

(MEMS) Inteligentné senzory a aktuátory

Prednáška 4: ľudské zmysly ako senzorové systémy

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.

1

2



Senzory a človek

- Chuť
- Čuch
- Hmat
- Sluch
- Zrak



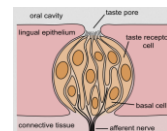
Chuť

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



3

4

Chuť

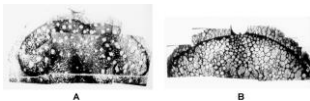
len rozpustné látky

kyslá → vodíkové 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

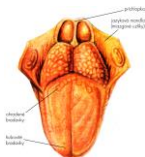


5

6

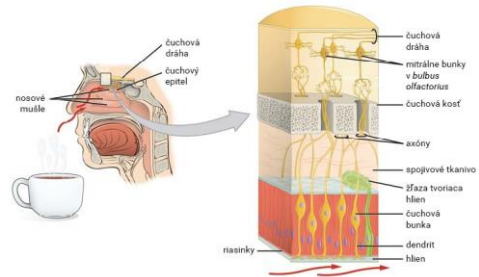
Jazyk (orgán)

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



Peter Sedláček: Čuch

Najcitlivejší zmysel
 Chemický zmysel
 Receptory sú v nosnej dutine
 Vnímanie čuchu je komplexné – jedna látka dokáže stimulovať viac receptorov
 Informácie sa skladajú až v mozgu



7

8

Parametre

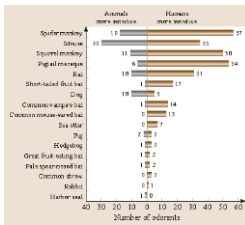
Plocha cca 5cm²
 25 miliónov čuchových buniek
 Billión rôznych pachov

Čuchové podnety

Cca 50 čistých pachov
 Rozdeľujú sa na vône (pachy) koreninové, rastlinné, ovocné, živicové, hnilobné a spáleninové
 Väčšina pachov vyvoláva zmiešané pocity

9

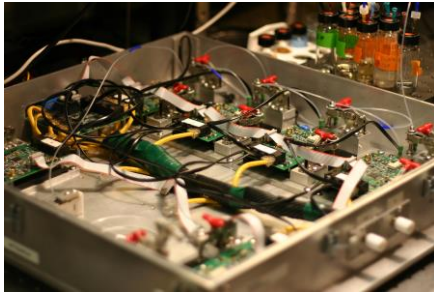
10



11

<https://news.mit.edu/2021/disease-detection-device-dogs-0217>

12



An early version of the artificial nose developed by Mershin and his co-workers. Over time, the device has been miniaturized and is now smaller than a typical cellphone.

Photo: Medical Diagnostic Dogs

13



14

Čuch

plynová chemická analýza

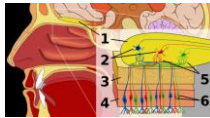
Skupiny:

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

cca 50 čistých pachov

40 – 50 miliónov individuálnych receptorov

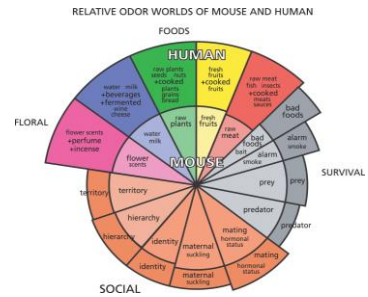
500 – 1000 rôznych typov



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

16



17

Viliam Rideky:

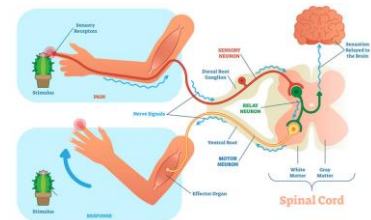
Hmat

Vnímanie a interpretovanie fyzických vlastností objektov
 Vnímanie prostredia pomocou dotyku
 Rozlišovanie rôznych vlastností



