднее снижение светочувствительности. Нормальные значения больше -2,0 дБ (до 2 дБ)

PSD – pattern standard deviation (стандартное отклонение паттерна) – характеризует выраженность локальных дефектов. Нормальные значения меньше 2,0 дБ

Из архива автора

Среди надпороговых исследований наиболее часто применяются тесты 10-2, 24-2, 30-2 и 60-4. Для пациентов с глаукомой основное внимание уделяется тестам 24-2 и 30-2, поскольку большинство ганглиозных клеток сетчатки сосредоточено в пределах 30 градусов от точки фиксации. Тест 24-2 часто выбирают из-за его короткой продолжительности и меньшего влияния корректирующих линз и верхнего века на результаты по сравнению с тестом 30-2. Тест 24-2 охватывает 54 точки, расположенные аналогично 72 точкам теста 30-2, за исключением наиболее периферических точек во всех

меридианах, кроме носового.

Точки теста расположены на расстоянии 6 градусов друг от друга и распределены относительно средней линии, что облегчает выявление дефектов, характерных для глаукомы. Такая организация тестовых локусов позволяет эффективно диагностировать изменения в поле зрения, связанные с этим заболеванием.

Алгоритм Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) с использованием стимула размера III по Гольдману для теста 24-2 считается предпочтительной методикой при обследовании пациентов с подозрением на глаукому или неврологические патологии. Некоторые специалисты полагают, что SITA Fast — это более простой тест, который занимает меньше времени и подходит для пациентов, испытывающих трудности с выполнением SITA Standard или полной пороговой стратегии.

Дефекты в поле зрения принципиально бывают двух видов:

- 1) сужение границ поля зрения (локальная, концентрическая, гемианопсия)
- 2) скотомы.

Концентрическое сужение границ поля зрения бывает при пигментной абiotрофии сетчатки, высокой миопии и глаукоме. Локальное – при каком-то локальном процессе, например секторальной отслойке сетчатки. Гемианопсия (выпадение половины поля зрения) часто возникают одновременно на обоих глазах в результате поражении проводникового отдела зрительного анализатора (см. рис 24).

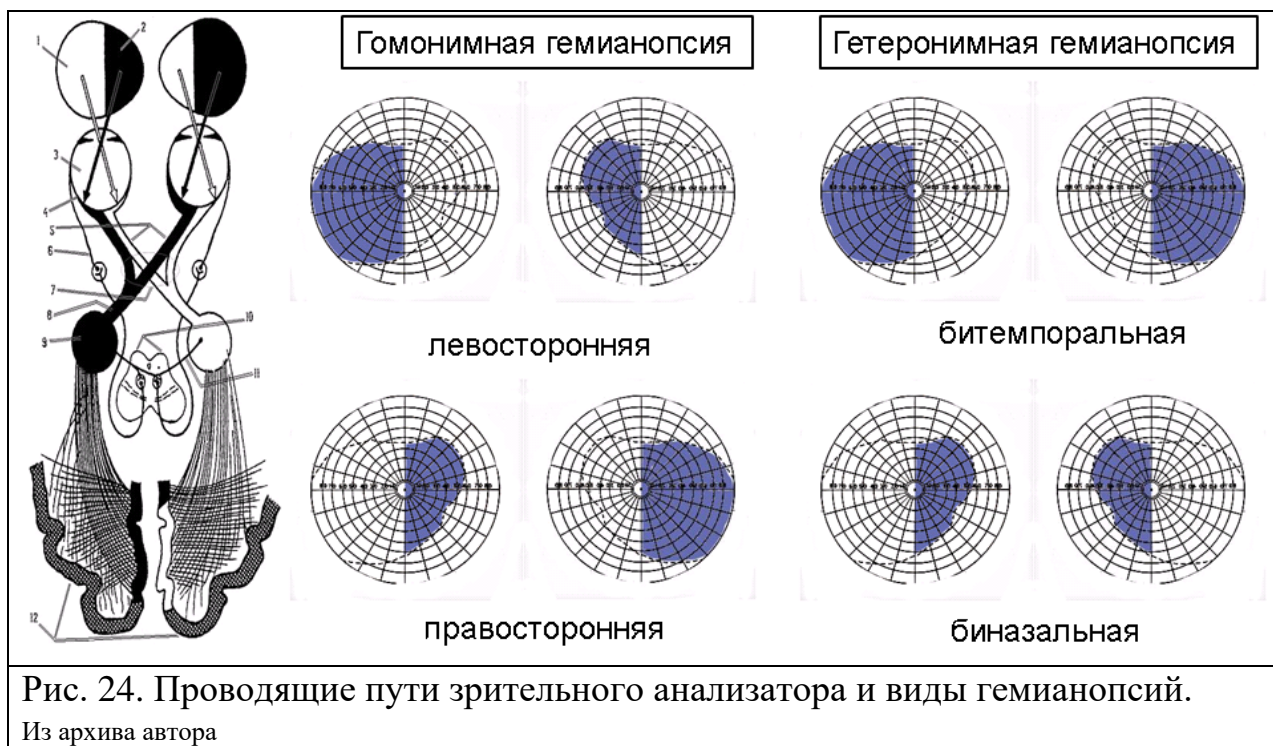


Рис. 24. Проводящие пути зрительного анализатора и виды гемианопсий.

Из архива автора

При поражении хиазмы возникает гетеронимная гемианопсия. Поле зрения на обоих глазах выпадает с разных сторон. Битемпоральная – при заболевании повреждающем перекрещивающиеся центральные отделы хиазмы. Примером может служить опухоль гипофиза. Биназальная гемианопсия возникает при сдавлении хиазмы с боков. Такое бывает например при выраженном склерозе внутренних сонных артерий. Поражение зрительного анализатора выше хиазмы (зрительный тракт, латеральное коленчатое тело, кора головного мозга) вызывает гомонимную гемианопсию. Поле зрения на обоих глазах выпадает с одной стороны, противоположной дефекту.

В отличие от сужения границ поля зрения, скотома это слепой участок в поле зрения, не связанный с его периферическими границами.

Классификация скотом:

1) Физиологические – есть в норме, патологические – возникают в результате заболевания;

2) Абсолютные – характеризуют полную потерю чувствительности в участке поля зрения, относительные – только частичная потеря нормальной чувствительности;

3) Отрицательные – не заметны самому испытуемому, но могут быть выявлены при периметрии, положительные – испытуемый их замечает в виде пятна перед глазом.

4) По локализации в пределах границ поля зрения: центральные, парацентральные и периферические (см. рис. 25).

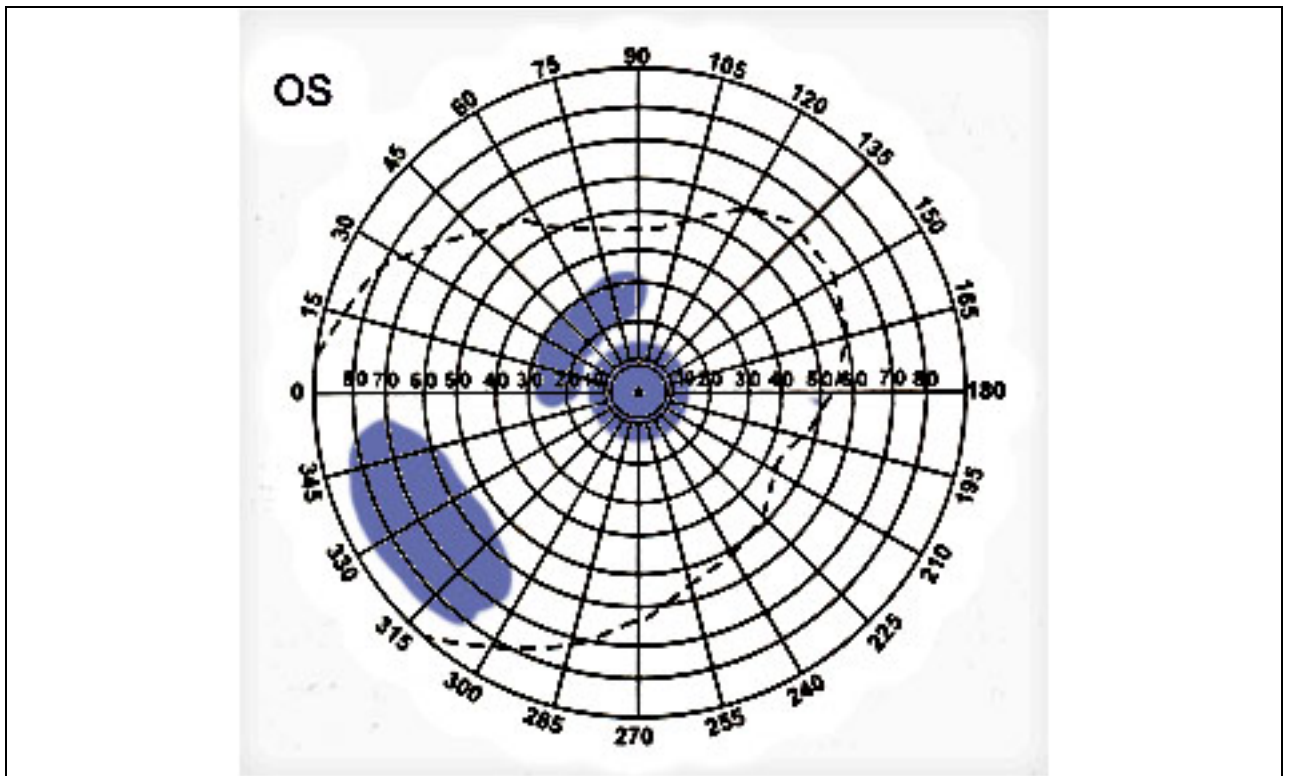


Рис 25. Центральная, парацентральная и периферическая скотомы. Обратите внимание на то, что скотомы не соприкасаются с границей поля зрения.

