

XLIII. Elektroencefalografie
XLIV. Evokované potenciály

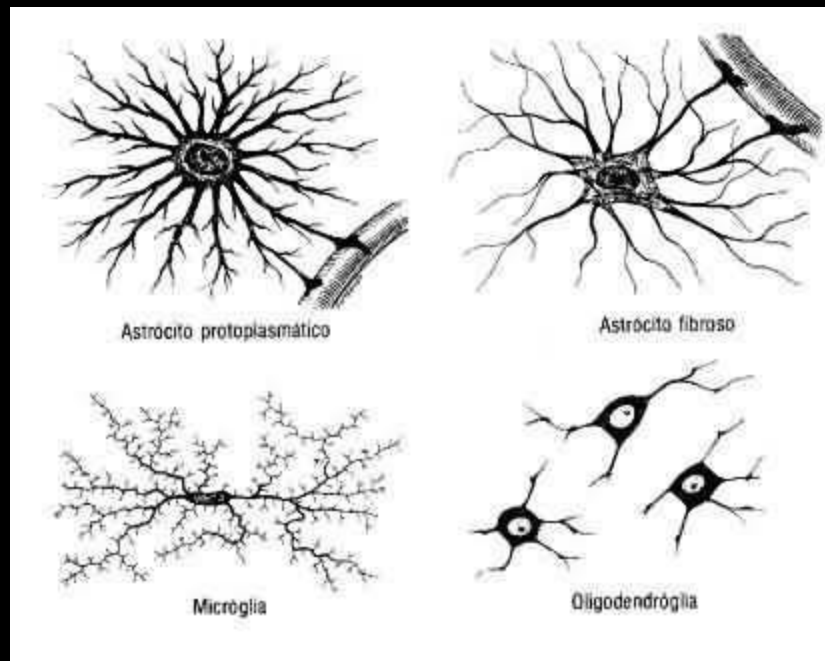
- metoda sloužící k registraci bioelektrických aktivit mozku
- Snímají se rozdíly elektrických potenciálů mezi elektrodami-EEG svod

Zapojení elektrod

- Bipolární – měření mezi dvěma aktivními elektrodami
- Unipolární – měření mezi aktivní elektrodou a referenční elektrodou umístěnou na proc. *mastoideus* či na ušním lalůčku

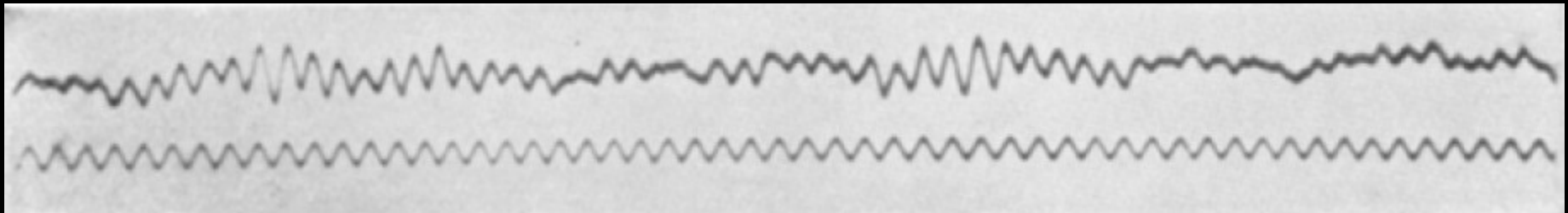
- **skalповé EEG**
- **elektrokortikogram (ECoG)**
- **stereo elektroencefalogram (SEEG)**

- získané křivky odrážejí synchroni aktivitu většiny
- základ tvoří změny membránového napětí na dendritech a tělech neuronů, které jsou dané součtem excitačních a inhibičních postsynaptických potenciálů
- Na výsledné křivce se podílí též neuroglie



Historie

- Již v 18. století byly popsány elektrické aktivity tkání (žabí stehýnka-**Luigi Galvani**)
- 1. pol. 19. století byla německým lékařem a fyziologem **Emilem du Bois - Reymondem** vyvinuta nepolarizovatelná elektroda ke snímání elektrické aktivity žabího srdce,
- ve 2. polovině 19. století popsal britský fyziolog **Richard Caton** elektrické aktivity králičích a opičích mozků
- **Hans Berger (1924)** natočil první EEG a popsal Alfa vlny, které se někdy nazývají Bergerovy vlny