18

- Tlak
- Teplota
- Textúra
- Tvar a rozmery
- Vlhkosť



19

Vnímanie teploty hmatom

Rozdiely medzi biologickým zmyslom a technologickým senzomom

Citlivosť
Rozsah merania
Presnosť
Rýchlosť merania
Schopnosť zachytávať menšie rozdiely

Typy teplotných senzorov

Termočlánky (najpoužívanejšie)
Termistory
RTD (na báze odporu)
Termopary (rozdiel teplôt)
Infračervené senzory

20

20

Vnímanie tlaku hmatom



Rozdiely medzi biologickým zmyslom a technologickým senzomom

Také isté ako pri teplote
+ Adaptabilita na rôzne prostredia

AP016

Elektronický tlakový senzor
Rozsah merania – 10 barov
Tlak na roztrhnutie – 300 barov
Oblasť použitia – kvapalné a plyné média
Analogový výstup (procesné pripojenie G1/4A)

21

21

Dotyková obrazovka



Štandardne v bankomatoch, informačných tabuliach, domácich spotrebičoch, hodinkách

Priehľadná rezistívna elektróda
pryknutá odolnou vrstvou

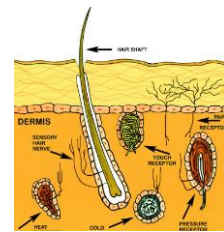
V niekoľkých bodoch napájaná malým striedavým napätím. Pri dotyku prstom sa kapacitne zvedie časť signálu, vyhodnotením pomeru prúdov z jednotlivých bodov je možné určiť bod dotyku.

22

22

Hmat

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

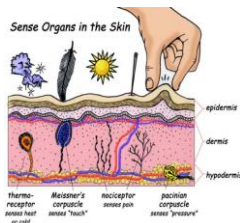


23

Hmat

Súhrn viacerých:

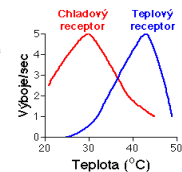
- teplota
 - chlad
 - teplo
- dotyk → tlak
- bolesť
- poloha



24

Hmat: Teplota

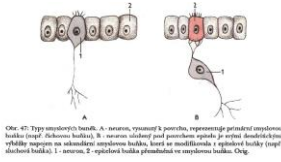
- Termoregulácia
nie je presne jasné, čo je regulovaná veličina (kombinácia teploty mozgu a tela, obsah tepla?)
- Reakcia na ZMENU teploty o 0,1°C
- Teplový registruje nárast (30 – 43°C)
- Chladový registruje pokles (35 – 15°C)



25

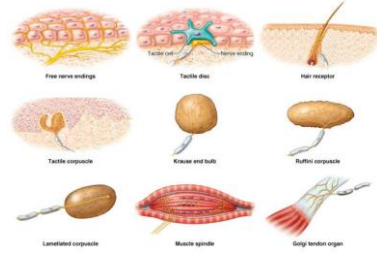
Hmat: **Bolesť**

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



26

Hmat: **Tlak**



27

Hmat: **Dotyk** mechanoreceptory

povrchové

1. hmatové chlpy cicavcov (pili *tactiles*) - napr. okolo úst
2. hmatové pierka vtákov (*vibrissae*)
3. Meissnerove telieska - v zmrši (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 terčiky (rypák ošípanej)

hĺbkové hmatové telieska

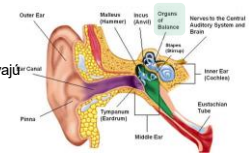
8. Vater-Paccinino telieska - v zmrši, v svalových pošvách, úponoch, okostica, ochrupkovica, väzivové obaly všetkých vnútorných orgánov
9. svalové vretienka (pozmenené vlákna priechne pruh. Svaloviny), registrujú zmeny v natiahnutí svaly
10. Šlachové telieska - voľné nervové zakončenia v mieste, kde sa šľacha spája so svalom

28

Statokinetický orgán

Uložené sú v labrynte 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

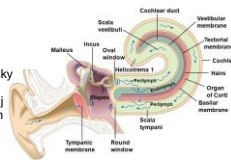
29

Statický receptor

Nachádza sa vo vajcovitom guľovitom vaku

Tvorí 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.



