

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Осетинская государственная медицинская академия»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

О.А. Короев, А.О. Короев, В.О. Ахполова, И.В. Калоева

СВЕТООЩУЩЕНИЕ

Учебное пособие

**Владикавказ
2023**

УДК 612.1/.8
ББК

Короев О.А., Короев А.О., Ахполова В.О., Калоева И.В.

**Светоощущение: учебное пособие. Северо-Осетинская государственная
медицинская академия, 2023 – 48 с.**

Учебное пособие посвящено одной из важнейших зрительных функций – светоощущению. Без нее невозможно осуществление других функций органа зрения. В учебном пособии детально рассматриваются теоретические основы светоощущения. Определены основы методов ее исследования. Рассмотрены различные виды адаптации к свету и темноте. Дана характеристика методикам исследования адаптации. Приводятся классификация нарушений адаптации. Пособие предназначено для ординаторов, изучающих офтальмологию.

Учебное пособие «Светоощущение» подготовлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации по программам ординатуры по специальности 31.08.59 Офтальмология.

УДК
ББК

Рецензенты:

Э.В. Хадикова – доктор медицинских наук, заведующая глазным отделением Северо-Кавказского многопрофильного медицинского центра.

И.С. Дзгоева – директор ГАУЗ «Республиканский офтальмологический центр МЗ РСО-Алания, кандидат биологических наук.

Утверждено и рекомендовано к печати Центральным координационным учебно-методическим ФГБОУ ВО СОГМА Минздрава России (протокол №__ от _____ 2023 г.)

© Северо-Осетинская государственная медицинская академия, 2023
© Короев О.А., Короев А.О., Ахполова В.О., Калоева И.В.

ВВЕДЕНИЕ

Очень важным элементом зрительных функций человека является светоощущение – способность различать воспринимать свет и различать его яркость. Эта зрительная функция является наиболее ранней и основной функцией органа зрения. Все другие функции в той или иной степени основываются на ней. С этой функцией неразрывно связаны проблемы световой и темновой адаптации. Исследование светоощущения важно для суждения о состоянии зрительного аппарата человека. В этой связи детальное знание теоретических основ ощущения света и различных методов его исследования является необходимым условием образовательного процесса ординатора. Знание основ исследования адаптации позволит обучающимся проводить ее исследование различными способами, судить о нарушении этой зрительной функции. Предлагаемое нами учебное пособие поможет расширить знания о светоощущении.

Светоощущение – способность зрительного анализатора воспринимать свет и различать его яркость. Эта функция является наиболее ранней и основной функцией органа зрения. Все другие функции в той или иной степени основываются на ней.

Светоощущение считается наиболее чувствительной функцией органа зрения, изменения которой раньше, чем изменения других функций, выявляют при различных патологических процессах, и они, таким образом, служат ранними критериями диагностики многих заболеваний (глаукома, поражения центральной нервной системы, болезни печени, гиповитаминозы, авитаминозы и т. д.). Светоощущение является первой, самой древней функцией световоспринимающих клеток и органов. У человека при наступлении слепоты светоощущение в сравнении с другими функциями глаза исчезает в последнюю очередь.

У простейших животных зрительная функция ограничивается лишь ощущением света, который воспринимается светочувствительными клетками, находящимися на их покровах. Еще в прошлом столетии, на основании того, что сетчатка дневных животных состоит преимущественно из колбочек, а ночных из палочек, было высказано предположение о двойственности нашего зрения, т.е. колбочковая система является аппаратом дневного зрения, а палочковая – ночного или сумеречного.

Световая чувствительность неодинакова в различных отделах сетчатки, так как палочки и колбочки распределяются неравномерно. Палочки во много раз чувствительнее к свету, чем колбочки. В их наружных члениках постоянно происходят первичные фотофизические и ферментативные процессы трансформации энергии света в физиологическое возбуждение. На периферии сетчатки нейроэпителий представлен только палочками, поэтому светоощущение периферических отделов сетчатки значительно выше, чем центральных. Палочки сетчатки – носители сумеречного зрения, зрения при слабом освещении. Чувствительность глаза к свету определяет, в частности, концентрация светочувствительных зрительных веществ (зрительного

пурпура) в палочках. На световую чувствительность глаза влияет и состояние нервных элементов зрительного аппарата, т.е. периферических и центральных нервных клеток, и нервных волокон.

Световосприятие (чувствительность глаза к свету) индивидуально и в каждом конкретном случае находится в прямой зависимости от состояния сетчатки и концентрации в ней светочувствительного вещества. Кроме того, оно определяется общим состоянием зрительно-нервного аппарата, в первую очередь уровнем возбудимости нервной ткани.

Процесс преобразования лучистой энергии, поглощенной рецепторами сетчатки, в качественные зрительные образы обеспечивается разнообразными физиологическими механизмами, о работе которых позволяют судить многочисленные специальные психофизические наблюдения. Так, детально изучена адаптивная способность органа зрения к работе при очень низких и очень высоких уровнях освещенности. Зрительная система адекватно реагирует как на быстрые, так и на медленные перепады лучистой энергии, причем для нее характерна практически мгновенная реакция на быстро меняющуюся обстановку. Своеобразная «редакторская» способность позволяет зрительной системе избегать избыточной информации. Хотя большая часть из того, что мы видим, представляет собой отобранные порции так или иначе варьирующих изображений, субъективно зрительный образ представляется цельным и плавно меняющимся в пространстве и во времени. Видению стабильной сцены способствует то, что формируемые на сетчатке изображения одновременно суммируются и дифференцируются, оттеняются и сглаживаются. При этом конденсируется наиболее полезная и отбрасывается ненужная информация.

Функционально наиболее важными представляются различные изменения (вариации образов), происходящие в пространстве и во времени. В частности, большое значение имеет контраст световых пятен, возникающих на сетчатке, изменения их локализации и величины. Зрительная система отвечает подчеркиванием границ и определением временных различий в их

локализации. Она действует подобно дифференциатору, разделяя несопоставимые изображения деталей, и, подобно интегратору, группируя сходные ощущения. Существуют механизмы усиления светочувствительности путем уплотнения энергии в пространстве и во времени, а также механизма сопоставления и экстраполяции деталей для заполнения зрительным содержанием пустоты, возникающей на месте скотом. В результате этого зрительная система обеспечивает интерпретацию постоянно меняющихся изображений внешнего мира на сетчатке, используя и пространственный, и временной базисы в непрерывных поисках инвариантных образов и упорядоченных отношений.

Физиологические регуляторы светового потока, поступающего в глаз. Светочувствительность зрительного анализатора столь же переменна, сколь разнообразны пространственные и временные характеристики световых раздражителей окружающего нас мира. Необходимость адекватно воспринимать энергию как очень слабых, так и очень сильных источников света, не подвергаясь необратимым структурным повреждениям, обеспечивается способностью к перестройке режима работы рецепторов. На ярком свете световая чувствительность глаза снижается, но вместе с тем обостряется реакция на пространственную и временную дифференцировку объектов. В темноте весь процесс происходит наоборот. Этот комплекс изменений как светочувствительности, так и разрешающей способности глаза в зависимости от внешней (фоновой) освещенности и называют **зрительной адаптацией**.

Глаз человека способен воспринимать очень яркий свет и совсем ничтожный. Минимальная величина светового потока, которая дает восприятие света, называется **порогом раздражения**. Восприятие предельной минимальной разницы яркости света между двумя освещенными предметами – **порогом различения**. Величины обоих порогов обратно пропорциональны степени светоощущения. При этом и порог раздражения, и порог различения обратно пропорциональны степени светоощущения, т. е. чем меньше

воспринимаемый глазом минимум света или улавливаемая разница в его яркости, тем выше световая чувствительность. Фоторецепторы сетчатки глаза человека возбуждаются уже при наличии 1 кванта света, но ощущение света возникает только при наличии 5-8 квантов света.

Следует уточнить, что, для того чтобы сетчатка была способна даже к самому малому световосприятию, длина волны световых лучей, исходящих от объекта, должна обязательно находиться в пределах видимого излучения и, кроме того, продолжительность и интенсивность раздражения, а также величина объекта должны быть доступны для их восприятия сетчаткой.

Абсолютная световая чувствительность здорового глаза зависит от очень многих как внешних, так и внутренних условий и является наиболее изменчивой (лабильной) из всех зрительных функций. Она лежит в основе всех других зрительных функций зрения.

Абсолютная световая чувствительность определяется всегда в темноте. Для ее исследования чаще всего употребляются аппараты, которые называются адаптометрами.

Основной параметр, характеризующий абсолютную световую чувствительность, – интенсивность светового раздражителя (стимула).

Светочувствительность различных зон нормально функционирующей сетчатки далеко не одинакова. Максимальная плотность палочек соответствует кольцевой зоне, примерно в 7° от макулы. Не случайно именно эта экстрафовеальная область наиболее чувствительна к очень слабым источникам света, когда лишенная палочек фовеа находится в состоянии относительной депрессии. Так, тускло мерцающая звезда в безлунном ночном небе лучше видна, если смотреть не прямо на нее, а слегка сдвинув взор. Абсолютная световая чувствительность подвержена колебаниям в зависимости от очень многих внутренних и внешних факторов, детально изучавшихся школой С.В. Кравкова (рис.1).



Рис. 1. Сергей Васильевич Кравков

В значительной степени световая чувствительность зависит от угловых размеров изображения светового стимула на сетчатке, спектрального состава светового раздражителя, световых условий, которые предшествуют моменту, когда производится исследование, а также световых условий, имеющихсся в момент исследования, т. е. от адаптации, локализации светового раздражителя на сетчатке и, следовательно, локализации его в поле зрения, длительности предъявления раздражителя. Она зависит также от характера стимуляции других рецепторов и анализаторов, наконец, от многих других важных биологических условий и процессов в организме: питания, дыхания, кровообращения, местного и общего, развития и старения организма, климатических условий, времени суток и др.

