

Oftalmologické přístroje



Doporučená literatura

- **Beneš, P. Přístroje pro optometrii a oftalmologii, 2015**
- **Veselý, P. a Beneš, P. Vyšetřovací metody v optometrii, 2019**
- Polášek a kol. Technický sborník oční optiky
- Kuchynka. Oční lékařství
- Rozsival, P. Trendy soudobé oftalmologie
- Kepřt, E. Teorie optických přístrojů III., Oko a jeho korekce, SPedN Praha 1966
- **Rutle, M. Přístrojová optika**
- Časopis: Česká oční optika
- Archiv závěrečných prací na www.is.muni.cz, zejména Bc. práce
- Internet – validní zdroje !!!!!!!!!!!!!!!
- **Zahraniční literatura**

PŘEHLED UČIVA - požadavky ke zkoušce

- průběh – písemný test + ústní zkoušení
- **1. Základní optické komponenty používané při konstrukci optických přístrojů – opakování**
- A) základní zákony GO, planparalelní destička, hranol – prizma – hranolové soustavy, diasporometr. Znaménková konvence, principy optického zobrazování. Základní body optické soustavy, zvětšení, základní zobrazovací rovnice, zobrazení jednou kulovou plochou a soustavou kulových ploch, zrcadla. Vady optického zobrazování. Reflexe, absorpce, transmise.

- B) objektivní, subjektivní a laboratorní optické přístroje s důrazem na lupy, mikroskopy a dalekohledy
- C) disperze, interference, difrakce, polarizace světla
- D) fotometrie, základní veličiny

2. STANOVENÍ REFRAKCE - předpis brýlí

- 1. Vízus – optotypy, kontrastní citlivost
- 2. Fokometr – mechanický, projekční, automatický
- 3. Objektivní refrakce – vyšetřovací zrcátko, skiaskop, skiaskopické lišty, autorefraktometry
- 4. Subjektivní refrakce – zkušební obruba, soubor zkušebních čoček, foropter
- 5. Vyšetření refrakční rovnováhy – kap. vyšetření okohybných funkcí
- 6. Náležitosti poukazu na brýle a optické pomůcky

3. VYŠETŘENÍ PŘEDNÍHO SEGMENTU OKA

- 1. Štěrbínová lampa – včetně přídatných zařízení – tonometr, pachymetr, gonioskopická čočka, Volkova a Hrubyho čočka
- 2. Keratometr - mechanický, automatický, topograf
- 3. Wesselyho keratometr, exoftalmometr

4. VYŠETŘENÍ OČNÍHO POZADÍ

- 1. add předchozí - gonioskopie, Hrubyho a Volkova čočka
- 2. Oftalmoskop
- 3. UZ, OCT, HRT

5. VYŠETŘENÍ ZORNÉHO POLE

- 1. Perimetry
- 2. Kampimetr

6. BINO - ROVNOVÁHA

- 1. Přístroje na vyšetření okohybných funkcí – Maddox, Schober, Worth, Hess, Lancaster, Bagolini
- 2. Přístroje na vyšetření refrakční rovnováhy – bichromatické, polarizační
- 3. Přístroje pleoptické a ortoptické
- 4. Eikonometry

7. BARVOCIT

- + adaptace

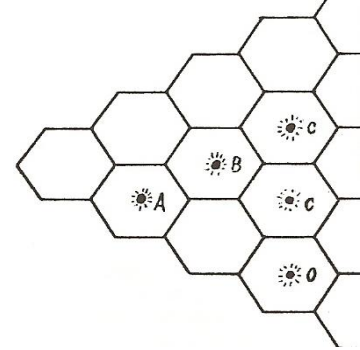
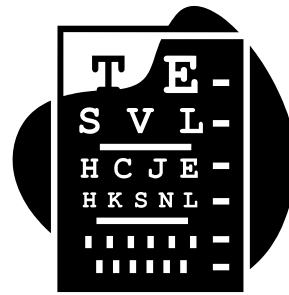
8. ELEKTROFYZIOLOGICKÉ VYŠETŘOVACÍ METODY



Vyšetřovací jednotka

- kompaktní **celek** pro umístění jednotlivých přístrojů
- nastavitelné **křeslo** (otočné, polohovací, s opěrkami pro ruce a nohy)
- **konzola** - posuvný **stolek** pro 2-3 vyšetřovací přístroje
- nastavitelné **světlo**, **rameno** s foropterem, případně projekční optotyp
- **skříňka** se zásuvkami – drobné pomůcky a zařízení (oftalmoskop, sada zkušebních čoček, optotypy do blízka,...)
- uspořádání jako pravostranné nebo levostranné, stůl může být posuvný nebo otočný

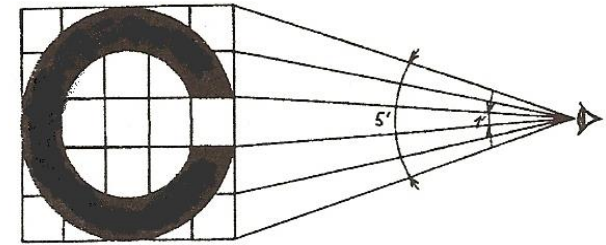
Optotypy



- **slouží pro stanovení kvality zrakové ostrosti - vízu**
- **Vízus** = určuje **stupeň a kvalitu** schopnosti lidského oka **rozlišovat detaily** v předmětovém prostoru
- základ úhlové zrakové ostrosti - hodnota
1 ÚHLOVÁ MINUTA (1') = minimum separabile
.....tzn. zdravé lidské oko by mělo být schopno rozlišit 2 body odděleně, pokud se promítají na sítnici tak, že mezi 2 podrážděnými čípkami centrální jamky zůstává 1 nepodrážděný
- hodnota 1' se odvozuje ze skutečných zobrazovacích poměrů v průměrném lidském oku

$$V = \frac{\text{základní vyšetřovací vzdálenost}}{\text{vzdálenost, ze které se jeví detail znaku (celý znak) pod úhlem } 1' (5')}$$

- **Vízem** je označován **podíl** vyšetřovací vzdálenosti v metrech a vzdálenosti, ze které by měl být znak správně rozlišen pod úhlem $1'$
- Minimum separabile – bod se zobrazuje na sítnici emetropického oka jako malý rozptylový kroužek
- Dva body je možné rozlišit pouze tehdy, je-li na sítnici mezi jejich rozptylovými kroužky volný alespoň jeden čípek – nezasažený světlem



Minimum legibile – práh vnímání pro **pochopení** smyslu pojmu, složeného z více symbolů

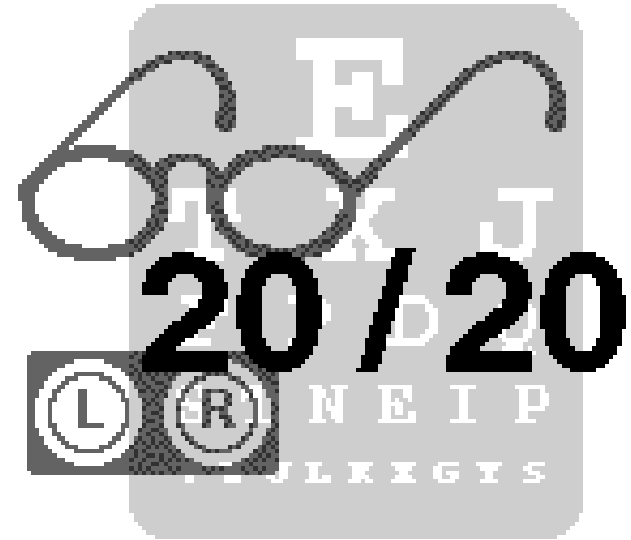
Minimum cognobile – **rozlišení** tvaru symbolu, znaku

Minimum visibile – schopnost rozlišit malý předmět na základě světelného **kontrastu**

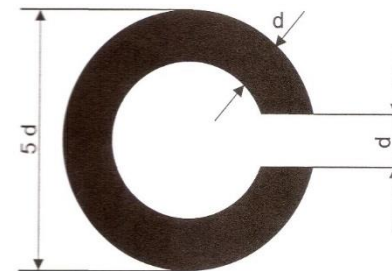
Minimum perceptibile – práh pro **vnímání slabých** světelných podnětů, závislý na stavu adaptace

Konstrukční provedení optotypů

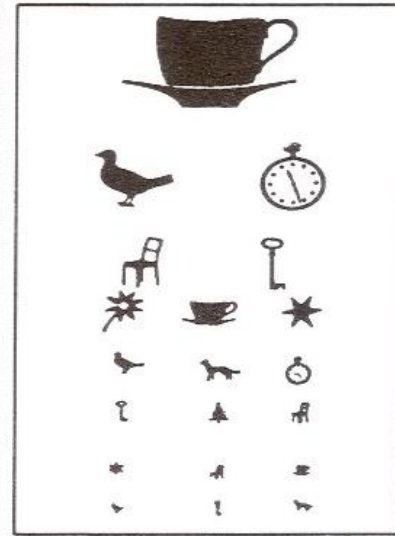
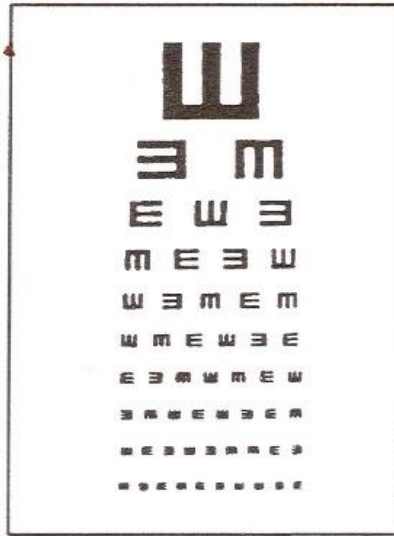
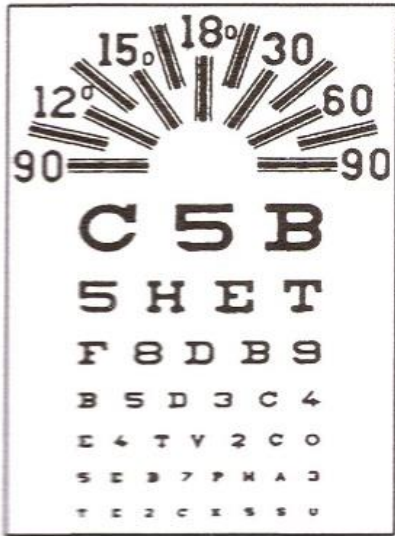
- tištěné (volné, s bočním osvětlením)
- světelné (celoplošné, řádkové)
- projekční
- LCD (počítačové) a speciální (3D refrakce)
- u většiny možné do dálky a na blízko



Co je to optotyp





- = soubor Snellenových znaků - písmen, číslic, obrázků
- seřazeny od **největšího** po nejmenší
- požadavky: znaky dokonale ostré, kontrastní, srozumitelné, dostatečně a stejnoměrně osvětlené
- Norma ČSN stanoví - **tvar** znaku, **mezery** mezi znaky a řádky, **odstupňování velikosti** znaků, **kontrast** a okolní osvětlení





A type
(ACP-8 P/EM/AC)

K 0.05	DEC 0.1 HON 0.16	TKPEB 0.2 ARFSH 0.3 CNDTZ 0.4	KOZFT 0.5 PVHAD 0.6 RZCNB 0.7	VSHEL 0.8 APFCB 0.9 RDZTG 1.0	HKNST 1.2 OVEFG 1.5 DACZR 2.0
		ЭШМ 0.1 МЕШ 0.2	ЕМЭВЕ 0.3 ШЕМЭМ 0.4 ЕЭШМЕ 0.5	ЭЕШМШ 0.6 ШЭМЕЭ 0.7 МШЕЭМ 0.8	ЭМЕВЕ 1.0 МШЭЕМ 1.2 ШЕМЭЕ 1.5
28563 0.6 93427 0.7 56984 0.8	94527 1.0 68349 1.2 59283 1.5	 0.1	 0.2  0.3	 0.4  0.5	 0.7  0.8  1.0
					



...

