

## 5.2.10 Oko

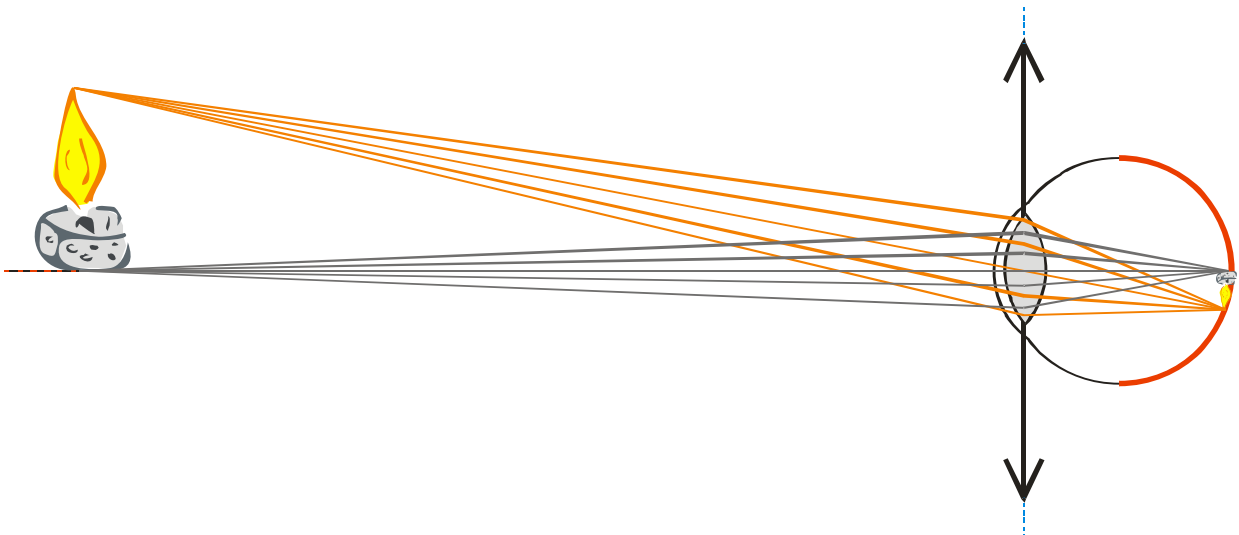
**Předpoklady:** 5207, 5208

**Pedagogická poznámka:** Obsah této hodiny se asi nedá stihnout za 45 minut, ale je možné přetahovat v další hodině, která na tuto plynule navazuje. Cílem hodiny není nahrazovat biologii nebo vysokoškolská skripta pro lékařské fakulty. Oko rozebíráme z funkčního hlediska a pro pochopení jeho funkce nepotřebujeme pojmenování každé maličkosti, kterou obsahuje.

nejdůležitější optický přístroj

**úkoly oka:** musí vytvořit skutečný obraz a ten musí zachytit  $\Rightarrow$  musí obsahovat spojku a záznamovou vrstvu, která je citlivá na světlo

Mechanismus vidění:



Přední (černá) část oka láme světelné paprsky a vytváří skutečný, zmenšený, převrácený obraz na zadní (červené) části. Zde se nachází vrstva buněk citlivých na světlo, které zachycují obraz a informace o dopadajícím světle posílají do mozku. Průměr oční koule se udává většinou kolem 24 mm, vzdálenost mezi čočkou a sítnicí je však menší - 20 mm nebo i méně.

**Př. 1:** Urči minimální optickou mohutnost lidského oka.

Okno musí mít takovou optickou mohutnost, aby obrazy předmětů vnikaly na zadní straně oka, tedy 20 mm za čočkou.