Среди прочих факторов (питание, дыхание, кровоснабжение) особое место занимают условия освещенности и адаптации. Световой фон (внешняя освещенность) приводит в действие механизмы, перестраивающие (адаптирующие) абсолютную световую чувствительность в соответствии с этими условиями.

Абсолютная световая чувствительность определяется минимальным количеством квантов света, достаточным для того, чтобы вызвать световое ощущение. Еще в 1875 г. А. Риссо обнаружил, что порог светоощущения находится в обратной зависимости от размеров светового пятна:

$$I_n \cdot S - \text{const},$$

где: I_n – пороговая интенсивность света; S – площадь светового стимула.

Это отношение получило название «закон полной, или пространственной, суммации». Суть пространственной суммации состоит в том, что пороговый эффект вызывается строго определенным числом квантов независимо от того, как плотно они распределены по площади. Этому явлению на определенном этапе развития клинических методов исследования абсолютной световой чувствительности (адаптометрия, периметрия) уделяли особое внимание. Однако в последние годы, в связи с тем, что закон Рикко имеет немало ограничений, чаще прибегают к исследованию не абсолютной, а разностной (различительной) чувствительности, определению дифференциальных порогов светоощущения в разных областях сетчатки.

Дифференциальная световая чувствительность (психофизическая оценка прироста яркостной чувствительности). Для каждой области сетчатки характерен тот или иной порог яркостно-контрастного восприятия. Величиной, обратной порогу, как известно, является чувствительность, в данном случае яркостная чувствительность. О показателях осязаемого увеличения яркостной чувствительности можно судить по результатам несложного эксперимента. В этом и многих последующих психофизических экспериментах выделяется понятие фонового светового поля и тестирующего светового объекта.

Интенсивность света в области тестирующего пятна складывается из суммарной энергии двух световых потоков, один из которых (I) постоянно освещает фоновое поле, а второй в виде вспышки поступает дополнительно (ΔI) только на центральное тестирующее пятно. Если в сумме $I + \Delta I$ добавка (ΔI) слишком мала, то метка не будет видна. При достаточно высокой силе вспышки можно добиться видения метки при каждом ее предъявлении. За пороговый уровень принимают такое увеличение яркости, которое улавливается с вероятностью 0,5, т.е. при каждом втором предъявлении пятна.

Отношение Вебера-Фехнера. Зрительный рецептор, как и любой другой сенсорный рецептор, обладает следующим свойством: чем слабее

адаптационный фон, тем острее ощущается усиление стимула. При этом в определенных диапазонах энергии сохраняется постоянное соотношение ощущаемого прироста стимула (ΔI) к адаптационному фону (I). Иными словами, ΔI представляет собой постоянную долю от I .

$$\Delta I/I = \text{const.}$$

Подтверждающие это правило результаты психофизических наблюдений представлены на рис.2.

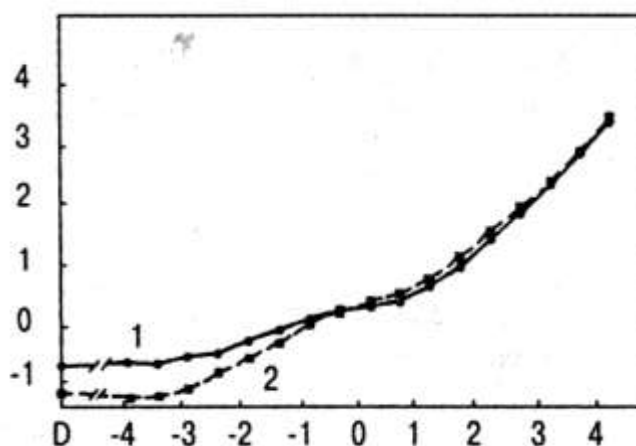


Рис. 2. Соотношение между яркостными порогами в разных областях сетчатки и адаптирующей фоновой освещенностью ее в lg троландов у одного и того же обследуемого.

1 – ΔI в 2° от фовеа, 2 – ΔI в 7° от фовеа. По оси ординат – ΔI (яркостный порог) в логтроландах; по оси абсцисс – $\lg I$ адаптирующего поля

Для палочковой области (в 7° от фовеолы) отношение Вебера-Фехнера правомерно в более широком диапазоне интенсивности адаптационного светового фона (в троландах), чем для колбочковой (в 2° фовеа). Как видно на рисунке, «палочковая» кривая в темноадаптированном глазу начинает подъем уже с отметки -2 ($\lg I$), т.е. на подпороговом уровне. Когда же адаптационный (фоновый) уровень интенсивности света на сетчатке достигает отметки +1 ($\lg I$), начинается подъем и «колбочковой» кривой зрения. Прямолинейность последней в диапазоне по крайней мере 3 лог.ед. позволяет считать отношение Вебера-Фехнера справедливым в данных условиях и для функции колбочек.

Левые (горизонтальные) части кривых свидетельствуют о том, что в условиях полной темновой адаптации в сетчатке сумма $I + \Delta I$ поддерживается

на постоянном уровне. При увеличении I показатель ΔI даже несколько снижается (отмечается тенденция кривой опускаться ниже горизонтального уровня). Таким образом, в условиях как крайне низкой, так и чрезмерно высокой фоновой освещенности сетчатки возникают ограничения для применения правила Вебера-Фехнера. По крайней правой части кривых можно прогнозировать их дальнейший ход не столько вверх, сколько по горизонтали далеко вправо, так что на них будут признаки утраты способности различать тестовые пятна от фона. При столь высоких уровнях световой энергии возможна ее трансформация в тепловую, что вызовет повреждение сетчатки.

Проверка дифференциальной световой чувствительности различных отделов сетчатки в условиях умеренной яркости фонового освещения получила в последние годы широкое распространение в клинической практике как метод статической периметрии.

Латеральное торможение. Еще одним адаптационным феноменом, способствующим распознаванию зрительных образов, является усиление контраста на границах различающихся по яркости зон изображения (рис.3).



Рис. 3. Полосы Маха. На границе двух различных по контрасту полей как бы подчеркивается чернота одних и светлота других.

Как полагают, полосы Маха являются следствием нейрональных взаимодействий. В ответ на локальные вариации засветов соседствующих зон сетчатки происходит усиление процессов возбуждения нервной активности в одних и процессов торможения в других участках. В результате этого на границе темных и светлых полей усиливаются чернота темного и белизна светлого, что и получило название «латеральное торможение».

Этот феномен можно наблюдать, если один из двух совершенно одинаковых серых квадратов поместить в светлую рамку, а другой – в темную.

При этом квадрат, окруженный черной рамкой, будет казаться более светлым: фоновая рамка по контрасту усиливает яркость внутреннего квадрата.

Феномен Троклера. К числу пространственно-временных механизмов зрительной адаптации можно отнести феномен, выявленный J. Troxler. Он подметил, что если на периферии поля зрения возникает световое пятно, более интенсивное, чем световой фон, то в случае неподвижности пятна уже через несколько секунд оно становится невидимым. Чем слабее и меньше световое пятно, тем быстрее оно исчезает, особенно при расположении на крайней периферии. Стоит только пятну сдвинуться при изменении точки фиксации взора, как оно вновь становится видимым. Мгновенное восстановление светочувствительности предполагает нервный механизм феномена, а роль выцветания пигментов фоторецепторов практически исключается. С учетом находок D. Hubel и T. Wiesel, касающихся градиента рецептивных полей сетчатки, которые в направлении от центра к периферии закономерно увеличиваются в размерах, можно предположить наличие обратной зависимости вероятного проявления феномена Троклера от размеров этих полей. При этом, как и в случае с физиологическим слепым пятном, ощущение дефекта в пространстве при феномене Троклера не отмечено.

Сходным по механизму представляется феномен «видения тени ретинальных сосудов», впервые описанный J.E. Purkinje. Феномены Троклера и Пуркинье позволяют утверждать, что любой образ, который в условиях пристального взгляда неподвижен на сетчатке, постепенно теряет четкость и исчезает. Существует, однако, компенсаторный механизм, поддерживающий в процессе зрительной работы постоянные и незаметные микродвижения глазных яблок, что и обеспечивает немедленное восстановление блекнувшего образа. Эти движения состоят из медленных дрейфов и быстрых скачков с угловой амплитудой не более нескольких долей градуса.

Временные аспекты светочувствительности. В зрительном процессе исключительно велика роль временного фактора. Фотохимические изменения, с которых начинается преобразование световой энергии в зрительные

ощущения, весьма скоротечны. Начало фотохимической реакции пигмента под влиянием поглощенного света занимает всего несколько микросекунд, как и ранние рецепторные потенциалы, возникающие после вспышки света в процессе фотохимических превращений пигмента. Процесс фотолиза родопсина в полный транс-ретиаль и опсин, фототрансдукция и адаптация растягиваются на минуты.

Однако уже самое начальное воздействие световой энергии запускает цепь быстрых электрических реакций, происходящих на фоне достаточно длительных молекулярных преобразований зрительного пигмента. Об исключительной важной роли временного фактора в зрительном процессе свидетельствуют результаты психофизических и нейрофизиологических исследований процессов, лежащих в основе поведенческих реакций.