Из архива автора

У человека имеется несколько физиологических скотом (см. рис26). Все эти скотомы отрицательные:

1) Слепое пятно - находится в пятнадцати градусах от точки фиксации височной стороны. Соответствует на глазном дне месту выхода зрительного нерва из глаза. Это абсолютная скотома, так как в этом месте нет фоторецепторов. Слепое пятно имеет солидные размеры: 6-8 градусов по вертикали и 4-6 градусов по горизонтали. Это примерно соответствует видимому размеру головы человека, находящегося на расстоянии полутора метров. Этот факт, если верить некоторым источникам, лег в основу своеобразного развлечения, одно время распространенного при дворе Людовика XIV. Выбирая правильное направление взгляда, добивались бескровного исчезновения головы своего оппонента.

2) Ангиоскотома – возникает из-за тени отбрасываемой сосудами сетчатки на фоторецепторы. Поскольку центральная артерия и вена сетчатки выходят из зрительного нерва, то и ангиоскотома ветвится из слепого пятна в поле зрения.

3) Центральная темновая скотома – обнаруживается при низком освещении из-за отсутствия палочек в центральной ямке желтого пятна. Для колбочек ночью слишком мало света. Именно поэтому неяркий объект ночью

лучше виден, если смотреть не прямо на него, а чуть в сторону, чтобы он вышел из центральной темновой скотомы.

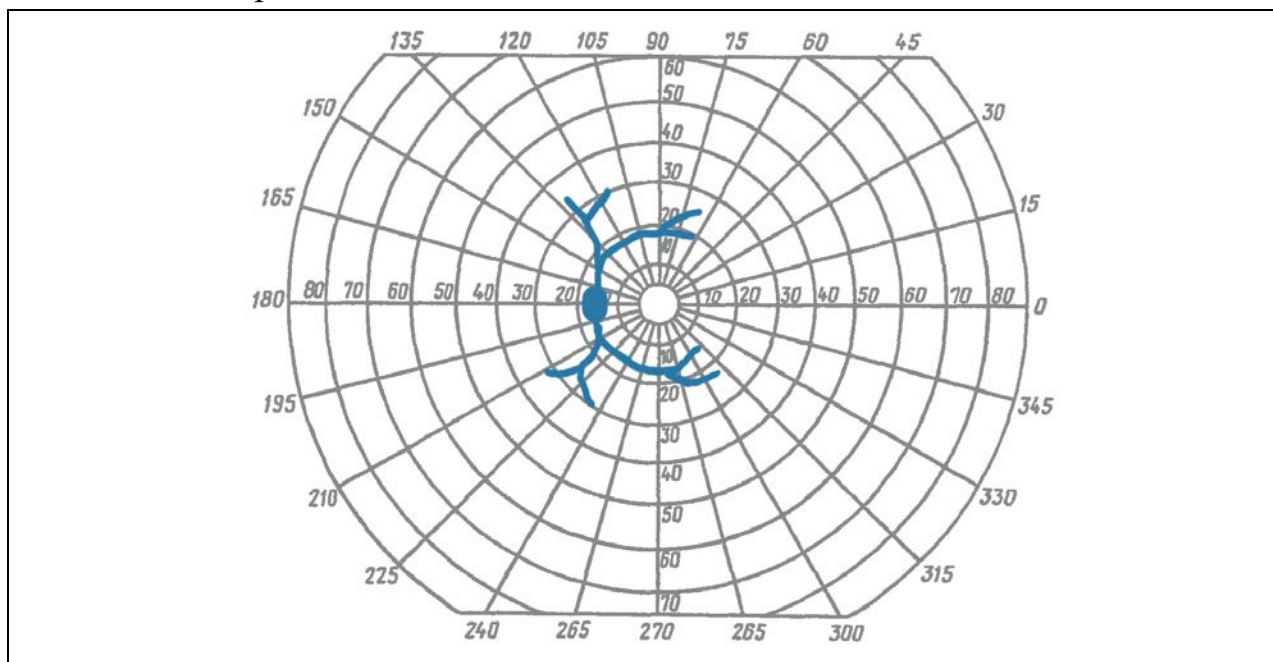


Рис. 26. Физиологические скотомы. Слепое пятно и ангиоскотома.

Из архива автора

## Цветовое зрение.

Цветовое зрение это способность глаза к восприятию цветов на основе чувствительности к различным диапазонам излучения видимого спектра. Это функция колбочкового аппарата сетчатки.

Существует две основные теории, объясняющие работу зрительного анализатора с цветами на разных уровнях: трехкомпонентная теория и оппонентная теория.

Трехкомпонентная теория цветового зрения, или теория Ломоносова – Юнга – Гельмгольца. Эта теория описывает цветоощущение на фоторецепторном уровне. Она утверждает, что существует три типа колбочек, по-разному реагирующих на свет различной длины волны видимого спектра (см. рис. 27). Длинноволновые (красные) сильнее всего возбуждаются светом длиной волны 560 нм., средневолновые (зеленые) – 530 нм., коротковолновые (синие) – 430 нм.

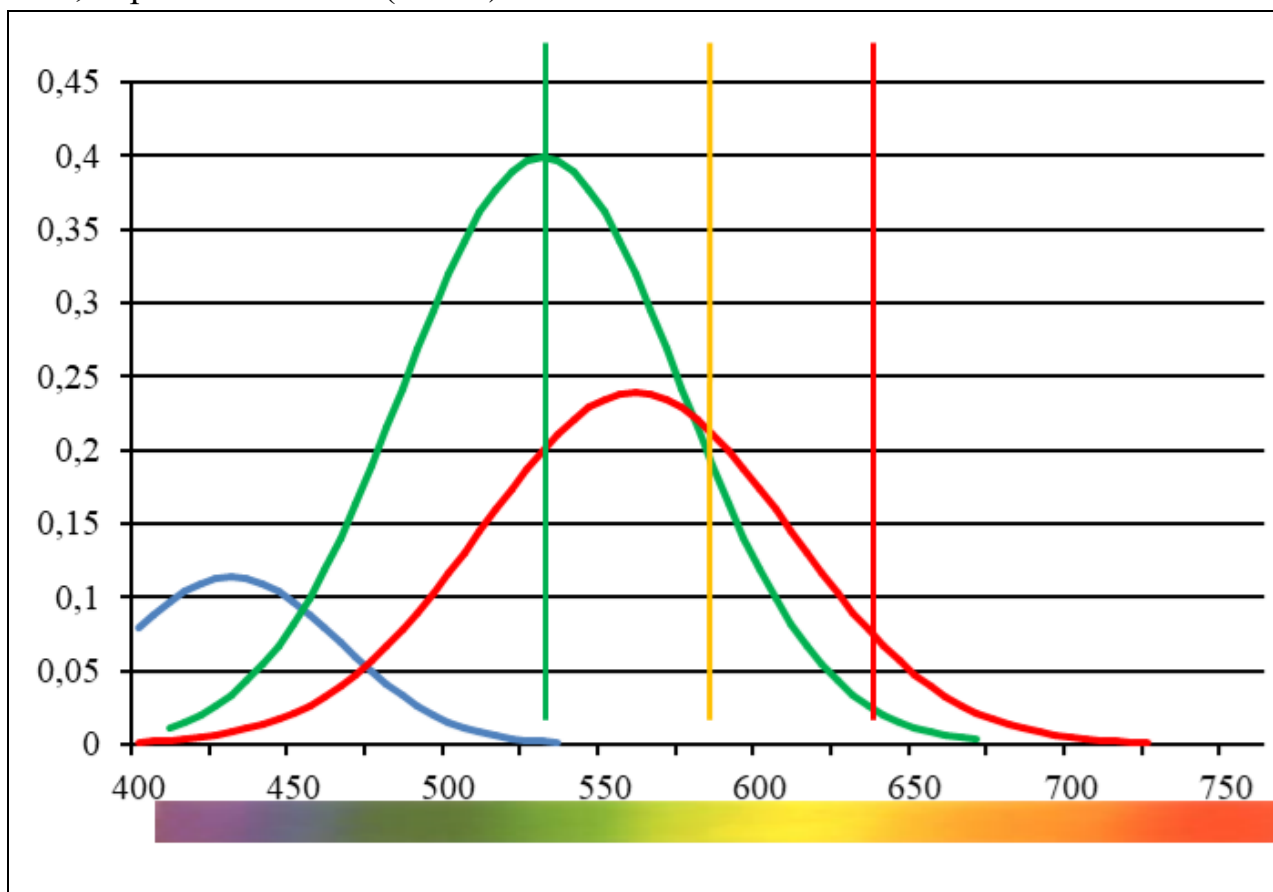


Рис. 27. Спектральная чувствительность колбочек разных типов. Зеленая вертикальная линия – длина волны 530 нм., желтая – 585 нм., красная – 640 нм.

