

brýlová optika **brýlová optika** brýlo-
brýlová optika brýlová optika **brýlo-**
optika **brýlová optika** brýlová optik-
brýlová optika **brýlová optika** brýlo-
brýlová optika brýlová optika **brýlo-**
optika **brýlová optika** brýlová optik-
brýlová optika **brýlová optika** brýlo-

Základy brýlové optiky

2. část

Lidské oko

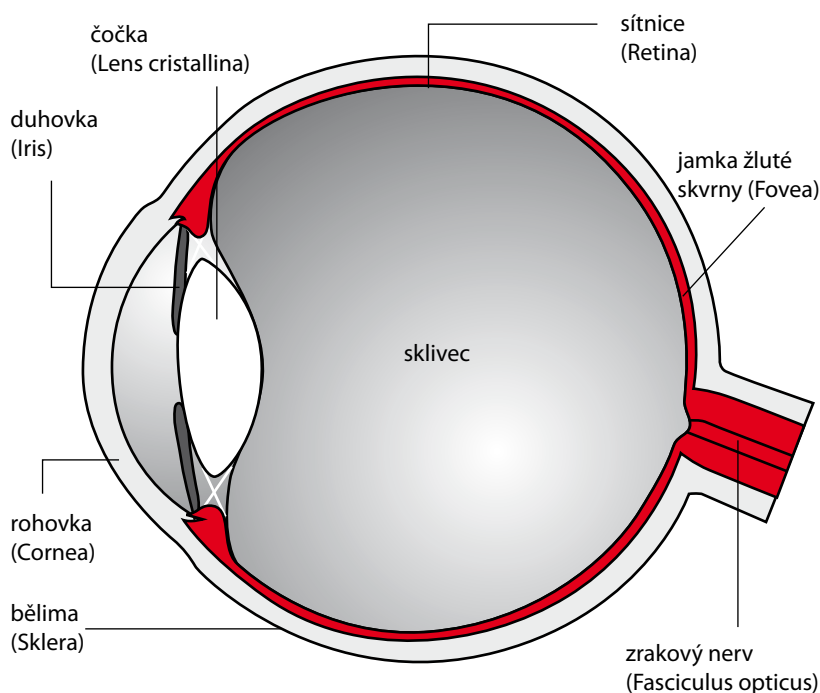
Dokonalost zraku, jednoho z nejdůležitějších lidských smyslů, velkou měrou ovlivňuje momentální stav samotného orgánu, který nám zobrazení okolního světa umožňuje – oka. Zrak však nezávisí jen na stavu lidského oka a jeho

přidatných orgánů, ale i na zrakovém centru v mozku a nervovém propojení mezi ním a okem. Často se v této souvislosti říká, že **nevidíme očima, ale mozkem**. Kvalita našeho vidění může být ovlivněna mnoha chorobami a poruchami, ale i zcela fyziologickými procesy v lidském těle, jako je akomodace oka.

Protože oko je ve své fyzikální podstatě vlastně malá optická kamera, je možné některé jeho optické nedokonalosti opravovat třemi základními způsoby: **brýlovými čočkami, kontaktními čočkami a chirurgickými zákroky**. Při první a druhé variantě přichází ke slovu optometrista a oční optik. Třetí způsob patří do oblasti **oční refrakční chirurgie**.

Úkolem optometristy a očního optika je vytvořit, řečeno optickým slovníkem, nový **složený optický systém** – korekční brýlová čočka (kontaktní čočka) + oko. Dnes, kdy má v civilizované společnosti téměř každý člověk možnost fotografovat a filmovat, není těžké si představit, jakou roli hraje v kvalitě obrazového záznamu kvalita optických členů v zobrazovacích přístrojích. Optický systém korekční čočka + oko není výjimkou. Kvalitu anatomického optického systému oka nemůže optometrista ani oční optik změnit, ale může svou prací podstatně ovlivnit výslednou kvalitu zmiňovaného složeného systému. K tomu, aby se mu to podařilo, potřebuje nejen dokonalou řemeslnou zručnost, ale i široké teoretické optické znalosti, které jsou potřebné zvláště v poslední době, kdy

obr. 1 Lidské oko



se na trhu objevují stále dokonalejší, ale i cenově náročnější korekční čočky.

Optický systém oka

Předpokladem kvalitního zobrazení v oku, tak jako u všech optických čočkových systémů, je dokonalá průhlednost optických členů a prostředí. Optický systém lidského oka tvoří průhledná **rohovka a oční čočka**. Rohovka i čočka se nacházejí v přední části oční koule (obr. 1).

