

(MEMS) Inteligentné senzory a aktuátory

Ing. Richard Balogh

Senzor

LAT *sentire* – vnímať, cítiť, hmatať, pociťovať

GB Sensor, detector
DE Sensor, (Messgrößen-)Aufnehmer, (Mess-)Fühler
FR Capteur
PL Czujnik
HU Érzékelő
UA Давач [davač]
RU Датчик [datčik]
CZ Senzor, čidlo, snímač

Zdroj informácií pre riadiaci systém (napr. mozog) v užšom slova zmysle technické zariadenie (prvok), ktoré meria určitú fyzikálnu alebo technickú veličinu a prevádza ju na signál, ktorý je možné prenášať a ďalej spracovávať v meracích a riadiacich systémoch. Najčastejšie ide o elektrický signál.



Senzory a človek

- Chuť
- Čuch
- Hmat
- Sluch
- Zrak



Chuť

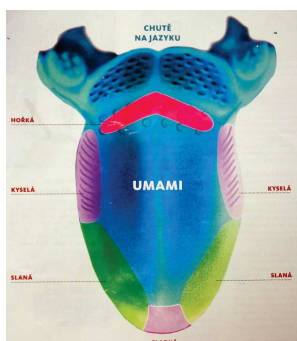
Štefan Balko

telesný zmysel
vnímanie chemickej
látky v rozpustenej
podobe
vlastnosť látok

kvapalinová chemická analýza

Typy chutí

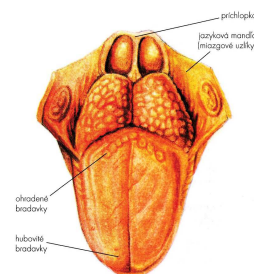
- Sladká
- Slaná
- Horká
- Kyslá
- Umami



Chute sú vnímané celou plochou jazyka (aj keď niektoré časti sú viac citlivejšie)

Jazyk (orgán)

chrbát, hrot, okraj, koreň
najviac pohárikov je priamo
na sliznici jazyka aj v
ústnej dutine či hornej
časti hltana
v priemere od 2000 do 8000
pokrytý viacvrstvomým
dlaždicovým epitelom



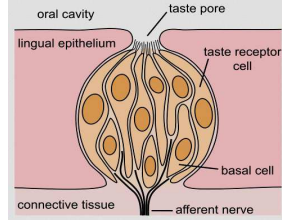
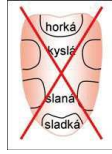
Chuť

kvapalinová chemická analýza

sladká → glukóza a org. molekuly
sweet 3,42 g

slaná → Na⁺ a ďalšie ióny soli
salty 0,58 g

umami → glutaman a aminokyseliny
うま味 0,10 g



Chuť

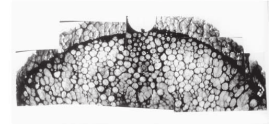
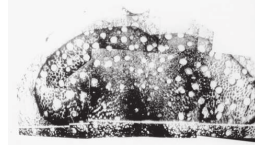
len rozpustné látky

kyslá → hydrogénnové ióny (kyseliny)
sour 0,033 g

horká → hydroxylové ióny (zásady)
bitter 0,000 000 8 g

vápniková (calcium), kovová, tuková (fatty)
štiplavosť → bolesť, nie chuť

Človek má 500 – 10 000 receptorov



A

B

Čuch

Hudek Adrián

plynová chemická analýza

Zmyslové orgány sú špecializované anatomicke štruktúry, ktoré poskytujú mozgu informáciu o špecifických zmenách vonkajšieho prostredia.

Rôzne živé organizmy môžu mať rôzne anatomicky usporiadané zmyslové orgány, s rôznou citlivosťou a zložitou.

Čuch je najcitlivejším zmyslom ľudského tela.

Rovnako ako chuť je chemickým zmyslom, ktorým neustále monitorujeme svoje okolie.

Prostredníctvom čuchu sme pri dýchaní informovaní o aktuálnej kvalite okolitého ovzdušia a o prípadnom hroziacom nebezpečenstve.

Ako funguje čuch

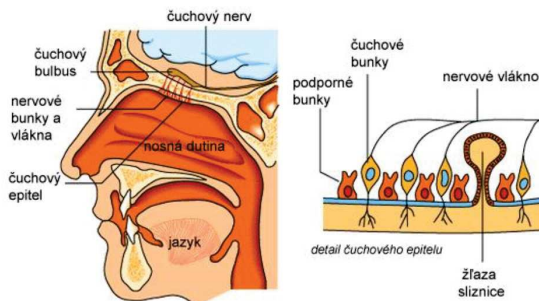
Čuchové bunky sa nachádzajú hlboko v nosnej dutine v čuchovej výstelke nosovej sliznice, plocha ktorú zaberajú je približne 5 cm². Ich počet sa odhaduje na 25 miliónov.

Životnosť čuchovej bunky je približne 30 dní, potom je nahradená novou bunkou.

Čuchové bunky vystupujú na povrch nosnej sliznice chránené chumáčikom drobných bŕv. V hĺbke sliznice vytvárajú čuchové bunky zo svojich vodivých výbežkov spleť, z ktorej vznikajú vlákna čuchového nervu. Ten vedie čuchový vnem do čuchového bulbusu a odtiaľ do čuchového centra mozgu.

Vyhodnotenie vnemu je zložitý proces. Prenesený signál musí byť porovnaný s tým, čo už je uložené v pamäti, aby sme boli schopní povedať či je nám vôňa, čo práve cítime príjemná, alebo ktorá vôňa, z tých ktoré poznáme, je tomu čo cítime najviac podobná.

