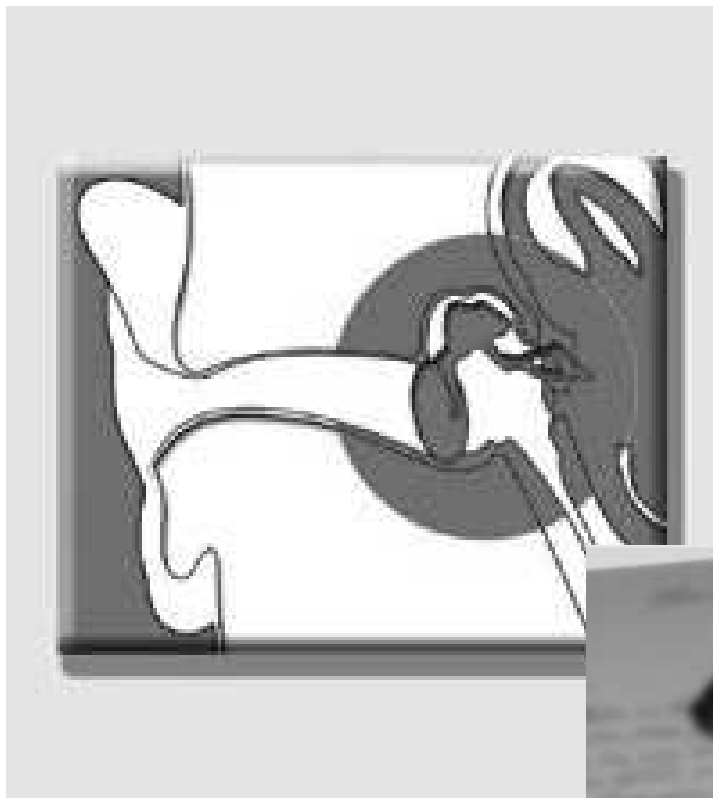
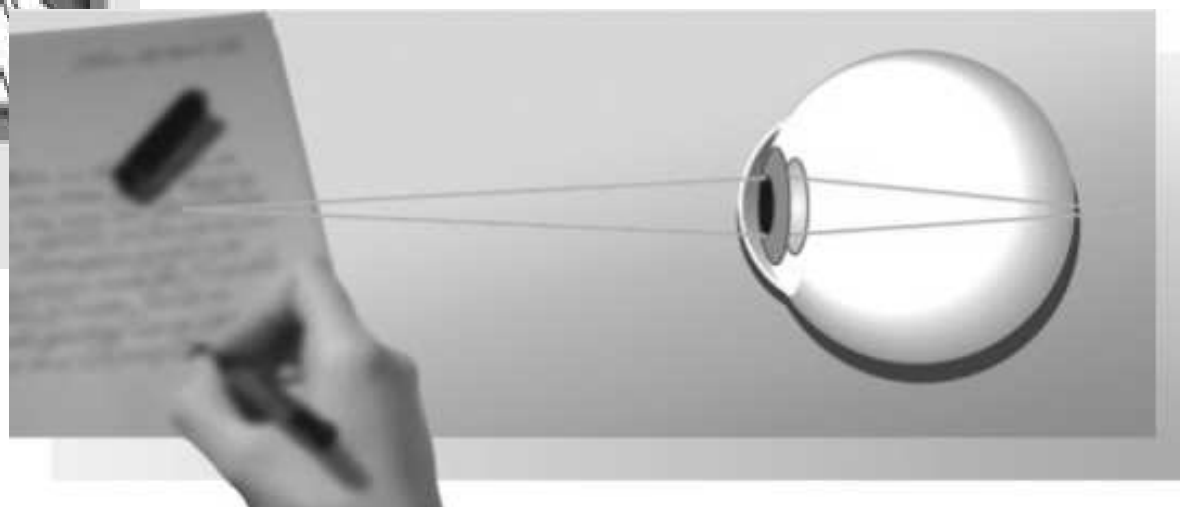


# Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



## **Biofyzika sluchového a zrakového analyzátoru**

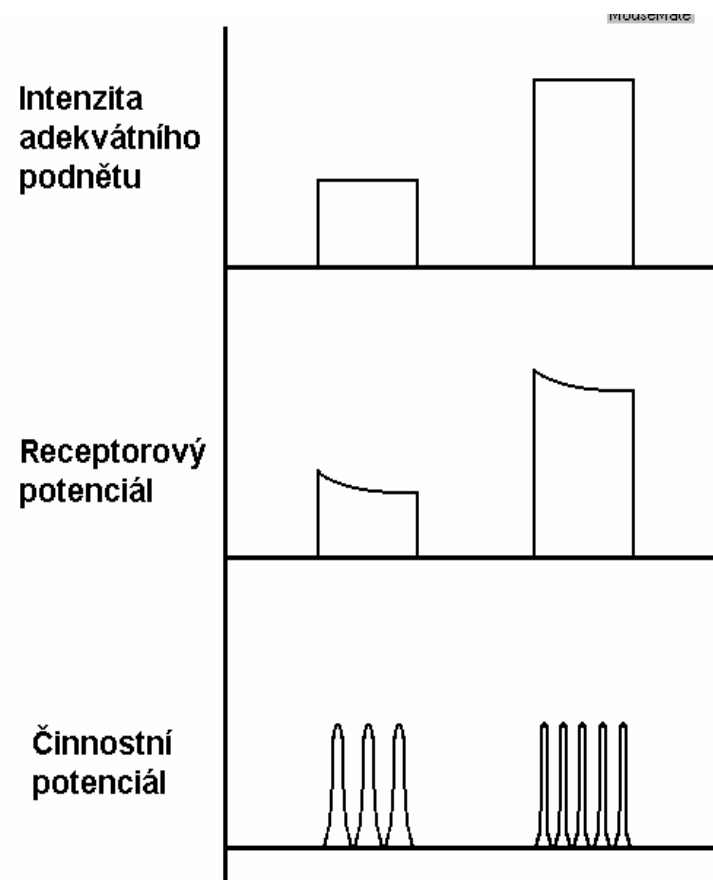


# Rozdělení receptorů

- a) Podle druhu působící energie:
  - **mechanoreceptory**
  - **termoreceptory**
  - **chemoreceptory**
  - **fotoreceptory**
- **adekvátními a neadekvátní podněty**
- b) Podle složitosti:
  - **volná nervová zakončení (bolest)**
  - **smyslová tělíska (senzitivní nervové vlákno + vazivový obal)**
  - **smyslové buňky (součásti smyslových orgánů)**
- **- specificita**
- **nespecifické: receptory bolesti - reagují na různé podněty.**
- c) Dle místa vzniku podnětů a způsobu jejich zachycení:
  - **telereceptory** (zrak, sluch, čich),
  - **exteroreceptory** (z povrchu organismu - kožní cití, chuť),
  - **proprioreceptory**, ve svalech, šlachách a kloubech - informují o poloze i pohybu těla,
  - **interoreceptory** - ve vnitřních orgánech
- Biofyzika považuje receptory především za měniče energie.

# Převodní funkce receptorů

- Primární odpověď smyslové buňky na podnět: **receptorový potenciál** a **receptorový proud** úměrný intenzitě podnětu. Receptorový potenciál spouští **činnostní potenciál**. Amplitudová modulace receptorového potenciálu se mění ve frekvenčně modulované akční napětí. **Vyšší intenzita podnětu (receptorového potenciálu) vyvolává četnější činnostní potenciály.**



# Biofyzikální vztah podnětu a počítku

- **Intenzita počítku roste s intenzitou podnětu nelineárně.** Dříve se soudilo, že intenzita počítku je úměrná logaritmu intenzity podnětu (*Weberův-Fechnerův zákon*). Intenzita počítku je  $I_R$  a intenzita podnětu  $I_S$ , pak:

$$I_R = k_1 \cdot \log I_S.$$

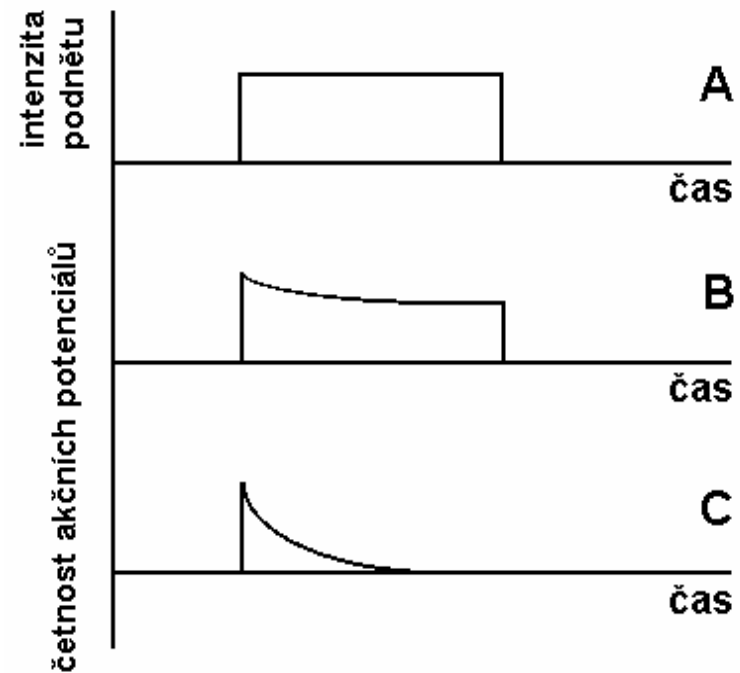
- **Dnes vztah vyjadřujeme mocninou (*Stevensův z.*):**

$$I_R = k_2 \cdot I_S^a,$$

- $k_1$  a  $k_2$  - konstanty,  $a$  exponent specifický pro smyslovou modalitu.
- **Vztah počítku k hraničním intenzitám podnětu lépe vyjadřuje zákon mocniny.**

# Adaptace

- Je-li intenzita podnětu déle konstantní, snižuje se u většiny receptorů dráždivost. Tento jev se nazývá **adaptace**. Stupeň adaptace je pro různé receptory různý. U vnímání bolesti - ochranný mechanismus.



## Průběh adaptace

**A - podnět,**

**B - receptor s pomalou adaptací,**

**C - receptor s rychlou adaptací**

# Biofyzika vnímání zvuku

- Hlavní znaky zvuku:  
**výška, barva a síla**
  - **Výška** je určena kmitočtem.
  - **Barva** zastoupením harmonických kmitočtů ve spektru.
  - **Síla**, přesněji **intenzita** - množství energie prošlé za 1 s plochou 1 m<sup>2</sup>, kolmou ke směru šíření vlnění. Intenzita zvuku je akustický měrný výkon [ W.m<sup>-2</sup>].

