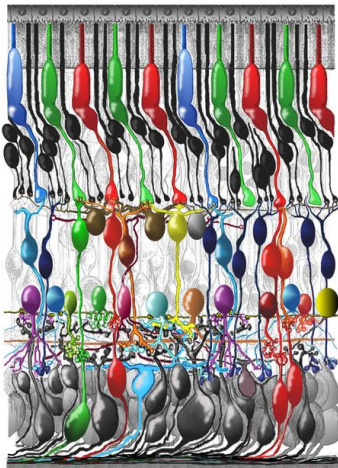
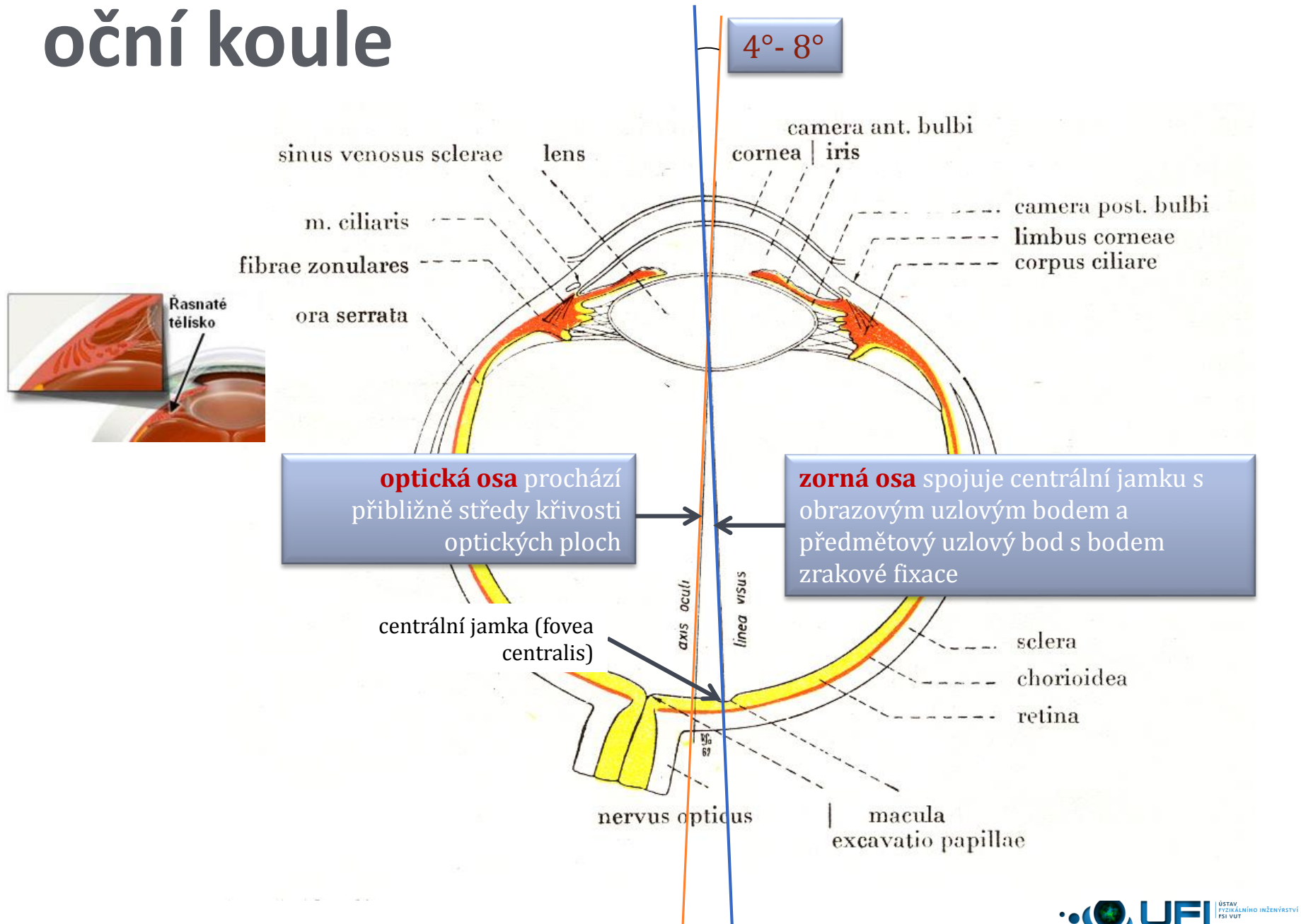