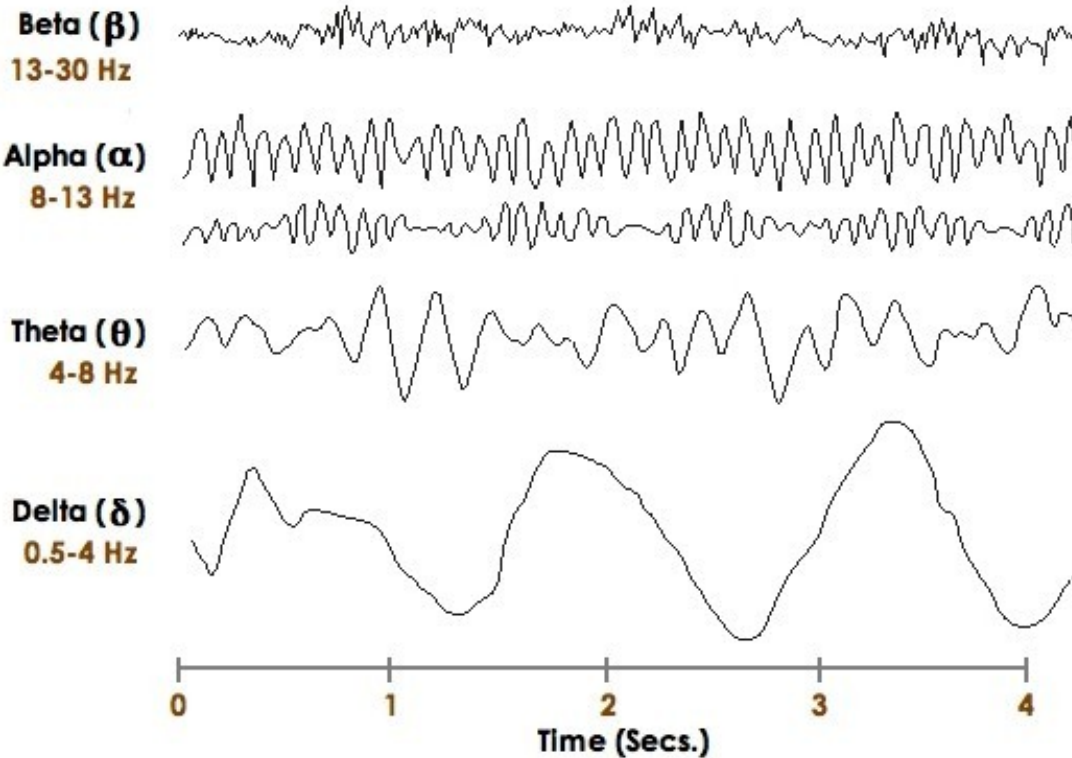


Elektroencefalografie

- **alfa rytmus:** frekvence **8-13 Hz**, je patrný při zavřených očích u bdělého, zdravého a zralého mozku, nejvíce parietookcipitálně
- **beta rytmus:** frekvence **14-30 Hz**, je patrný při otevřených očích, někdy však i trvale nad frontální oblastí. Fenomén potlačení alfa aktivity při otevření očí – reakce blokády nebo zástavy (AAR) nebo Bergerova reakce.
- **theta rytmus** frekvence **4-7 Hz**, patrný u dětí, u zdravého dospělého pouze v povrchních spánkových stádiích
- **delta rytmus:** frekvence **1-3 Hz**, v bdělosti u novorozenců a kojenců, u dospělého jen v hlubokém non-REM spánku, v bdělém - hrubě patologické