# Hladina intenzity

- Srovnání intenzit dvou zvuků umožňuje veličina zvaná **hladina intenzity**. Vzhledem k velkému rozpětí slyšitelných intenzit ( $10^{12}$ ) byl zaveden logaritmický poměr s jednotkou bel (B), v praxi decibel (dB). **Hladina intenzity  $L$ :**

$$L = 10 \cdot \log(I/I_0) \quad [dB]$$

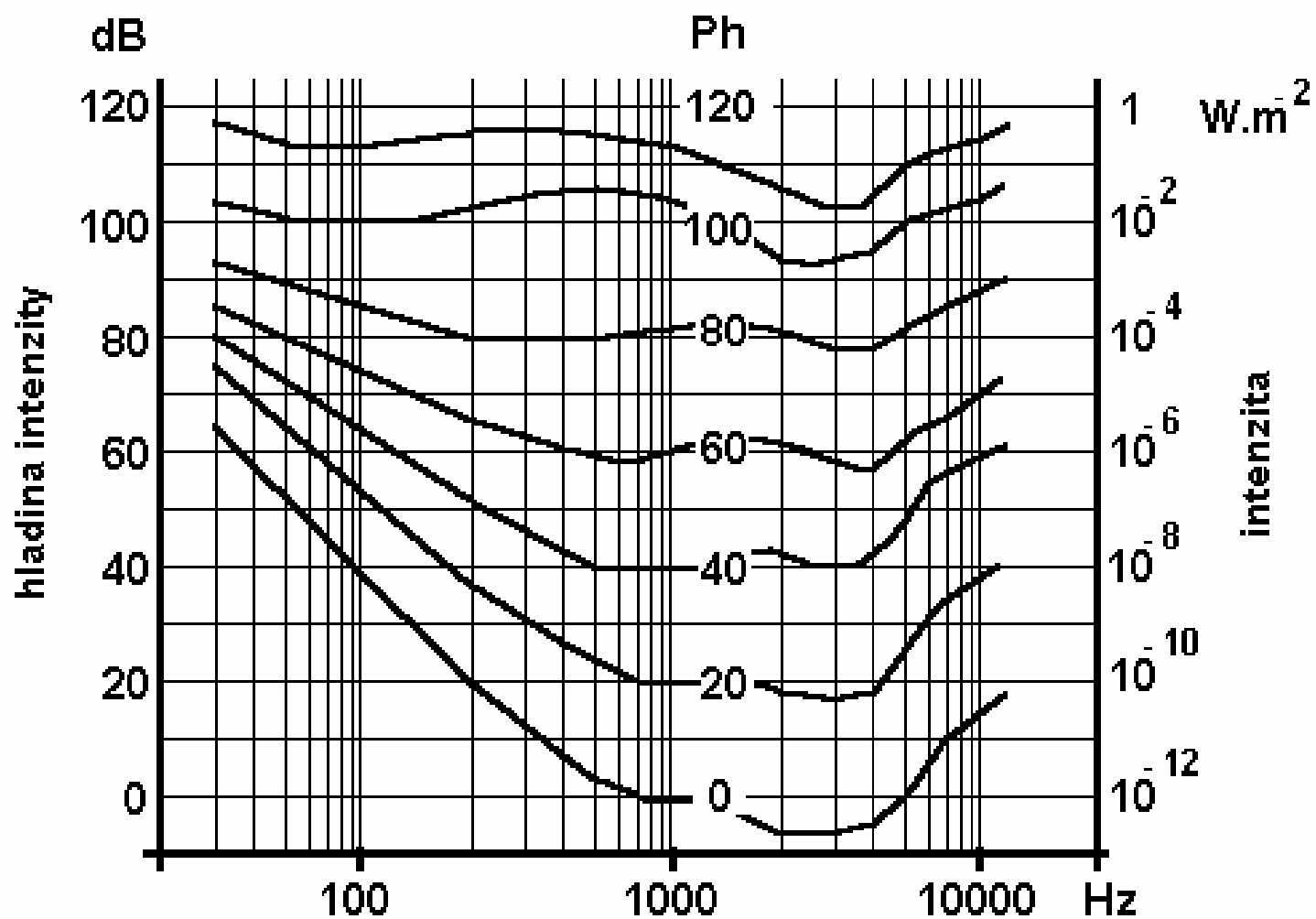
- Referenční intenzita zvuku (prahová intenzita tónu 1 kHz)  $I_0 = 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (referenční akustický tlak  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ ).

# Hlasitost, sluchové pole

- **Hlasitost** je subjektivně vnímaná intenzita přibližně úměrná logaritmu intenzity zvukového podnětu. Ucho je **nejcitlivější** pro frekvence 1-5 kHz.
- **Hladinu hlasitosti udáváme ve fónech (Ph)**. 1 fón odpovídá hladině intenzity 1 dB pro referenční tón. Pro jiné tóny se hladina hlasitosti od hladiny intenzity liší.
- **1 Ph je nejmenší rozdíl hlasitosti, který ucho dovede rozlišit.** Pro tón 1 kHz odpovídá zvýšení hlasitosti o 1 Ph zvýšení fyzikální intenzity o 26%.
- **Jednotka hlasitosti: 1 son.** Odpovídá při naslouchání oběma ušima počitku vyvolanému referenčním tónem o 40 dB.
- Spojíme-li v grafu prahové intenzity slyšitelných frekvencí, dostaneme **nulovou izofónu (křivku stejné hlasitosti)**.
- Pro každou frekvenci lze najít intenzitu, při níž pocit zvuku přechází v bolest - **práh bolesti**. Oblast hladin intenzity mezi prahem slyšení a prahem bolesti je **sluchové pole**.



# Sluchové pole



# Hlasitost některých zvuků



**Druh zvuku**

**Hladina hlasitosti  
[Ph]**

**Šepot**



**10 - 20**

**ticho v lese**

**20 - 30**

**normální hovor**



**40 - 60**

**pouliční hluk**

**60 - 90**

**Sbíječka**



**100 - 110**

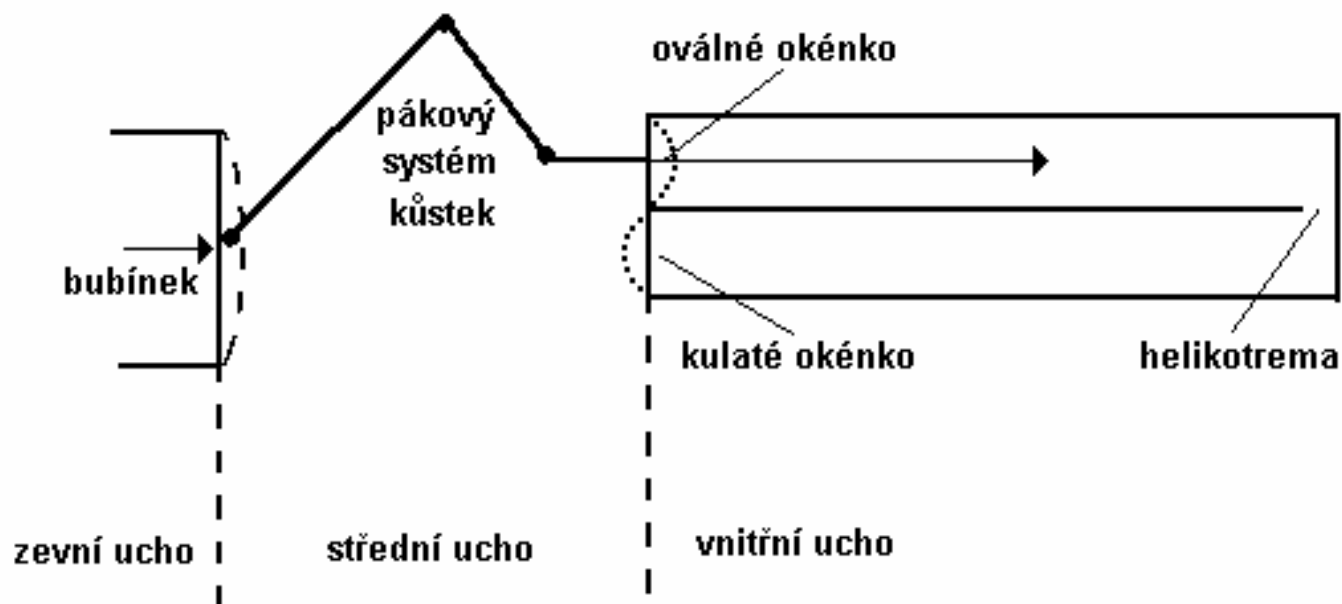
**tryskový motor**

**120 - 130**

# Biofyzikální funkce ucha

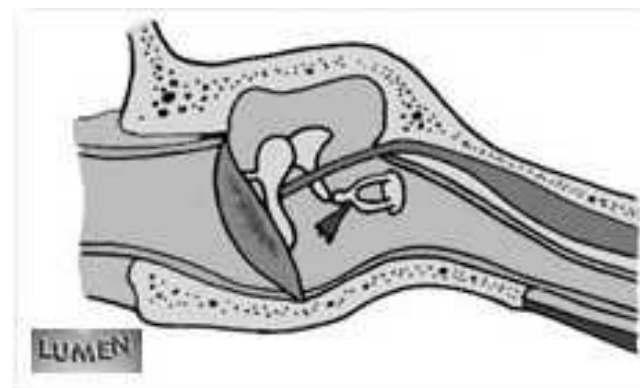
- **Zevní ucho:** boltec a zevní zvukovod. Optimálně slyšitelné zvuky dopadají zepředu pod úhlem asi  $15^\circ$  vzhledem k ose uší. **Zevní zvukovod je rezonátor**, zesiluje kmitočty 2-6 kHz s maximem v pásmu 3-4 kHz, (+12 dB). Uzávěr zvukovodu zhoršuje slyšení o 40 - 60 dB.
- **Střední ucho:** bubínek (asi  $60 \text{ mm}^2$ ) a sluchové kůstky - kladívko, kovadlinka a třmínek. Rukojeť kladívka je přirostlá k bubínku, třmínek k oválnému okénku ( $3 \text{ mm}^2$ ). Eustachova trubice vyrovnává tlaky na obou stranách bubínku. **Velký rozdíl akust. impedancí vzduchu** ( $3,9 \text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ ) **a tekutiny vnitřního ucha** ( $15\,700 \text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ ) **by vedl k velké ztrátě intenzity** (asi 30 dB) - vyrovnáno poměrem ploch a změnou amplitudy a tlaku zvukového vlnění (ve vzduchu velká amplituda a malý tlak, v tekutém prostředí naopak).
- - **Převod akust. vlnění z bubínku na menší plochu oválného okénka** (20x zvýší tlak).
- - **Pákový systém kůstek.** Kladívko a kovadlinka tvoří nerovnoramennou páku (1,3x zvětší sílu). Tzv. **pístový převod.**

# Pístový převod akustického vlnění



## Ochrana před silnými zvuky:

Pružné spojení kůstek a reflexní činnost svalů (*m. stapedius*, *m. tensor tympani*) tlumí silné zvuky až o 15 dB.

