

* Общая физиология зрения

Дисциплина «Естественно-научные
основы мультимедиа»

- Строение и оптическая система глаза.
- Устройство сетчатки. Фотопическое и скотопическое зрение. Сумеречное зрение
- Поле зрения. Погружение в виртуальный мир
- Яркостная адаптация и контрастная чувствительность
- Пространственная и яркостная разрешающие способности

* Содержание

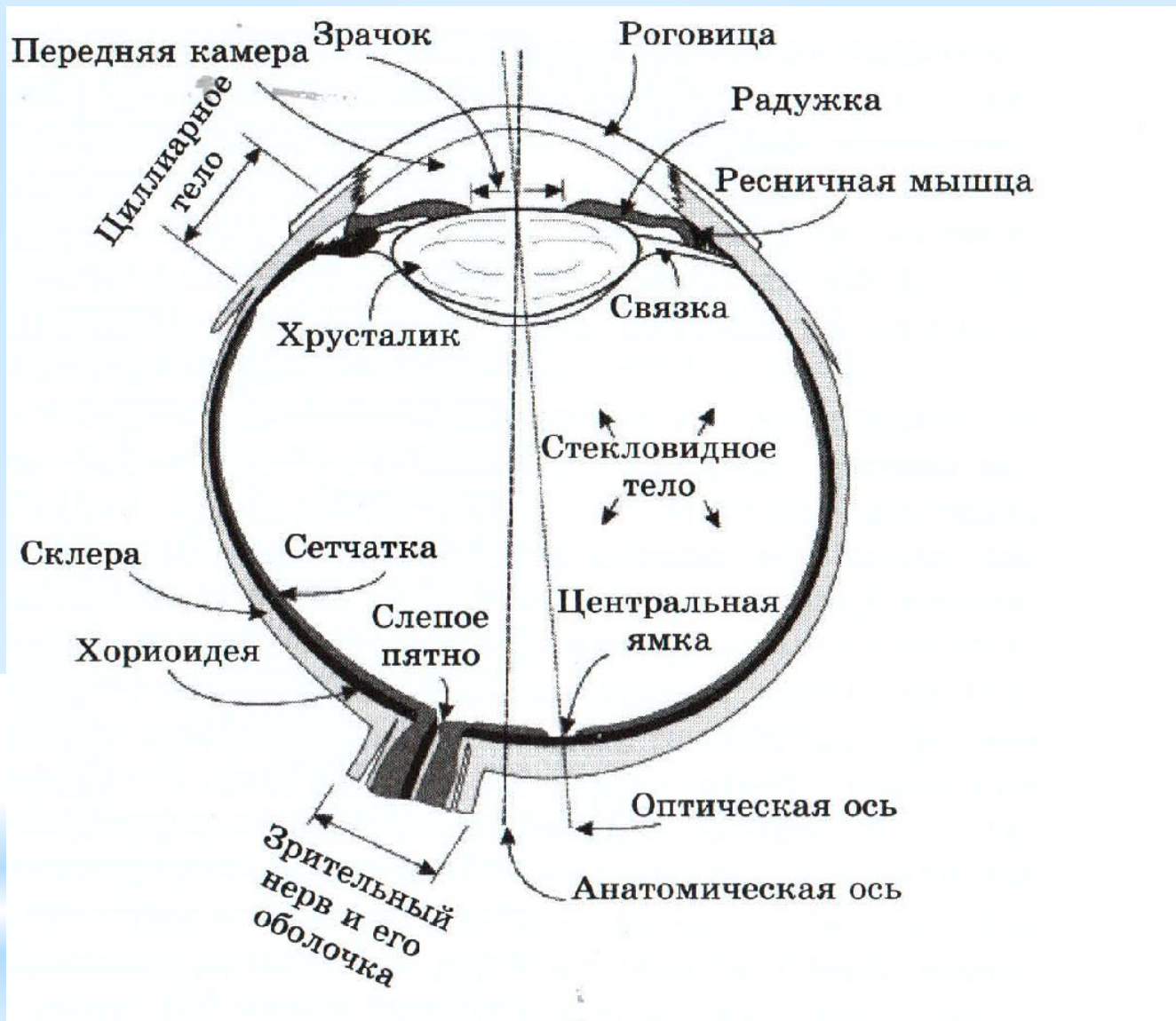
*1. А.В. Крапивенко

*Учебное пособие «Технологии мультимедиа и восприятие ощущений»

*Москва

*Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»
2012

***Литература**



* **Строение и оптическая система глаза**

* Считается, что через зрение в мозг поступает от 80% до 90% всей информации об окружающей среде

* **Строение и оптическая система глаза**

* **Зрительный анализатор -**

* Совокупность структур, воспринимающих световое излучение и формирующих зрительные изображения:

* Фоторецепторы (и связанные с ними нейроны глаза), проводящие пути (зрительный нерв, зрительный тракт), нервные клетки (в сетчатке глаза, среднем и промежуточном мозге, в затылочной доле коры больших полушарий)

* **Строение и оптическая система глаза**

- * Электромагнитные волны, воспринимаемые человеческим глазом, заключены в пределах
- * от 380-390 нм до 670-780 нм
- * Возбуждение фоторецепторов наступает при воздействии 1-2 квантов света

*** Строение и оптическая система глаза**

Строение глаза

- * Глазное Яблоко - 2-2,5 см в диаметре.
- * Роговица - жесткая оболочка, закрывающая переднюю поверхность глаза, обладает хорошими оптическими свойствами
- * Склера - наружная непрозрачная оболочка
- * Сосудистая оболочка - хориоидея
- * Сетчатка - нейроглиальная оболочка
- * Стекловидное тело -
 - * опорная ткань глазного яблока

* **Строение и оптическая система глаза**

- * Радужная оболочка (радужка) - кольцевая мембрана впереди хрусталика
- * Зрачок - отверстие в радужной оболочке, играет роль диафрагмы
- * Диаметр зрачка -
- * апертура глаза - 7,5 - 1,8 мм
- * Оптимальные условия для высокой остроты зрения - апертура глаза - 3 мм

* Строение и оптическая система глаза

***Хрусталик** - двояковыпуклая линза

(60-70% воды, 6% жиров и больше белков, чем в других тканях глаза)

Катаракта - помутнение хрусталика

Белок хрусталика существенно поглощает инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, поэтому при высокой интенсивности излучения, попадающего в глаз может произойти потеря зрения

*** Строение и оптическая система глаза**

* **Оптическая система глаза:**

* **роговица, водянистая влага передней камеры, хрусталика и стекловидного тела**

