

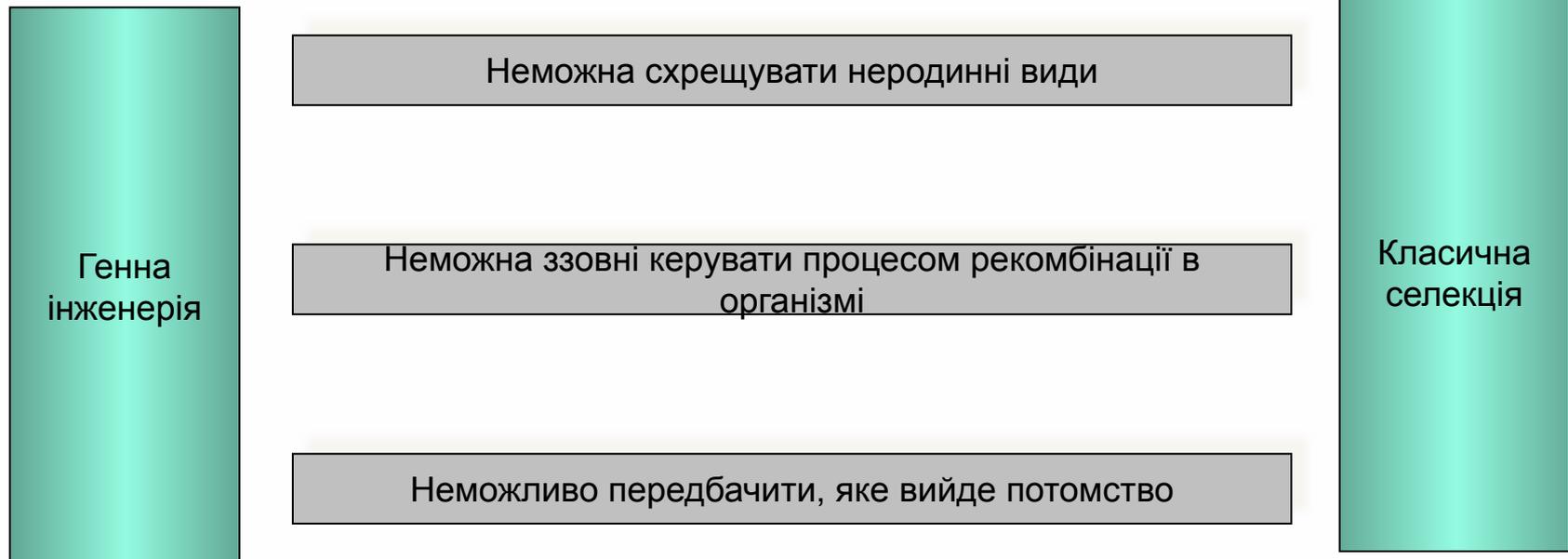
A microscopic image showing several cells with their cytoskeletons stained in bright yellow and green. The cells are arranged in a cluster, and the cytoskeletons are highly branched and interconnected. The background is dark, making the fluorescent structures stand out. The text is overlaid on this image.

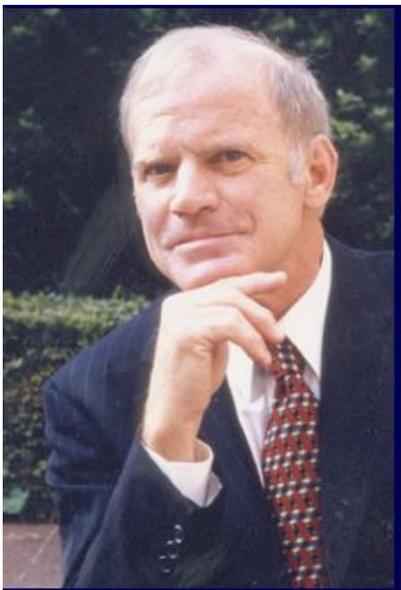
Використання сучасних лабораторних методів в діагностиці

Генетична, або генна інженерія – це конструювання *in vitro* функціонально активних генетичних структур (рекомбінантних ДНК), або, інакше, створення штучних генетичних програм. Генна інженерія своєю ціллю ставить вивчення механізмів функціонування генетичного апарату еукаріот, включаючи людину, що іншими засобами зробити неможливо.

Генна інженерія ставить перед собою широкі практичні задачі:

- отримання шляхом бактеріального синтезу ряду лікарських речовин, наприклад інсуліну, інтерферону;
- створення діагностичних препаратів;
- отримання трансгенних рослин тощо.





В **1993** р. - американський вчений Кері Мюлліс (народився 28 грудня 1944) винайшов метод **полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР)**, що дозволяє клонувати в умовах in vitro будь-яку ділянку ДНК любого організму. В 1993 р. американський журнал "Science" назвав це відкриття одним з найвидатніших за останні роки. Наукове співтовариство по достоїнству оцінило розробку Кері Мюлліса, присудивши йому за винахід ПЛР-аналізу Нобелівську премію. **16 грудня 1983 року**, пробуючи зі своїм співробітником та вченим Фредом Фалуной безліч експериментальних підходів, Кері Малліс здійснив **першу вдалу реакцію ПЛР** – полімеразну цепную реакцію ампліфікації ДНК (за англійською транслітерацією – PCR, Polymerase Chain Reaction).

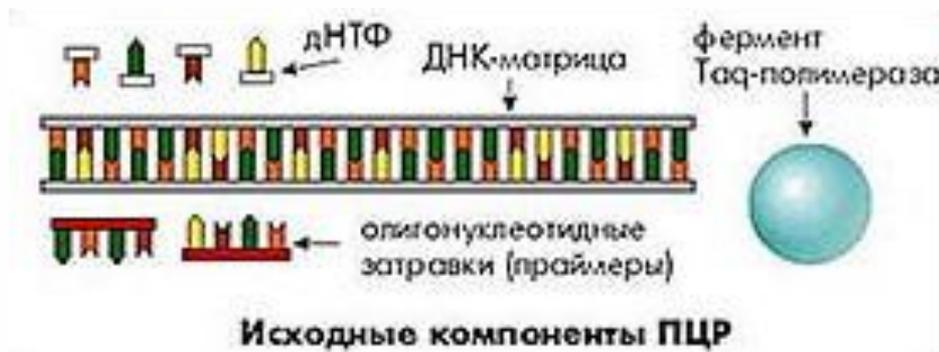
В **1990** році Мюлліс був нагороджений престижною Preis Biochemische Analytik – національною німецькою премією в галузі аналітичної біохімії, в **1992** році признаний вченим року штату Каліфорнія, в **1992** році нагороджений премією імені Роберта Коха, в **1993** році – Національної премії Японії.



ПЦР представляє собою багатократно збільшення числа копій (**ампліфікація**) специфічної ділянки ДНК, що каталізується ферментом ДНК- полімеразою.

Для проведення ампліфікації необхідно наступні компоненти:

- 1) **ДНК-матриця** (ДНК чи її частина, що містить шуканий специфічний фрагмент);
- 2) **праймери** (синтетичні олігонуклеотиди (20-30 нуклеотидних пар), компліментарні послідовностям ДНК на границях визначаємого специфічного фрагменту). Вибір специфічного фрагменту та підбір праймерів відіграє важливу роль в специфічності проведення ампліфікації, що виявляється на якості проведення аналізу;
- 3) **суміш дезоксинуклеотидтрифосфатів (дНТФ)** (суміш чотирьох дНТФ, що є матеріалом для синтезу нових компліментарних ланцюгів ДНК);
- 4) **фермент Taq-полімераза** (термостабільна ДНК-полімераза, що каталізує подовження ланцюга праймерів шляхом послідовного приєднання нуклеотидних основ до зростаючого ланцюга синтезуємої ДНК);
- 5) **Буферний розчин** (реакційна середовище, що містить іони Mg^{2+} , необхідні для підтримання активності ферменту).



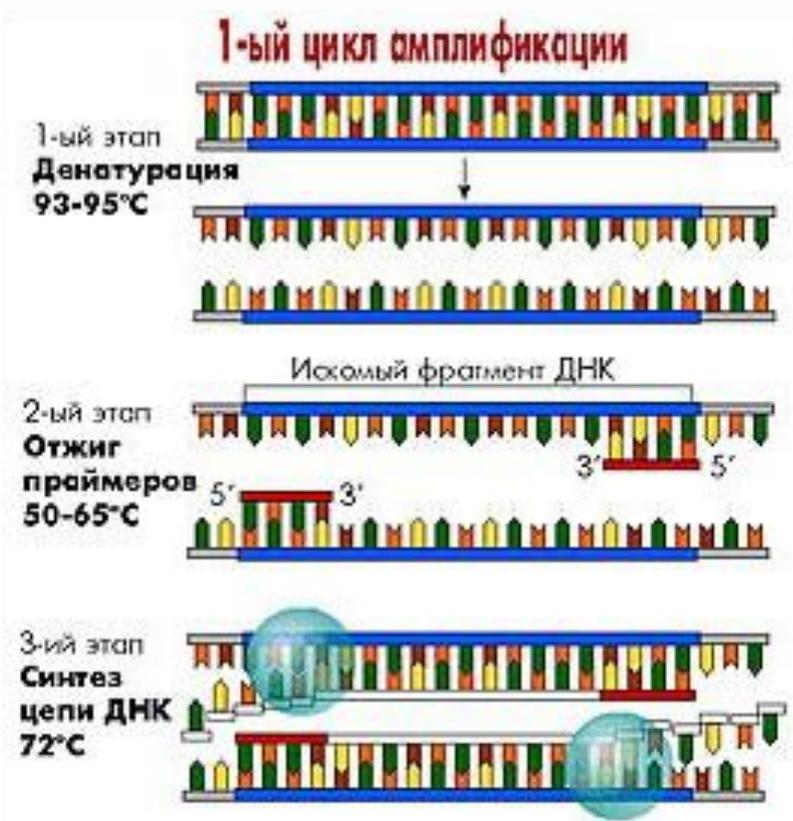
Для отримання достатньої кількості копій необхідного характеристичного фрагменту ДНК ампліфікація включає декілька (20-40) циклів.

Кожний цикл ампліфікації включає 3 етапи, що протікають в різних температурних режимах.

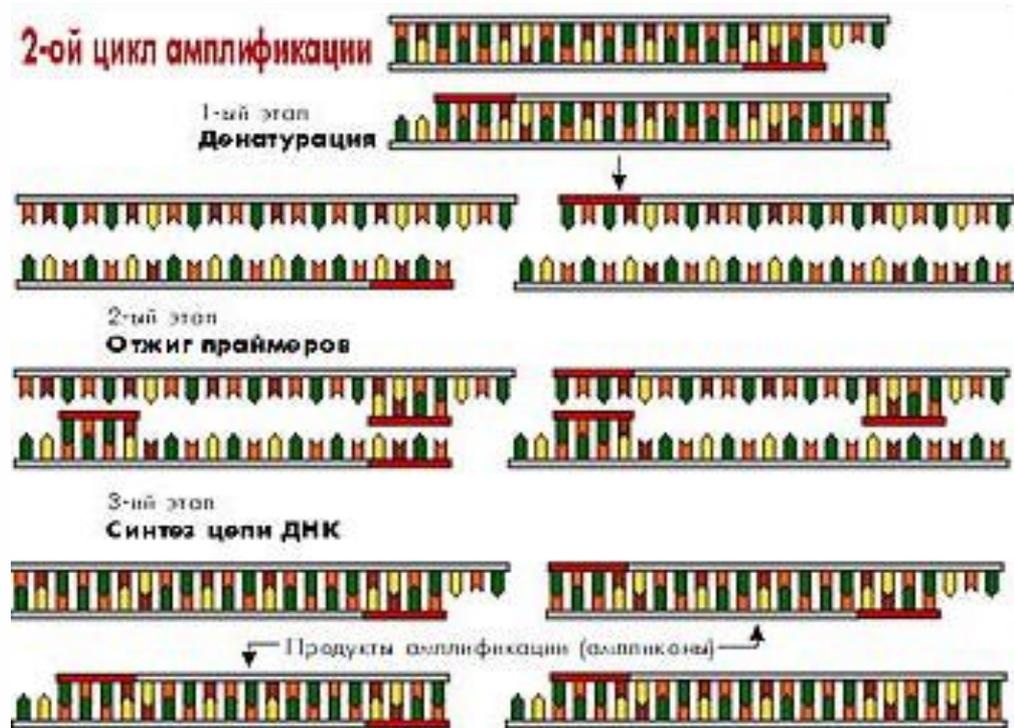
1 етап: денатурація ДНК (розщеплення подвійної спіралі). Протікає при 93-95°C на протязі 30-40 сек.

