

Органы чувств (Сенсорные системы)

Сенсорные (по И.П.Павлову - *анализаторные*) системы воспринимают и обрабатывают раздражители самой разной модальности.

Издревле выделяли пять основных видов чувственного ощущения: глаз - видит, ухо - слышит, кожа - ощущает, язык - различает вкус, нос - обоняет.

К указанным выше необходимо добавить как минимум еще три: сенсорную систему восприятия положения тела, его отдельных частей в пространстве (проприорецепцию); интероцепцию - наличие во внутренних органах различных рецепторов, воспринимающих давление, растяжение, химические раздражители; болевую чувствительность (ноцицепцию).

Общий принцип строения сенсорных систем

- Начинаются они *рецепторами* – нервными окончаниями чувствительных (афферентных) нейронов.
- Тела афферентных нейронов в различных отделах ЦНС образуют *ядерные скопления* (не менее трех):
 - а) в спинном мозге или стволе мозга,
 - б) таламусе,
 - в) в коре больших полушарий.

Функции рецепторов

- Физиологическое назначение *рецепторов* заключается в восприятии раздражения и преобразования его в потоки нервных импульсов.
- В связи с тем, что раздражители внешней или внутренней среды имеют самую разнообразную природу, а нервные центры "понимают" лишь один язык - нервный импульс (ПД), то наиболее важной из функций рецептора является преобразование различной модальности раздражения в ПД, то есть *кодирование*.

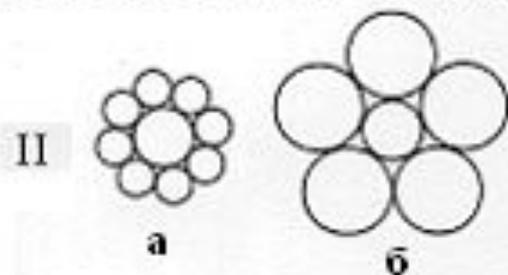
Специфичность рецепторов

- В механизме кодирования информации важнейшую роль играет свойство специфичности рецепторов. В процессе эволюции произошла дифференцировка рецепторов в плане резкого повышения чувствительности к конкретному раздражителю. Особенно высок уровень специализированной чувствительности у дистантных рецепторов.
- Рецептор воспринимает "свой" адекватный раздражитель, даже если он имеет очень низкий уровень энергии. Наибольшей чувствительностью обладает зрительный анализатор: рецепторы глаза в условиях абсолютной темноты могут воспринимать свет с энергией $1 \cdot 10^{-17}$ - 10^{-18} Вт, то есть на уровне действия 1-2 квантов.

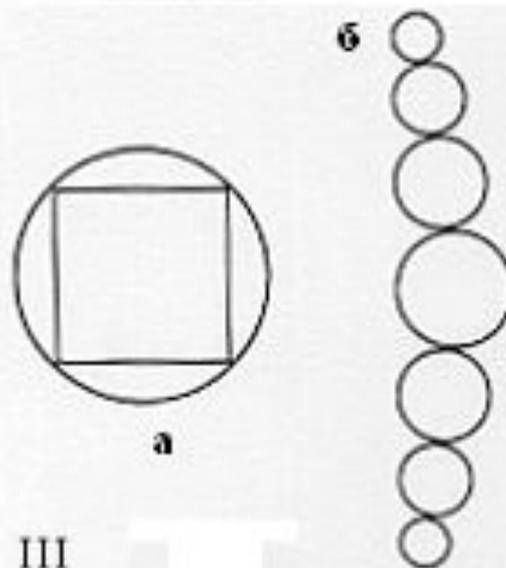
Всегда ли можно полностью доверять сенсорным системам?



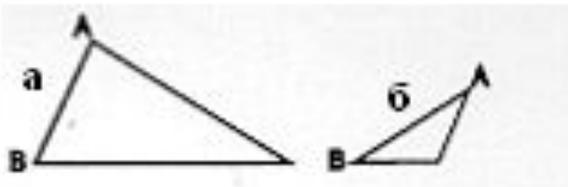
Изменение расстояния между объектами



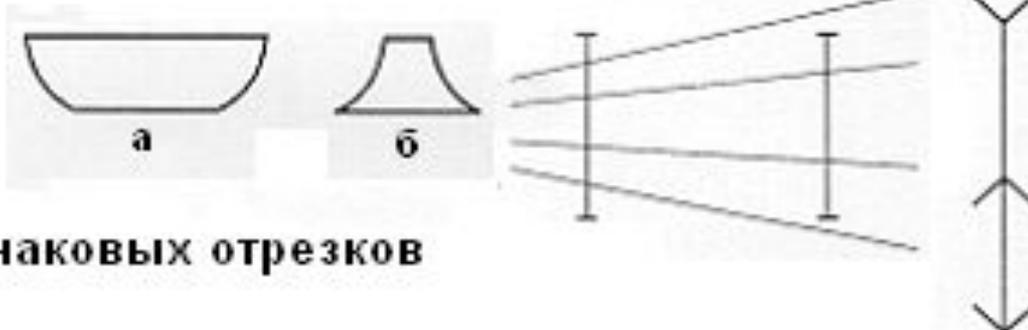
Изменение диаметра окружности



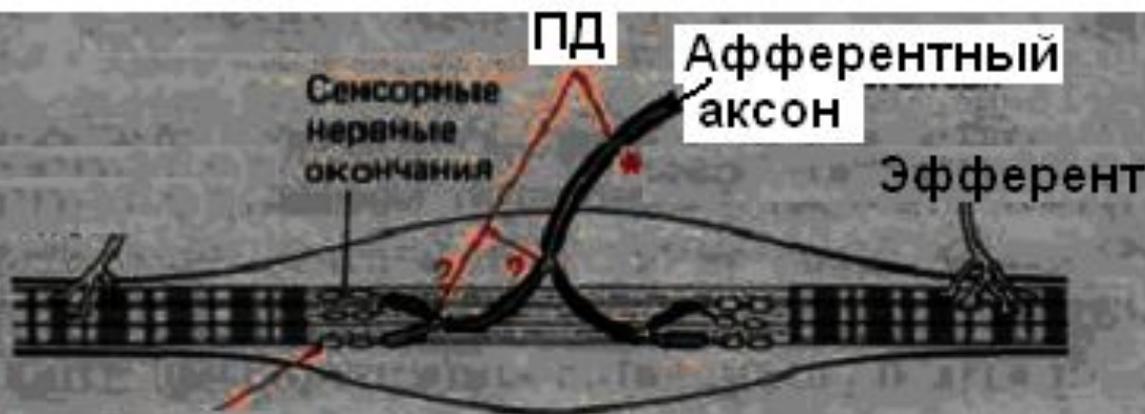
Изменение кривизны (а) и прямой линии (б)



Изменение длины одинаковых отрезков



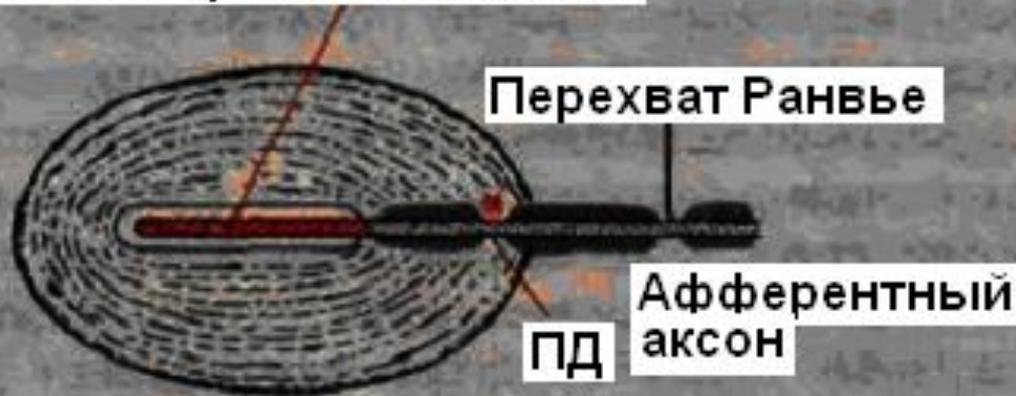
Первично-(а,б) и вторично- чувствующие (в) рецепторы