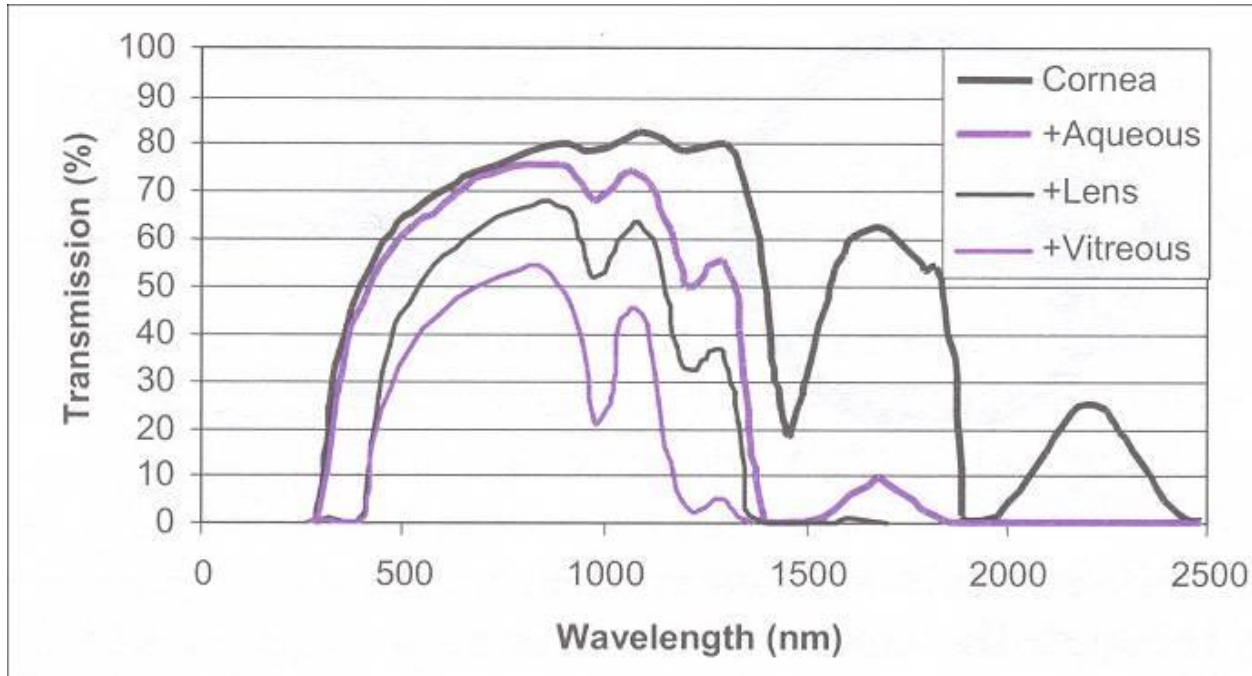
zraková ostrost, vizus



oční koule



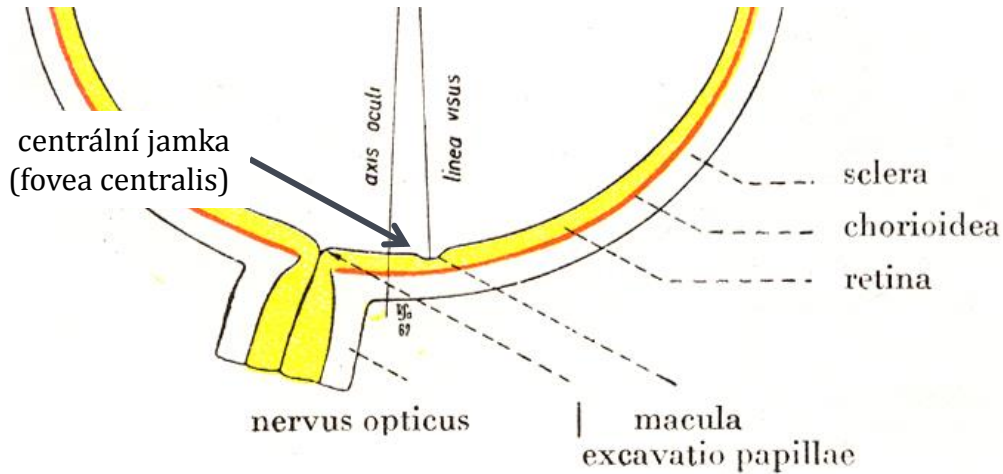
spektrální propustnost oka



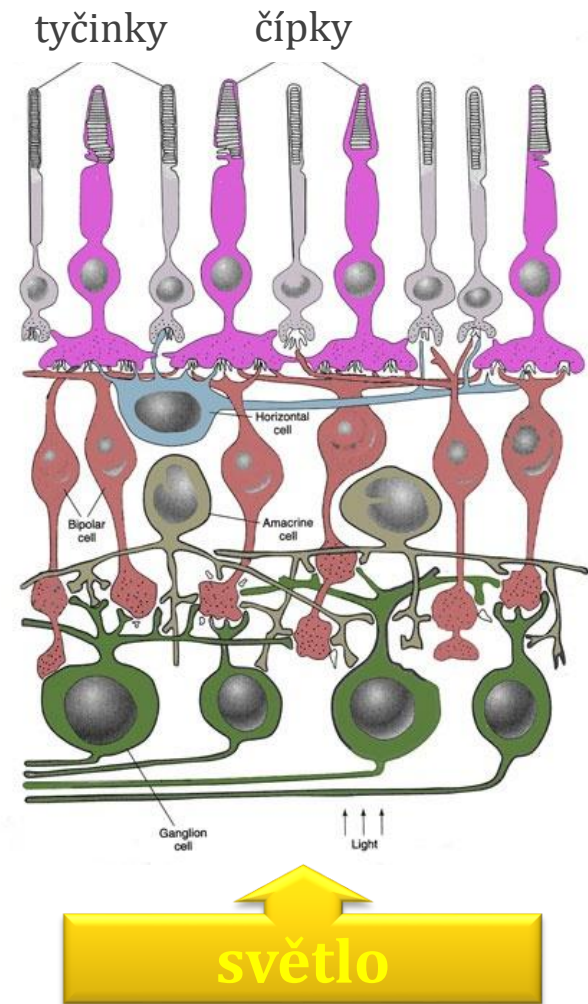
**kumulativní spektrální propustnosti
jednotlivých optických vrstev oka**

(J. Schwiegerling: Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics, SPIE Press, Bellingham 2004)

sítnice



- opticky aktivní část leží na cévnatce
- světlo prochází několika vrstvami buněk k **fotoreceptorům** (tyčinky, čípky)
- zde je světlo absorbováno a signál prochází **bipolárními buňkami** k sítnicovým **gangliovým buňkám**
- odtud jde signál do mozku



fotoreceptory sítnice

fotoreceptory

- vnější vrstva s jádrem, vnitřní segment, vnější segment s fotocitlivým pigmentem

tyčinky

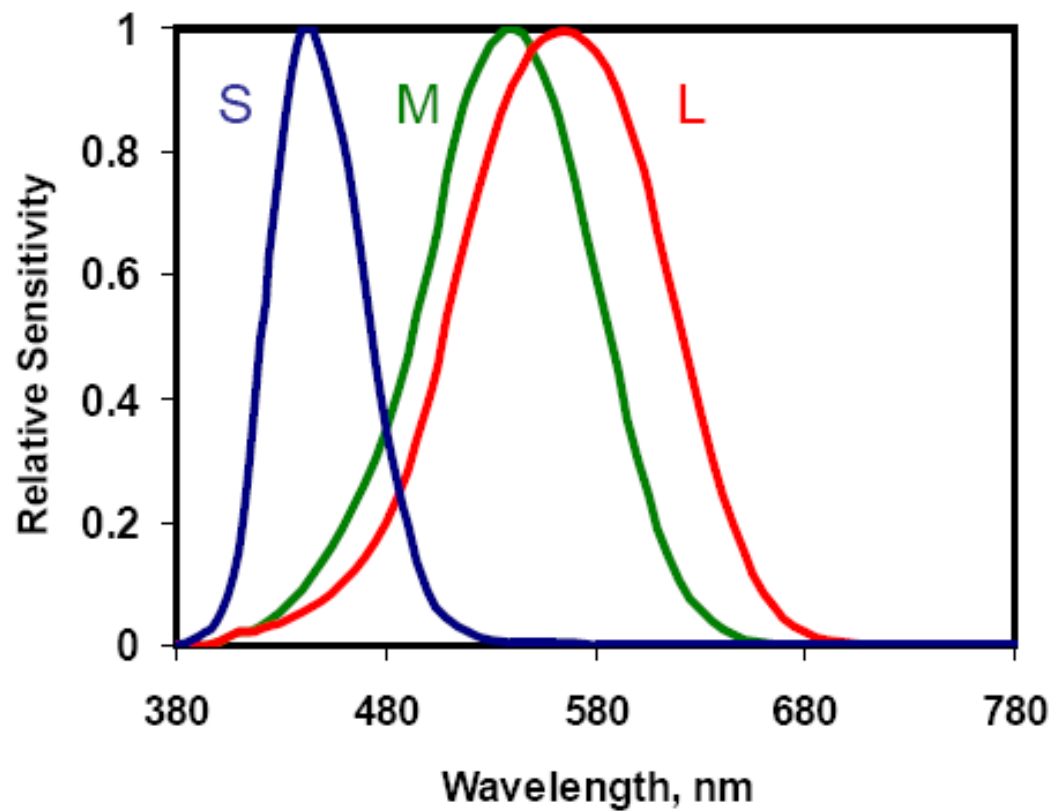
- vnější segment tvořený oddělenými disky naplněnými rhodopsinem
- noční, tzv. skotopické, monochromatické vidění
- „vysvěcují se“ v jasném světle
- rychlá časová odezva
- hlavně v okrajových částech sítnice, nejsou v centrální části (0,2 mm)
- v sítnici asi 125 milionů

