Общая физиология зрения

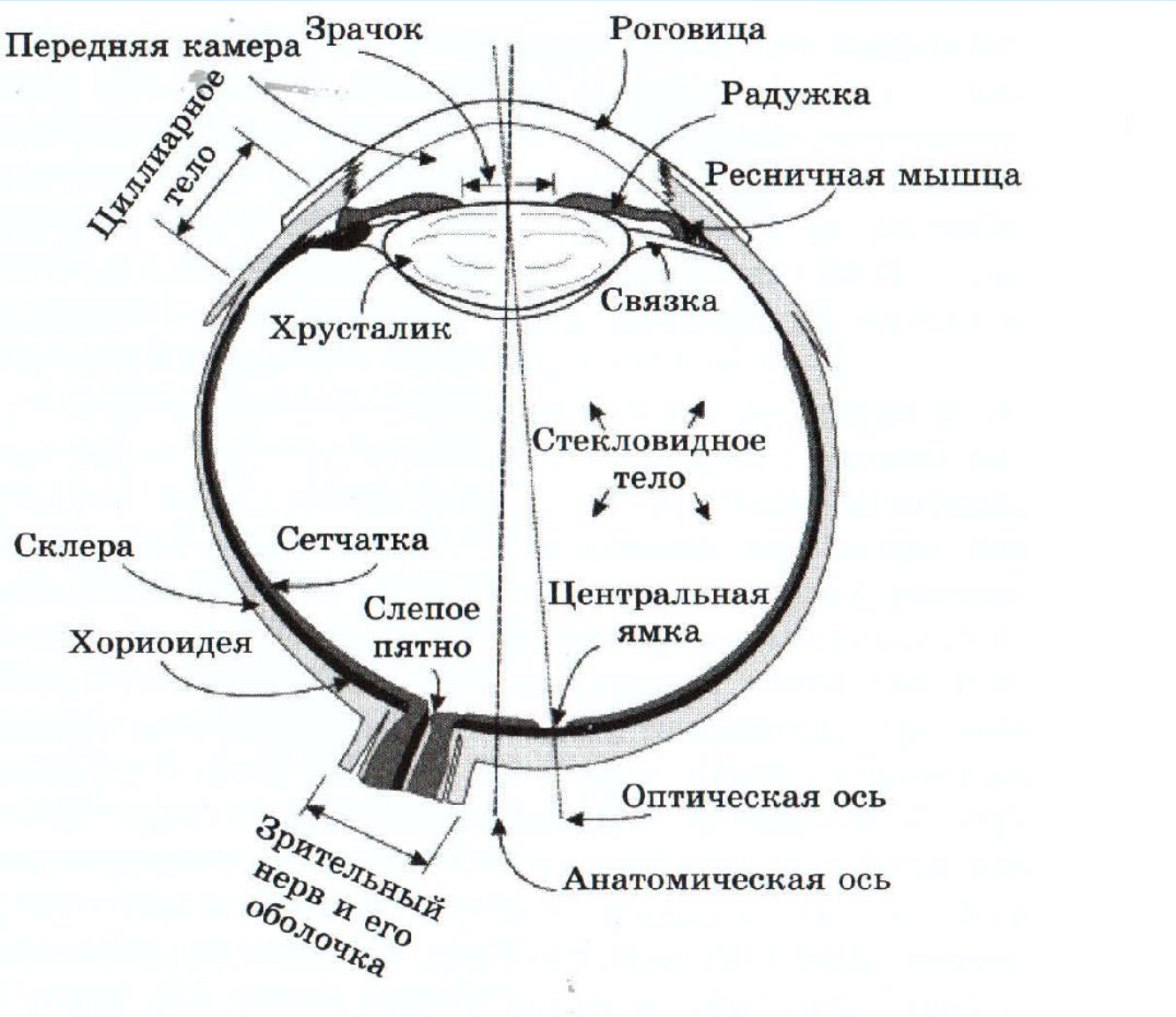
Дисциплина «Естественно-научные основы мультимедиа»

*Содержание

- 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

Литература

* 1. А.В. Крапивенко
* Учебное пособие «Технологии мультимедиа и восприятие ощущений»
* Москва
* Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний» 2012



* **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 излучения:
* 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