Рецепторный потенциал

А

Рецепторный потенциал



Перехват Ранвье

Афферентный аксон

ПД

Б

Рецепторная клетка Эфферентный аксон



Рецепторный потенциал

Афферентный аксон

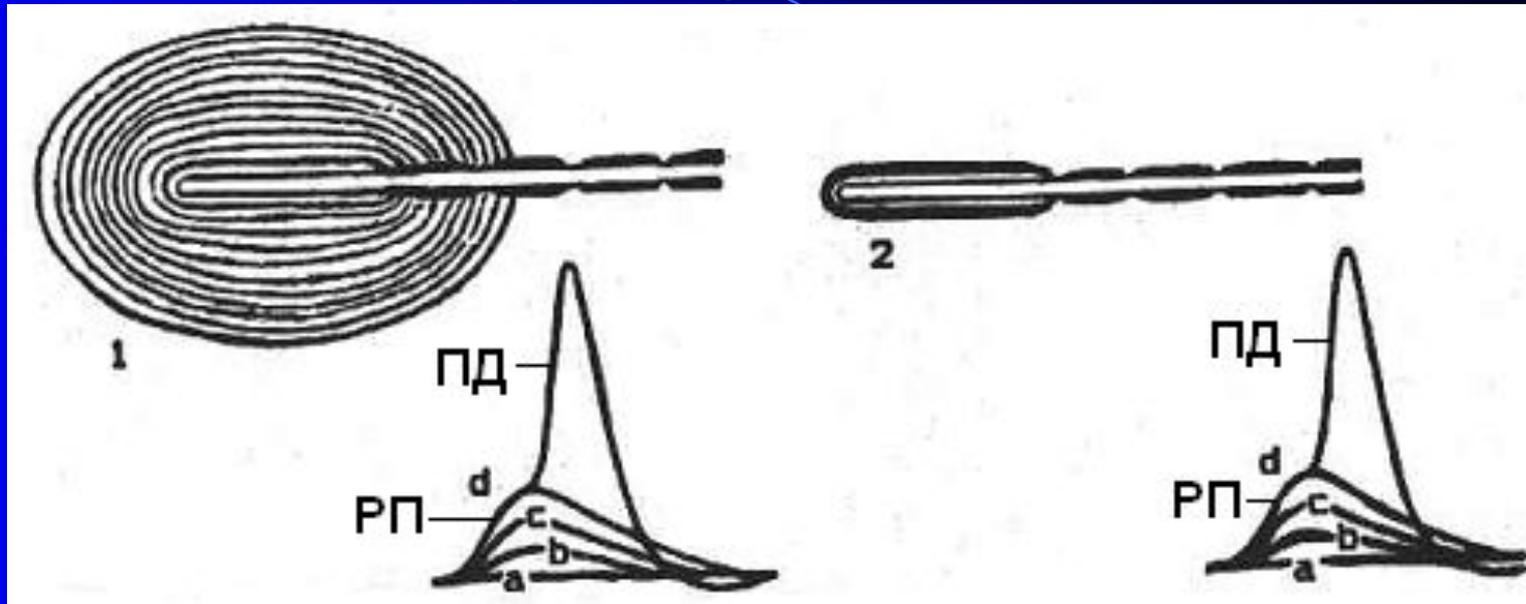
ПД

Постсинаптический потенциал

В

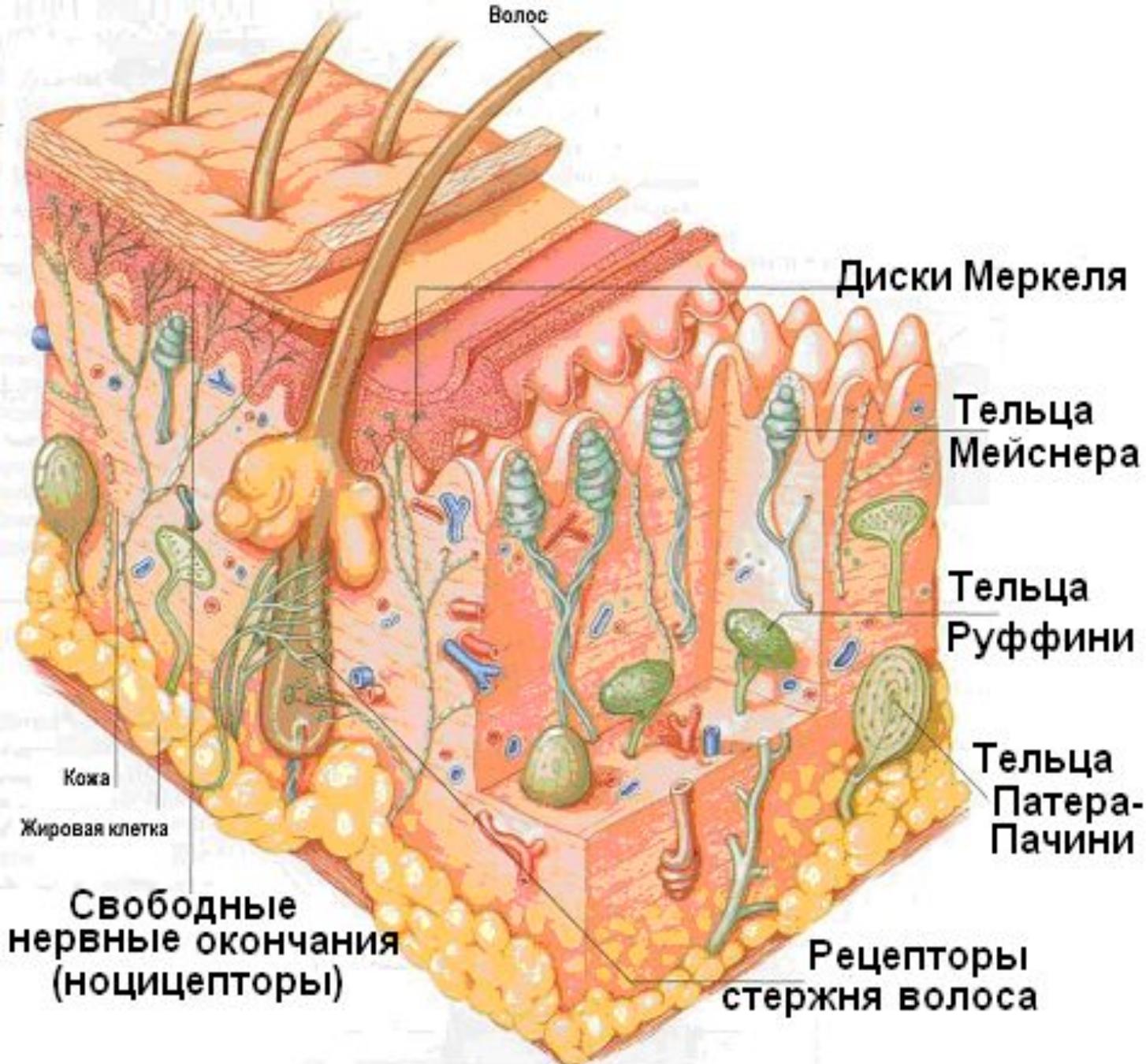
- В первичных рецепторах под влиянием раздражителя возникает РП.
- ПД возникает в следующем перехвате Ранвье.

Суммация РП (появление ПД) в первичночувствующих рецепторах

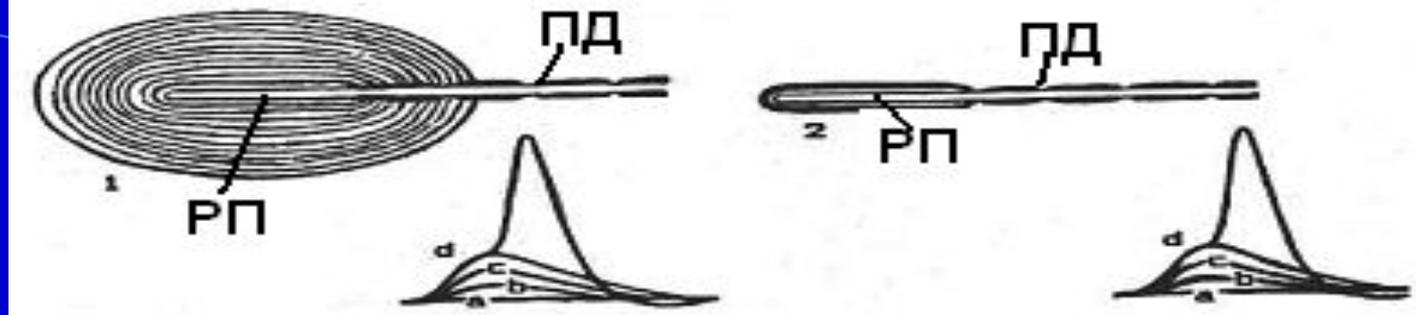


- *a* - при отсутствии раздражителя, *b*, *c*, *d* - при возрастании интенсивности действующего раздражителя.

Расположение рецепторов в коже



РП и ПД

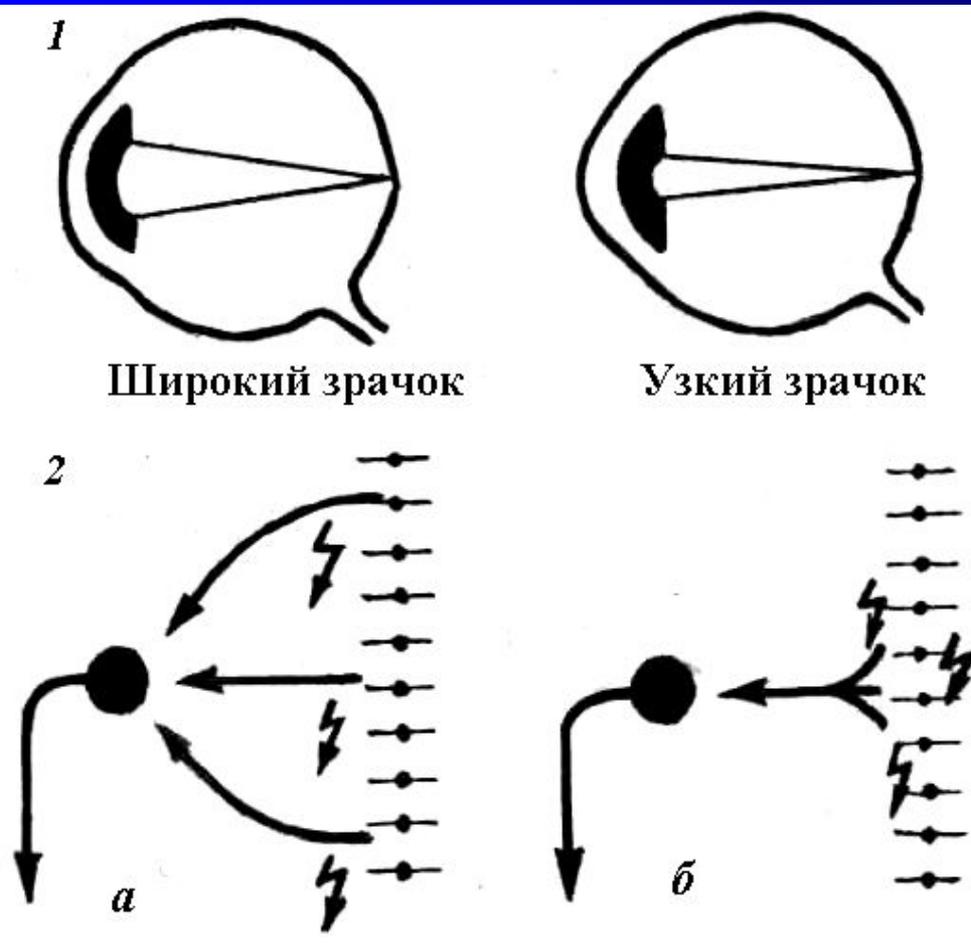


- При механическом воздействии на кожу, а тем самым и на нервное окончание, происходит *деформация* его мембраны. В результате в этом участке проницаемость мембраны для Na^+ возрастает.
- Поступление этого иона приводит к возникновению рецепторного потенциала (РП), обладающего всеми свойствами местного потенциала.
- Его суммация обеспечивает возникновение потенциала действия (ПД) в соседнем перехвате Ранвье. Только после этого ПД распространяется центростремительно без уменьшения амплитуды (декремента).