čípky

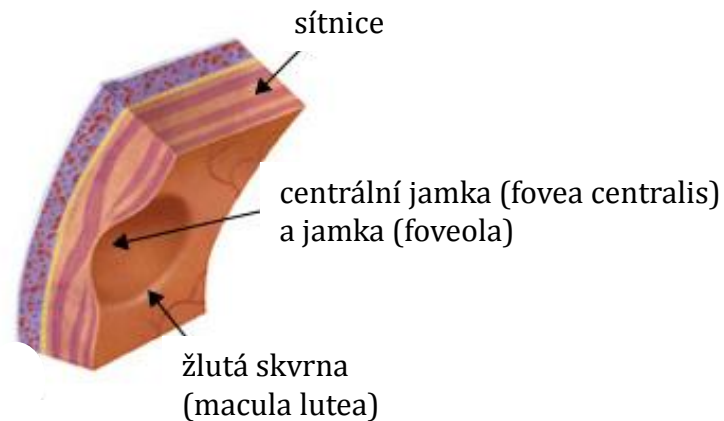
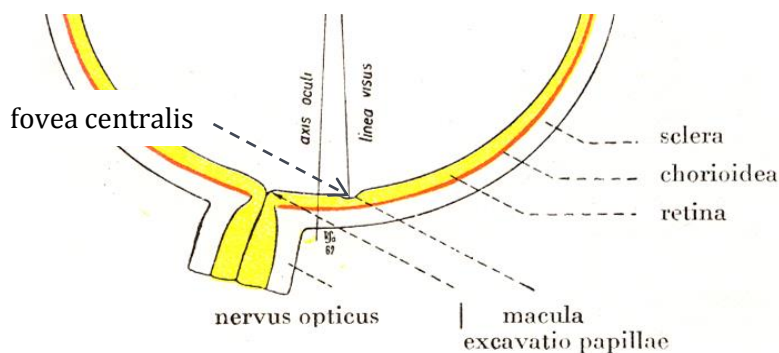
- vnější segment tvořený řasami naplněnými fotocitlivou látkou
- denní, tj. fotopické barevné vidění
- 3 skupiny (pro krátké, střední a dlouhé vlnové délky světla)
- necitlivé ve tmě, pomalá časová odezva
- většinou v centrální jamce (fovea centralis), částečně i na okraji sítnice
- v sítnici asi 6,4 milionu