H V C D N

D Z R V C

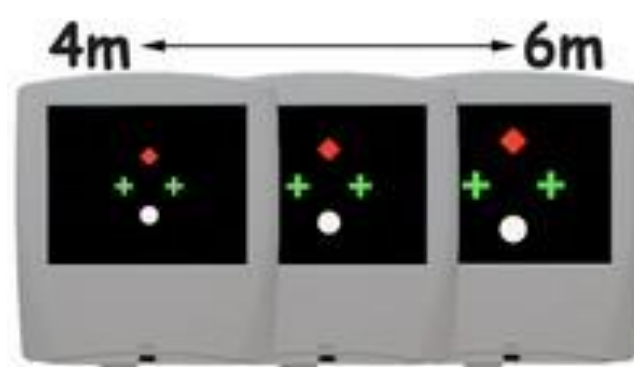
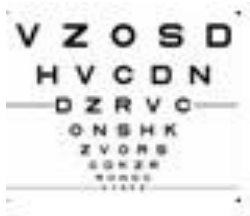
O N S H K

Z V O R S

C D K Z R

R H N D C

O V S K Z



Předsádka s červeno – zeleným filtrem



Předsádka s polarizačními filtry

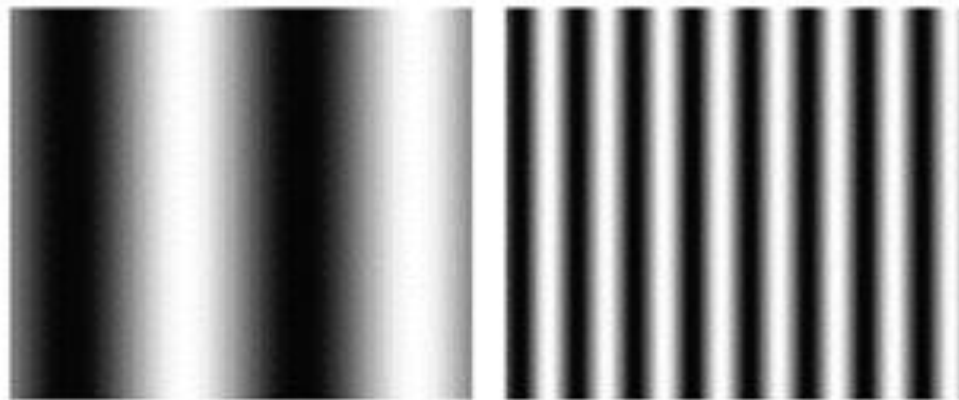


Ovladač LCD optotypu

Kontrastní citlivost

- Lepší představa a kvalitnější **informace** o zrakových funkcích
- Testování je třeba provádět za **optimálních světelných** podmínkách
- Kontrastní citlivost - definována jako **převrácená hodnota** kontrastního prahu
- Jako kontrastní práh je pak udáván **nejmenší viditelný kontrast, potřebný k rozlišení dvou různých světelných částí daného objektu**

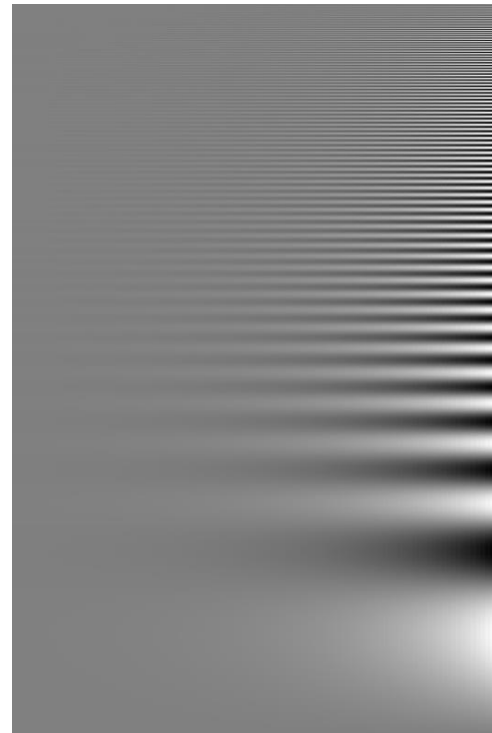
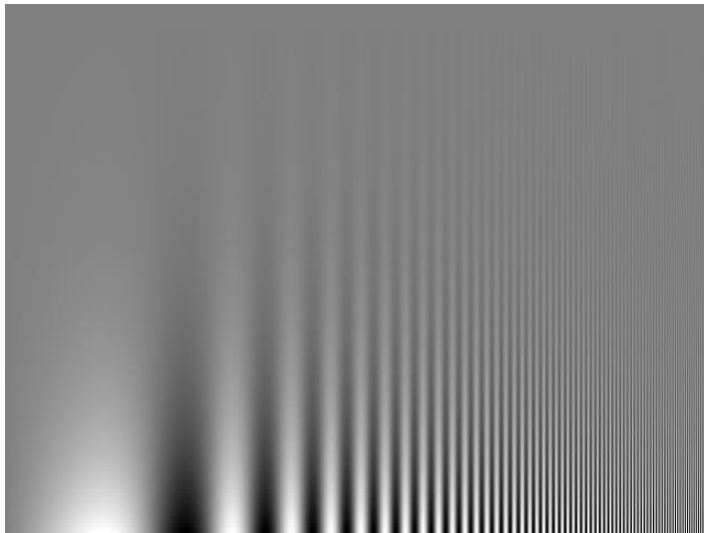
- schopnost **rozlišit a analyzovat** jemné prostorové detaily závisí na dvou parametrech – kontrastní citlivosti a prostorové frekvenci
- prostorová frekvence je udávána počtem **cyklů na úhlový stupeň** (c/st.), cyklem je označována úhlová šířka jednoho tmavého a jednoho světlého sousedního pruhu
- **nízké** prostorové frekvence tvoří **široké** pruhy
- **vysoké** prostorové frekvence pak tvoří **úzké** pruhy



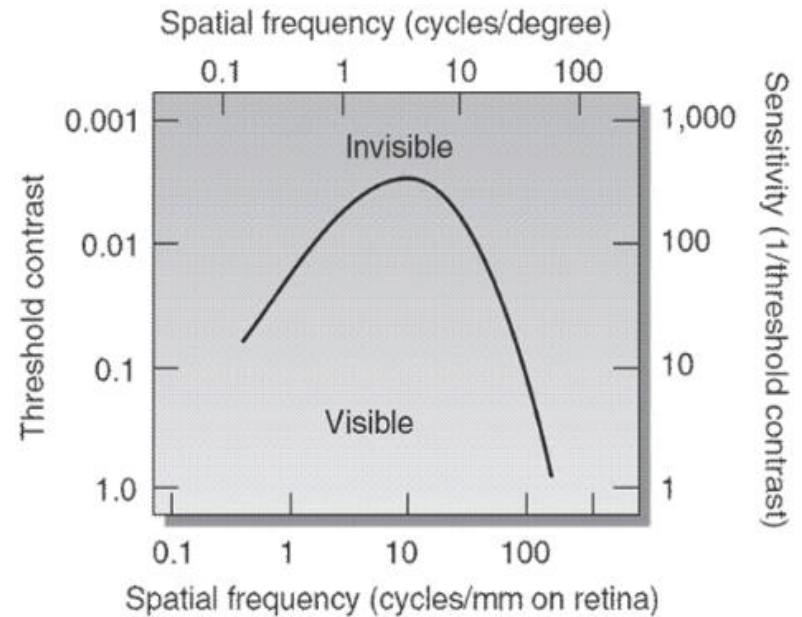
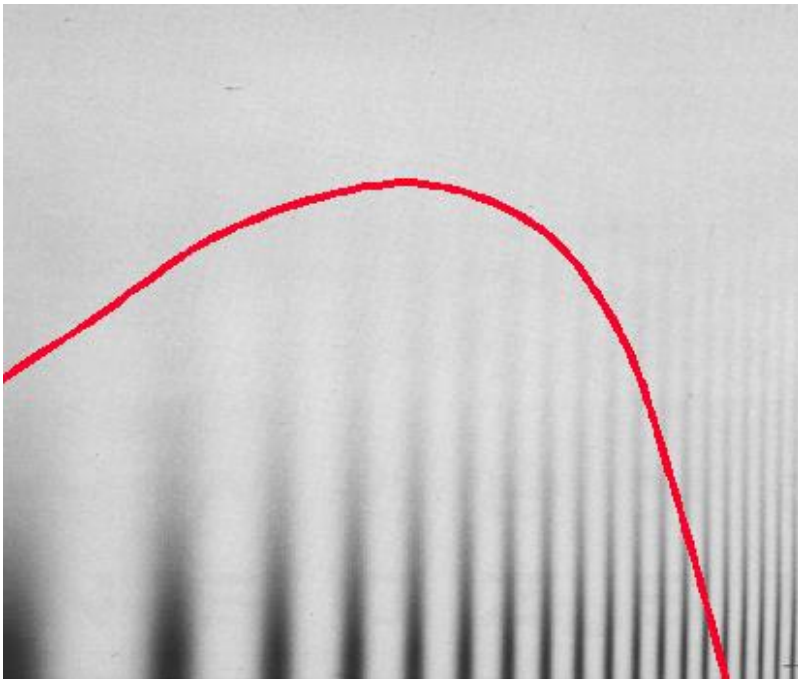
Nízká prostorová frekvence

Vysoká prostorová frekvence

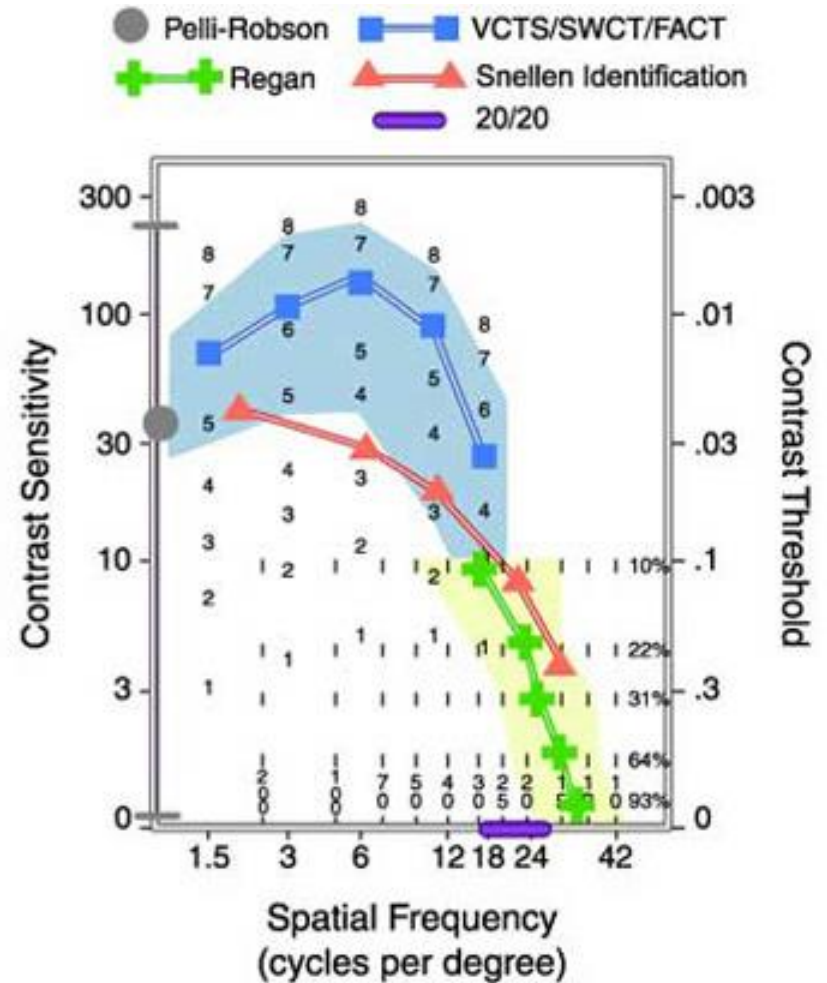
- **Cyklem** je označována úhlová šířka jednoho tmavého a jednoho sousedního světlého pruhu
- Kontrastní prahy pro různé prostorové frekvence tvoří funkci – **křivku KC**



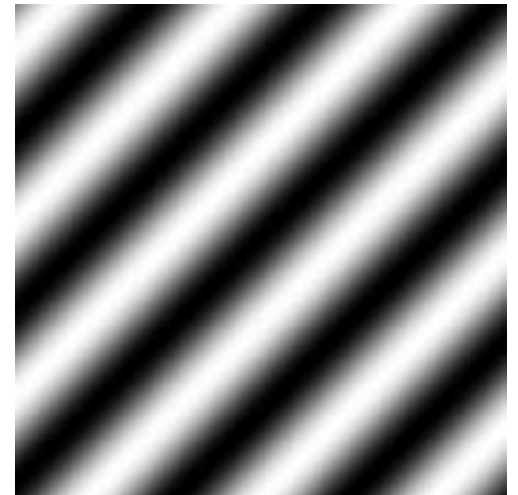
KC v nižších prostorových frekvencích ukazuje, jak pacient vnímá tvary a velké objekty, KC ve vyšších prostorových frekvencích demonstruje pacientovu schopnost vidět linie, okraje a jemné detaily



- lidské oko má nejvyšší citlivost mezi 3 – 6 c/st
- ve vyšších a nižších prostorových frekvencích citlivost klesá
- křivka kontrastní citlivosti má tedy zvonovitý tvar



- KC se mění s věkem a to ve všech prostorových frekvencích
- **změny** jsou nejmarkantnější ve středních a vyšších prostorových frekvencích, největší pokles je u **vyšších věkových** skupin



DRUHY TESTŮ

- Forma vyšetřovacích tabulí nebo systémy umožňující testovat KC na monitoru či panelu LCD
- 2 základní typy tabulí – písmenové a využívající sinusovou mřížku
- 1. Sinusová mřížka
 - u zkušebních tabulí tohoto typu lze kontrast definovat jako rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším jasem dělený jejich součtem, jedná se o tzv.

Michelsonův kontrast:

$$K = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

- Ardenovy tabule - tabule obsahovala svislé pruhy o jedné prostorové frekvenci, kontrast těchto tmavých a světlých pruhů se snižoval shora dolů. Cílem bylo určit místo, kde pruhy přecházely v jednolitou uniformní šed'

- Functional Acuity Contrast Test – testování KC v pěti prostorových frekvencích – 1,5 3 6 12 18 c/st.