Рецепторные клетки

- Эти клетки через синапс контактируют с окончанием афферентного нейрона. Рецепторный потенциал (РП) возникает в рецепторных клетках. Появление РП приводит к выделению содержащегося в них медиатора из рецепторной клетки в синаптическую щель, которая расположена между рецепторной клеткой и окончанием чувствительного нейрона. Под влиянием медиатора возникает местный, так называемый, *генераторный потенциал* (ГП), который затем при суммации переходит в ПД, проводящийся по нейрону.
- Вторичночувствующими рецепторами являются: зрительный, слуховой, вестибулярный, вкусовой.

Адаптация рецепторов

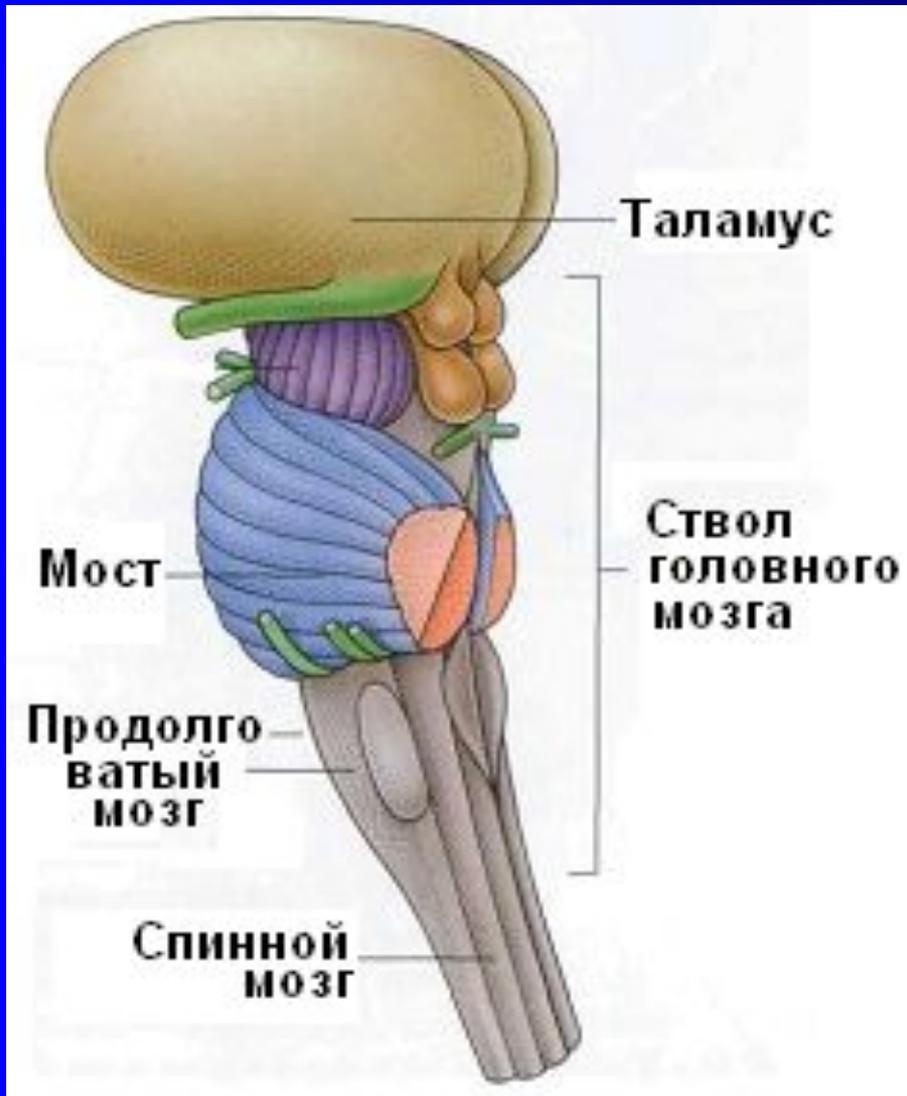


- Активность рецептора не постоянна, она меняется.
- Адаптация – изменение чувствительности рецептора при действии различных по силе и продолжительности раздражителей.

Адаптация тактильных рецепторов

- Среди механорецепторов кожи имеются *быстро и медленно адаптирующиеся рецепторы*. К примеру, благодаря свойству адаптации кожных рецепторов человек вскоре после одевания перестает замечать наличие на себе одежды. Но стоит "вспомнить" о ней, как благодаря повышению чувствительности рецепторов, мы вновь начинаем ощущать себя "одетыми".

СТВОЛ МОЗГА



- Ствол мозга, с одной стороны, является таким же, как и спинной мозг, *Мист* **сегментарным** отделом для чувствительной импульсации, приходящей сюда по соответствующим черепномозговым нервам. С другой стороны, через ствол мозга проходит восходящая афферентация от спинного мозга, часть которой здесь прерывается и образует скопление нейронов - **ядра**.

Сенсорные функции ствола мозга

- Кроме того, в ствол мозга поступает импульсы от *зрительной и слуховой* сенсорных систем, которые здесь начинают анализироваться. Они могут участвовать как в формировании многих рефлекторных ответов, так и их контроле.
- Сюда же поступают афферентные волокна от рецепторов внутренних органов грудной и брюшной полости, полости рта, трахеи, гортани, пищевода. Эти афференты участвуют в выполнении множества *рефлекторных реакций внутренних органов* на различные раздражители внутренней и внешней среды, обеспечивая регуляцию дыхания, кровообращения, пищеварения и т.д.

Таламус

- Таламус является своеобразным коллектором сенсорных путей, куда поступают почти все виды чувствительности (исключение составляет часть обонятельных путей, которые достигают коры больших полушарий, минуя таламус).
- В *таламусе* выделяют *более 40 пар ядер*, подавляющее большинство которых получает афферентацию по различным чувствительным путям. Между всеми нейронами таламуса имеется широкая сеть контактов, обеспечивающая как обработку информации от отдельных специфических сенсорных систем, так и межсистемную интеграцию.

Связи ядер таламуса

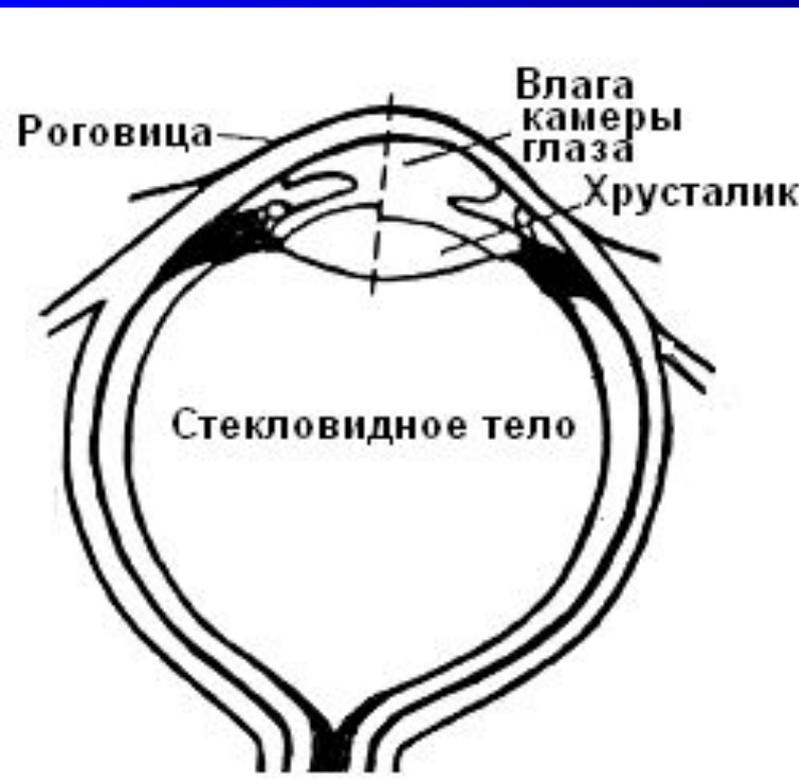
- 1. *Специфические ядра переключения* (релейные). Эти ядра получают афференты от трех основных сенсорных систем - соматосенсорной, зрительной, слуховой и переключают их к соответствующим зонам коры больших полушарий.
- 2. *Неспецифические ядра*. Получают афференты от всех органов чувств, а также от ретикулярной формации ствола мозга, гипоталамуса. Отсюда посылается импульсация во все зоны коры (как к сенсорным отделам, так и к другим частям), а также к лимбической системе (ответственной за эмоциональное поведение). Эти образования таламуса выполняют функции, сходные с ретикулярной формацией ствола мозга, и относятся к единой ретикулярной формации мозга.

Связи таламуса (б)

- 3. *Ядра с ассоциативными функциями* (филогенетически наиболее молодые). Получают афферентацию от ядер самого таламуса, выполняющих вышеуказанные специфические и неспецифические функции. После предварительного анализа информация от этих ядер направляется к тем отделам коры больших полушарий, которые выполняют ассоциативные функции.
- 4. *Ядра, связанные с моторными зонами коры, релейные несенсорные*. Они получают афферентацию от мозжечка, базальных ядер переднего мозга и передают ее к моторным зонам коры, то есть тем отделам, которые участвуют в формировании осознанных движений.