* **Изображение с помощью роговицы и хрусталика фокусируется в перевернутом виде на светочувствительную поверхность задней стенки глазного яблока**

* **Строение и оптическая система глаза**

- * Левый глаз передает информацию в зрительный центр мозга правого полушария
- * и наоборот
- * Правый глаз передает информацию в зрительный центр мозга левого полушария
- * Результат - изображение реальное, а не перевернутое

* **Строение и оптическая система глаза**

- * **Рефракция** - преломляющая сила глаза
- * измеряется в диоптриях
- * 1 диоптрия - преломляющая сила линзы с фокусным расстоянием в 1м
- * **Роговица** - 43 диоптрии
- * **Хрусталик** - 19-33 диоптрии (в зависимости от расстояния до объекта)
- * **Суммарная преломляющая сила оптической системы глаза** - 62-76 диоптрий

* **Строение и оптическая система глаза**

- * **Цилиарные мышцы** - воздействуют на хрусталик через подвешивающие связки
- * При взгляде на удаленные объекты хрусталик расслабляется, при взгляде на близкие объекты увеличивается выпуклость хрусталика
- * Фокусирование предметов, находящихся на разном расстоянии, за счет изменения кривизны хрусталика называется - **аккомодацией**

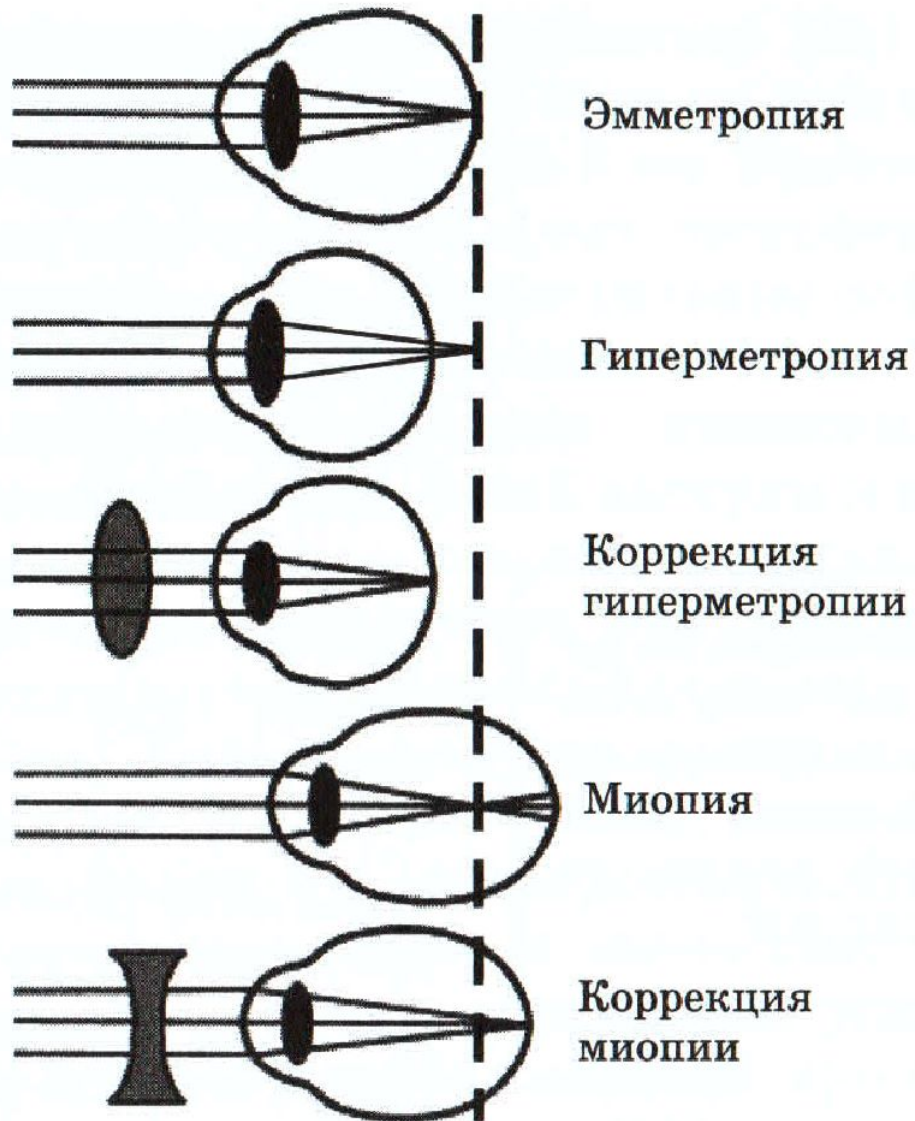
Строение и оптическая система глаза

* Самая удаленная точка ясного видения для глаза лежит в бесконечности

* Ближайшая точка ясного видения - на расстоянии 14 см от глаза

* Условие ясного видения - фокусировка лучей на сетчатке - ЭММЕТРОПИЯ

* **Строение и оптическая система глаза**



* **Строение и оптическая система глаза**

- * **Миомия (близорукость)** - вид нарушения рефракции, при которой световые лучи, отраженные от предмета после прохождения через светопреломляющий аппарат глаза **фокусируются перед сетчаткой**
- * **Гиперметропия (дальнозоркость)** - лучи от далеко расположенных предметов **фокусируются за сетчаткой**
- * **Корректор диоптрий** - составная часть фото и видеоаппаратуры, встраиваемая в окуляр, для устранения отклонений от эмметропии

* **Строение и оптическая система глаза**

- * **Сетчатка (рети́на)** - светочувствительная поверхность задней стенки глазного яблока, имеет три основных слоя:
- * **Слой из палочек и колбочек** - преобразование световой энергии в нервные сигналы
- * **Слой из горизонтальных и биполярных клеток** - обеспечение контакта с палочками и колбочками и передача сигнала в виде различных частот
- * **Слой, состоящий из ганглий** - **оптический нерв**, передающий сигналы в область мозга, ответственную за обработку изображений

