

1 ЧУЛО ВИДА



Мрежњача

2 МРЕЖЊАЧА (RETINA)

- слој нервних ћелија
 - *положај*: задњи део булбуса
 - *дебљина*: око 0.2 мм
 - *изглед*: личи на мрежицу
 - *опис*: 'истурени део мозга'
- карактеристична подручја:
 - **слепа мрља** (оптички диск)
 - излаз / улаз нерава и крвних судова
 - **жута мрља (macula)**
 - подручје најштријег виђења, одсуство крвних судова
 - удубљење у центру: *централна јамица (fovea centralis)*
- нервна структура мрежњаче:
 - мрежњача садржи пет главних врста нервних ћелија
 - прво ћемо размотрити **фоторецепторске** ћелије



3 ФОТОРЕЦЕПТОРСКЕ ЋЕЛИЈЕ

- **фоторецептори**: 'примаоци светлости'
 - неурони *директно* осетљиви на светлост
 - активирају друге неуроне преко синапси
 - врше оптичко-неуралну *трансдукцију*
 - претварање светлости у нервну акцију
 - завршетак *оптичке* и почетак *неуралне* фазе процеса визуелног опажања
- фоторецептори садрже **фотопигменте**
 - молекули осетљиви на светлост
 - *разлажу* се на два дела када апсорбују светлост
 - *регенеришу* се у мраку
 - разлагање фотопигмената изазива промену *електричног стања* фоторецептора
 - промена електричног стања фоторецептора изазива промену електр. стања *других* неурона мрежњаче

4 ЕЛЕКТРИЧНО СТАЊЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- фоторецептори садрже *јоне*
 - наелектрисани (+ или -) атоми и молекули
 - јони улазе и излазе из неурона кроз мембрану у међућелијски простор
- електрично стање фоторецептора зависи да ли су изложени светлости или мраку
- фоторецептори у мраку су **електронегативни**
 - вишак *негативних* јона унутар фоторецептора
 - електрични потенцијал: од -60 до -70 mV
- утицај светлости: **хиперполаризација**
 - негативни јони улазе кроз мембрану у неуроне
 - фоторецептори постају *још више* негативни
- престанак дејства светлости: **деполаризација**
 - смањење негативности

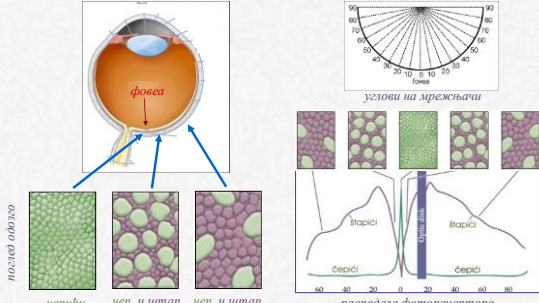
5 ДВЕ ВРСТЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- **штапићи и чепаћи**
 - названи по свом облику
 - разликују се по:
 - бројности
 - фотопигментима
 - расподели
 - осетљивости
- **бројност**: однос око 20:1
 - штапића има < 130 милиона
 - чепаћа < 6 милиона
- **фотопигменти**: садржани у дисковима фоторецептора
 - штапићи садрже фотопигмент *родопсин*
 - чепаћа има три врсте, са три различита фотопигмента
 - омогућавају опажање боја



6 ДВЕ ВРСТЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- **расподела чепаћа и штапића по мрежњачи**
 - **чепаћи**: највише у фовеи, све мање ка периферији
 - **штапићи**: нема их у фовеи, највише на 20 степени



7 ДВЕ ВРСТЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- **осетљивост:** за интензитет светлости
 - **чеп:** фотопско виђење (нормална, дневна светлост)
 - **штап:** скотопско виђење (слаба, ноћна светлост)
 - могу регистровати и један једини фотон!
- **осетљивост:** за таласне дужине
 - зависност **доњег прага** од таласне дужине:
 - **штап:** минимални праг (макс. осетљ.): око 500 нм
 - **чеп:** миним. праг: око 550 нм
 - све три врсте чепића заједно
 - крива осетљивости **чепића** померена **удесно и нагоре**
 - **удесно:** мин. за вишу λ .
 - **нагоре:** слабија осетљивост од штапића за скоро све λ .