Čuchové ústrojenstvo



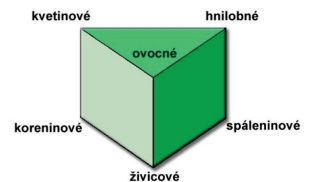
Čuchové podnety

Adekvátnym podnetom pre čuch sú prchavé látky vo vdychovanom vzduchu.

Človek dokáže rozlíšiť niekoľko tisíc čuchových kvalít, ale vône a zápachy ako podnety sa presne klasifikovať nedajú. Len asi 50 látok dáva tzv. čuchové pocity.

Rozdeľujú sa na vône (pachy):

- Koreninové
- Kvetinové
- Ovocné
- Živicové
- Hnilobné
- Spáleninové



Čuch

plynová chemická analýza

Skupiny:

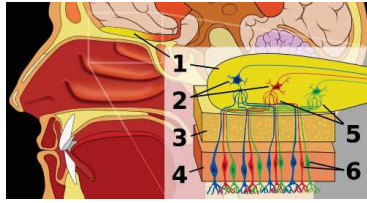
- kvetinový
- ovocný
- živočíšny
- hnilobný
- korenistý
- spáleninový

cca 50 čistých pachov

40 – 50 miliónov

individuálnych receptorov

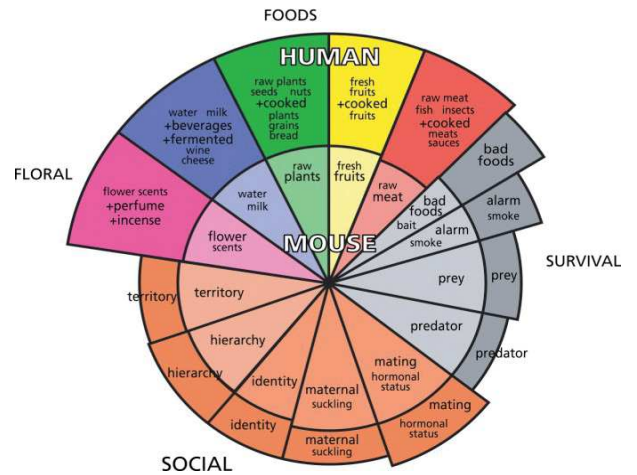
500 – 1000 rôznych typov



Human olfactory system. 1: Olfactory bulb 2: Mitral cells 3: Bone 4: Nasal epithelium 5: Glomerulus (olfaction) 6: Olfactory receptor cells

Mozog dokáže rozlíšiť
3 – 10 tisíc rôznych pachov

RELATIVE ODOR WORLDS OF MOUSE AND HUMAN



Hmat

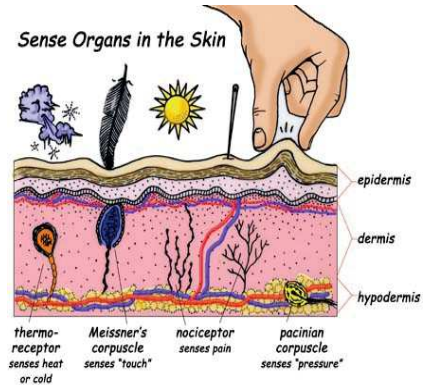
Martin Muller

- Je to jeden zo piatich telesných zmyslov
- Pomocou hmatu je človek schopný vnímať tlak, dotyk, chlad, teplo alebo bolesť
- Na vnímanie jednotlivých vnemov slúžia zhluky zmyslových buniek tzv. receptory umiestnené v koži ktoré pri kontakte s okolím vyvolajú komplexný hmatový vnem ktorý je posielaný do mozgu

Hmat

Súhrn viacerých:

- teplota
 - chlad
 - teplo
- dotyk → tlak
- bolesť
- poloha



Rozdelenie

- Jednotlivé receptory sa rozdeľujú na 3 skupiny : a) receptory na vnímanie tlaku a dotyku
 - b) receptory na vnímanie chladu a tepla
 - c) receptory bolesti

Receptory na vnímanie tlaku a dotyku

– sú to jednoduché hmatové telieska, pomocou ktorých zisťujeme aký má predmet tvar, povrch, hmotnosť, tvrdosť a podobne. Tieto receptory sú

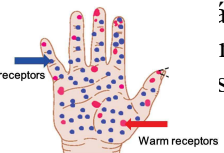


uložené v koži a sliznici orgánov. Najviac sa ich nachádza na dlani, prstoch a na perách. Najcitlivejšie na dotyk a tlak sú končeky prstov a špička jazyka.

Receptory na vnímanie chladu a tepla –

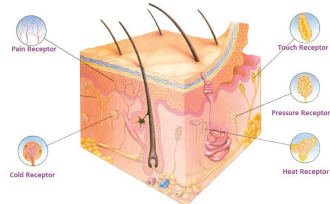
nachádzajú sa iba v koži, a jednotlivé receptory sú umiestnené v odlišných vrstvách kože. Priamo z receptorov sa informácie o teplote či chlade prenášajú v forme vzrušenia do mozgu. Najviac receptory sa nachádzajú v tvárovej časti rúk.