Elektroencefalografie

Mozkové vlny

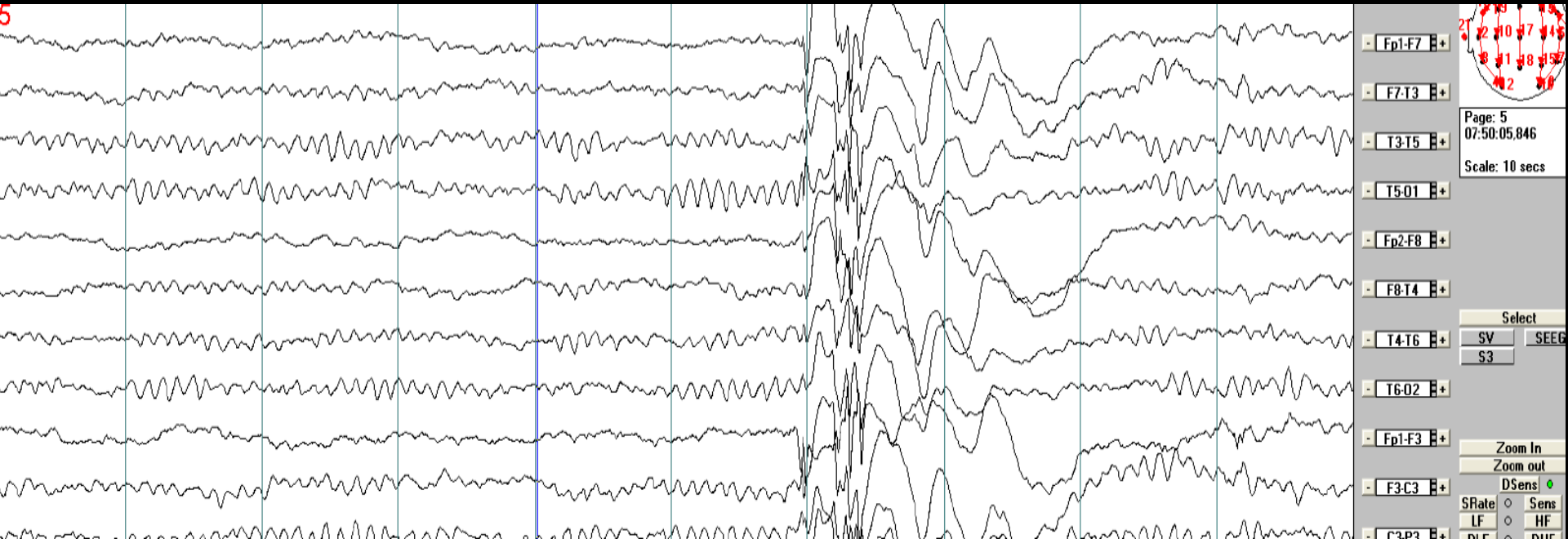


Elektroencefalografie

- EEG záznam - ukázka



EEG při epilepsii



Evokované potenciály (EP)

evokovaný potenciál (EP) je elektrickým projevem mozkové činnosti, který je vyvolán zevním sensorickým podnětem.

- zhodnocení funkčního stavu dané nervové dráhy
- tvoří ho sled pozitivních a negativních vln nižší amplitudy (0.1–20 μV) než je amplituda běžná v základní EEG aktivitě bdělého stavu (20–80 μV).
- TYPY EP:
 - VEP (zrakové)
 - AEP (sluchové)
 - SEP (somatosenzorické)
 - MEP (motorické)
 - SSEP (ustálené)
 - ERP (kognitivní)