2 етап: приєднання праймерів (відпалювання). Приєднання праймерів відбувається компліментарно до відповідних послідовностей на протилежних ланцюгах ДНК на границях специфічної ділянки. Для кожної пари праймерів існує своя температура відпалювання, значення якої розміщуються в інтервалі 50÷65°C. Час відпалювання - 20 ÷60 сек.

3 етап: Добудова ланцюгів ДНК.
Компліментарна добудова ланцюгів ДНК відбувається від 5'-кінця до 3'-кінця ланцюга в протилежних напрямках, починаючи з ділянок приєднання праймерів. Матеріалом для синтезу нових ланцюгів ДНК служать дезоксирибонуклеотидтрифосфати (дНТФ), що додаються у розчин. Процес синтезу каталізується ферментом термостабільною ДНК-полімеразою (Taq-полімеразою) та відбувається при температурі 70÷72°C. Час протікання синтезу - 20÷40 сек.



Утворені в першому циклі ампліфікації нові ланцюги ДНК служать матрицями для другого циклу ампліфікації, в якому відбувається утворення шуканого специфічного фрагмента ДНК (амплікона). В наступних циклах ампліфікації амплікони служать матрицею для синтезу нових ланцюгів. Таким чином відбувається накопичення ампліконів у розчині за формулою 2^n , де n-число циклів ампліфікації. Тому, навіть якщо в вихідному розчині спочатку знаходилася лише одна двухланцюгова молекула ДНК, то за 30÷40 циклів у розчині накопичується приблизно 10^8 молекул амплікону. Процес ампліфікації проводиться у спеціально програмуємому термостаті (ампліфікаторі), який згідно з заданою програмою автоматично здійснює зміну температур згідно числу циклів ампліфікації.

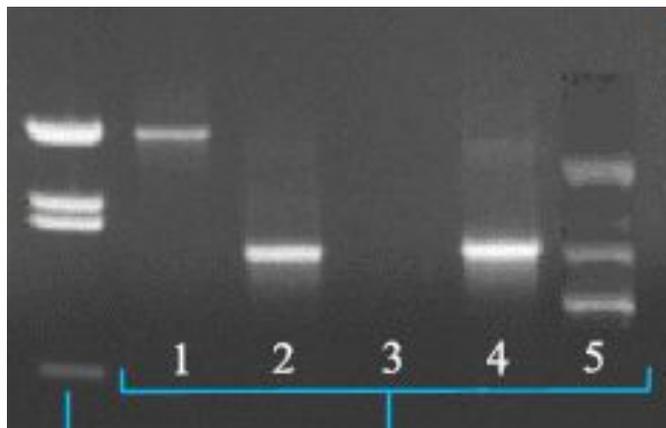


Методика проведения анализа с использованием метода ПЦР включает три этапа

1. Выделение ДНК (РНК). На данной стадии проведения анализа клиническая проба подвергается специальной обработке, в результате которой происходит лизис клеточного материала, удаление белковых и полисахаридных фракций, и получение раствора ДНК или РНК, свободной от ингибиторов и готовой для дальнейшей амплификации. Выбор методики выделения ДНК(РНК) в основном определяется характером обрабатываемого клинического материала.

2. Амплификация специфических фрагментов ДНК. На данной стадии происходит накопление коротких специфических фрагментов ДНК в количестве, необходимом для их дальнейшей детекции.

3. Детекция продуктов амплификации. На данном этапе проводится разделение смеси продуктов амплификации, полученной на 2-ой стадии, методом горизонтального электрофореза в агарозном геле. До проведения электрофоретического разделения, к амплификационной смеси добавляется раствор бромистого этидия, образующий с двухцепочечными фрагментами ДНК прочные соединения внедрения. Эти соединения под действием УФ-облучения способны флуоресцировать, что регистрируется в виде оранжево-красных светящихся полос после электрофоретического разделения амплификационной смеси в агарозном геле.



1. Прямое определение наличия возбудителей. Многие традиционные методы диагностики, например иммуноферментный анализ, выявляют белки-маркеры, являющиеся продуктами жизнедеятельности инфекционных агентов, что дает лишь опосредованное свидетельство наличия инфекции. Выявление специфического участка ДНК возбудителя методом ПЦР дает прямое указание на присутствие возбудителя инфекции.

2. Высокая специфичность. Обусловлена тем, что в исследуемом материале выявляется уникальный, характерный только для данного возбудителя фрагмент ДНК. Специфичность задается нуклеотидной последовательностью праймеров, что исключает возможность получения ложных результатов, в отличие от метода иммуноферментного анализа, где нередки ошибки в связи с перекрестно-реагирующими антигенами.

3. Высокая чувствительность. Метод ПЦР позволяет выявлять даже единичные клетки бактерий или вирусов. ПЦР-диагностика обнаруживает наличие возбудителей инфекционных заболеваний в тех случаях, когда другими методами (иммунологическими, бактериологическими, микроскопическими) это сделать невозможно. Чувствительность ПЦР-анализа составляет 10-1000 клеток в пробе (чувствительность иммунологических и микроскопических тестов - 10^3 - 10^5 клеток).

4. Универсальность процедуры выявления различных возбудителей. Материалом для исследования методом ПЦР служит ДНК возбудителя. Сходство химического состава всех нуклеиновых кислот позволяет применять унифицированные методы проведения лабораторных исследований. Это дает возможность диагностировать несколько возбудителей из одной биопробы. В качестве исследуемого материала могут использоваться различные биологические выделения (слизь, моча, мокрота), соскобы эпителиальных клеток, кровь, сыворотка.

5. Высокая скорость получения результата анализа. Для проведения ПЦР-анализа не требуется выделение и выращивание культуры возбудителя, что занимает большое количество времени. Унифицированный метод обработки биоматериала и детекции продуктов реакции, и автоматизация процесса амплификации дают возможность провести полный анализ за 4-4.5 часа.

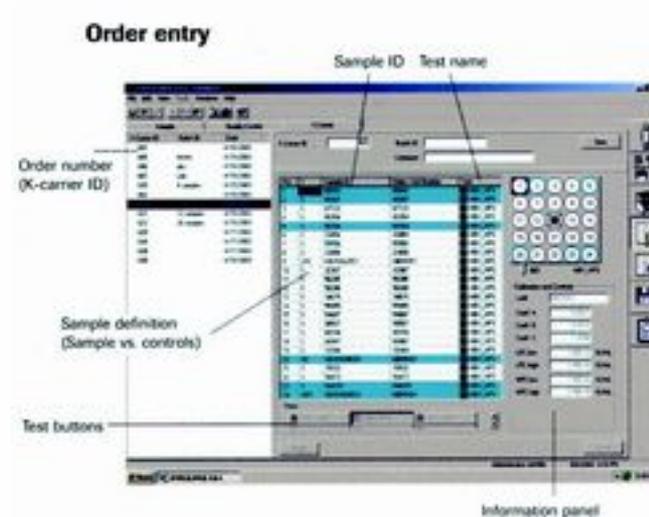
6. Возможность диагностики не только острых, но и латентных инфекций. Особенно эффективен метод ПЦР для диагностики трудно культивируемых, некультивируемых и персистирующих форм микроорганизмов при латентных и хронических инфекциях.



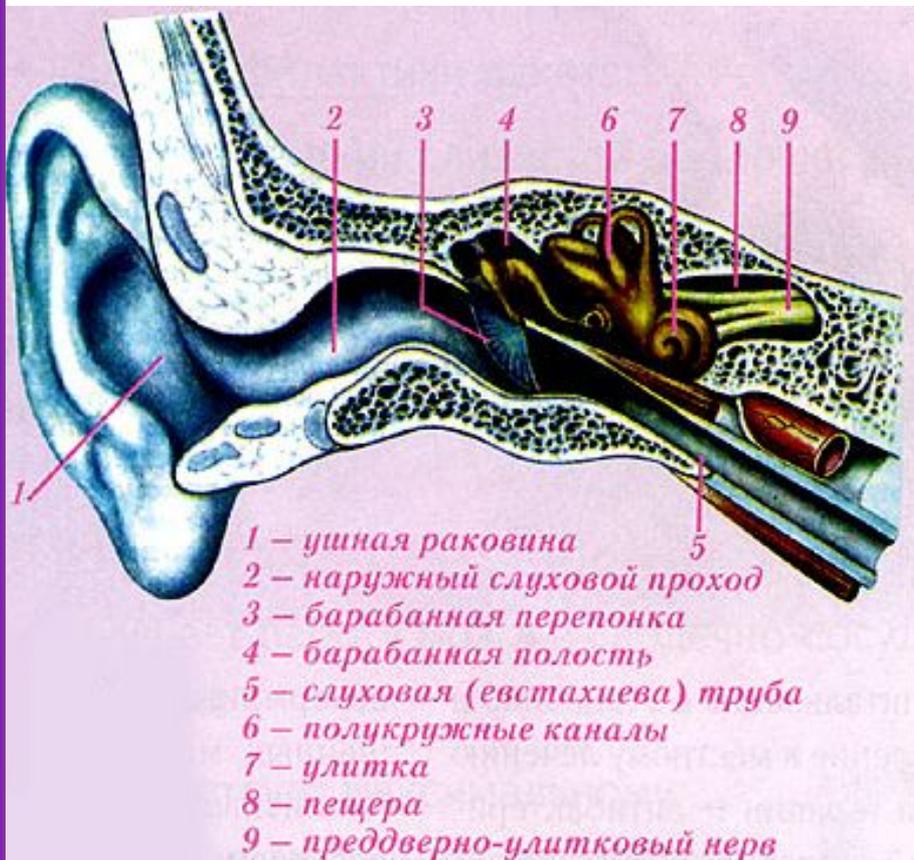
ПЦР-анализатор COBAS AMLICOR



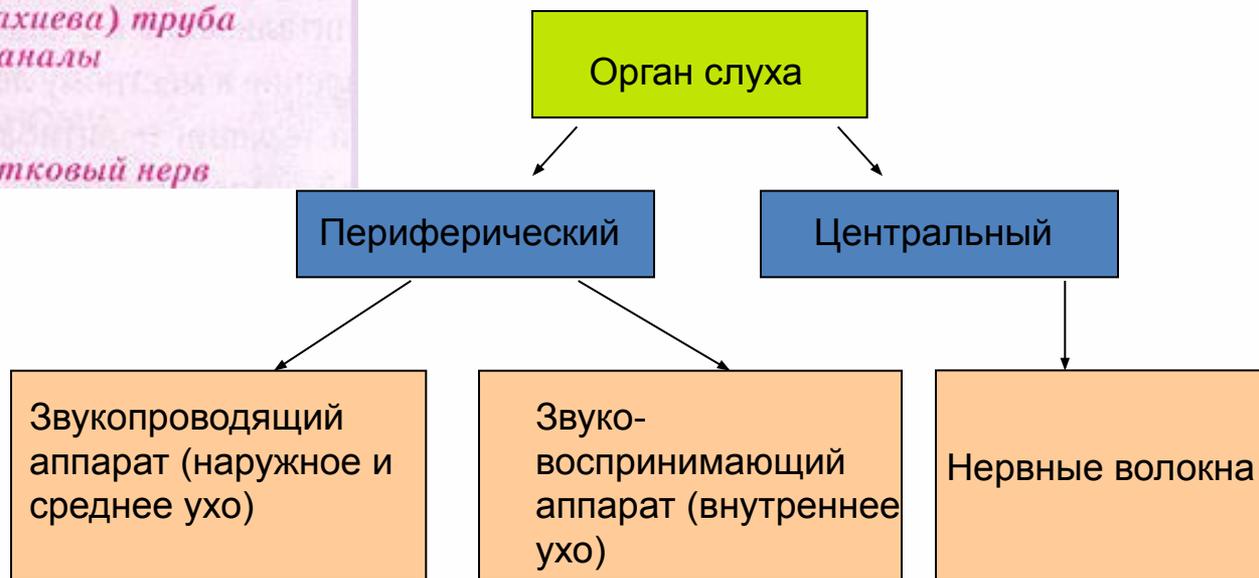
Автоматический ПЦР-анализатор реал-тайм CobasTaqMan 48



Основи біофізики слуху



Ухо - это орган слуха и равновесия. Его составные части обеспечивают прием звуков и сохранение равновесия. Орган слуха делится на 3 части: наружное ухо, среднее ухо и внутреннее ухо. Слух - способность организмов получать информацию о внешнем мире, воспринимая звуковые колебания окружающей среды с помощью нервного специального механизма – звукового (слухового) анализатора.