Оптические и жидкостные среды

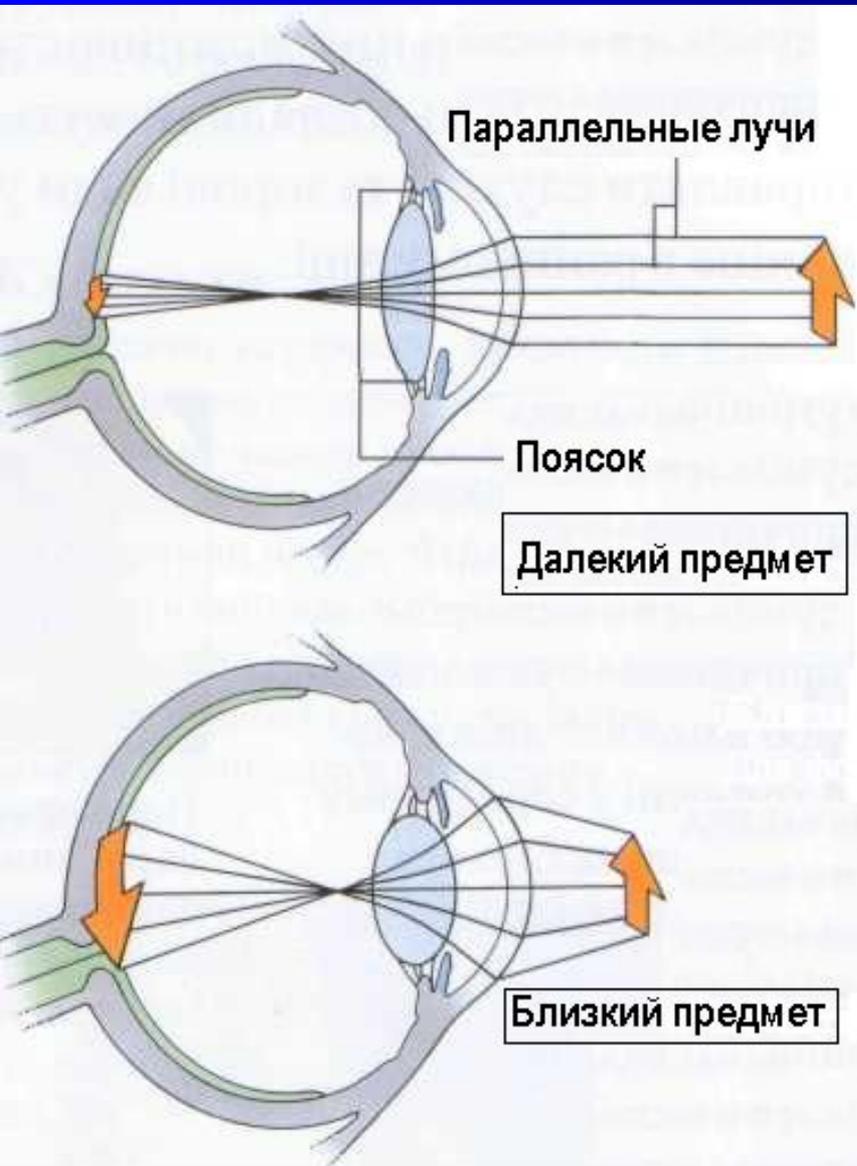
глаза



Прежде чем световая волна достигнет рецепторных клеток, расположенных в сетчатке, луч света проходит через *роговицу, влагу передней камеры глаза, хрусталик и стекловидное тело*, составляющие *оптическую систему*. Она преломляет световые лучи и фокусирует их на сетчатке.

Суммарная преломляющая сила глаза молодого человека составляет 59 D при рассматривании далеких предметов и $70,5\text{ D}$ - при рассматривании находящихся вблизи.

Рефракция



- Преломление происходит в связи с тем, что луч света с различной скоростью проходит через данные среды и воздух. Если скорость света в воздухе составляет 300.000 км/с , то в средах глаза она снижается почти до 200.000 км/с .
- В результате на поверхности двух сред происходит преломление света - *рефракция*. Границы каждой из сред действуют как линзы.

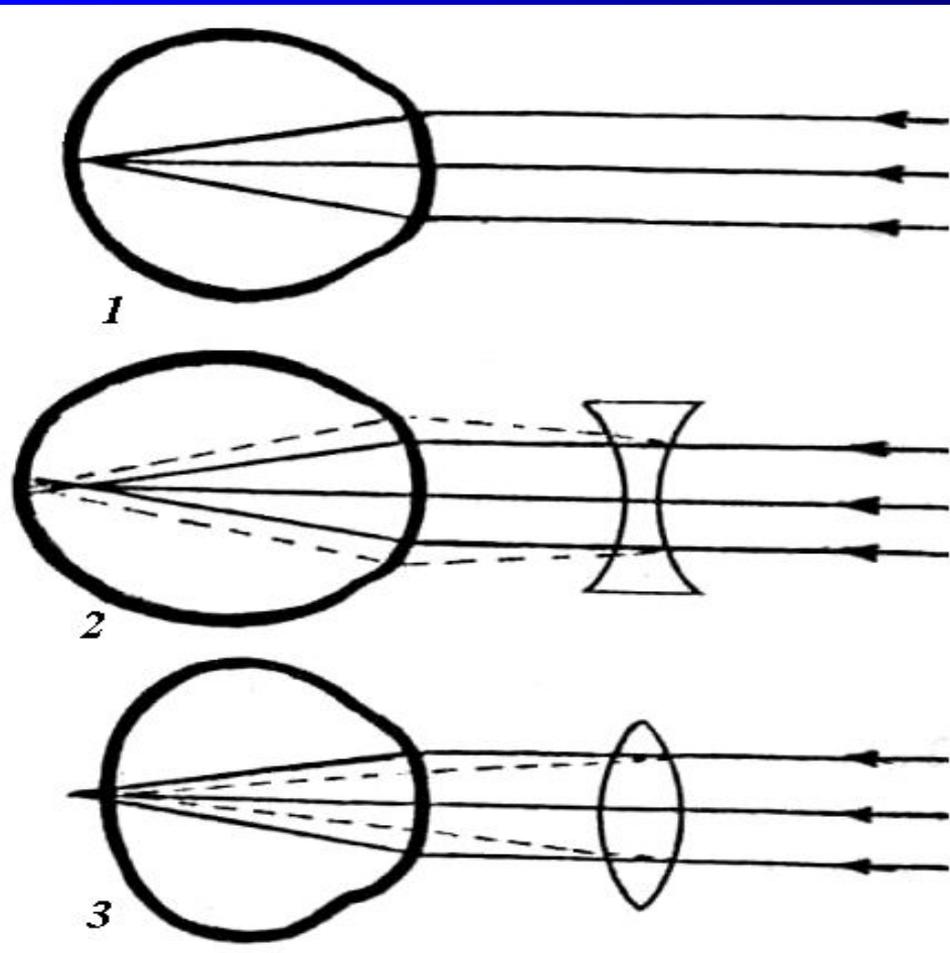
Аккомодация

- Для ясного видения предмета необходимо, чтобы лучи от отдельных точек его были сфокусированы на сетчатке. Эту функцию выполняют глазные мышцы, поворачивающие глаз, и преломляющие среды глаза. В обычных условиях преломляющая сила глаза молодого человека обеспечивает *фокусировку лучей*, поступающих от далеко расположенного предмета, на сетчатке.
- Близкие предметы при этом видны расплывчато, так как лучи от них сходятся за сетчаткой. Для того чтобы ясно видеть близкие предметы, необходимо увеличить преломляющую силу глаза.
- Отсюда становится понятным, почему одновременно нельзя ясно видеть далекие и близкие предметы.

Оптические несовершенства глаза

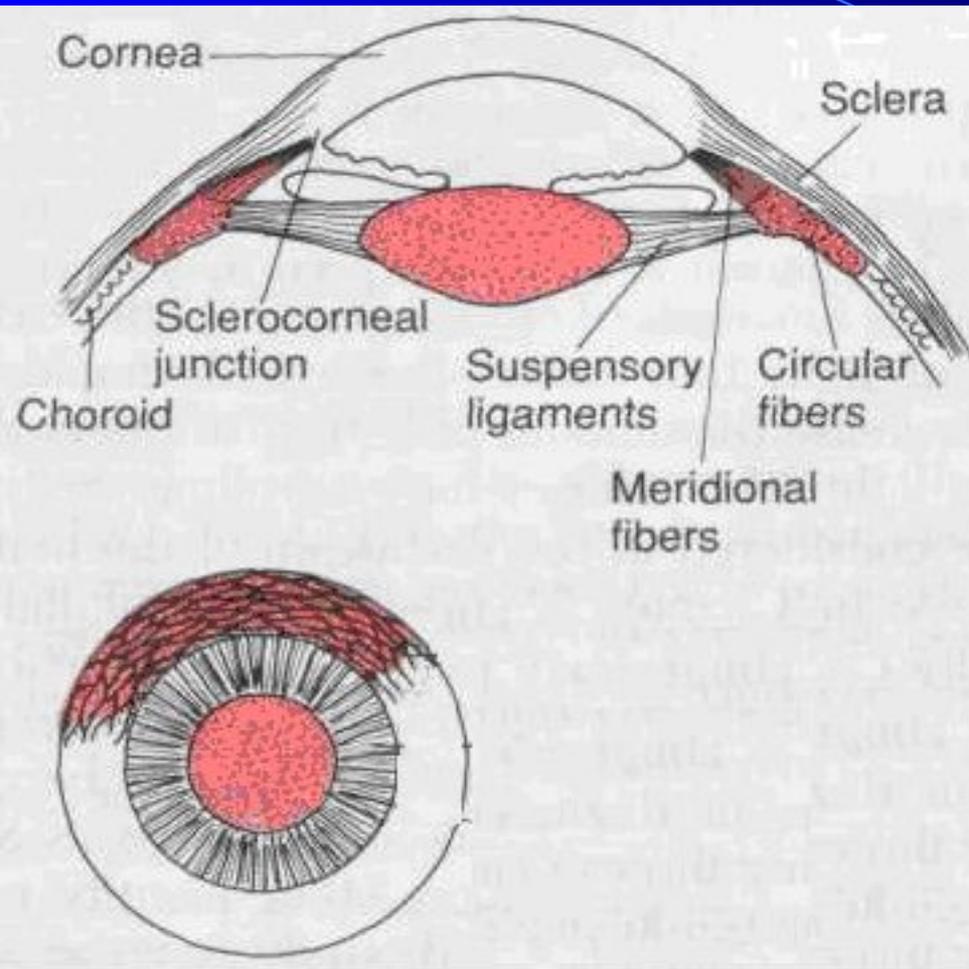
- Сферическая абберрация: центр больше преломляет чем периферия (вечером предметы нечеткие).
- Хроматическая абберрация: короткие волны преломляются сильнее, чем длинные. (Художники, изображая человека в красной одежде на синем фоне, выдвигали его вперед.)
- Астигматизм: вертикальна и горизонтальные оси роговицы неодинаковые (разница около $0,5 D$).