Из архива автора

Если в качестве источника света взять лазерную указку с длиной волны излучения 640 нм. и посветить ей на стену, то сильнее всего возбуждятся

красная колбочка, синяя и зеленая останутся практически невозбужденными. Такое соотношение возбуждения колбочек разных типов колбочек в каком-то локальном участке сетчатки интерпретируется зрительным анализатором как ощущение красного цвета.

Если взять зеленую лазерную указку с длиной волны 532 нм., то сильнее всего отреагирует зеленая колбочка – возникнет ощущение зеленого цвета.

Если взять желтую лазерную указку с промежуточной длиной волны, например 550 нм., то зеленая и красная колбочки ответят примерно одинаково, а синяя колбочка останется не возбужденной. Это вызывает ощущение желтого цвета.

В основе трехкомпонентной теории лежит утверждение, что любой цвет, который может увидеть человек, это некоторое соотношение возбуждений красных, зеленых и синих колбочек сетчатки, каким бы образом это соотношение не было достигнуто. Если разные по спектральному составу источники света вызывают одинаковые соотношения возбуждений колбочек, то человек не в состоянии будет отличить их друг от друга. Если одновременно посветить в одну точку на стене зеленой и красной лазерными указками, то при правильном соотношении их мощностей, можно увидеть желтый цвет, неотличимый от того, который получался желтой лазерной указкой. Излучение красного лазера возбудит красные колбочки, зеленого – зеленые, а синие останутся практически невозбужденными (см. рис 28).

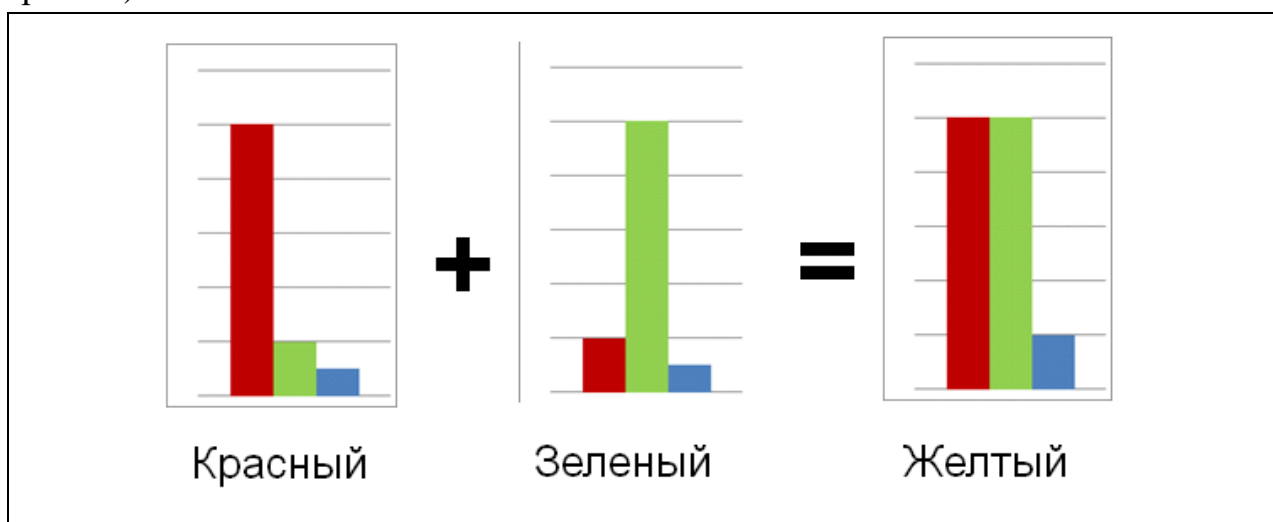


Рис. 28. Свет красной лазерной указки возбуждает красные колбочки, вызывая ощущение красного, зеленой – зеленые, вызывая ощущение зеленого. Их смешение вызовет ощущение желтого, поскольку будут возбуждены и красные и зеленые колбочки.

Все современные способы технической цветопередачи начиная от цветной фотографии, кончая экраном самого современного компьютера, основаны на трехкомпонентной теории. Если посмотреть с помощью микроскопа или сильной лупы на цветной экран телефона, то каждая точка цветного изображения распадется как минимум на 3 участка – субпикселя красного, зеленого и синего цветов, отвечающих за степень возбуждения колбочек своего типа. Все многообразие цветов, которое может передать цветной экран вашего телевизора, также создается всего из трех компонентов. Все эти способы рассчитаны исключительно на спектральную чувствительность опсинов человеческих колбочек. Для других живых существ, у которых спектральная чувствительность колбочек и даже количество их типов отличны от человеческих, изображение в цветном телевизоре будет казаться сильно отличающимся от реальности.

Трехкомпонентная теория зрения хорошо объясняет многие феномены нашего зрения. К ним например относится феномен последовательных образов. Он возникает в результате разной скорости исчерпывания запасов зрительного пигмента в колбочках при рассматривании неподвижной цветной картинке. При резкой смене изображения возникает последовательный образ, состоящий из инвертированных цветов. Также можно дать объяснение тому, что некоторые цвета отсутствуют в радуге. Например, там нет пурпурного цвета, возникающего при возбуждении синей и красной колбочек при невозбужденной зеленой. Такой цвет невозможно получить с помощью света одной длины волны как в радуге, поскольку такой свет не может одновременно возбудить красную и синюю колбочки при отсутствии возбуждения зеленой.

Оппонентная теория цветового зрения разработана австрийским физиологом Эвальдом Герингом в начале 20 века. Теория описывает механизм цветоразличения на уровне ганглиозных клеток сетчатки и последующих уровней зрительной системы.

Согласно этой теории цвета (черный – белый, красный–зеленый и желтый–синий) попарно связаны с помощью трех антагонистических нейронных механизмов. Из-за полярного характера восприятия этих цветов, Геринг назвал эти цветовые пары «оппонентными цветами».

Долгое время эта теория не получала широкого распространения, однако в 50-х годах 20 века, когда в эксперименте научились снимать возбуждение с отдельных ганглиозных клеток сетчатки, были найдены клетки реагирующие как раз на контраст черного с белым, красного с зеленым и желтого с синим, что полностью укладывалось в постулаты оппонентной теории.

Оппонентная теория объясняет, почему мы по-разному воспринимаем один и тот же цвет в различном окружении. Например, красный цветок кажется более красным на оппонентном зеленом фоне, чем на нейтральном сером. На рис. 29 изображена иллюзия Адельсона. На этой картинке клетки А и В в действительности одинакового цвета! В этом можно убедиться, наложив на картинку бумажную маску, закрывающую все кроме этих двух полей. Различные цветовые ощущения вызваны различным окружением. Поле А находится на более темном фоне и поэтому кажется нам светлее. Поле В наоборот кажется темнее, из-за более светлого окружения.