Najcitlivejšie na teplo je



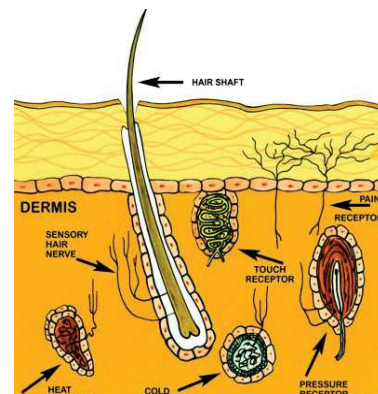
Receptory bolesti – sú reprezentované ako voľné nervové zakončenia v koži. Na rozdiel od ostatných receptorov sú rozmiestnené vo všetkých tkanivách. Vysielajú impulzy do mozgu vždy, keď sa teplo, chlad alebo tlak stanú príliš silnými. Mozog zaznamená takéto impulzy ako bolesť. Najcitlivejšia na bolesť je očná rohovka.

Na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť znázornenie všetkých hmatových receptorov nachádzajúcich sa v koži



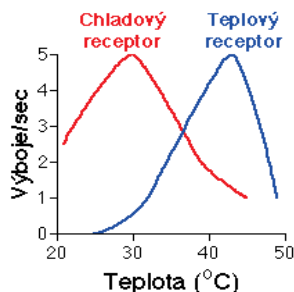
Hmat

- Bolesť Nociception
- Teplo Thermoception
- Rovnováha Equilibrioception
- Mechanoreception
 - tlak
 - vibrácie
- Proprioception



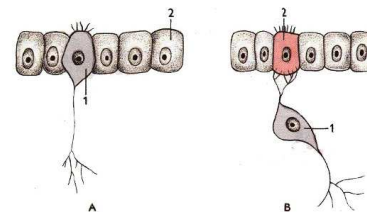
Hmat: Teplo

- **Termoregulácia**
nie je presne jasné, čo je regulovaná veličina (kombinácia teploty mozgu a tela, obsah tepla?)
- Reakcia na ZMENU teploty o 0,1°C
- Teplový registruje nárast (30 – 43°C)
- Chladový registruje pokles (35 – 15°C)



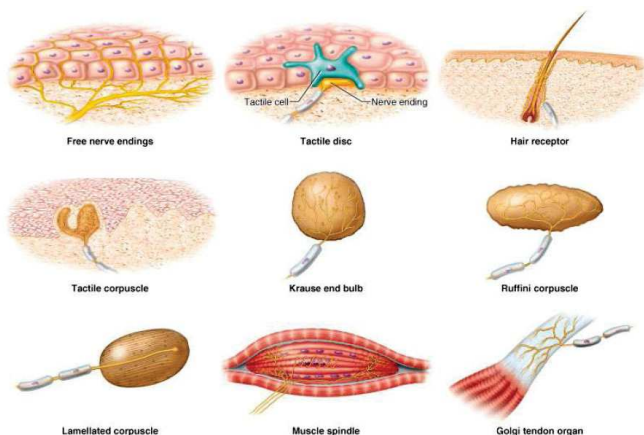
Hmat: Bolesť

- Voľné nervové zakončenia
 - 10 ks / cm² lýtko
 - 300 ks / cm² temeno
 - aj vnútrotelové



Obr. 47: Typy smyslových buniek. A - neuron, vysunutý k povrchu, reprezentuje primárny smyslovú buňku (napr. žihovcovú buňku). B - neuron uložený pod povrchom epitelu je svojimi dendritickými výbežky napojený na sekundárny smyslovú buňku, ktorá sa modifikovala z epitelovej buňky (napr. sluchová buňka). 1 - neuron, 2 - epitelová buňka pľemenná v smyslovú buňku. Orig.

Hmat: Tlak



Hmat: Dotyk

mechanoreceptory

povrchové

1. hmatové chlpy cicavcov (**pili tactiles**) - napr. okolo úst
2. hmatové pierka vtákov (**vibrissae**)
3. Meisnerove telieska - v zamši (chodidlá, dlane)
4. Grandryho telieska - plazy, vtáky (podnebie, jazyk, okolie zobáka)
5. Herbstove telieska (zobák a okolie, ústna dutina vtákov)
6. Brownove a hogganove telieska (tlapy medvedov)
7. Merkelove terčičky (rypák ošípanej)

hĺbkové hmatové telieska

8. Vater-Pacciniho telieska - v zamši, v svalových pošvách, úponoch, okostica, ochrupkovic, väzivové obaly všetkých vnútorných orgánov
9. svalové vretienka (pozmenené vlákna priečne pruh. Svaloviny), registrujú zmeny v natiahnutí svalu
10. šľachové telieska - voľné nervové zakončenia v mieste, kde sa šľacha spája so svalom

Poloha

Statokinetický vestibulárny orgán

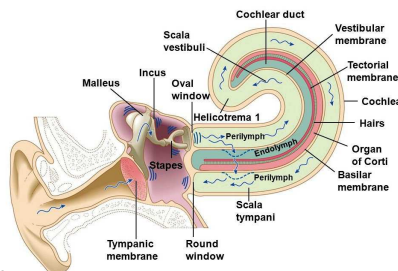
Stanislav Révay

Statický receptor

Nachádza sa vo vajcovitom guľovitom vačku

Tvoria ho nahromadené zmyslové bunky, ktorých vlásky sú čiastočne ponorené do rôsolovitej hmoty obsahujúcej drobné kryštáliky minerálnych solí.

Pri zmenách polohy hlavy vznikajú zmeny tlaku a ťahu kryštálikov na vlásky.