Несовершенство глазного яблока и патология аккомодации



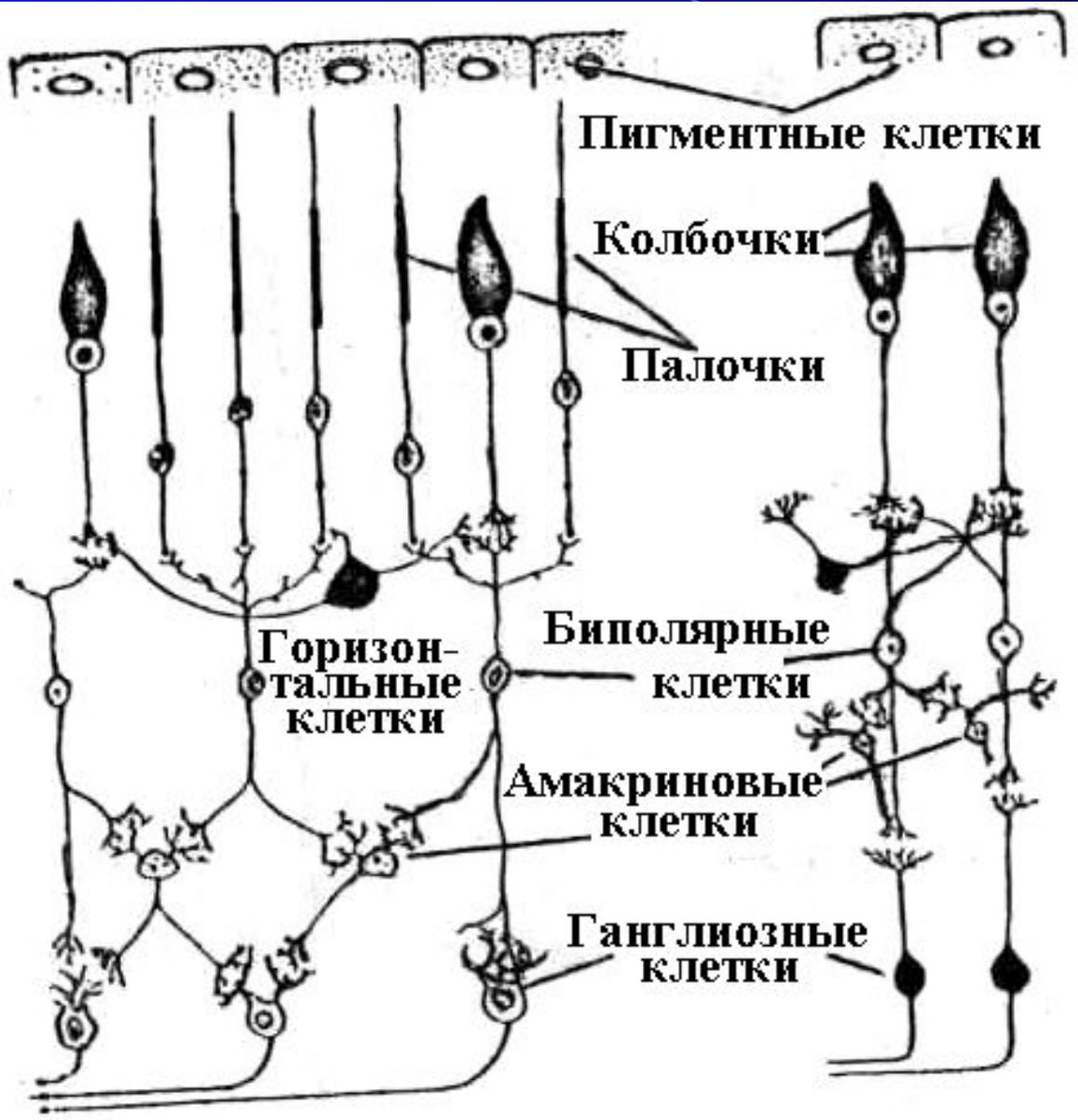
- 1 - норма,
- 2 – миопия (исправляется двояковогнутой линзой),
- 3 – гиперметропия (исправляется двояковыпуклой линзой).
- Старческая дальнозоркость обусловлена утратой эластичности хрусталика.

Зрачок



- Зрачок регулирует количество света, поступающего к сетчатке (адаптация).
- *Зрачковый рефлекс* регулируется двумя нервами:
парасимпатические волокна, вызывают сужение зрачка, а симпатические - расширение.

Сетчатка

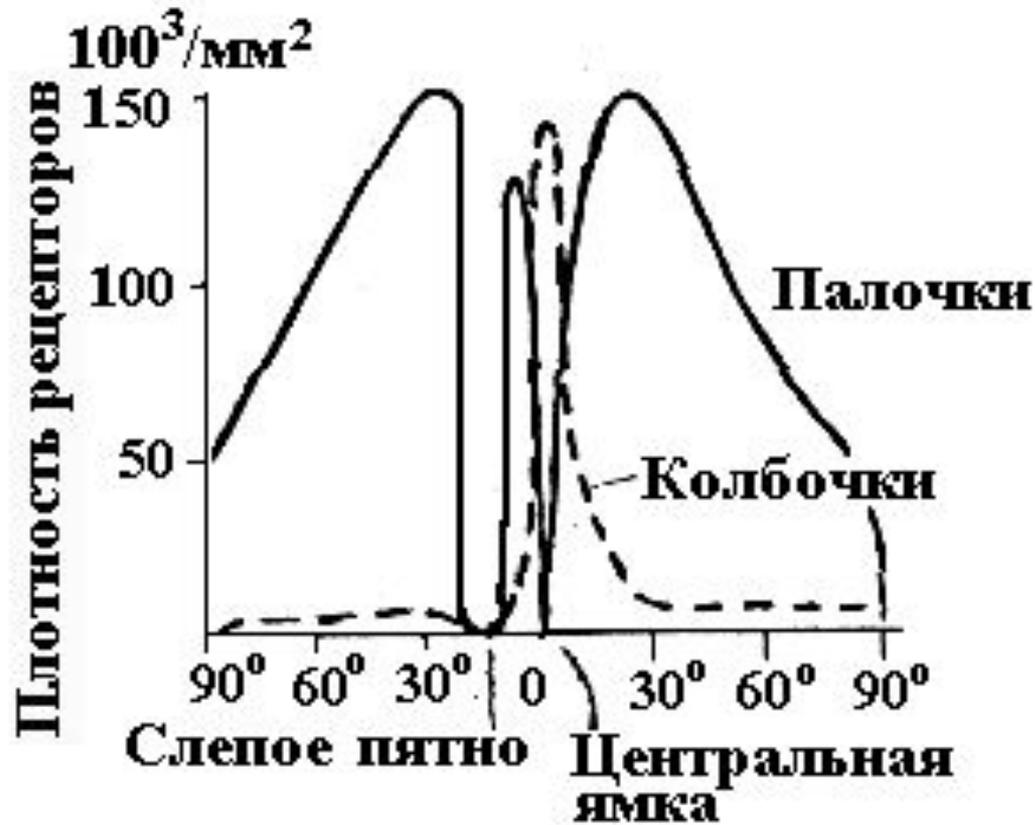


- Схема расположения клеточных элементов сетчатки:
- слева - на периферии,
- справа - в центре.

Зрительные пигменты

- Светочувствительный сегмент фоторецепторов содержит *зрительные пигменты*, а на противоположном конце их имеется синапс. Зрительный пигмент палочек – *родопсин* фиксирован на мембране диска, а в колбочках – на их складках.
- Колбочки различаются по наличию трех типов зрительного пигмента: *иодопсина, хлоролаба и эритролаба*.

Плотность размещения палочек и колбочек в различных отделах сетчатки.

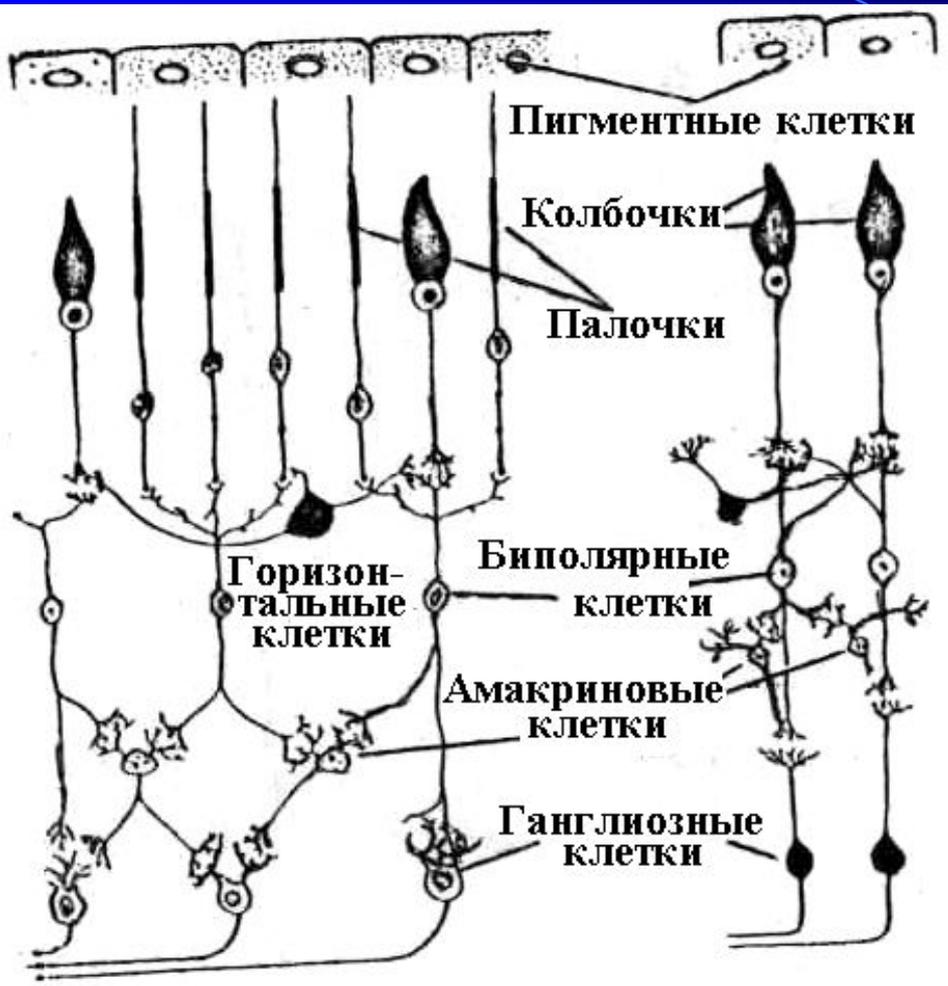


- Колбочки располагаются преимущественно в центральной ямке.
- Плотность палочек максимальна вокруг центральной ямки.
- Дальше к периферии плотность их уменьшается.