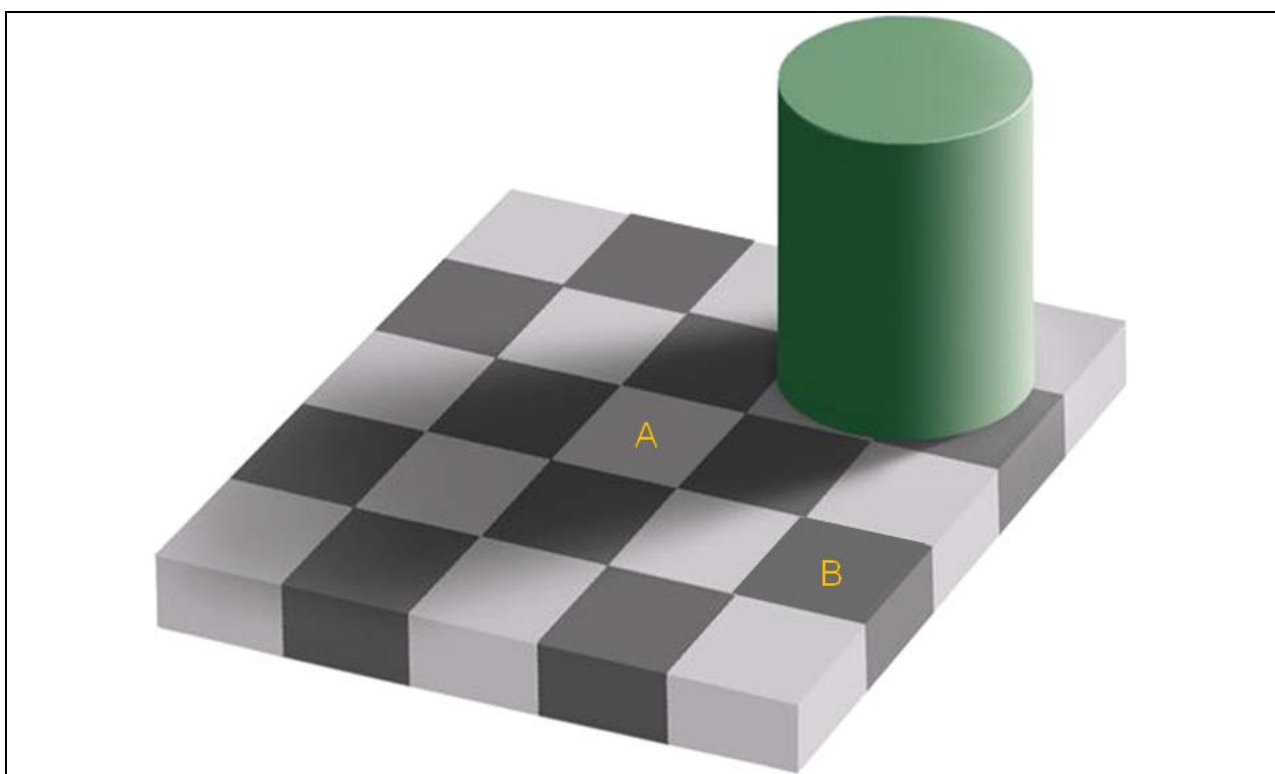


Рис. 29. Иллюзия Адельсона (иллюзия с тенью на шахматной доске). На самом деле клетки А и В одинакового цвета. Разные цветовые ощущения вызваны различным их окружением.

Edward H. Adelson, vectorized by Pbroks13. CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75000950> (с изм).

В некоторых случаях, если цветовое окружение по какой-либо причине не может быть определено, зрительный анализатор опирается на имеющийся у данного конкретного человека зрительный опыт, который может кардинально отличаться у разных людей, приводя в итоге к парадоксально различным цветовым ощущениям, как это произошло с фотографией бело-золотого / черно-синего платья. Аналогичная иллюзия показана на рис. 30.

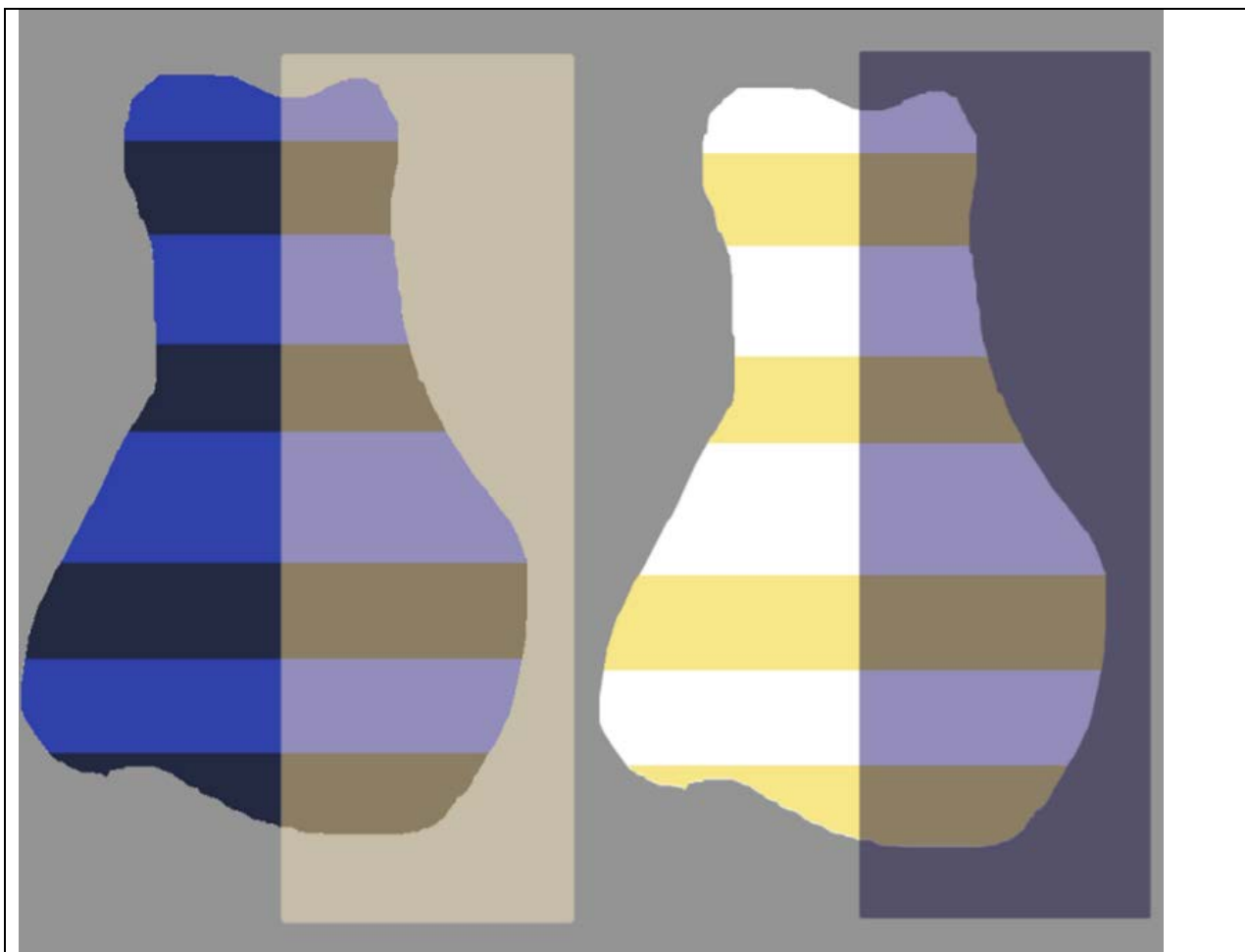


Рис. 30. На рисунке два «платья». Слева – безусловно черно-синее, справа – бело-золотое. Однако правые половинки обоих платьев на самом деле абсолютно одинаковы. Так же как и в случае иллюзии Адельсона, различие в оценке цветов вызваны различным окружением.

Из архива автора

Не все воспринимают цвета одинаково. Существуют люди с нарушением цветовосприятия – цветаномалы. Причем цветаномалии бывают разных типов.

Классификация нарушений цветового зрения Криса-Нагеля механистически основана на трехкомпонентной теории цветового зрения. Согласно этой классификации выделяют три цветовых канала: первый (по-гречески протос) отвечает за передачу красного цвета, второй (дейтерос) – зеленого и третий (тритос) – синего цвета. Каждый канал может работать нормально, иметь неполный дефект – аномалию, или быть в нерабочем состоянии – анопия.

Нормальное цветовое зрение, по этой классификации соответствует термину нормальная трихромазия (работают все три цветовых канала).

Неполный дефект в одном из каналов называется аномальной

трихромазией, и соответственно может быть трех типов: протаномалия (неполный дефект первого, красного цветового канала), дейтераномалия (дефект второго, зеленого канала) и тританомалия (дефект синего канала).

Если дефект цветового канала полный, такая ситуация называется дихромазией (осталось только два канала), и также может быть трех типов: протанопия (нет красного канала), дейтеранопия (нет зеленого канала) и тританопия (нет синего канала).

Кроме этого теоретически может встречаться монохромазия, когда сохранен только один из цветовых каналов, и ахромазия, когда функционирующие колбочки в глазу отсутствуют, есть только палочковое зрение.