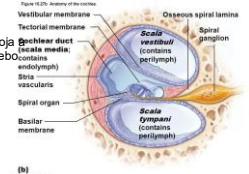
30

Kinetický receptor

Kinetický a statický receptor pracujú ako celok

Udržanie vzpriameného postoja rovnováhy či už v pokoji alebo v pohybe

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



31

Paralelizmus

Paralelou k statokinetickému receptoru je vo svete techniky gyroskop

Sleduje sa zmena kapacity kondenzátorov

Obsahuje aj akcelerometer



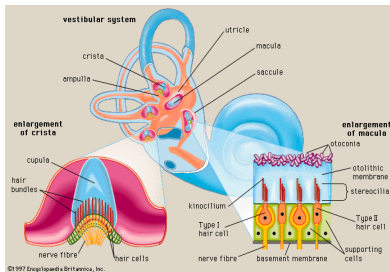
32

Poloha

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

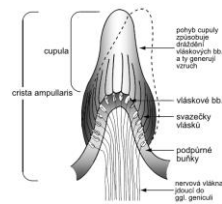


33

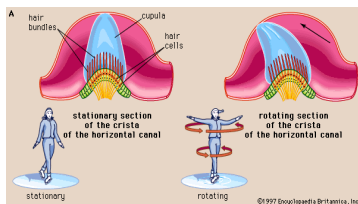


34

Vestibulárny systém

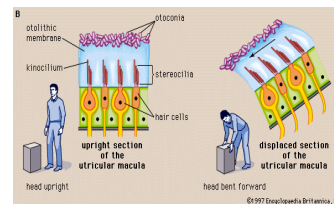


35



36

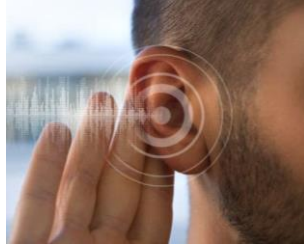
Poloha



37

Ádám Kelemen**Čo je sluch a prečo je dôležitý**

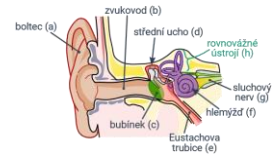
- Definícia sluchu ako schopnosti vnímať zvuk prostredníctvom vibrácií, ktoré dosiahnu ucho.
- Sluch umožňuje komunikáciu, učenie a orientáciu v prostredí.
- Význam sluchu pre osobnú bezpečnosť a sociálne interakcie.



38

Anatomia a funkcia ucha

- vonkajšie ucho (uchový boltiec a zvukovod), stredné ucho (bubienok a kladivko, kovadlinka, stremienko), vnútorné ucho (kochlea a vestibulárny systém).
- Procs: Zvukové vlny sú zachytené vonkajším uchom a prevedené do stredného ucha, kde vibrácie bubienka sú prenášané na kochleu.
- V kochlee sa mechanické vibrácie premenia na elektrické signály posielané do mozgu.



39

Od zvukových vln k vnímaniu**Anatomia vnútorného ucha**

- **Kochlea:** Spirálny orgán plný tekutiny, ktorý obsahuje vlásokové bunky.
- **Vlásokové bunky:** Senzorické bunky, ktoré detekujú vibrácie a premenia ich na elektrické signály.

Transformácia zvuku

- **Vibrácie:** Zvukové vlny sa premenia na mechanické vibrácie v kochlee.
- **Elektrické signály:** Vlásokové bunky premenia tieto vibrácie na elektrické signály.

Cesta k mozgu

- **Sluchový nerv:** Elektrické signály sú odoslané po sluchovom nerve do mozgu.
- **Interpretácia v mozgu:** Mozog interpretuje tieto signály ako zvuky, reč, hudbu atď.