Различие адаптации палочек и колбочек

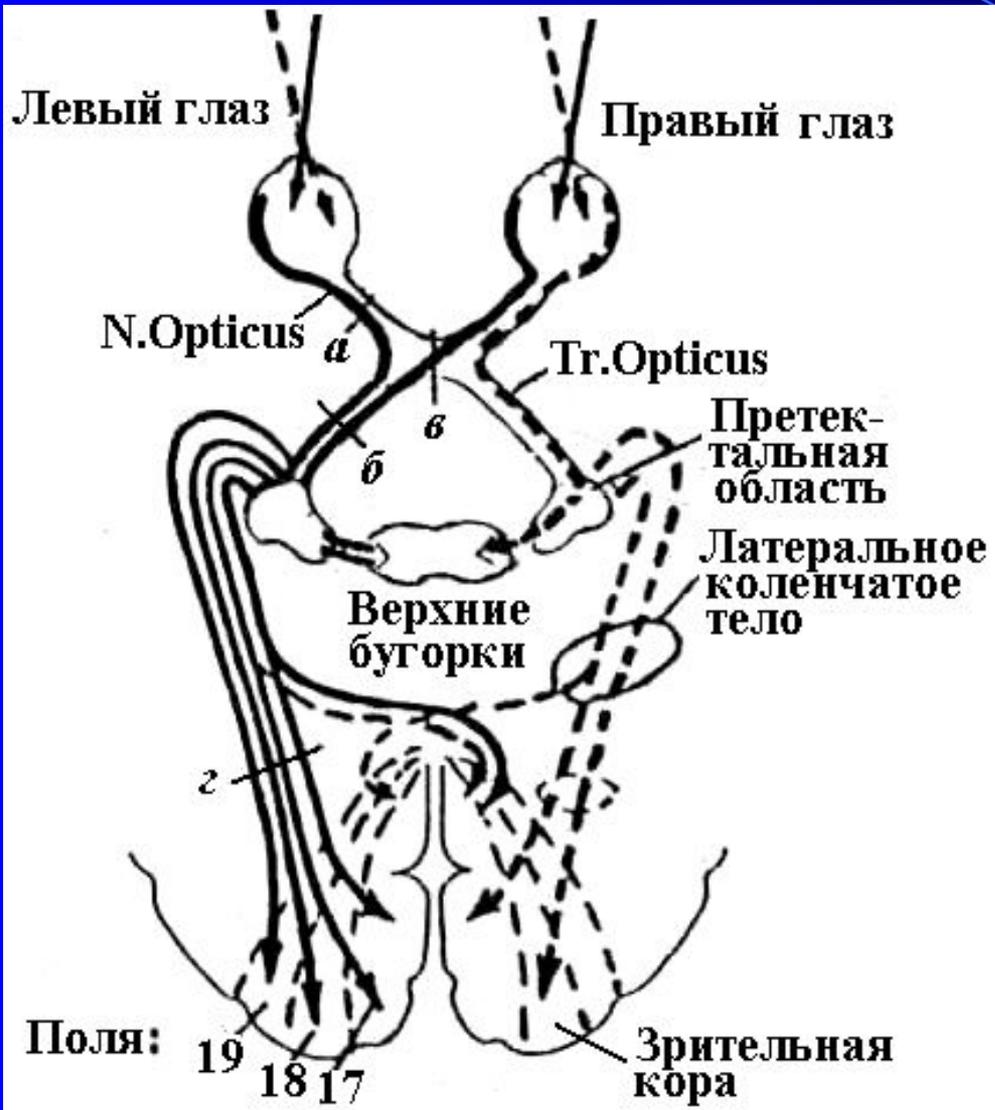
Рецепторный потенциал в палочках развивается медленнее, чем в колбочках. Обусловлено это тем, что в палочках вторые посредники должны пройти большее расстояние до ближайшего натриевого канала, чем в колбочках. Поэтому при изменении освещенности палочковая система при переходе из освещенного помещения в темное адаптируется медленнее.

Нейроны сетчатки



- В нейронах сетчатки при передаче сигналов широко происходят процессы схождения и расхождения возбуждения (дивергенции и конвергенции). В регуляции этих процессов участвуют горизонтальные и амакриновые клетки. Биполярные клетки объединяют несколько фоторецепторов, а каждая ганглиозная клетка на входе получает импульсы от нескольких биполярных клеток.

Зрительный тракт



На уровне нейронов подкорковых ядер также можно обнаружить наличие *рецептивных полей*, обеспечивающих их связь с конкретными рецепторами сетчатки.

В этих ядрах происходит широкое взаимодействие зрительных нейронов с близлежащими структурами ЦНС.

Запись движения глаз при рассматривании неподвижного предмета в течение 2-х минут