8 ДВЕ ВРСТЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- **осетљивост:** за адаптацију на мрак
 - свакодневни пример: улаз у тамну просторију
 - експеримент са прилагођавањем на мрак:
 - почетно излагање субјекта јакој светлости
 - боравак у мраку
 - мерење **доњег прага:** током времена праг се **снижава**

- **чеп:** адаптација бржа (до 10 мин), али **плића**
- **штап:** адап. спорија (до 40 мин), али **дубља**

9 ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- поред фоторец., мрежњача има још 4 врсте ћелија
- у **фовеи** су остале ћелије мрежњаче **размакнуте**
 - у фовеи светлост пада директно на фоторецепторе

10 ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- пет врста неурона мрежњаче - [слика 4-54]
 - активација **фоторецепторских** ћелија преноси се преко синапси на **хоризонталне** и **биполарне** ћелије, а од њих на **амакрине** и **ганглијске** ћелије

- **фоторецептори** снимају светлост
- **хоризонталне, биполарне** и **амакрине** ћелије обрађују сигнал из фоторецептора
- **ганглијске** ћелије врше даљу обраду и одводе сигнал ка мозгу

11 ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- врсте веза међу неуронима мрежњаче

- **фоторецепторске, биполарне** и **ганглијске** ћелије:
 - граде **уходне** везе (ка мозгу)
- **хоризонталне** и **амакрине** ћелије:
 - граде **попречне** везе у оквиру мрежњаче

12 ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- врсте **разгранатости** веза међу неуронима
 - **слабо** конвергентне везе (у фовеи):
 - мали број фоторец. и бипол. ћелија на 1 гангл. ћел.
 - **јако** конвергентне везе (на периферији):
 - до стотине фоторец. и бип. ћелија на 1 гангл. ћел.

- постоје и **дивергентне** везе:
 - 1 фоторец. – више бип. ћелија – више гангл. ћелија

13 ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- **последике** врста везе међу неуронима

слабо конв. (идеално 1 – 1) везе

јако конв. везе

- **последике за оштрину вида: дискриминација** малих разлика
 - слабо конв. везе: већа оштрина вида (фовета)
 - јако конв. везе: мања оштрина вида (периферија)
 - губитак информације услед конвергенције сигнала
- **последике за осетљивост вида: сензитивност** за мале јачине
 - јако конв. везе: виша сензитивност на периферији (добитак интензитета услед конвергенције сигнала)
 - слабо конв. везе: нижа сензитивност
- пример структуралних разлика и функционалних последица

14 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- последњи ниво обраде светлости у мрежњачи
 - бројност ГЋ: мање од милион
 - пријем сигнала: од биполарних и амакриних ћелија
- активност: **нервни импулси** (акциони потенцијали)
 - низ наглих деполаризација и хиперполаризација
 - простиру се од *собе* дуж аксона
- нервни импулси омогућавају пренос сигнала на веће даљине у нервном систему
 - код ганглијских ћелија: из ока у таламус
 - остале ћелије мрежњаче показују промене електричног стања, али не у облику нервних импулса

општа структура неурона

15 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- **снимање активности појединачних ГЋ:**
 - **стимулуси:** на пр. светле тачке
 - **средство:** микроелектрода у или близу одређене ГЋ
 - сигнали из електроде се одводе у појачивач и бележе се
 - од свих ћелија мрежњаче, технички најједноставније код ГЋ

мрежњача

стимулуси

електрода

16 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- **мера активности ћелије: фреквенца паљења**
 - **паљење:** спровођење једног нервнoг импулса
 - **фреквенца:** просечна учесталост нервних импулса
 - **распон фреквенци:** од нула до неколико стотина пута у секунди

шематски запис паљења

импулси

- **спонтана активност:** фреквенца паљења у мраку
 - није нула код ганглијских ћелија!
- **изазвана активност:** фреквенца паљења под дејством светлосне стимулације

17 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- **поступак:** приказивање стимулуса (нпр. светле тачке) на различита места на мрежњачи
- **реакције ГЋ: три** могућности
- **без промене** фреквенце паљења: ћелија не реагује на дату драж
- **повећање** фреквенце паљења: 'он'-реакција, ексцитација (+)
- **снижење** фреквенце паљења: 'оф'-реакција, инхибиција (-)
 - неочекиван налаз

18 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- врста реакције зависи од **места стимулације**
 - без промене фреквенце паљења ГЋ: већина места
 - промена фреквенце: мало, ограничено подручје
- **рецептивно поље (РП)** ганглијске ћелије
 - подручје површине мрежњаче чија стимулација доводи до **промене** фреквенце паљења ГЋ
 - промена може бити **ексцитација** или **инхибиција**