Tabule tedy obsahují 5 řad



- **2. Písmenové testy**

- **Pelli–Robson Contrast Sensitivity Chart**

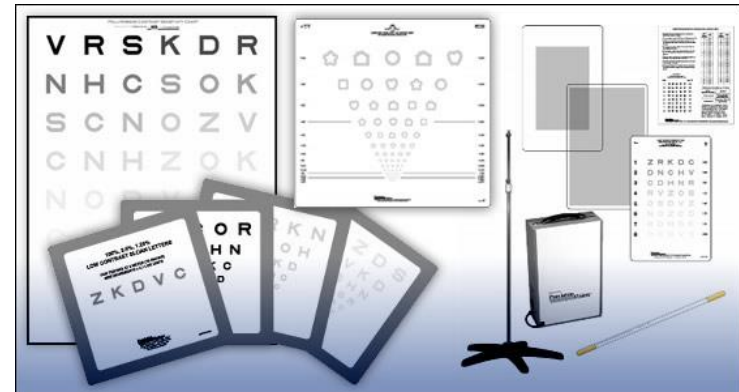
- zde kontrast definujeme jako **rozdíl jasu** mezi pozadím a písmenem dělený jasem pozadí

- Jedná se o Weberův kontrast

$$K = (L_p - L_o) / L_p$$

- KC je testována v oblasti 1c/st

- pozoruje se ze vzdálenosti 1 m



- optotypy (znaky) na zkušební tabuli jsou seřazeny ve skupinách **po třech písmenech** a v každém řádku se nacházejí dvě tyto trojice písmen
- znaky **v každé trojici** mají vždy **stejný kontrast**
- **stupeň obtížnosti narůstá** řádek od řádku, ale také **uprostřed každého řádku**
- + formuláře



- Zkušební tabule je třeba zavěsit ve vyšetřovací místnosti tak, aby výšková úroveň jejich středu odpovídala **úrovni pacientových očí** při vyšetřování
- musí být osvětleny homogenním světlem – rozptýleným světlem **stejně intenzity** – po celé ploše tak, aby osvětlení bílých ploch bylo dosaženo na úrovni cca 85 cd/m²
- provádět **bez rozšíření zornic**
- Pacient má mít nasazenou na očích **optimální korekci na dálku**, v případě nutnosti **add 0,75 dpt na vzdálenost 1m**



- Pacient má zkusit na **první pokus přečíst nahlas každé písmeno na zkušební tabuli**, počínaje tmavými kontrastními písmeny v levém horním rohu zkušební tabule.
- Je třeba číst **všechna písmena** v celém horizontálním řádku
- Pacientova kontrastní citlivost je indikována **nejslabší trojicí**, ze které pacient přečetl **správně 2 písmena ze 3**
- Vyšetřujeme každé oko zvlášť a binokulárně, vždy 3x, celé vyšetření by nemělo být delší než 8 min. Binokulární logaritmus kontrastní citlivosti je normálně o 0,15 vyšší než monokulární

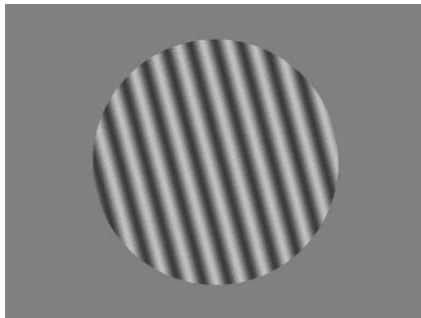


- Pro vyšetření na blízko a do vzdálenosti 50 cm se využívají např. Mars Letter contrast Sensitivity Test



• 3. Digitální systémy

- **SmartChart** – digitální systém, vedle vyšetření vízu obsahuje komplexní soubor testů vč.
- KC v pěti prostorových frekvencích 1,5 3 6 12 18 c/st
- LCD panel nevyžaduje externí počítač



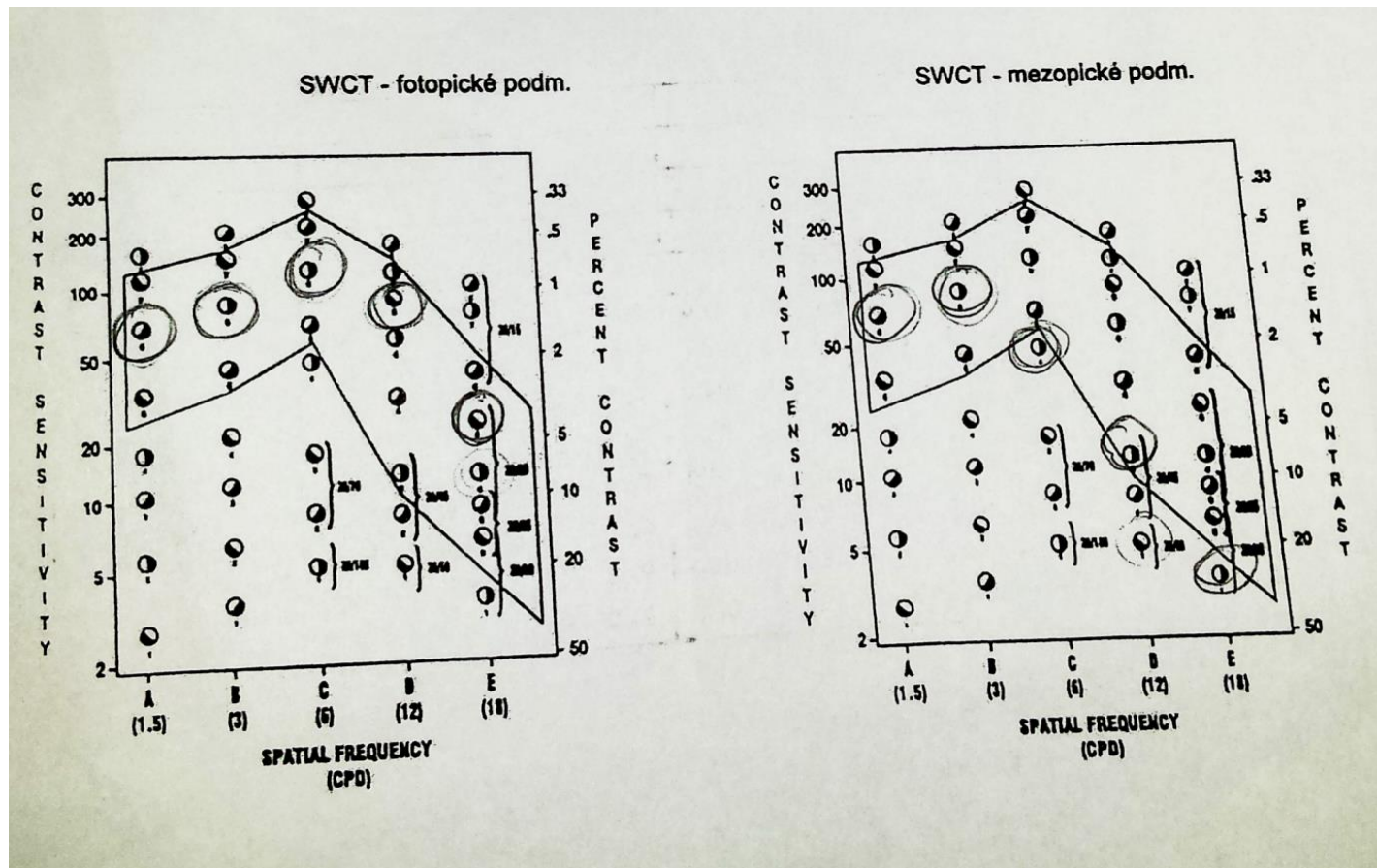


- nejčastější **příčiny a onemocnění**, které

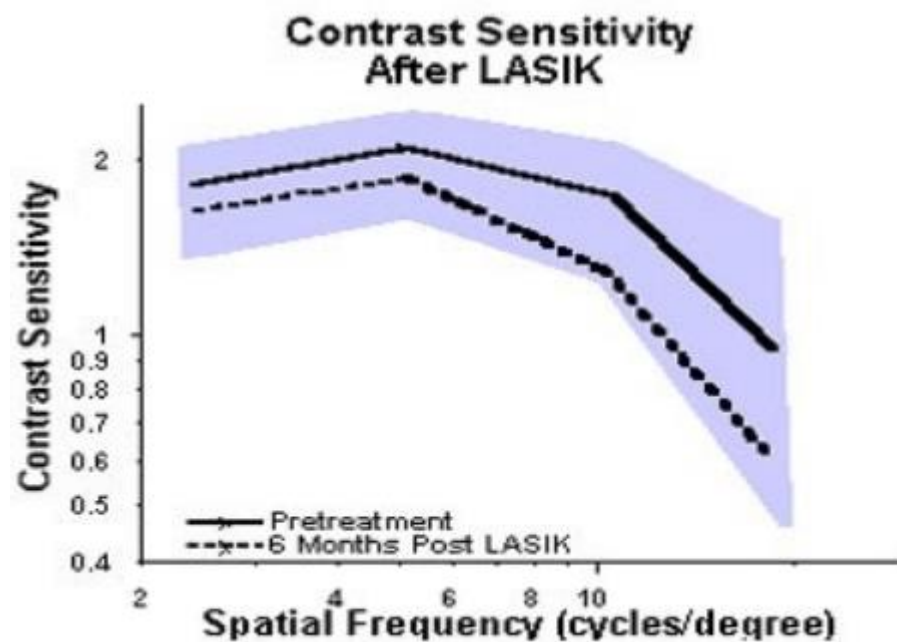
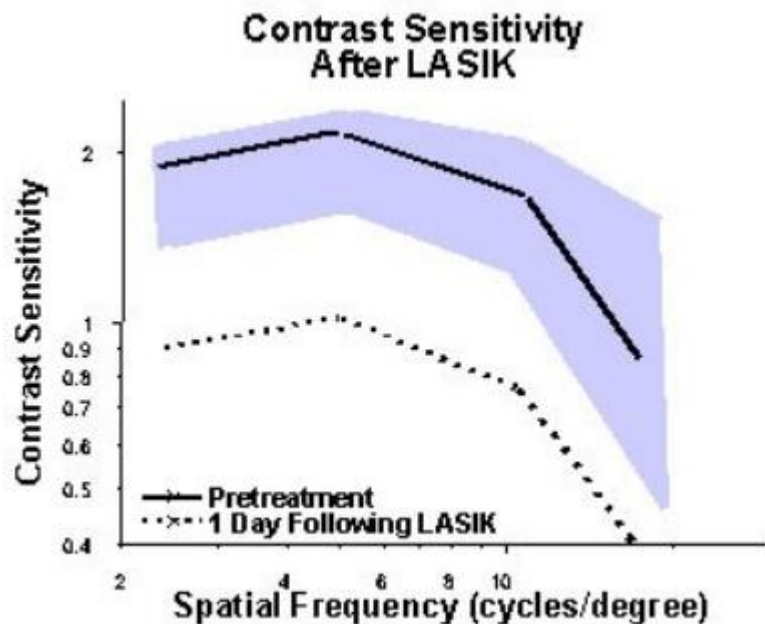
způsobují **snížení** kontrastní citlivosti, patří:

- refrakční vady, katarakta, postižení sítnice a zřakového nervu, amblyopie, expozice toxickými látkami, neurologická onemocnění, poruchy metabolismu

Nález: testování KC za ftopických a mezopických podmínek



Nález: po LASIKu

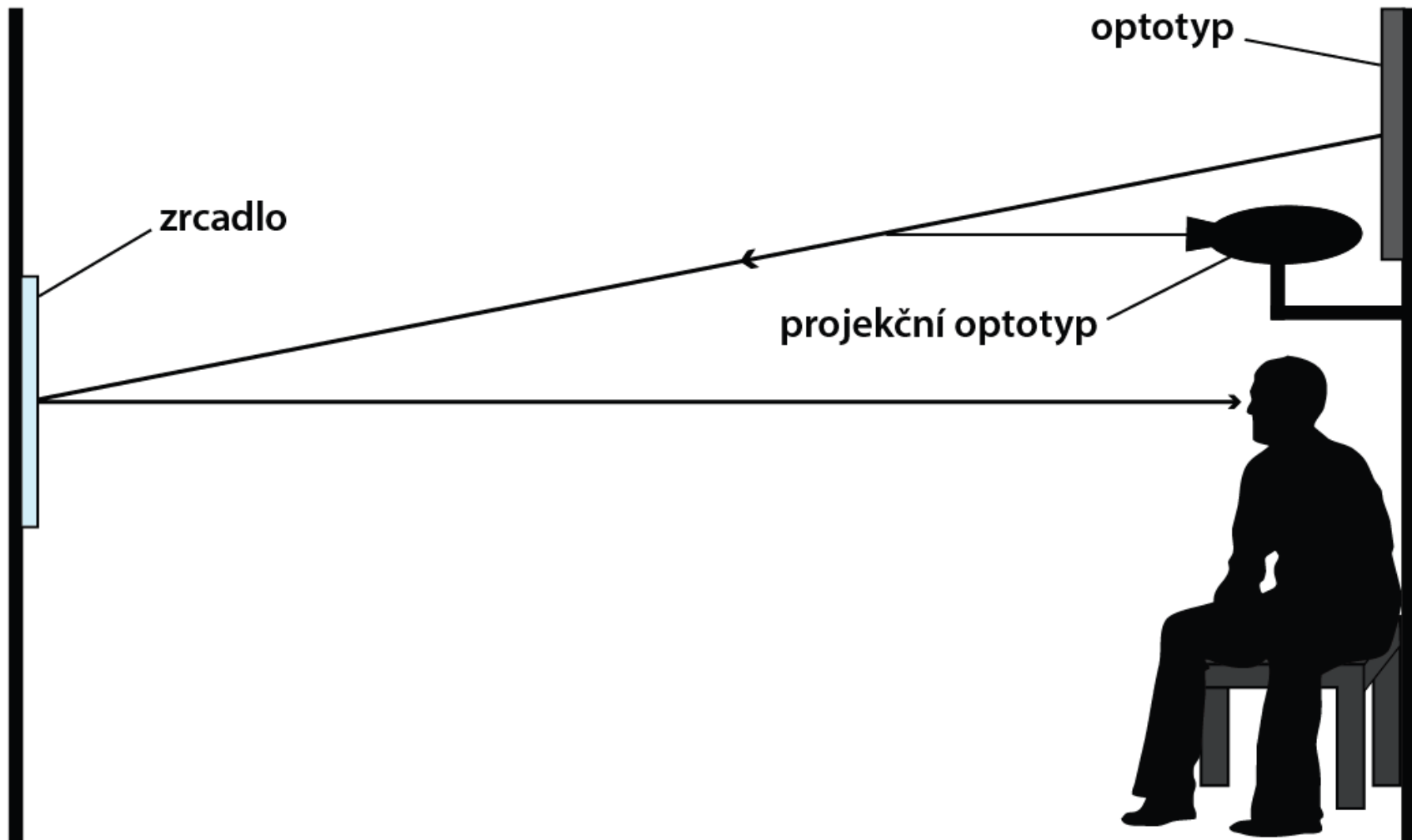


Nález: zápis u Pelli-Robson tabulí

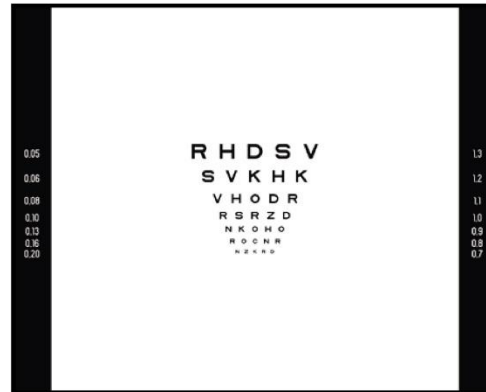
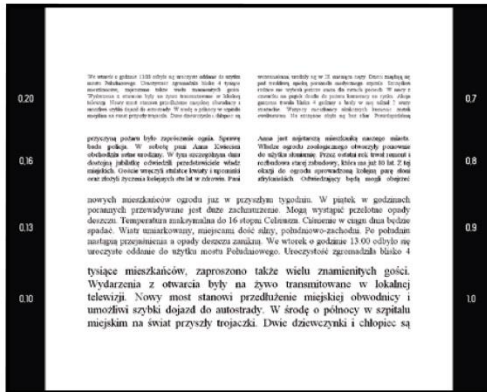
PELLI - ROBSON CONTRAST SENSITIVITY TEST	0,00	HSZ DSN	0,15	0,00	HSZ DSN	0,15
	0,30	CKR ZVR	0,45	0,30	CKR ZVR	0,45
	0,60	NDC OSK	0,75	0,60	NDC OSK	0,75
	0,90	OZK VHZ	1,05	0,90	OZK VHZ	1,05
	1,20	NHO NRD	1,35	1,20	NHO NRD	1,35
	1,50	VRC OVH	1,65	1,50	VRC OVH	1,65
	1,80	CDS NDC	1,95	1,80	CDS NDC	1,95
	2,10	KVZ OHR	2,25	2,10	KVZ OHR	2,25
podm.	fotopické			mezopické		
log KC						
korekce	-0,25 Dp. -0,5 Dp. / 90°					
UCVA ETDRS	-0,1					
BCVA ETDRS	-0,16					
	13A 3			5 x 5		