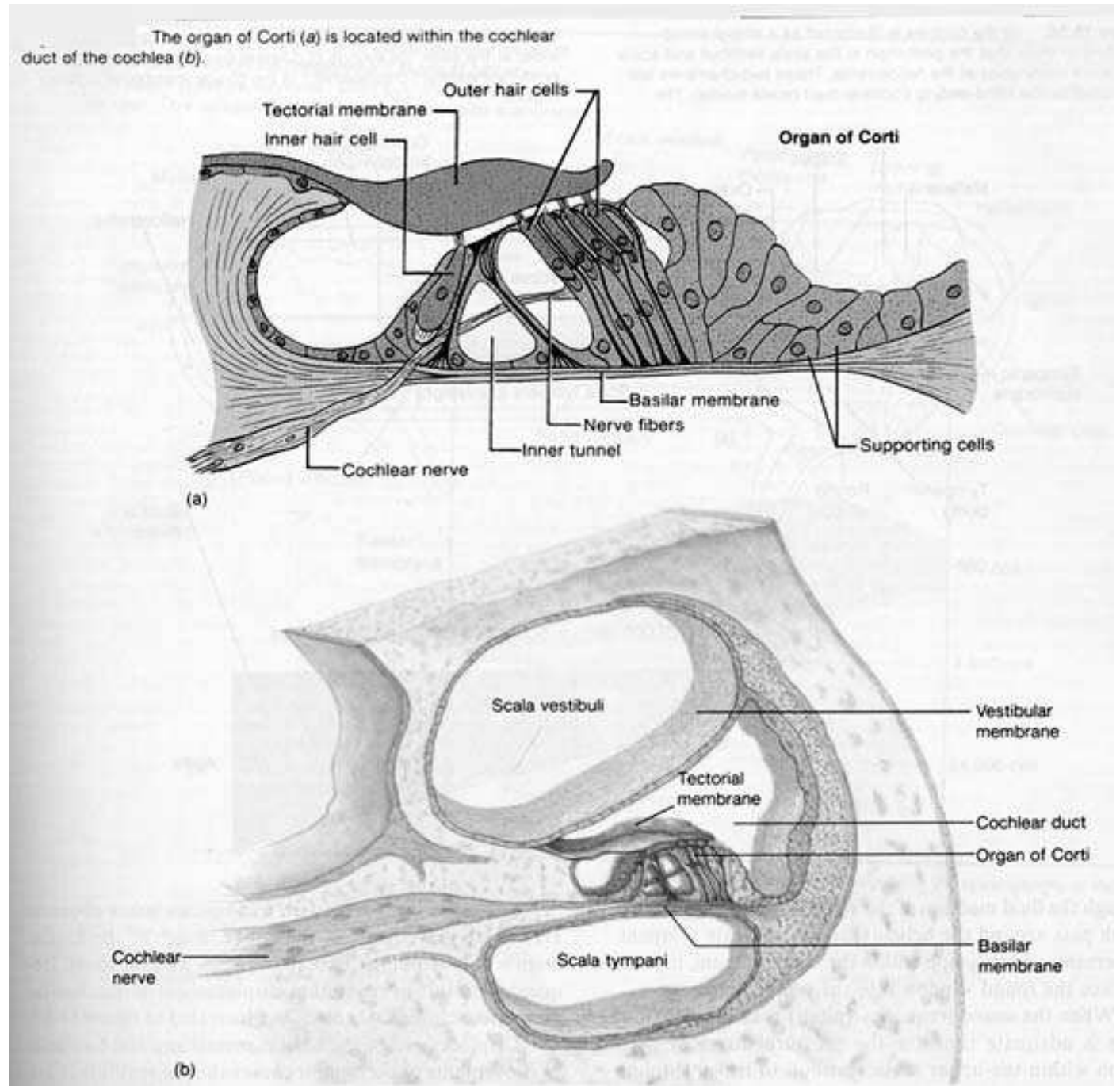


# Mechanismus recepce akustických signálů

- Vnitřní ucho je uloženo ve skalní kosti jako labyrint, v němž jsou receptory sluchového a vestibulárního analyzátoru.
- Sluchová část labyrintu je tvořena spirálním, asi 35 mm dlouhým kostěným kanálkem - **hlemýžděm - cochleou**. Základnu hlemýždě odděluje od středoušní dutiny přepážka se dvěma okénky.
- Na oválné okénko nasedá třmínek, níže uložené okrouhlé okénko je volné.
- Hlemýžd' je rozdělen na dvě části podélným kostním výběžkem *lamina spiralis* a pružnou *membrana basilaris*. *L. spiralis* je nejširší při bázi hlemýždě, kde je *memb. basilaris* nejužší, asi 0,04 mm (0,5 mm při vrcholu hlemýždě). Zde je v bazilární membráně **helikotrema**, spojující prostor nad (*scala vestibuli*) a pod bazilární membránou (*scala tympani*).