* **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

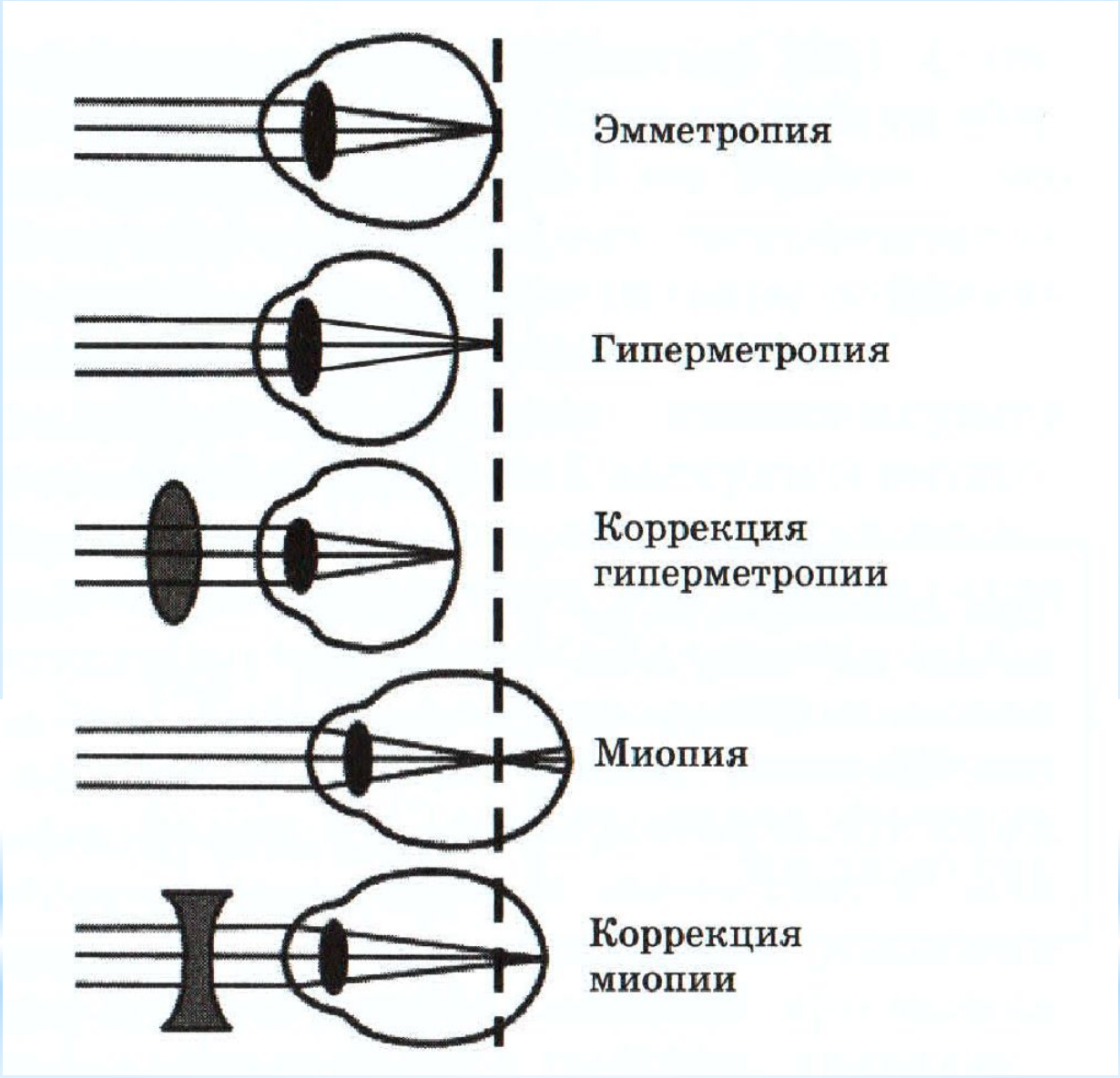
* При взгляде на удаленные объекты хрусталик расслабляется, при взгляде на близкие объекты увеличивается выпуклость хрусталика
* Фокусирование предметов, находящихся на разном расстоянии, за счет изменения кривизны хрусталика называется - **аккомодацией**

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 (ретина)** – 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