Zvukový evokovaný potenciál

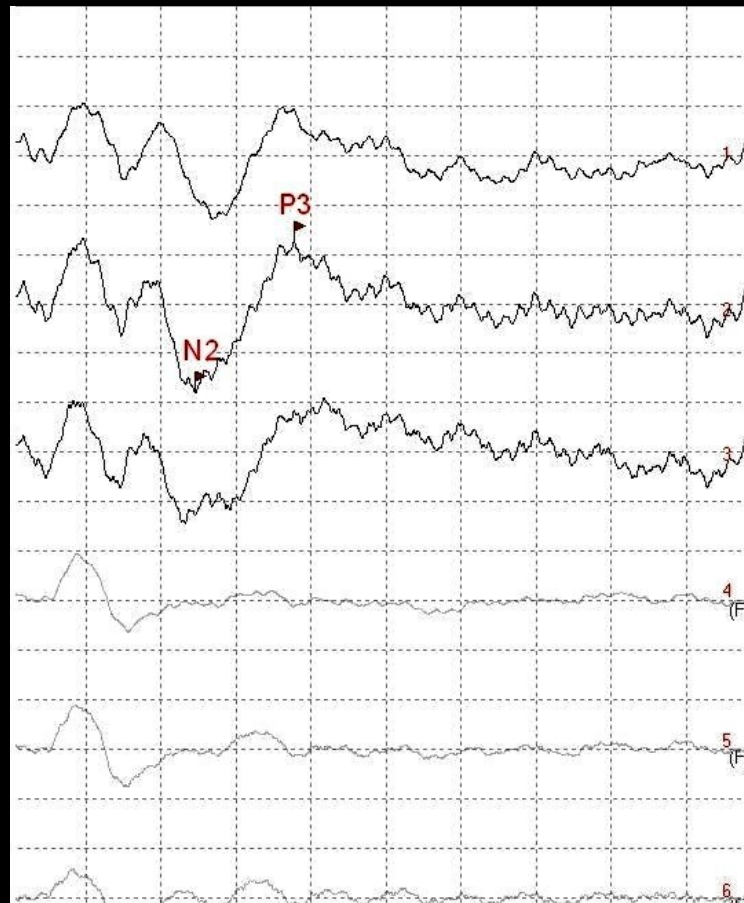
- elektrokochleogram odráží aktivitu vláskových buněk a sluchového nervu během prvních 4
- ms po prezentaci podnětu. BAEP registrujeme v intervalu 4–10 ms po podnětu
- jednotlivé vlny jsou generovány ve sluchovém nervu a dalších neuronech jader sluchové dráhy (*ncl. cochlearis, ncl. olivaris superior, ncl. Lemnisci lateralis, ncl. colliculi inferioris a ncl. corporis geniculati medialis*),
- oba krátkolatenční AEP je možné vyvolat u většiny subjektů včetně pacientů v kómatu, nejsou však přítomny při totální hluchotě a mozkové smrti,
- střednělatenční sluchový evokovaný potenciál (mid latency response, MLR) registrujeme v intervalu 10–50 ms po podnětu,
- Původ MLR je neurogení (mozkový kmen a primární sluchový kortex) a myogenní (stah *m. stapedius*),
- potenciály vázané na událost (event-related potentials, ERPs) jsou generovány v mnoha kortikálních a subkortikálních oblastech 50 -500 ms po prezentaci podnětu,
- mají vztah k percepčním a kognitivním (poznávacím) procesům a k mentálním operacím souvisejícím s iniciací volní motorické odpovědi na podnět. Vlna P3 (P300) je pozitivní ERP komponenta, kterou pozorujeme asi 300 ms po prezentaci sluchového podnětu a která pravděpodobně odráží kognitivní procesy. Výrazné prodloužení její latence je známkou poruchy kognitivních funkcí jedince (demence různé etiologie). ERPs mohou být vyvolány podněty jakékoliv modality a registrují se nejčastěji s využitím skalpových elektrod

Zvukový evokovaný potenciál

- při analýze jednotlivých komponent evokovaných potenciálů je hodnocena latence jejich vrcholu, polarita a amplituda,
- abnormality EP nejsou etiologicky specifické,
- přinášejí cennou informaci o charakteru patologického procesu (léze axonální, tj. ztráta neuronů nebo léze demyelinizační, tj. postižení myelinové pochvy),
- umožňují hodnotit progresi onemocnění či odezvu na léčbu; dovolují monitorovat funkci daného senzorického systému peroperačně a u nespolupracujících osob (malé děti, komatózní pacienti),
- detekují postižení systému ve fázi, kdy se ještě klinicky neprojevuje,
- umožňují kvantifikovat stupeň poškození a určit přesnější lokalizaci léze.

Evokované potenciály

- vlna p300 (průměrná latence 300ms)



Elektrorecepce (elektrocepce) u obratlovců

- schopnost vnímat elektrické impulzy
- vodní živočichové – voda je lepším vodičem elektrického proudu než vzduch (vysoký obsah iontů)
- všichni strunatci mohli vnímat elektřinu, během evoluce však tuto schopnost ztratili
- **elektrolokace** (detekce objektů na základě jejich různého elektrického odporu a vodivosti)
- vnitrodruhová komunikace (**elektrokomunikace** modulací elektrických vln)
- **obranné a útočné chování** (omráčení kořisti, odehnání predátora)

Bioelektromagnetismus

= produkce elektrického, magnetického nebo elektromagnetického pole živým organizmem
membránový a akční potenciál, toky iontů v nervech a svalech

použití jakéhokoliv svalu včetně srdce tvoří elektrické pole, které může být detekováno jiným živočichem

elektroreceptory

produkce elektrického pole uvnitř vs. vně těla

Elektrorecepční orgány

Nadtřída: Bezčelistnatci (*Agnatha*) =

Nadtřída: Čelistnatci (*Gnathostomata*)

Linie: Paryby (*Chondroichthyes*)

příčnoústí (*Elasmobranchii*) = žraloci, rejnoci

Linie: *Teleostomi*

chrupavčití (*Chondrostei*) = jeseteři

kostnatí (*Neopterygii*) = kostnaté ryby (*Teleostei*)

dvojdyšní (*Dipnoi*),

latimérie

ptakořitní savci (*Monotremata*)