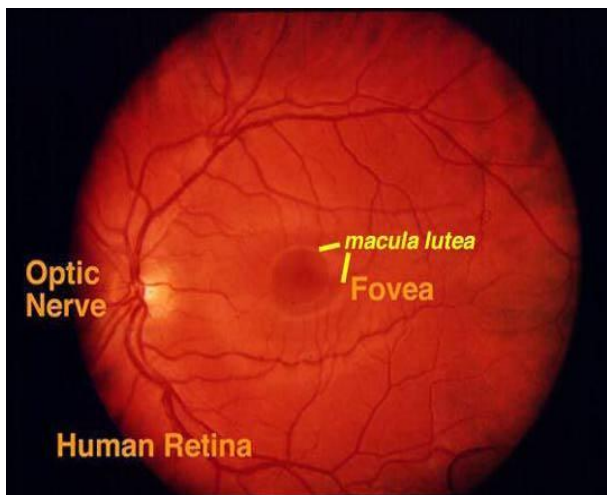
spektrální citlivost čípků



žlutá a slepá skvrna



zobrazení lidské sítnice oftalmoskopem



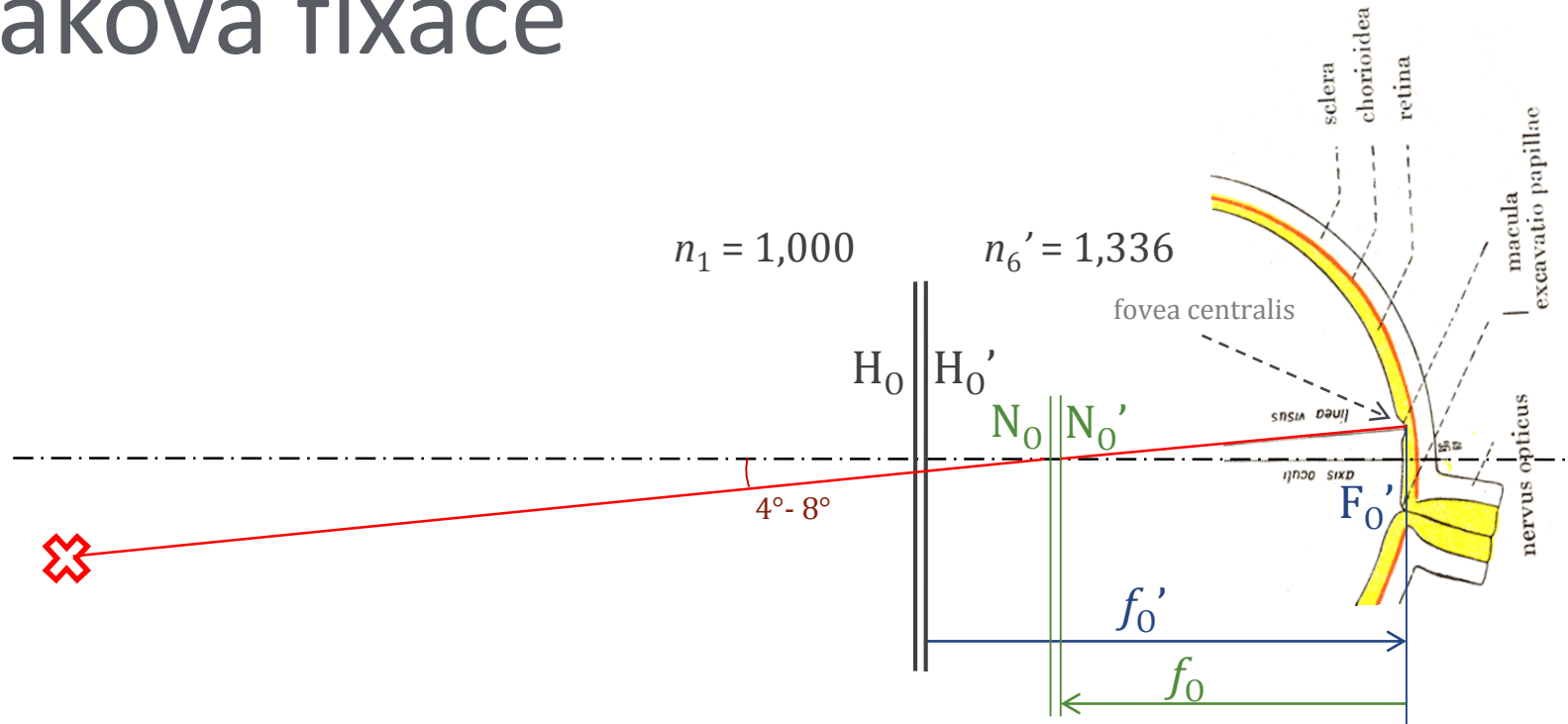
žlutá skvrna (průměr 2 - 3 mm)

- vysoká zraková ostrost: **v centrální jamce** (průměr asi 1,25 mm, bezcévná oblast) připadá **1 neuron na 1 čípek**
- **ve středu** centrální jamky (foveola, průměr asi 0,25 – 0,35 mm) **jen čípký**; jsou delší a štíhlejší, než v jiných částech sítnice
- průměr čípku **cca 2,5 μm v centrální jamce**, rychle roste až k **10 μm na okraji sítnice**
- v centrální jamce asi 30 tisíc čípků, v oblasti žluté skvrny asi 130 tisíc, (v celé sítnici asi 6,4 milionu čípků)

slepá skvrna

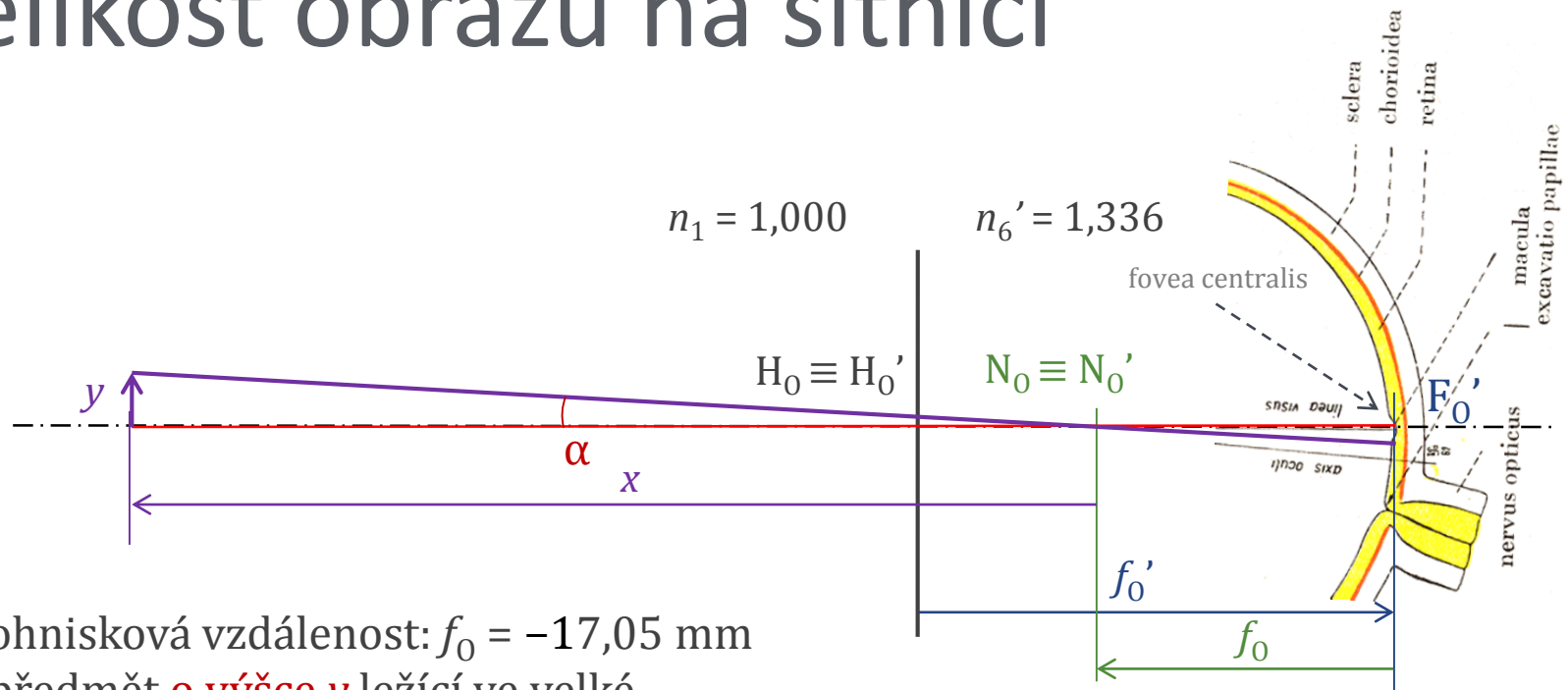
- vstup zrakového nervu, nasální strana oka
- neobsahuje fotoreceptory
- 1,5 mm x 2 mm, 5° x 7° z uzlového bodu