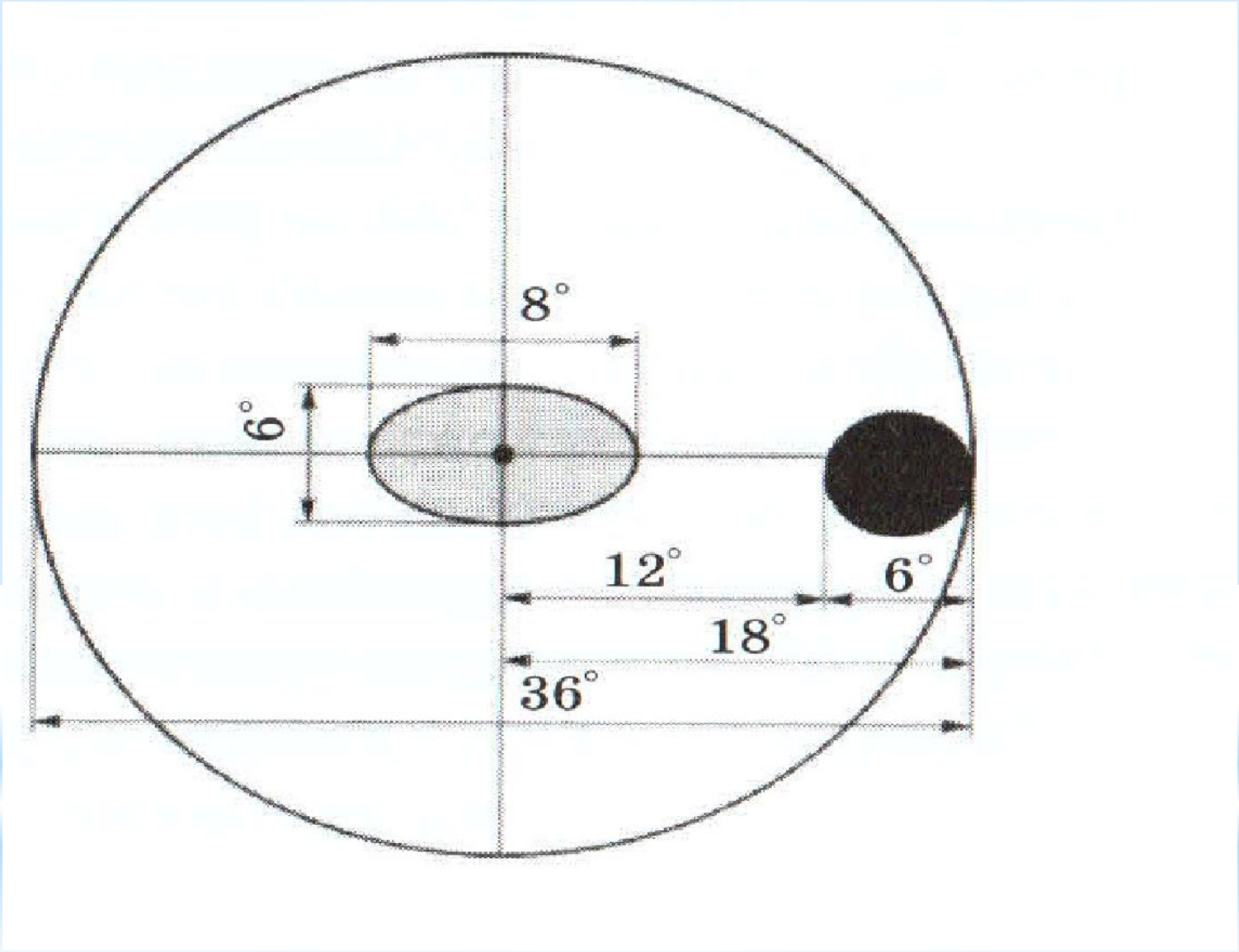
* Переходное зрение –
* сумеречное (мезопическое)

Устройство сетчатки. Сумеречное зрение

* Область наибольшей концентрации колобочек - **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 соответствует отношению 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