Paralelizmus

Paralelou k statokinetickému receptoru je vo svete techniky gyroskop

Sleduje sa zmena kapacity kondenzátorov

Obsahuje aj akcelerometer



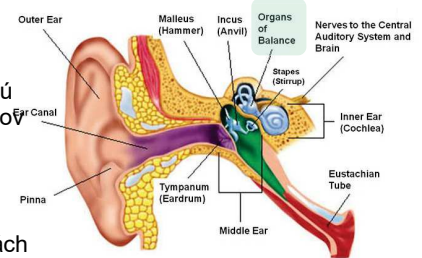
Kinetické a statické orgány

Uložené sú v labyrinte skalnej kosti lebky

Sú to zmyslové bunky, ktorých vlásky vyčnievajú do polkruhových kanálikov kinetického receptora

Sú dráždené prúdením endolymfy pri rotačných pohyboch hlavy - zmenách uhlového zrýchlenia

Ich dráždením vzniká informácia o polohe

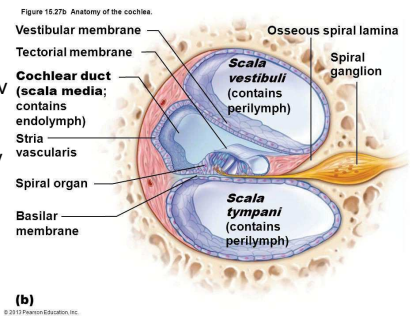


Kinetický receptor

Kinetický a statický receptor pracujú ako celok

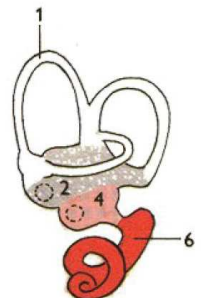
Udržanie vzpriameného postoja a rovnováhy či už v pokoji alebo v pohybe

Subjektívne vnímanie polohy hlavy a ich zmien sa uskutočňuje v spánkovom laloku mozgovej kôry

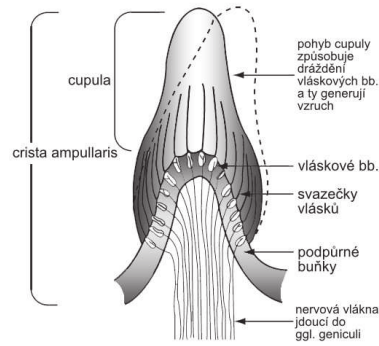
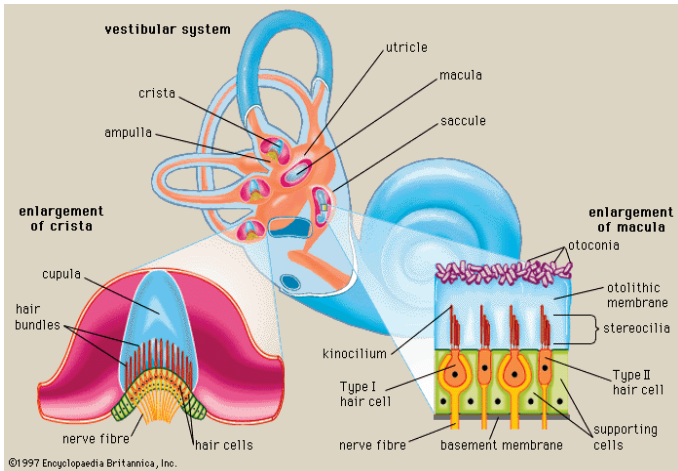


Poloha

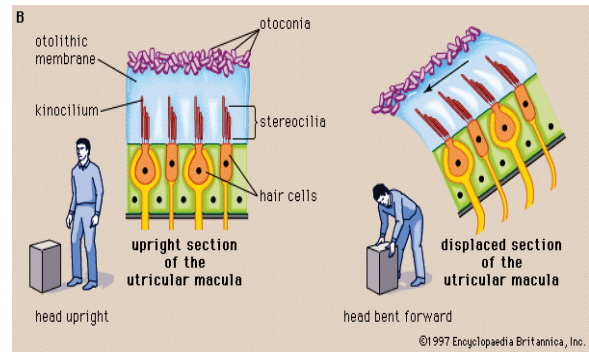
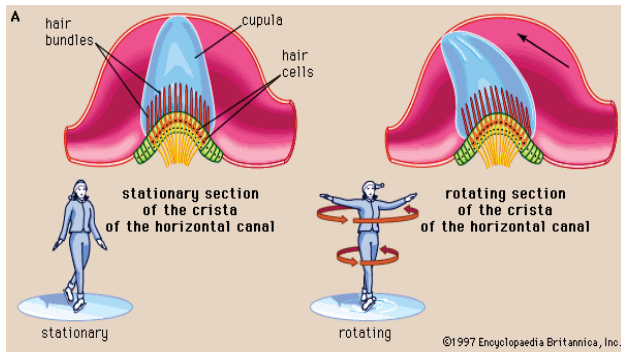
- Statokinetický orgán
- 3 navzájom kolmé kanáliky registrujú uhlové/rotačné zrýchlenie navzájom v zrkadlovom postavení
- horizontálne vzruchy
- vertikálne vzruchy (výťah) abnormálne



Vestibulárny systém



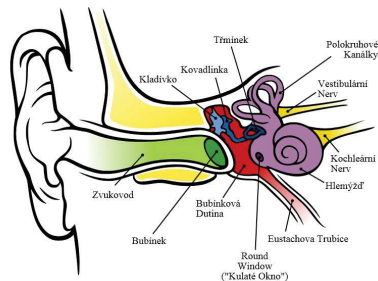
Poloha



Sluch

Matej Hyčko

Čo je sluch



Fyzikálne vlastnosti signálov

Pre sluch zdravého mladého človeka sú počuteľné frekvencie v rozmedzí: **16Hz – 20kHz**. S pribúdajúcim vekom sa znižuje horná hranica znižuje. (to zn. s vekom klesá schopnosť počuť vysoké frekvencie)

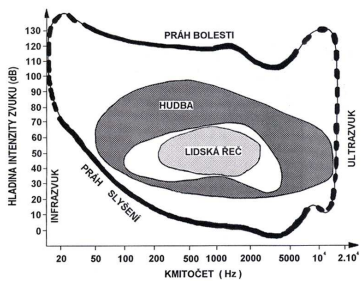
Ľudský hlas má rozsah od cca 200Hz do 4000Hz. Pre prenos zrozumiteľnej reči ale postačuje výrazne užšie pásmo (1-3kHz) (viď. Band-pass filtre vo vysielákach).