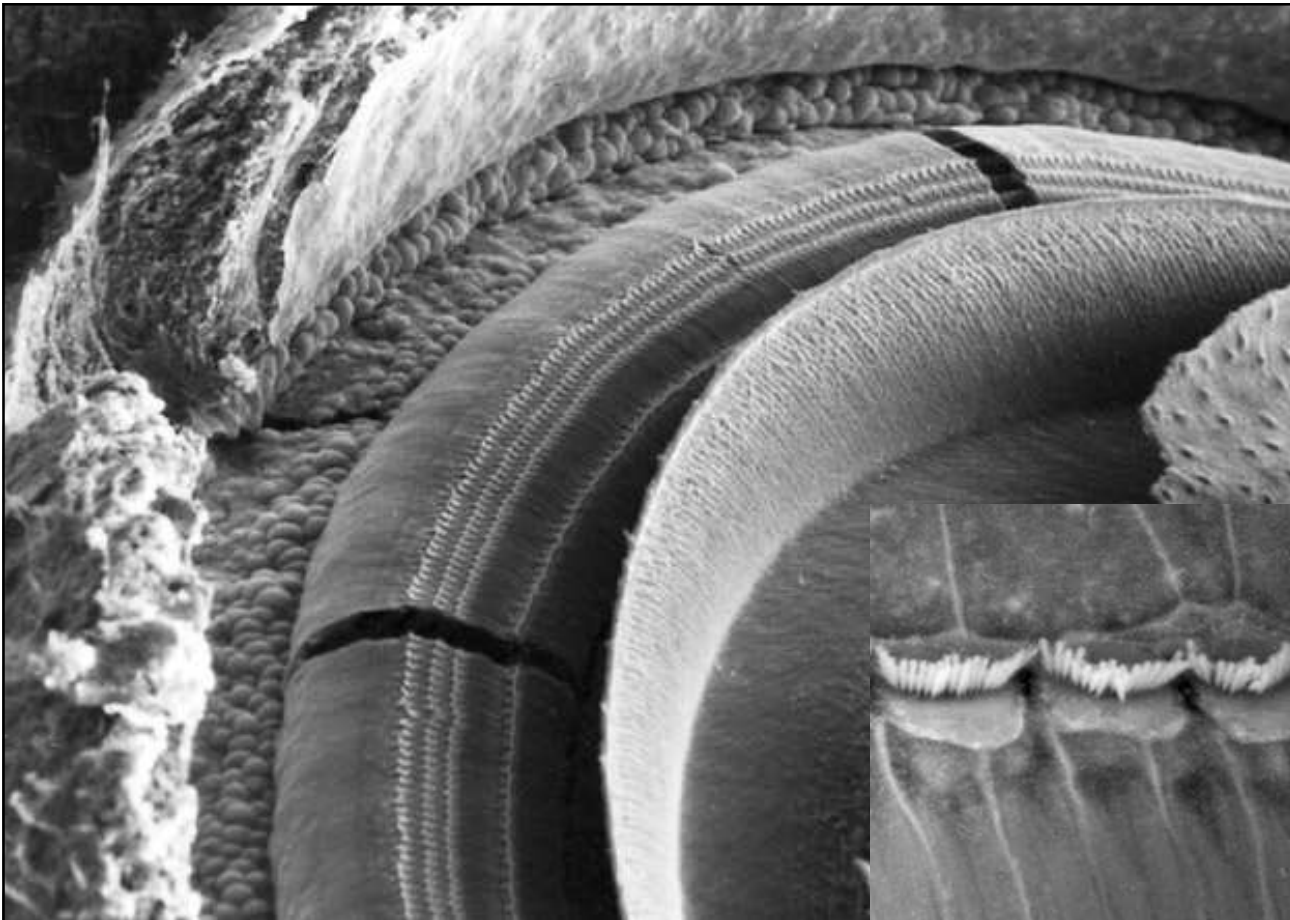
# Cortiho orgán

•<http://www.sfu.ca/~saunders/l33098/Ear.f/corti.html>



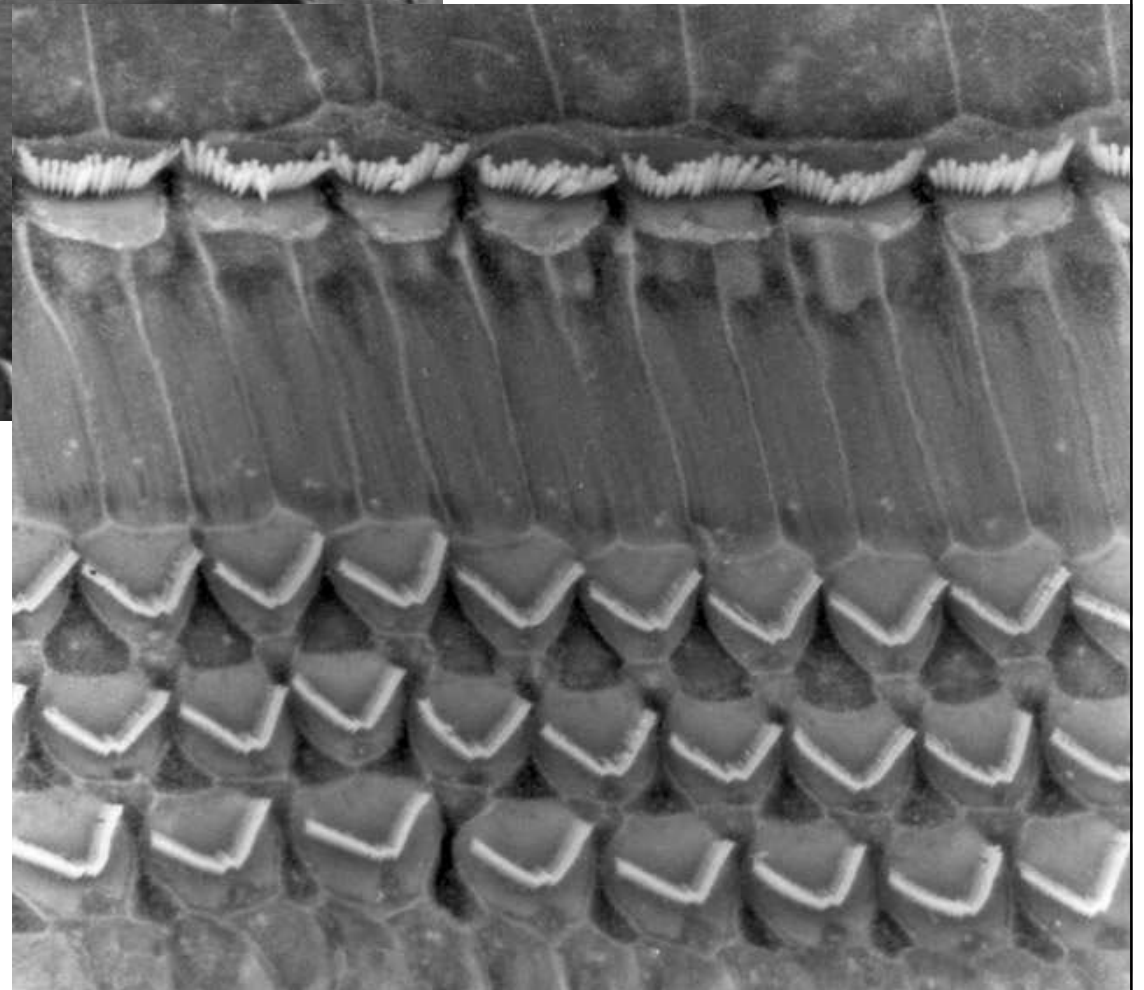
# Cortiho orgán

- **perilymfa** - iontové složení jako likvor, bílkovin 2x více.
- **endolymfa** - obsah bílkovin jako likvor, avšak jen 1/10 iontů  $\text{Na}^+$  a 30x víc iontů  $\text{K}^+$  - připomíná intracelulární tekutinu.
- **Cortiho orgán: obkladné, nosné a smyslové buňky.**
- Smyslové buňky C. orgánu: **buňky vláskové (vnitřní a vnější)**. V hlemýždi je asi 4000 vnitřních a 20 000 zevních vláskových buněk.
- **Smyslové vlásky - stereocilie - deformuje tektoriální membrána.**
- Ohnutí vlásků k *lamina spiralis* vede k depolarizaci, ohnutí vlásků ke *stria vascularis* způsobuje hyperpolarizaci.
- Od vnitřních buněk vychází asi 95% neuronů (20 axonů od jedné buňky), od zevních buněk asi 5% neuronů - nervová zakončení 10ti zevních buněk se spojují v 1 axon. Nervových vláken vychází z hlemýždě asi 25 - 30 tis.



[www.sickkids.on.ca/  
auditorysciencelab/](http://www.sickkids.on.ca/auditorysciencelab/)

[pictures1.asp.](#)





# Mechanismus vnímání zvuku

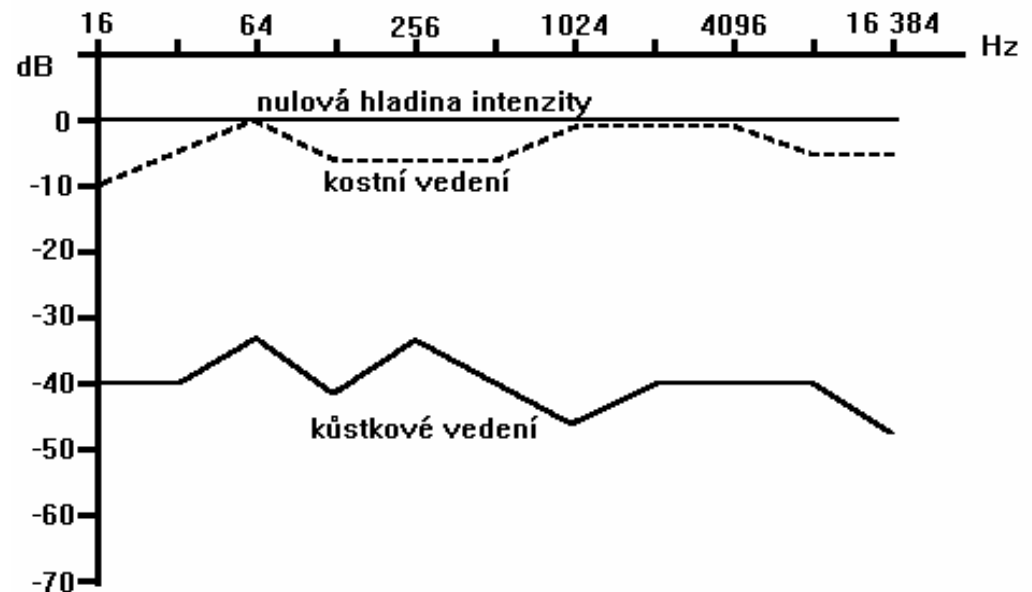
- **Békésyho teorie postupující vlny.** Zvuk rozkmitá bazilární membránu a oblast maxima rozkmitu se posouvá s kmitočtem od vrcholu hlemýždě k bázi.
- Předpoklad: smyslové buňky jsou **citlivé na změnu rychlosti výchylky** tektonální membrány.
- Receptory v hlemýždi asi provádějí hrubou frekvenční analýzu, další zpracování přísluší sluchovým centrům.
- **Zvuk přichází k receptorům trojím způsobem:**  
**Vedením kůstkovým, kostním** (práh asi o 40 dB vyšší) a **vzduchovým** (kruhovým okénkem - málo).

# Elektrické jevy spojené s recepcí zvuku

- Perilymfa a endolymfa se liší v obsahu  $K^+$  a  $Na^+$ . Endolymfa se obsahem  $K^+$  blíží intersticiu. Mezi endolymfou a perilymfou je klidový potenciálový rozdíl **+ 80 mV - endokochleární potenciál**.
- Velké vláskové buňky C. orgánu mají proti perilymfě záporný potenciál -80 mV. **Potenciálový rozdíl mezi endolymfou a vláskovými buňkami je asi 160 mV.**
- Podráždění C. orgánu budí **kochleární mikrofonní potenciál**, snímatelný z hlemýždě. Při vyšších frekvencích se maximum mikrofonního potenciálu posouvá k bázi hlemýždě, v souladu s teorií postupující vlny. C. orgán není jen měnič energie, ale spíše biologický **zesilovač**.
- **Negativní sumační potenciál** je způsoben podrážděním vnitřních vláskových buněk Cortiho orgánu.

# Metody vyšetření poruch slyšení

- **Audiometrie** - vyšetření prahu slyšení v rozsahu slyšitelných frekvencí **audiometrem**. Nejčastěji vynášíme rozdíly hlasitosti v dB oproti normě a normální nálezní má tvar přímky rovnoběžné s osou X, která je v grafu vyznačena při hodnotě 0 dB. Oslabení sluchu se projeví odchylkou směrem k záporným hodnotám hladiny intenzity.
- **Možné i vyšetřování kostního vedení zvuku.**



Nález:

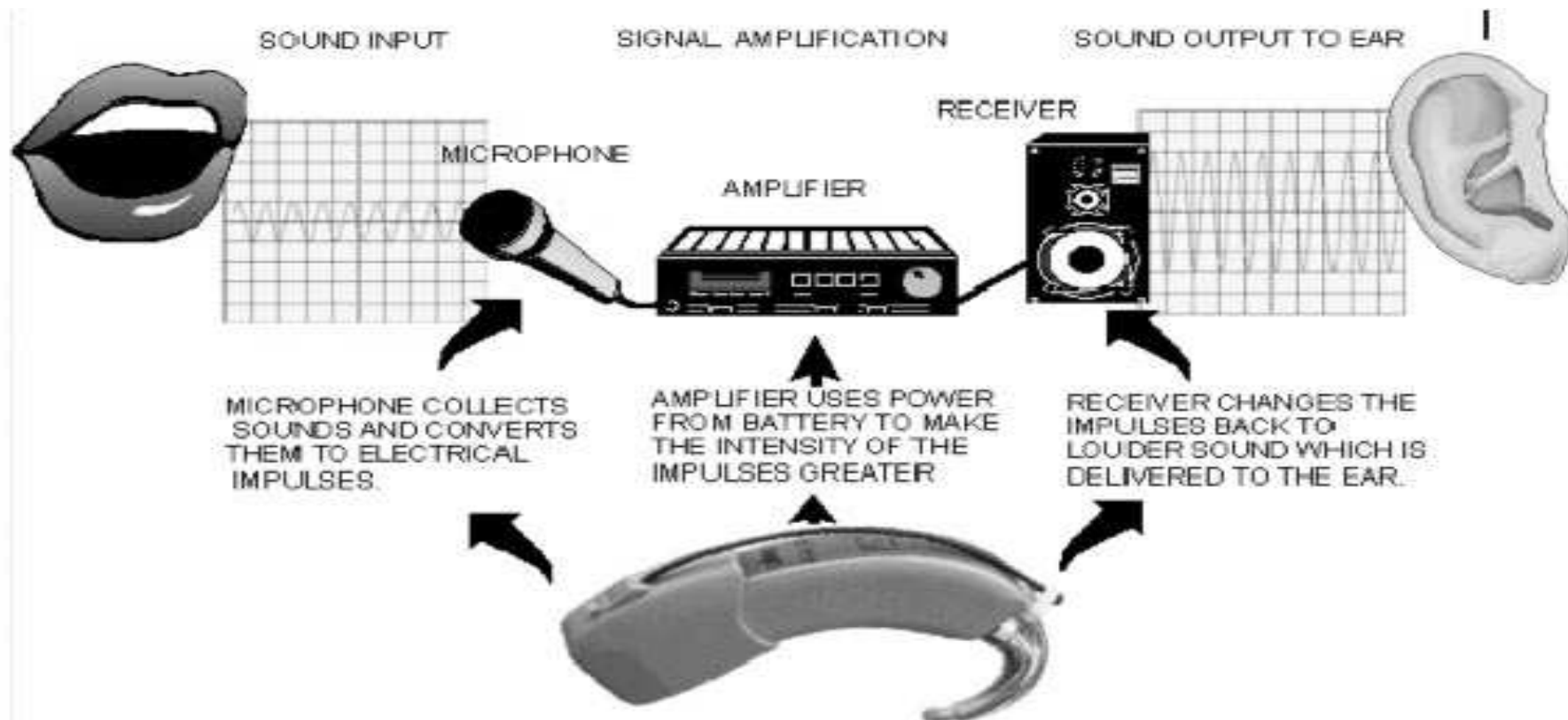
Kostní vedení v normě, kůstkové zhoršeno