Исследование цветового зрения

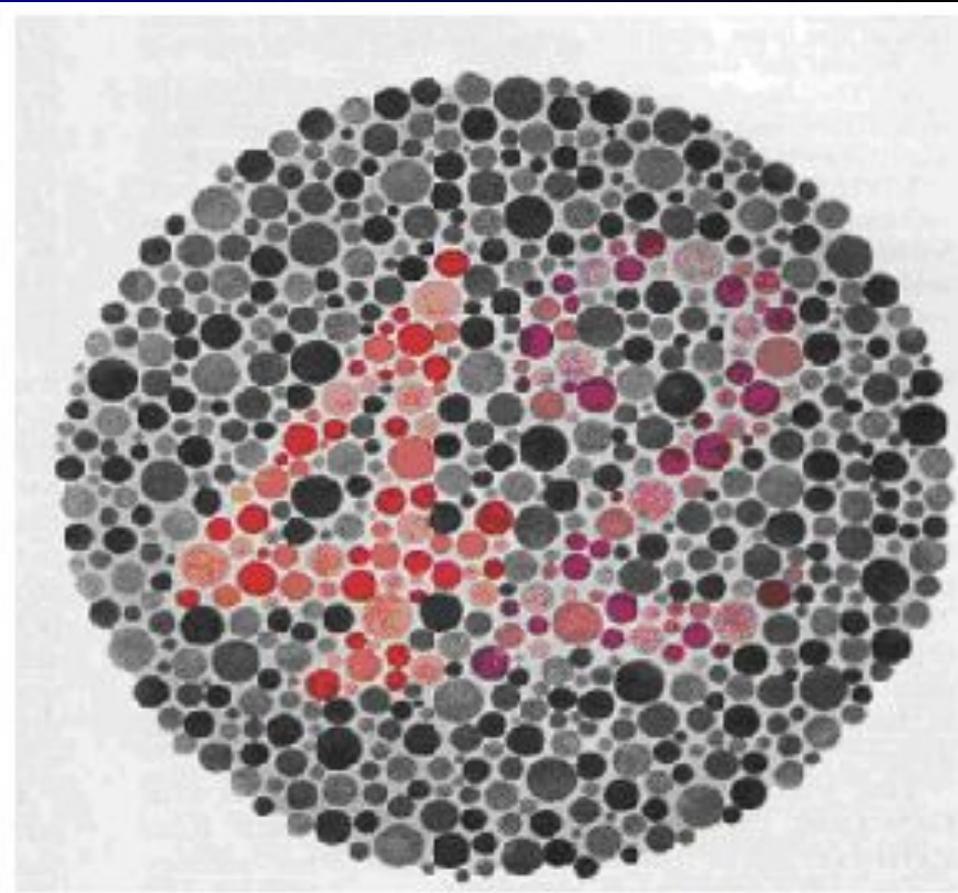
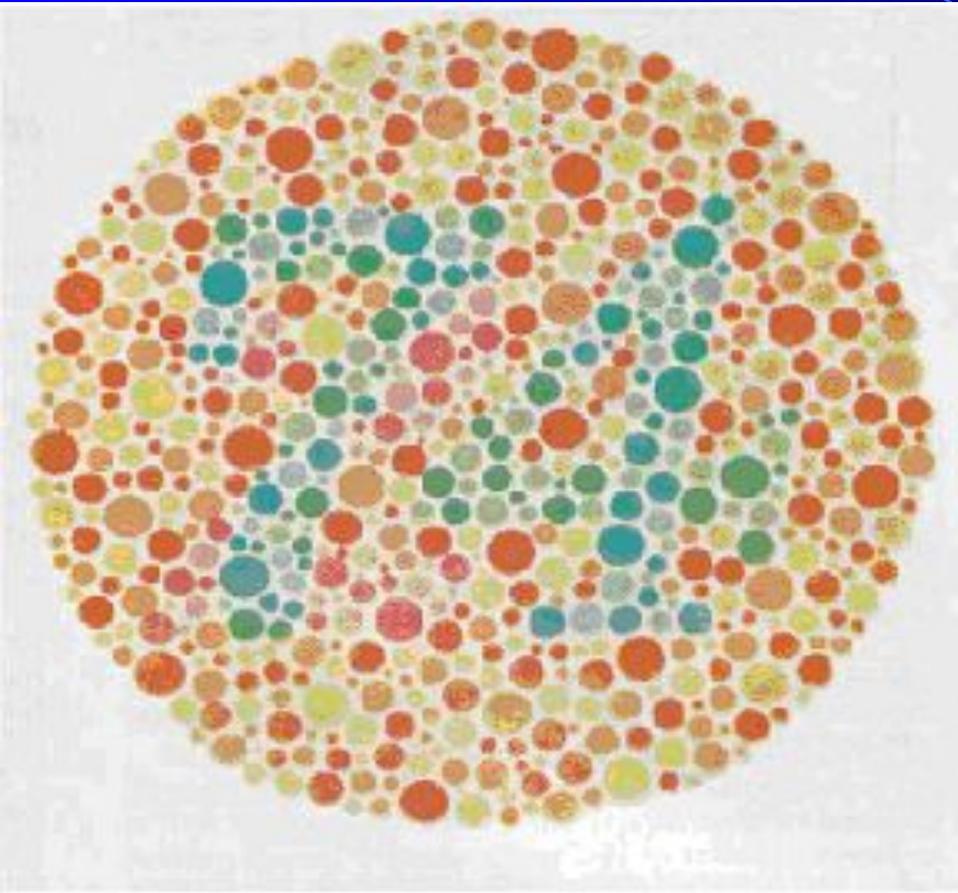
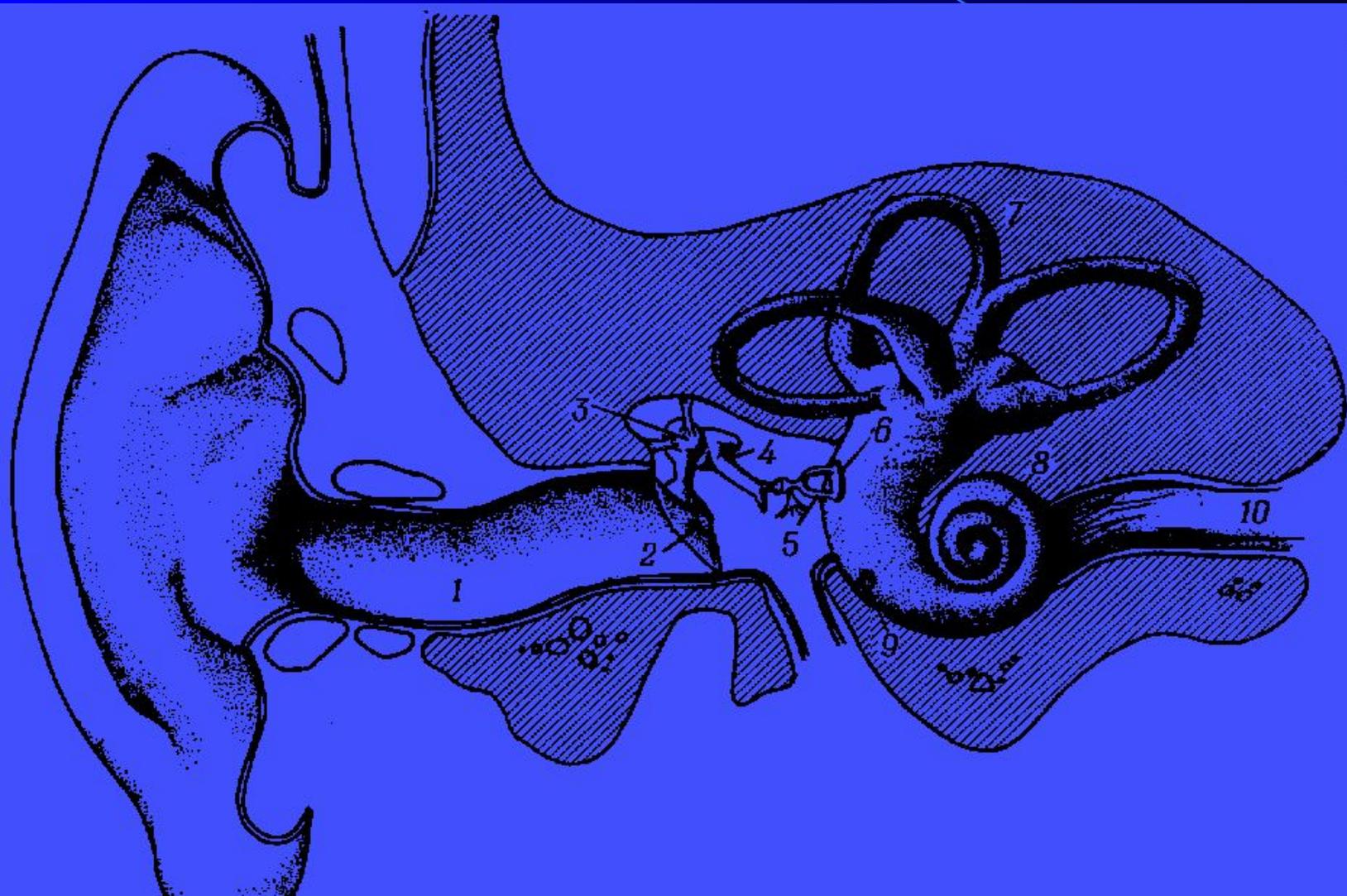
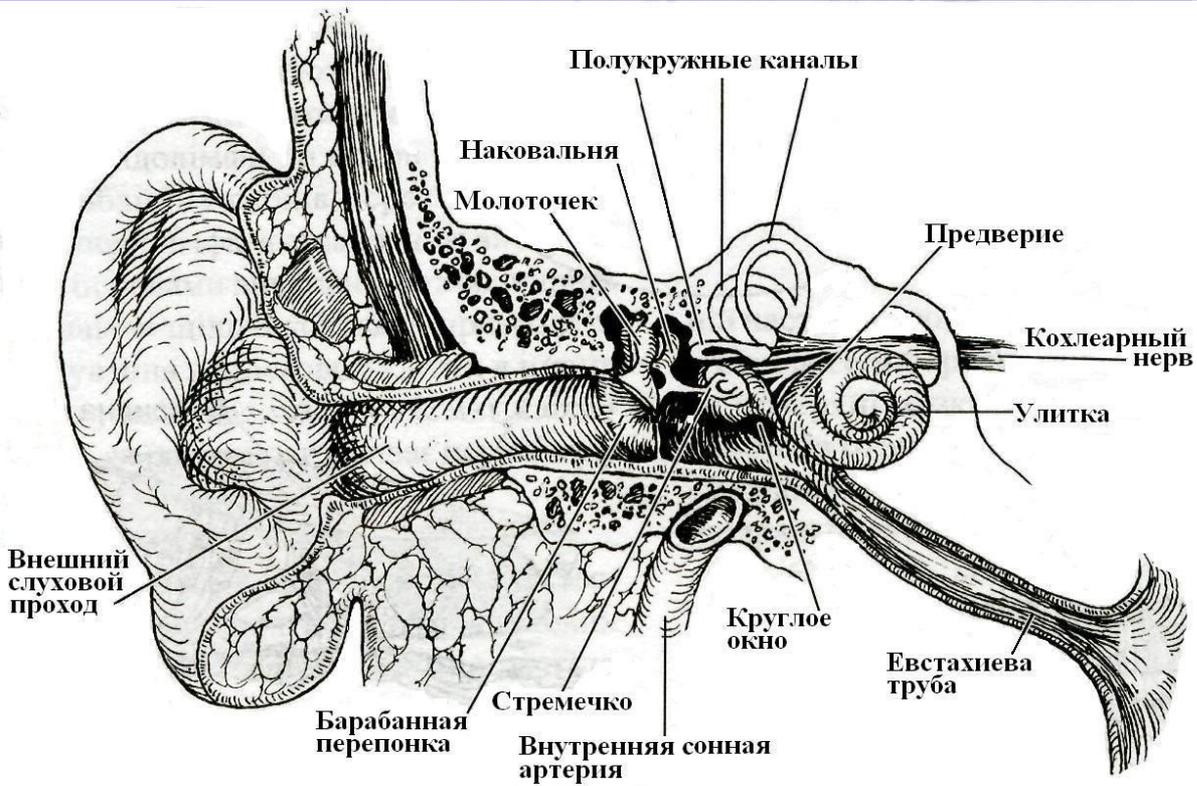


Схема отделов уха

- Ухо человека способно воспринимать звук при колебании воздуха в диапазоне от 16 до 20000 Гц.



Среднее ухо



Евстахиева труба, соединяя полость среднего уха с носоглоткой, служит для уравнивания давления (равного атмосферному) с обеих сторон от барабанной перепонки.

Эндо- и перилимфа внутреннего уха

- Пространство средней лестницы заполнено *эндолимфой*. Над вестибулярной и под основной мембранами пространство соответствующих каналов заполнено *перилимфой*. Она сообщается не только с перилимфой вестибулярного тракта, но и с субарахноидальным пространством мозга. Состав ее весьма близок ликвору.
- Эндолимфа отличается от перилимфы, в первую очередь тем, что в ней в 100 раз больше K^+ и в 10 раз меньше Na^+ . То есть, по концентрации указанных ионов эти жидкости отличаются как внутриклеточная от межклеточной.

Различение громкости

Диапазон амплитуды колебаний эндолимфы сопряжен с *амплитудой колебания мембран*. В результате с ростом амплитуды увеличивается число возбужденных рецепторных клеток, к находящимся на амплитудном максимуме присоединяются соседние клетки.

В пределах наиболее высокой чувствительности различения силы звука (1000 - 4000 Гц) человек слышит звук, имеющий ничтожно малую энергию (до $1 \cdot 10^{-9}$ эрг/с·см²). В то же время чувствительность уха к звуковым колебаниям в другом диапазоне волн значительно ниже и на границах слышимости (ближе к 20 или 20000 Гц) пороговая энергия звука должна быть не ниже 1 эрг/с·см².

Слишком громкий звук может вызвать *ощущение боли*. Уровень громкости, при котором человек начинает ощущать боль, равняется 130-140 дБ над порогом

Сильный звук и реакция мышц среднего уха

Сильный звук может вызвать нежелательные последствия как для слухового аппарата (вплоть до повреждения барабанной перепонки и волосков рецепторных клеток, нарушения микроциркуляции в улитке), так и в целом для ЦНС. Поэтому для предотвращения указанных последствий рефлекторно уменьшается натяжение барабанной перепонки (мышцы!). В результате, с одной стороны, снижается возможность травматического разрыва барабанной перепонки, а с другой - снижается интенсивность колебания косточек и расположенных за ними структур внутреннего уха. *Рефлекторная реакция мышц* наблюдается уже через 10 мс после начала действия сильного звука и проявляется при звуке выше 30 - 40 децибел. Этот рефлекс замыкается на уровне *стволовых отделов мозга*.