Nejsnazší je spojit do jednoho bodu paprsky z velmi vzdáleného předmětu

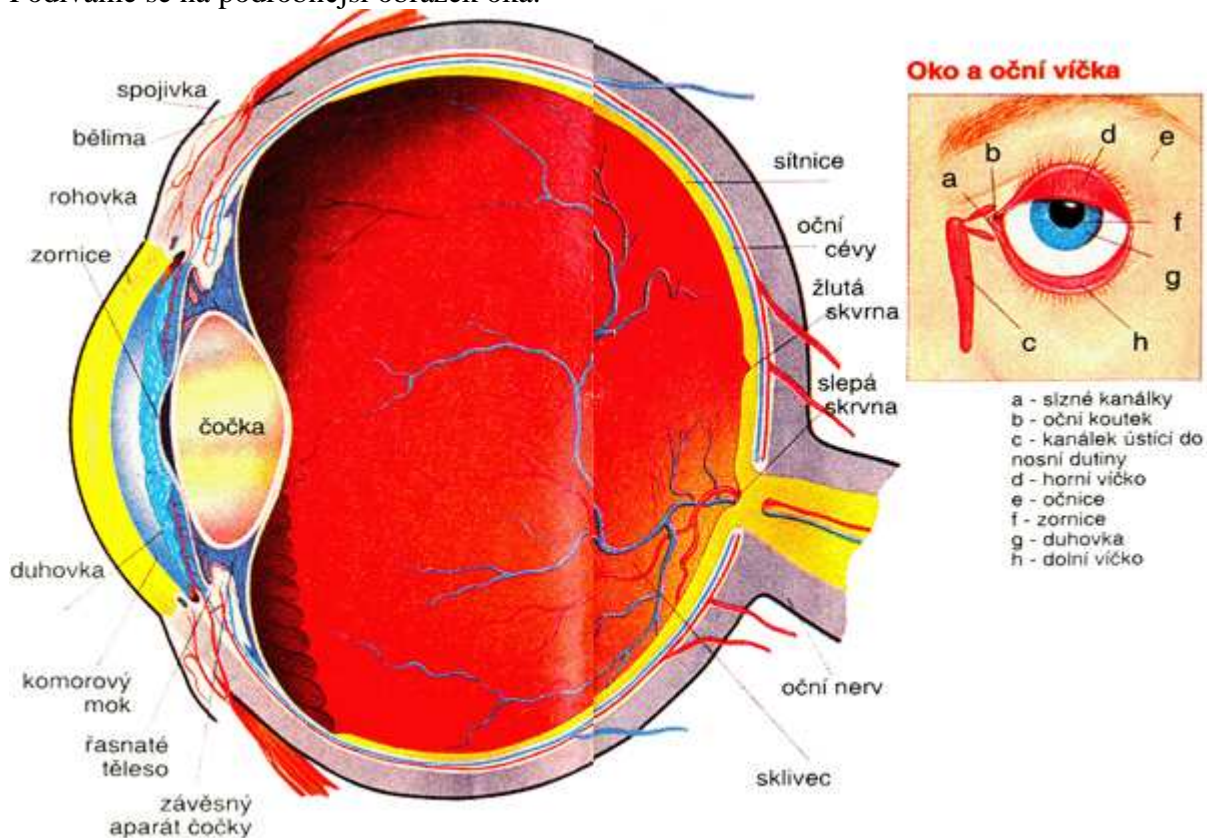
$$a = \infty, \quad a' = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}, \quad f = ?$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2} \Rightarrow f = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m} \Rightarrow \varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,02} \text{ D} = 50 \text{ D}$$

V porovnání s naší nejsilnější spojkou je to obrovská hodnota.

Podíváme se na podrobnější obrázek oka.



Nejprve prostudujeme zadní část oka – záznamovou vrstvu.

Nazývá se **sítnice** (na obrázku žlutá vrstva), tvoří ji dva druhy buněk citlivých na světlo:

- **čípky** (7 miliónu buněk) vnímají barvu, méně citlivé ⇒ potřebují více světla
- **tyčinky** (125 milionů buněk) nerozlišují barvy (vidí černobíle), podstatně citlivější než čípky

rozložení buněk na sítnici není rovnoměrné:

- **žlutá skvrna** – maximální hustota čípků (směrem od žluté skvrny hustota čípků klesá a zvětšuje se hustota tyčinek), místo nejostřejšího vidění
- **slepá skvrna** – nejsou žádné tyčinky a čípky (zde vychází oční nerv z oka)

dále od žluté skvrny kvalita zobrazení klesá (periferní vidění), ale oko velmi rychle dokáže zaměřit svou pozornost tam, kam potřebujeme

**citlivost** (schopnost rozlišit tmavá a světlá místa)

- statická (v jednom okamžiku) 100:1
- dynamická (mezi dvěma okamžiky, přispívá k ní duhovka i chemické změny sítnice) 1000000:1 (ale trvá to dlouho)