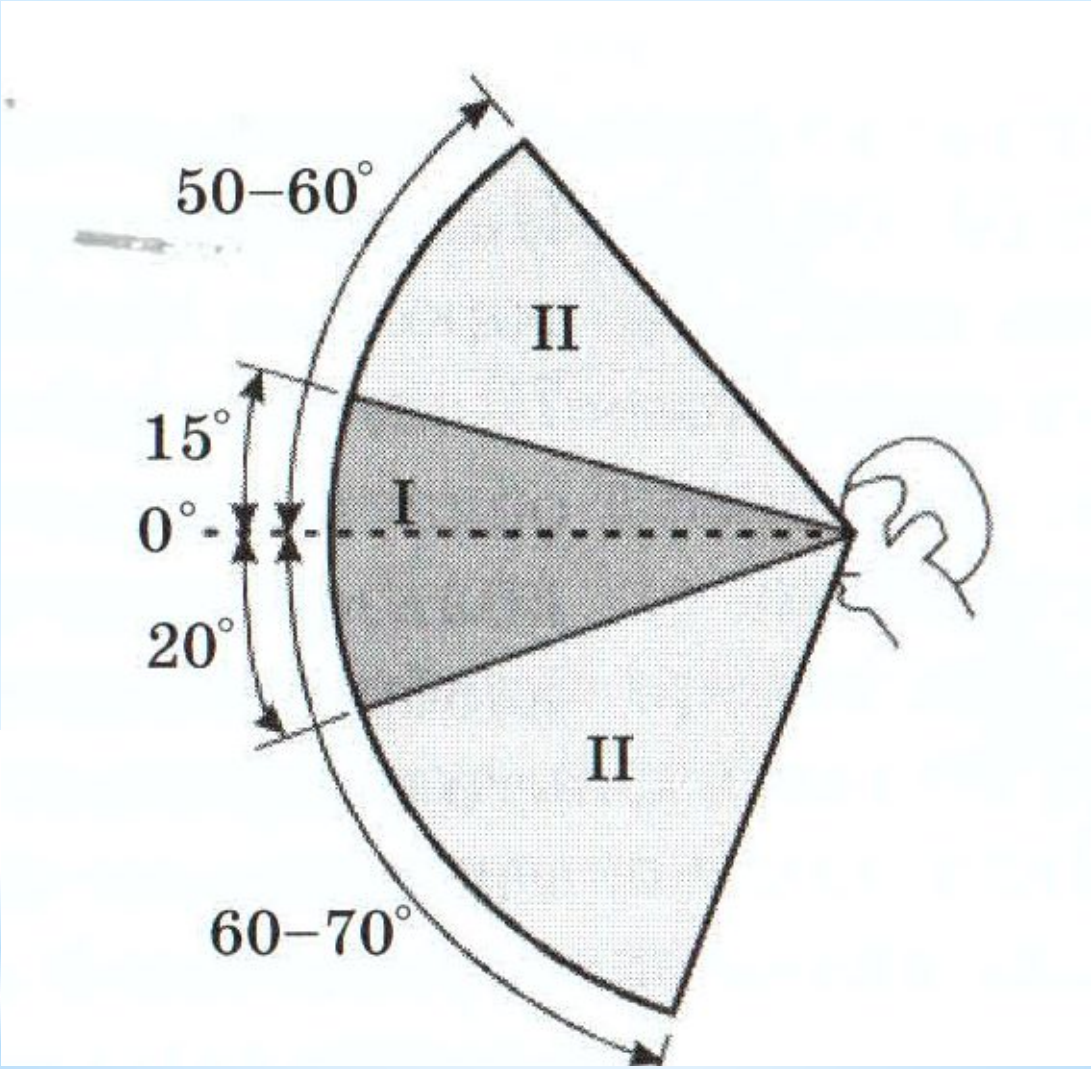
* Разновидности:
* - физиологическое поле зрения
* - анатомическое поле зрения
* **- оперативное поле зрения – часть поля зрения, которая воспринимается и опознается человеком одномоментно**