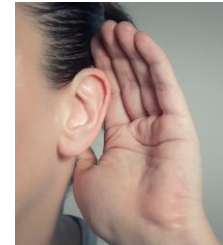
40

Typy sluchových porúch a ich liečba**Vodivostná strata sluchu**

- **Príčiny:** Infekcie, zablokovaný zvukovod, poškodenie kostičiek v uchu.
- **Liečba:** Operačné zákroky, medicínske liečby, prípadne použitie sluchadiel.

Senzorineurálna strata sluchu

- **Príčiny:** Poškodenie vlásokových buniek, starnutie, expozícia hluku.
- **Liečba:** Sluchadlá, kochleárne implantáty, liečebné stratégie zamerané na zlepšenie zvyškového sluchu.



41

Prevenia poškodenia sluchu

Používanie ochranných sluchadiel, obmedzenie času stráveného v hlučnom prostredí.

Včasná odhalenie a liečba sluchových porúch.

Zníženie rizika sluchových porúch prostredníctvom celkového zdravia a prevencie infekcií.

42

Sluch

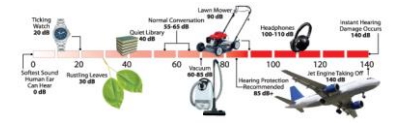
- Intenzita – hlasitosť
- Frekvencia – tón
- Rotačné zrýchlenie
- Lineárne zrýchlenie
- Statická rovnováha



43

Sluch

rozsah hodnôt



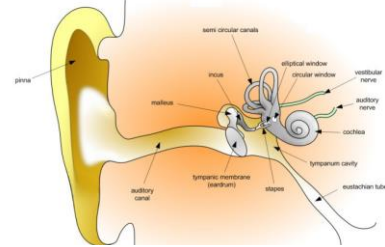
Sound Source	Intensity (dB)	Duration
Najbližší zvuk	0 dB	
Dychanie	10 dB	
Šepot, listie	20 dB	
Spaňa, vidiek	30 dB	
Knižnica, vídaj	40 dB	
Bežná konverzácia	50 dB	
Reštaurácia, úrad	60 dB	
Auto (z 10m), vysávač	70 dB	
Vlak, vrtáčka	80 dB	
Boeing (z 1km)	90 dB	8 hod
Motorka, traktor	100 dB	2 hod
Klaksón, rock	110 dB	30 min
Refazová 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 vlások/nívcových buniek je nevratné

44

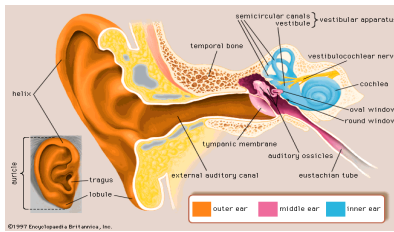
Sluch

pozitívny prierez ušom človeka



45

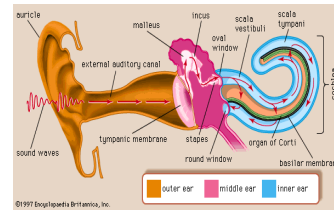
Sluch



46

Sluch

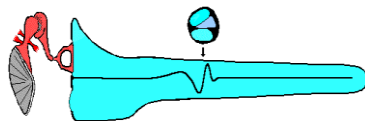
– prenos zvuku



47

Sluch

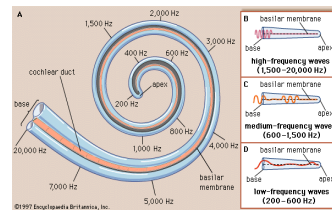
– prenos do slimáka



48

Sluch

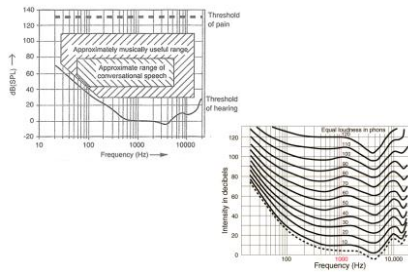
– frekvenčná analýza



49

Sluch

– rozsah



50

Sluch

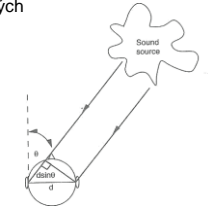
– určovanie polohy

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

$$\Delta t = d \sin(\theta) / c$$

c je rýchlosť zvuku [m/s]