Нарушения цветового зрения могут быть как врожденными, так и приобретенными. В случае врожденного дефекта человек обычно его не замечает, если дефект приобретенный – он обычно замечен пациенту. При врожденном дефекте причина генетическая, при приобретенном – какое-либо заболевание, затрагивающее зрительный анализатор. Врожденный дефект всегда двусторонний, приобретенный – может быть как односторонним, так и двусторонним. Врожденный дефект стабилен, приобретенный – изменяется со временем. Крайне редко встречается врожденные тританомалия и тританопия, при приобретенном состоянии дефекты третьего (синего) цветового канала нередки. При врожденном дефекте другие функции органа зрения обычно сохранены, при приобретенном – они нарушаются.

Врожденное нарушение цветоощущения встречается у 8% мужчин и 0,5% женщин. Причина чаще всего связана с наличием патологических генов в X хромосоме, что приводит к снижению чувствительности колбочек какого-либо типа. В человеческой популяции 8% X хромосом связаны с данной патологией. Однако чтобы она проявилась у женщины, необходимо чтобы в ее генотипе встретились две патологические X хромосомы. В случае если она одна, нормальную выработку опсинов обеспечивает парная хромосома и заболевание не проявляется. Поскольку у мужчин вторая X хромосома отсутствует, данное заболевание проявляется намного чаще.

Выявление врожденных нарушений цветового зрения необходимо для выбора будущей профессии и допуска к определенным видам работы. Чаще всего люди с аномальным цветовым зрением не допускаются к вождению автомобилей, поездов и самолетов. Существуют некоторые другие профессии, где хорошее цветовое зрение является необходимым условием профессиональной компетентности. Так полостной хирург с грубой аномалией цветового зрения, не сможет ничего различить в операционной

ране, поскольку будет обладать слабой различительной чувствительностью к различным оттенкам красного цвета.

Люди с нарушениями цветового зрения могут видеть цвета, однако различают меньшее их количество, чем все остальные. Разные для обычного человека оттенки, ощущаются ими абсолютно одинаково. На рис. 31 слева условный оригинал, справа копия, сделанная художником с протанопией. Для него обе эти картинки абсолютно одинаковы.



Рис. 31. Условный оригинал и его копия, сделанная протанопом.

Репродукция картины «Ждет» Богданов-Бельский. из Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения. Е.Б.Рабкин. Изд. 9. М.Медицина 1971 г.

Приобретенное нарушение цветоощущения возникают в результате заболеваний сетчатки, зрительного нерва, головного мозга, интоксикаций побочного действия наркотических и лекарственных препаратов. Чаще всего проявляются в виде хроматопсии - искажения цветовосприятия, при котором все видится окрашенным в оттенки какого-либо цвета (как через цветное стекло).

Поскольку цвет является нашим внутренним ощущением, то и описывается он с использованием физиологических характеристик. Чаще всего для описания конкретного цвета пользуется следующей их триадой:

1) Цветовой тон – оттенком какого основного цвета (цвета радуги) является данный цвет. Например розовый является оттенком красного цвета.

2) Насыщенность – как близок данный цвет к своему основному цвету по шкале от основного цвета до серого. Спектральный красный имеет максимальную насыщенность, розовый – промежуточную, а ахроматические

цвета от белого до черного – нулевую.

3) Яркость (светлота) – насколько цвет заметен, ярок. Как сильно он бросается в глаза на фоне других цветов. Основные цвета радуги обладают разной яркостью. Теплые желтый и зеленый цвета заметно ярче холодных синего и фиолетового.

Существует несколько методик, позволяющих выявить человека с нарушенным цветоощущением, однако в нашей стране наибольшее распространение получили полихроматические таблицы Рабкина. Каждая таблица в наборе состоит из хаотически разбросанных круглых пятен разного цвета. Основная фигура, которую видит человек с нормальным зрением, составлена из пятен, отличающихся по цветовому тону от фона. Фигура-ловушка, которую видит человек с дефектом цветоощущения, составлена из пятен отличающихся от фона по яркости. О характере цветового зрения пациента судят по соответствию его ответов с имеющимися таблицами ответов, для различных цветаномалий. Пример такой таблицы см. рис. 32.

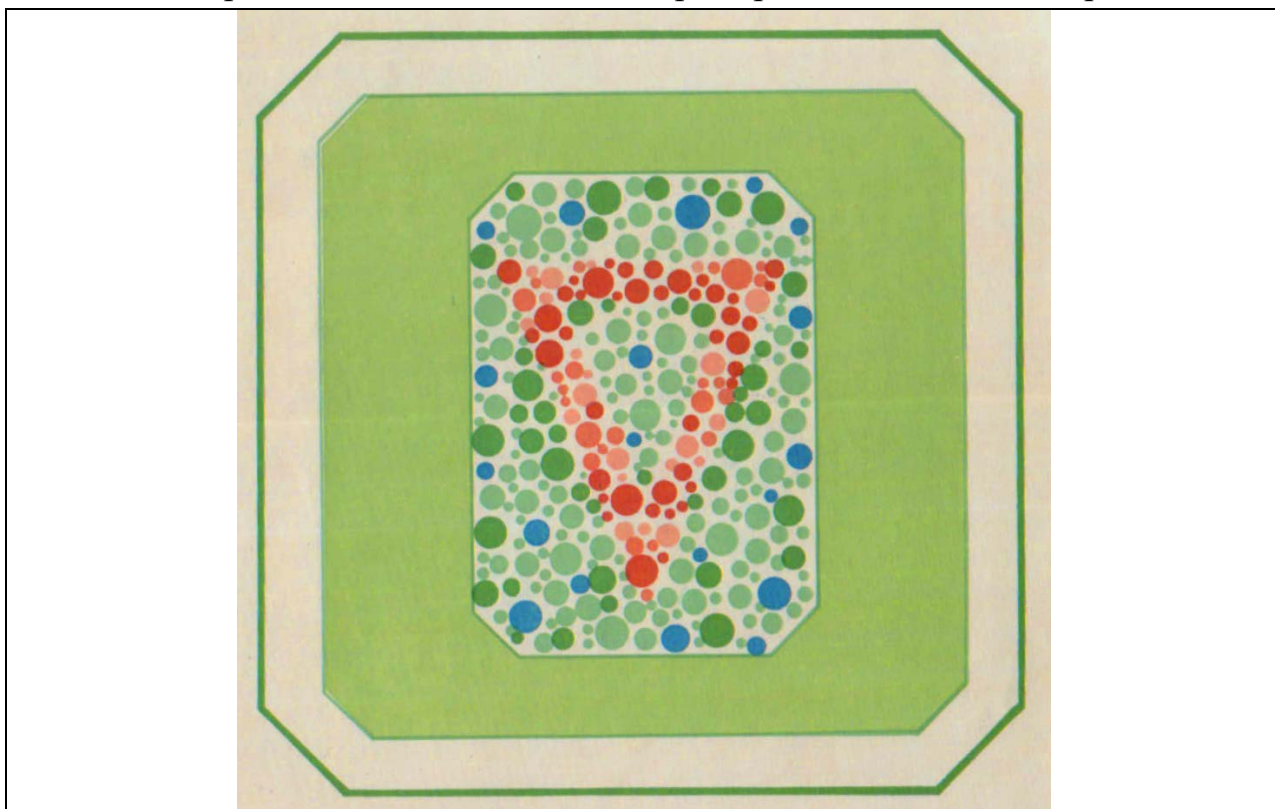


Рис. 32. Основная фигура – треугольник. Фигура ловушка – круг.

Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения. Е.Б.Рабкин. Изд. 9. М.Медицина 1971 г.

## **Светоощущение (адаптация).**

Светоощущение – это способность глаза воспринимать свет. Филогенетически самая древняя функция зрительного анализатора. Характеризуется Световой чувствительностью. Является преимущественно функцией палочкового аппарата сетчатки.

В зависимости от яркости освещения, выделяют 3 основных состояния адаптации зрительного анализатора: фотопическое, мезопическое и скотопическое (см. рис. 33).

1) Фотопическое зрение, (дневное зрение). Осуществляется колбочками, при яркости фона превышающей  $10 \text{ кд/м}^2$  (яркий солнечный день). При таком освещении для палочек слишком много света, они пересвечены и не работают. В фотопических условиях человек хорошо различает цвета, имеет высокую остроту зрения, однако наблюдается некоторое сужение полей зрения, из-за выключения находящихся на периферии сетчатки палочек.

2) Мезопическое зрение (сумеречное зрение). Осуществляется одновременно палочками и колбочками при значениях яркости фона, лежащих в диапазоне между  $0,03$  и  $10 \text{ кд/м}^2$

3) Скотопическое зрение (ночное зрение). Осуществляется палочками, при яркости фона менее  $0,03 \text{ кд/м}^2$ , что соответствует лунному ночному освещению. Для колбочек света слишком мало, они недосвечены и не работают. При скотопическом зрении теряется способность различать цвета, острота зрения не превышает  $0,2$ . Кроме того появляется относительная центральная скотома. Эти изменения связаны с выключением сосредоточенных в центральной зоне сетчатки колбочек.