# Dva typy sluchových poruch

- **Porucha vedení zvuku** - příčinou bývá ucpání zvukovodu, ztuhnutí bubínku nebo snížení pohyblivosti kůstek po zánětu. Nevede k úplné hluchotě - část energie proniká do vnitřního ucha kostmi. **Audiogram pro kůstkové vedení je v celém rozsahu frekvencí snížen, kostní vedení je neporušeno.**
- **Porucha vnímání nebo nervového vedení.** Bývá zpočátku omezena na frekvence okolo 4000 Hz. Vliv dlouhého působení hluku. Postižení vnímají zvuk zkresleně. Audiogram prokáže snížení vnímání ve zmíněné frekvenční oblasti, sníženo i kostní vedení. **S věkem se prohlubuje.**

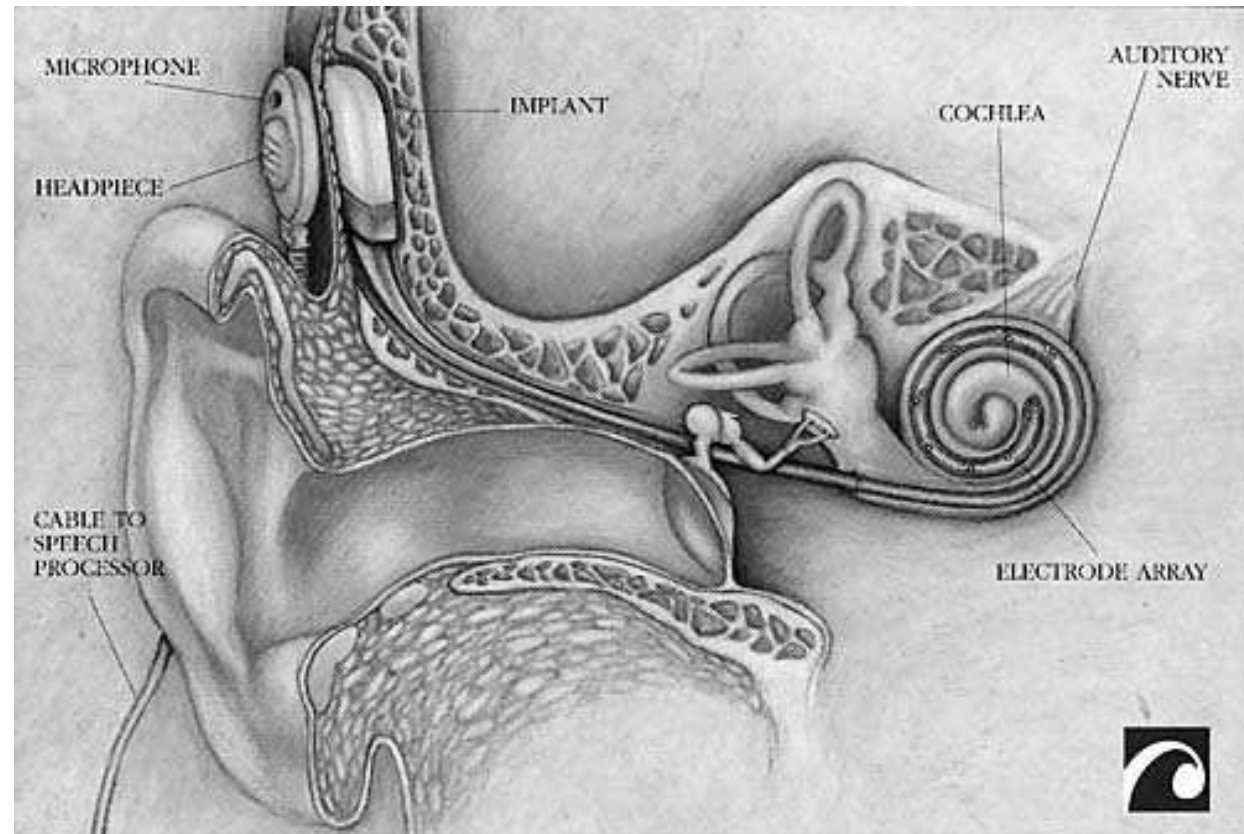
# Korekce poruch slyšení

- **Sluchadla:** mikrofon, zesilovač, zdroj energie a vhodný reprodukční systém. Ten mívá tvar sluchátka s nastavcem, který se zasouvá do zevního zvukovodu. Někdy je vhodnější **vibrátor**, fixovaný na *proc. mastoideus*. Vibrátor slouží k přenosu zvuku kostním vedením.
- Sluchadla zesilují frekvence, které jsou hůře slyšeny - význam filtrace. Moderní sluchadla lze včetně zdroje umístit do bočnic brýlových obrub. Lze jich použít u poruch převodních i u poruch vnímání.



# Kochleární implantát

• <http://www.access Excellence.org/AB/BA/biochip3.html>



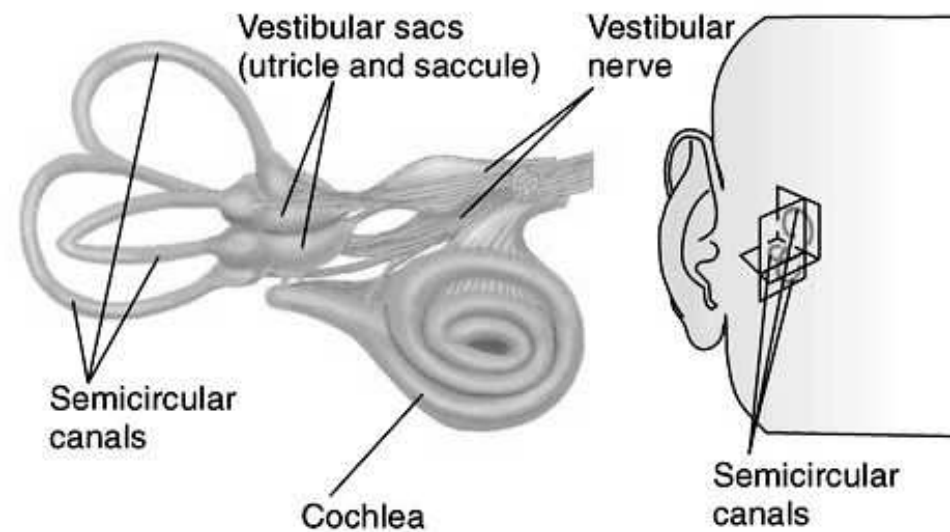
- V poslední době se objevila metoda umožňující částečnou náhradu slyšení především u dětí se zachovanou funkcí sluchového nervu - **kochleární implantát** - systém elektrod implantovaný do hlemýždě, který dráždí impulsy z tzv. řečového procesoru sluchový nerv a tak částečně nahrazuje C. orgán.

# Biofyzikální funkce vestibulárního systému

- **Vestibulární systém** - vnímání polohy a zrychlení - umístěn v kanálcích skalní kosti, labyrintu. Tvořen třemi **polokruhovitými kanálky**, ležícími ve třech vzájemně kolmých rovinách. Kanálky vycházejí z **utríkulu**, spojeného se **sakulem**. Komunikují s *ductus cochlearis*.
- Jedno ústí každého kanálku je rozšířeno v **ampulu**, přepaženou ampulární **kristou**. Na spodině utríkulu je vyvýšenina **macula utriculi**, na stěně sakulu **macula sacculi**. Ampulární kristy a makuly jsou tvořeny smyslovým epitelem, složeným z **vláskových buněk** a buněk podpůrných. Součástí v.ú. jsou gelatinózní **kupuly** na ampulárních kristách a **statolitové membrány** na makulách. Jejich funkcí je dráždit stereocilie smyslových buněk. Na statolitových membránách jsou **statokonie - krystalky  $\text{CaCO}_3$**  - zvyšují hmotnost gelatinózní membrány.
- **Polokruhovité kanálky umožňují analýzu rotačního pohybu hlavy.** Receptory **ampulárních krist** reagují na úhlové zrychlení. Kristy pracují jako záklopka, která se prouděním endolymfy vychyluje a dráždí ohýbáním vlásky smyslových buněk.
- **Receptory utríkulu a sakulu reagují na lineární zrychlení a gravitaci.** Při změně polohy hlavy se statolitová membrána posune vůči vláskům smyslových buněk, které tím podráždí. Největší význam mají pro udržení vzpřímeného postavení těla, tj. pro tzv. **statické reflexy**.

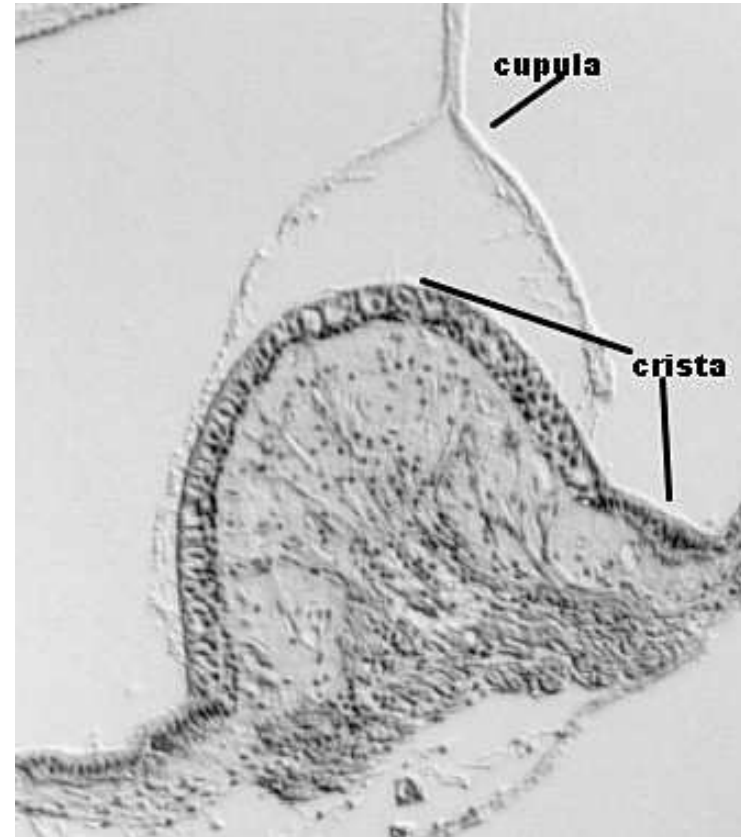
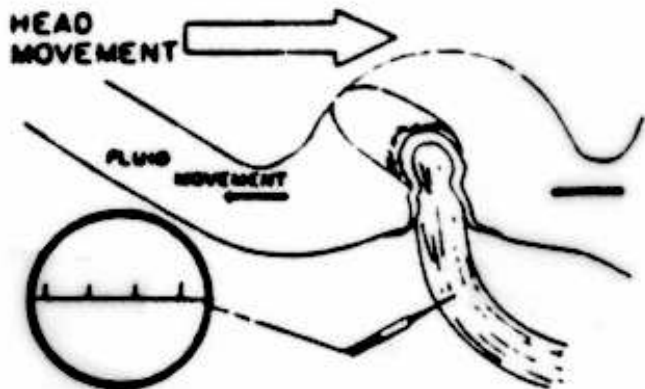
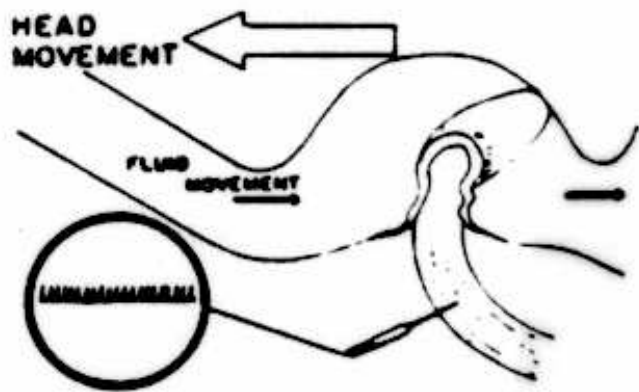
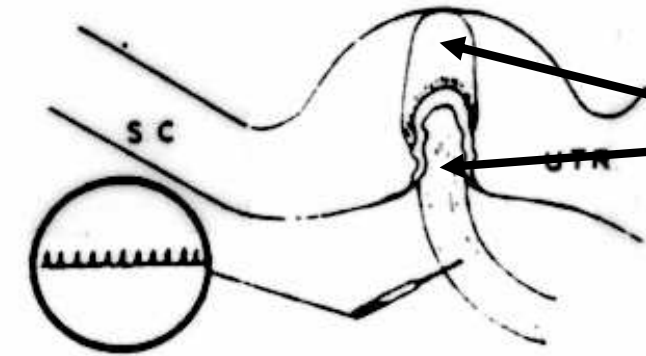
# Statokinetický orgán