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

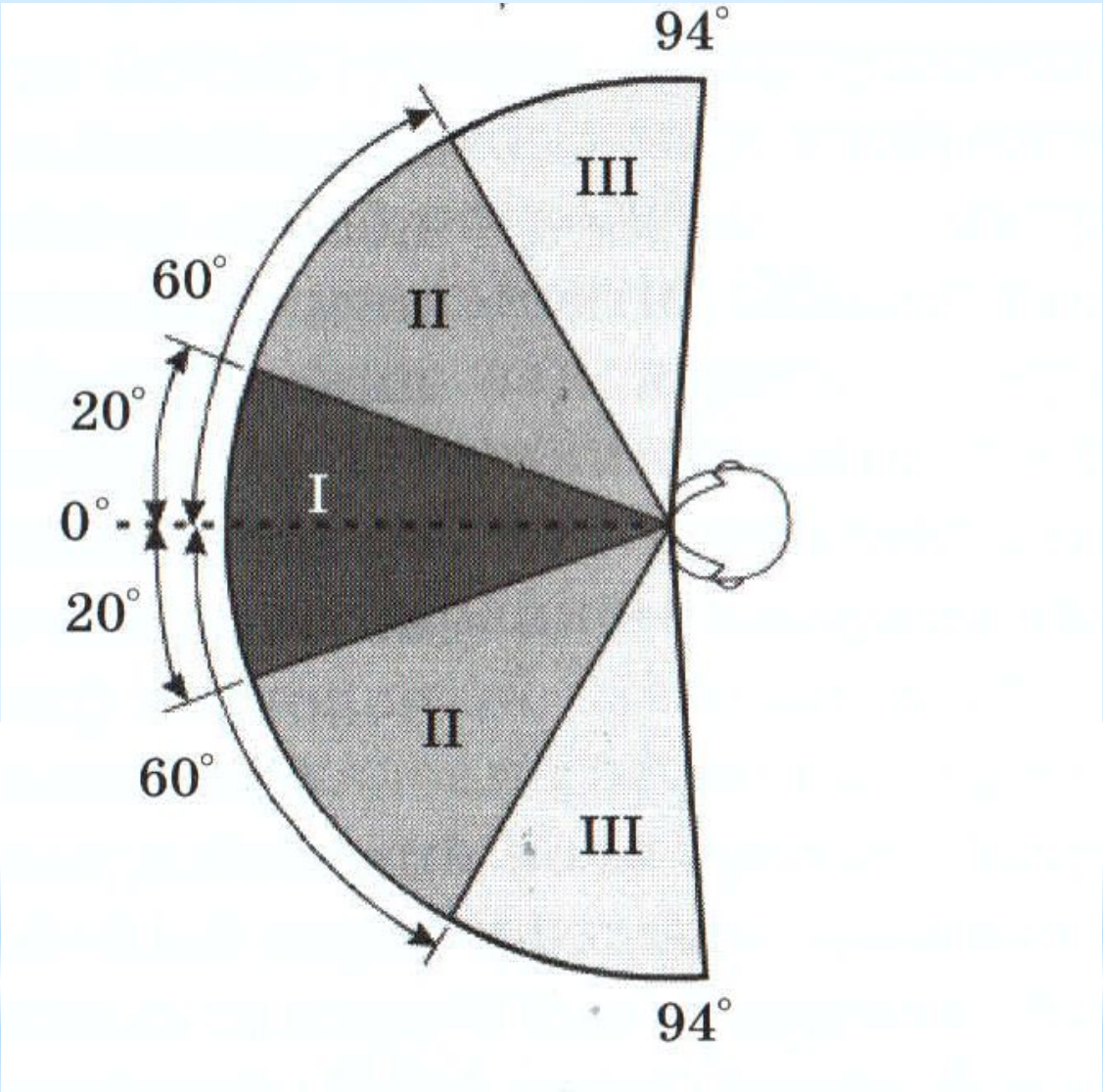
* Различают
* **Бинокулярное зрение -**
* 30-40 градусов по горизонтали,
* 10-15 градусов вверх,
* 20 градусов вниз