3D refrakce



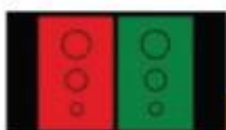
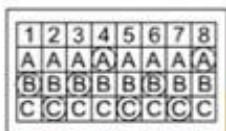
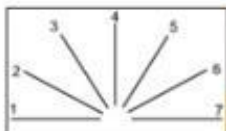
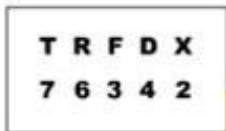


Optotypy na blízko





Visiotest, binoptometr, binovision



TESTY NA OSLNĚNÍ

- citlivost k oslnění lze odvodit od výsledků testování **ZO a KC**, je v podstatě rozdílem těchto hodnot měřených při a bez oslnění dané intenzity
- Nyktotest, Nyktometr, Mesotest a další
- zatím bez standardizace, neexistuje dohoda o velikosti, intenzitě a poloze zdroje oslnění – není objasněn vztah mezi citlivostí k oslnění a obtížemi v běžném životě
- měření **rozptylu světla**

- Během testu fixuje klient foveou **centrum osvětlené plochy**
- Kruhový zdroj oslnění je zapínán a vypínán s **frekvencí 8 Hz**, je doplněn o kompenzační světlo
- Po vyrovnání **rozptýleného světla** v oku s **kompenzačním světlem** je test vyhodnocen
- **Citlivost k oslnění** se zvyšuje zejména při nižších stupních osvětlení – stmívání a noc, v přítomnosti zdroje oslnění – západ slunce, protijedoucí vozidlo

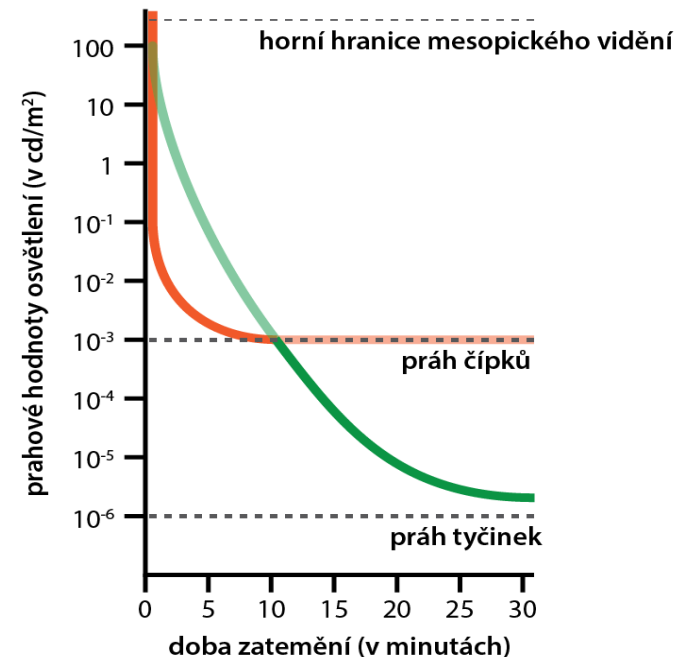


Mesotest

ADAPTACE A ADAPTOMETRY

- stanovit časovou závislost **prahové hodnoty světla**, která je schopna vyvolat zrakový vjem
- časový průběh je zaznamenán v adaptační křivce, ta znázorňuje vzestup citlivosti sítnice v tmavé místnosti

- rychlá adaptaci čípků
- pomalejší adaptace tyčinek



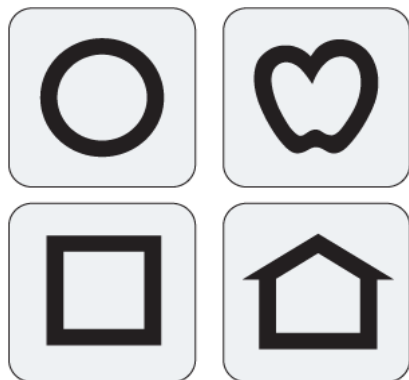
- adaptace na tmu trvá **déle** (40-60 minut)
- adaptace na světlo je mnohem **rychlejší**
- lze pozorovat přechod od vidění fotopického (za světla) k vidění skotopickému (za šera)



Adaptometr

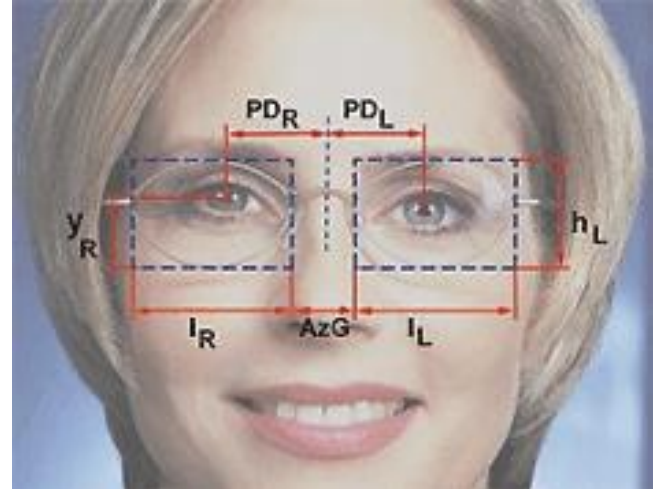
LEA CARDS

- **speciálně vytvořené optotypy** pro malé děti a analfabety
- při posouzení zrakové ostrosti jak do dálky i na blízko
- **symboly** – jablko, pětiúhelník, čtverec, kruh
- **čísla** – obdoba Snellenových optotypů
- **proužky** – testové tabulky mají podobu pingpongové pálky



PUPILOMETRY

- zjištění vzdálenosti středů zornic



- **Možnosti měření PD:**
 - fólie (v brýlové obrubě)
 - měřítko vhodně upravená (PD-měřítka)
 - kombinace obou metod
 - speciální přístroje (PD-metry, centrovací věže)



...Historie

- Rovnoběžné postavení os vidění měřených očí
- Pohled **přímo** před sebe
- Minimální akomodace očí **měřeného**
- Minimální akomodace očí **vyšetřujícího**
- Dobré osvětlení – malý průměr zornice



Digitální pupilometr

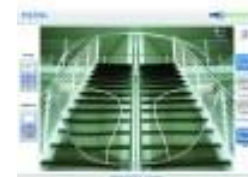


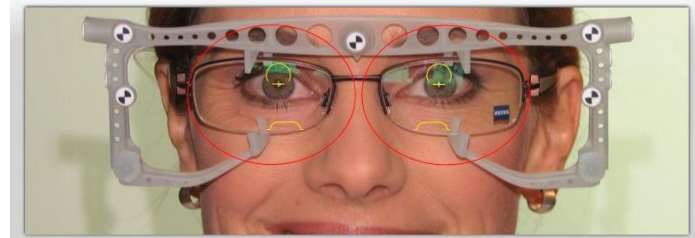
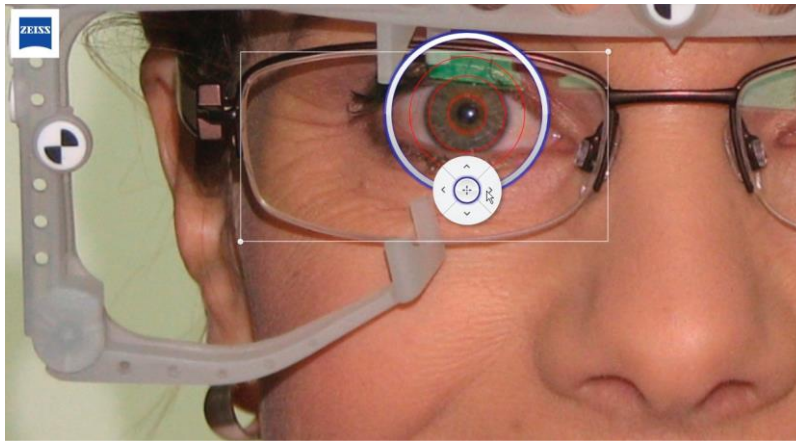
Důležité části:

- opěrka nosu
- fixační značka
- optické prvky uvnitř – kolimátor, klíny, zrcadla
- ryska pro nastavení polohy středu zornice
- stupnice nebo displej
- zaclonění P a L oka
- ovládací prvky

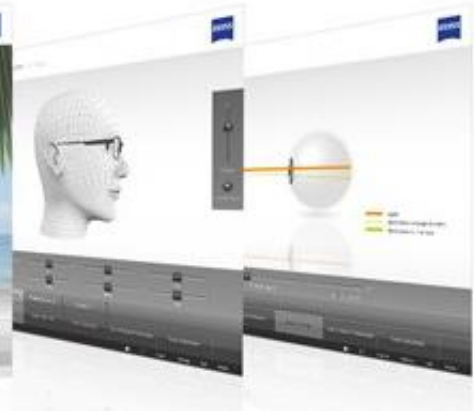


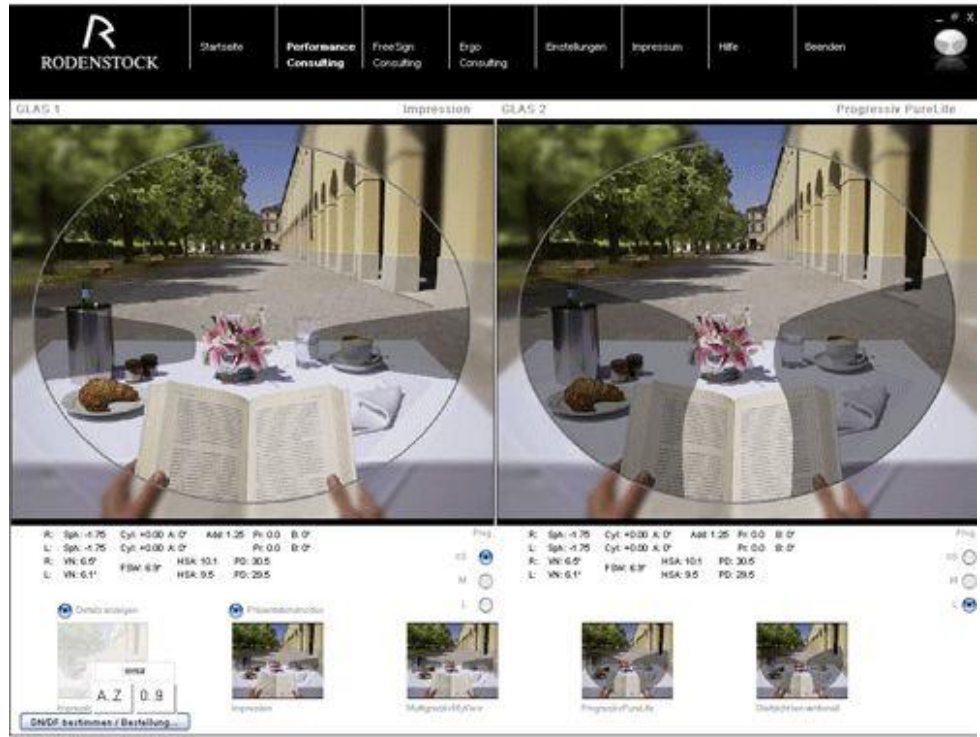
Centrovací systémy a věže





Augenpaar		Fassung		Brillenglas	
Gesamt PD	59,6 mm	HSA	14,9 mm	Rohglasstyp	Elliptisch
	R L	Vorneigung	16,5 °	Rohglasdurchmesser	60E
PD	29,2 mm 30,4 mm	FSW	9,9 °	Glasstyp	Gletschglas - Individuelles
x	20,8 mm 21,8 mm	Bowlänge	51,7 mm	FrameFit	3,0
y	18,2 mm 18,5 mm	Boxhöhe	27,9 mm	Nahsehbefernwinkel	
Seg. Höhe		AzG	17,4 mm		