- ✓ различие частот и интенсивности звуковых колебаний;
- ✓ возможность определять положение звука в пространстве (эхолокация).

Количественные характеристики слухового аппарата подразделяются

на:

- слуховую чувствительность или порог слышимости;
- верхний предел слухового восприятия (порог болевого ощущения);
- частотный диапазон слышимых звуков.

Слышимость человека в диапазоне частот $70 \text{ Гц} \div 16 \text{ кГц}$.

Воспринимаемость частот некоторыми животными:

- ✓ сверчки - $2 \text{ Гц} \div 4 \text{ кГц}$;
- ✓ птицы - до 25 кГц ;
- ✓ лягушки - $50 \text{ Гц} \div 30 \text{ кГц}$;
- ✓ летучие мыши - до 150 кГц .

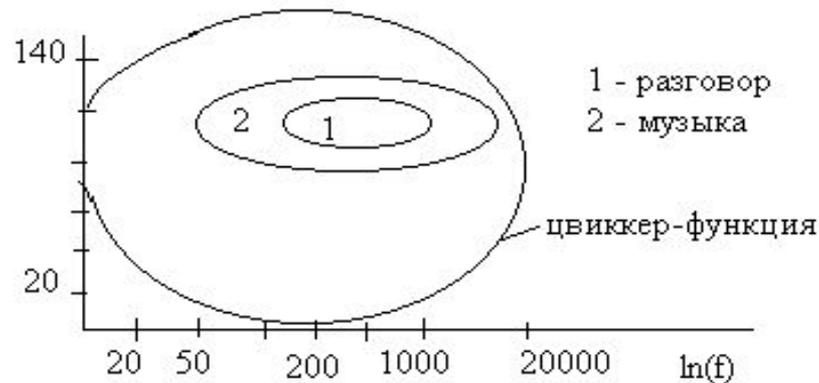


Диаграмма области слышимости звука для человека

Звук - последовательность распространяющихся волн сжатия и разрежения в окружающей среде.

Основными параметрами звуковой волны являются:

1. частота;
2. амплитуда (или интенсивность);
3. скорость распространения.

В распространяющейся со скоростью c звуковой волне имеет место следующее соотношение между мгновенными значениями давления P и скорости v перемещения воздуха:

$$v = \frac{P}{\rho c},$$

где ρ - плотность воздуха;

ρc - «**акустический импеданс**» среды.

Чем больше акустический импеданс среды, тем меньше скорости перемещения воздуха вызовут в ней одно и то же звуковое давление.

Таблица - Акустический импеданс воздуха, воды и некоторых биологических тканей

| Материал | Характеристика | | |
|----------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| | $\rho \cdot 10^3$ кг/м ³ | $V \cdot 10^2$, м/с | Ак. импеданс, н·с/м ³ |
| Воздух | $1,29 \cdot 10^{-3}$ | 3,31 | 430 |
| Вода | 1,0 | 14,8 | $1,48 \cdot 10^6$ |
| Мышца | 1,04 | 15,8 | $1,64 \cdot 10^6$ |
| Жир | 0,92 | 14,5 | $1,33 \cdot 10^6$ |
| Кость | 1,9 | 40,4 | $7,68 \cdot 10^6$ |

Каждая звуковая волна представляет собой направленный поток механической энергии.

На практике для оценки звука удобнее использовать не интенсивность, а **звуковое давление**, дополнительно возникающее при прохождении звуковых волн в жидкой или газообразной среде.

$$I = \frac{P_o^2}{2\rho c}.$$

ρ – плотность среды; c – скорость звука.

| На частоте 1кГц | I , Вт/м ² | p , Па |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Порог слышимости | $I_0 = 10^{-12}$ | $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ |
| Порог болевого ощущения | $I_{\max} = 10$ | $p_{\max} = 60$ |

Для удобства используют логарифмическую шкалу уровней интенсивности звука. Для этого, значение I_0 принимают за начальный уровень шкалы, любую другую интенсивность I выражают через десятичный логарифм ее отношения к I_0 (в белах):

$$L_B = \lg(I/I_0),$$

для звукового давления равно:

$$L_B = 2\lg(p/p_0).$$

При использовании децибел соответственно имеем:

$$L_{\text{дБ}} = 10\lg(I/I_0) \text{ и } L_{\text{дБ}} = 20\lg(p/p_0).$$

Высота тона – субъективная характеристика, обусловленная прежде всего частотой основного тона. Зависит также от сложности тона и его интенсивности: звук большей интенсивности воспринимается как звук более низкого тона.

Тембр - почти исключительно определяется спектральным составом.

Громкость – еще одна субъективная оценка звука, которая характеризует уровень слухового ощущения.

Несмотря на субъективность громкость может быть оценена количественным путем сравнения слухового ощущения от двух источников.

В основе создания шкалы уровней громкости лежит важный психофизический **закон Вебера-Фехнера**: если раздражение увеличивается в геометрической прогрессии (т.е. в одинаковое число раз), то ощущение этого раздражителя возрастает в арифметической прогрессии (т.е. на одинаковую величину).

Т.е. если интенсивность звука принимает ряд последовательных значений, например aI_0 , a^2I_0 , a^3I_0 и т.д., a – некоторый коэффициент больше 1, то соответствующее ощущение громкости звука будет равно E_0 , $2E_0$, $3E_0$ и т.д.

Исходя из закона Вебера-Фехнера, громкость звука равна:

$$E = k \lg(I/I_0),$$

где k – некоторый коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты и интенсивности.

Условно считают, что на частоте 1кГц $k = 1$ и $E_B = \lg(I/I_0)$,

Для отличия от шкалы интенсивности звука в шкале громкости децибелы называют **фонами** (фон)

$$E_\Phi = 10 \lg(I/I_0).$$

Средняя амплитуда A отклонений молекул среды при распространении звуковой волны синусоидальной формы

$$A = \frac{P_0}{2\pi f \rho c},$$

где f - частота звука.

Для оценки силы (интенсивности) звука L , используют величину, равную $L = 20 \lg(P/P_{min})$,

$$L = 20 \lg\left(\frac{P}{P_{min}}\right),$$

где P - амплитуда звукового давления данной волны, а P_{min} - амплитуда звукового давления, соответствующая среднему порогу слышимости человека.

Величина L - безразмерная, от ей придана размерность децибел (дБ)

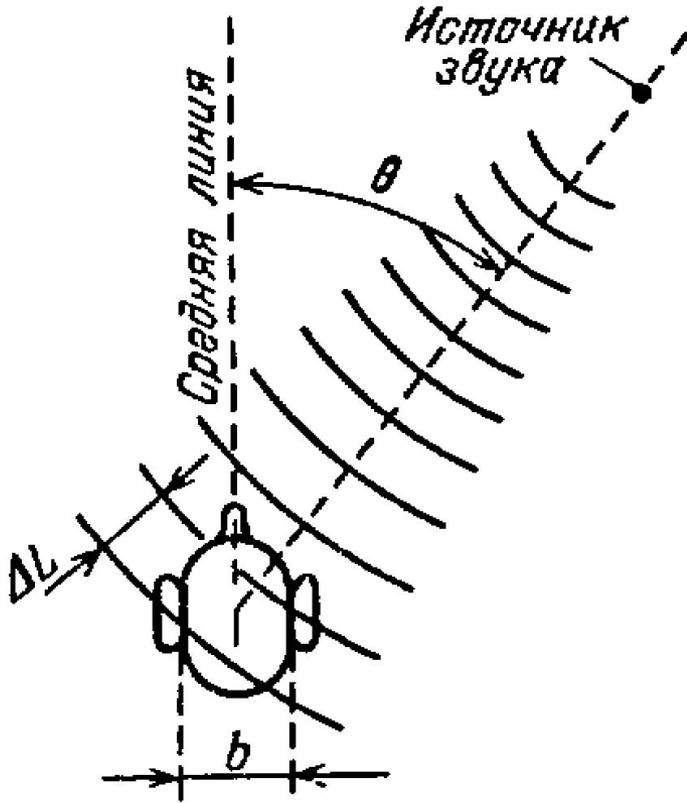
Таблица 6.2 - Сила звука и амплитуда звукового давления

| Звук. давление, н/м.кв | Сила звука, дБ | Жизненная ситуация |
|------------------------|----------------|--------------------|
| $2 \cdot 10^3$ | 160 | Мех. повреждения |
| $2 \cdot 10^2$ | 140 | Болевой порог уха |
| 2 | 100 | Работа цеха |
| $2 \cdot 10^{-3}$ | 60 | Разговор |
| $2 \cdot 10^{-4}$ | 20 | Тихая комната |
| $2 \cdot 10^{-5}$ | 0 | Порог слышимости |

| Примерный характер звука | Интенсивность звука, Вт/м ² | Звуковое давление, Па | Уровень интенсивности звука относительно слышимости дБ (или уровень громкости звука для частоты 1кГц, фон) |
|--------------------------------|--|-----------------------|--|
| Порог слышимости | 10^{-12} | 0,00002 | 0 |
| Сердечные тоны через стетоскоп | 10^{-11} | 0,000064 | 10 |
| Шепот | 10^{-10} | 0,0002 | 20 |
| Разговор | | | |
| тихий | 10^{-8} | 0,002 | 40 |
| нормальный | 10^{-7} | 0,0064 | 50 |
| громкий | 10^{-6} | 0,02 | 60 |
| Шум на оживленной улице | 10^{-5} | 0,064 | 70 |
| Крик | 10^{-4} | 0,2 | 80 |
| Шум | | | |
| в поезде метро | 10^{-3} | 0,64 | 90 |
| мотоцикла (максимальный) | 10^{-2} | 2 | 100 |
| двигателя самолета | 10^{-1} | 6,4 | 110 |
| то же, вблизи | 10^0 | 20 | 120 |
| Порог болевого ощущения | 10^1 | 64 | 130 |

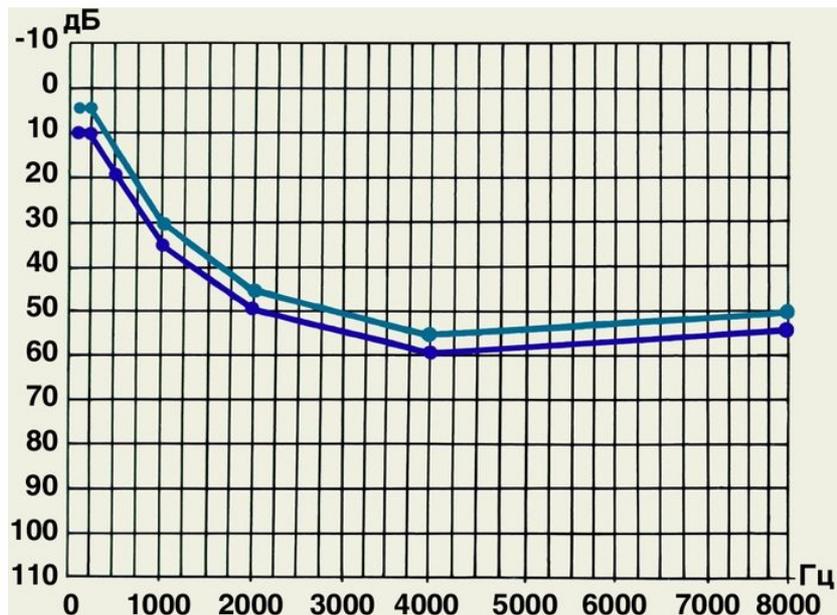
Для многих живых существ важно не только услышать звук, но и определить, откуда он исходит. Существует два основных способа определения направления на источник звука:

1. определение временной задержки прихода одного и того же компонента звуковой волны к двум ушам (рисунок). Чем больше будет значение этой задержки, тем больше угол составляет направление на источник звука со средней линией головы. У человека расстояние между ушами в среднем около 0,17 м. Поэтому максимальное значение задержки (при распространении звуковой волны перпендикулярно к средней плоскости головы) равно $\Delta t_{max} = 0,17/330 = 5 \cdot 10^{-4}$ с.
2. измерение разницы в интенсивности звука, пришедшего к одному и другому уху.