* **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

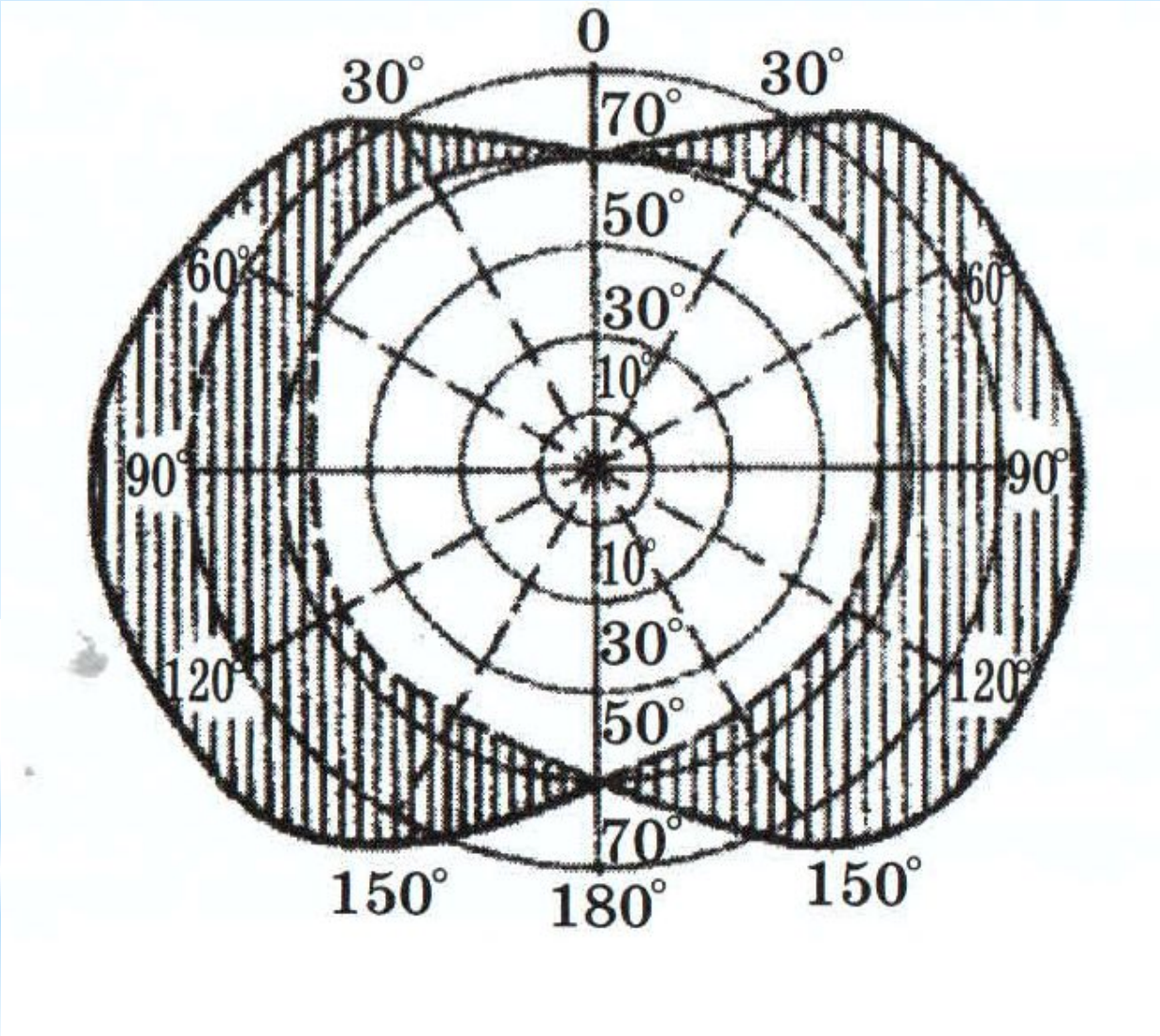
* **Поле зрения человека**

* 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)**

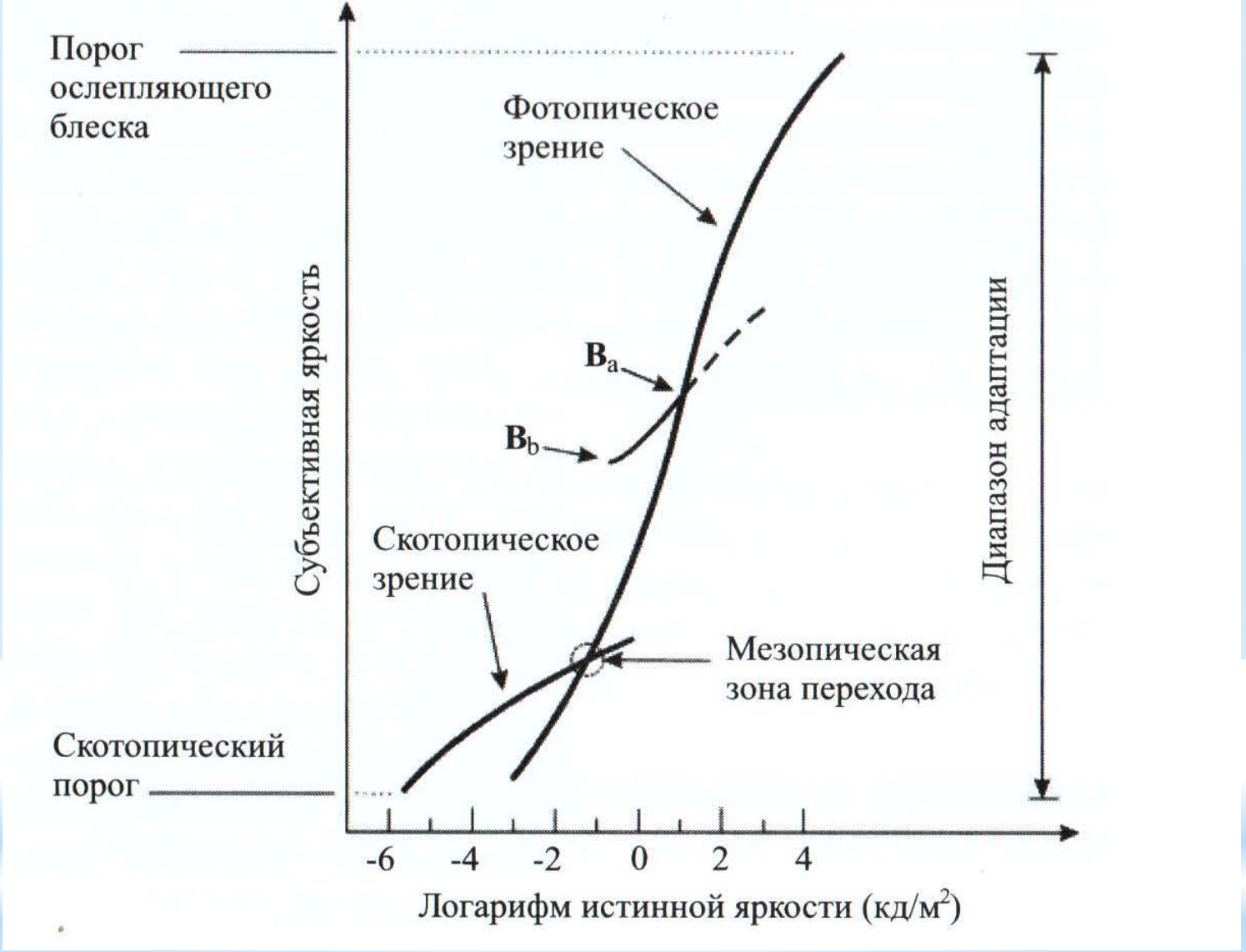
* Яркостная адаптация и контрастная чувствительность