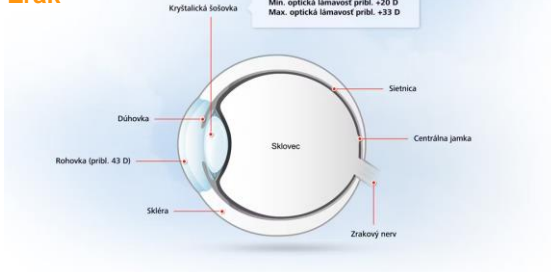
- Interaural intensity difference (IID)



<http://www.fallding.net/foad/musi3012-01.html#lectures/index.htm>

51

Tomáš Sedláček

Zrak

52

Základný princíp

- retino-kortikálna dráha
- začína v oku a pokračuje do mozgu
- oko
 - absorpcia okolitého svetla na rohovke
 - vznik počiatočného vizuálneho vnemu
- optický nerv
 - prenos obrazu prostredníctvom signálov
- "zrak"

53

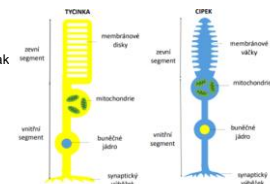
Základné parametre a pojmy

- optická mohunosť cca. 60D, rohovka 40D + 20D šošovka (adaptabilná)
- na sietnici sa produkuje zmenšený a obrátený obraz - invertovanie v mozgovej kôre
- 200 rôznych farebných odtieňov, 20 úrovni sýtosti a 500 úrovni jasů
- rozlíšenie 576 Mpx - rádovo stovky Mpx
- automatická zmena citlivosti pri zmene svetelných podmienok
- žltá škvrna
- slepá škvrna

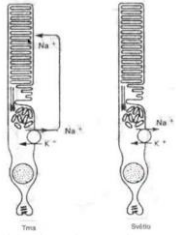
54

Tyčinky a čapíky - obrazový senzor nášho oka

- fotosenzitívny pigment
 - rodopsin (retinal)
- absorpcia fotónu
 - spustenie kaskády chemických reakcií
- hyperpolarizácia membrány
 - vznik elektrického potenciálu
 - výsledný potenciál cca 40 mV
- zosilnenie signálu
- > zraková dráha
 - končí v primárnej zrakovej kôre



55



56

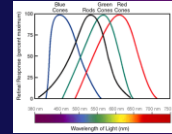
BEŽNE OKO

120 -576 MEGAPIXELOV

*oko nie je fotoaparát s jedným záberom. Je to skôr videostream - vedca a vesmírny fotograf Dr. Roger Clark

30 – 60 FPS

1fps -1 Hz
rýchlosť pohybu oka neprekračuje 30 fps
najvyšší limit – 60 fps



3 TYPY ČAPÍKOV

L citlivé v **červenej** oblasti viditeľného spektra (okolo 650nm)

M citlivé v **zelenéj** oblasti viditeľného spektra (okolo 530nm)

S citlivé v **modrej** oblasti viditeľného spektra (okolo 430nm)

10 MILIÓNOV BITOV ZA SEKUNDU
rýchlosť prenosu dát sietnicou do mozgu

57

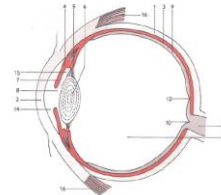
Zrak



58

Zrak

anatomická stavba oka cicavca



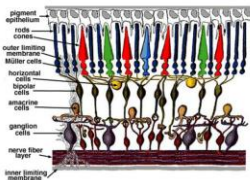
1. bičko (sclera)
2. rohovka (cornea)
3. šošovka (chorioida)
4. ciliárny sval (corpus ciliare)
5. riasnatý val (zonula ciliaris)
6. šošovka (lens crystallina)
7. dúhovka (iris)
8. zrenička (papilla)
9. sietnica (retina)
10. slepá škvrina (fovea caeca)
11. zrakový nerv (nervus opticus)
12. žltá škvrina (fovea centralis)
13. sklovce (corpus vitreum)
14. predná očná komora
15. zadná očná komora
16. svaly ovej gule