мрежњача

промена

РП

ГЋ

РП

стимулуси

19 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- особине РП:
 - свака ГЋ има своје РП, округластог облика
 - различите ГЋ имају различита РП
 - суседне ГЋ имају *преклапајућа* РП
 - дакле: исти фоторецептор може да активира различите ГЋ

20 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- расподела РП по мрежњачи:
 - величина РП расте од фовее ка периферији мрежњаче
 - разлог: све јача конвергенција од фовее ка периферији
- глобална структура РП
 - РП свих ганглијских ћелија прекривају целу мрежњачу

21 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- унутрашња структура РП већине ГЋ: **концентрично-антагонистичка**
 - РП има два **концентрична** дела:
 - центар: диск
 - околина: прстен

- реакција ГЋ на светлосну стимулацију у центру је **антагонистичка** (супротна) реакцији у околини

22 ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ (ГЋ)

- две врсте ГЋ (једнако бројне):
 - (1) **'он - ћелије'**:
 - центар: он-реакција (+)
 - околина: оф-реакција (-)
 - (2) **'оф - ћелије'**:
 - центар: оф-реакција (-)
 - околина: он-реакција (+)

- опис се односи на стимулусе **беле** светлости
- реакције на светлости различитих **боја** - касније

23 ПРИМЕРИ РЕАКЦИЈА ГЋ

ОН-ћелија:

- А: мрак**
 - спонтана активација
- Б: светла тачка у центру**
 - слаба ексцитација (пропорционална јачини светлости)
- Ц: круг прекрива центар**
 - оптимални стимулус (максимална ексцитација)
- Д: круг прекрива цело РП**
 - слаба ексцитација
 - неочекиван налаз
 - узрок: околинска инхибиција скоро поништава централну ексцитацију

24 ПРИМЕРИ РЕАКЦИЈА ГЋ

ОН-ћелија

- Е: тачка у околини**
 - слаба инхибиција (пропорционална јачини светлости)
- Ф: светли прстен прекрива целу околину**
 - максимална инхибиција

ОФ-ћелија

- Г: тачка у околини**
 - слаба ексцитација
- Х: светли прстен прекрива целу околину**
 - максимална ексцитација

25 ПРИМЕРИ РЕАКЦИЈА ГЋ

- реакције *низа* ОН-ћелија на *светлу ивицу*
- A: спонтана активација
- Б: инхибиција
- Ц: спонтана активација
- Д: ексцитација
- Е: слаба активација
- заједнички приказ:**

E D C B A

26 ПРИМЕРИ ВИЗУЕЛНИХ ФЕНОМЕНА

- скок** на светлој страни ивице
- пад** на тамној страни ивице
- Махове траке:** илузорне светле и тамне траке дуж ивица
- опажај је у складу са активношћу гангл. ћелија
- помажу опажању контура

27 ПРИМЕРИ ВИЗУЕЛНИХ ФЕНОМЕНА

- 'Херманова решетка'
- илузорне тамне мрље на 'раскрсницама' 'улица'

28 ПРИМЕРИ ВИЗУЕЛНИХ ФЕНОМЕНА

- како реагују ганглијске ћелије на овакве стимулусе?
- анализа стимулација рецептивних поља:

- центар:** једнака ексцитација за раскрсницу и улицу
- околина:** јача инхибиција за раскрсницу него улицу
- у збиру:** раскрсница *слабије* активира ГЋ него улица
- последица за опажање:** *тамније* виђење раскрснице
 - у ефекту вероватно игра улогу и обрада у мозгу

29 ПОДЕЛА ГЋ

- код мачака: X, Y, W
- код људи и мајмуна: П, М, К
 - ГЋ имају сличне особине код свих сисара
 - све могу бити и ОН и ОФ ћелије
 - W одн. К ћелије нису још довољно проучене
- бројност:** X (П) > 80%, Y (М) < 10%
- величина:** X (П) мање, Y (М) веће
 - тело, дендритска мрежа, аксони

P neuron
M neuron

30 ПОДЕЛА ГЋ

- брзина провођења:** X спорије, Y брже
 - брзина зависи од дебљине аксона
- величина РП:** X мање, Y веће
 - РП зависи од дендритске мреже
- просторна дискриминација:**
 - X финији детаљи, Y крупније форме
 - дискриминација зависи од величине РП
- реакција на покрет:**
 - X слабија, Y јача
- реакција на дуготрајније дражи:**
 - X трајна, Y пролазна (и ОН и ОФ реакције)
- дискриминација хроматских боја:**
 - X одлична, Y никаква