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 Ва);
* Вв – Ва – диапазон субъективной яркости, которую способен воспринимать глаз при адаптации к указанному уровню;

* Яркостная адаптация и контрастная чувствительность

* Уровни яркости ниже $B_б$ -
* 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

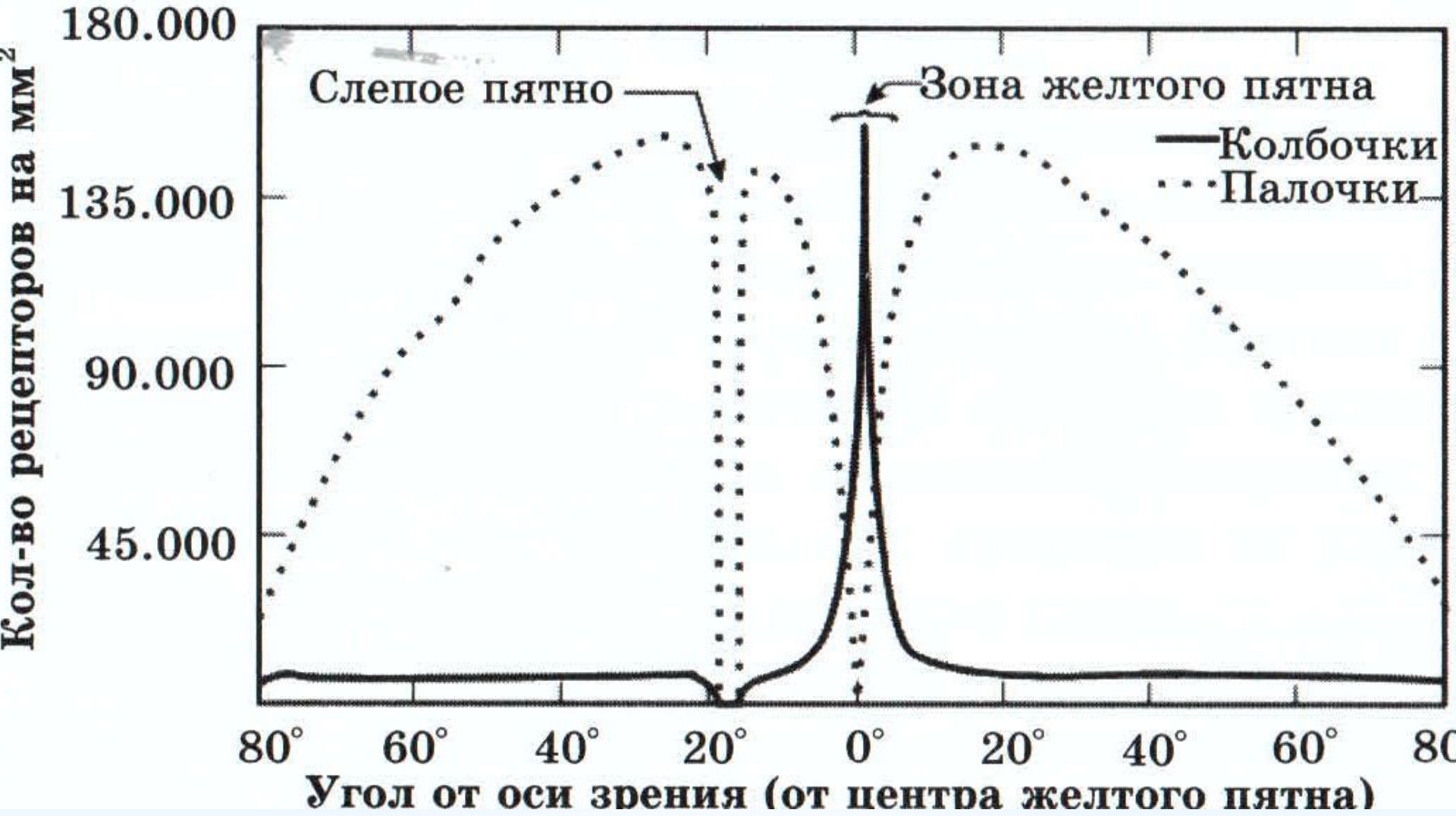
* Пространственная и яркостная разрешающие способности