Hladinu akustického tlaku (A), ako aj väčšinu iných zmyslov vníma človek logaritmicke. (To zn. že aby sme napr. subjektívne usúdili, že je niečo 2x hlasnejšie, hladina akustického tlaku musí byť 10 násobne vyššia.) Preto sa hladina intenzity zvuku určuje v logaritmickej mierke (dB).

Určovanie polohy zvuku v priestore

Vďaka tomu, že má človek uši po stranách hlavy, umožňuje mozog človeka určiť miesto zdroja zvuku. Mozog vie rozpoznať jemné rozdiely v hlasitosti, časovom posune aj v potlačení niektorých frekvencií medzi dvoma ušami a na základe podvedome získaných „skúseností“ určiť odkiaľ zvuk pochádza. (Batofa nevie určiť zdroj zvuku, pretože jeho mozog sa musí najprv naučiť a osvojiť túto schopnosť).

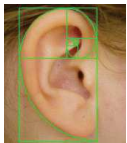
Lokalizácia prebieha trojrozmerné: horizontálny uhol, vertikálny uhol a vzdialenosť. Keďže sú uši po stranách hlavy symetricky, určovanie vertikálneho uhla je menej presné. (Sovy majú uši asymetricky aby mohli určiť pôvod zvuku vo všetkých troch rovinách).



Rozsah počuteľnosti u zdravého mladého človeka v závislosti na hladine intenzity zvuku a kmitočte.

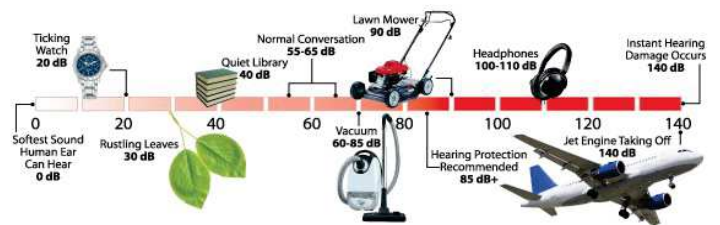
Sluch

- Intenzita – hlasitosť
- Frekvencia – tón
- Rotačné zrýchlenie
- Lineárne zrýchlenie
- Statická rovnováha



Sluch

rozsah hodnôt



Najtichší zvuk

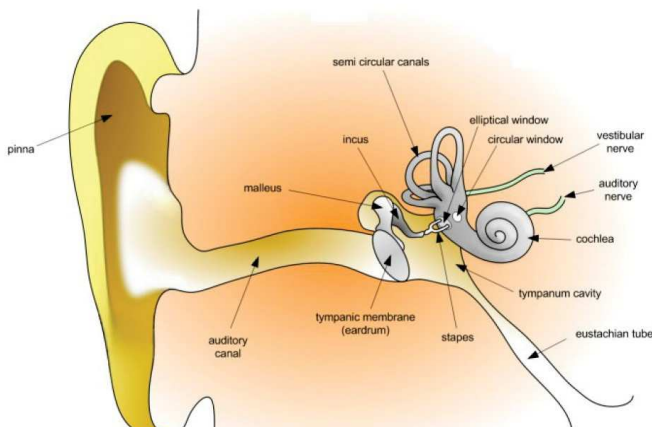
Dýchanie	0 dB
Šepot, listie	10 dB
Spáňa, vidiek	20 dB
Knižnica, vtáci	30 dB
Bežná konverzácia	40 dB
Reštaurácia, urad	50 dB
Auto (z 10m), vysávač	60 dB
Vlak, vŕtačka	70 dB
	80 dB

Boeing (z 1km)	90 dB	8 hod
Motorka, traktor	100 dB	2 hod
Klaksón, rock	110 dB	30 min
Retazová píla	120 dB	7,5 min
Prah bolesti	130 dB	1 sec.
Výstrel, Na lietadlovej lodi	140 dB	trvalé pošk.
Prúdové lietadlo (z 25m)	150 dB	bubienok X

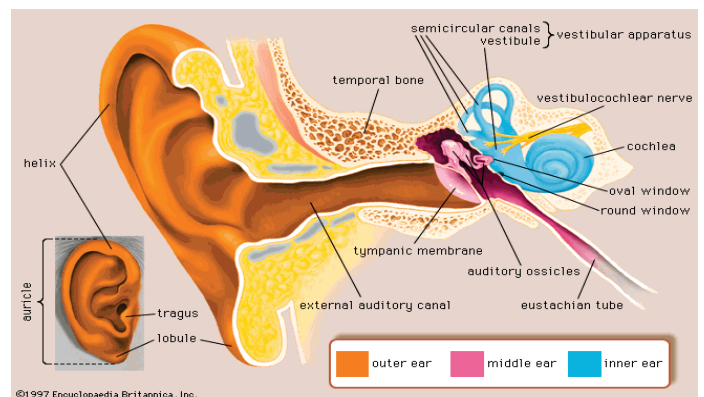
poškodenie vlásokočových buniek je nevratné