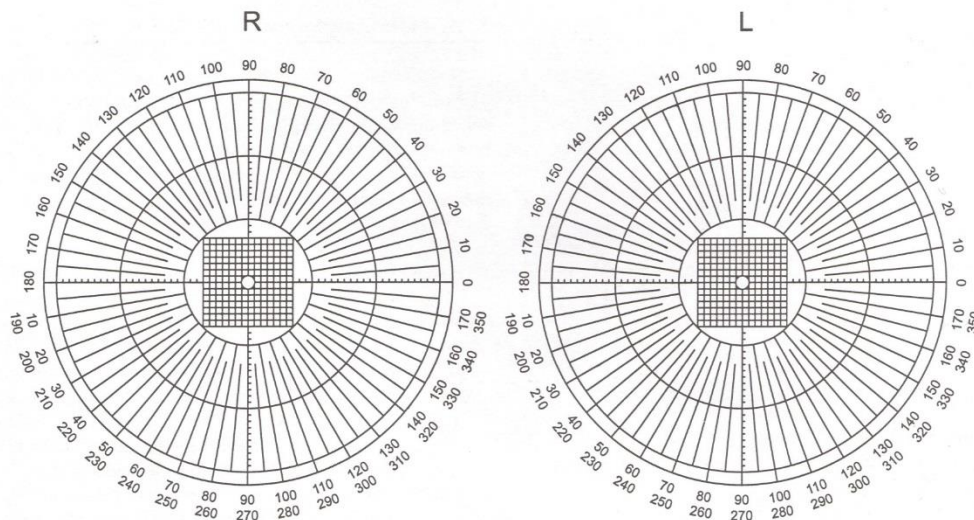


TABO Technischer Ausschuß für Brillenoptik

TABO: pro měření úhlů brýlových čoček je stanovena pravolevá orientace – proti směru otáčení hodinových ručiček

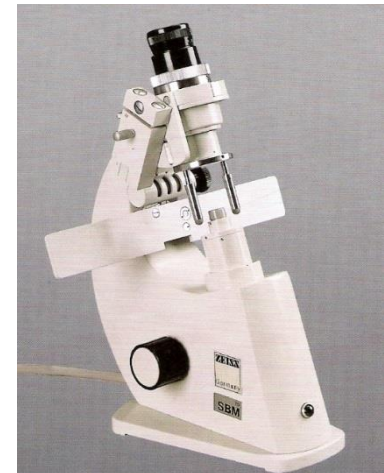
TABO schéma je součástí fokometru, dále pomůcka pro zábrus

- osy cylindru 0° - 180°
- směr orientace báze u prizmatických čoček 0° - 360°



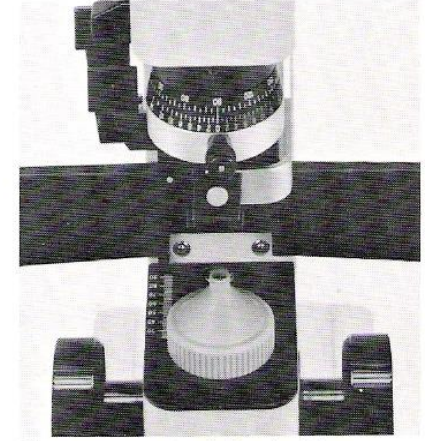
FOKOMETR

- k měření **vrcholové lámavosti brýlových čoček** – jednoohniskových, víceohniskových (sférických, tórických, prizmatických)
- hodnoty jsou udávány na stupnici přímo v dioptriích
- jedná se o **základní přístroj** provozu oční optiky, optometrie, ortoptiky a oftalmologické ambulance





Prism Compensator



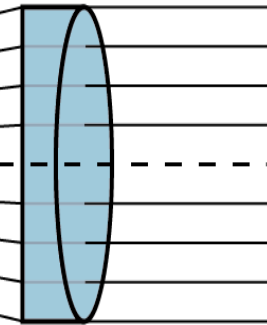
Measurement of Contact Lens

předmětová
ohnisková rovina



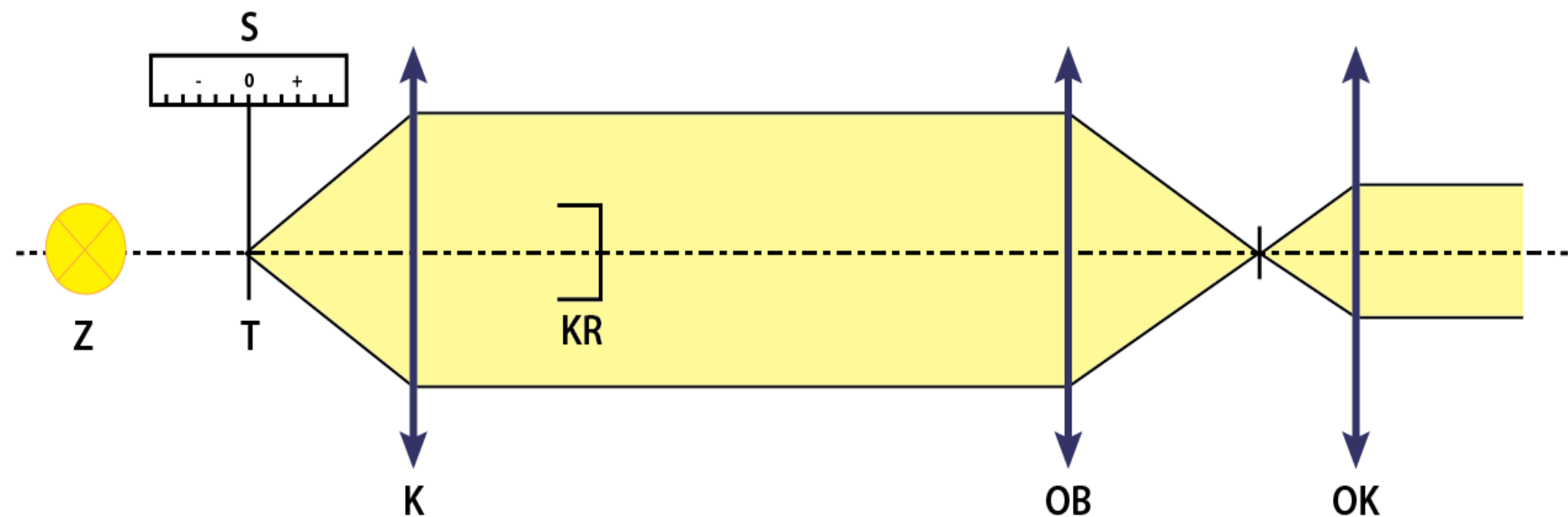
testová značka

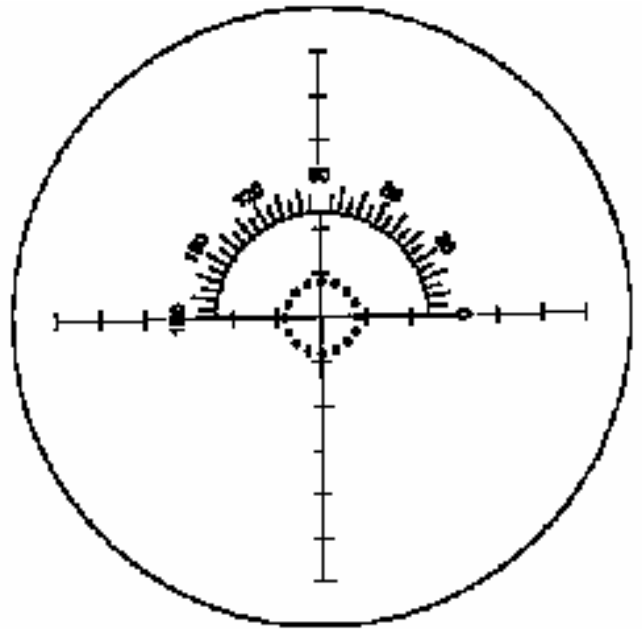
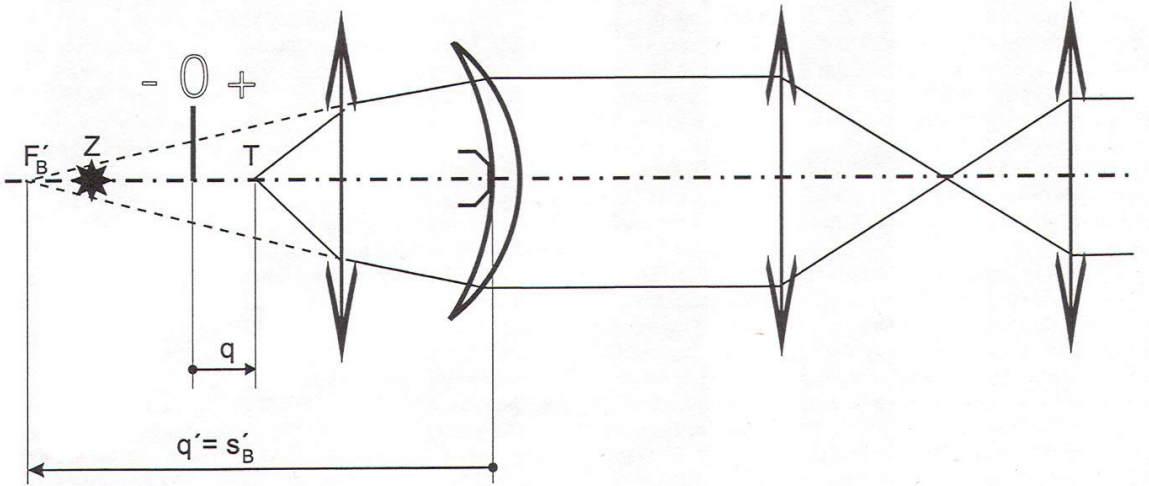
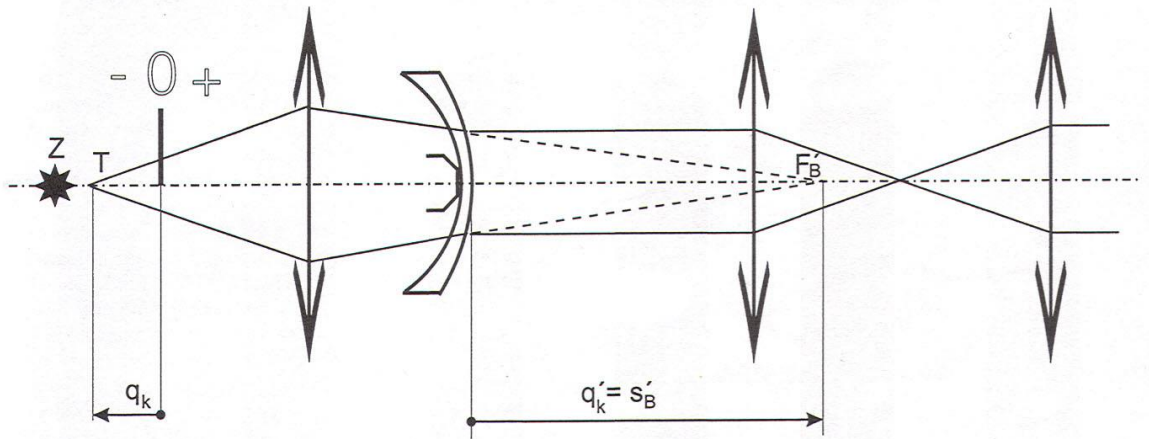
kolimátor

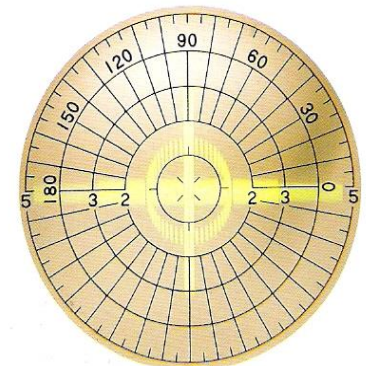
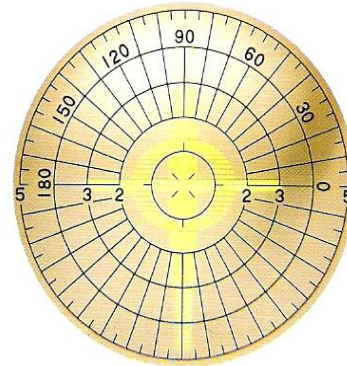
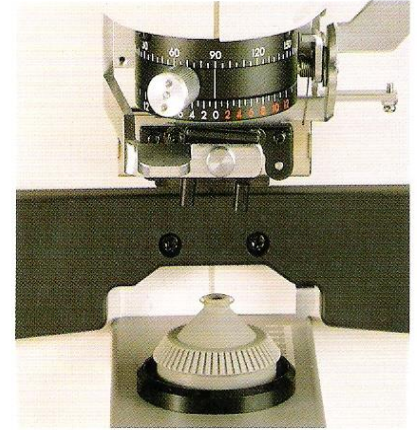
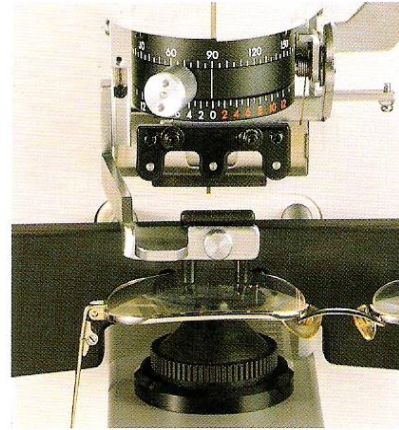