zraková fixace



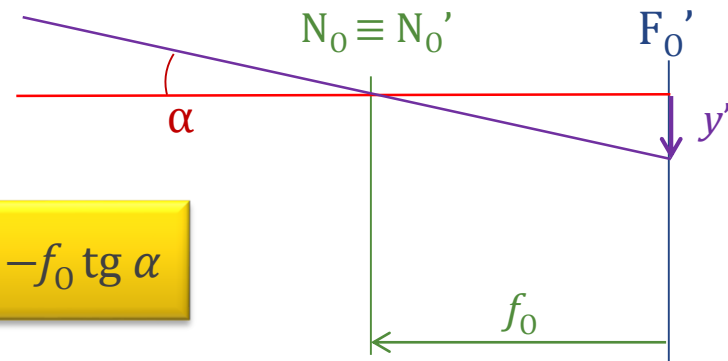
- konjugované páry hlavních rovin a uzlových bodů mají vzdálenosti 0,25 mm, proto se sjednocují do **jedné hlavní roviny** oddělující indexy lomu vzduchu a sklivce a do **jednoho hlavního bodu** (redukovaný model oka)
- ohniskové vzdálenosti: $f_0' = 22,78$ mm, $f_0 = -17,05$ mm, délka oka 24 mm
- oko se natáčí tak, aby bod zájmu (fixace) ležel **na spojnici se sdruženým uzlovým bodem a fovea centralis**

velikost obrazu na sítnici



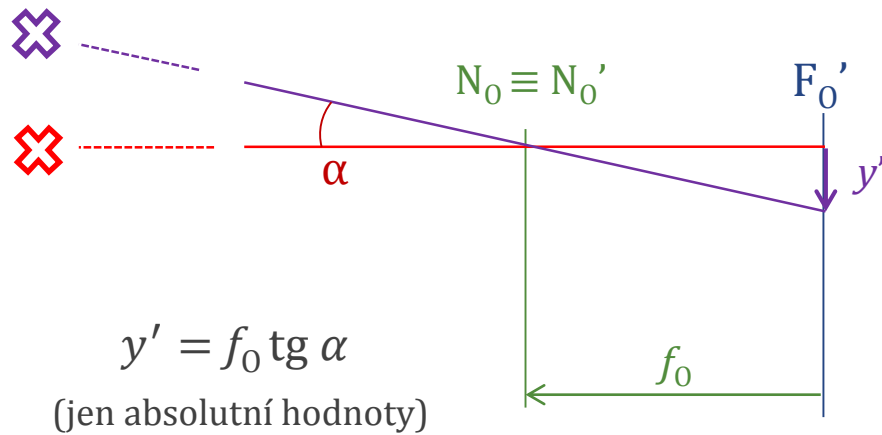
- ohnisková vzdálenost: $f_0 = -17,05$ mm
- předmět **o výšce y** ležící ve velké vzdálenosti před okem (optické ∞), se zobrazuje **pod úhlem α** na sítnici,
- obraz na sítnici má **velikost y'**

$$y' = -f_0 \frac{y}{x} = -f_0 \operatorname{tg} \alpha$$

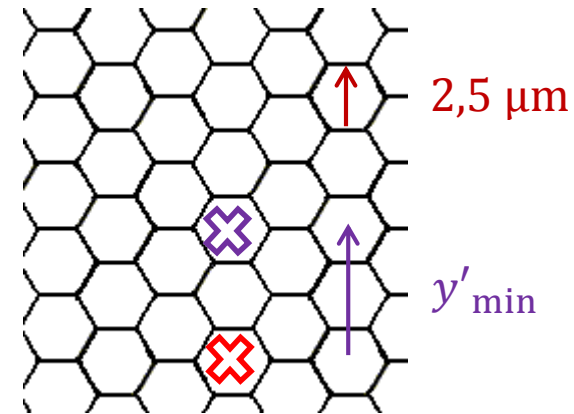


angulární (úhlová) zrková ostrost

Zrková ostrost je kvalita a stupeň schopnosti oka rozlišovat detaily předmětového prostoru (rozlišovací schopnost).



čípky ve fovea centralis:



$$\operatorname{tg} \alpha_{\min} = \frac{y'_{\min}}{f_0} = \frac{0,005 \text{ mm}}{17,05 \text{ mm}} \approx 0,00029$$

$$\alpha_{\min} \approx 0,00029 \text{ rad} = 0,9969' \approx 1'$$

Zdravé oko je schopno rozlišit 2 body o úhlové vzdálenosti *minimum separabile*:

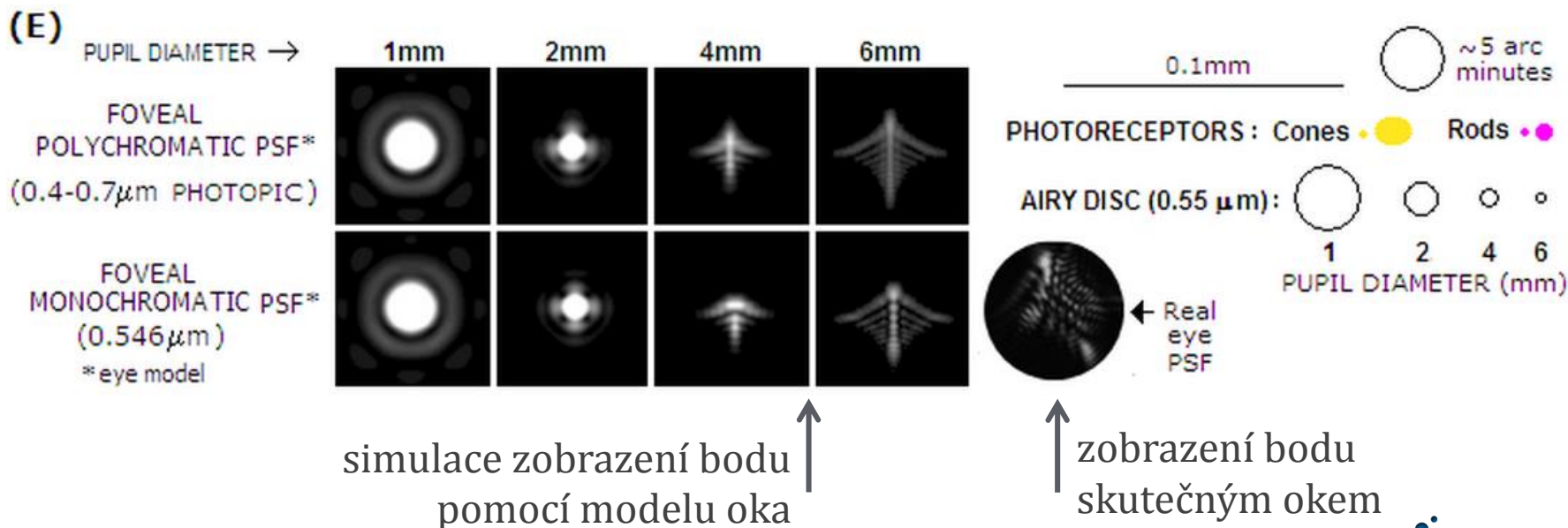
$$\alpha_{\min} \approx 0,00029 \text{ rad} = 0,9969' \approx 1'$$

zhoršení zrakové ostrosti

Minimum separabile: $\alpha_{\min} \approx 0,00029 \text{ rad} = 0,9969' \approx 1'$