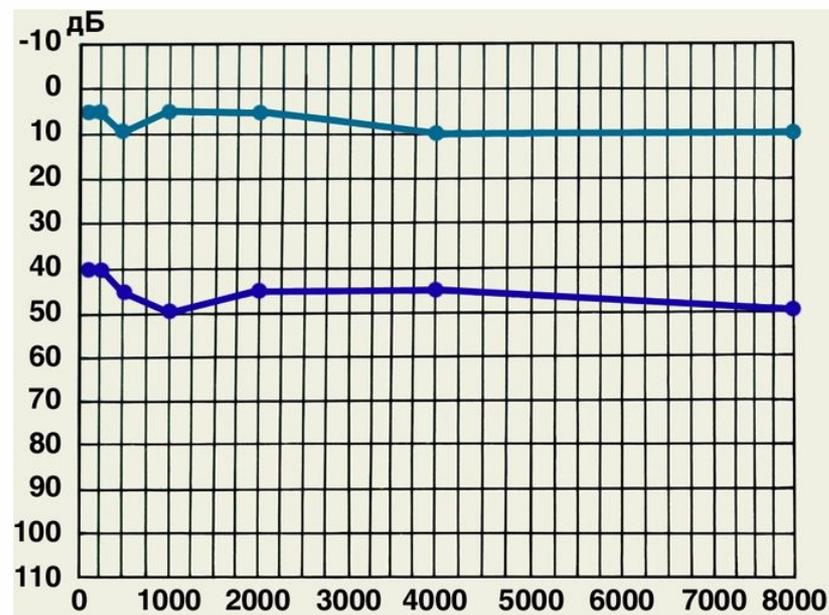


Для звуковых колебаний с длиной волны менее 15 см (частота более 2 кГц) голова человека представляет заметное препятствие. Поэтому за головой образуется звуковая тень, в которой интенсивность звука будет меньше, чем с противоположной стороны. Если источник звука сдвинут относительно средней плоскости головы, то одно ухо будет находиться в области звуковой тени, а другое - вне ее. В результате интенсивности звуковых волн, падающих на два уха, будут неодинаковы.

Аудиометрия (лат. audire слышать + греч. metre; мерить, измерять) – измерение и оценка разных показателей слуха человека. Наиболее важным показателем является острота слуха — минимальная интенсивность звука, которую способно воспринимать человеческое ухо; ее обозначают как «порог слышимости». Современную аудиометрию производят на устройствах аудиометрах, а в результате получают аудиограммы.



Аудиограмма больного с кондуктивной глуховатостью



Аудиограмма больного с нейросенсорной глуховатостью

По современной классификации снижение слуха различают в зависимости от средней величины снижения порогов слуха, выражаемой в единицах силы звука - *децибелах* (дБ).

Состояние слуха никогда не выражается в процентах.

В классификации децибелы показывают, какой громкости звуки человек не слышит:

- 1) **От 0 до 15 дБ** - нормальный слух. Человек слышит шепотную речь на расстоянии 6-10 метров. Речь обычной громкости - на расстоянии до 30 метров.
- 2) **16-45 дБ** - легкое нарушение или тугоухость I степени. Шепотную речь слышит на расстоянии 4-1,5 м, разговорную речь - 5 м и больше.
- 3) **46-55 дБ** - среднее нарушение или тугоухость II степени. Шепотная речь - 1,5-0,5 м, разговорная - 3-5 м.
- 4) **56-75 дБ** - тяжелое нарушение слуха или тугоухость III степени. Шепотную речь - не слышит, разговорная - 1-3 м.
- 5) **76-90 дБ** - глубокое нарушение или тугоухость IV степени. Разговорная речь - до 1 м или крик ушной раковины.
- 6) **Более 95 дБ** - *глухота*. Человек без звукоусиления не слышит ни шепот, ни разговор.

Виды диагностики слуха

Безусловно-рефлекторная аудиометрия. Данное исследование основано на регистрации рефлекторных реакций организма при предъявлении звуковых сигналов. Применяется для исследования слуха у детей до 1 года.

Условно-рефлекторная аудиометрия. Заключается в одновременном предъявлении звука и света и, таким образом, выработке условного рефлекса. После этого регистрируется реакция на звук без предъявления светового сигнала. Применяется для исследования слуха у детей старше 1 года.

Детская игровая аудиометрия. Игровая аудиометрия применяется для исследования, который позволяет в процессе игры определить состояние слуха у детей.

Исследование слуха живой речью. Выполняется для определения способности пациента слышать и понимать речь собеседника в обычных условиях, а также для подтверждения правильности исследования слуха другими тестами.

Тональная пороговая и надпороговая аудиометрия - определение слуховой чувствительности на звуки различной частоты. В специальной звукозаглушенной камере, на частотах от 125 до 8000 Гц, определяется минимальная интенсивность звука, которая вызывает слуховое ощущение. Исследование проводится с помощью цифрового аудиометра. Надпороговая аудиометрия проводится для более глубокого и точного исследования состояния слухового анализатора. Имеет большое значение для правильного выбора и настройки слуховых аппаратов.

Речевая аудиометрия является основным методом для определения социального и клинического состояния слуха. Может быть использована для подбора и настройки слуховых аппаратов. Исследование проводится путем предъявления заранее записанных на цифровой носитель (CD-диск) тестовых слов и определения их разборчивости. Результаты используются для расчета параметров слуховых аппаратов с целью достижения максимально возможной разборчивости речи.

Объективная аудиометрия по отоакустической эмиссии. Метод основан на регистрации очень слабых звуковых колебаний, которые излучают неповрежденные волосковые клетки внутреннего уха в ответ на акустические стимулы.

Объективная аудиометрия по слуховым вызванным потенциалам – определение состояния структур слухового анализатора на всем его протяжении, начиная от улитки и до слуховой коры головного мозга. Пациенту предъявляются звуковые стимулы и одновременно регистрируется электроэнцефалограмма. Специальная компьютерная обработка записанной электроэнцефалограммы позволяет выделить ²¹ ответы отдельных структур слухового пути и оценить их функцию.

Основи біофізики зору

Демокрит (460 – 370 гг. до н.э.) объяснял зрительное ощущение воздействием попадающих в глаз атомов, которые испускает светящееся тело.

Первое описание строения человеческого глаза дано в работах Галена (130 – 200 гг.). описание очень несовершенно, но в нем уже упоминается зрительный нерв, сетчатка, хрусталик.

Через девять столетий арабский ученый Альхазен (XI в.) первым попытался осмыслить механизм формирования зрительного образа. Он высказал гениальную догадку: каждой точке на видимой поверхности объекта должна соответствовать своя точка внутри глаза, и, следовательно, процесс формирования изображения объекта в глазу складывается из множества элементарных процессов формирования изображений отдельных точек объекта. Но он считал, что точки восприятия находятся не на сетчатке, а на передней поверхности хрусталика. Итальянский художник и естествоиспытатель Леонардо да Винчи (1452 – 1519 гг.) «перенес» точки восприятия с поверхности хрусталика на сетчатку.

Мысль о том, что формируемое на сетчатке глаза изображение является перевернутым, была впервые высказана И.Кеплером в начале XVII в. Кеплер понял также, что хрусталик необходим для аккомодации глаза.

В начале XIX в. Т.Юнг доказал, что механизм аккомодации состоит в изменении кривизны поверхностей хрусталика, то есть его рефракции.

Существенный вклад в физиологическую оптику внес И.Ньютон (XVII в.), заложивший основу для современных работ по цветовому зрению. Широко известны труды Г.Гельмгольца (XIX в.) по физиологии зрения.

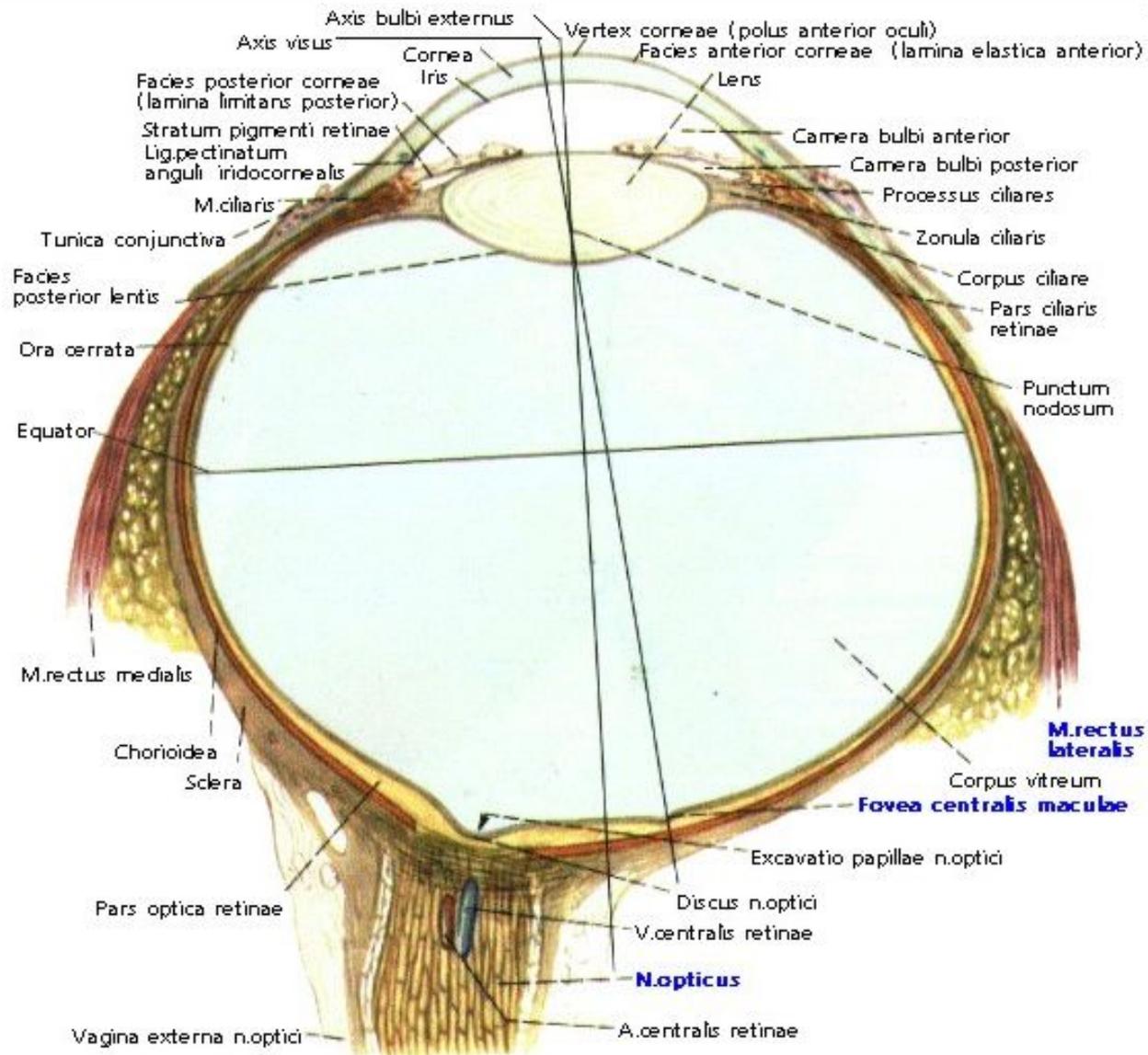
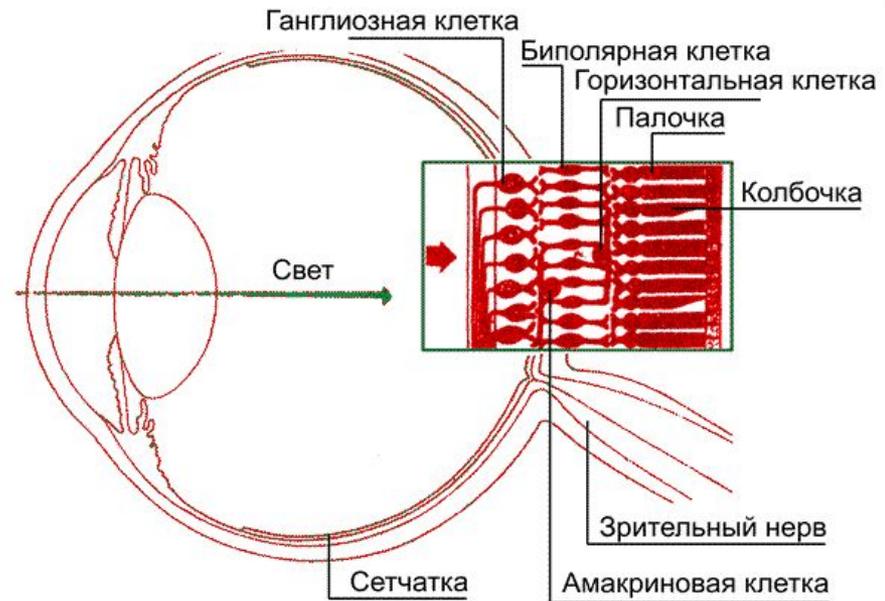
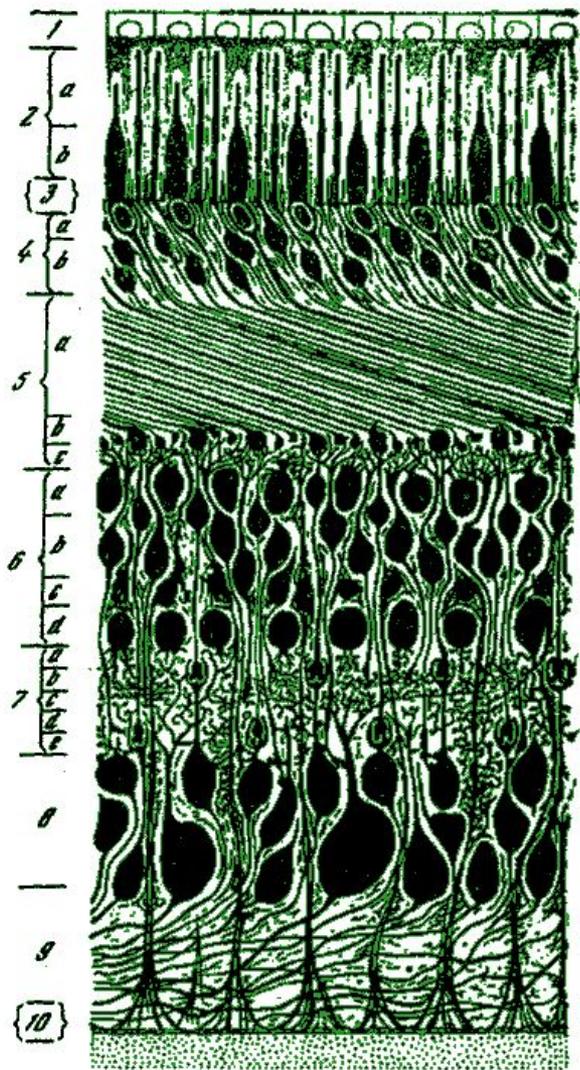