Временная суммация. Нервный импульс от фоторецепторов можно получить при воздействии одиночного кванта света. Однако для того, чтобы вызвать ощущение света в темноадаптированном глазу, требуется абсорбция в фоторецепторе по крайней мере нескольких квантов. При этом для достижения пространственной и временной суммации область и длительность воздействия необходимо строго ограничить. Максимальный срок, в пределах которого еще возможна временная суммация, называют критической длительностью зрения, обычно он достигает 0,1 секунды. На этот показатель влияют очень многие факторы: яркость и размеры светового пятна, проецируемого на темноадаптированную сетчатку, его спектральный состав и локализация в поле зрения, форма пятна и градиент перепада освещенности на его границах, единообразие структуры. Важна также скорость включения и выключения света, но главное требование эксперимента – изоляция источника света для определения визуального ответа.

Критическая длительность зрения (T_c). При анализе этого показателя важнейшую роль играет освещенность тестового пятна на сетчатке. С увеличением освещенности, например, в 2 раза для достижения критической длительности зрения достаточно также вдвое меньше времени, и, наоборот,

при снижении освещенности потребуется увеличение длительности зрения в такое же количество раз. Важно заметить, что указанная реципрокная зависимость сохраняется лишь в пределах критической длительности зрения.

Отношение $B/t = \text{const}$, где B – яркость объекта, t – длительность свечения, известно, как закон Блоха. Он означает, что в рамках T_c один и тот же световой эффект может быть достигнут при строго определенной степени световой энергии, слагающейся из различных сочетаний яркости тестового объекта и длительности его воздействия. При этом пороговую энергию световых вспышек определяют при обязательном условии, что последние короче, чем T_c . На критическую длительность влияет ряд факторов. Так, чем слабее освещенность сетчатки, тем больше T_c .

Критическая длительность возрастает также по мере уменьшения тестируемой области и усложнения различения предъявляемых тест-объектов.

Физический феномен временной суммации световой энергии оказалось возможным объяснить не только на основе квантовой теории, но также с помощью химических реакций, возникающих в фоторецепторах под воздействием света. При этом Bunsen и Roscoe подтвердили закон Блоха о наличии реципрокной зависимости между интенсивностью светового раздражителя и длительностью его воздействия.

Все это, однако, справедливо только для рассмотренного выше весьма короткого периода критической длительности зрения. Спустя лишь десятые доли секунды отношения существенно изменяются, пороговый источник света определяется уже не по его энергетической характеристике (произведению яркости на время воздействия), а только по его яркости. Именно такой принцип лежит в основе клинической периметрии. Время предъявления объекта практически перестает влиять на его распознавание. Различаемость таких объектов становится функцией их яркости, т.е. контраста, относительно уровня яркости фона, к которому происходит адаптация.

По отношению к структурированным объектам, имеющим отношение к остроте зрения, также справедливы закономерности критической

длительности. Однако при решении более сложных задач (распознавание тонких деталей) критическая длительность достигает 0,4 секунды (вместо предельной 0,1 секунды при простых световых стимулах).

Для спектрально различных световых стимулов характерны определенные показатели критической длительности (табл.1).

Таблица 1.

Критическая длительность стимула в зависимости от длины волны и яркости

Освещенность сетчатки, троланды	Длина волны, нм	Критическая длительность, мс	
		для $\Delta\lambda$	для ΔL
од	527		96
10	600	110	64
	580	160	62
	527	250	68
	480	250	56
по	527	94	40

Как видно из данных, представленных в табл. 1, зрительная система быстрее реагирует на изменения яркости (ΔL), чем на изменение длины волны ($\Delta\lambda$). В оценке цветности критическая длительность возрастает обратно пропорционально длине волны. Так, в фотопических условиях освещенности сетчатки (10 троландов) критическая длительность зрения в длинноволновой части спектра составляет около 110 мс, что близко к показателям для белого светового стимула в темноадаптированном глазу (90-96 с); для стимула же из коротковолновой части спектра этот период в 2 раза длиннее (250 мс). Это свойство зрительной системы лежит в основе экспериментальной методики гетерохроматической мелькающей фотометрии.

Эффект Broca-Sulzer. Явление временной суммации означает необходимость определенного времени от начала вспышки до момента ее видения и еще некоторого времени до ощущения максимума яркости. При одной и той же интенсивности света чем короче вспышка, тем она кажется более яркой. Оптимальной для субъективного восприятия максимальной яркости является вспышка длительностью 50-100 мс. Более длинная вспышка

той же силы мало отличается по яркости от плато, которым характеризуется постоянное свечение. Для того чтобы уловить яркостный эффект от удлиняющихся вспышек, потребуется увеличить интенсивность света. Поскольку эффект Broca-Sulzer проявляется в широком диапазоне спектрального состава света в различных условиях световой и темновой адаптации для всех областей сетчатки, имеются основания объяснить его универсальностью зрительно-нервных механизмов.

Критическая частота слияния мельканий (КЧСМ) и закон Тальбота. Мелькающий свет по мере увеличения частоты мельканий воспринимается как непрерывный. Этот переходный рубеж называют критической частотой слияния мельканий. Talbot показал, что в единицу времени средняя интенсивность мелькающего света при субъективном слиянии мельканий и объективно устойчивого света той же длины волны и яркости одинакова (так называемое плато Тальбота).

Феномен усиления яркости по Brucke. Установлено, что в момент включения света его воспринимаемая яркость на мгновение возрастает. Это имеет прямое отношение к описанному выше феномену Broca-Sulzer. Видимую яркость мелькающего света можно определить путем сравнения ее с яркостью постоянно светящегося стандарта. При этом нужно учесть, что, по Talbot, для мелькающего света с 50% рабочими циклами сила каждой вспышки должна быть вдвое больше, чем у непрерывно светящегося стандарта, используемого для сравнения, при стремлении сделать их одинаковыми по видимой яркости. С изменением частоты мельканий изменяется и видимая яркость, которая оказывается максимальной в довольно узком диапазоне частот. Это относится к мельканиям с частотой от 5 до 20 Гц в зависимости от силы источника света.

Влияние на КЧСМ интенсивности стимула и закон Ферри-Портера. КЧСМ зависит от яркости вспышки и линейно растет по мере повышения освещенности в макулярной области сетчатки. Закон Ферри-Портера справедлив для освещенности в диапазоне 4 лог. ед.

Влияние на КЧСМ спектрального состава света. Для различающихся по спектральному составу, но одинаковых по яркости источников света в фотопических условиях закон Ферри-Портера также оказался справедливым. При низких уровнях освещенности сетчатки для коротковолнового («синего») конца спектра КЧСМ оказалась наибольшей, а для длинноволнового («красного») – наименьшей.

Влияние на КЧСМ локализации светового пятна на сетчатке. Согласно закону Ферри-Портера, при направлении светового пятна на область фовеа КЧСМ будет расти с увеличением освещенности. При смещении светового пятна от центра к периферии соотношение колбочек и палочек в освещенной зоне изменится и КЧСМ в зависимости от эксцентриситета будет иметь иной характер, а кривая этой зависимости станет двугорбой, поскольку при низкой освещенности сетчатки стимулируются преимущественно палочки, а при высокой – колбочки.

Влияние на КЧСМ размеров стимулируемой области – закон Гранита-Харпера. Установлено, что КЧСМ линейно возрастает с увеличением размеров стимулируемой области сетчатки. Для центральной области это положение справедливо в очень широких пределах (до 50°). При значительном увеличении размеров мишени повышается уровень КЧСМ и на периферии, причем он может превзойти таковой для малых стимулов в области фовеолы или вблизи нее. Именно этим объясняется тот факт, что мелькания на телевизионном экране сильнее в том случае, если он оказывается в периферической части поля зрения.

Влияние на КЧСМ яркости фона и адаптации. В условиях, когда мелькающее тестирующее поле окружено полной темнотой, на показатели КЧСМ могут оказать влияние случайные факторы, в частности ничтожные засветы зон сетчатки, отдаленных от тестируемых областей. При этом в ореоле от уже стабильного тестового поля могут возникнуть мелькания. Во избежание этих погрешностей КЧСМ рекомендуют исследовать на фоне экрана, освещенного таким образом, чтобы контраст между так называемой

яркостью Тальбота в тестируемой области и фоновой яркостью был минимальным. Поскольку при световой адаптации уровень колбочковой чувствительности возрастает, КЧСМ находится в прямой зависимости от адаптации к свету.

Таким образом, при оценке функции КЧСМ следует учитывать возможность влияния на нее очень многих факторов: освещенности и размеров тестирующего поля, его места на проекции сетчатки, спектрального состава света, длительности и глубины модуляции стимулов, их количества при многократном предъявлении.

В основе исследования светоощущения лежит определение величины порогов, особенно порога раздражения. Порог раздражения изменяется в зависимости от степени предварительного освещения, действовавшего на глаз. Если некоторое время побыть в темноте, а затем выйти на яркий свет, то наступает ослепление, которое через некоторое время проходит и человек хорошо переносит яркий свет. Если же после пребывания на свету, войти в затемненное помещение, то сначала различать предметы совершенно невозможно и только через некоторое время они становятся различимы. При воздействии на глаз сильного света быстрее разрушаются зрительные вещества и, несмотря на их перманентное восстановление, чувствительность глаза к свету понижается. В темноте распад зрительных веществ не происходит так быстро, как на свету, и, следовательно, в темноте повышается чувствительность глаза к свету. Кроме того, под действием на сетчатку яркого света из пигментного эпителия пигмент перемещается к нейроэпителию, и как бы прикрывает его, что в свою очередь снижает его чувствительность к свету.