Sluch

pozdĺžny prierez ušom človeka

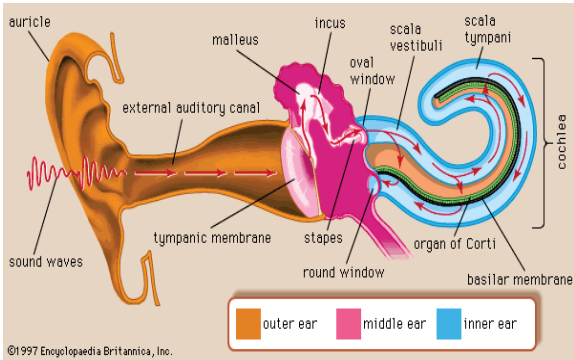


Sluch

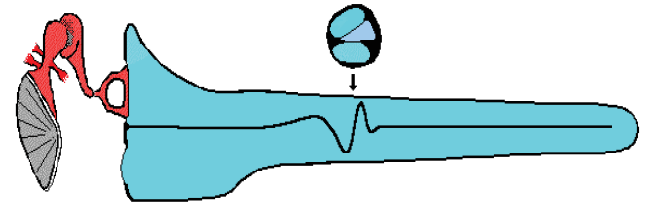


©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

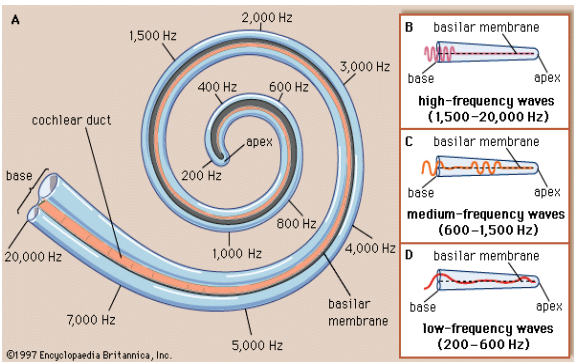
Sluch – prenos zvuku



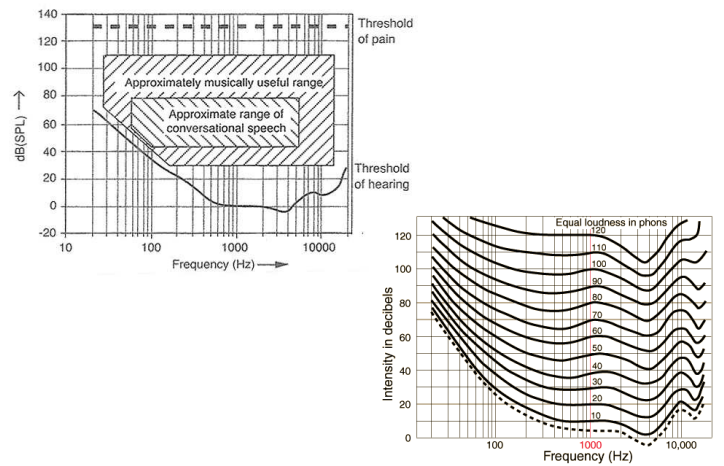
Sluch – prenos do slimáka



Sluch – frekvenčná analýza



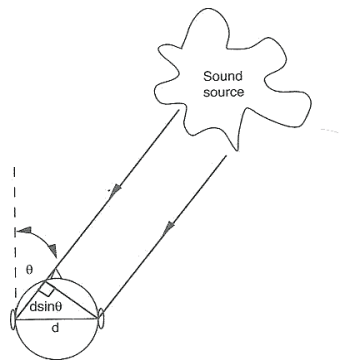
Sluch – rozsah



Sluch – určovanie polohy

- Kombinácia viacerých spôsobov:
- Interaural time difference (ITD)

$$\Delta t = d \sin(\theta) / c$$
 c je rýchlosť zvuku [m/s]
- Interaural intensity difference (IID)



<http://www.feilding.net/sfuad/musi3012-01/html/lectures/index.htm>

Zrak

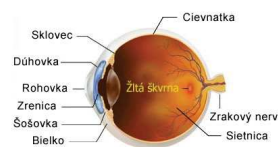
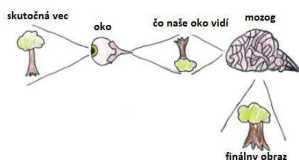
Erik Lampert



Ako fungujú naše oči

Naše oči fungujú podobne ako fotoaparát, svetlo z niečoho na čo sa pozeráme prejde cez šošovku oka a je zachytené špeciálnymi bunkami na zadnej strane oka (sietnica)

Obraz ktorý zachytáva naše oko je otočený naopak, tento obraz sa spracováva vo vizuálnej časti mozgu a tá pomocou tej vidíme obraz správne otočený



Rohovka a šošovka – pomáhajú lúč svetla spojiť a zaostríť na zadnú stenu oka sietnicu

Sietnica – funguje ako senzor vo fotoaparáte, zachytáva obraz otočený naopak, skladá sa zo svetlo citových buniek tyččiek (čiernobiele) a čapčiek (farby) tie vysielať nervové impulzy zrakovým nervom do mozgu

Bielko – zakrýva vonkajšiu časť oka s výnimkou rohovky

Dúhovka – farebná časť oka, riadi množstvo svetla ktoré vstupuje do oka

Zrenica – diera uprostred dúhovky, púšťa svetlo do nášho oka, za jasného svetla je veľmi malá

Žltá škvrna – časť sietnice, kt. nie je citlivá na svetlo, nie sú tam žiadne tyčinky ani čapky, miesto kde je zrakový nerv pripojený k sietnici