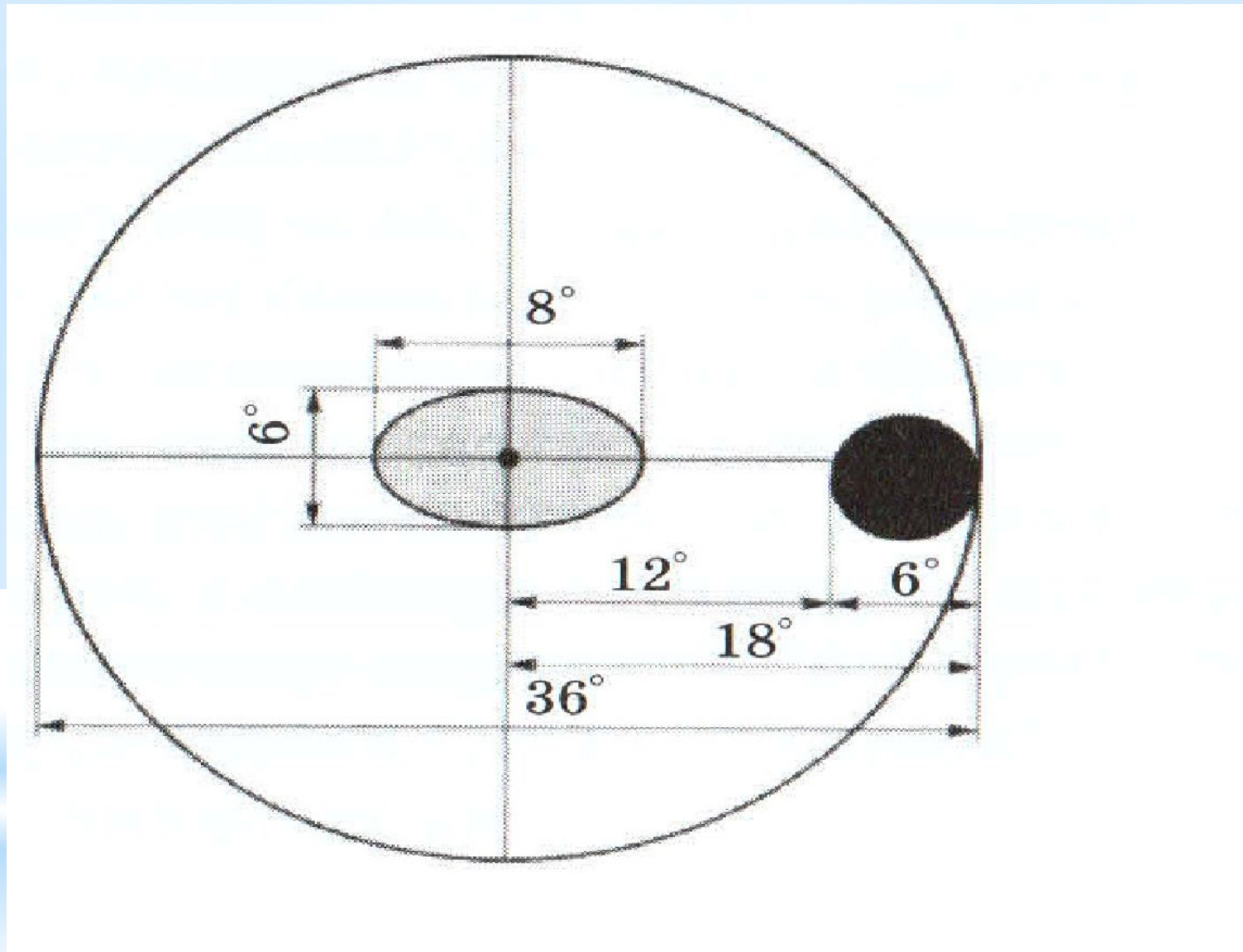
Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

- * Сетчатка имеет -
 - * **110-125 млн палочек, 6-7 млн колбочек**
 - * На 1 колбочку приходится 17 палочек
 - * Колбочки обеспечивают -
 - * **фотопическое зрение (дневное)** - монохромное, ахроматическое, цветное, четкое различие мелких деталей
 - * 1 колбочка - одно нервное окончание
 - * Палочки- **скотопическое зрение (ночное)** - ахроматическое, бесцветное, характерна высокая световая чувствительность
 - * 10-400 палочек - одно нервное окончание
-
- * **Переходное зрение -**
 - * **сумеречное (мезопическое)**

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

- * Область наибольшей концентрации колбочек - желтое пятно
- * В центре желтого пятна - центральная ямка (1-3 угловых градуса) - область наибольшей остроты зрения - 3-4 мм к виску и выше глазного нерва
- * Слепое пятно (не имеет фоторецепторов) - место выхода оптического нерва - на расстоянии 12 градусов от центральной ямки
- * (открыто французским физиком Э. Мариоттом
- * в 1668 году)
- * В слепое пятно попадает не более 15% всей визуальной информации

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение



* Устройство сетчатки. Глазное дно

- * Система горизонтальных клеток - между слоем с колбочками и палочками и слоем биполярных клеток - осуществляет перекодировку сигналов, распределение освещенности пропорционально соотношению разницы между локальной и средней освещенностью к средней освещенности
- * Положительное значение - при включении света
- * Отрицательное значение - при выключении света
- * Процесс - адаптация зрительной системы к уровню освещенности

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

- * Информация об интенсивности света ,
попадающая на светочувствительную клетку -
рецептор, передается в мозг посредством
изменения частоты следования нервных
импульсов, которые поступают в наружное
коленчатое тело и далее в зрительные центры
коры затылочной части мозга.
- * Низкие частоты, передающие изображение
контуров, передаются в первую очередь
- * Во вторую очередь - высокие частоты,
передающие изображение мелких деталей

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

* Один из эффектов маскировки объектов - нанесение большого количества разноцветных маскировочных пятен - высокочастотных шумов, затрудняющих распознавание контуров

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

* Разновидности:

* - физиологическое поле зрения

* - анатомическое поле зрения

* - оперативное поле зрения -
часть поля зрения, которая
воспринимается и опознается
человеком одновременно

* Поле зрения.

Погружение в виртуальный мир.