Процесс приспособления глаза к различным условиям освещения называется **адаптацией**. Именно эта функция органа зрения позволяет сохранять высокую светочувствительность и одновременно предохранять фоторецепторы сетчатки от перенапряжения. Диапазон освещенности, в пределах которого осуществляется зрительная адаптация, огромен; в количественном выражении он измеряется от миллиарда до нескольких

единиц. Для удобства сопоставления данных обычно манипулируют не этими цифрами, а их десятичными логарифмами. В логарифмических единицах (лог.ед.) пределы рассматриваемых границ делятся всего на десять уровней (от 0 до 9), и тогда нулевому уровню будет соответствовать $\lg 1$, первому – $\lg 10$, второму – $\lg 100$ и т.д. до 9-го уровня, который соответствует $\lg 1\,000\,000\,000$.

Известны три физиологических регулятора светового потока, поглощаемого рецепторами сетчатки, т.е. ее светочувствительности. Эти регуляторы различаются в скорости и силе. Первый: вследствие изменений размеров зрачка количество входящего в глаз света регулируется в пределах лишь немногим более одной лог.ед. и с весьма умеренной скоростью (примерно за 1 с). Второй значительно быстрее (в пределах нескольких миллисекунд) и эффективнее влияет на светочувствительную активность нервных элементов сетчатки, изменяя ее в тысячу раз, т.е. в пределах 3 лог.ед. Третий, хотя и весьма медленно (на протяжении десятков минут), но в 100 000 000 раз, т.е. в пределах 8 лог.ед., увеличивает светочувствительность при изменении концентрации светочувствительных пигментов в рецепторах и пигментном эпителии сетчатки.

Морфологические основы и субъективные проявления фото- и скотопического зрения. Каждому известно, насколько беспомощным поначалу чувствуешь себя, попадая из ярко освещенного помещения в темное. Только спустя 8-10 мин начинаешь различать плохо освещенные предметы, а для того чтобы достаточно свободно ориентироваться, требуется еще по крайней мере 20 минут, пока зрительная чувствительность в темноте достигает максимума. Обратный процесс адаптации к высокому уровню освещенности протекает заметно быстрее. Так, по выходе из кинотеатра зрительный дискомфорт исчезает уже спустя 3-5 минут. В первом случае – в процессе темновой адаптации проявляется скотопическое зрение, а во втором, при световой адаптации, – фотопическое. Анатомы, установившие, что в сетчатке ночных животных преобладают палочки, а в сетчатке дневных – колбочки, заложили морфологический базис для теории двойственного механизма зрения у

человека. Границы преобладания того или иного зрения определяются уровнем яркости фона адаптации (УЯФА). Фотопическое зрение реализуется при яркости фона больше 3 кд/м^2 ; скотопическое – меньше 10^{-3} кд/м^2 . При УЯФА в интервале от 10^{-3} кд/м^2 до 3 кд/м^2 , когда активны в равной мере и палочки, и колбочки, функционирует мезопическое зрение.

Скотопически (темно) адаптированная сетчатка максимально чувствительна к световой энергии самого низкого уровня, но при этом резко снижается ее пространственная разрешающая способность и исчезает цветоощущение. Фотопически (светло) адаптированная сетчатка, будучи низко чувствительной, чтобы различать слабые источники света, вместе с тем обладает высокой пространственной и временной разрешающей способностью, а также цветоощущением. По указанным причинам даже в безоблачный день блекнет луна и гаснут звезды, а ночью без подсвечивания мы теряем способность читать текст, набранный даже самым крупным шрифтом.

По мере увеличения освещенности сетчатки зрение, определяемое в основном палочковым аппаратом, сменяется колбочковым зрением, причем максимум чувствительности сдвигается в направлении от коротковолновой к длинноволновой части спектра. Этот феномен, описанный J.E. Purkinje еще в XIX в., хорошо иллюстрируется бытовыми наблюдениями. Кто не замечал, что в букете полевых цветов в солнечный день выделяются желтые и красные маки, а в сумерках – синие васильки (сдвиг максимума чувствительности от 555 до 510 нм). Изменения яркостной чувствительности глаза в отношении не столько хроматического, сколько ахроматического света явились предметом многих психофизических исследований. В них изучались как пространственные, так и временные аспекты проблемы, причем именно субъективные ощущения испытуемых с учетом их высокой чувствительности и специфичности оказывались надежным инструментом познания.

Принято различать световую адаптацию, определяющую максимальное количество света, воспринимаемого глазом, и темновую, или так называемую

абсолютную, адаптацию, определяющую соответственно минимум воспринимаемого глазом света. Длительность обоих видов адаптации глаза во многом зависит от уровня предшествующей освещенности.

Зрительная адаптация является наиболее сильным фактором, влияющим на абсолютную световую чувствительность. При этом отдельно нужно рассмотреть темновую и световую адаптацию; первая повышает, а вторая снижает абсолютную световую чувствительность.

Зрительная адаптация биологически вполне целесообразна. Понижение световой чувствительности при больших яркостях предохраняет глаза от перераздражения, повышение же чувствительности глаз при малых яркостях действующего на них света позволяет лучше замечать даже очень слабые световые раздражители.

Световая адаптация – это приспособление органа зрения к условиям более высокой освещенности. Она протекает очень быстро. Когда глаз адаптируется к возросшей яркости света, чувствительность фоторецепторов сетчатки особенно интенсивно снижается в первые секунды и достигает нормальных значений к концу 1-й минуты. Из нарушений световой адаптации известны расстройства ее при врожденной цветослепоте. Клинически такие нарушения проявляются, так называемой, никталопией, т.е. лучшим зрением в темноте.

Темновая адаптация – это приспособление глаза в условиях пониженного освещения, т.е. изменение световой чувствительности глаза после выключения действовавшего на глаз света. Сведения о темновой адаптации значительно полнее и точнее, чем о световой. Начало исследования темновой адаптации было положено Г. Аубертом (1865 г.). Он предложил термин «адаптация». Поскольку светочувствительность весьма изменчива, снижаясь на свету и повышаясь в темноте, она достигает максимума только при полной темновой адаптации. Этот абсолютный световой порог удается определить лишь после 40-60-минутного непрерывного пребывания в полной темноте. Повышение чувствительности в ходе темновой адаптации зависит от

того уровня яркости, к которому был адаптирован глаз до погружения в темноту. Чем выше была яркость поля предварительной световой адаптации, тем относительно больше будет последующее повышение световой чувствительности. Повышение световой чувствительности в темноте идет длительное время. Первый период адаптации длится около 20-30 минут (это время ее максимальных и наиболее быстрых изменений); после 30 минут она продолжает заметно повышаться до 50-60 минут, после этого повышение световой чувствительности мало выражено.

Типичные кривые, характеризующие изменения световой чувствительности в ходе темновой адаптации, приведены на рис.4.

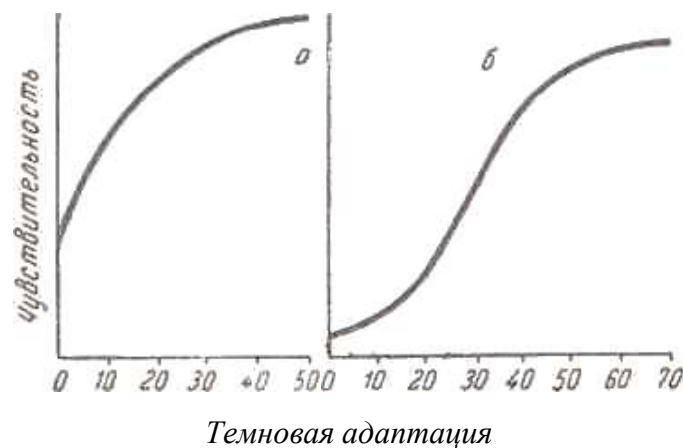


Рис. 4. Типичные кривые изменения абсолютной световой чувствительности в ходе темновой адаптации.

а – при малой яркости поля предварительной световой адаптации; б – при большой яркости поля предварительной световой адаптации.

Кривая а показывает изменение световой чувствительности после предварительной адаптации к слабому свету, кривая б – после предварительной адаптации к яркому свету. Вторая кривая имеет типический перегиб, который соответствует примерно 5-7-й минуте темновой адаптации и объясняется тем, что колбочковый аппарат, который определяет световую чувствительность при погружении испытуемого в темноту, замещается палочковым аппаратом, который к этому моменту уже восстанавливает свою чувствительность и в дальнейшем ходе темновой адаптации в свою очередь определяет уровень световой чувствительности. О процессе темновой

адаптации в настоящее время известно, что приблизительно максимум при темновой адаптации достигается в течение первых 30-45 минут и после 45 минут, если исследуемый глаз остается в темноте, светочувствительность продолжает повышаться. Причем светочувствительность нарастает тем скорее, чем до этого орган зрения был менее адаптирован к свету. Во время световой адаптации светочувствительность повышается в 8-10 и более тысяч раз.

Световая адаптация быстро приводит к снижению уровня абсолютной световой чувствительности, достигнутого, в ходе темновой адаптации. Переход из полной темноты в ярко освещенное помещение или на улицу в ясный солнечный день обуславливает состояние кратковременного ослепления, но вскоре глаза адаптируются к свету и начинают видеть хорошо. Понижение чувствительности глаза проявляется в значительном увеличении световых порогов. Падение световой чувствительности, очень быстрое в первые секунды нахождения на свету, постепенно становится медленным и примерно к 10 минутам после начала световой адаптации прекращается.

Исследование темновой адаптации имеет большое значение при профессиональном отборе, при проведении военной экспертизы. Для изучения световой чувствительности и всего хода адаптации служат приборы адаптометры. Для врачебной экспертизы применяется адаптометр С.В. Кравкова и Н.А. Вишневого.