Pasivní elektrolokace



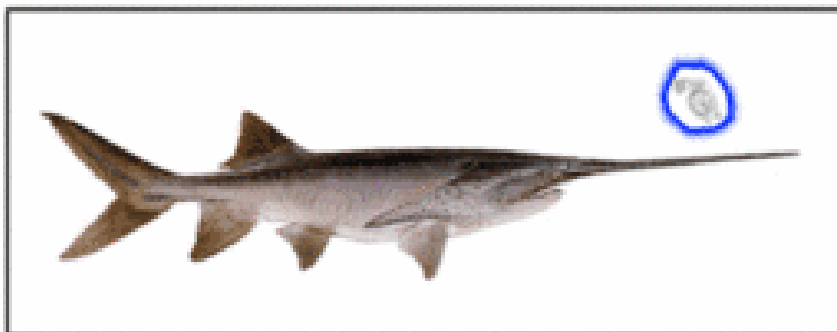
- živočich **vnímá** slabá elektrická pole generovaná ostatními živočichy
 - poprvé pozorována u příčnoústých – Lorenziniho ampule jsou citlivé na změny slabých elektrických polí (v roce 1770), pak objevení ampulárních receptorů u kostnatých ryb vyvinutých nezávisle (v roce 1971)
 - = žraloci, rejnoci
- Smyslový mechanismus** – ampulární receptory citlivé na nízkofrekvenční stimuly (pod 50 Hz)



Aktivní elektrolokace

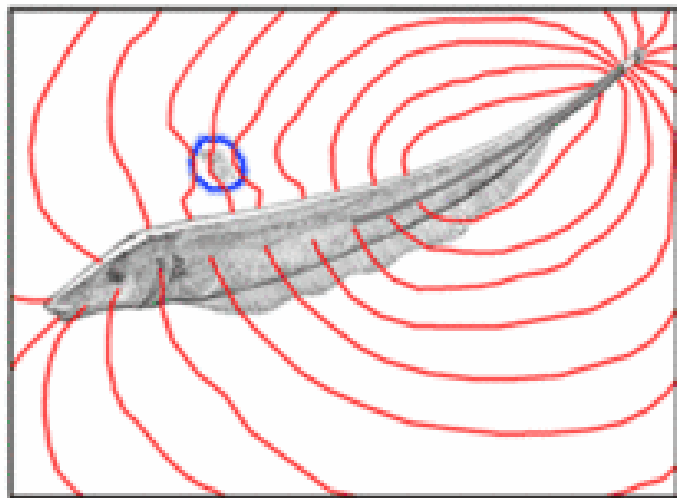
- k vnímání okolního prostředí tvoří živočich vlastní elektrické pole a detekuje jeho změny způsobené přítomností jiných objektů pomocí elektrorecepčních orgánů
 - důležitá v kalné vodě s nízkou viditelností
 - vývoj z postranní čáry (detekce pohybu)
 - silně elektrické ryby (elektrický úhoř)
 - slabě elektrické ryby (úhoři – Gymnotiform, Mormyriiform) – aktivně generují malé (< 1 V) elektrické impulzy použitím elektrického orgánu na ocasu sestávajícího ze 2-5 vrstev modifikovaných svalových buněk (elektrocytů); amplituda elektrického pole je okolo 1 mV/cm
 - výboj elektrického orgánu (electric organ discharge – EOD)
- Smyslový mechanismus** – tuberózní elektroreceptory citlivé na vysokofrekvenční stimuly (20-20.000 Hz)

A



: PASIVNÍ - Veslonos americký (*Polyodon Spathula*) vnímá elektrické pole emitované zooplanktonem (*Daphnia*)