* Различают

* Бинокулярное зрение -

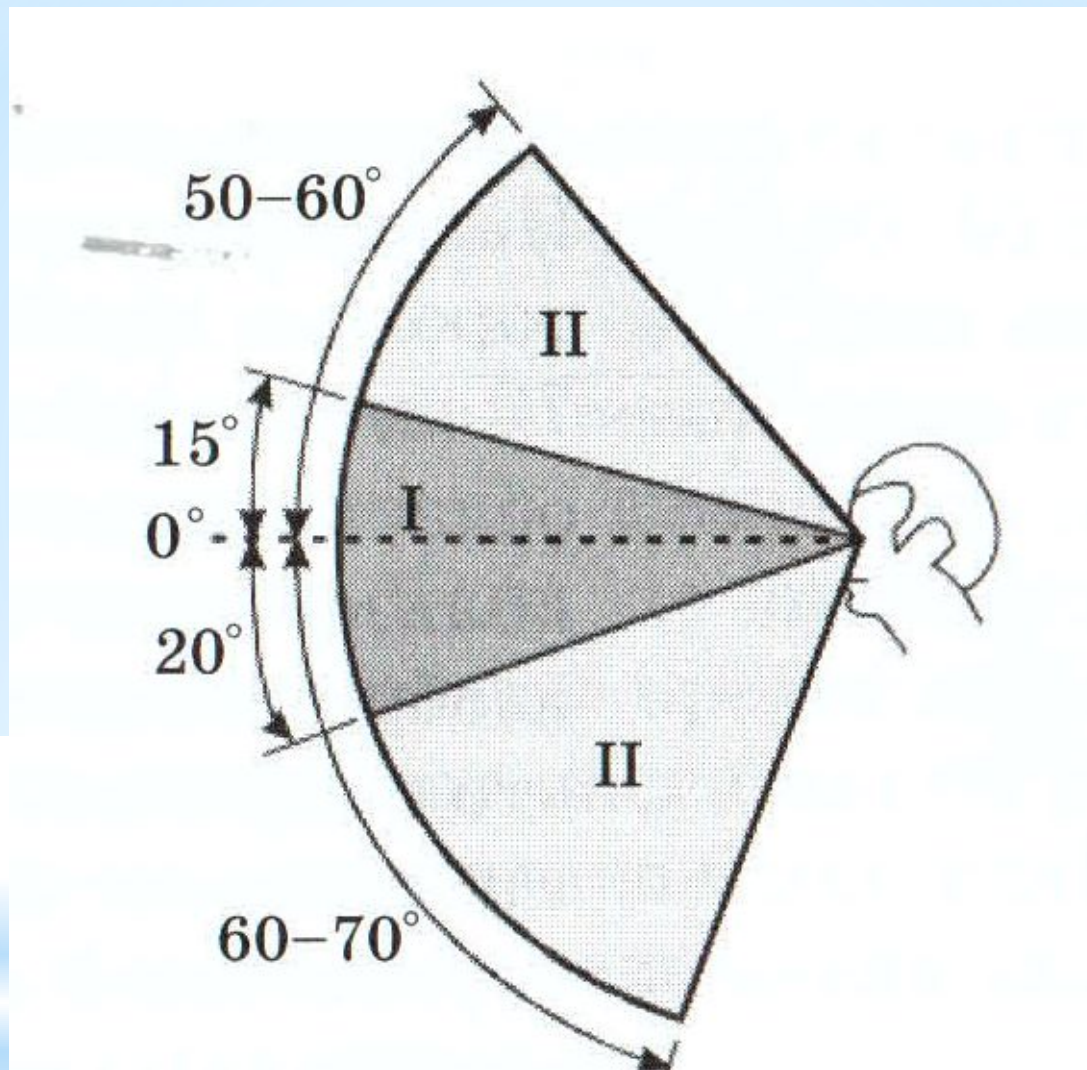
* 30-40 градусов по горизонтали,

* 10-15 градусов вверх,

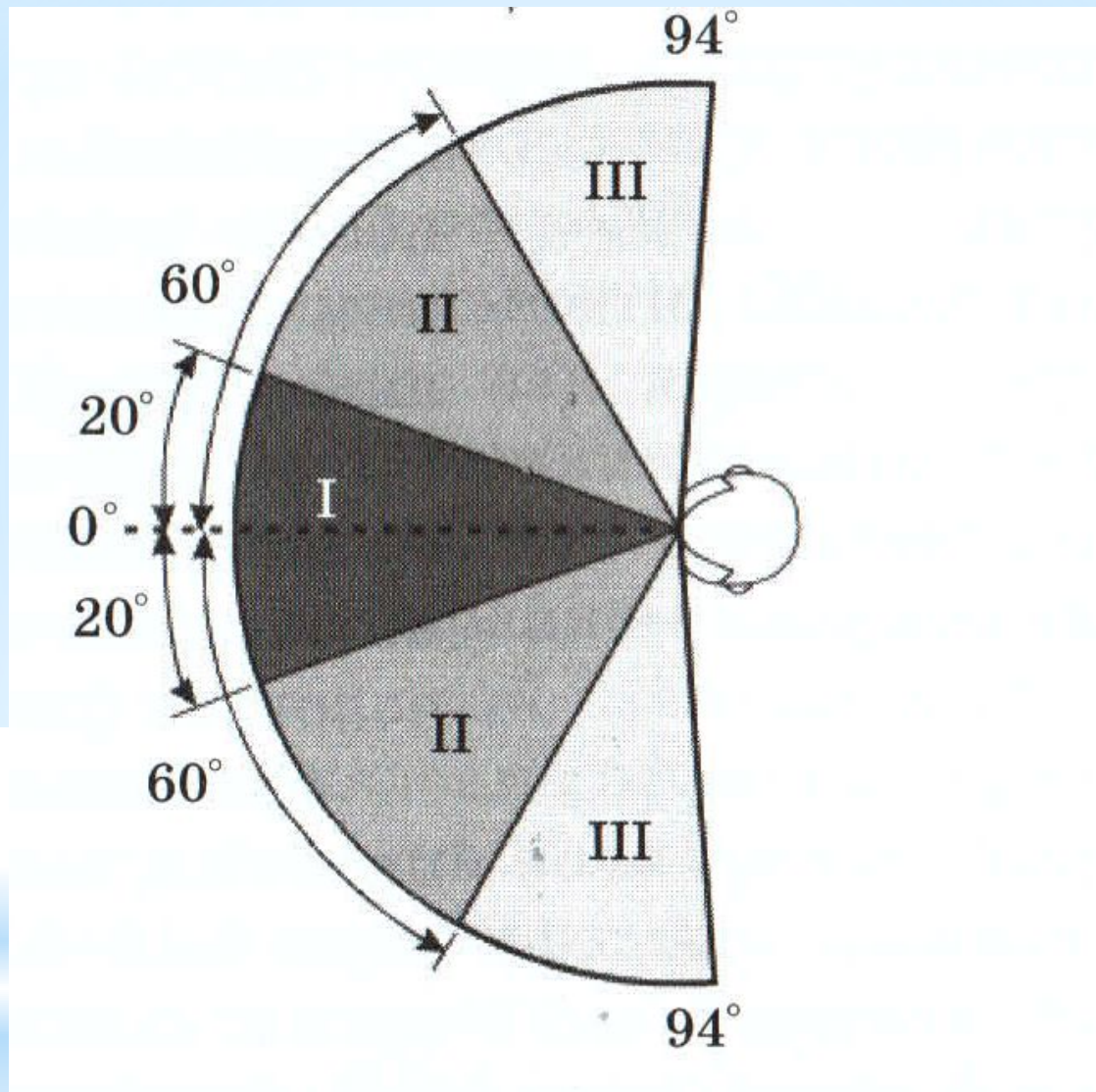
* 20 градусов вниз

* Монокулярное зрение

**Поле зрения.
Погружение в виртуальный мир.**



* Поле зрения человека



* Поле зрения человека

- * I - зона четкого бинокулярного зрения
- * II - зона периферического бинокулярного зрения
- * III - зона периферического монокулярного зрения (материальная)
- * I и II - объединяются в медиальную часть поля зрения, доступна обоим полушариям мозга