Zrak

Ekvivalentom oka je svetelný senzor

Svetelné senzory fungujú 2 spôsobmi – detekujú množstvo svetla a prevedú ho na číselnú hodnotu ktorá sa odošle do počítača, druhý spôsob funguje na základe zistenia jasu objektu vyslaním svetla a zisťovaním koľko sa ho odráža naspäť. Odrazené svetlo sa konvertuje na číselnú hodnotu a tá sa pošle do počítača, ak pred senzorom nie je žiadny objekt, senzor pošle hodnotu 0

Zrak

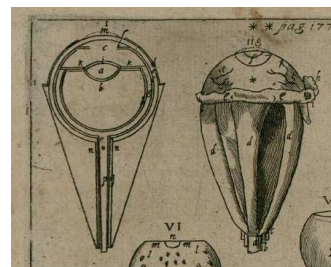


Zrak



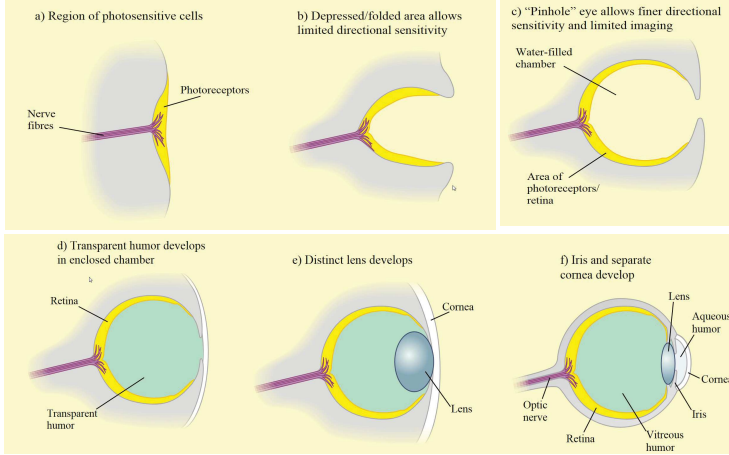
Zrak

- Intenzita – jas
 - Frekvencia – farba
- Spracovanie obrazu v mozgu



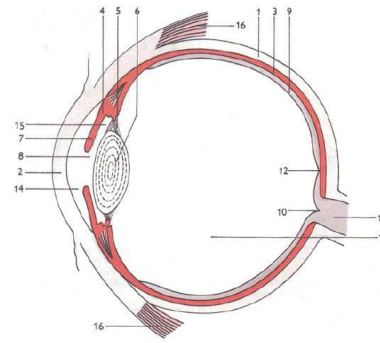
Johannes Kepler, "Ad Vitellionem paralipomena quibus Astronomiæ pars optica traditur", Francofurti, Apud Claudium Marnium & Hæredes Ioannis Aubrii, 1604.

Zrak



Zrak

anatomická stavba oka cicavec



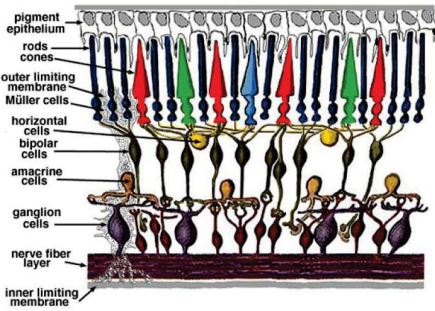
1. bielko (sclera)
2. rohovka (cornea)
3. cieľovka (chorioidea)
4. ciliárny sval (corpus ciliare)
5. riasnatý val (zonula ciliaris)
6. šošovka (lens cristallina)
7. dúhovka (iris)
8. zrenička (pupilla)
9. sietnica (retina)
10. slepá škvrna (fovea coeca)
11. zrakový nerv (nervus opticus)
12. žltá škvrna (fovea centralis)
13. skľovec (corpus vitreum)
14. predná očná komora
15. zadná očná komora
16. svaly očnej gule

Zrak

color – cones / čapíky
tyčinky

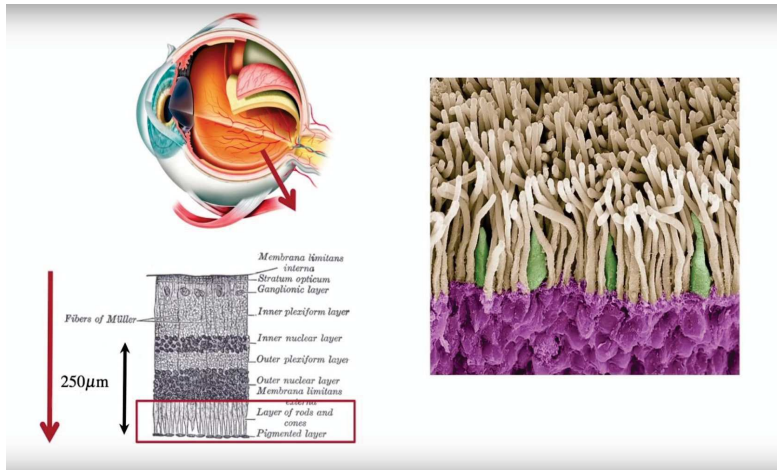
b&w – rods /

mikroskopický rez sietnicou

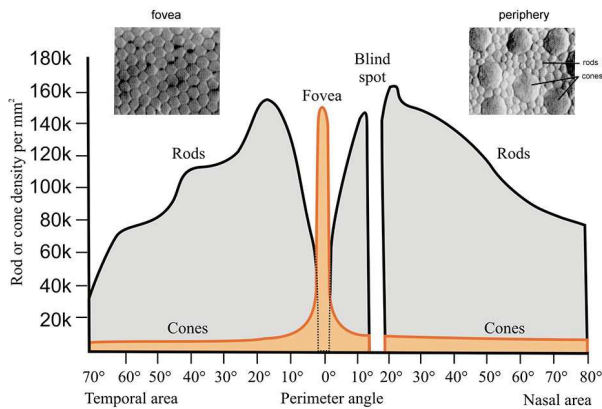


1. pigmentový epitel
2. vrstva tyčiek a čapíkov
3. vrstva horizontálnych buniek
4. vrstva bipolárnych neurónov
5. vrstva gangliových buniek (multipolárne neuróny)
6. vrstva axónov gangliových buniek spájajúcich sa v zrakový nerv