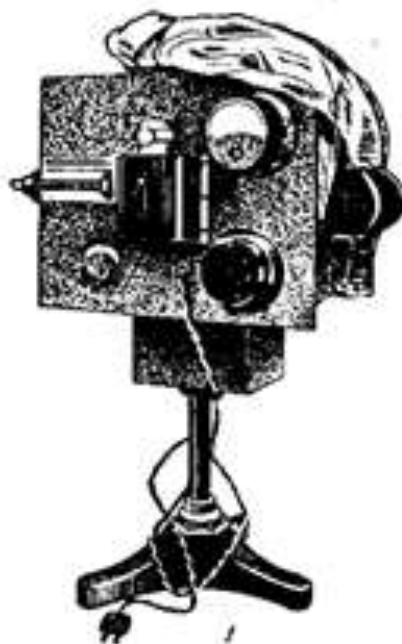


Рис. 5. Адаптомтр С.В. Кравкова и Н.А. Вишнеvского

Он служит для ориентировочного определения состояния сумеречного зрения при массовых исследованиях. Длительность исследования составляет 3-5 минут. Действие прибора основано на феномене Пуркинье, который заключается в том, что в условиях сумеречного зрения происходит перемещение максимума яркости в спектре в направлении от красной части спектра к сине-фиолетовой. Этот феномен иллюстрирует такой пример: в сумерках голубые васильки кажутся светло-серыми, а красный мак почти черным.

Адаптомтр Кравкова-Вишнеvского представляет собой темную камеру, внутри которой расположена таблица из зеленого, голубого, желтого и красного квадратов, освещаемая светом различной, постепенно усиливающейся яркости. Основной объект наблюдения – голубой квадрат; желтый квадрат служит для контроля.

О светоощущении можно судить по времени, которое нужно обследуемому для того, чтобы он начал различать цветные квадраты таблицы. В начале исследования при адаптации к свету обследуемый не различает цветов, и квадраты кажутся ему серыми различной светлости. По мере

наступления темновой адаптации первым различается желтый квадрат, затем – голубой. Красный и зеленый квадраты в этих условиях совсем неразличимы.

Время, прошедшее от момента включения ламп до момента, когда обследуемый увидел более светлый квадрат на месте зеленого, отмечается по секундомеру. При нормальном цветовом зрении и нормальной темновой адаптации, это время колеблется между 15-й и 60-й секундами.

Если установлено понижение сумеречного зрения, темновую адаптацию необходимо проверить на более точных адаптометрах, например, на адаптометре Белостоцкого (рис.6).



Рис. 6. Адаптомтр Белостоцкого

Прибор определяет кривую нарастания световой чувствительности глаза во время длительного (60 мин) пребывания в темноте и исследует отдельно световую чувствительность центра и периферии сетчатой оболочки в короткое (3-4 минуты) время, а также определяет чувствительность адаптированного к темноте глаза к яркому свету.

Перед началом исследования темновой адаптации необходимо получить максимальную световую адаптацию. Для этого обследуемый в течение 20 мин смотрит на равномерно и ярко освещенный экран. Затем пациента помещают

в полную темноту (под ширму адаптометра) и определяют световую чувствительность глаз. Через интервалы 5 минут больному предлагают смотреть на слабо освещенный экран. По мере того, как цветовая чувствительность нарастает, восприятие яркости постепенно снижается. С помощью диафрагмы можно достигнуть постепенного и равномерного уменьшения освещения примерно в 80 млн. раз по сравнению с освещением при открытой диафрагме. Исследование проводят в течение 1 часа.

В настоящее время широко применяются для исследования адаптации адаптометры модели АДТ, которые дают возможность всестороннего состояния сумеречного зрения, обеспечивает получение результатов в короткое время, а также исследование хода нарастания световой чувствительности во время длительного пребывания в темноте.

Более точное определение светочувствительности производят на регистрирующем полуавтоматическом адаптометре (рис.7).



Рис. 7. Регистрирующий никтометр

Исследование выполняют в темноте, длительность его 50-60 минут. Сначала обследуемый максимально адаптируется к свету. В течение 10 мин он смотрит на освещенный экран, а затем погружается в полную темноту. Пациенту предъявляется слабо освещенный тест, яркость которого постепенно увеличивается. Когда обследуемый различит тест, он нажимает па

кнопку. На бланке регистрирующего устройства ставится точка. Яркость теста изменяют сначала через 2-3 мин, а затем с интервалом 5 минут. По прошествии 60 минут исследование заканчивают. Соединив точки на регистрационном бланке, исследователь получает кривую световой чувствительности обследуемого.

Простым методом исследования световой чувствительности является проба Кравкова, основанная на феномене Пуркинье, который заключается в том, что в условиях пониженной освещенности происходит перемещение максимума яркости цветов от красной части спектра к сине-фиолетовой. Днем красный мак и синий василек кажутся одинаково яркими, а в сумерках мак становится почти черным, а василек воспринимается как светло-серое пятно.

Кусок картона размером 20х20 см оклеивают черной бумагой и, отступая 3-4 см от края по углам, наклеивают четыре квадратика размером 3х3 см из голубой, красной, желтой и зеленой бумаги (рис.8).



Рис. 8. Таблица Кравкова-Пуркинье

Цветные квадратики показывают больному в затемненной комнате на расстоянии 40-50 см от глаза. В норме вначале квадраты неразличимы. Через

30-40 секунд становится различим контур желтого квадрата, а затем голубого. При понижении светощущения на месте желтого квадрата появляется более светлое пятно, голубой же квадрат невиден.

Темновая адаптация может быть измерена следующим образом. Сначала испытуемый в течение короткого промежутка времени смотрит на ярко освещенную поверхность (обычно до достижения им определенной, контролируемой степени световой адаптации). При этом чувствительность испытуемого уменьшается, и тем самым создается точно регистрируемая точка отсчета времени, необходимого для его темновой адаптации. Затем выключают свет и через определенные промежутки времени определяют порог восприятия испытуемым светового стимула. Определенный участок сетчатки стимулируется раздражителем с определенной длиной волны, имеющим определенные продолжительность и интенсивность. По результатам такого эксперимента строится кривая зависимости минимального количества энергии, необходимого для достижения порога, от времени пребывания в темноте. Типичная кривая темновой адаптации представлена на рис.9.



Рис. 9. Зависимость величины зрительного порога от времени темновой адаптации. Верхняя часть кривой – колбочковое зрение, нижняя часть – палочковое зрение.

Кривая показывает, что увеличение времени пребывания в темноте (абсцисса) приводит к снижению порога (или к возрастанию чувствительности) (ордината). Она состоит из двух фрагментов: верхний

относится к колбочкам, нижний – к палочкам. Эти фрагменты отражают разные стадии адаптации, скорость протекания которых различна. В начале адаптационного периода порог резко снижается и быстро достигает постоянного значения, что связано с увеличением чувствительности колбочек. Общее возрастание чувствительности зрения за счет колбочек значительно уступает возрастанию чувствительности за счет палочек, и темновая адаптация наступает за 5-10 минут пребывания в темном помещении. Нижний фрагмент кривой описывает темновую адаптацию палочкового зрения. Рост чувствительности палочек наступает после 20-30-минутного пребывания в темноте. Это значит, что в результате примерно получасовой адаптации к темноте глаз становится примерно в тысячу раз более чувствительным, чем был в начале адаптации. Однако хотя увеличение чувствительности в результате темновой адаптации, как правило, происходит постепенно и для завершения этого процесса требуется время, даже весьма непродолжительное воздействие света может прервать его.

Рассмотрим пример, который не только подтверждает то, что результаты темновой адаптации можно очень быстро свести на нет, но и показывает, чем темновая адаптация отличается от световой. Проведите в относительно темной комнате 20-30 минут или столько времени, сколько нужно, чтобы ваши глаза полностью адаптировались к темноте. В результате этого чувствительность вашего зрения станет высокой, и вы сможете ясно увидеть даже самый слабый свет. Плотнo закройте один глаз так, чтобы он ничего не видел, и на пару секунд включите яркий свет. Смотрите на него только незакрытым глазом (при этом он претерпевает световую адаптацию). Быстро выключите свет и сравните зрение обоих глаз, поочередно открывая сначала один, а затем – второй. Тот глаз, который был закрыт, пока горел свет, сохранил свою чувствительность, а тот, который адаптировался к свету, – ничего не видит. Следовательно, то, на достижение чего понадобилось около получаса (т. е. темновая адаптация), было полностью уничтожено в те секунды, когда проходила световая адаптация.

Благодаря тому, что день сменяется ночью постепенно, мы, как правило, не задумываемся над тем, как происходит темновая адаптация. Бассу принадлежит следующее высказывание о том периоде времени, которое, как правило, требуется для этого: «Поначалу кажется, что животные плохо приспособлены к темновой адаптации, коль скоро для завершения этого процесса требуется полчаса. Животное, лишенное возможности нормально видеть, при таких условиях непременно стало бы добычей для других животных, но... быстрый переход от света к темноте происходит преимущественно в технократической цивилизации. В природных условиях мгновенный переход от света к темноте происходит только тогда, когда животное попадает в пещеру, а большинство животных избегает пещер. Естественный переход от света к темноте занимает примерно 20 минут – это время сумерек между заходом солнца и наступлением ночи, и оно соответствует периоду, необходимому для полного завершения темновой адаптации».

Световая чувствительность глаза быстро возрастает в темноте и через 40-45 минут достигает максимума, возрастая в 50 000-100 000 раз, а иногда и более по сравнению с чувствительностью глаза на свету. Особенно быстро темновая адаптация нарастает в первые 20 минут. Поскольку нарастание порогов световой чувствительности обладает огромным размахом (световая чувствительность увеличивается до 100 000 раз), удобнее представлять нарастание световой чувствительности в логарифмах чисел, обозначающих световую чувствительность. По оси абсцисс откладывают время пребывания в темноте в минутах, а по оси ордината пороги световой чувствительности, выраженные в логарифмах (рис.11).