B



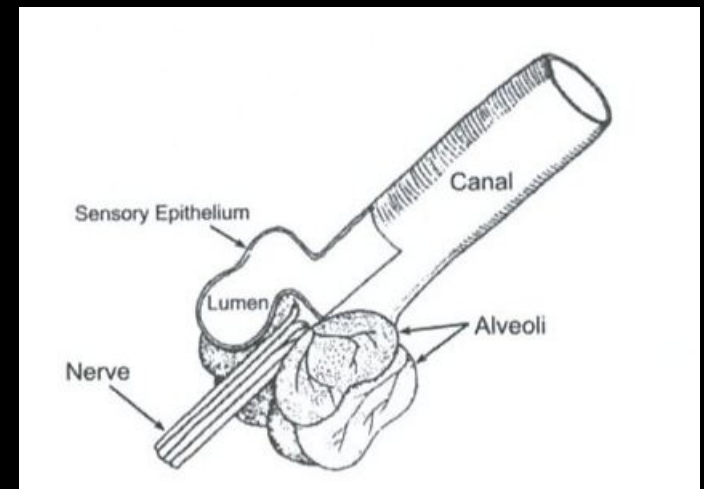
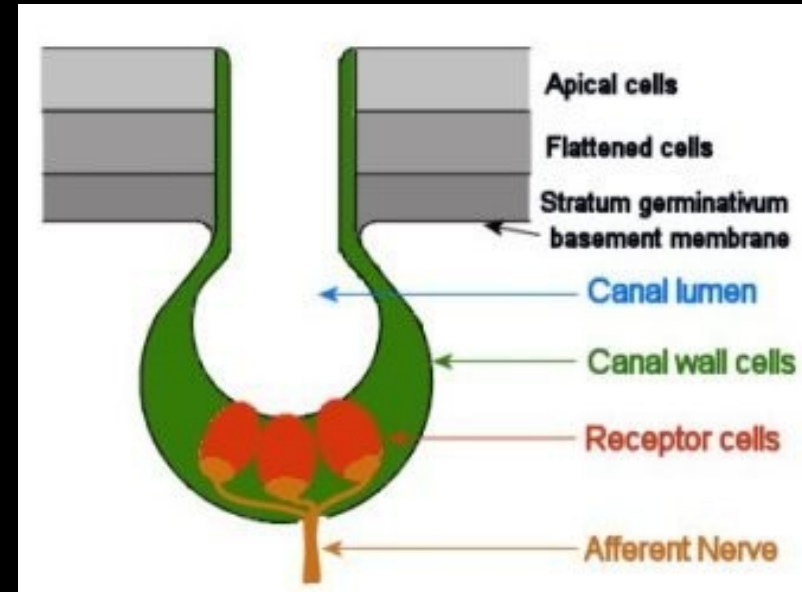
: AKTIVNÍ - Slabě elektrická ryba nožovka kolumbijská (*Apteronotus leptorhynchus*) emituje elektrické pole výbojem elektrického orgánu (EOD) na ocasu. Objekty s jinou vodivostí než je okolní voda způsobují změny elektrického pole tvořeného živočichem. Zooplankton má větší vodivost než je okolní voda a proto bude lokálně zesilovat elektrické pole.

Elektroreceptory

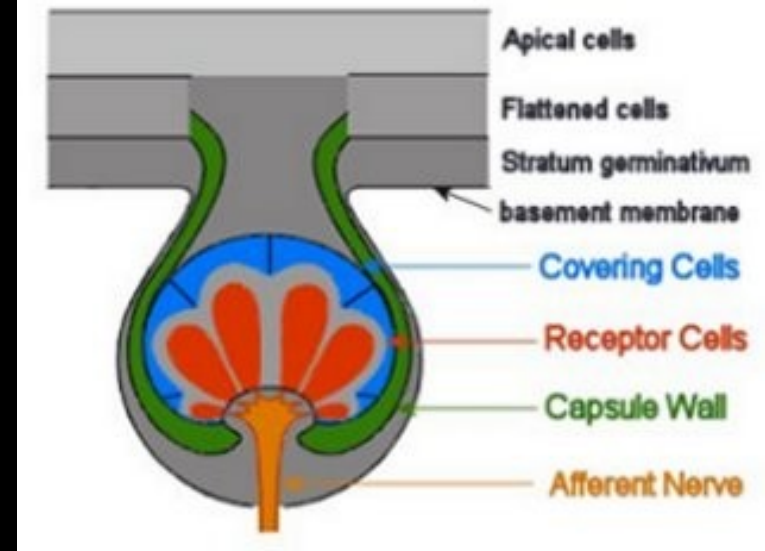
- tvoří kanály vedoucí na kožní povrch
- na dně každého kanálu jsou epiteliální vláskové buňky tvořící excitační synapse
- aferentní nerv pak přenáší akční potenciály do mozku
- některé receptory jsou citlivé na vnější elektrická pole, zatímco jiné jsou citlivé na změny produkce vlastních elektrických výbojů (EOD)

Ampulární receptory

- u „neelektrických“ druhů ryb jako jsou žraloci receptory zachycují velmi slabé a nízké frekvence od 0,2 do 20 Hz a jsou používány k detekci kořisti
- kanál vyplněný rosolem vede ze smyslových receptorů ke kožnímu povrchu
- pasivní elektrorecepce