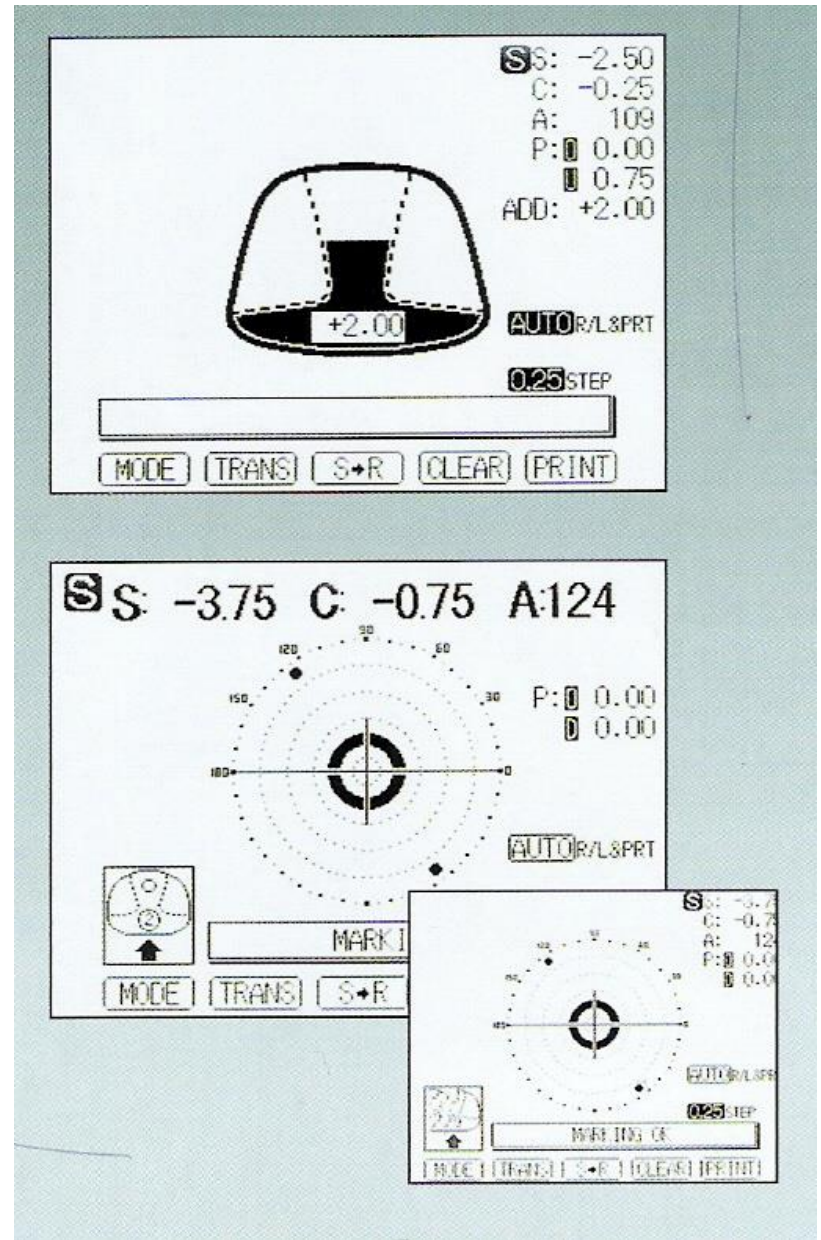
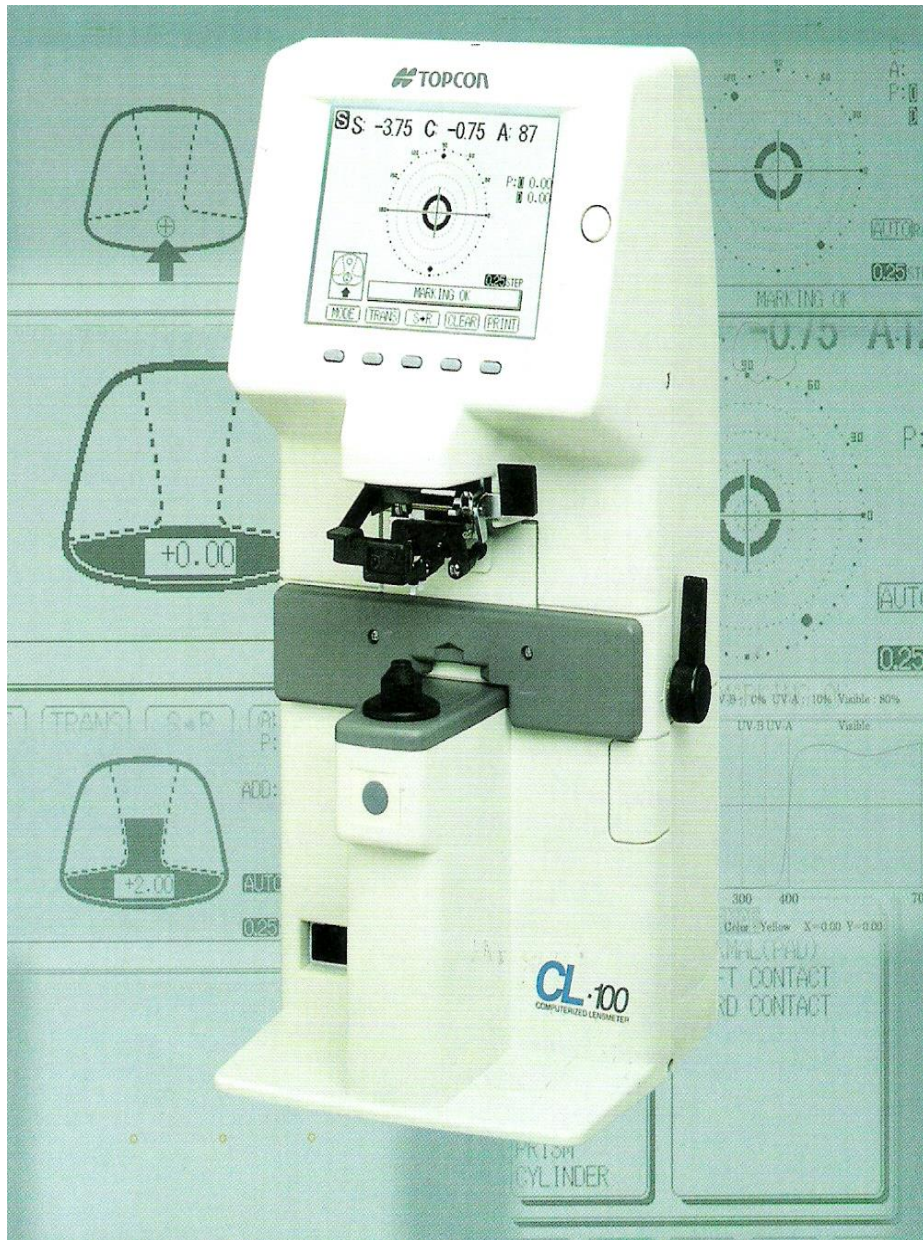
rovnoběžné paprsky
promítané
do nekonečna

Optické schéma fokometru (bez měřené čočky)









Další možnosti provedení automatických fokometrů



Výklopný barevný displej →

Značkovací zařízení

Prostor pro vkládanou měřenou
čočku nebo brýle



VYŠETŘOVACÍ LAMPY

- primární **světelný zdroj** při fokálním vyšetření oka a okolí očnice, k provádění skiaskopie
- **kloubová lampa**



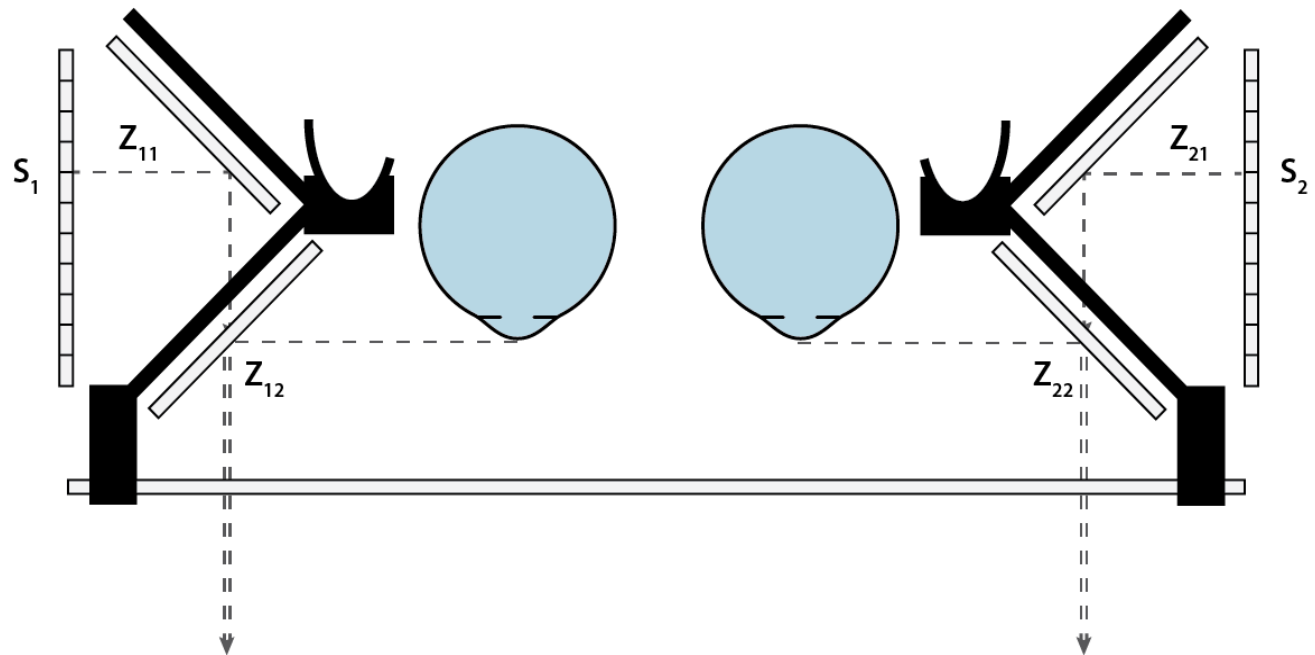
WESSELYHO KERATOMETR

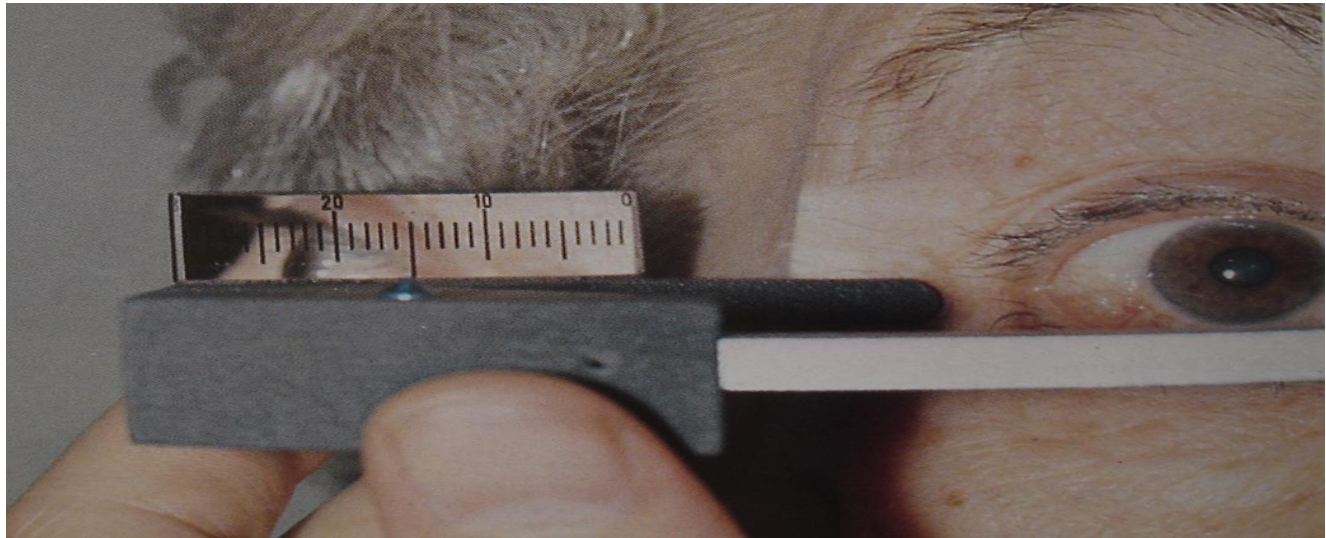
- změření **velikosti průměru rohovky** pro následný výběr a aplikaci kontaktních čoček



HERTELŮV EXOFTALMOMETR

- Posouzení stavu **protruze** očních bulbů
- zrcadla se sklonem 45°
- milimetrová stupnice k odečítání vzdálenosti vrcholů rohovek





OPTOKINETICKÝ BUBEN

- k **průkaznosti slepoty** nebo případné ne/funkčnosti zrakové dráhy
- jeho pozorování a následná rotace vyvolá optokinetický **nystagmus**
- využití při provádění simulačních zkoušek



SIGNÁLNÍ SVĚTLA

- testování rozlišení základních barev po desaturaci bílým světlem
- semaforey, testová světla na LCD optotypech

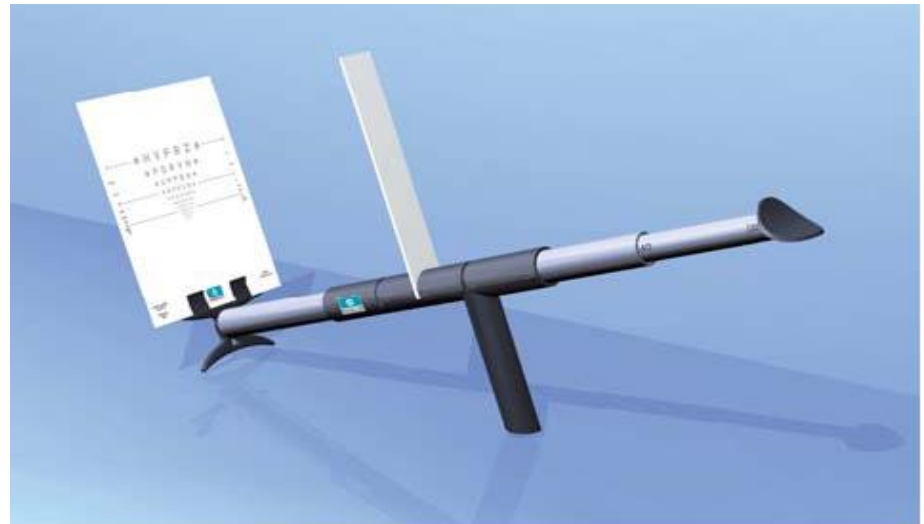
AKOMODAČNÍ PRAVÍTKO

- měřit schopnost akomodace a míru konvergence
- tyč se stupnicí v centimetrech a držák pro vkládání testů
- pro nácvik akomodačně-konvergenčních procesů