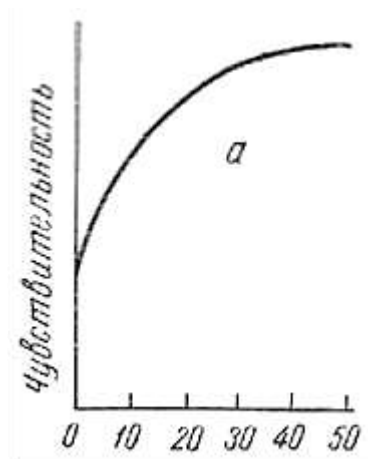


Рис.11. Темновая адаптация

Световая чувствительность и ход адаптации – исключительно тонкие функции, они зависят от возраста, питания, настроения, различных побочных раздражителей.

Существует два основных типа нарушений абсолютной световой чувствительности и зрительной адаптации: гипофункция колбочкового аппарата сетчатки, или «дневная слепота» и гипофункция палочкового аппарата сетчатки, или «ночная слепота» – гемералопия (рис.12).

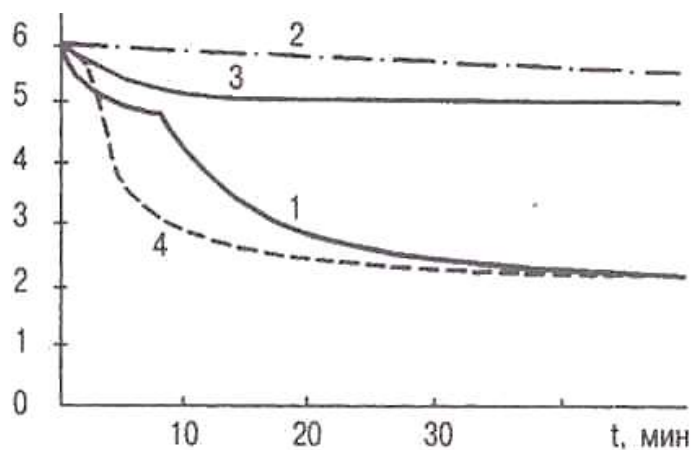


Рис. 12. Типичная двухфазная нормальная кривая темновой адаптации (с колбочковым и палочковым компонентами) и варианты ее нарушений, характеризующиеся исчезновением одной из фаз и изменением уровня всей кривой.

1 – норма; 2 – болезнь Огуши; 3 – стационарная ночная слепота; 4 – палочковый монохроматизм.

Для того чтобы на кривой темновой адаптации получить не только палочковый, но и начальный колбочковый компонент, необходимо создать высокий уровень световой предадаптации (порядка 40 000 кд/м²) (рис.13).

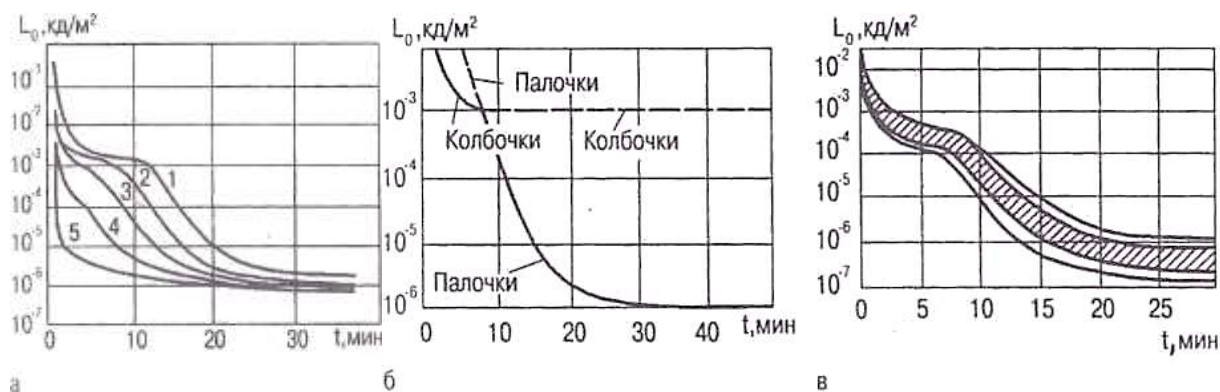


Рис. 13. Нормативы кривых темновой адаптации

а – варианты кривых при различных уровнях предадаптации, кд/м²: 1 – 40 000; 2 – 4000; 3 – 2000; 4 – 400; 5 – 30; б – компоненты (ветви) кривой при высоком уровне предадаптации (40 000 кд/м²); в – полоса нормы для кривой темновой адаптации.

Оценка результатов. На нормальной кривой темновой адаптации в первые же минуты обнаруживается прирост светочувствительности за счет включения функции колбочек («колбочковое колено»). Затем на протяжении 15 минут резко возрастает светочувствительность палочек. В дальнейшем, вплоть до 40-й минуты, светочувствительность увеличивается очень медленно и достигает в конечном итоге стабильного уровня, позволяющего воспринимать яркость порядка 10^{-6} кд/м².

Световые пороги у вполне здоровых людей широко варьируют, поэтому при оценке результатов целесообразно пользоваться полосой нормы. С возрастом светочувствительность изменяется: она максимально высока у 20-летних и после этого возраста начинает снижаться, достигая к старости минимальных значений.

Введение в клиническую практику ориентировочного быстрого 3-минутного исследования световой чувствительности оказалось полезным особенно в летной экспертизе. Способность различать при этом форму испытательного объекта (круг, контуры самолета, квадрат) не позже чем через 45-50 секунд после погружения в темноту прибора расценивали как признак

нормальной темновой адаптации. Однако по мере дальнейшей разработки методик оценки центрального сумеречного зрения от сомнительной по точности скрининговой 3-минутной адаптометрии отказались, так как для ее проведения необходима предварительная адаптация к освещенности в 4-5 лк в течение 20 минут.

Световая адаптометрия. С помощью очень ярких засветов подавляют функцию фоторецепторов (фотостресс-тест) и по времени последующего восстановления остроты зрения судят о сохранности колбочковой функции. Адаптация к свету – процесс гораздо более быстрый, чем адаптация к темноте.

Исследование критической частоты слияния мельканий. В разное время было предложено множество вариантов устройств для данного исследования в виде вращающихся дисков и электронных аппаратов, но в клиническую практику ни одно из них так и не вошло.

Техника исследования. Обследуемому предлагают смотреть на мелькающий источник света и сообщить, когда по мере увеличения частоты мельканий свет для него станет постоянным. И.И. Меркуловым был изготовлен КЧСМ-периметр, с помощью которого можно оценивать методом слияния мельканий любую точку в поле зрения. Дозировать можно как силу вспышек и, следовательно, амплитуду мельканий, так и их частоту (рис14).



Рис.14. Прибор для определения КЧСМ (свето-тест)

Оценка результатов. Существование зрительной инерции в виде последовательного образа позволяет глазу воспринимать периодически затухающий источник света как непрерывно светящийся, если частота мельканий возрастает до определенного уровня. Наименьшая частота, необходимая для этого, называется критической частотой слияния мельканий.

КЧСМ не зависит от остроты зрения, рефракции, размера зрачка, но для центральной зоны сетчатки она выше, чем для периферии. В литературе представлены различные нормативы для этой функции. Так, большинство авторов установили, что для фoveальной области КЧСМ составляет 40-55 Гц, для парафовеальной она возрастает до 55-60 Гц, а на крайней периферии снижается до 35-40 Гц. С целью определения КЧСМ для так называемых проблесковых источников света с яркостью (L_0) не выше 10^3 кд/м²

По мнению А.И. Богословского, методика исследования КЧСМ заслуживает большего внимания клиницистов, чем это было до сих пор, и ее нужно использовать не только при электрофизиологических исследованиях. КЧСМ может нарушаться при поражении любого отдела зрительно-нервной системы глаза.

1. Гипофункция колбочкового аппарата, или «дневная слепота», характерна для колбочковой дистрофии или дисфункции. Симптомами колбочковой дисфункции являются некорригируемое снижение остроты зрения, снижение фоточувствительности или нарушение адаптации от темноты к свету, т. е. световой адаптации, неразличение оттенков цвета или нарушение цветоощущения в различных вариациях, улучшение зрения в сумерках и ночью. Характерными симптомами являются нистагм и светобоязнь, ослепление и изменения в колбочковой макулярной электроретинограмме (ЭРГ), более высокая, чем в норме, скорость восстановления световой чувствительности в темноте. Колбочковопалочковый перегиб на кривой темновой адаптации либо вообще отсутствует, либо возникает раньше, чем в норме.

2. Среди наследственных форм колбочковой дисфункции или дистрофии выделяют врожденные формы, к которым относят палочковый монохроматизм (ахроматопсия) – аутосомно-рецессивная форма, голубой колбочковый монохроматизм – форма, наследуемая как рецессивная сцепленная с полом, и формы с поздним проявлением и различными формами наследования, а также сцепленная с полом аутосомно-рецессивная колбочковая дистрофия красных колбочек и с лентовидным блеском. У большинства больных изменения в макулярной области обусловлены атрофическими или дегенеративными изменениями, некоторые из которых начинаются по типу дистрофии «бычий глаз» (*Bull's eye*). Характерным признаком является врожденный нистагм. Дифференциальную диагностику проводят с колбочково-палочковым пигментным ретинитом или его «инвертированной формой» при колбочковом поражении.

Офтальмоскопические изменения при колбочковой дегенерации определяются потерей нервных волокон, атрофией темпоральной части диска зрительного нерва, гранулярными изменениями в макуле с последующей ее кольцевидной атрофией.