*** Поле зрения человека**

* Монокулярное поле зрения -

По горизонтали:

* 90-110 градусов к виску,

* 50-70 градусов - к носу,

* всего 140-170 градусов;

По вертикали:

* 50-60 градусов - вверх,

* 60-75 градусов - вниз,

* Всего 110-135 градусов

* **Поле зрения человека**

* Поле, охватываемое двумя глазами -

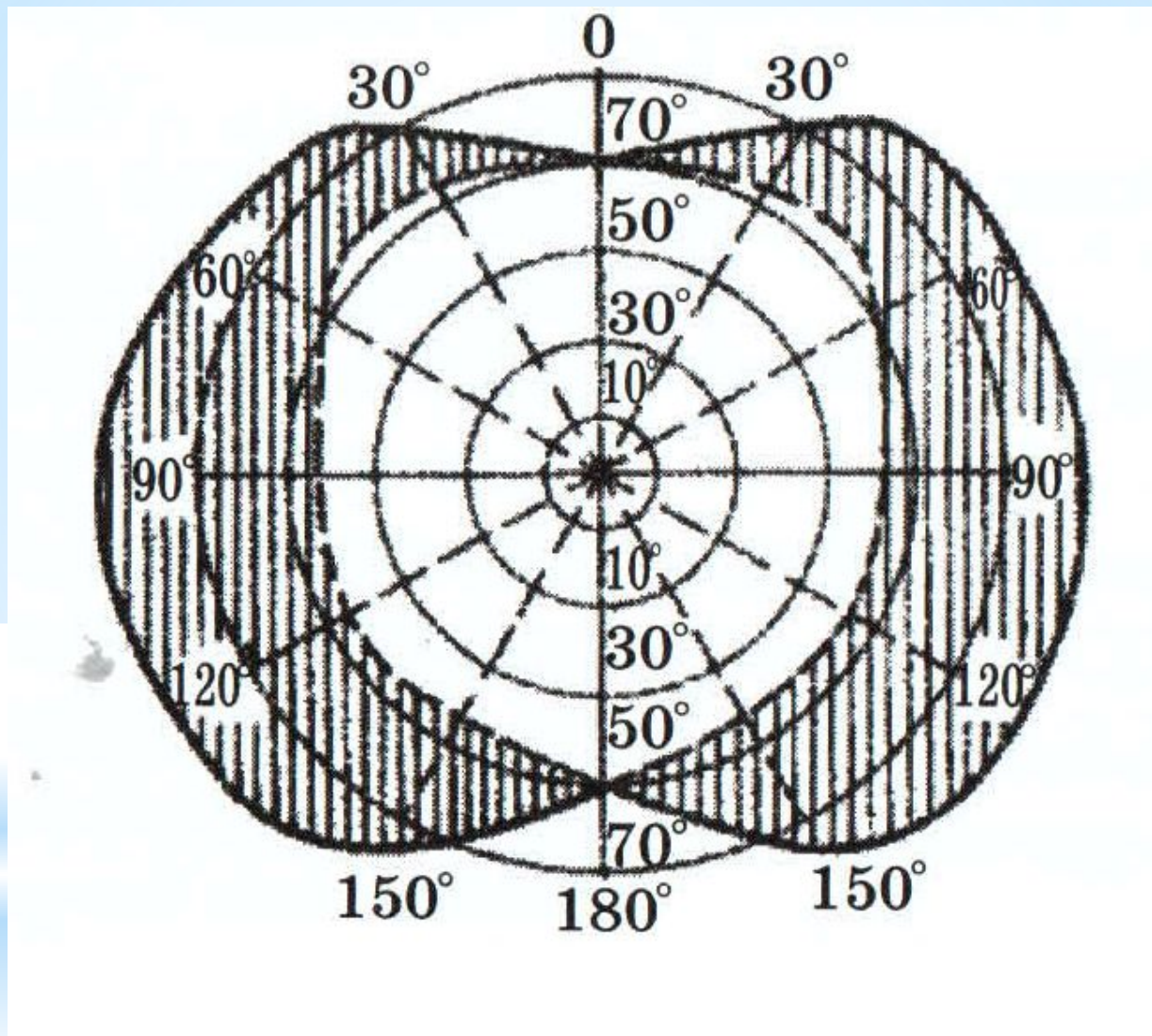
* по горизонтали более 180 градусов;

* По вертикали около 120 градусов

* Отклонение от зрительных осей при вращении глаз

* 45-50 градусов

*** Поле зрения человека**



* Поле зрения обоих глаз человека

- * Факторы,
- * влияющие на поле зрения человека:
 - * - миопия (аметропия - близорукость);
 - * - анатомическое строение лица;
 - * - размер зрачка;
 - * - яркость, контраст, размер и цвет;
 - * - зрительное утомление
 - * - возраст (максимальное зрение - 20-24 года)

* **Поле зрения человека**

* Внутренние отрицательные факторы

* Скотомы -

участки с пониженной или отсутствующей
световой чувствительностью

* Поле зрения человека

* Большая зона восприятия
окружающей действительности -

* это плюс?

На мониторе (21 дюйм, на
расстоянии 70 см, рабочая область
20-30 градусов) -

нет эффекта иллюзии погружения

* Поле зрения человека
Погружение в виртуальный мир

Способы создания эффекта погружения - концентрация внимания на экранном изображении:

- * - увеличение воспринимаемого глазами изображения до размера более 60 градусов в горизонтальной плоскости, например соотношение сторон монитора сделать 16/9 вместо 4/3
- * - шлемы виртуальной реальности (отсечение посторонних изображений)
- * **Отрицательная сторона** - эффект туннельного зрения (трубчатое поле зрения - например, водитель на большой скорости)

*** Поле зрения.
Погружение в виртуальный мир**

Возникновение трубчатого поля зрения связано:

- * - с концентрацией зрения на некоторой точке
- * - с низкой пропускной способностью зрительного тракта
- * - с заболеваниями:
глаукома
пигментация сетчатки

*** Трубчатое поле зрения**

* **Минимальный предел видения палочек** - эквивалентен освещенности в пасмурную безлунную ночь (после достаточной темновой адаптации);

* **Минимальный предел видения колбочек**

* - соответствует освещенности ночью при 50%-й фазе Луны.