Рисунок – Строение глаза



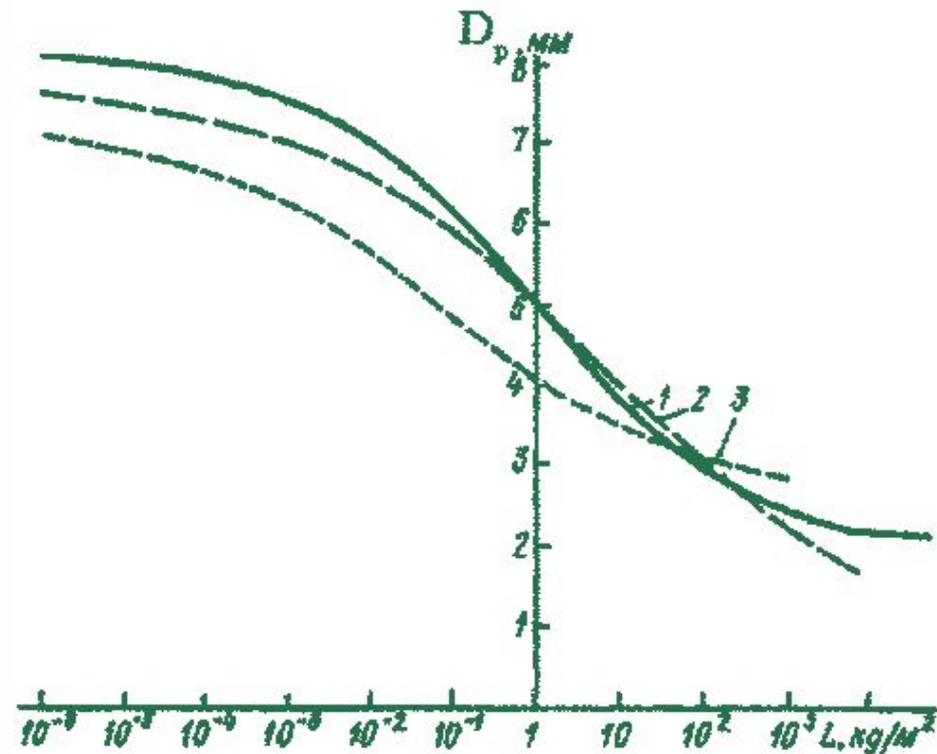
Общее число палочек и колбочек в сетчатке одного глаза достигает примерно 140 млн., из них около 7 млн. колбочек. Их распределение по сетчатке не равномерно. В месте сетчатки, через которое проходит зрительная линия глаза, расположены одни колбочки.

Важнейшей характеристикой оптической системы является диаметр входного зрачка. Зрачок – это отверстие в непрозрачной радужной оболочке, через которое световой поток проникает внутрь глаза. Диаметр входного зрачка глаза D_p – это диаметр наблюдаемого через роговицу изображения истинного зрачка глаза. Изменение диаметра зрачка осуществляется благодаря сокращению одних и расслаблению других мышц радужной оболочки и происходит без участия воли человека.

$$D_p = 5 - 3 \operatorname{th}(0,41 \lg L)$$

где D_p – диаметр зрачка глаза, мм;
 L – яркость фона, кд/м²;
 th – гиперболический тангенс.

Рисунок - Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости фона



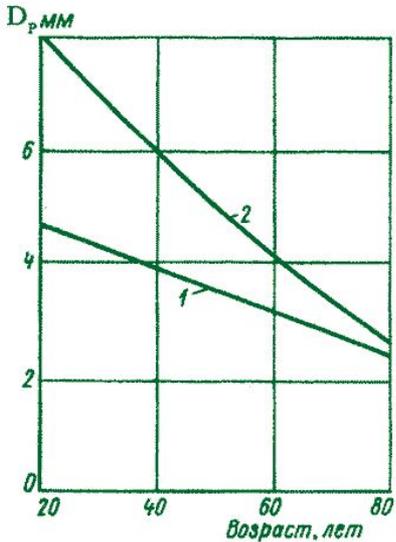


Рисунок - Зависимость диаметра зрачка глаза от возраста:
 1 – фотопическое зрение ($L=5 \text{ кд/м}^2$);
 2 – скотопическое зрение ($L=10^{-2} \text{ кд/м}^2$)

С возрастом диапазон изменений зрачка уменьшается, так как максимальный размер зрачка становится меньше. Зависимость диаметра зрачка от возраста приведена на рис.5.3.

Зрение фотопическое (зрение дневное) - обеспечивается посредством колбочкового аппарата, за счет чего появляется возможность цветоразличия.

Зрение скотопическое (зрение ночное) - обеспечивается посредством палочкового аппарата; при этом воспринимаются только цвета ахроматические, зато светочувствительность весьма высока.

Рефракция глаза **эметропическая** (г. oculi ametropica) — при которой положение заднего главного фокуса оптической системы глаза не совпадает с сетчаткой.

Дальнозоркость (hypermetropia; син.: гиперметропия, рефракция глаза **гиперметропическая**) — аномалия рефракции глаза, при которой главный фокус оптической системы глаза находится позади сетчатки.

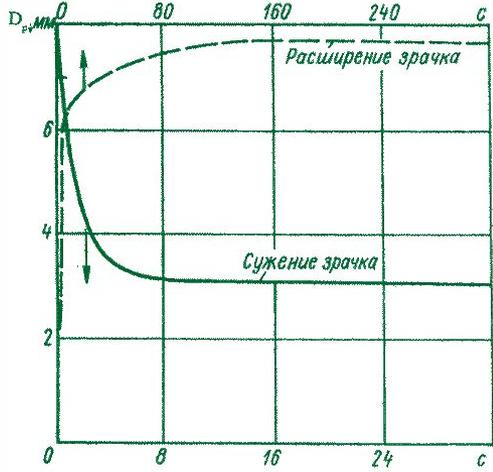


Рисунок - Ход сужения и расширения зрачка (по Ривсу)

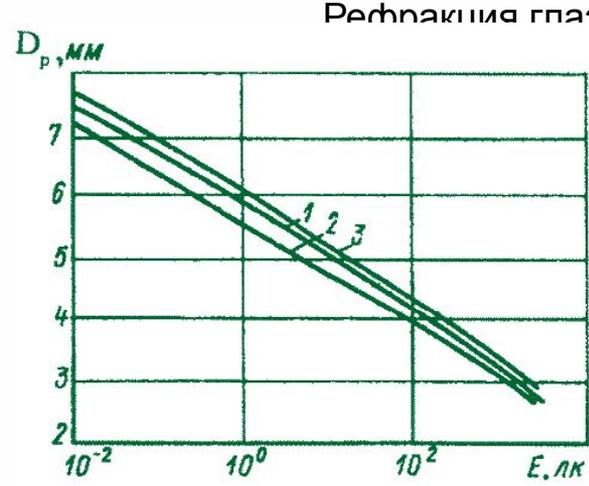


Рисунок - Зависимость диаметра зрачка глаза от освещенности на зрачке:
 1 – эмметроп;
 2 – гиперметроп; 3 – миоп

ккая (г. oculi ...), соразмерная, которой положение заднего главного фокуса оптической системы глаза

Диаметр зрачка зависит от состояния аккомодации и конвергенции: усиление аккомодации и конвергенции влечет за собой сужение зрачка, их ослабление – расширение зрачка (табл. 5.1).

Таблица

| Аккомодация, дптр | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Диаметр зрачка, мм | 5,1 | 4,3 | 3,8 | 3,7 | 3,0 | 2,7 |

Глазу присущ ряд аберраций. Наличие аберраций глаза приводит к тому, что каждая точка предмета изображается в виде пятна с довольно сложным распределением освещенности в нем. На оси системы наблюдаются сферическая и хроматическая аберрации.

Сферическая аберрация глаза обусловлена тем, что лучи, проходящие через периферические зоны зрачка, преломляются сильнее, чем лучи, проходящие через его центральную зону.

Разброс параметров глаза у разных людей велик, меняется даже знак аберраций. Минимальными аберрации становятся при аккомодации на близкие предметы (1 – 2 м). В большинстве глаз имеется отрицательная аберрация.

Ход лучей при наличии сферической аберрации изображен на рис.5.6.

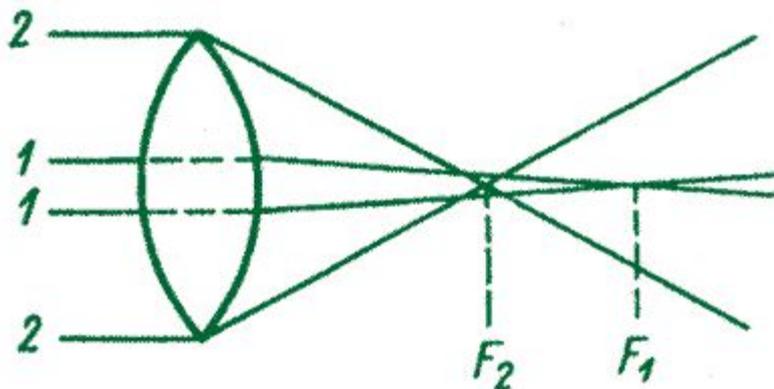


Рисунок - Ход лучей при наличии сферической аберрации

Сферическая аберрация зависит от аккомодации, она как правило, увеличивается с ростом аккомодационного напряжения.