## ► The Labyrinths of the Inner Ear





# Funkce krist a kupul



•<http://cellbio.utmb.edu/microanatomy/Ear/crista1.jpg>

•<http://www.bcm.tmc.edu/oto/studs/rotation.gif>

# Biofyzika zrkového analyzátoru



# Proces vidění ovlivňuje řada činitelů:

- **Faktory působící na úrovni vnímaného subjektu:**

stav tyčinek, čípků, zrak. dráhy, stav sítnice jako celku, stav optického systému oka

- **Faktory působící na úrovni pozorovaného objektu:**

jeho velikost, vzdálenost od pozorovatele, osvětlení, kontrast proti pozadí, doba pozorování atd.

# Zrakový analyzátor má 3 části:

- **oko** - z biofyzikálního hlediska nejlépe prozkoumaná část, v níž optickou a fotochemickou cestou vzniká primární obraz vnějšího světa
- **optické dráhy** - systém nervových buněk, tvořících kanál, jímž se informace zachycená a zpracovaná okem dostává do mozku
- **zrakové centrum** - oblast mozkové kůry, v níž si obraz vnějšího světa uvědomujeme

# Anatomie oka



## Světlolomná prostředí

Rohovka

Přední komora  
naplněná  
komorovou vodou

Čočka

Sklivec

# **Model *Gullstrandův***

*(Alvar Gullstrand 1852 - 1930, švédský oftalmolog,  
Nobelova cena za medicínu v r. 1911)*

Vychází z představy oka jako centrované optické soustavy se schopností automatického zaostřování, nebere však ohled na určité rozdíly v zakřivení přední a zadní plochy rohovky ani na rozdíly v indexu lomu jádra a okraje čočky.

# Základní parametry Gullstrandova modelu oka

- **Indexy lomu:**

rohovka.....	1,376
komorová voda.....	1,336
čočka .....	1,413
sklivec.....	1,336

- **Optické mohutnosti:**

rohovka .....	42,7 D
čočka uvnitř oka .....	21,7 D
oko jako celek .....	60,5 D

- **Poloměr křivosti:**

rohovka .....	7,8 mm
přední plocha čočky .....	10,0 mm
zadní plocha čočky .....	-6,0 mm

- **Poloha ohnisek**

(měří se od vrcholu rohovky):

ohnisko předmětové .....	-14,99 mm
ohnisko obrazové .....	23,90 mm
poloha sítnice .....	23,90 mm

# Akomodace

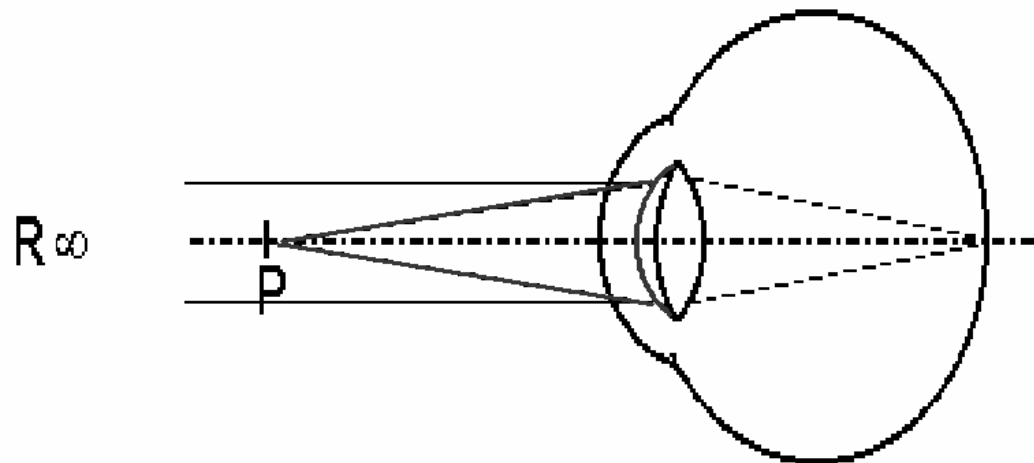
Schopností oční čočky měnit svoji optickou mohutnost v závislosti na vzdálenosti pozorovaného objektu.

( **zvětšením** zakřivení přední plochy čočky )

*J. E Purkyně*

**Bod daleký** - *punctum remotum* (R)

**Bod blízký** - *punctum proximum* (P)





# Akomodační šíře

Rozdíl reciprokových hodnot vzdáleností obou bodů od oka, vyjádřený v dioptriích (rozdíl tzv. vergencí těchto bodů)

U emetropického oka je vergence vzdáleného bodu nulová, akomodační šíře je dána vergencí blízkého bodu.

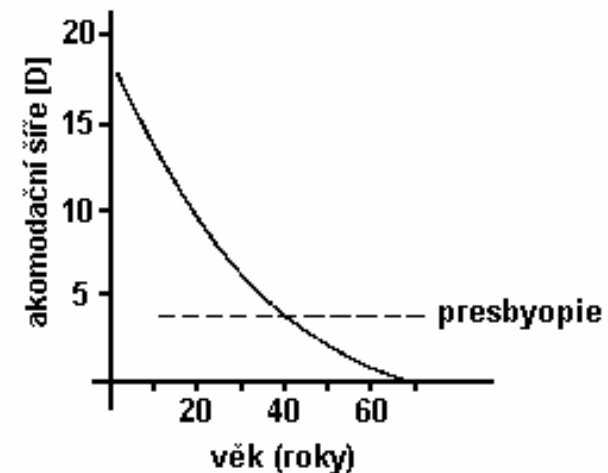
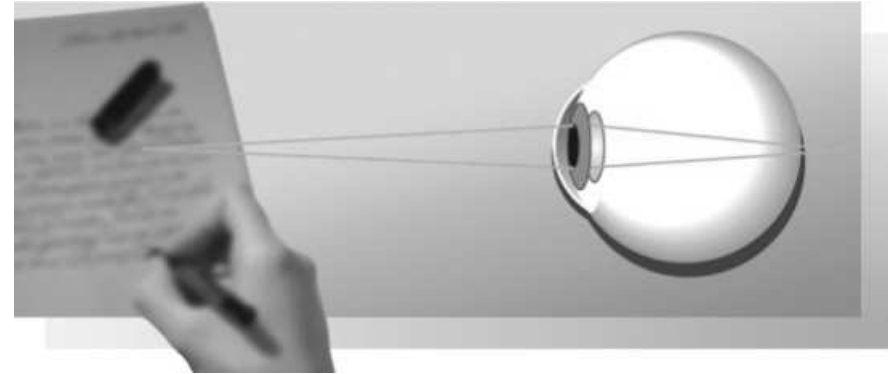
**Presbyopie** (starozrakost, vetchozrakost)

(jedinec již není schopen vidět ostře předměty v konvenční vzdálenosti 0,25 m)

# Presbyopie

Nedostatek akomodační schopnosti musí být kompenzován spojnými čočkami, které posouvají blízký bod do konvenční vzdálenosti.

Tím se i daleký bod posune z nekonečna blíže k oku, takže presbyop s korekčními brýlemi nevidí ostře do dálky.



# Poruchy optického systému oka

Neleží-li obrazové ohnisko na sítnici nebo nezobrazuje-li optický systém oka bodově, je oko **ametropické**.

Ametropie (refrakční vady oka) lze rozdělit do dvou hlavních skupin, na ***ametropie sférické a asférické***.

Normálně vidící oko zobrazuje bodově a jeho obrazové ohnisko leží na sítnici. Takové oko se nazývá **emetropickým**.

# Ametropie sférické

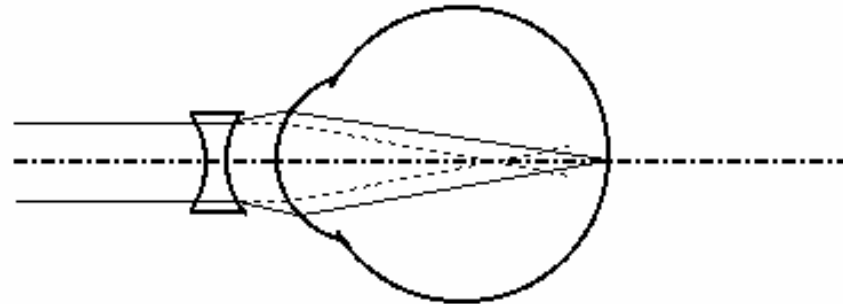
U sférických ametropií je zachováno bodové zobrazení, obrazové ohnisko však leží buď před sítnicí - **krátkozrakost** (myopie), nebo za sítnicí - **dalekozrakost** (hyperopie nebo hypermetropie).

Příčinou těchto ametropií může být buď odlišná délka oka - **ametropie osová (axiální)**, nebo jiné poloměry křivosti lámavých ploch či jejich změněné indexy lomu - **ametropie lomivá (refrakční)**.