Tuberózní receptory



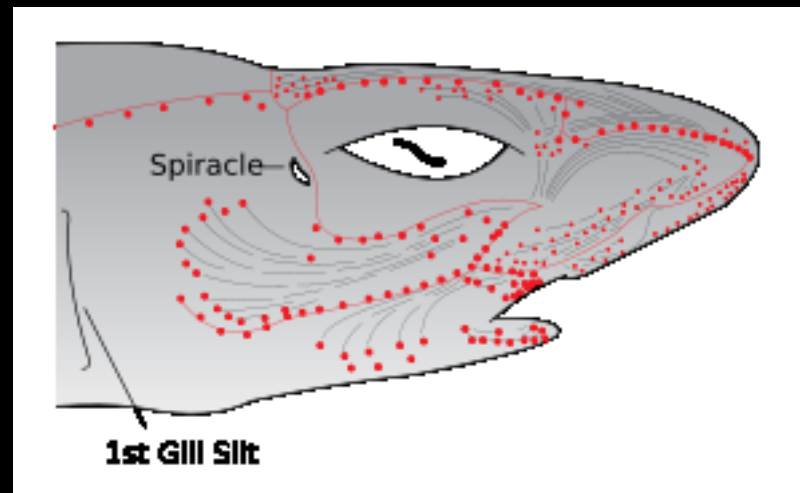
- zachycují mnohem vyšší frekvence v rozmezí od 30 do 1500 Hz
- jen u dvou skupin kostnaných ryb: *Mormyriiform* a *Gymnotiform*
- epiteliální buňky jsou vodivě spojené se smyslovými receptorovými buňkami k vnějšímu prostředí
- dvě skupiny receptorů: citlivé na změny frekvence a citlivé na změny amplitudy
- oba typy jsou spuštěny elektrickými podněty a mají za výsledek neurotransmisi signálu (výboj elektrického orgánu, pohyb) stejně jako jiné smysly (chuť nebo čich)
- aktivní elektrorecepce

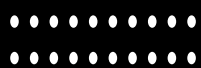
Příčnoústí (*Elasmobranchii*)



- - žraloci jsou elektricky nejcitlivější živočichové
- lov a navigace (+ GMP)
- sledování „magnetických dálnic“ podél mořského dna, detekce zahrabaných rejnoků nebo ryb skrytých pod pískem
- *bílý žralok* – vysoce citlivý, důležité pro přežití - ploutvonožci (lachtani a lvouni) hnízdí na skalnatých ostrovech, které jsou výsledkem tektonické aktivity (vyšší magnetická aktivita)
- pomoc při chycení kořisti – při skusu se jejich oči „otáčí v sloup“ (v momentu úderu jsou tedy dočasně slepí) - proto se spoléhají na elektrické podněty
- zraněná kořist vytváří asi 3x silnější elektrické pole než kořist nezraněná

- Lorenziniho ampule** - jemné lahvovité buňky vyplněné elektricky vodivým rosolem, s okolím jsou spojeny póry na spodní straně rypce
- ampule jsou prodloužením postranní čáry
 - základní funkční jednotkou jsou modifikované vláskové buňky
 - negativní náboj uvnitř ampulí způsobuje elektrickou změnu ve vláskových buňkách → uvolnění neurotransmiteru do sousedních smyslových nervů → přenos signálu do mozku → interpretace stimulu
 - shluky na vrcholu hlavy mezi očima, obklopující nozdry, pod každým okem a podél brady





Elektrický paúhoř

- schopnost generovat vysokonapěťové elektrické šoky,
- používá také nízkonapěťové impulzy pro navigaci a detekci kořisti v kalné vodě,
- tuto schopnost mají i ostatní *Gymnotiformes* (nahohřbetí)



Ptakořitní savci (*Monotremes*)

Ptakopysk podivný (*Ornithorhynchus anatinus*)



- využívají spojení mechano- a elektrorecepce,
- v pokožce zobáku je přes 850 tisíc jamek s nervovými zakončeními,
- ptakopysk (*Ornithorhynchus anatinus*) má 40.000 elektroreceptorů,
- ježura (*Zaglossus bruijnii*) 2.000 a ježura (*Tachyglossus aculeatus*) jen 400