Ход лучей при наличии хроматической аберрации представлен на рис.5.7. Хроматическая аберрация проявляется в том, что падающий на линзу параллельный пучок белого света фокусируется не в одной точке: коротковолновые лучи соберутся ближе к линзе, чем лучи большей длины волны. Это приводит к тому, что изображение белой точки в любой плоскости получается в виде окрашенного пятна. Если фокус синих лучей совместить с сетчаткой, изображение точки будет окружено красным ореолом, и наоборот; хроматическая аберрация зависит от диаметра зрачка глаза, увеличивается вместе с ним.

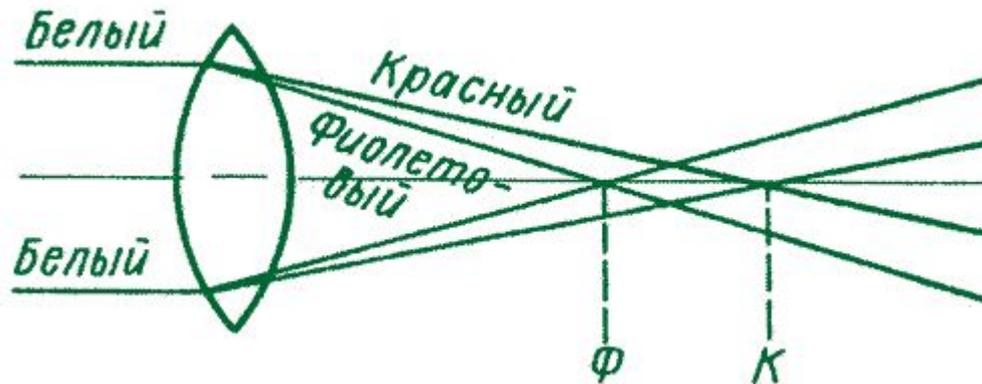


Рисунок 5.7 - Ход лучей при наличии хроматической аберрации

Хроматические аберрации не оказывают существенного влияния на центральное зрение.

Кроме сферической и хроматической аберрации глазу присуща такая аберрация как физиологический астигматизм.

Любой оптической схеме присуща глубина резкости в пространстве изображений, в пределах которой смещения экрана (сетчатки для глаза) не вызывают заметного изменения качества изображения. Офтальмологи эту величину называют глубиной фокусной области.

Глубина фокусной области зависит от диаметра зрачка: чем меньше диаметр, тем больше глубина. Одна из причин наличия глубин фокусной области – это конечная толщина световоспринимающего слоя (примерно 0,06 мм). Это дает значение одной из составляющей глубины фокусной области, равное 0,2 дптр.

Таблица
Влияние диаметра зрачка глаза на глубину фокусной области

| D_p , мм | 8,0 | 7,0 | 6,0 | 5,0 | 4,6 | 3,0 | 2,0 | 1,0 |
|--------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Глубина фокусной области, дптр | 0,3 | 0,32 | 0,36 | 0,40 | 0,48 | 0,60 | 0,88 | 1,70 |

Никакая, даже идеально исправленная на все aberrации оптическая система не может дать точного изображения предмета. Точка никогда не изображается точкой. Причина – неразрывно связанные с волновой природой света дифракционные явления. Точечный источник света изображается на сетчатке не в виде одной четкой точки, а в виде кружка, окруженного рядом concentрических светлых колец убывающей яркости.

Для глаза диаметр центрального светлого кружка для излучения с длиной волны λ зависит от диаметра зрачка D_p и заднего фокусного расстояния f' :

$$\delta = 2,44 \frac{\lambda f'}{n D_p}$$

где n – показатель преломления стекловидного тела.

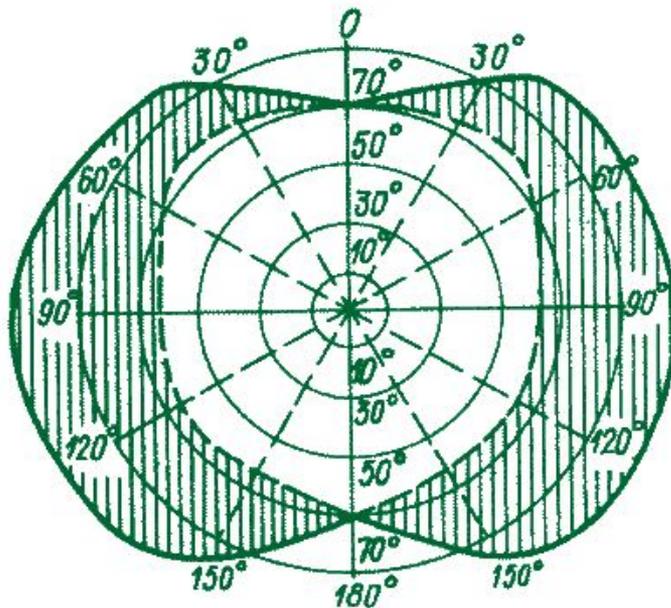
С уменьшением диаметра зрачка диаметр дифракционного кружка светорассеяния увеличивается. Однако при этом сферическая aberrация уменьшается.

Различают: поле зрения неподвижного глаза, бинокулярное поле зрения и поле зрения с учетом возможности вращения глаз.

Поле зрения неподвижного глаза называют пространство, которое одновременно видит глаз (или оба глаза), фиксируя определенную точку неподвижным взором при неподвижном положении головы.

На рис. сплошной линией, переходящей в штриховую, изображено поле зрения каждого из глаз: справа – правого, слева – левого. Белое поле, ограниченное штриховой линией, видимо обоими глазами одновременно, т.е. это бинокулярное поле зрения. Форма его близка к кругу, с диаметром около 70° . Каждый заштрихованный участок поля виден только одним глазом. Сплошная линия очерчивает пространство, одновременно охватываемое двумя глазами – все поле зрения обоих глаз.

Рисунок – Поле зрения
глаз



Для осуществления движения глазодвигательная система производит быстрые скачки – произвольные и непроизвольные, тремор – высокочастотные колебания, медленный дрейф, движения прослеживания и конвергенционно-дивергенционные движения.

ПРОИЗВОЛЬНЫЙ СКАЧОК ГЛАЗА – саккадическое движение – это содружественная реакция обоих глаз. Скачок возникает через 0,2 – 0,3 с после появления объекта.

КОНВЕРГЕНЦИЯ – это поворот зрительных линий внутрь при фиксации предметов, расположенных на конечном расстоянии. Конвергенция требуется при переводе взгляда с далекого объекта на более близкий.

ДИВЕРГЕНЦИЯ – наоборот, с близкого объекта на более далекий. Конвергенция совершается автоматически, непроизвольно, независимо от желания человека. Слияние изображений на сетчатках обоих глаз в единый зрительный образ называют **ФУЗИЕЙ**.

ФИКСАЦИЮ объекта сопровождают три вида движений: дрейф, тремор и непроизвольные скачки.

ДРЕЙФ – сравнительно медленное движение глаз со средней скоростью 6 угл. мин/с при амплитуде от 3 до 30 угл. мин.

ТРЕМОР – мелкие колебания глаз с амплитудой около 1' и частотой от 30 до 90 Гц.

НЕПРОИЗВОЛЬНЫЕ СКАЧКИ или флики – быстрые движения длительностью около 25 мс с амплитудой 2 – 60 угл. мин и скоростью от 3 до 12 град/с в зависимости от амплитуды.

ПРОСЛЕЖИВАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ – плавные, медленные движения глаз – возникают через 0,15 – 0,17 с после появления движущегося объекта и начинаются сразу со скоростью, соответствующей скорости движения объекта.

АККОМОДАЦИЯ – способность глаза перестраиваться в зависимости от расстояния до фокусируемого предмета так, чтобы на сетчатке получилось его четкое изображение в результате произвольного изменения рефракции глаза.

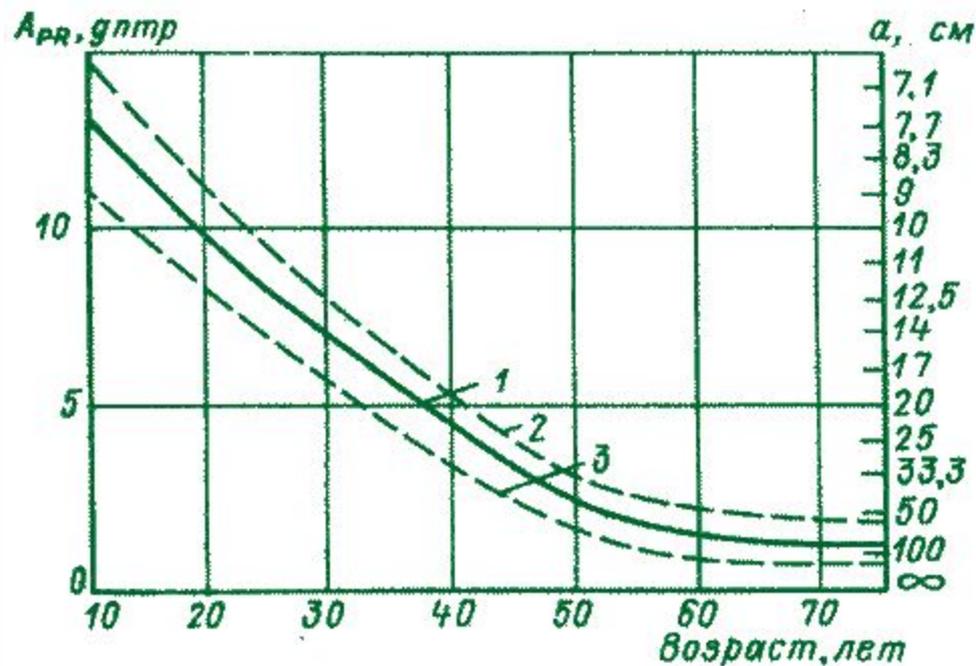


Рисунок - Возрастные изменения аккомодации: 1 – среднее значение объема аккомодации; 2, 3 – диапазон изменений объема аккомодаций

Возрастные изменения объема аккомодации

Таблица

Возрастные изменения объема аккомодации

| Возраст | Объем аккомодации, дптр | |
|---------|-------------------------|-----------------------------------|
| | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение |
| 10 | 13,1 | 2,0 |
| 12 | 12,5 | 2,0 |
| 14 | 11,7 | 2,0 |
| 16 | 10,8 | 2,0 |
| 18 | 10,1 | 2,0 |
| 20 | 9,7 | 1,5 |
| 22 | 9,1 | 1,5 |
| 24 | 8,5 | 1,5 |
| 26 | 8,0 | 1,5 |
| 28 | 7,4 | 1,5 |
| 30 | 6,9 | 1,5 |
| 32 | 6,3 | 1,5 |
| 34 | 5,8 | 1,5 |
| 36 | 5,3 | 1,5 |
| 38 | 4,8 | 1,5 |

| Возраст | Объем аккомодации, дптр | |
|---------|-------------------------|-----------------------------------|
| | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение |
| 40 | 4,5 | 1,0 |
| 42 | 3,8 | 1,0 |
| 44 | 3,4 | 1,0 |
| 46 | 2,8 | 1,0 |
| 48 | 2,3 | 1,0 |
| 50 | 2,0 | 0,7 |
| 52 | 1,7 | 0,7 |
| 54 | 1,6 | 0,7 |
| 56 | 1,5 | 0,7 |
| 58 | 1,4 | 0,5 |
| 60 | 1,3 | 0,5 |
| 64 | 1,3 | 0,5 |
| 65 | 1,2 | 0,5 |
| 70 | 1,2 | 0,5 |
| 75 | 1,2 | 0,5 |

Острота зрения – функция, обеспечивающая возможность обнаруживать объекты, определять их форму и взаимное расположение в поле зрения. Острота зрения V – величина, обратная предельному углу разрешения между двумя объектами, которые глаз еще может воспринимать раздельно.