⇒ za běžných podmínek 30000:1 (digitální fotoaparát asi 1000:1)

**zorné pole** (jakou část prostoru vidíme)

- jedno oko (130 stupňů ve svislém a 160 stupňů ve vodorovném směru)
- obě oči (200 stupňů ve vodorovném směru)

oko rozlišuje přes 2,5 miliónů různých barev a dohromady může do mozku odesílat 72 GB za sekundu, vnímá však pouze světlo o vlnových délkách 400 až 700 nm

velký vliv na vidění má zpracování obrazu mozkiem:

- převrácení obrazu (mozek je schopen se naučit převracet obraz v případě, že člověk nosí dlouhodobě převracecí brýle)
- iluze plynulého pohybu
- prostorové vidění

### Prostorové vidění

zorné pole obou očí se z větší části překrývá  $\Rightarrow$  obě oči se koukají na stejné předměty, ale protože jsou od sebe trochu vzdáleny, vidí jiné věci (stačí si dát prst 25 cm před oči a podívat se na něj nejdřív jedním a pak druhým okem. V obou případech vidíme prst na zcela jiném pozadí)  $\Rightarrow$  mozek tyto dva obrazy spojí v jeden a čím se poloha předmětu ne obou odrazech více liší tím blíže se nám zdá

- pokud vidíme pouze jedním okem nejsme schopni (v místech, kde nemáme zkušenosti) odhadnout vzdálenost (například nit do jehly se s jedním zavřeným okem navléká opravdu těžko)
- princip prostorového kina IMAX: divák dostane brýle, dvě kamery promítají na plátno dva různé obrazy, brýle zajišťují, že každé oko vidí jeden z nich a mozek ty rozdílné obrazy zpracuje klasickým způsobem do prostorového obraz  $\Rightarrow$  pokud se do kina dostanete, můžete si sundáním brýlí (a tím pádem pohledem na oba obrazy najednou) snadno ověřit, že bližší předměty jsou rozmazány daleko víc než vzdálenější

**Př. 2:** Vysvětli, proč za šera vidíme pouze černobíle.

Šero  $\Rightarrow$  do oka dopadá pouze málo světla  $\Rightarrow$  vidíme pouze prostřednictvím tyčinek (nerozlišují barvy)

Přejdeme k přední části oka

### Duhovka

kruhový terčík z hladkého svalstva, barva jeho pigmentových buněk určuje barvu očí, uprostřed otvor **zornice**, který propouští světla do vnitřní části oka, duhovka může měnit průměr zornice v rozsahu 2 – 8 mm a tím regulovat množství světla v oku (ochrana sítnice před spálením, když ani nejmenší zornice není dost, zavřeme oči, koukání do slunce = vypálení sítnice (platí doslova jako u papíru) a konec kvalitního zraku)

### Rohovka

přední průhledná část oka, zakřivená ven (jako spojka), má na svědomí největší část optické mohutnosti oka (přibližně 40 D), dotek rohovky vyvolá nepodmíněný reflex zavření víček, nutnost neustálého zvlhčování

### Čočka

dvojvypuklá spojka, druhá část optické soustavy, která vytváří obraz na sítnici

**Problém:** obrazy různě vzdálených předmětů vznikají různě daleko za čočkou  $\Rightarrow$  oko musí být schopné měnit ohniskovou vzdálenost soustavy rohovka-čočka

$\Rightarrow$  čočka je pružná a napojená na svalová vlákna  $\Rightarrow$  oko může čočku zakulacovat nebo zplošťovat a tím měnit její ohniskovou vzdálenost

**Př. 3:** Vysvětli, jak se bude měnit zakulacení oční čočky, když budeš sledovat přibližující se předmět. Změř nejmenší vzdálenost, ve které ještě vidíš předměty ostře. Co cítíš, při pozorování velmi blízkých předmětů?

Svazky paprsků vycházející z bližších předmětů mají větší míru rozbíhavosti  $\Rightarrow$  pokud je má čočka zobrazit do stejné vzdálenosti na sítnici musí více lámat (mít větší optickou mohutnost)

a kratší ohniskovou vzdálenost)  $\Rightarrow$  při pozorování bližších předmětů se čočka musí zakulacovat.