Изменения свето- и цветоощущения наблюдаются и при приобретенных патологических процессах в макулярной области, обусловленных токсическими макулопатиями, вызванными длительным применением хлорохина (гидроксихлорохин, делагил), нейролептиками фенотиазинового ряда.

Световая чувствительность и адаптация могут зависеть от разных причин. Известно, что к 20-30 годам световая чувствительность нарастает, к старости снижается, т.к. чувствительность нервных клеток зрительных центров в этом возрасте ослабевает. Из-за недостатка кислорода при понижении барометрического давления также может снижаться световая чувствительность. Ход адаптации может меняться во время менструации, беременности, при голодании, изменении температуры воздуха, психических переживаниях и т.п.

Расстройства темновой адаптации могут проявляться в виде повышения порога раздражения, т.е. светочувствительность даже при длительном пребывании в темноте остается пониженной и не достигает нормальной величины, или в виде замедления адаптации, когда светочувствительность нарастает позднее, чем в норме, но постепенно доходит до нормальной или почти нормальной величины. Чаще встречается комбинация указанных видов расстройств. И тот и другой вид нарушения указывает на понижение световой чувствительности.

Расстройство темновой адаптации резко снижает способность ориентироваться в пространстве при пониженном освещении.

В настоящее время выделяют два типа гемералопии: прогрессирующую форму, обусловленную мутацией родопсина, и врожденную стационарную. К прогрессирующим формам относят пигментный ретинит, колбочково-палочковую дистрофию, синдромы, сопровождаемые пигментным ретинитом (*Usher's, Moon-Bardet-Biedl, Bassen Kornzweig, Leber's* и др.), *fundus punctata albescens*.

Стационарные формы гемералопии классифицируются следующим образом:

I. Стационарная ночная слепота с нормальным глазным дном (аутосомно-рецессивная, аутосомно-доминантная и сцепленная с полом рецессивная):

А – отсутствующая скотопическая ЭРГ (тип *Riggs*; тип I);

В – негативная ЭРГ (*Schubert-Bornschein*; тип II): 1 – полный;

2 – неполный (соответственно степени сохранности палочковой функции).

Сцепленная с полом форма стационарной ночной слепоты (тип II) сочетается с миопией тяжелой или средней степени.

II. Стационарная ночная слепота с патологическим глазным дном:

А – болезнь Огуши (*Oguchi*), феномен Мизуо (*Mizuo*);

Б – *fundus albipunctatus*;

B – flick retina of Kandory.

В основе этой классификации лежат изменения в ЭРГ, которая отражает функцию колбочкового и палочкового аппаратов сетчатки. Имеется два типа изменений в ЭРГ: 1-й – когда редуцируется фотопический ответ, не нарастающий в процессе темновой адаптации (тип I, тип Нугаре); 2-й – когда отсутствует в-волна темноадаптированной, общей ЭРГ (тип II, тип Шуберта-Борншейна). Патологические формы ЭРГ отражают различные виды нарушения кривой темновой адаптации, которая может быть с изменениями колбочковой функции и без них, отсутствием или снижением темновой адаптации, пролонгированным временем адаптации с медленным падением порога до нормального уровня, наличием палочковой адаптации при завышенном конечном пороге (1,0-1,5 лог.ед.).

Врожденная стационарная ночная слепота с патологическими изменениями на глазном дне, болезнь Огуши, характеризуется своеобразной серо-белой дисколорацией сетчатки в заднем полюсе и экваториальной зоне, макулярная область при этом темная в контрасте с окружающим фоном. Вариацией этой формы является известный феномен Мизуо (*Mizuo*), который выражается в том, что после длительной темновой адаптации необычная окраска глазного дна исчезает и дно выглядит нормальным. После пребывания на свету она медленно возвращается к своему оригинальному металлическому цвету. Темновая адаптация пролонгирована с медленным падением порога до нормального уровня в течение 2-24 часов.

Большую группу составляют и разнообразные виды ненаследственной гемералопии, обусловленные общими нарушениями обмена веществ (при дефиците витамина А в связи с неполноценным питанием, при хроническом алкоголизме, заболеваниях желудочно-кишечного тракта, гипоксемии и начальном сидерозе).

Прогрессирующие формы гемералопии (ночная слепота) имеют особенности изменения темновой адаптации в зависимости от включения в патологический процесс колбочковой и/или палочковой системы: темновая

адаптация может отсутствовать как для колбочковой, так и для палочковой систем, при снижении темновой адаптации возможен нормальный конец ее порога (*fundus albipunctatus*) или замедление темновой адаптации (*flick retina Kandor*). В основе этих процессов лежит ненормальная кинетика зрительных пигментов, один из вариантов которого – значительное запаздывание их ресинтеза. Однако получены данные о том, что кинетика и регенерация родопсина, его фоточувствительность при стационарной ночной слепоте нормальны, а нарушение темновой адаптации связано с нарушением нейрональной передачи информации на уровне биполярных клеток.

Нарушение скотопического зрения нередко проявляется сужением периферических границ поля зрения и отсутствием спектрального сдвига яркости (по Пуркинье) в процессе темновой адаптации.

Одним из ранних проявлений многих приобретенных заболеваний глазного дна может быть нарушение зрения в условиях снижения освещенности. При этом светоощущение нередко нарушается по смешанному колбочково-палочковому типу. Так, при отслойке сетчатки любого генеза, при которой прерывается связь между фоторецепторами и пигментным эпителием, нарушаются процессы фотохимического превращения зрительных пигментов, фототрансдукция и электрогенез. Хотя светоощущение при этом длительное время сохраняется, дифференциальная чувствительность на отслоившихся участках утрачивается, а способность к адаптации ослабевает как в области отслоившейся сетчатки, так и на неотслоившихся участках.

Согласно гипотезе Ферстера-Вильбрандта, при любой патологии зрительно-нервного пути, сопровождающейся нарушениями в поле зрения, вероятность снижения темновой адаптации в функционирующей его части тем выше, чем дистальнее локализованы основные нарушения. Так, адаптация нарушается при миопической болезни, глаукоме и даже при трактузовых гемианопсиях, а при амблиопии центрального характера, корковой гемианопсии адаптационных нарушений обычно не обнаруживают.

Нарушения светоощущения могут быть не связаны с патологией зрительно-нервного пути. В частности, порог светочувствительности возрастает при ограничении поступления света внутрь глаза в случаях резкого миоза или помутнения оптических сред. Особую форму нарушения ретиальной адаптации представляет эритропсия. При афакии, когда сетчатка подвержена воздействию яркого света без фильтрации хрусталиком коротковолновых лучей, пигмент «синих» и «зеленых» колбочек выцветает, чувствительность колбочек к красному цвету увеличивается и красночувствительные колбочки отвечают суперреакцией. Эритропсия может сохраняться в течение нескольких часов после засвета высокой интенсивности.

Наиболее частыми расстройствами сумеречного зрения считаются **симптоматическая и функциональная гемералопия** (от греч. *hemera* – днем, *alooos* – слепой, *ops* – глаз). В народе это состояние получило название «куриная слепота» по образу и подобию зрения дневных птиц, не видящих в темноте. Причиной симптоматической гемералопии являются поражения фоторецепторов сетчатки, нередко сопровождающие различные органические заболевания сосудистой оболочки, сетчатки и зрительного нерва (глаукома, невриты, атрофия, застойный диск зрительного нерва и пигментные дегенерации сетчатки, ретиниты, хориоретиниты, отслойка сетчатки), при высоких степенях близорукости. В этих случаях гемералопия вызвана необратимыми анатомическими дефектами в зрительно-нервном аппарате – разрушением окончаний палочек и колбочек. Понижение темновой адаптации – один из ранних признаков глаукомы. Это наблюдается и при заболеваниях печени, чаще при циррозе. В печени содержится много витамина А, ее заболевание вызывает авитаминоз А, и в результате снижается темновая адаптация. Кроме того, при циррозе печени в пигментном эпителии откладывается холестерин, что препятствует нормальной выработке зрительных пигментов.

Гемералопия как функциональное нарушение сетчатки может возникнуть при нарушениях питания, общем гиповитаминозе с преимущественным дефицитом витамина А. Витамин А, как известно, необходим для выработки зрительного пурпура. Довольно часто гемералопия сочетается с появлением на конъюнктиве глазного яблока ксеротических бляшек рядом с роговицей на уровне ее горизонтального меридиана в виде суховатых участков эпителия (рис.15).



Рис. 15. Бляшка Искерского Бито

Такая гемералопия обратима и проходит довольно быстро, если в пищу вводить содержащие витамин А продукты, свежие овощи, фрукты, печень и т.д.

Иногда гемералопия имеет характер врожденного семейно-наследственного заболевания неясной этиологии, при котором изменения на глазном дне отсутствуют.

Лечение куриной слепоты определяется характером причины, вызвавшей это состояние. При врожденных генетических дефектах специфическое лечение отсутствует, проводится терапия, направленная на поддержание сетчатки.

Для улучшения функционального состояния сетчатки назначаются витаминно-минеральные комплексы. Положительный результат позволяют также получить современные офтальмологические физиопроцедуры, которые

хорошо влияют на состояние глазного дна. При дистрофических заболеваниях сетчатой оболочки офтальмолог может также назначать сосудорасширяющие препараты, благодаря которым может улучшиться кровоток.

Куриная слепота на фоне миопии или астигматизма может быть устранена после коррекции оптических нарушений с помощью очков или линз.