PROXIMETR

- měření a schopnosti zrakových funkcí do blízka
- lze ověřit správnost stanovené korekce do blízka
- zjistit rozsah akomodace na různé vzdálenosti
- zhodnotit binokulární vyvážení korekce



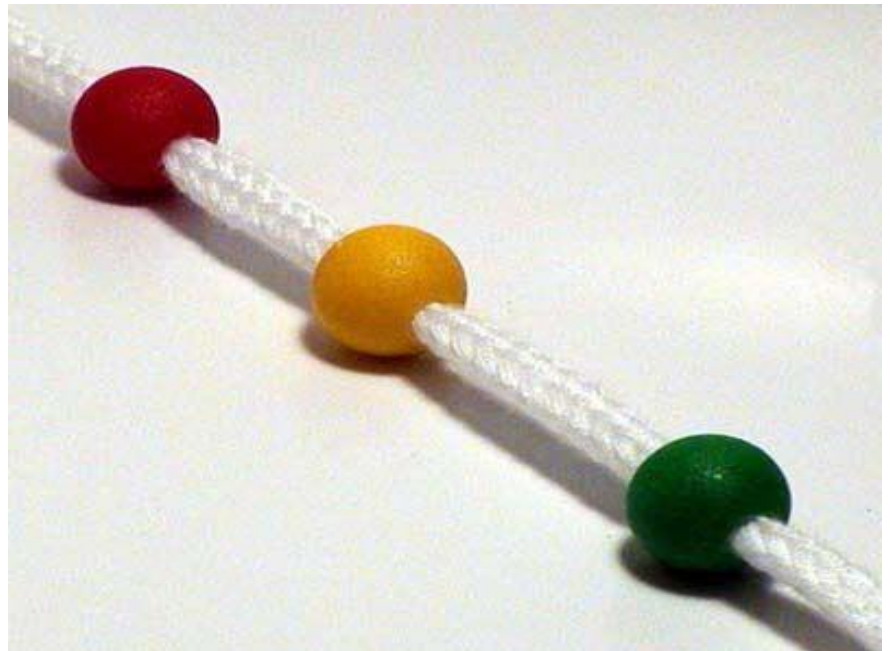
STEREOTESTY

- vyšetření prostorového vidění
- obsahují sady znaků, které jsou polarizované
- dálka (LCD optotypy), na blízko



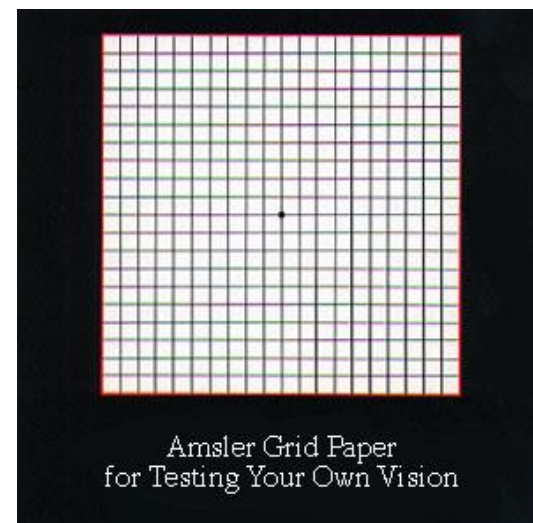
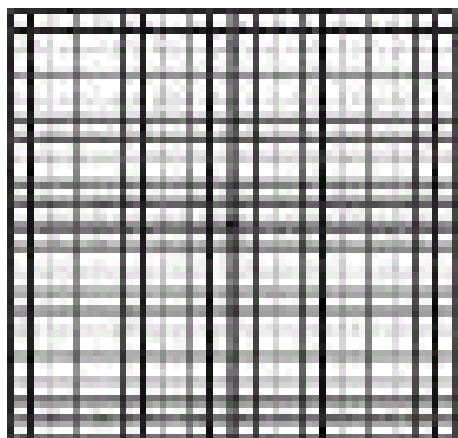
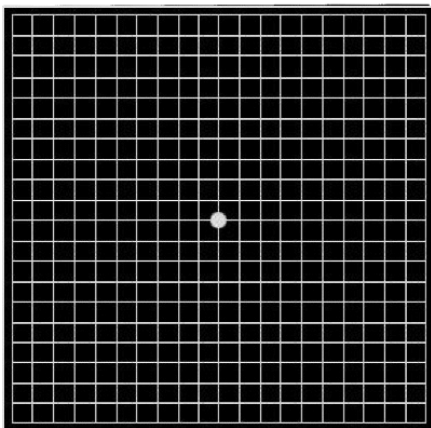
BROCKOVA ŠŇŮRA

- posuzování **akomodačně-konvergenčních** vlastností zrakového aparátu
- trénovat jak akomodaci, konvergenci
- zrakový trénink

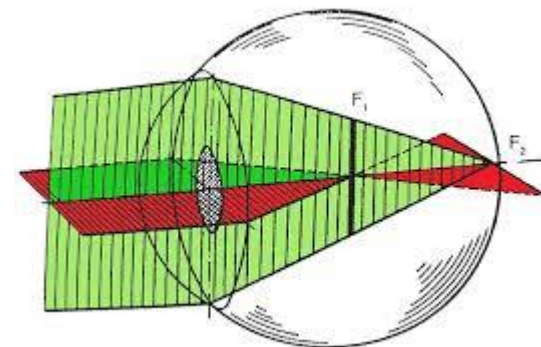


AMSLEROVA MŘÍŽKA

- hodnocení možných změn v zorném poli v oblasti do 10°
- dobré osvětlení vyšetřovací místnosti
- u presbyopů brýle na čtení
- pro každé oko zvlášť



Keratometrie



- metoda zabývající se měřením poloměru křivosti zrcadlí se přední plochy rohovky
- poloměr křivosti je udáván na stupnici v **milimetrech a dioptriích**
- je možno určit velikost a orientaci hlavních řezů rohovkového astigmatismu, ty mají zásadní vliv na refrakční stav oka
- přístroj – keratometr má praktický význam při aplikaci kontaktních čoček, při diagnostice keratokonu

- Měření se provádí ve dvou na sebe kolmých řezech
- Podle hodnot poloměrů křivosti přední plochy rohovky se stanoví parametry, např. vhodný typ k.č.
- Základem každého manuálního keratometru je dalekohledový systém tvořený spojným objektivem a okulárem
- Dále jsou přítomny testové značky, které jsou u každého typu přístroje odlišné

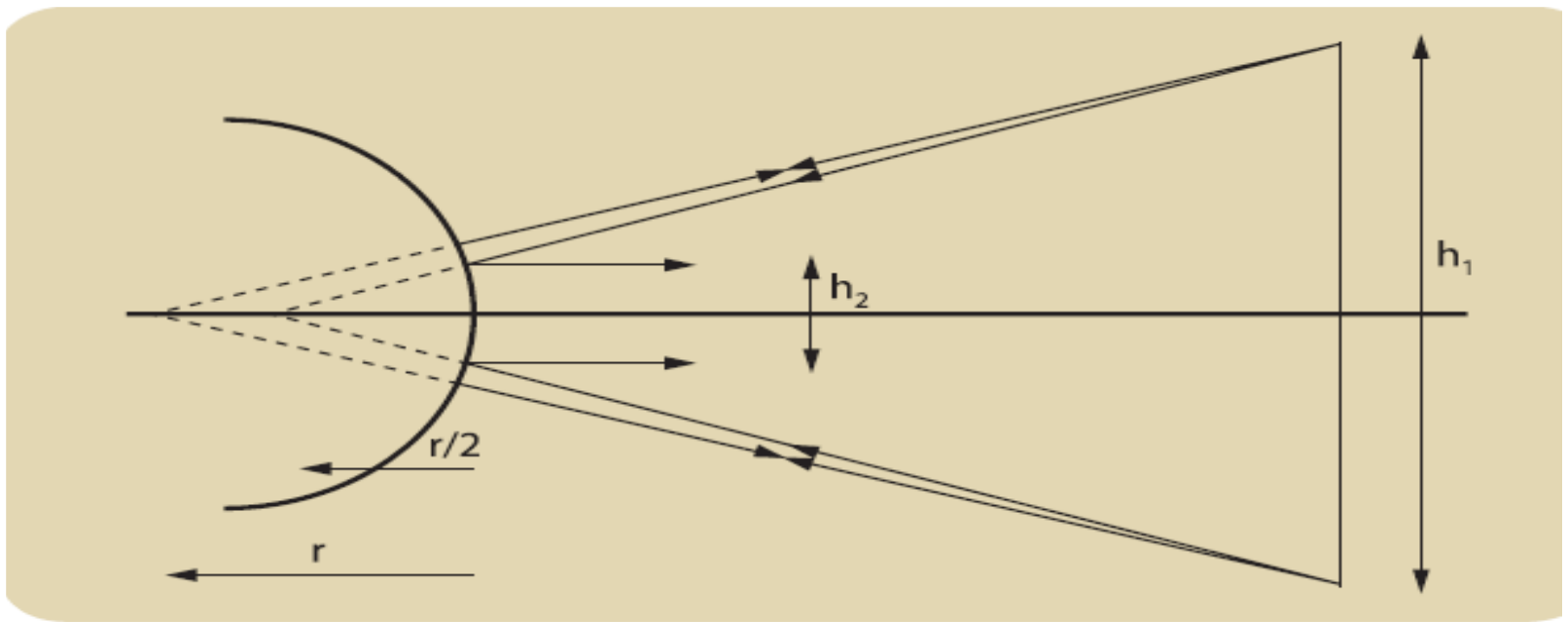
- Pomocí tzv. klasických keratometrů mohou být měřeny **POUZE** poloměry křivosti přední plochy rohovky v její centrální optické zóně
- Podle druhu přístroje má měřená zóna průměr od 2,0 do 4,0 mm
- Existují i specifické keratometry, se kterými lze změřit i **okrajové oploštění rohovky** (topogometrie)



Optický princip keratometrů



- přední plochu rohovky lze popsat obdobně jako kulové vypuklé zrcadlo, poloměr křivosti r zjišťovat pomocí poměrně jednoduchých metod
- předměťová ohnisková vzdálenost je značena x , vzhledem ke znaménkové konvenci má zápornou hodnotu
- $y'/y = -x'/x$ z toho: $x' = -y'x / y$ (platí-li $n' = -n$)



OBRÁZEK 1 Optický princip keratometrie: h_1 = vzdálenost mezi odraženými obrazy; h_2 = výška obrazu (změřeno za použití optického zdvojení); r = poloměr rohovky

- Po dosazení do Gaussovy zobrazovací rovnice

$$n' / x' - n/x = n' - n / r$$

- Získáme zobrazovací rovnici pro zrcadla:

$$1/x' + 1/x = 2/r \quad \text{poté} \quad r = 2xx' / x+x'$$

- Substitucí x' z rovnice pro příčné zvětšení
- Pro příčné zvětšení platí vztah:

$$m = y'/y$$

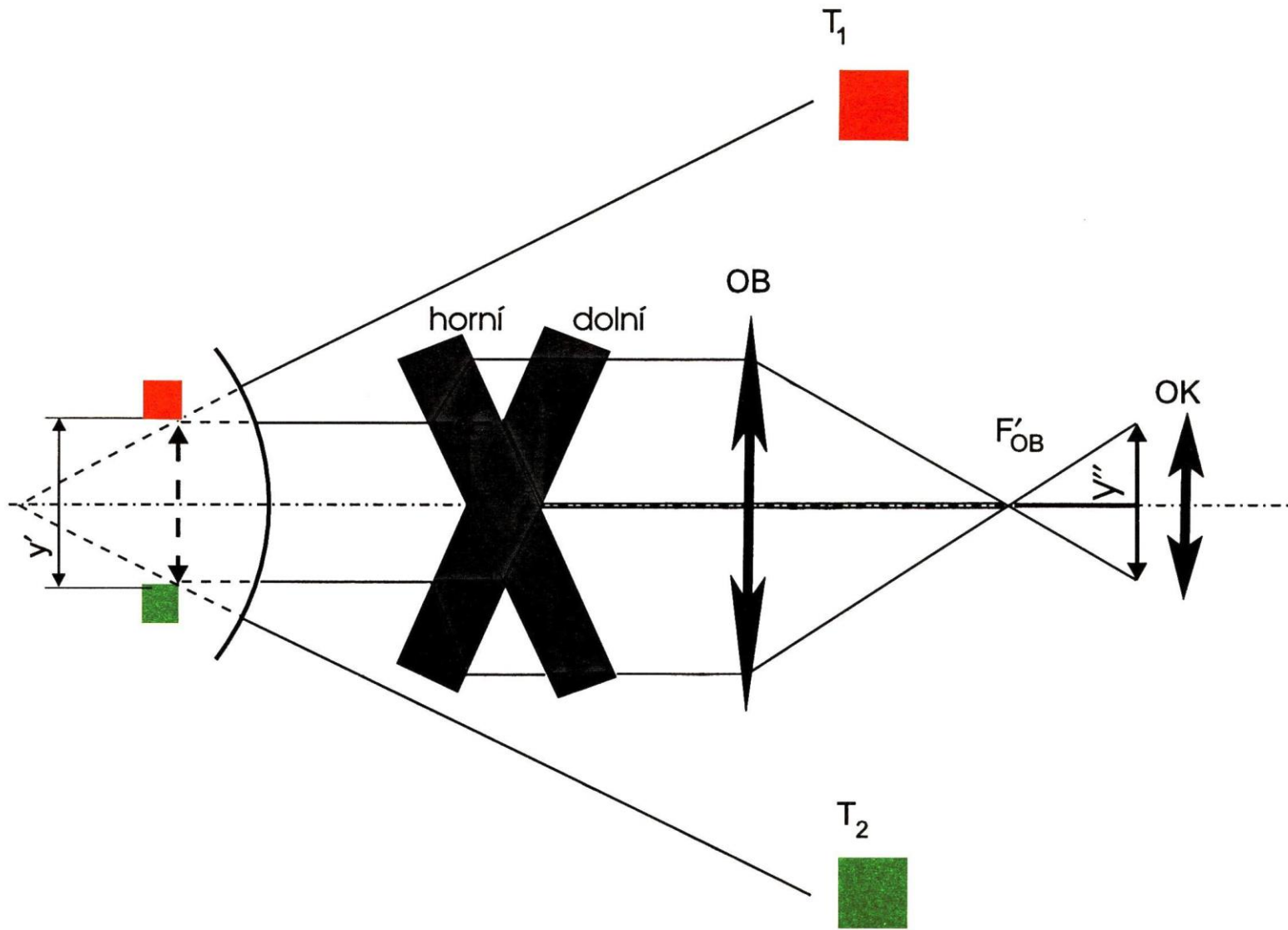
- ... keratometrická rovnice $r = 2x y'/y - y'$