Nejmenší vzdálenost, ve které vidíme předměty ostře je silně individuální a roste s věkem u dospělých lidí se pohybuje od 15 cm.

Při pozorování velmi blízkých předmětů je cítit v oku tlak (od zakulacené čočky).

**Př. 4:** Urči optickou mohutnost lidského oka při pozorování předmětu ve vzdálenosti 15 cm. O kolik dioptrií se musí mohutnost čočky zvětšit.

Oko musí mít takovou optickou mohutnost, aby obrazy předmětů vnikaly na zadní straně oka, tedy 20 mm za čočkou.

$$a = 15 \text{ cm} \quad , \quad a' = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \quad , \quad f = ?$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{a + a'}{a \cdot a'}$$

$$f = \frac{a \cdot a'}{a + a'} = \frac{15 \cdot 2}{15 + 2} \text{ cm} = 1,76 \text{ cm} = 0,0176 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,0176} \text{ D} = 57 \text{ D}$$

Optická mohutnost čočky se musí zvětšit o 7 dioptrií.

Schopnost změny mohutnosti čočky (akomodace) klesá s věkem  $\Rightarrow$  rozsah mohutností:

- děti až 15 D
- dospělí 45 let cca 5 D
- staří 60 let 1D

U zdravého oka rozlišujeme:

**vzdálený bod** = nejvzdálenější bod, který oko vidí ostře (bez akomodace čočky) = nekonečno

**blízký bod** = nejbližší bod, který oko vidí ostře (při maximální akomodaci čočky) = s věkem roste od 6,5 cm do 60 cm i více, průměrná hodnota se udává 20 cm, nelze pozorovat předměty v této vzdálenosti delší dobu, protože oko se rychle unaví, možnost zhoršení zraku

**konvenční zraková vzdálenost** = vzdálenost, v níž můžeme předměty pozorovat delší dobu bez větší únavy = 25 cm (stanoveno evidentně bez ohledu na starší)

**Základní předpoklad ostrého vidění = obraz vznikne přímo na sítnici**

$\Rightarrow$  co může selhat:

- čočka láme příliš (má moc velkou mohutnost)
- čočka i při největší akomodaci láme málo (má malou mohutnost)

$\Rightarrow$  vady zraku

**Př. 5:** Vady zraku (dalekozrakost, krátkozrakost – název odpovídá tomu, jaké předměty oko vidí správně) přiřaď příčinám uvedeným výše. U každé vady uveď, jak se změní daleký a blízký bod oka. Jaký typ čočky je nutné použít do brýlí, aby byla chyba korigována?

**Krátkozrakost** = oko vidí dobře na krátké vzdálenosti, tedy blízké předměty  $\Rightarrow$  čočka láme příliš (má moc velkou mohutnost) a ani při maximálním uvolnění není dostatečně plochá, aby obraz vznikl na sítnici, při pohledu na vzdálené předměty vzniká obraz před sítnicí  $\Rightarrow$  rovnoběžný svazek paprsků dopadající do oka musíme změnit na rozbíhavý (aby je oko akorát zalomilo na sítnici)  $\Rightarrow$  do brýlí musíme dát rozptylku  
blízký bod je posunutý k oku, daleký není v nekonečno, ale v blízké vzdálenosti od oka (většinou jen několik metrů)

**Dalekozrakost** = oko vidí dobře daleké vzdálenosti, tedy vzdálené předměty  $\Rightarrow$  čočka i při největší akomodaci láme málo (má malou mohutnost) a ani při maximální akomodaci není dostatečně zakřivená, aby obraz vznikl na sítnici, při pohledu na blízké předměty vzniká

obraz za sítnicí  $\Rightarrow$  rozbíhavý svazek paprsků dopadající do oka musíme změnit na méně rozbíhavý (aby je oko dokázalo zalomit na sítnici)  $\Rightarrow$  do brýlí musíme dát spojku  
blízký bod je posunutý od oka, daleký je v nekonečnu

Krátkozrakost je většinou vrozená (oční koule je protažená dozadu), dalekozrakost přibývá s věkem, jak se snižuje schopnost čočky akomodovat.

**Shrnutí:** Oko zobrazuje předměty pomocí čočky s proměnnou ohniskovou vzdáleností na sítnici.