* **Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

- * **Постоянное и равномерное освещение** - динамическое равновесие между скоростью распада и восстановлением зрительных пигментов;
- * **Уменьшение потока освещенности** - увеличение запаса зрительных пигментов (чувствительность фоторецепторов увеличивается - **темновая адаптация**)

* **Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

* Темновая адаптация после яркого света

* 5-7 минут - 30 минут (до 80%):

Колбочки - 5-7 минут;

Палочки - 30-45 минут (иногда и более)

Чувствительность сетчатки увеличивается

в 10 раз - за 1 минуту;

в 6000 раз - за 20 минут;

в 25000 раз - за 40 минут

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

* **Нервная адаптация** - при неравномерном освещении ось зрения перемещается скачками с интервалом в 10-е доли секунды - адаптация к среднему уровню яркости;

* **Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

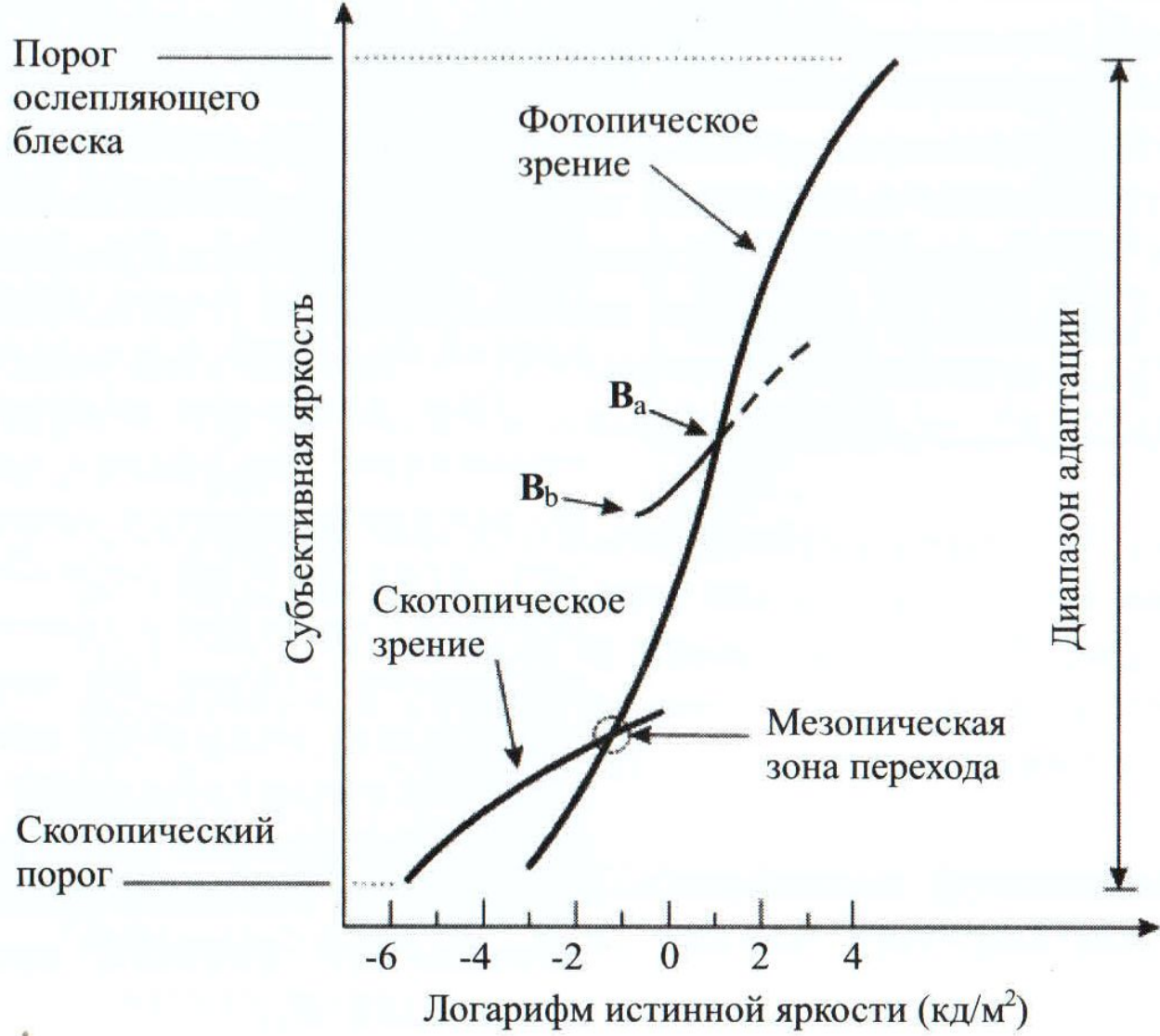
- * Преобладание палочек на сетчатке - яркостная информация воспринимается быстрее, чем цветовая
- * Более равномерное распределение палочек на сетчатке - хорошо развитое боковое зрение ночью
- * Следствие - фотопическое (цветовое) поле зрения меньше скотопического (яркостного)

* Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность

Диапазон яркости, в котором человеческий глаз может адекватно функционировать

Время суток	Ночь	Сумерки	день
Зрение	Скотопическое (палочковое)	Мезопическое (палочково-колбочковое)	Фотопическое (колбочковое)
Логарифмическая шкала яркостей по Ламберту, кд/кв. м	-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6		
Пример яркостного объекта			Значение по шкале яркостей
Палочковый порог темновой адаптации			-6
Снег при пасмурной погоде			-5
Снег при свете звезд			-4
Колбочковый порог темновой адаптации			-3
Снег при полной Луне			-2
Снег в темных сумерках			-1
Белая бумага в 0,3 м от колеблющегося пламени свечи			0
Белая бумага от лампы мощностью 100 вт			+1
Белая бумага при нормальном солнечном освещении			+2
Снег или облака под прямыми солнечными лучами			+3