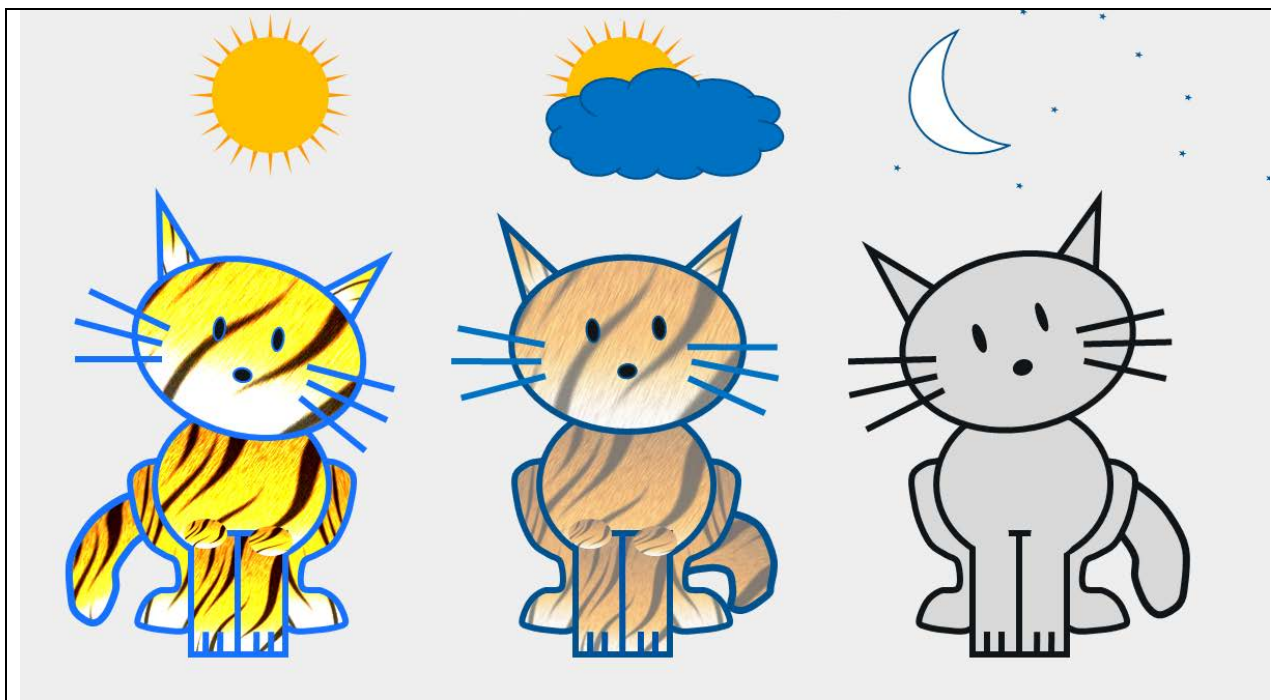


Рис. 33. Изменение цветоощущения в фотопических, мезопических и скотопических условиях

Из архива автора

Процесс изменения функционирования зрительного анализатора при смене условий освещения называется адаптацией, которая бывает двух видов:

1) Световая адаптация – осуществляется при переходе из скотопических в фотопические условия освещения (из темноты на яркий свет). Длится 3-5 минут.

2) Темновая адаптация – осуществляется при переходе из фотопических в скотопические условия (из света в темноту). Длится 30-60 минут.

Основным механизмом адаптации является световое выгорание и восстановление зрительных пигментов фоторецепторов. Оба этих процесса протекают одновременно. Восстановление зрительных пигментов это сравнительно медленный процесс, практически независимый от освещения. Скорость же выгорания сильно зависит от яркости света. На ярком свету выгорание происходит быстро и значительно опережает восстановление, это приводит к падению запасов зрительных пигментов и снижению чувствительности фоторецепторов, что собственно и необходимо для адекватной их работы в этих условиях. В темноте выгорание настолько замедляется, что начинает опаздывать за восстановлением, запасы зрительных пигментов растут, чувствительность фоторецепторов к свету повышается. Поскольку наработка запасов в темноте происходит

значительно медленней их выгорания на ярком свете, то и скорости световой и темновой адаптации отличаются друг от друга на порядок.

Определенную роль в адаптации играют и дополнительные механизмы, такие как изменение размера зрачка, смена ведущего фоторецептора (палочки превалируют в темноте, колбочки – на свету), перемещение глыбок пигмента внутри цитоплазмы пигментного эпителия сетчатки.

Световая адаптация носит очень локальный порядок. Закрыв один глаз повязкой, можно вызвать ситуацию, когда открытый глаз адаптирован к работе на ярком свете, а завязанный – к работе в темноте. Это очень удобно и экономит время, в случае если условия освещения меняются часто. В свое время такая повязка была настолько популярна среди моряков, что сейчас прочно ассоциируется с образом морского пирата.

Наиболее частой патологией адаптации является нарушение темновой адаптации. Данная патология в отечественной литературе обозначается термином гемералопия, в быту – куриная слепота. Люди с гемералопией плохо ориентируются в сумерках.

Гемералопия бывает двух видов: симптоматическая и функциональная.

1) Симптоматическая является симптомом (проявлением) какого-либо заболевания, поражающего структуры зрительного анализатора. Может быть врожденной и приобретенной. Возникает при таких патологических состояниях как пигментная абнотрофия сетчатки, глаукома, неврит зрительного нерва.

2) Функциональная (эссенциальная) гемералопия. Это признак недостаточности витамина А в сетчатке, который необходим для нормального восстановления зрительного пигмента фоторецепторов. Структурных нарушений зрительного анализатора при этом не происходит. Встречается при таких состояниях как алиментарный гиповитаминоз, кахексия, алкоголизм, заболевания печени, малярия. Данный вид гемералопии хорошо поддается лечению витамином А.

Исследование темновой адаптации проводят на адаптометрах, приборах измеряющих нижний порог светоощущения. В норме при помещении человека в темноту светочувствительность быстро возрастает в течение первых 30 минут, затем наступает стадия насыщения (плато). Максимум темновой адаптации наблюдается через 50-60 минут. Итоговая световая чувствительность человека с гемералопией может отличаться от светочувствительности здорового человека на несколько порядков (см. рис 34).

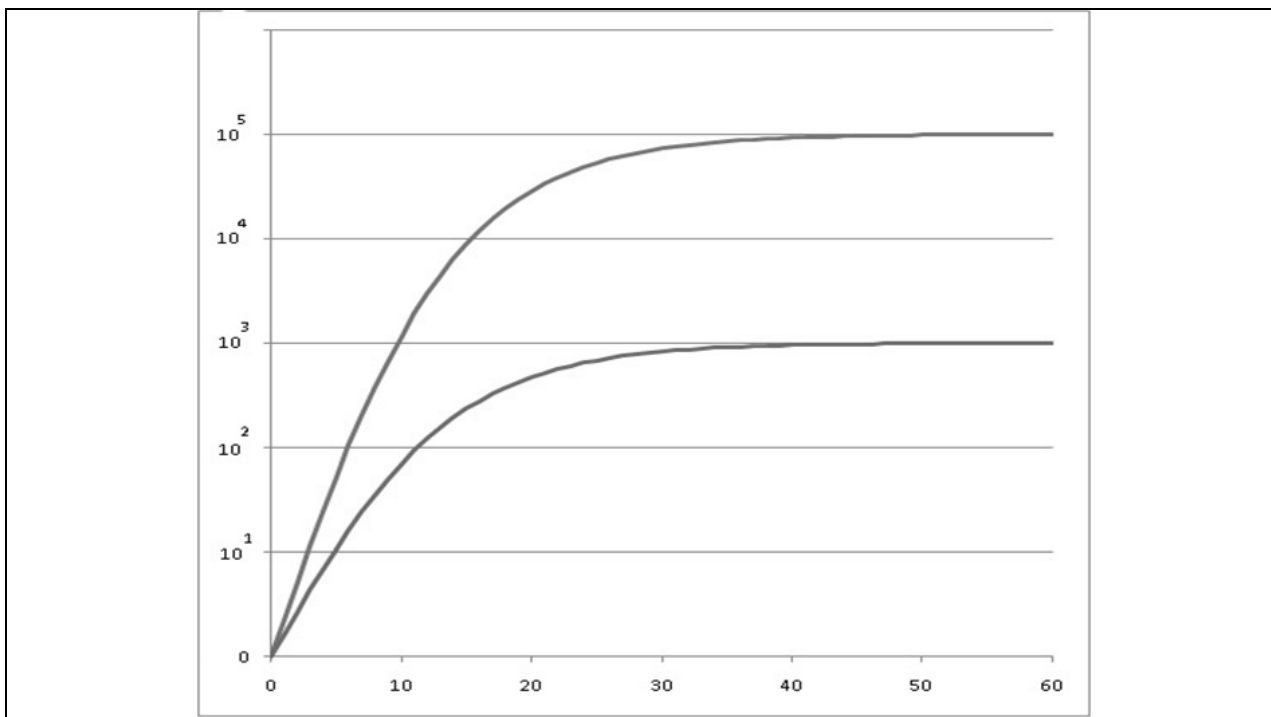


Рис. 34. Адаптометрия – здорового (верхняя линия) и пациента с гемералопией (нижняя линия). По вертикали абсолютная световая чувствительность (логарифмическая шкала), по горизонтали – время с начала темновой адаптации в минутах.