- Inervované póry podobné ampulárním elektroreceptorům u ryb
- **3 typy receptorů v zobáku:** mechanoreceptor a dva typy elektroreceptorů (jamky odvozené ze sekrečních váček serózních a mukózních žláz, každá obklopená epitelem, otevírají se, když je zobák ponořený ve vodě)
- reflex ve formě trhavého pohybu hlavy vyvolaný elektrickými podněty v jejich směru
- detekce elektrického pole o menší síle než $20 \mu\text{V}/\text{cm}$

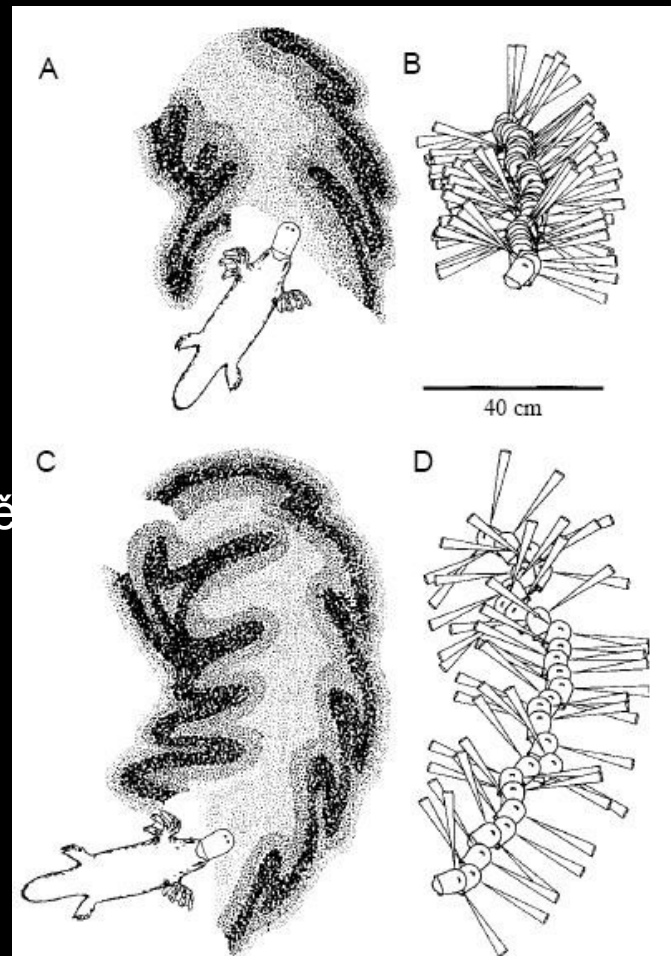


Fig. 4. Scanning head movements of a hunting platypus and the path taken by the axis of greatest sensitivity of the electrosensory system. The preferred axis was defined from thresholds for eliciting head saccades in response to a square-wave electrical stimulus. (A,B) Quiet swimming. (A) The area, extrapolated to benthos, that would be swept out by the axis of greatest sensitivity (light stipple, 10° ; dark stipple, 20°). (B) The axis of each bill (narrow cone shape) at 100ms intervals. (C,D) As in A,B, but after contact with the prey. Note the threefold increase in area covered in the same time in the active phase triggered by contact with the prey ($0.114\text{m}^2\text{s}^{-1}$ compared with $0.042\text{m}^2\text{s}^{-1}$). (Taken from Manger and Pettigrew, 1995, with permission.)

Srovnání elektrorecepce u elektrických

Podobné:

- 1) Evoluce podobných strategií různým způsobem. Elektrorecepce ptakořitných savců se vyvinula nezávisle na systému ryb. Různé základy smyslových orgánů, různé mechanismy smyslové transdukce a různé podpůrné role mechanorecepce.
- 2) Prahová úroveň vnímání celého živočicha je mnohem nižší než individuálních receptorů, což je výsledkem signálních pochodů mnoha elektroreceptivních aferentních vláken.
- 3) Elektroreceptor je excitován katodovým proudem a odpovídá na velmi nízké frekvence stimulu.
- 4) Receptor je chráněn na bazální straně epiteliálním pórem (žláznaté jamky u ptakořitných savců, ampula u ryb).

Rozdíly:

	Ptakopysk	Elektrická ryba
Nerv	Trigeminální (V. hlavový nerv)	Octavo-laterální (VIII. hlavový nerv)
Zpracování informace	Přední mozek	Zadní mozek
Směr zdroje elektrického pole	Přímý	Nepřímé odvození algoritmem
Nervové zakončení	Nahé; bez epiteliálních receptorových buněk; řetězec 16 vláken	Epiteliální buněčná transdukce
Spojení s mechanorepcepcí	ano	ne