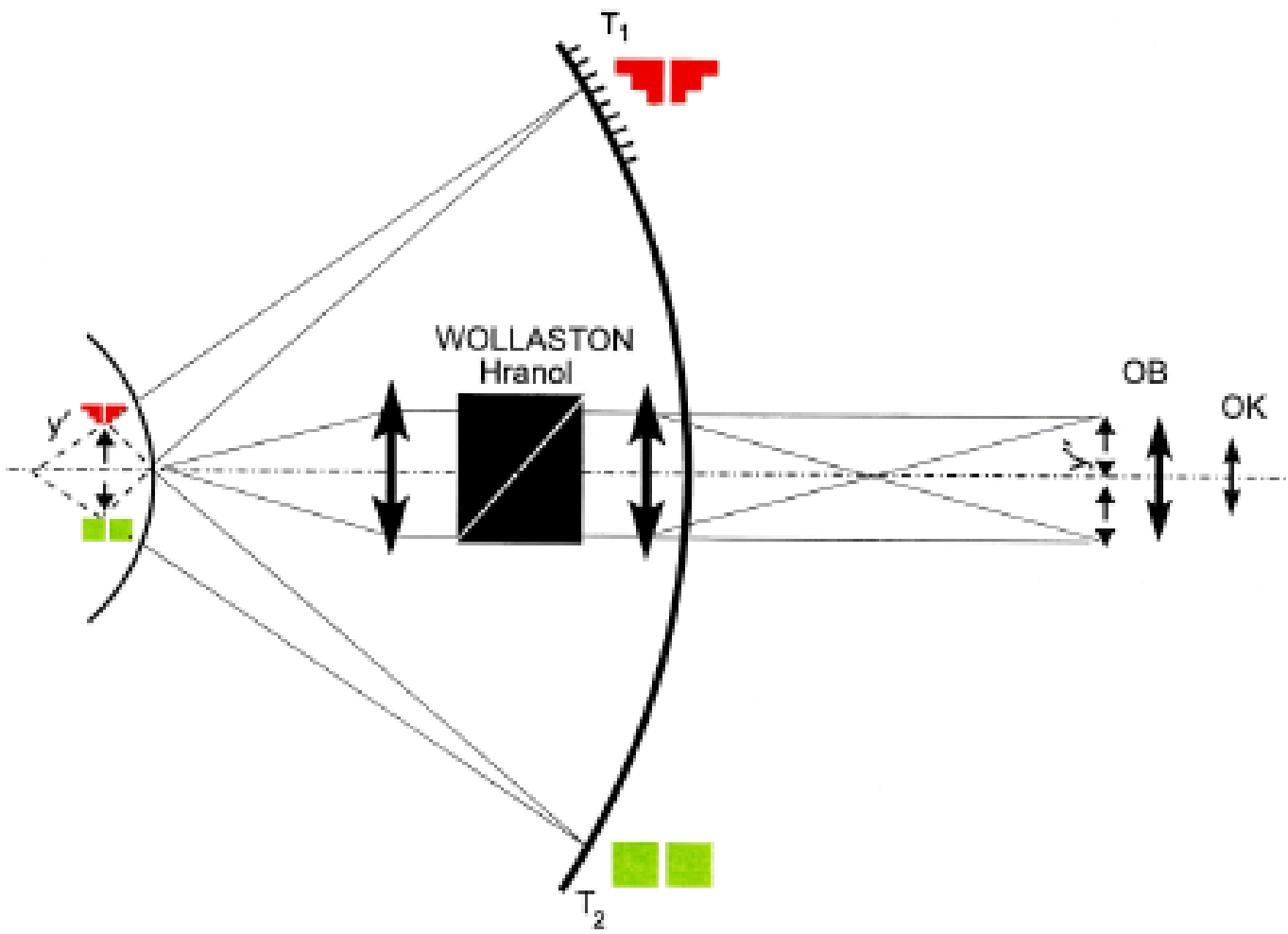
- (Ohnisková vzdálenost f' od apexu rohovky k jejímu ohnisku je rovna polovině poloměru křivosti r ($f' = r/2$))
- Z podobnosti trojúhelníků lze odvodit vztah:

$$y'/y = r/2x$$

- Obrazy testových značek na povrchu rohovky jsou zvětšeny a pozorovány **dalekohledným systémem**
- Protože pozorování živých očí a tudíž i obrazů testových značek není stacionární a klidové, musí být keratometry vybaveny zdvojující soustavou, nejčastěji optickým klínem-prizmatem
- Princip optického dvojení se u jednotlivých výrobců liší







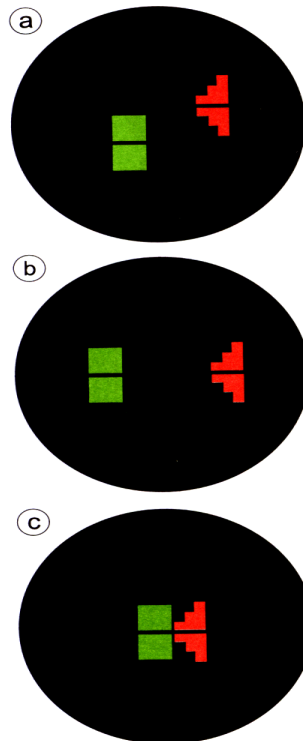
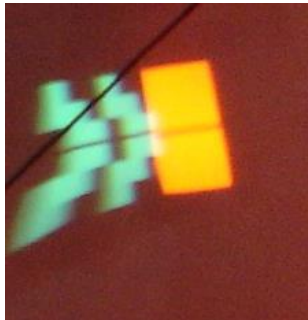
- Keratometry, kromě měření poloměrů křivosti přední plochy rohovky, jsou kalibrovány také pro zjištění optické mohutnosti přední plochy rohovky
- Přístroje vychází ze skutečného indexu lomu rohovky (1,376), avšak v praxi se využívá nominálně nižší index lomu
- Většina přístrojů pracuje s indexem lomu 1,3375; Zeiss používá 1,332 a AOC (American Optical Company) využívá index lomu 1,336
- Vztah, který platí pro kalibraci mezi optickou mohutností (φ' [D]), poloměrem křivosti (r [m]) a indexem lomu n je dán vztahem: **$\varphi' = n-1/r$**

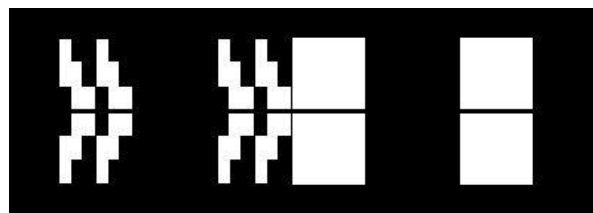
- Z přepočtu pak vychází, že **velikost rozdílu** v poloměru křivosti mezi nejstrmějším a nejplošším meridiánem rohovky o **0,2 mm**, odpovídá velikosti rohovkového astigmatismu **1,0 D**
- Při každém stanovení korekce je proto důležité přihlížet k hodnotám **rohovkového astigmatismu**

Mechanické keratometry

- **Helmholzův keratometr** – byl prvním keratometrem
- pomocí tohoto laboratorního přístroje se na rohovce pozorovaly pomocí dalekohledu zrcadlové obrazy dvou petrolejových lamp
- jako zdvojující soustavu využívala firma Rodenstock planparalelní destičky

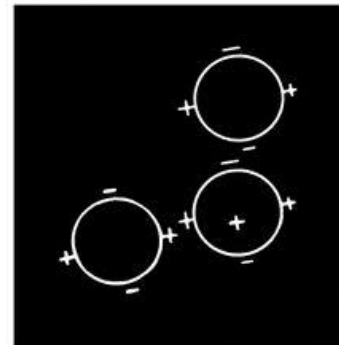
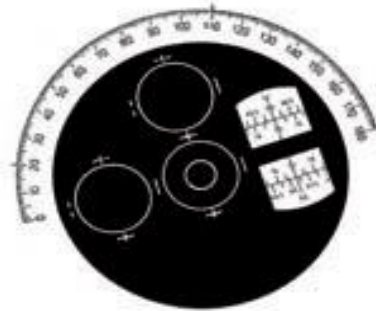
- **Javal – Schiötzův keratometr** (Haag-Streit, Sbisa), má posuvné testové značky v podobě děleného obdélníka a stupňovité pyramidy na otáčivém rameni
- Zdvojení paprskového svazku je způsobeno Wollastonovým hranolem





- **Krahnův keratometr** – má stejné testové značky jako Javal – Schiötzův keratometr, jsou však pevně umístěny po stranách přístroje, používá Wilmsovu zdvojující soustavu.
- **Hartingerův keratometr** (Zeiss) – používá pevné značky, zdvojení a posunutí značek se uskutečňuje pomocí dvou diasporametrů mezi čočkami objektivu.

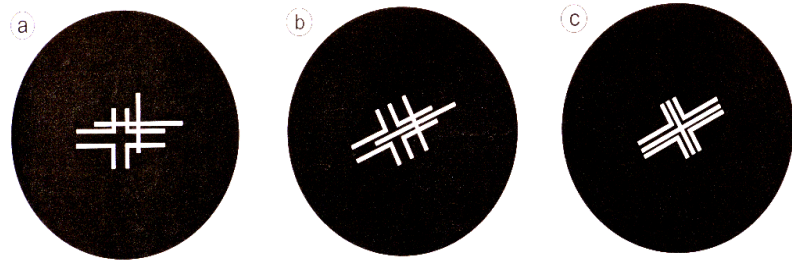
- **Sutcliffeův keratometr** (Bausch and Lomb) – oba hlavní řezy lze odečíst při jednom nastavení přístroje
- Testová značka se sestává ze tří kružnic se značkami + a –
- Při měření musí být ve vzájemné koincidenci
- Zdvojující soustavu tvoří čtyři prizmatické clony umístěné před dvěma pozorovacími objektivy.





Zkreslení odraženého obrazu,
ukazující na zprohýbání rohovky
v důsledku nošení kontaktních čoček

- **Littmannův keratometr** (Zeiss) – má jako testové značky dutý a pevný kříž
- V současnosti je považován za nejpřesnější
- Paprsky jsou děleny pomocí hranolových systémů
- Zdvojení značek umožní rozptylné čočky, které je možno decentrovat mezi hranolovými soustavami



Automatické keratometry

- **Autokeratometry**, ať již jako samostatné přístroje nebo ve spojení např.: s autorefraktometrem, tonometrem a pachymetrem i jako čtyřkombinace, případně aberometrem
- dávají rychle přesné hodnoty maximálního a minimálního řezu v centrální části rohovky.



- Současná **autokeratometrie** jako metoda využívá počítač k provedení centrace a měření poloměru křivosti rohovky, přičemž princip je obdobný jako u klasické keratometrie
- Využívá se rovněž přirozeného **odrazu na povrchu rohovky**, osvětlení musí splňovat bezpečnostní limity
- Každý přístroj zohledňuje to, že měřený objekt je neustále v pohybu

- Měření se sestává z několika kroků a jako první je, díky změně roviny polarizovaného světla, promítána testová značka na rohovku
- Jde o oblast vlnové délky blízko infračervené laserové diodě (830 nm)
- Dále se porovnává testová značka s odraženým obrazem





- Tím, že k odrazu dochází nejen na přední ploše rohovky, je nutné eliminovat ostatní odrazy od zadní plochy rohovky a čočky
- Jako detektor záření se využívá CCD kamera, poté následuje převedení informace do digitální podoby
- Počítač vyhodnotí odchylky poloměru křivosti vůči referenční rovině
- Přístroje bývají vybaveny displejem nebo monitorem

- Koincidence značek přestává hodnotit lidské oko, čímž se zvyšuje přesnost a objektivnost měření
- Odpadá nutnost hledání hlavních řezů a krátí se vyšetřovací čas



Ovládání + tisk



Výklopný displej



Z pohledu pacienta

Ruční keratometry



KRT. DATA			
<R>	D	MM	A
H	43.25	7.79	178
V	44.00	7.86	86
AVE	43.75	7.73	
	CYL:	-0.75	178
	MM1	MM2	AT
■1■	7.79	7.68	178
AVE	43.75	7.74	
	CYL:	-0.75	178
■2■	7.76	7.65	176
AVE	43.75	7.72	
	CYL:	-1.00	176
■3■	7.78	7.68	178
AVE	43.75	7.73	
	CYL:	-0.75	176
<L>	D	MM	A
H	44.00	7.68	7
U	45.00	7.50	97
AVE	44.50	7.59	
	CYL:	-1.00	7
	MM1	MM2	AT
■1■	7.69	7.50	8
AVE	44.50	7.60	
	CYL:	-1.00	8
■2■	7.88	7.50	7
AVE	44.50	7.59	
	CYL:	-1.00	7
■3■	7.68	7.49	7
AVE	44.50	7.59	
	CYL:	-1.00	7