Из архива автора

Хорошим скотопическим зрением должны обладать люди, профессия которых тесно связана с работой в условиях плохого освещения. Это летчики, железнодорожники, профессиональные водители, бойцы специальных видов войск.

## **Биноккулярное зрение.**

Биноккулярное зрение (от лат. *binī* — «два» и лат. *oculus* — «глаз») . Зрение двумя глазами, при котором происходит слияние изображений двух глаз (фузия).

Фузия (франц. *fusion* — слияние), это сложный физиологический механизм, обеспечивающий слияние двух монокулярных картин в единый зрительный образ. В механизме фузии выделяют два компонента: двигательный (опто-моторный фузионный рефлекс) и сенсорный (собственно фузию). Достаточная прочность и ширина фузии обеспечивает устойчивость биноккулярного зрения.

Наличие фузии можно проверить с помощью очень простого теста с призмой. В начале просят пациента посмотреть на какой-либо объект обоими глазами. При наличии нормального биноккулярного зрения, изображение объекта попадет в центральную ямку каждого глаза. Нормально функционирующая фузия обеспечивает слияние обоих изображений в единый зрительный образ – двоения пациент не ощущает. Если перед одним из глаз поставить призму, ход лучей света изменится и изображение попадет не в центральную ямку, а в какую-то другую область сетчатки, посылающую информацию в другую область зрительной коры. В этом случае фузия не может обеспечить слияние изображений и человек ощущает двоение. Однако почти сразу включается двигательный компонент фузионного рефлекса, и глаз за призмой поворачивается так, чтобы изображение вновь попало в центральную ямку. Снова происходит слияние и двоение исчезает. Объективным подтверждением наличия у человека биноккулярного зрения является установочное движение глаза под призмой.

Условия, при которых может существовать биноккулярное зрение:

- 1) Параллельное положение глаз в орбите.
- 2) Достаточная острота зрения каждого глаза (не менее 0,3).
- 3) Равновеликая рефракция (изометропия).
- 4) Сохранность нервно-мышечного аппарата, то есть сохранная подвижность обоих глаз.
- 5) Наличие фузионного рефлекса. Этот рефлекс не врожденный. Он поэтапно вырабатывается у ребенка в первые годы его жизни. Ребенок должен буквально научиться смотреть двумя глазами.

Основное преимущество биноккулярного зрения над монокулярным, это скорость определения положения предмета в пространстве. Люди, у которых биноккулярное зрение отсутствует, также могут определять расстояние до предметов, но делают это они с использованием косвенных

признаков, значительно медленнее и более грубо. Только люди с хорошим бинокулярным зрением могут добиться успехов в таких видах спорта как футбол или большой теннис. Хорошим бинокулярным зрением должны обладать хирурги, крановщики и люди других профессий, где необходимо четко ощущать глубину пространства.

Наш головной мозг получает информацию о взаимном расположении объектов в пространстве и их удалении от глаз в результате анализа мелких различий в изображениях, передаваемых правым и левым глазом. В основе этого процесса лежит явление физиологического двоения.

Как уже было описано ранее, при рассматривании интересующего нас объекта, глаза поворачиваются так, чтобы изображение его попадало в центральную ямку каждого глаза. Двоения при этом не возникает, поскольку информация об объекте из обоих центральных ямок попадает в одну и ту же область коры головного мозга. Центральные ямки обоих глаз являются корреспондирующими точками сетчатки, поскольку посылают информацию в одну и ту же область зрительной коры. Предметы, находящиеся на том же расстоянии от лица, что и объект бинокулярной фиксации, попадают в идентичные точки на сетчатках. Они удалены от центральных ямок на одинаковое расстояние и в одном и том же направлении. Эти точки также являются корреспондирующими, и двоения также не возникает.

Изображения объектов, находящихся дальше или ближе к лицу, по сравнению с точкой бинокулярной фиксации, попадают в разноименные (диспарантные) точки сетчаток. Они удалены на разное расстояние и в разном направлении относительно центральных ямок. Информация посылается в разные области коры головного мозга, поэтому возникает физиологическое двоение или диспарантность. Ближние объекты вызывают разноименное двоение (при закрытии правого глаза исчезает левый объект), дальние – одноименное (при закрытии правого глаза исчезает правый объект). Величина физиологического двоения однозначно зависит от расстояния между точкой бинокулярной фиксации и объектом в пространстве. Чем это расстояние больше, тем больше двоение (см. рис. 35). В процессе фузии головной мозг анализирует характер (одноименная или разноименная) и величину диспарантности, что позволяет построить трехмерную карту положения объектов в пространстве.

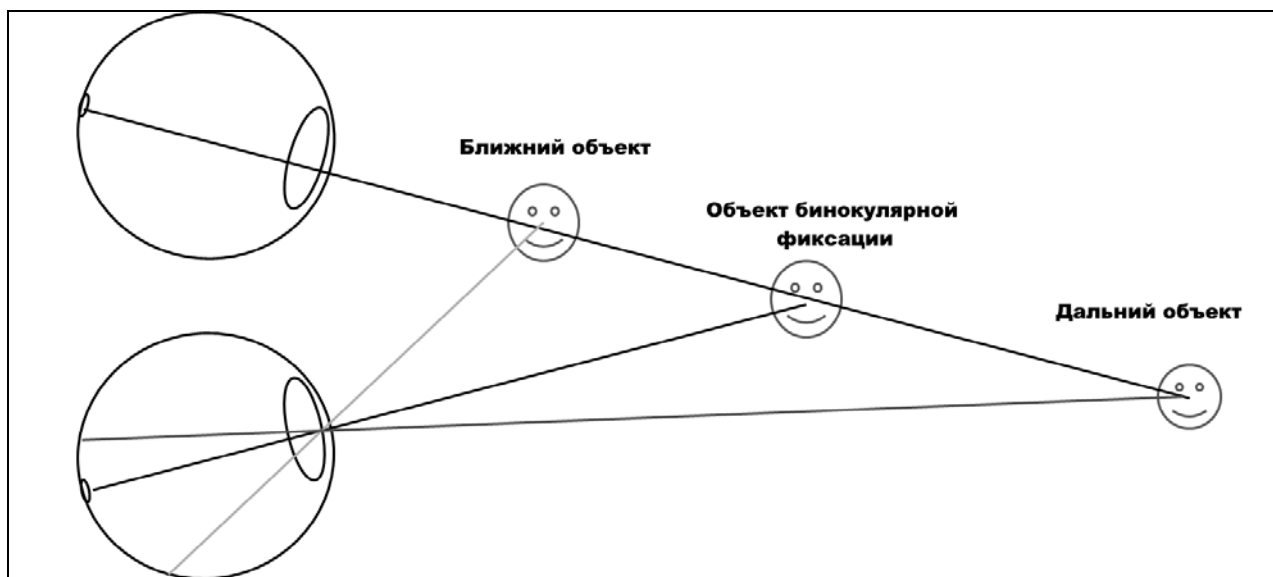


Рис. 35. Физиологическое двоение ближних и дальних (по сравнению с точкой бинокулярной фиксации) объектов возникает из-за того, что их изображения попадают на диспаратные точки сетчаток, посылающие информацию в различные области первичной зрительной коры  
Из архива автора.

Одним из проявлений нарушения бинокулярного зрения является косоглазие. Оно бывает двух видов: содружественное и паралитическое.

Причиной содружественного косоглазия является отсутствие у человека нормального фузионного рефлекса. Двоения при этом типе косоглазия не ощущается, из-за развития амблиопии на косящем глазу. Острота зрения этого глаза снижена. В отсутствии фузионного контроля, глаз устанавливаются согласно тонуусу глазодвигательных мышц. У гиперметропов, из-за связи аккомодации с конвергенцией, обычно наблюдается сходящееся, а миопов – расходящееся косоглазие. Монокулярная подвижность обоих глаз сохранена.