Rohovka má tvar miskovitě vyklenu-té rozptylné čočky ($n = 1,376$, tloušťka přibližně 0,5 mm) a je tvořena pružnou průhlednou bezcévní tkání. Ohraničuje přední okraj oční koule. Přední plocha rohovky je nejlámavější optickou plochou v oku, protože odděluje optická prostředí s největším rozdílem indexů lomu – vzduch/rohovka. Proto se také každá změna zakřivení rohovky masivně projeví změnou zobrazení v oku. **Oční čočka** leží asi 5 mm za rohovkou a mezi ní a rohovkou je čirá **komorová voda**. Oční čočka má tvar dvojbypuklé, spojné čočky ($n =$ přibližně 1,4) a má schopnost měnit svou optickou mohutnost díky složitému procesu **akomodace**. Díky ní se na sítnici automaticky vytváří ostrý obraz vzdálených a blízkých předmětů. Za čočkou je čirý rosolovitý **sklivec**, který je posledním průhledným prostředím, kterým prochází světlo na konečnou zobrazovací plochu, které v oku říkáme **sítnice**. Na sítnici se zobrazuje převrácený obraz toho, na co se díváme. Díky jemné husté struktuře světločivých elementů (čípků a tyčinek) v sítnici, které jsou nervově propojeny až se samotným zrakovým centrem v mozku, pak probíhá proces vidění. Kulatou clonu, která upravuje množství světla vnikajícího do oka, a zároveň působí i jako clona okrajových zobrazovacích paprsků optického systému oka, tvoří **duhovka**. Ta přiléhá na přední plochu oční čočky. Kulatému otvoru v ní říkáme **zornice** (pupila). Ta má schopnost měnit svůj průměr. Díky zachycení okrajových paprsků duhovkou je obraz ostřejší, poněvadž se tím zmenšuje otvorová vada optického systému. Geometrický střed zornice (střed pupily) je důležitým bodem pro správnou centraci brýlové čočky před okem.

Na začátku 20. století sestavil švédský oftalmolog **Allvar Gullstrand** (1862–1930, obr. 2), nositel Nobelovy ceny za oftalmologii z roku 1911, na základě mnoha měření optický model průměrného lidského oka. Tento model, používaný pro potřeby optických výpočtů zobrazování v lidském oku, patří mezi nejpodrobnější a nazýváme ho **schematické oko**. Centrovanou optickou soustavu schematického oka tvoří šest kulových lámavých ploch – dvě rohovkové a čtyři čočkové (jádro a kůra čočky), definované poloměry křivosti. Obklopují je optická prostředí definovaná indexy lomu (obr. 3).

Některé údaje o schematic-kém Gullstrandově oku

Výchozím bodem pro měření vzdáleností, uváděných v milimetrech, je v soustavě schematického oka vrchol rohovky. Značení vzdáleností je v souladu s jenskou znaménkovou dohodou. V závorce jsou hodnoty při maximální akomodaci.

Indexy lomu

rohovka	1,376
komorová voda	1,336
kůra čočky	1,386
jádro čočky	1,406
sklivec	1,336

Vzdálenosti od vrcholu rohovky

zadní vrchol rohovky	0,5	
přední vrchol čočky	3,6	(3,2)
přední vrchol jádra	4,146	(3,8725)
zadní vrchol jádra	6,565	(6,5275)
zadní vrchol čočky	7,2	(7,2)



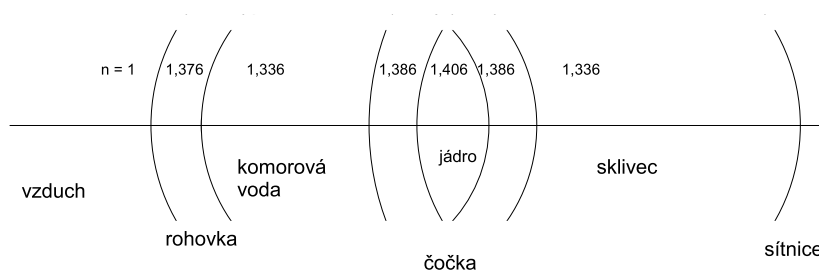
obr. 2 Švédský oftalmolog Allvar Gullstrand

Poloměry křivosti

přední plocha rohovky	7,7	
zadní plocha rohovky	6,8	
přední plocha čočky	10	(5,33)
přední plocha jádra	7,911	(2,655)
zadní plocha jádra	-5,76	(-2,655)
zadní plocha čočky	-6	(-5,33)

Optická mohutnost v dioptriích

přední plocha rohovky	48,831	
zadní plocha rohovky	-5,882	
rohovka	43,053	
přední plocha čočky	5	(9,375)
jádro čočky	5,985	(14,96)
zadní plocha čočky	8,33	(9,375)
celá čočka v oku	19,11	(33,06)
celá soustava oka	58,64	(70,57)



obr. 3 Schematické Gullstrandovo oko

Poloha ohnisek soustavy

ohnisko předmětové -15,707 (-12,397)

ohnisko obrazové 24,387 (21,016)

Poloha sítnice

délka oka 24

Ohniskové vzdálenosti soustavy oka

předmětová -17,054 (-14,169)

obrazová 22,875 (18,03)

V souvislosti s výpočty optických mohutností soustavy lámavých ploch se uvádí **Gullstrandova rovnice**:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2,$$

kde je

φcelková optická mohutnost,

φ_1optická mohutnost první plochy,

φ_2optická mohutnost druhé plochy,

dvzdálenost vrcholů ploch v metrech,

nindex lomu prostředí mezi plochami.