*** Яркостная адаптация и контрастная чувствительность**



Диапазон субъективно воспринимаемой яркости и конкретный уровень адаптации

В соответствии с графиком

* **Переход от скотопического к фотопическому зрению**

* **от 0,003 до 0,3 кд/кв.м**

* **т.е. от -2,5 до -0,5**

* **по логарифмической шкале**

* **Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

- * **Уровень яркостной адаптации** - текущий уровень чувствительности зрительной системы (например V_a);
- * $V_v - V_a$ - диапазон субъективной яркости, которую способен воспринимать глаз при адаптации к указанному уровню;

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

- * Уровни яркости ниже V_6 -
- * воспринимаются как «черные»
- * (т.е. практически неразличимы)
- * **абсолютный порог световой чувствительности** - минимальное (пороговое) значение яркости светового пятна, обнаруживаемое глазом на черном фоне при темновой адаптации

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

- * Величина сигнала S_{ki} на выходе биполярной клетки, передающей возбуждение

$$S_{ki} = \frac{C_k(I_i - I)}{I}$$

- * C_k - постоянный коэффициент, определяется спектральной чувствительностью и спектральным составом
- * I - средняя освещенность на сетчатке;
- * I_i - локальная освещенность i -ного рецептора на сетчатке

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

* Следствие -

* Основной закон колориметрии:

* Восприятие цветового тона и насыщенности не зависит от яркости

* Основной закон колориметрии для фотопического зрения - восприятие цветов колбочками не меняется при изменении общей яркости сцены

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

- * Для снижения утомления зрения рекомендуется устанавливать среднюю яркость изображения примерно равной 30 кд/кв.м (установлено практически)
- * При этом яркость в белых местах изображения может достигать 100-300 кд/кв.м

*** Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность**

* Правило:

* Для смягчения восприятия при смене сцены, если при этом меняется средняя яркость основного передаваемого объекта, то средняя яркость всего изображения также должна пропорционально изменяться

* Яркостная адаптация
и контрастная чувствительность

* **Острота зрения** - чувствительность зрительного анализатора, отражающая способность различать границы и детали видимых объектов;

* **Острота зрения количественно** определяется как отношение расстояния, с которого наблюдатель различает какую-либо деталь объекта, к расстоянию, с которого эта деталь видна под углом в 1 угловую минуту

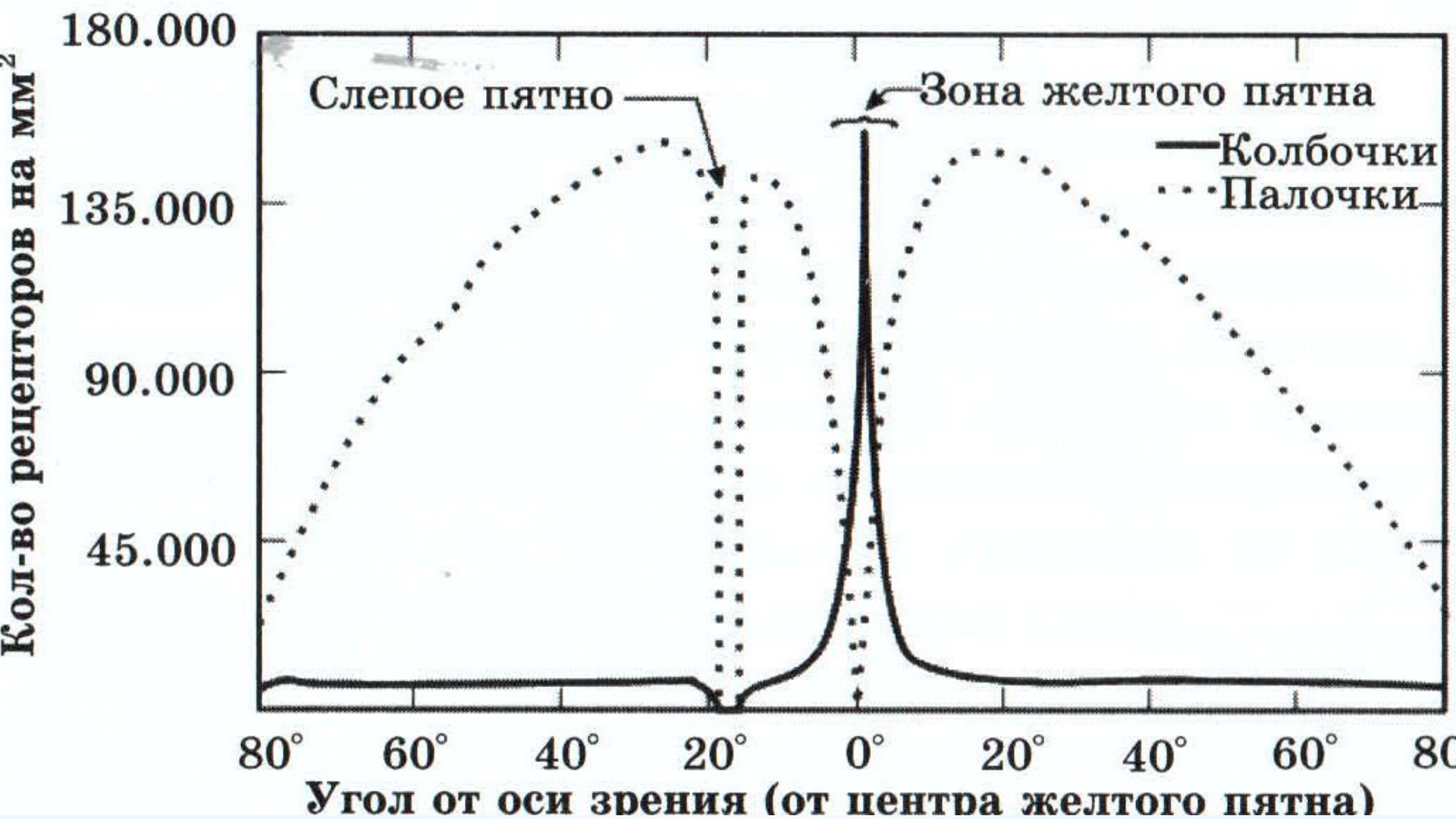
* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**

* 20 угловых минут зрительного пространства глаза - высокая острота зрения - область фавеолы - область ясного зрения.