Zhoršení zrakové ostrosti může být způsobeno

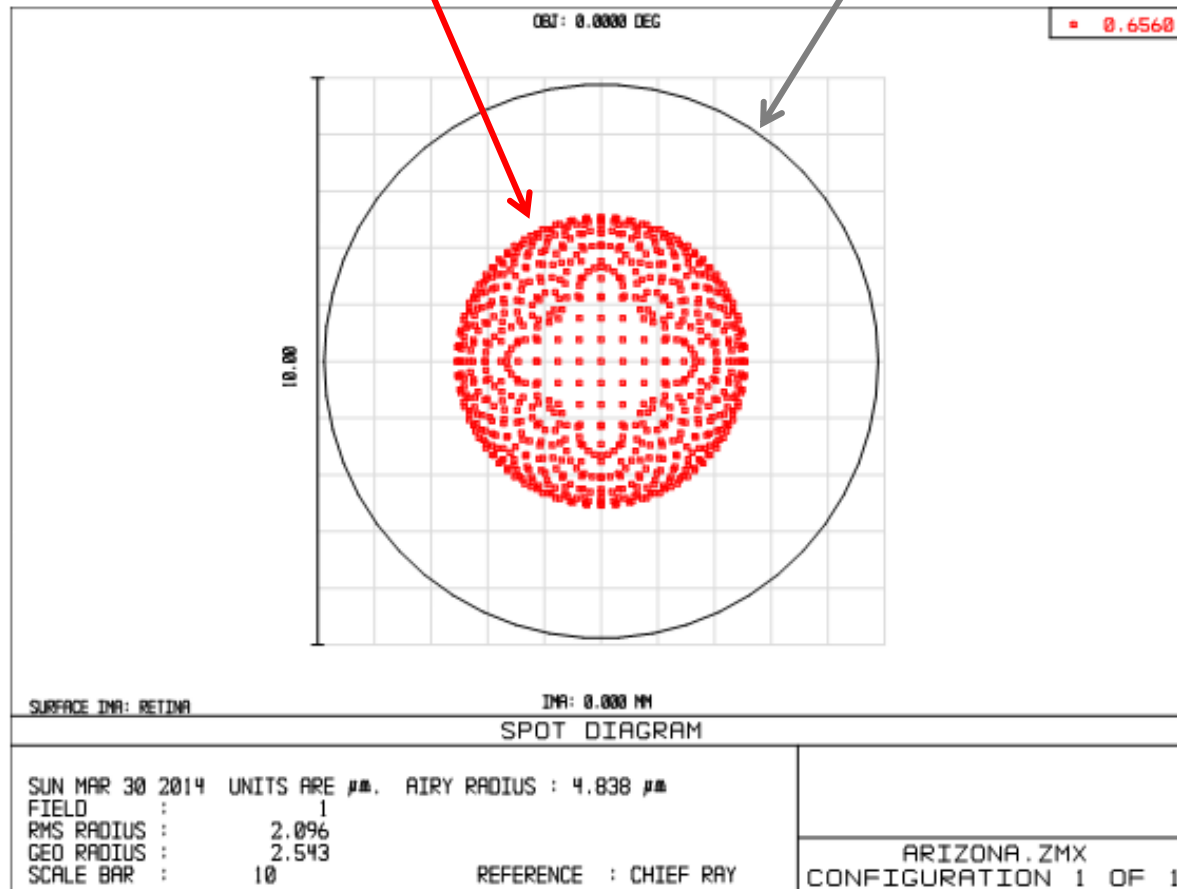
- **vadou optické soustavy oka** (např. refrakční vadou, optickými aberacemi oka),
- **difrakcí světla** (bezaberačným zobrazením bodu je tzv. Airyho disk, který je větší pro menší průměr pupily oka),
- **vadou sítnice** (retinopatie),
- **rozptylem světla** na nehomogenitách.



příklad zobrazení bodu

stopy paprsků procházejících
pupilou oka na sítnici

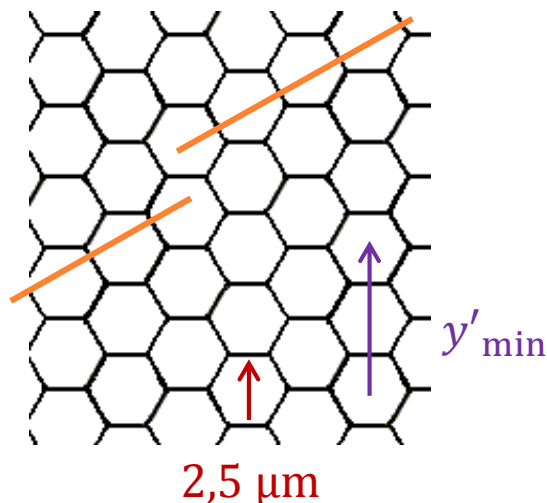
okraj Airyho disku
(vliv difrakce)



Arizonský schematický model oka, průměr zornice 2,4 mm, $\lambda = 656 \text{ nm}$, zobrazení na optické ose

koincidenční (noniusová) zrková ostrost

čípky ve fovea centralis:



Schopnost oka vyhodnotit koincidenční (návaznost) dvou přímých čar

Člověk dokáže vyhodnotit koincidenční přímých čar **6x až 10x přesněji** než při hodnocení separace bodů. Rozliší je tedy při vzdálenosti 6x až 10x menší, než dva body.