Хирургическое лечение при куриной слепоте может быть показано в тех случаях, когда она является симптомом глазных болезней (миопия, глаукома, тяжелый астигматизм). Проведенная операция позволяет уменьшить нагрузку на сетчатку и создать благоприятные условия для восстановления функционального состояния зрительных палочек.

Словарь терминов

Адекватность – вполне, точно соответствующее, соразмерное, согласующееся, верное, тождественное.

Гемианопсия – двухсторонняя слепота в половине поля зрения.

Гетерохроматический – разноцветный, пестрый.

Градиент – вектор, своим направлением указывающий направление наискорейшего роста некоторой скалярной величины (значение которой меняется от одной точки пространства к другой, образуя скалярное поле).

Дифференциатор – аналоговый функциональный блок в аналоговой вычислительной машине структурного типа.

Дрейф – означает медленное постоянное перемещение чего-либо.

Инвариантный – остающийся неизменным при определенных преобразованиях, при переходе к новым условиям.

Интегратор – техническое устройство, выходящий сигнал (выходная величина, выходной параметр) которого пропорционален интегралу, обычно по времени, от входного сигнала.

Интерпретация – общенаучный метод с фиксированными правилами перевода формальных символов и понятий на язык содержательного знания

Квант – неделимая часть какой-либо величины в физике.

Кинетика – раздел классической механики, объединяющий статику и динамику.

Ксеротический – склеротически-фиброзный и атрофический процесс со слабо выраженным воспалительным компонентом.

Логарифм – число, применение которого позволяет упростить многие сложные операции арифметики.

Миоз – сужение зрачка.

Модуляция – процесс изменения одного или нескольких параметров модулируемого несущего сигнала при помощи модулирующего сигнала.

Никталопия – расстройство, при котором затрудняется или пропадает способность видеть в сумерках (недостаточном освещении).

Опсины – это группа светочувствительных связанных с мембраной рецепторов, связанных с G-белками, массой около 35-55 кДа семейства ретинолидных белков, которые обнаружены в фоточувствительных клетках сетчатки.

Периметрия – базовый диагностический метод в офтальмологии, направленный на исследование световой чувствительности, одной из основных характеристик функционального состояния глаза, а также зрительных центров головного мозга и проводящих путей (зрительного анализатора).

Ресинтез – процесс обратного восстановления исходного сложного химического соединения из «осколков», образовавшихся при его распаде или метаболизме.

Сенсорный – чувствующий.

Феномен – наблюдаемое явление или событие. Также феномен – необычное явление, редкий факт; то, что трудно постичь

Фотолиз – химическая реакция при которой химические соединения разлагаются под действием фотонов

Фототрансдукция – преобразование и усиление (почти в миллион раз) светового сигнала в зрительной клетке, в результате чего возникает биоэлектрический сигнал.

Экстраполяция – логико-методологическая процедура распространения (переноса) выводов, сделанных относительно какой-либо части объектов или явлений на всю совокупность (множество) данных объектов или явлений, а также на их другую какую-либо часть;

распространение выводов, сделанных на основе настоящих и (или) прошлых состояний явления или процесса на их будущее (предполагаемое) состояние

Электрогенез – возникновение потенциала действия в объектах живой природы, обусловленное комплексом физико-химических процессов, обеспечивающих поддержание неравномерного распределения ионов внутри живой клетки и на поверхности оболочки или быстрое перемещение ионов через мембрану.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Выберите один или несколько правильных ответов.

1. НАИБОЛЕЕ РАННЕЙ И ОСНОВНОЙ ФУНКЦИЕЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ

- А – острота зрения;
- Б – цветовосприятие;
- В – поле зрения;
- Г – светоощущение;
- Д – бинокулярное зрение.

2. ФОТОРЕЦЕПТОРЫ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА ВОЗБУЖДАЮТСЯ ПРИ ПОПАДАНИИ НА НИХ

- А – одного кванта света;
- Б – двух квантов света;
- В – трех квантов света;
- Г – четырех квантов света;
- Д – пяти квантов света.

3. ОЩУЩЕНИЕ СВЕТА ВОЗНИКАЕТ ТОЛЬКО ПРИ НАЛИЧИИ

- А – 3-4 квантов света;
- Б – 5-8 квантов света;
- В – 10-12 квантов света;
- Г – 13-14 квантов света;
- Д – 16-20 квантов света.

4. ДЛЯ ТОГО ЧТОБЫ СЕТЧАТКА БЫЛА СПОСОБНА ДАЖЕ К САМОМУ МАЛОМУ СВЕТОВОСПРИЯТИЮ НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ

- А – длина волны световых лучей, исходящих от объекта, должна обязательно находиться в пределах видимого излучения;
- Б – продолжительность раздражения, должна быть доступна для восприятия сетчаткой;
- В – было снижено восприятие колбочек;
- Г – интенсивность раздражения, должна быть доступна для восприятия сетчаткой;
- Д – величина объекта должна быть доступна для их восприятия сетчаткой.

5. МАКСИМАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПАЛОЧЕК СООТВЕТСТВУЕТ КОЛЬЦЕВОЙ ЗОНЕ

- А – примерно в 5° от макулы;
- Б – примерно в 7° от макулы;
- В – примерно в 9° от макулы;
- Г – примерно в 10° от макулы;

Д – крайней периферии сетчатки.

6. ПРОВЕРКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СВЕТОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ СЕТЧАТКИ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННОЙ ЯРКОСТИ ФОНОВОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОЛУЧИЛА РАСПРОСТРАНЕНИЕ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ КАК

- А – метод визометрии;
- Б – контрольный метод;
- В – метод аномалоскопии;
- Г – метод статической периметрии;
- Д – метод динамической периметрии.

7. ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОБЫ КРАВКОВА-ПУРКИНЬЕ ПЕРВЫМИ УДАЕТСЯ УВИДЕТЬ

- А – красный, а затем зеленый квадраты;
- Б – голубой, а затем зеленый квадраты;
- В – желтый, а затем голубой квадраты;
- Г – желтый, а затем красный квадраты;
- Д – зеленый, а затем желтый квадраты.

8. СВЕТОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В ТЕМНОТЕ ВОЗРАСТАЕТ

- А – в 100 раз;
- Б – в 50 000-100 000 раз;
- В – в 5 000-10 000 раз.

Ответы на тестовые вопросы.

Выберите один или несколько правильных ответов.

1. **Ответ Г.** Светоощущение является наиболее ранней и основной функцией органа зрения.
2. **Ответ А.** Фоторецепторы сетчатки глаза человека возбуждаются уже при наличии 1 кванта света.
3. **Ответ Б.** Ощущение света возникает только при наличии 5-8 квантов света.
4. **Ответ А, Б, Г, Д.** Для того чтобы сетчатка была способна даже к самому малому световосприятию, длина волны световых лучей, исходящих от объекта, должна обязательно находиться в пределах видимого излучения и, кроме того, продолжительность и интенсивность раздражения, а также величина объекта должны быть доступны для их восприятия сетчаткой.
5. **Ответ Б.** Максимальная плотность палочек соответствует кольцевой зоне, примерно в 7° от макулы.
6. **Ответ Г.** Проверка дифференциальной световой чувствительности различных отделов сетчатки в условиях умеренной яркости фонового освещения получила в последние годы широкое распространение в клинической практике как метод статической периметрии.
7. **Ответ В.** В норме вначале квадраты неразличимы. Через 30-40 секунд становится различим контур желтого квадрата, а затем голубого.
8. **Ответ Б.** Во время прищуривания вследствие уменьшения кругов светорассеяния близорукие показывают более высокую остроту зрения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Глазные болезни. Учебник. / Под редакцией В.Г. Копасевой. – М.: Офтальмология, 2018. – 495 с.

Коровенков Р.И. Никталопия и гемералопия. Первые исследования. // Новое в офтальмологии. – 2022. № 4. С. 40-52.

Офтальмология: учебник. /под ред. Е.И. Сидоренко, - 4-е изд., – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 656 с.

Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. – М.: Медицина, 2005. – 416 с.

Дополнительная:

Красильников Н.Н. Темновая адаптация в зрительной системе. // Сенсорные системы. 1994. – Т. 8. – № 2. – С. 50-55.

Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. – М.: Мир, 1990. – 239 с.

Шиффман Х. Ощущение и восприятие. СПб, 2003. С. 153-155.

Hart W.M. Visual adaptation H Adler's Physiology of the Eye I Clinical application. – Saint Louis: Mosby Co., 1987. – P. 389-414.

ЛИТЕРАТУРА

- Глазные болезни. Учебник. / Под редакцией В.Г. Копасевой. – М.: Офтальмология, 2018. – 495 с.
- Коровенков Р.И. Никталопия и гемералопия. Первые исследования. // Новое в офтальмологии. – 2022. № 4. С. 40-52.
- Красильников Н.Н. Темновая адаптация в зрительной системе. // Сенсорные системы. 1994. – Т. 8. – № 2. – С. 50-55.
- Офтальмология: учебник. /под ред. Е.И. Сидоренко, - 4-е изд., – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 656 с.
- Федоров С.Н., Ярцева Н.С., Исманкулов А.О. Глазные болезни, учебник для студентов медицинских ВУЗов. – Изд. 2. – М., 2005. – 440 стр.
- Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. – М.: Медицина, 2005. – 416 с.
- Alpern V. The kinetics of cone visual pigments in man // Vis. Res. – 1971. – Vol. 11, – P. 539.
- Broca A., Sulzer D. La sensation lumineuse en fonction du temps // J. Physiol. Path. Gen. – 1902, – Vol.4. – P. 632.
- Regan D., Tyler C. W. Temporal summation and its limit for wavelength changes: an analog of Bloch's law for color vision // J. Opht. Soc. Amer. – 1971. – Vol. 61. – P. 1414.