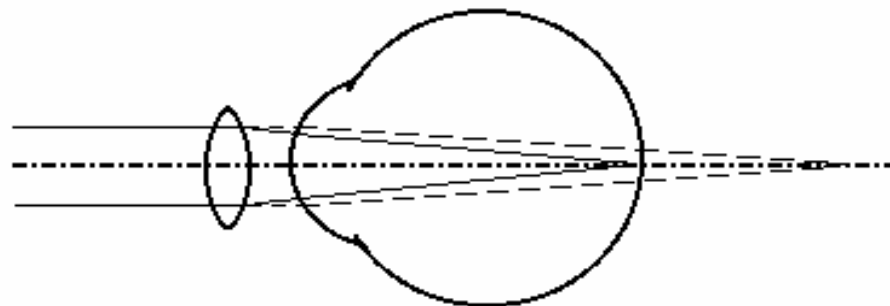
Daleký bod ametropického oka leží vždy v jiné vzdálenosti než v nekonečnu.

# Ametropie sférické

- **Krátkozrakost  
myopie**



- **Dalekozrakost  
hyperopie,  
hypermetropie**



# Krátkozrakost - myopie

Příčinou krátkozrakosti je buď příliš velká délka bulbu při normální lámavosti optického systému oka, nebo větší lomivost optických prostředí při normální délce bulbu. V obou případech se světelné paprsky vstupující do oka rovnoběžně protínají před sítnicí.

Daleký bod krátkozrakého oka leží v konečné vzdálenosti před okem a blízký bod je blíže k oku než u oka emetropického. Ke korekci krátkozrakosti se použije **rozptylka**. Rovnoběžné paprsky po průchodu rozptylkou vstupují do oka rozbíhavě a předmětové ohnisko se posune na sítnici.

# Dalekozrakost - hyperopie, hypermetropie

U dalekozrakého oka délka bulbu příliš malá nebo lámavost optického systému menší než u oka emetropického. Rovnoběžné světelné paprsky se u dalekozrakého oka protínají za sítnicí, daleký bod je v konečné vzdálenosti za dalekozrakým okem a blízký bod je značně vzdálen od oka a může být buď před ním nebo za ním. Korekce vzdálenosti se provádí **spojkou** Po průchodu touto čočkou původně rovnoběžné paprsky vstupují do oka sbíhavě a předmětové ohnisko vzniká na sítnici .

# Ametropie asférická

- **Astigmatismus**

- stav optického systému oka, jehož lámavé plochy nemají souměrný sférický tvar. Na tomto místě je nutno připomenout, že prakticky každé oko je zatíženo astigmatismem malého stupně. Rohovka není nikdy ideálně sférická a její optická mohutnost ve svislé rovině bývá o 0,25 - 0,5 D větší než v rovině vodorovné. Tento tzv. fyziologický astigmatismus je vyrovnáván oční čočkou a nepůsobí potíže při vidění.



## **Astigmatismus jednoduchý (*simplex*)**

Jedna z fokál leží na sítnici, druhá buď před ní (astigm. jednoduchý myopický), nebo za ní (astigm. jednoduchý hyperopický).

## **Astigmatismus složený (*compositus*)**

Obě fokály jsou buď před sítnicí (astigm. složený myopický), nebo z sítnicí (astigm. složený hyperopický).

## **Astigmatismus smíšený (*mixtus*)**

Jedna z fokál je před sítnicí, druhá za sítnicí.

# Korekce astigmatismu

Jednoduchý astigmatismus korigujeme ***cylindrickými čočkami***, složený a smíšený astigmatismus ***sférotorickými čočkami*** (torická lomivá plocha vzniká kombinací plochy cylindrické a sférické - viz dále). Korekcí se musí dosáhnout stavu, při němž by optická mohutnost soustavy astigmatické oko + korekční čočka byla v obou hlavních meridiánech stejná.

# Kontaktní čočky



Kontaktní čočky jsou optické pomůcky, které napravují

refrakční vady oka. Jsou vyráběny z různých druhů materiálů (plastů). Podle tohoto materiálu se dělí na dvě základní skupiny:

- Měkké čočky
- RGP (pevné plynopropustné čočky)

# Sítnice – světločivá vrstva oka

*analogie:* filmová kamera – fotografická emulze

televizní kamera – citlivá detekční vrstva

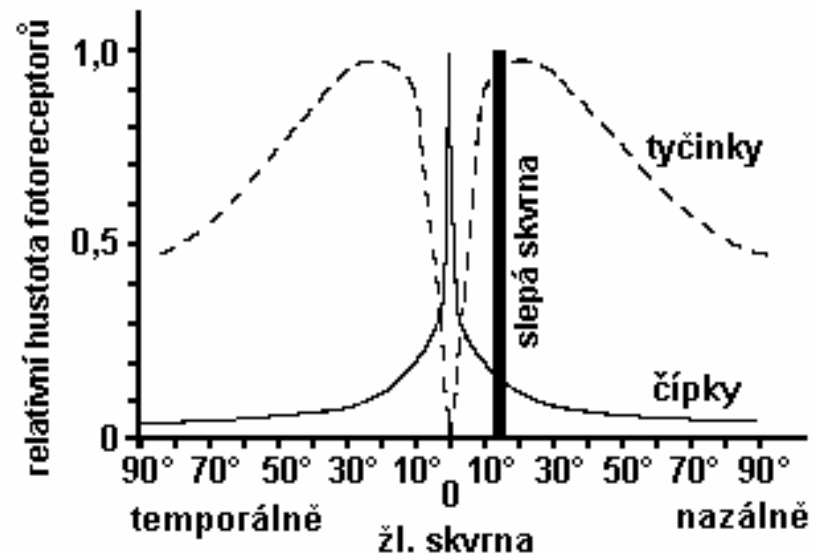
## **Fotoreceptory – světločivé elementy**

- Tyčinky (80-140 mil.) vidění za šera, zelenomodré světlo 507 nm
- Čípky (7 mil.) vidění za denního světla, detaily, barvy, žlutozelené světlo 555 nm.

Rozložení fotoreceptorů není pravidelné.

# Slepá a žlutá skvrna

Čípky se nejvíce vyskytují ve **žluté skvrně**, která je místem nejostřejšího vidění. Je to mělce prohloubené místo v sítnici při zadním pólu oka. Ostatní vrstvy sítnice jsou v tomto místě silně zredukovány, sítnice je tvořena prakticky jen vrstvou čípků a pigmentovým listem. Od žluté skvrny k periférii e čípků ubývá. Maximální hustota tyčinek je v kruhu asi 20° od žluté skvrny. Nervová vlákna vedoucí podráždění z fotoreceptorů se sbíhají nazálně od žluté skvrny, kde tvoří papilu zrakového nervu. Toto místo neobsahuje žádné fotoreceptory a nazývá se **slepá skvrna**.



Fotoreceptory a nervové buňky v sítnici vytvářejí složitou neuronovou síť.

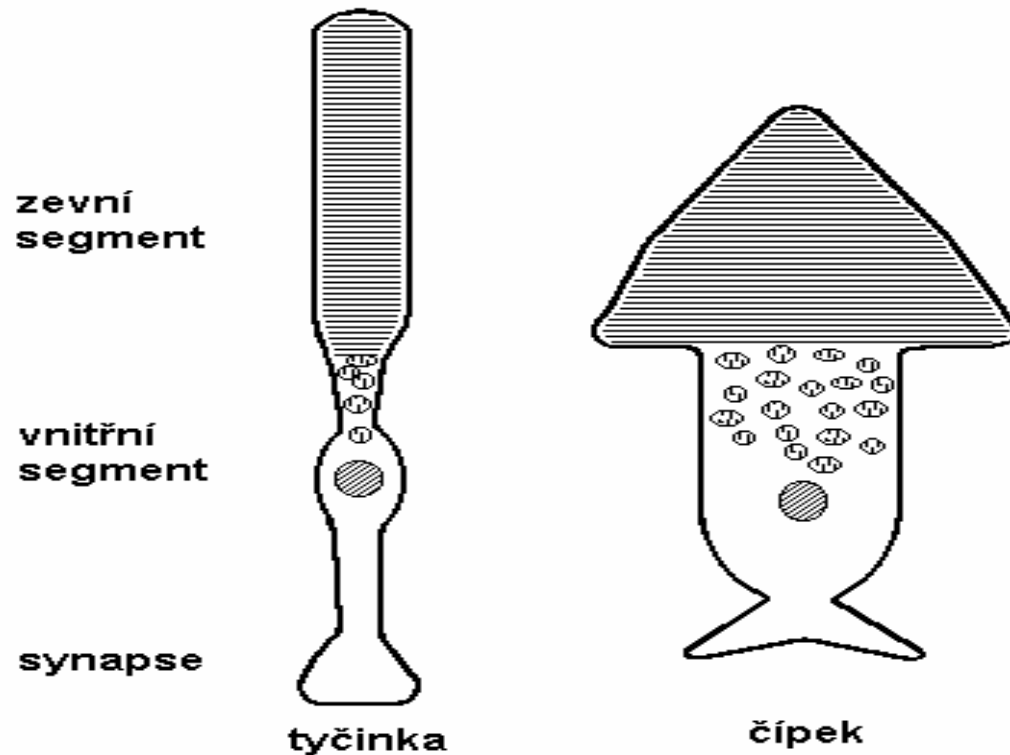
Několik fotoreceptorů je synapticky vázáno na jednu bipolární buňku.

Několik bipolárních buněk předává informaci jedné gangliové buňce, která je svým axonem odvádí do mozku.

Tímto konvergentním uspořádáním vedení podráždění dochází k výrazné prostorové sumaci (světelná informace zachycená **120-150 milióny receptorů** je z oka odváděno asi **1 miliónem nervových vláken**).

Tato konvergence je mnohem výraznější u tyčinek než u čípků.