Паралитическое косоглазие возникает в результате нарушение подвижности одного из глаз. Фузия сохранена, что приводит к появлению мучительного для пациента двоения. Если парез произошел во взрослом возрасте, амблиопия не развивается и острота зрения обоих глаз остается высокой. Для уменьшения степени двоения, пациент вынужден компенсировать функцию ослабленной глазодвигательной мышцы поворотом головы.

Существует множество методик диагностики нарушений бинокулярного зрения. Ниже перечислены лишь некоторые из них.

Проба Соколова, или проба с «дырой в ладони». Перед одним глазом устанавливается картонная или бумажная трубка длиной 20–30 см. Сбоку от

дальнего конца трубы располагается ладонь исследуемого, таким образом, чтобы один глаз смотрел сквозь трубу, а другой – на ладонь. Теперь надо посмотреть вдаль. При сохранном бинокулярном зрении, в результате слияния изображений обоих глаз (далекий объект в отверстии трубы и ладонь), человек увидит дыру в собственной ладони. Этот эффект объясняется сохранной фузией. Если она отсутствует, видна или ладонь, или изображение в трубе.

Проба со спицами. Показывает преимущество бинокулярного зрения над монокулярным. Врач и пациент держат спицы или карандаши вертикально. Острие врачебного карандаша направлено вверх, у пациента оно смотрит вниз (см. рис. 36). Задача пациента совместить кончики карандашей так, чтобы они составили единую вертикальную линию. Вначале тест проводится бинокулярно, затем пациента просят закрыть один глаз. При наличии бинокулярного зрения, пациент намного быстрее и точнее справляется с поставленной задачей бинокулярно. При отсутствии бинокулярного зрения, отсутствует разница в скорости и точности выполнения задания при монокулярном и бинокулярном его исполнении.



Рис. 36. Проба со спицами для исследования бинокулярного зрения.  
Из архива автора

Тест Уорса (аналогичен пробе Белостоцкого – Фридмана). На пациента надевают очки с цветными стеклами. Перед правым глазом – красное стекло, перед левым – зеленое. На расстоянии нескольких метров от пациента располагают черный экран, в котором есть 4 светящиеся пятна: одно красное, одно белое и два зеленых. Светофильтры подобраны таким образом, чтобы правый глаз не мог видеть зеленые пятна, левый – красные, при этом белое пятно видят оба глаза. Если у пациента есть бинокулярное зрение, он видит все четыре пятна. Если работает только правый глаз (зрение монокулярное), видно два пятна. Если работает только левый глаз, видно три пятна. Если

работают оба глаза, но фузия не происходит, пациент видит пять пятен.

Коррекция содружественного косоглазия возможно только в раннем детстве, поскольку его развитие тесно связано с формированием амблиопии на одном из глаз и становлением фузионного рефлекса. У взрослого человека восстановить фузию практически невозможно, косоглазие можно только косметически скрыть, проведя хирургическое изменение баланса глазодвигательных мышц.

Лечение содружественного косоглазия у детей состоит из нескольких последовательных этапов:

1) Необходимо как можно раньше устранить причины, мешающие формированию четкого изображения на сетчатке в амблиопичного глаза. Осуществляется подбор очков, в случае аномалий рефракции, хирургическое лечение врожденной катаракты, опущения верхнего века и т.д.

2) В случае, если наблюдается неправильная фиксация объектов амблиопичным глазом (аномальная корреспонденция сетчаток), ее нужно исправить до перехода к последующим этапам лечения.

3) Остроту зрения амблиопичного глаза повышают методами плеоптики. Используются заклеяка (окклюзия) ведущего глаза, для того чтобы дать возможность амблиопичному глазу отыграть потерянные позиции в борьбе за представительство в зрительной коре. Более щадящим методом является пенализация, когда ведущий глаз не закрывают полностью, а лишь снижают качество его зрения, например с помощью полупрозрачного очкового стекла или мидриатиков длительного действия (атропин).

4) После того как острота зрения амблиопичного глаза поднимется до 0,4–0,5, начинают тренировки фузии, под углом косоглазия удобным для пациента (гаплогическое лечение). Наибольшую популярность получил прибор синоптофор, позволяющий предъявлять различные изображения каждому глазу по отдельности (см. рис. 37).

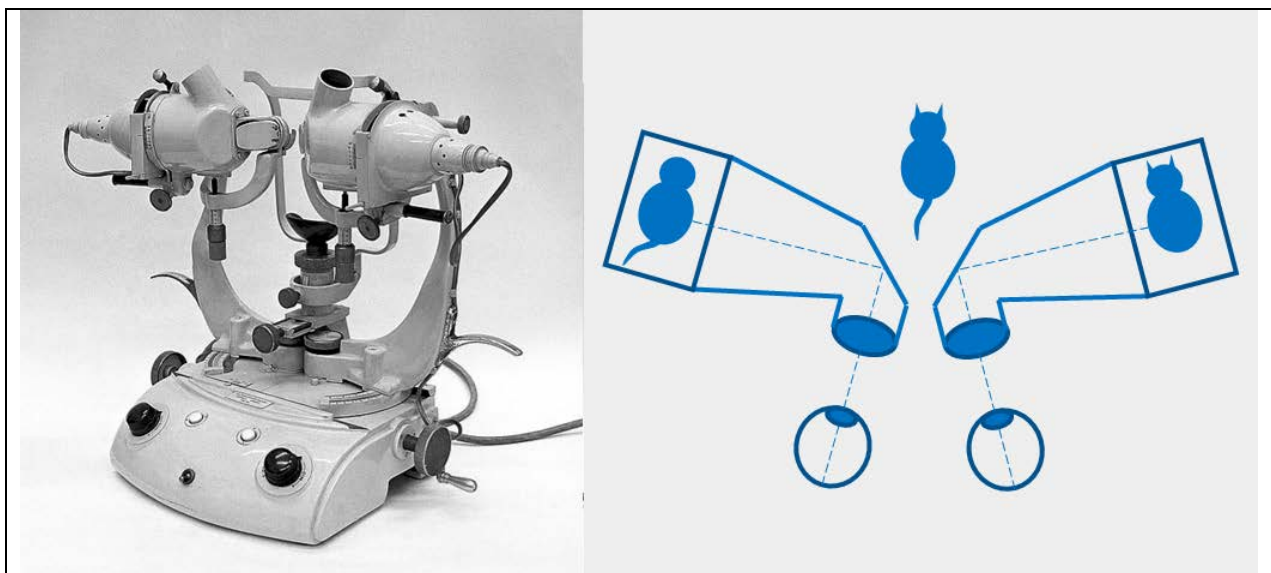


Рис. 37. Общий вид синоптофора и схема его работы.

[commons.wikimedia.org/wiki/File:Pugh\\_Orthoptoscope\\_by\\_Hamblin.\\_Wellcome\\_L0011203.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pugh_Orthoptoscope_by_Hamblin._Wellcome_L0011203.jpg)

5) После того как ребенок натренирует фузию под удобным для него углом, необходимо восстановление правильного мышечного баланса, чтобы фузия возникала при взгляде обоими глазами прямо. К сожалению, тренировок на синоптофоре часто оказывается недостаточно, поэтому приходится проводить хирургические операции на глазодвигательных мышцах.

6) Последний этап лечения – диплоптика, укрепление и тренировка бинокулярного зрения. Используются упражнения, создающие небольшие помехи бинокулярному зрению, которые пациент должен учиться преодолевать.

## Оглавление

Введение.....	3
Зрительный анализатор человека.....	9
Центральное зрение.....	21
История визометрии. ....	27
Субъективная визометрия.....	38
Особенности визометрии при проведении экспертизы.....	42
Определение остроты зрения у детей. ....	45
Периферическое зрение.....	51
Цветовое зрение. ....	62
Светоощущение (адаптация).....	70
Бинокулярное зрение.....	74
Оглавление.....	80

## Литература

1. Офтальмология: национальное руководство/под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди-3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2024.-952с. – (Серия «Национальные руководства»). DOI:10.33029/9704-8572-9-OFT-2024-1-952. ISBN 978-5-9704-8572-9
2. Базисные и специальные диагностические алгоритмы в офтальмологии. Учебное пособие под ред. С.Э. Аветисова – издательство Первого МГМУ им. И.М. Сеченова – 2024 – 88 с. <https://dl.sechenov.ru/course/view.php?idnumber=8712ba15-6f5e-11ea-8123-901b0e633690>
3. Клиническая физиология зрения: Очерки/Под ред. А.М. Шамшиновой – М.: Т.М. Андреева, 2006. – 956 с. ISBN 5-94982-029-0