Zrak

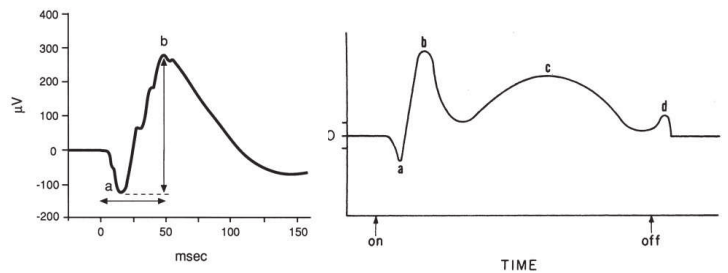


Zrak



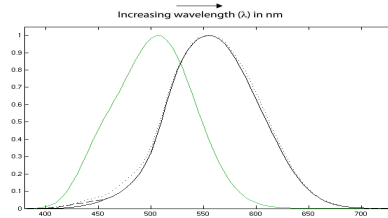
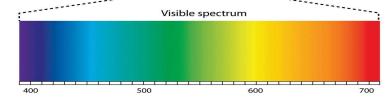
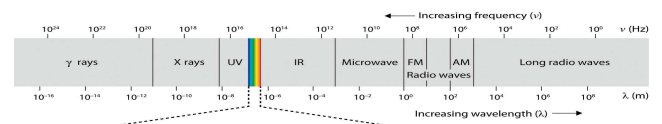
Zrak

– elektroretinogram

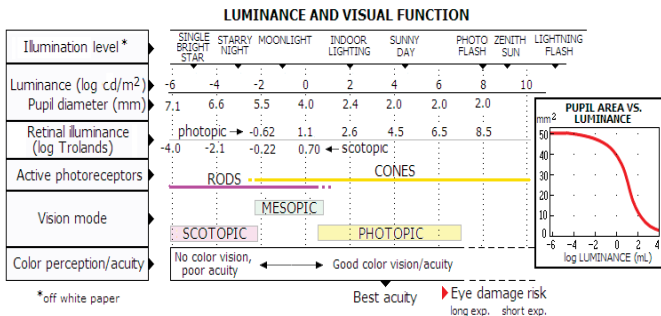


Zrak

spektrálna citlivosť

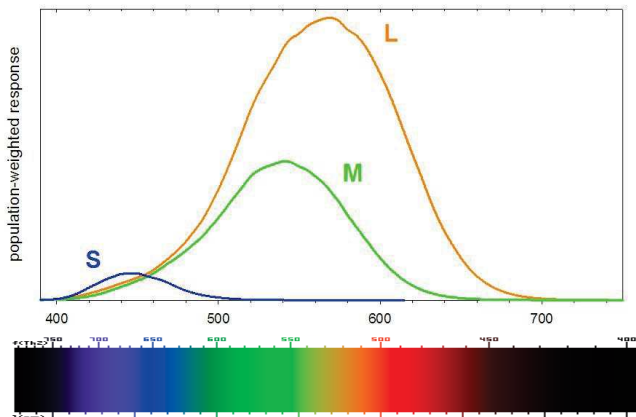


Photopic (black) and scotopic (green) luminosity functions



Zrak

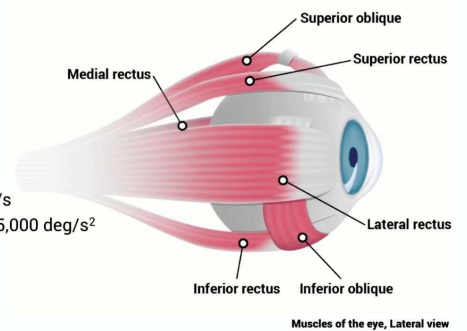
spektrálna citlivosť



Zrak

Seeing is an active process

- Fastest moving muscles in the human body
 - rotational speed: 600deg/s
 - rotational acceleration: 35,000 deg/s²



Muscles of the eye, Lateral view

Zrak

Which question was the test subject responding to?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967 Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

Which question was the test subject responding to?

- a) What are the material circumstances of the family?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967 Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

Which question was the test subject responding to?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors
Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

Which question was the test subject responding to?

- What are the material circumstances of the family?
- What type of clothes are the family wearing?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors
Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

Which question was the test subject responding to?

- What are the material circumstances of the family?
- What type of clothes are the family wearing?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors
Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

Which question was the test subject responding to?

- What are the material circumstances of the family?
- What type of clothes are the family wearing?
- What age are the figures in the painting?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.

Artwork: Unexpected visitors
Ilya Repin | 1884-1888

Zrak

– prehľad parametrov

Tyčinky (rods) 125 000 000 480 nm 1 fotón
Čapíky (cones) 5 500 000 480 500 570 nm 5-7 fotónov
rozsah: 397 – 723

- Hustota 160 000 / mm²
- Počet vlákien 2 x 450 000 Kapacita 3 MB/s
- Priemer zreničky 1,5 – 8 mm