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

* Следствие

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

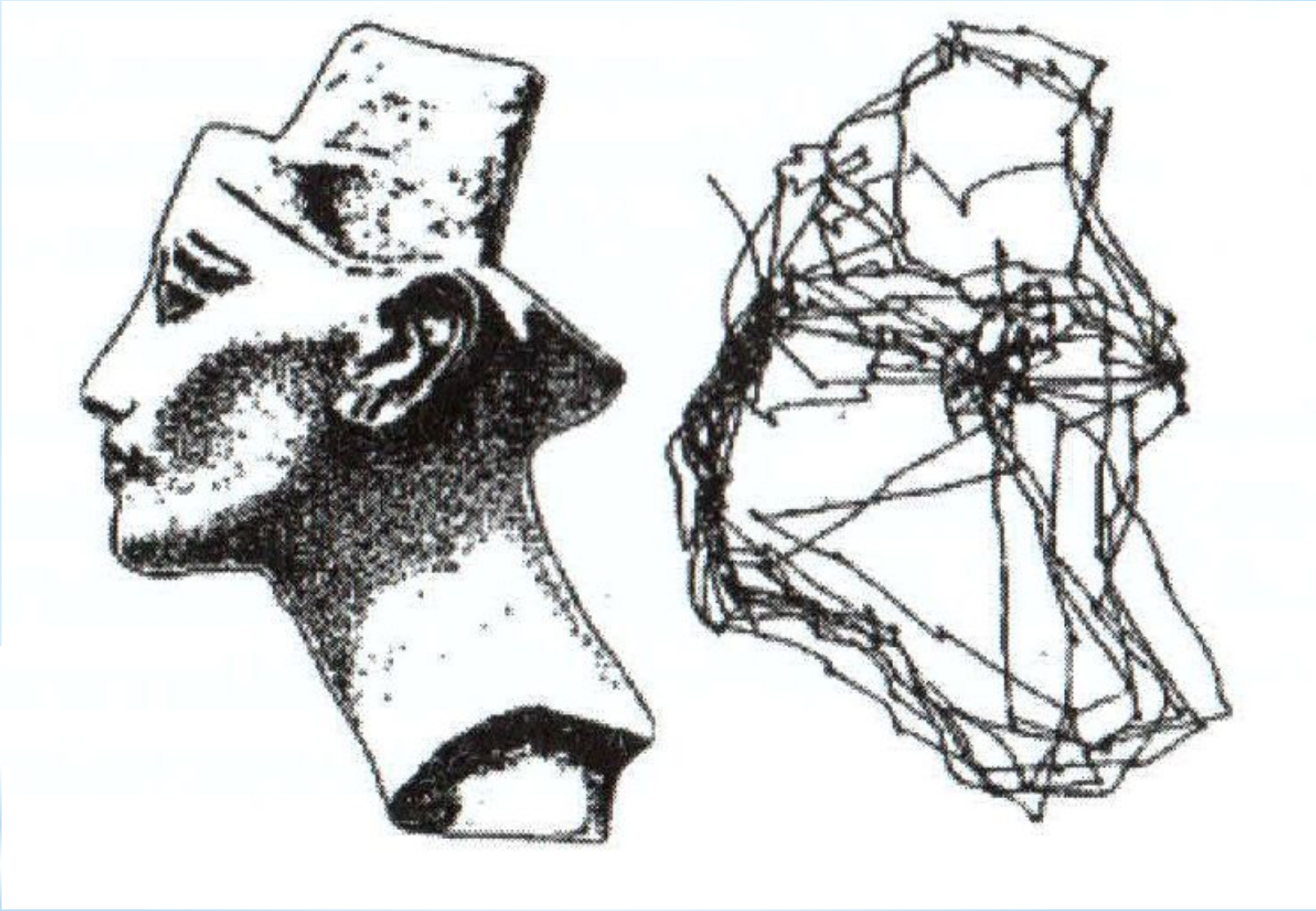
* Пространственная и яркостная разрешающие способности



* Зависимость остроты зрения от места раздражения на сетчатке

* **Тремор** – непроизвольные 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

$$L_{опт.} = 5h$$

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