В основе остроты зрения лежит контрастная чувствительность глаза. Если яркостный контраст ниже порогового контраста, то объекты неразличимы независимо от их размеров и в этом случае $V = 0$.

Острота зрения определяется по таблицам с тестовыми знаками - таблица тестов Головина-Сивцева, состоящая из двух частей: одна содержит ряд строк с печатными буквами русского алфавита, другая – с кольцами Ландольта.

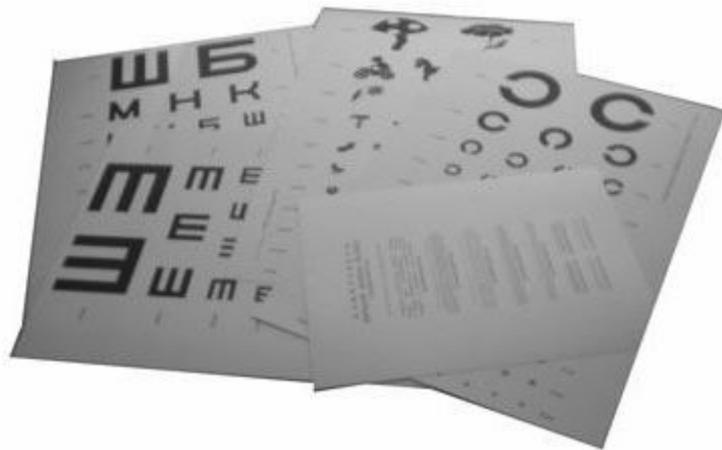


Рисунок - Таблица Головина-Сивцева

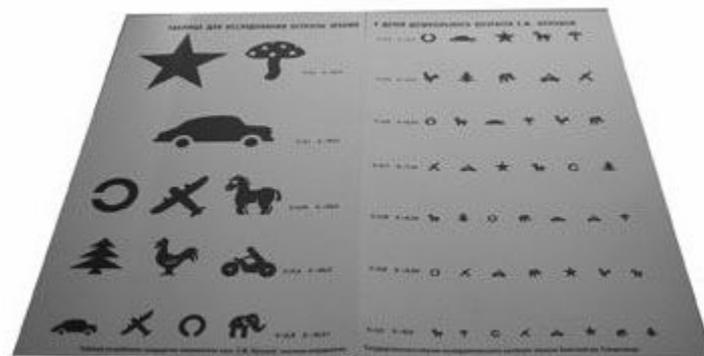


Рисунок - Таблица Орловой

Глаз чувствителен к свету в диапазоне длин волн от 380 до 760 нм, максимум световой чувствительности глаза смещается по спектру в зависимости от уровня освещенности, что объясняется наличием колбочкового и палочкового аппаратов глаза.

При дневном (фотопическом – от греч. *photas* – свет + *ops* – глаз) зрении с участием только колбочек максимум световой чувствительности соответствует $\lambda = 555$ нм, при ночном (скотопическом – от греч. *skotos* – темнота + *ops* – глаз) зрении с участием только палочек максимум чувствительности смещается в коротковолновую область: $\lambda = 507$ нм.

Явление Пуркинье: при сумеречном освещении синие и зеленые предметы кажутся более светлыми, чем красные и желтые.

Чувствительность глаза к излучению различных длин волн характеризуется функцией видности $V(\lambda)$ – относительной спектральной световой эффективностью излучения. Эта величина нормирована: за единицу принята чувствительность $V(\lambda)$ при длине волны λ , соответствующей максимальной чувствительности глаза.

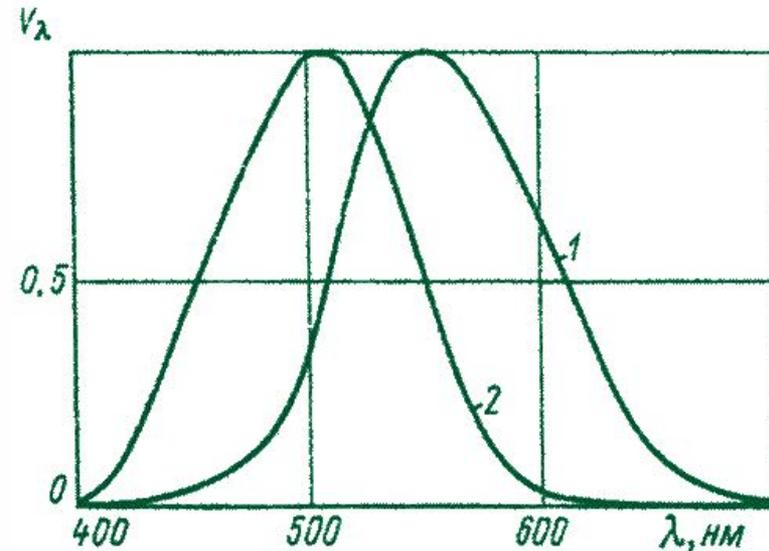
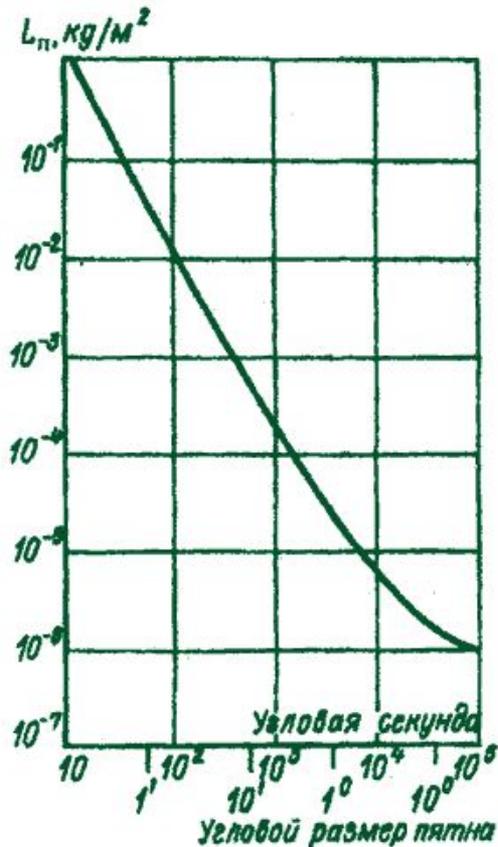


Рисунок - Кривые спектральной чувствительности глаза для дневного (1) и ночного (2) зрения

Абсолютным световым порогом называют минимальную обнаруживаемую яркость светового пятна при отсутствии светового фона в условиях полной темновой адаптации. Абсолютный световой порог глаза в условиях полной темновой адаптации при достаточно большом размере светового пятна ($\gamma \geq 50'$) $L_{п} \approx 10^{-6}$ кд/м².

Величина, обратная абсолютному световому порогу, называется **абсолютной световой чувствительностью**.



Если объект – круг диаметром r и яркостью L , а его сила света $I = \pi r^2 L$, то освещенность E на зрачке наблюдателя, находящегося на расстоянии R , вычисляется по формуле:

$$E = I/R^2 = \pi r^2 L/R^2$$

Рисунок - Зависимость пороговой яркости объекта $L_{п}$ от его углового размера

Адаптация – биологическая способность приспособливаться (адаптироваться) к различным режимам работы. Благодаря этому зрительная система работает в широком диапазоне яркостей: 10^{-6} – 10^5 кд/м².

Различают две разновидности адаптации:

темновую адаптацию, возникающую при уменьшении яркости фона от некоторого значения $L_{пр}$, называемой яркостью предадаптации, до значительно более низкого уровня яркости (в пределе до 10^{-6} кд/м², т.е. практической темноты).

световую адаптацию, возникающую при увеличении яркости от малого ее значения (10^{-6} кд/м²) до некоторого высокого уровня L_a .

Максимальной световой чувствительностью обладает зрительный анализатор после длительного пребывания в темноте. Во время пребывания на свету чувствительность уменьшается в результате процессов, обратных тем, которые происходят при темновой адаптации.

Ход темновой адаптации зависит от целого ряда факторов. На рис.5.14 показана типичная кривая темновой адаптации (t – время темновой адаптации).

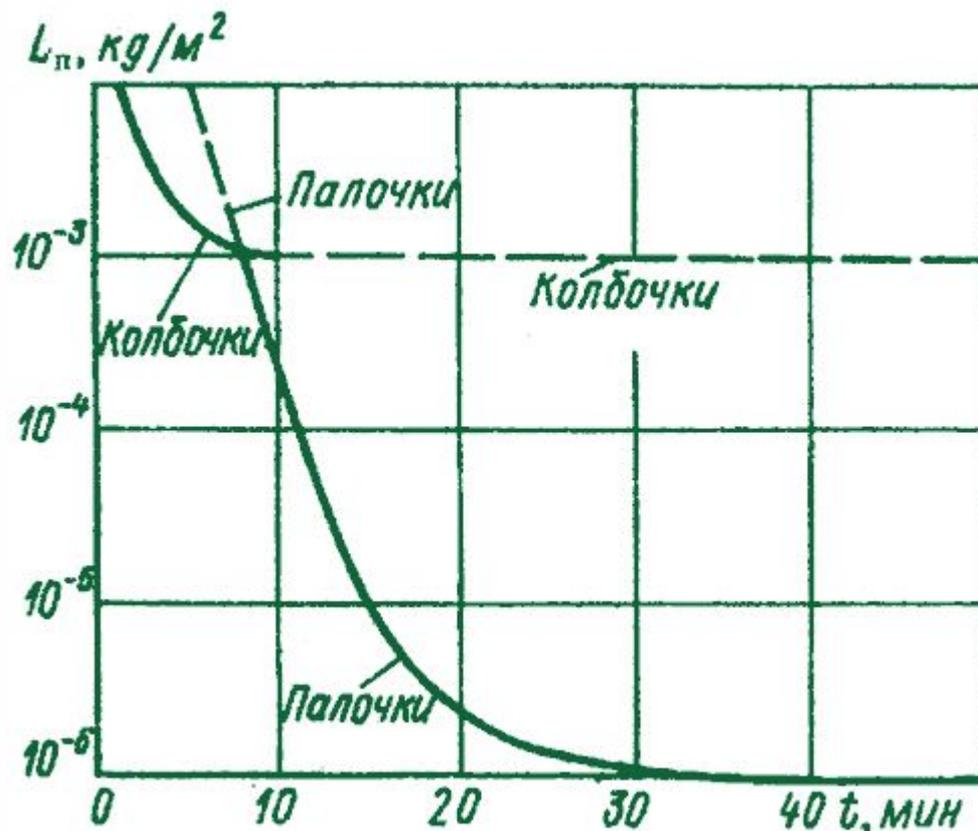


Рисунок - Кривая темновой адаптации при высоком уровне засветки

На световую чувствительность оказывают влияние различные факторы. На рис.5.16 показана зависимость световых порогов от возраста. На световую чувствительность оказывают существенное влияние и условия питания (особенно недостаток витамина А). Наиболее часто встречающимся расстройством светоощущения является **гемералопия** (от греч. *hetera* – день + *alao* – слепой + *ops* – зрение) понижение различительной чувствительности в сумерках и ночью. При гемералопии темновая адаптация заметно ослаблена или вовсе отсутствует.