59

Zrak

color – cones / čapíky
tyčinky

mikroskopický rez sietnice

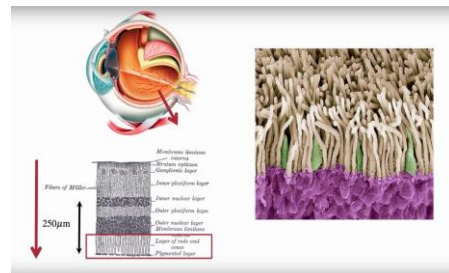


b&w – rods /

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

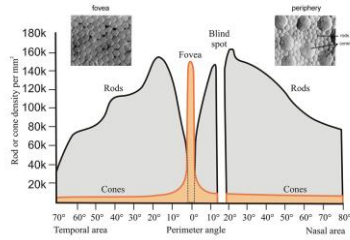
60

Zrak



61

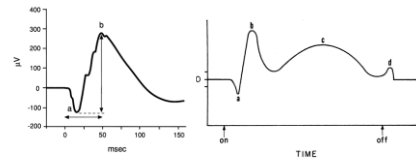
Zrak



62

Zrak

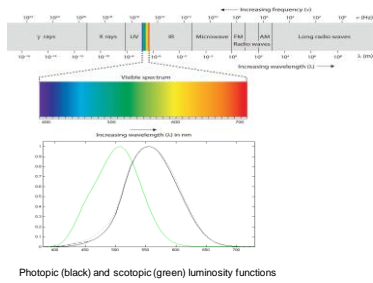
– elektroretinogram



63

Zrak

spektrálna citlivosť

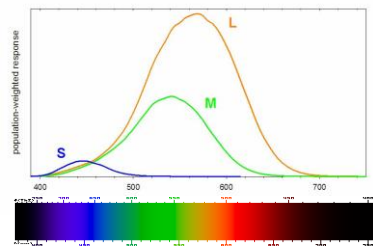


Photopic (black) and scotopic (green) luminosity functions

64

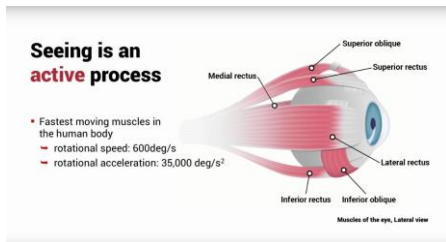
Zrak

spektrálna citlivosť



65

Zrak



66

Zrak



Илья Репин
Ilya Repin



Не ждали
painting 'Unexpected Visitor'

67

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: Dispersed edition
Eye Region | 1984-1988

68

Zrak

Which question was the test subject responding to?

b) What type of clothes are the family wearing?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.
Artwork: Dispersed edition
Eye Region | 1984-1988

69

Zrak

Which question was the test subject responding to?

c) What age are the figures in the painting?



Figure 109 "Seven Records of eye movements by the same subject" 1967
Yarbus, A. L.
Artwork: Dispersed edition
Eye Region | 1984-1988

70

Zrak

– prehľad parametrov

- | | | | | |
|----------------|-------------|--------|-------------|-----------|
| Tyčinky (rods) | 125 000 000 | 480 nm | 1 fotón | |
| Čapíky (cones) | 5 500 000 | 480 | 5-7 fotónov | |
| | | | 500 | rozsah: |
| | | | 570 nm | 397 – 723 |
- Hustota 160 000 / mm²
 - Počet vlákieň 2 x 450 000 Kapacita 3 MB/s
 - Priemer zreničky 1,5 – 8 mm

71