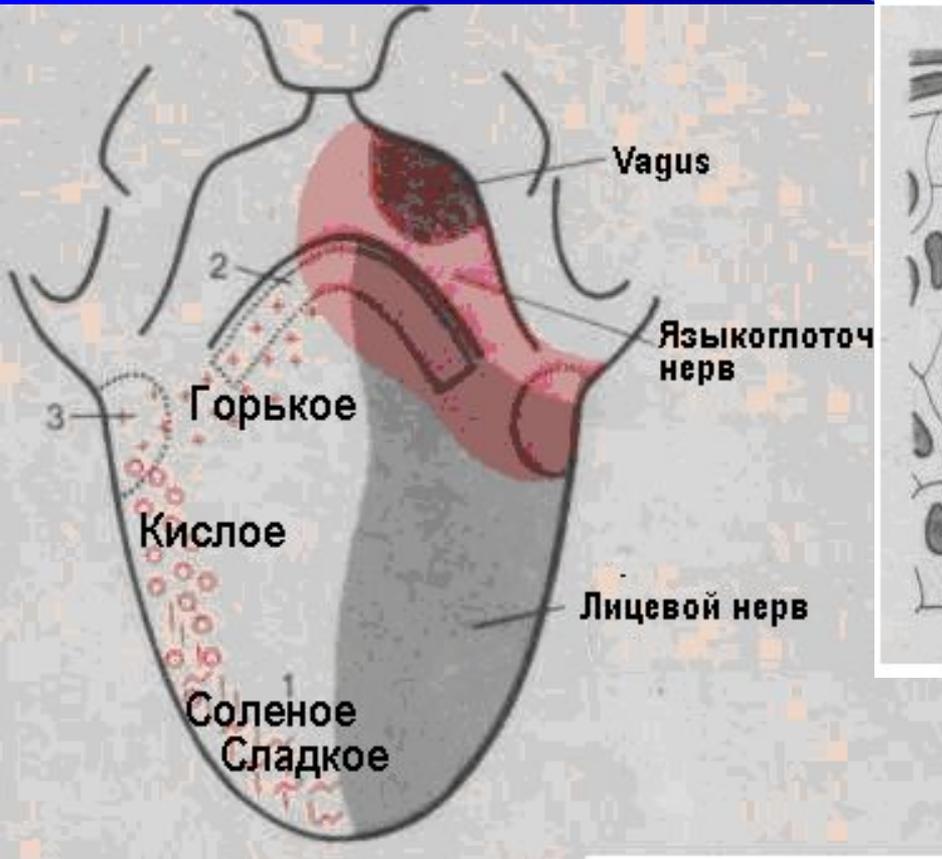
Слуховая ориентация в пространстве

- Слуховая ориентация в пространстве достаточно точно возможна лишь при *бинауральном слухе*. При этом большое значение имеет то обстоятельство, что одно ухо находится дальше от источника. Учитывая, что в воздушной среде звук распространяется со скоростью 330 м/с, то 1 см он проходит за 30 мс и малейшее отклонение источника звука от средней линии (даже менее 3°) обоими ушами уже воспринимается отставленно во времени. То есть, в данном случае имеет значение фактор разделения и по времени, и по интенсивности звука. Ушные раковины, являясь рупорами, способствуют концентрированию звуков, а также ограничивают поток звуковых сигналов с тыльной стороны головы.

Вкусовой анализатор

- Вкус, так же как и обоняние, основан на *хемотрецепции*. Но эти рецепторы, как правило, являются мультимодальными, в них вкусовые ощущения вызываются в совокупности с ощущением температуры, давления и запаха. Последнее обусловлено сообщением полостей рта и носа. Вкусовые рецепторы несут информацию о характере и концентрации веществ, поступающих в ротовую полость.

Расположение вкусовых рецепторов на языке



Сенсорная клетка
Опорная клетка

Афферентные волокна

- Вкусовые рецепторы являются типичными *вторично чувствующими рецепторами*. Под влиянием химического раздражителя в рецепторной клетке образуется *рецепторный потенциал*, который через синапс с помощью медиатора передает возбуждение афферентным волокнам черепно-мозговых нервов (лицевого и языкоглоточного). Возбуждение возникает при деполяризации рецептора, а при гиперполяризации возникает торможение.

Пороговая характеристика

- У разных людей *абсолютные пороги вкусовой чувствительности* к различным веществам могут существенно отличаться вплоть до "*вкусовой слепоты*" к отдельным агентам (например, к креатину). Кроме того, абсолютные пороги вкусовой чувствительности во многом зависят от состояния организма (они изменяются при голодании, беременности, эмоциях).
- При измерении абсолютной вкусовой чувствительности возможны две ее оценки: *возникновение неопределенного вкусового ощущения (отличающегося от вкуса дистиллированной воды)* и *возникновение определенного вкусового ощущения*. Порог возникновения второго ощущения выше.

Обонятельный анализатор

- Богатая палитра запахов, окружающих человека играет чрезвычайно важную роль в сенсорной афферентации ЦНС, в организации многих сознательных и неосознаваемых реакций организма. Рецепторы обонятельной сенсорной системы расположены среди клеток слизистой оболочки в области *верхних носовых ходов и в виде отдельных островков в средних ходах*. Толщина обонятельного эпителия около 100-150 мкм. При спокойном дыхании обонятельные рецепторы находятся как бы в стороне от главного дыхательного пути (нижний и средний носовые ходы), поэтому при поступлении пахучих веществ человек производит более глубокие принюхивающие вдохи.

Обоняние и поведение

- Их реакция дает важную информацию о внешних стимулах, которая в ЦНС обеспечивает возникновение соответствующего ощущения и участвует в организации сложных поведенческих реакций.
- Связь обонятельного анализатора с *лимбической системой* обеспечивает присутствие *эмоционального компонента* в обонятельном восприятии. Запах может вызвать ощущения удовольствия или отвращения. Вполне вероятно, что запах играет определенную роль и в половом поведении (особенно это выражено у животных). Об этом же свидетельствует тот факт, что чувствительность обонятельных нейронов находится под контролем половых гормонов.

Виды чувствительности

- *Тельца Мейснера* являются датчиками скорости. Раздражение в них воспринимается лишь при движении объекта. Располагаются они в лишенной волосистого покрова коже: пальцы, ладони, губы, язык, половые органы, соски груди. Скорость воспринимают также и *свободные нервные окончания*, находящиеся вокруг волосяных луковиц.
- *Диски Меркеля* воспринимают интенсивность (силу) давления. Они имеются в волосистой и лишенной волос коже.
- *Тельца Пачини* являются рецепторами давления и вибрации. Обнаружены они не только в коже, но и в сухожилиях, связках, брыжейке. Ощущение вибрации возникает в результате быстро меняющихся стимулов.
- Все указанные образования являются окончаниями дендритов миелиновых волокон группы II, скорость проведения возбуждения в которых 30-70 м/с.

- Наряду с ними в каждом нерве можно обнаружить и немиелинизированные волокна. В некоторых нервах их до 50% всех волокон. Часть их передает импульсы от терморецепторов, другие - реагируют на слабые тактильные стимулы. Но большинство этих волокон относится к *ноцицепторам*, воспринимающим боль.
- В тактильных рецепторах указанной группы точность локализации ощущения невелика. Скорость проведения импульсов по этим нервам еще ниже. Они сигнализируют о слабых движущихся по коже механических стимулах.
- При совместном раздражении их и ноцицепторов зарождается *ощущение щекотки*.

Адаптация тактильных рецепторов

- Среди механорецепторов кожи имеются *быстро и медленно адаптирующиеся рецепторы*. К примеру, благодаря свойству адаптации кожных рецепторов человек вскоре после одевания перестает замечать наличие на себе одежды. Но стоит "вспомнить" о ней, как благодаря повышению чувствительности рецепторов, мы вновь начинаем ощущать себя "одетыми".

Боль

- *Боль* вызывают *ноцицептивные* (noces - вредный) *раздражители*, то есть такие, которые повреждают целостность тканей. Например, яд только тогда вызывает боль, когда разрушает или умерщвляет ткань.
- Боль дает нам относительно мало информации о внешнем мире, но в то же время предупреждает организм о грозящей ему опасности, способствуя сохранению целостности организма, а порой и самой жизни. "Боль - сторожевой пес здоровья", - говорили древние греки.

Виды боли

- Различают два вида боли - *физическую и психогенную*.
- Физическая боль в зависимости от причины возникновения подразделяется на три разновидности:
 - а) обусловленная внешним воздействием,
 - б) обусловленная внутренним процессом,
 - в) обусловленная повреждением нервной системы.
- Психогенная боль связана с психологическим статусом человека и возникает в связи с соответствующим эмоциональным состоянием. Психогенная боль так или иначе возникает по воле человека.

Афференты

- Болевой раздражитель воспринимают свободные нервные окончания. Например, на коже болевых точек значительно больше, чем чувствительных к давлению (9:1) или к холоду и теплу (10:1).
- Ноцицепторы есть в скелетных мышцах, сердце, внутренних органах. Много ноцицепторов содержится в легких, их раздражителем являются газы, пылевые частицы.
- Соматические ноцицепторы являются, как правило, высокопороговыми и возбуждаются они при воздействии сильных повреждающих раздражителей.
- Среди них можно обнаружить *механо-* и *хеморецепторы*.

Адаптация рецепторов боли

- Механорецепторам боли присуще свойство *адаптации*, так что при длительном действии раздражителя острота воспринимаемой боли уменьшается.
- У химических ноцицепторов практически отсутствует свойство адаптации (в плане понижения чувствительности при длительном воздействии). Напротив, при воспалении, повреждении тканей чувствительность хемоноцицепторов постепенно возрастает.

Антиноцицепция

- При обработке восходящей ноцицептивной импульсации возможно ограничение дальнейшего их распространения (торможение) под влиянием соседних сенсорных систем или специфических механизмов, которые именуются *антиноцицептивными* (анальгезирующими).
- В настоящее время можно говорить о четырех видах специфических антиноцицептивных систем: двух нейронных и двух гормональных. В основе их лежат, так называемые, *опиатные* рецепторные механизмы.

Нейронная опиатная система

- Нейронная опиатная система получила свое название в связи с тем, что в ЦНС имеются нейроны, медиаторы которых очень близки к фармакологическим препаратам, полученным из опия. Из-за такого сходства с экзогенными опиатами медиаторы указанных антиноцицептивных нейронов получили название *эндорфинов* (внутренних морфинов). К эндорфинам относится группа веществ пептидной природы, образующихся в нейронах из предшественника - *проопиомеланокортина*. Пептидами являются так же и близкие к эндорфинам *энкефалины*.
- *Эти рецепторы обнаружены во всех подкорковых центрах, куда поступает ноцицептивная импульсация.*