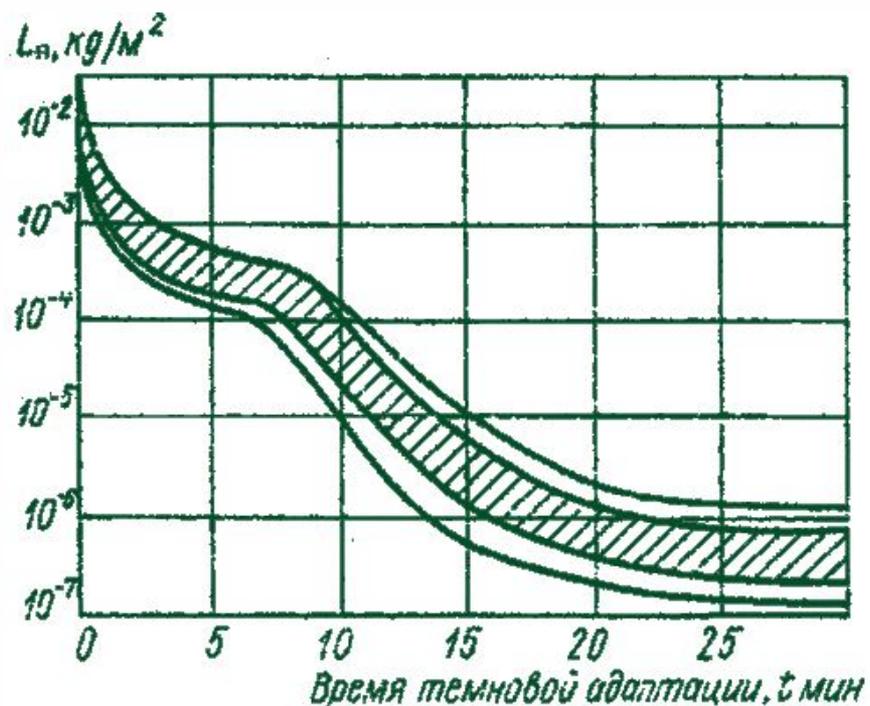


Рисунок - Диапазон изменения световых порогов

Отношение разности яркостей объекта и фона к яркости фона называют контрастом объекта с фоном или просто контрастом, а минимальный еще воспринимаемый контраст – **пороговым контрастом**. Контраст K определяют по формуле:

$$K = \frac{\Delta L}{L_{\phi}} = \frac{L_{\phi} - L}{L_{\phi}}$$

где L_{ϕ} – яркость фона;
 L – яркость объекта.

Пороговое значение контраста $K_{\text{п}}$ - зависит от углового размера объекта γ , яркости фона и времени наблюдения.

Величина, обратная минимальному пороговому контрасту, называется контрастной чувствительностью S : $S = 1/K_{\text{п}}$. Максимальное значение контрастной чувствительности определяется предельно возможным пороговым контрастом с неограниченным угловым размером объекта в условиях оптимальной яркости $L \geq 350 \text{ кд/м}^2$

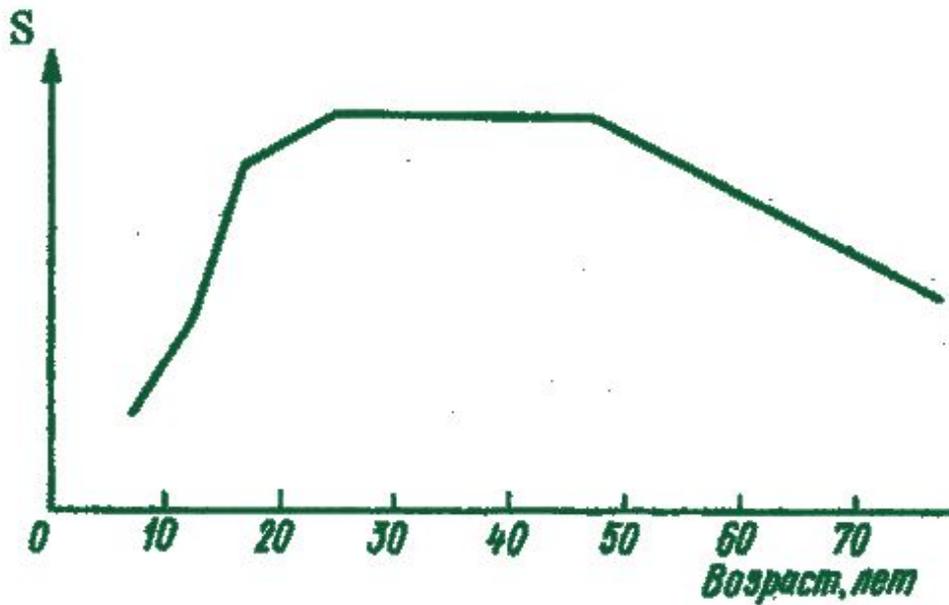


Рисунок - Изменение контрастной чувствительности глаза в зависимости от возраста

Различают два пороговых контраста: порог исчезновения $K_{п.исч.}$ – минимальный контраст объекта на пороге его исчезновения и порог появления $K_{п.появ.}$ – минимальный контраст объекта на пороге его появления. При этом примерно $K_{п.появ.} = 2K_{п.исч.}$. Часто за пороговый контраст принимают среднее значение $K_{п} = (K_{п.появ.} + K_{п.исч.})/2$.

Граница раздела между объектом и фоном также влияет на контрастную чувствительность: чем ближе друг к другу сравниваемые объекты, тем меньше пороговый контраст. Если линия раздела между сравниваемыми объектами не резкая, а образована полосой постепенного перехода от одной яркости к другой, то пороговый контраст увеличивается

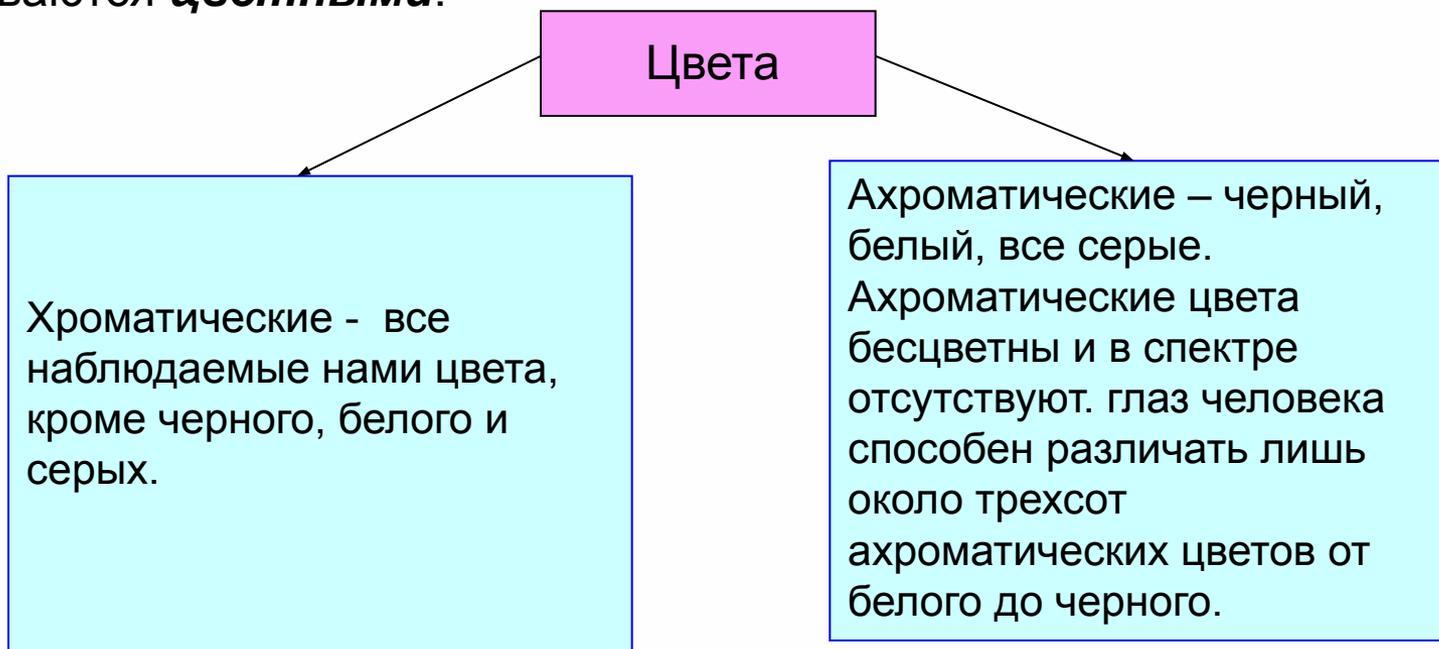
Цвет – это один из признаков или свойств света. Цвет – это свойство видимого излучения, определяемое по вызываемому им у человеческого глаза ощущению.

Если излучение имеет сложный состав и содержит в себе все длины волн, т.е. имеет сплошной спектр, то глаз получает впечатление белого света.

Поверхности, не изменяющие спектрального состава падающего на них облучения и имеющие коэффициент отражения не менее 85% , называются **белыми**.

Среды, через которые световой поток проходит, не меняя своего спектрального состава, называются **безцветными**.

Тела и среды, обладающие избирательным отражением или пропусканием, имеют при освещении белым светом ту или иную окраску и называются **цветными**.



Любой цвет может быть определен тремя характеристиками: цветовым тоном λ , чистотой (насыщенностью) P и яркостью L (светлотой).

Под **цветовым тоном** понимается то качество цвета, которым он отличается от ахроматического; цветовой тон характеризуется доминирующей длиной волны. Ахроматические цвета цветового тона не имеют.

Под **чистотой (насыщенностью)** понимают степень разбавления данного цвета белым. Чем меньше белого примешано к основному тону, тем больше его чистота. Чистотой цвета называется отношение яркости L_λ монохроматической составляющей к полной яркости ее смеси с белым светом, т.е.

$$P = \frac{L_\lambda}{L} = \frac{L_\lambda}{L_\lambda + L_\sigma}$$

где L_σ – яркость белой составляющей смеси.

Все ахроматические цвета имеют чистоту цвета, равную нулю.

Цветовой тон λ и чистота (насыщенность) цвета P совместно определяют **цветность цвета**. Для оценки цвета, кроме цветности, необходимо указать и его **яркость**, которая является количественной характеристикой цвета.

Можно сказать, что два цвета равны, если они имеют одинаковые цветность и яркость.

Восприятие цвета осуществляется колбочковым аппаратом сетчатки. Пигменты колбочек трех типов имеют максимумы поглощения в области 560, 530 и 430 нм; поэтому разные колбочки условно называют «красными» (R, red, rot), «зелеными» (G, green, drun) и «голубыми» (B, blue, blau).

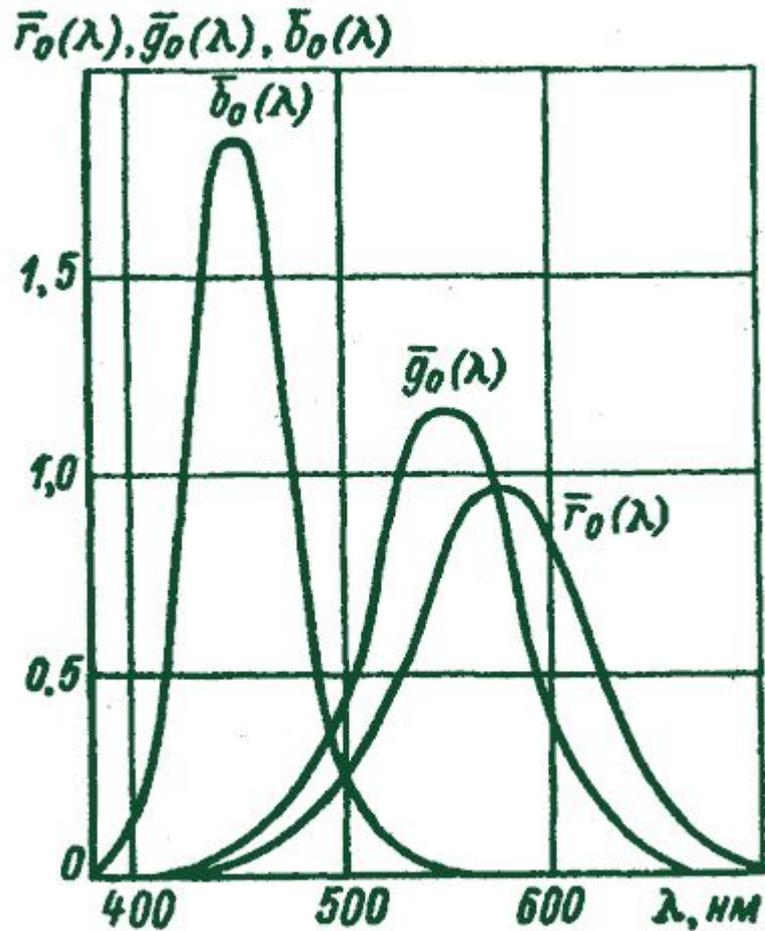


Рисунок - Кривые спектральной чувствительности трех типов колбочек