# Schéma fotoreceptorů

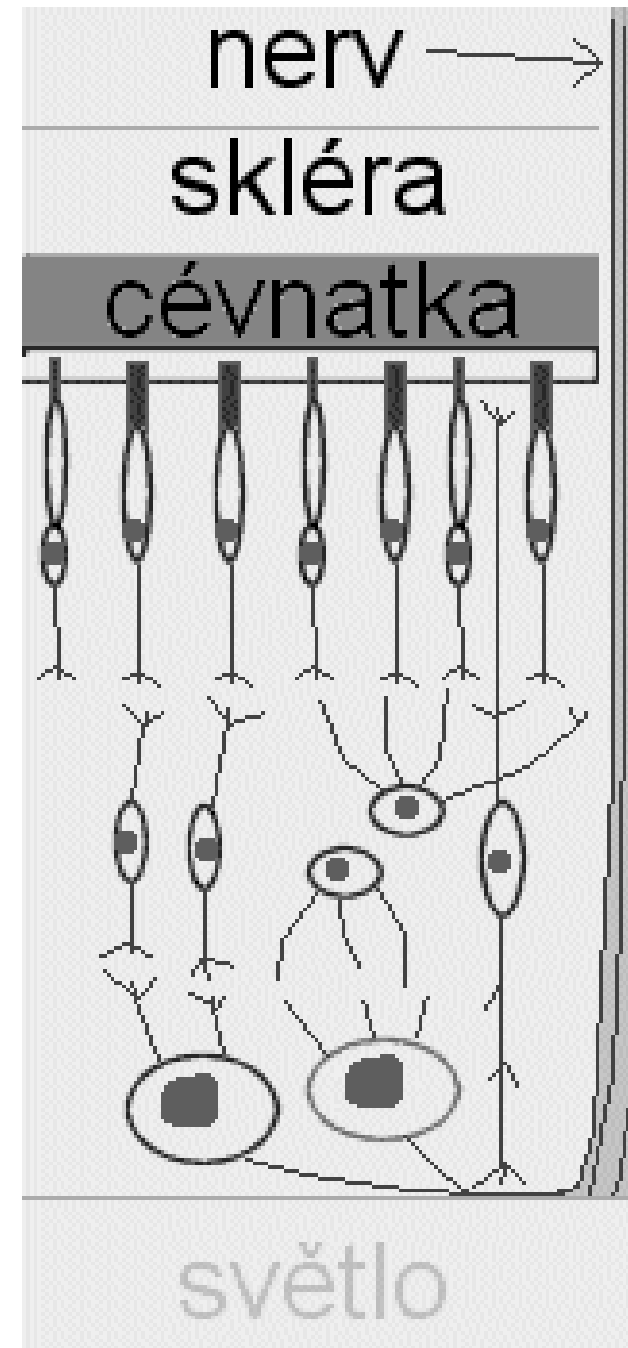


**Zevní segment** je v kontaktu s pigmentovým epitelem, skládá se z velkého počtu (700-1000) vrstevnatě uspořádaných membránových lamel obsahujících **zrakový pigment**.

**Vnitřní segment** obsahuje jádro a velké množství mitochondrií. Je zakončen zduřením kulovitého nebo kuželovitého tvaru, místem synaptického spojení fotoreceptoru s druhým vertikálním neuronem sítnice - bipolární buňkou.

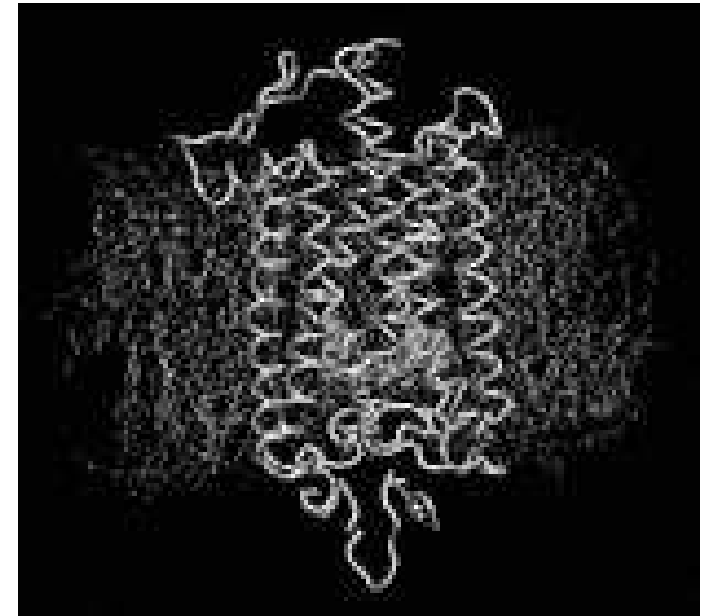
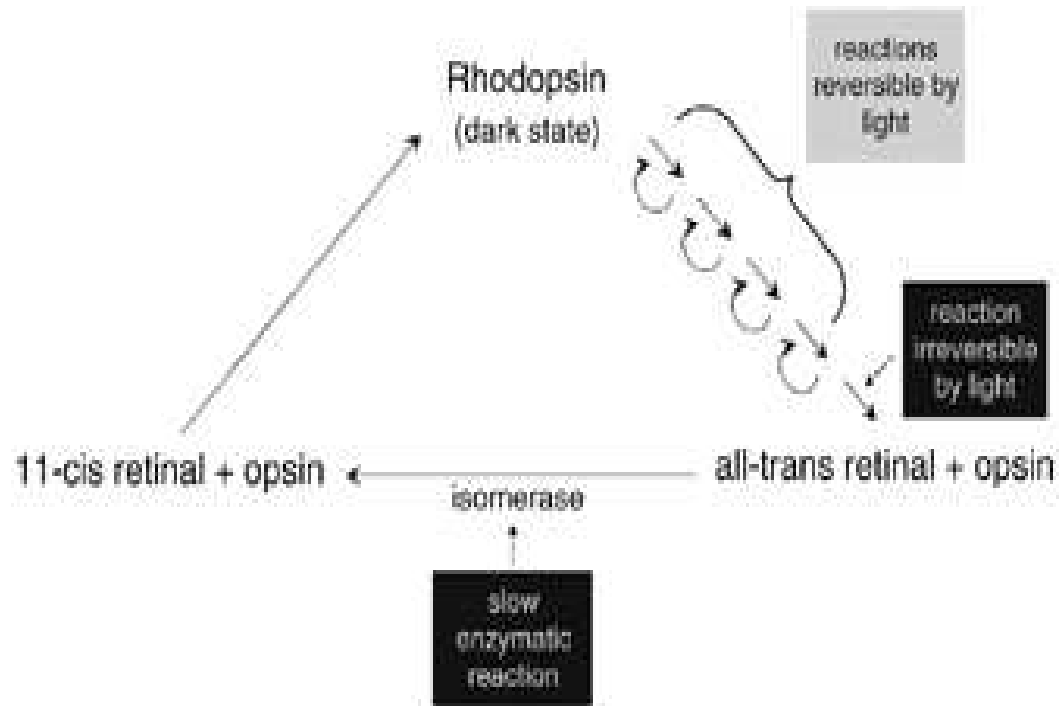
# Struktura sítnice ve směru postupujícího světla:

- Vrstva nervových vláken
- Vrstva gangliových buněk
- Vrstva bipolárních buněk
- Vrstva fotoreceptorů
- Pigmentový list





# Sítnicové pigmenty - rodopsin



# Meze lidského zraku:

zraková ostrost - testuje se pomocí

***Snellenových optotypů*** (viz praktika) - dána úhlem jedné obloukové minuty

- limit citlivosti: 2-3 fotony během několika milisekund
- kritická frekvence splývání světelných impulsů: 5 - 60 Hz v závislosti na jasu
- omezení vlnovými délkami světla: 400 - 700 nm
- mez stereoskopického vidění: rozdíl stereoskopické paralaxy menší než dvacet úhlových vteřin

# Barevné vidění

Barvy dělíme:

- **základní**
- **doplňkové**, které vzájemným smísením dají počitek neutrální šedé a bílé barvy. Každá vnímaná barva je charakterizována barevným tónem, světlostí a sytostí.

**barevný tón** je určen vlnovou délkou světla,  
**světlost** intenzitou světla  
**syťost** barevností počitku.



*J. E. Purkyně*

změna poměrné světelnosti barev při adaptaci oka na tmu – PURKYŇŮV JEV

# Barvocit

*Schopnost správného vnímání barev lidským okem*

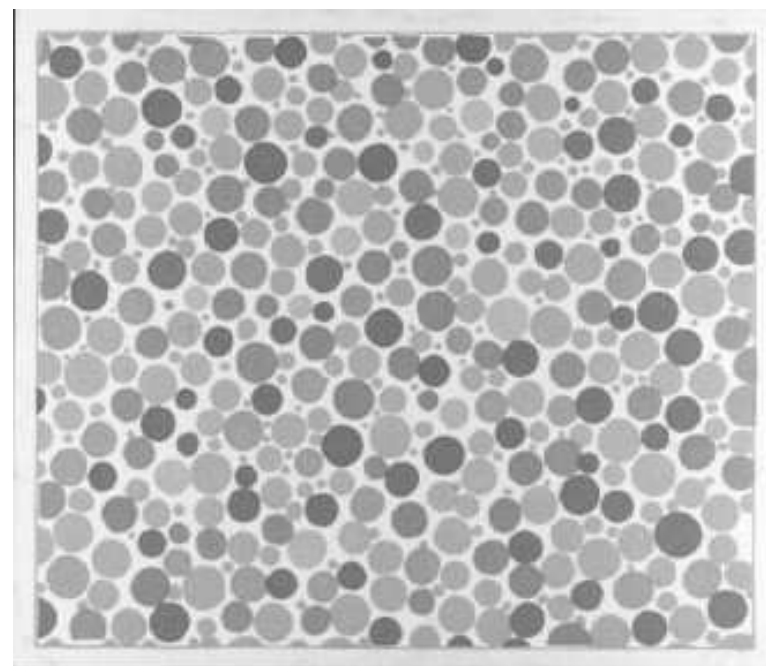
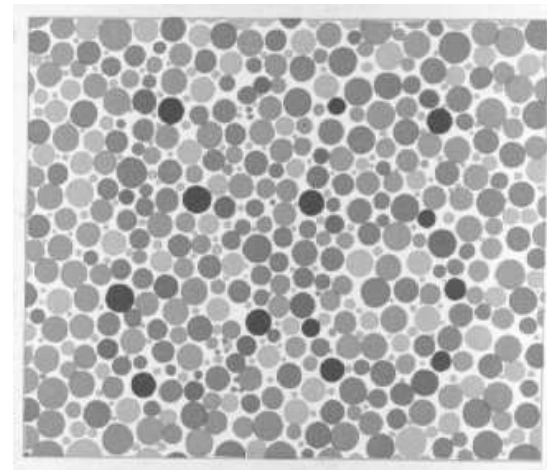
Mechanismus vnímání barev není sice ještě jednoznačně rozřešen, všeobecně je však přijímána tzv. **trichromatická teorie**, spojená se jmény Helmholtze, Lomonosova a Younga. Jednotliví autoři se liší jen v charakteristice tří základních barev. *Helmholtz* za ně považoval červenou, zelenou a fialovou, *Lomonosov* a *Young* červenou, žlutou a modrou.

- Monochromáti - vnější svět vnímají pouze v odstínech šedi
- Dichromáti – částečná ztráta barvocitu, v sítnici chybí mechanismus pro vnímání jedné ze základních tří barev
- Trichromáti – jedinci s normálním barvocitem

# Vyšetřování barvocitu

## Pseudoizochromatické tabulky

různých autorů (Stillingovy, Velhagenovy, Ischiharovy, Rabkinovy). Číslice nebo písmena jsou sestavena z okrouhlých barevných políček v záměnné barvě. Dichromát daného typu písmeno či číslici nerozezná.



Vyšetření anomaloskopické. Nagelův anomaloskop je modifikovaný spektrální fotometr, pomocí něhož se barvocit určuje ze vztahu vyšetřovaného k vidění červené a zelené barvy.

# Dobrou chut'!!!