* Следствие

* - изображение рассматривается по частям, формируя образ в зрительной памяти

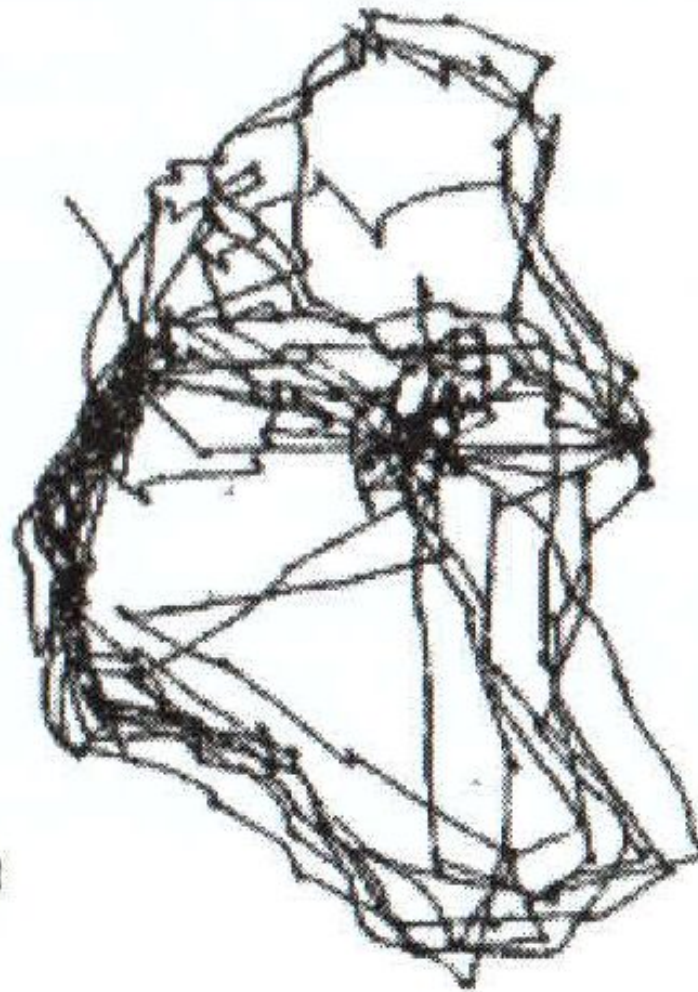
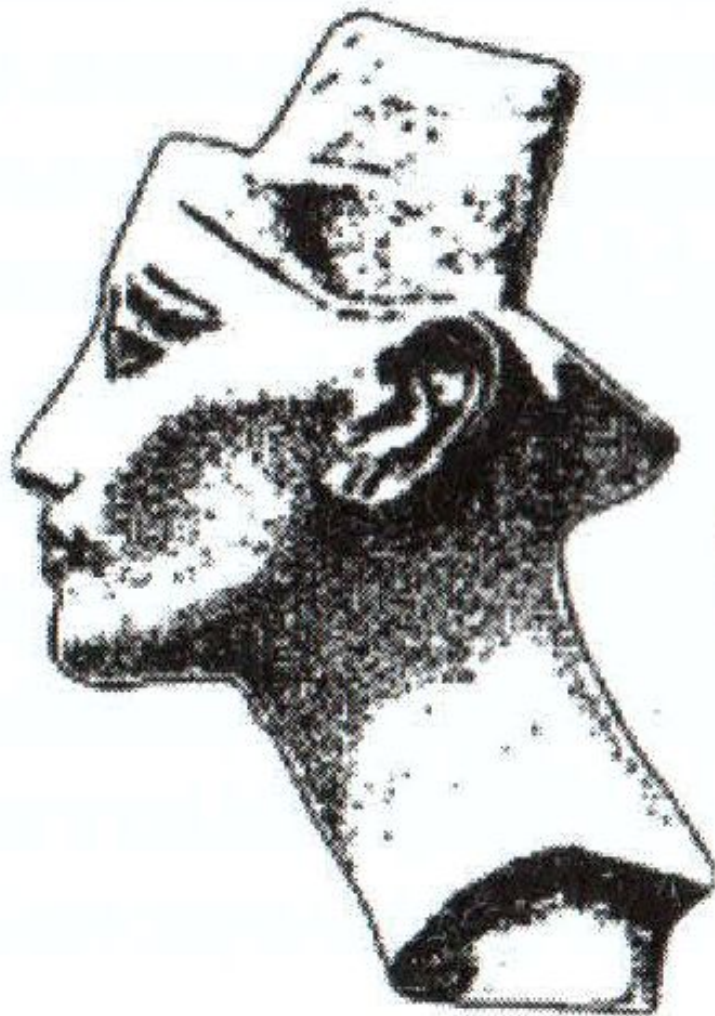
* Пространственная и яркостная разрешающие способности



* Зависимость остроты зрения от места раздражения на сетчатке

- * **Тремор** - произвольные движения глазного яблока;
- * **Саккады** - скачкообразные движения оси зрения;
- * Длительность скачка независимо от угла
- **50-60 мс**
- * Во время скачка - подавление зрительного восприятия;
- * Угол поворота оси зрения **15-20 градусов** -
движение глаз **2-3 скачка**

* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**



* Запись движения глаза при рассматривании скульптурного изображения головы Нефертити

- * Правило - скорость движения глаз постоянна при повороте на один и тот же угол для определенного наблюдателя;
- * При скачке 5 градусов - максимальная скорость движения глаз 200 градусов в секунду;
- * 20 градусов - 450 градусов в секунду;
- * Зона нечувствительности - около 48 минут
- * Правило:
- * точки фиксации всегда располагаются вблизи контуров изображений (выяснено в результате исследований)

* Пространственная и яркостная разрешающие способности

* Минимальный угловой размер, который может увидеть человек - 0,5 - 1 угловая минута

* Максимальное общее разрешение взгляда в угловых минутах:

* При бинокулярном зрении -

(180 на 135) градусов *60 мин/1 мин=

10800 мин*8100 мин;

При монокулярном зрении -

(140*135) градусов*60мин/1мин=8400мин*8100мин

При условии, что:

острота зрения равна 1 угловой минуте

* Обобщение.

Разрешающая способность глаза

* Для мультимедиа учитывается оперативное поле зрения - информация поступает в область ясного видения;

* В телевидении принято считать область ясного видения:

12 градусов - по вертикали;

16 градусов - по горизонтали

Следствие: соотношение горизонтали и вертикали экрана - $4 / 3$

* Область ясного видения
для мультимедиа

По телевизионным стандартам PAL и SEKAM
Рекомендуется находиться от экрана на
оптимальном расстоянии

$$L_{\text{опт.}} = 5h$$

h - высота кадра с соотношением 4/3

*** Рекомендуемое расстояние от
телевизионных экранов**

* **Яркостное** (или полутоновое) разрешение - мельчайшее различимое изменение яркости.

* Информация об изменении контура улавливается с меньшей скоростью (особенно без изменении направления изгиба), чем информация об изменении цвета и яркости (используется при сжатии видеоинформации с частичной потерей качества)

* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**