Poloha hlavních bodů soustavy oka

hlavní bod předmětový 1,348 (1,722)

hlavní bod obrazový 1,602 (2,086)

Poloha uzlových bodů soustavy

uzlový bod předmětový 7,078 (5,633)

uzlový bod obrazový 7,332 (5,997)

Důležité pojmy

Abychom si mohli popsat refrakční stavu oka a stav vidění z nich vyplývající,

seznámíme se s důležitými pojmy, které s refrakčním stavem oka úzce souvisí.

Emetropické oko

- oko s normálním optickým systémem, kdy se předmět nacházející se v nekonečnu při minimální akomodaci **zobrazí na sítnici**.

Ametropické oko

- předmět nacházející se v nekonečnu se při minimální akomodaci **nezobrazí na sítnici**.

Akomodace oka

- změna optické mohutnosti optického systému oka díky změně optické mohutnosti čočky,
- možnost zaostření vzdálených a blízkých předmětů,
- s rostoucím věkem tato schopnost klesá (presbyopie).

Daleký bod R

(punctum remotum)

- bod na optické ose oka, který se zobrazí na sítnici při minimální akomodaci oka.

Blízký bod P

(punctum proximum)

- bod na optické ose oka, který se zobrazí na sítnici při maximální akomodaci oka.

Vzdálenost dalekého bodu a_R

- vzdálenost dalekého bodu od předmětového hlavního bodu oka v metrech,
- záporná je před optickým systémem oka, kladná je za systémem (znaménková dohoda).

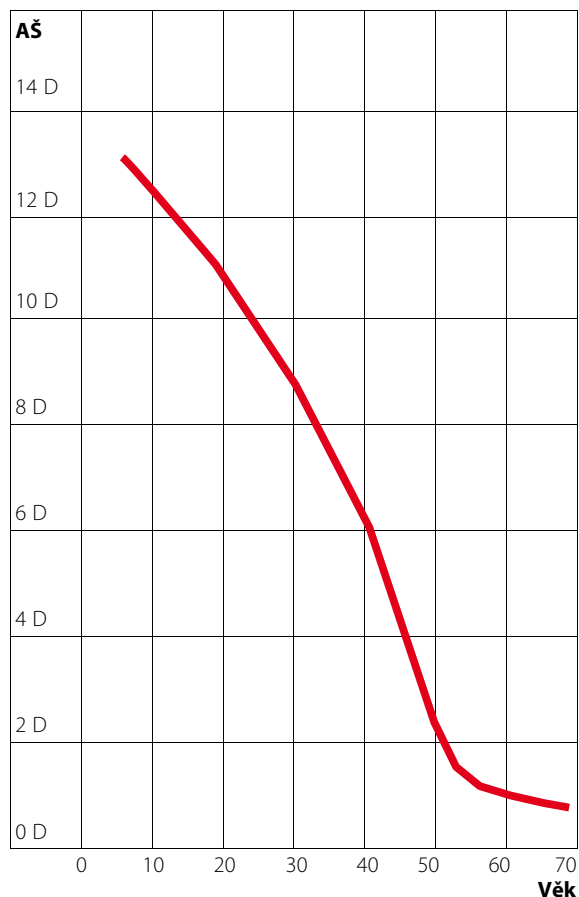
Vzdálenost

blízkého bodu a_p

- vzdálenost blízkého bodu od předmětového hlavního bodu oka v metrech,
- záporná před, kladná za systémem.

Axiální refrakce oka A_R

- převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu $1/a_R$
- udává se v dioptriích,
- refrakční stav oka při minimální akomodaci.



obr. 4 Závislost akomodační šíře na věku

maximální akomodační výkon oka v dioptriích, s věkem klesá (obr. 4),

- rozdíl mezi maximální a minimální optickou mohutností oční čočky,
- rozdíl mezi převrácenými hodnotami vzdáleností dalekého a blízkého bodu,

$$AŠ = (1/a_R) - (1/a_P)$$

Dílčí akomodační výkon oka A_B

- částečný akomodační výkon oka při zobrazení bodu B, který se nachází ve vzdálenosti a_B ,

$$A_B = (1/a_R) - (1/a_B)$$

Akomodační interval Δa

- úsek na optické ose před/za okem, který se zobrazí na sítnici v rozsahu akomodace oka,
- úsek za okem je pouze virtuální (neskutečný).

Ladislav Najman
SZŠ a VOŠZ, Brno, Merhautova 15
najman@szsmerh.cz

Pokračování příště.