U koincidenční zrkové ostrosti se totiž na vyhodnocování spolupodílí celé sloupce čípků. Na základě společného propojení se úměrně zvyšuje přesnost a spolehlivost vyhodnocení.

měření zrakové ostrosti, optotypy



tabule užívaná před r. 1850

| | | |
|---------------------|------------------|-------------------|
| 1. Kluge | 1. Reich | 1. Jagd |
| 2. Mainz | 2. Bauer | 2. Hund |
| 3. Schloß | 3. Ruine | 3. Gebirg |
| 4. Leeheim | 4. Straße | 4. Festung |
| 5. Bergstraße | 5. Lenzburg | 5. Fünfzig |
| 6. Residenzschloß | 6. Feldweg | 6. Uferland |
| 7. Lindenbaum | 7. Eisenbahn | 7. Vogelfang |
| 8. Pulvermühle | 8. Baumeister | 8. Stadtgericht |
| 9. Eisenhütze | 9. Bauernstand | 9. Arbeitshand |
| 10. Kleinlehrschule | 10. Weinabreitag | 10. Augenschwäche |
| 11. Kuchentisch | 11. Schreiner | 11. Kuchentisch |
| 12. Kuchentisch | 12. Kuchentisch | 12. Kuchentisch |

zraková ostrost – první definice

Franciscus Cornelis Donders
(1818 – 1889)



Definoval „**standardní oko**“ jako oko schopné rozlišit písmena, která jsou vysoká 5' (r. 1861)

Pak posuzoval pacientovo oko podle **zvětšení** znaků, které bylo potřebné k tomu, aby pacient rozlišil totéž, co „standardní oko“.

$$V = \frac{1}{\text{nutné zvětšení znaků}}$$

| | | | | |
|-----------|-----|------------------|------|------|
| zvětšení: | 2x | zraková ostrost: | 1/2 | 0.5 |
| | 4x | | 1/4 | 0.25 |
| | 10x | | 1/10 | 0.1 |

zraková ostrost – první měření



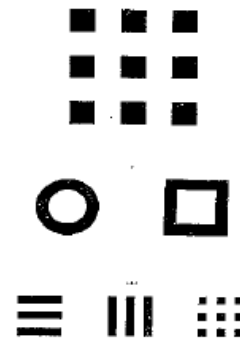
*H. Snellen
Med. Dr.*

Herman Snellen
(1834 – 1908)

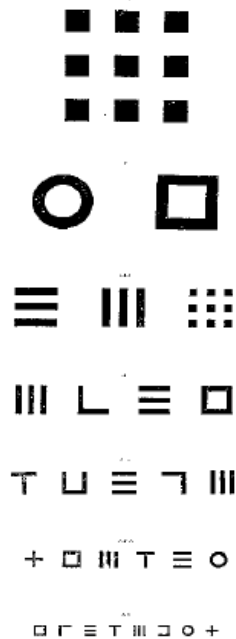
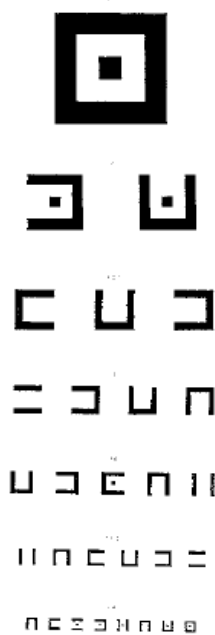
Na žádost C. Donderse navrhnul znaky pro posuzování stupně zrakové ostrosti (= **optotypy**).

Znaky byly **kalibrovány podle 5' standardu** (jejich úhlová velikost byla 5', velikost detailů na znacích byla 1')

Písmena se ukázala praktičtější, nežli abstraktní znaky.



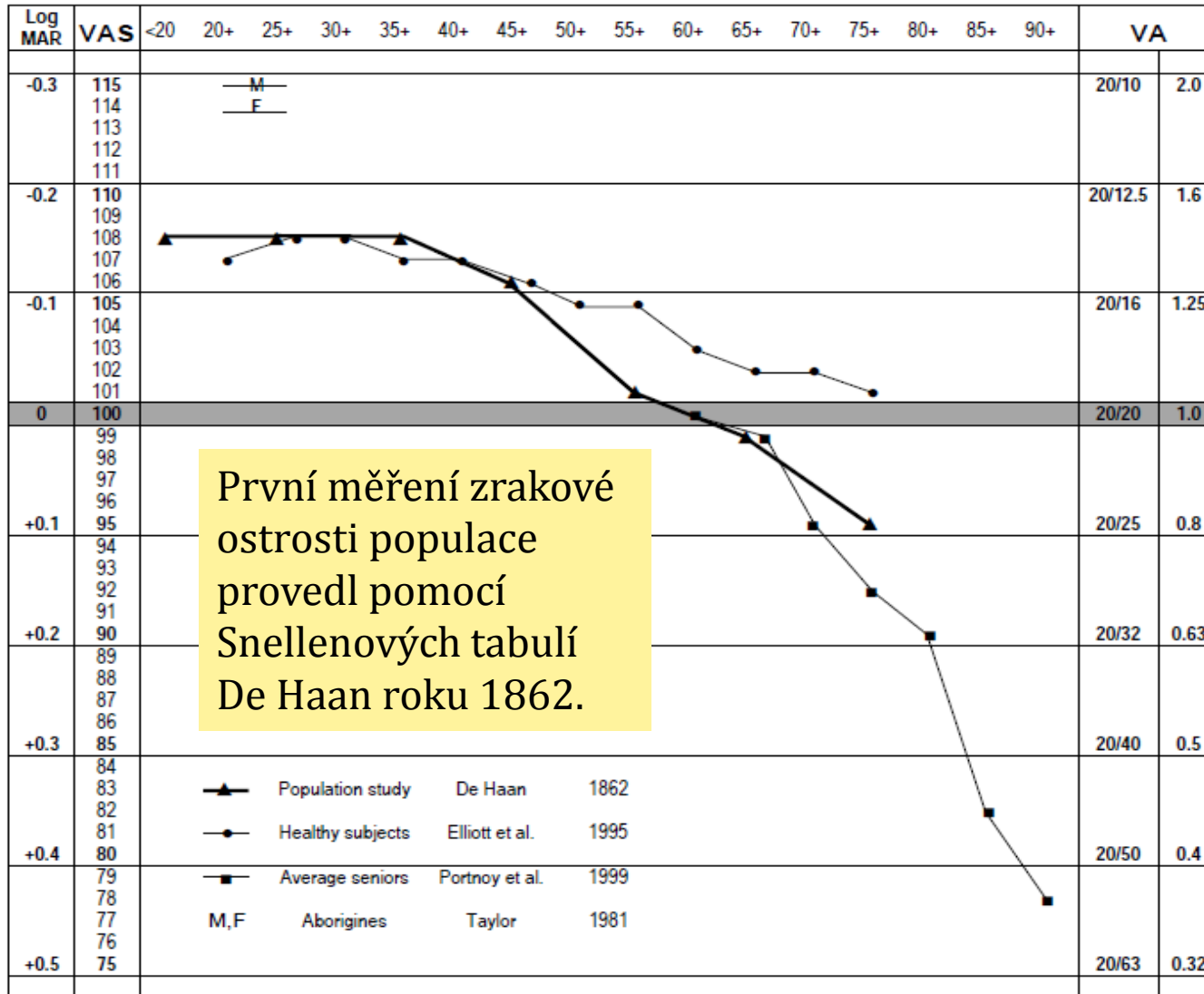
Snellenovy optotypy



Poprvé publikovány:

H. Snellen, Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe, Utrecht 1862.

závislost zrakové ostrosti na věku



vizus a vzdálenosti

$$V = \frac{1}{\text{zvětšení znaků}} = \frac{\text{velikost znaků rozlišená normálním pozorovatelem}}{\text{velikost znaků rozlišená vyšetřovaným}}$$



$$y' = -f_0 \frac{y}{x} = -f_0 \operatorname{tg} \alpha$$

$$V = \frac{\text{základní vyšetřovací vzdálenost}}{\text{vzdálenost, z níž se nejmenšího znak (jeho kritérium = detail), který přečte vyšetřovaný, jeví pod úhlem 5' (1')}} = \frac{d}{D}$$

... poměr uvedený na optotypové tabuli

vizus a vzdálenosti

DIE SEHSCHAERFE (S) WIRD AUSGEDRÜCKT DURCH DAS VERHÄELTNISS DES ABSTANDES, IN WELCHEM DER BUCHSTABE ERKANNT WIRD (\bar{D}) ZU DEM ABSTAND, IN WELCHEM ER SICH ÜNTER EINEM WINKEL VON FÜNF MINUTEN ZEIGT (D.).

$$S = \frac{d}{D}$$

Finden wir d gleich D und wird also No. XX auf 20 Fuss Abstand gesehen, dann ist $S = \frac{20}{20} = 1$, das ist, die Sehschärfe ist normal. Wird dagegen d kleiner als D, so dass No. XX nur auf 10, No. X nur auf 2, No. VI nur auf 1 Fuss gesehen wird, dan ist in diesen Fällen, respective

$$s = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}$$

$$s = \frac{2}{20} = \frac{1}{10}$$

$$s = \frac{1}{20} = \frac{1}{20}$$

d kann bisweilen grösser als D sein, und No. XX also noch weiter als auf 20 Fuss erkannt werden. In diesem Fall ist die Sehschärfe grösser als die mittlere normale.

H. Snellen, Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe, Utrecht 1862

další historie optotypových tabulí

1868, John Green upozornil na nevýhody Snellenových tabulí: nestejná velikost a rozeznatelnost znaků a nestejně poměry velikosti znaků v různých sériích. Navrhl používat některá bezpatková písmena a dodržet stálý poměr pro velikosti sérií.

1888, Edmund Landolt navrhl tzv. Landoltovo „C“.

1959, Louise Sloan navrhla test s 10 bezpatkovými podobně rozlišitelnými písmeny v každé sérii.

1976, Ian Bailey a Jan Lovie navrhli test s 5 písmeny na řádku, se vzdálenostmi znaků i řádků rovnou výšce písmen a logaritmickou stupnicí velikostí (tzv. LogMAR tabulky)

1976, Lea Hyvärinen vytvořila tzv. Lea-test, s obrázkovými symboly pro předškolní děti.

1976 Hugh Taylor navrhl „E“ tabulky pro analfabety (použity pro testy australských domorodců)

1982 Rick Ferris et al. navrhli test s rozložením podle Bailey-Lovie a se znaky podle Sloan pro měření zrakové ostrosti v rámci tzv. „Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study“ (ETDRS).

současná Snellenova tabule

| | | |
|-------------------|----|--------|
| E | 1 | 20/200 |
| F P | 2 | 20/100 |
| T O Z | 3 | 20/70 |
| L P E D | 4 | 20/50 |
| P E C F D | 5 | 20/40 |
| E D F C Z P | 6 | 20/30 |
| F E L O P Z D | 7 | 20/25 |
| D E F P O T E C | 8 | 20/20 |
| L E F O D P C T | 9 | |
| F D P L Y C E O | 10 | |
| P E N O L C P T P | 11 | |

celořádková metoda

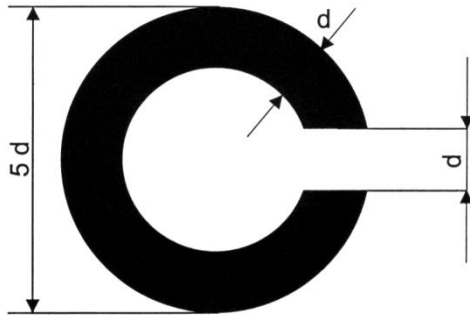
(ČSN EN ISO 8596):

hodnota vizu se stanoví podle přečteného řádku, to je řádek, na kterém subjekt identifikuje 60% a více optotypových znaků

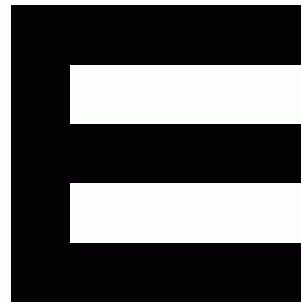
vyšetřovací vzdálenost

$$V = \frac{\text{vyšetřovací vzdálenost}}{\text{vzdálenost, z níž se znak (základní kritérium znaku) jeví pod úhlem 5' (1')}}}$$

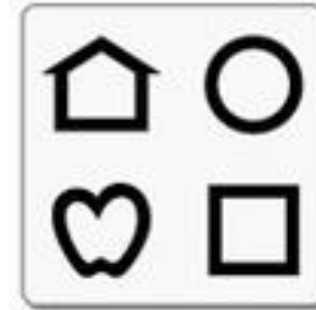
další používané symboly



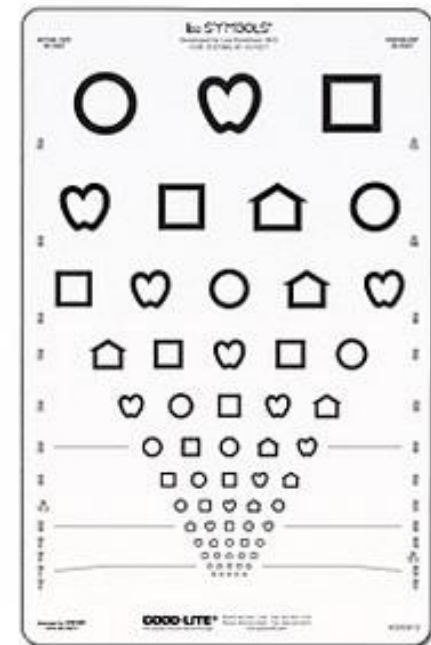
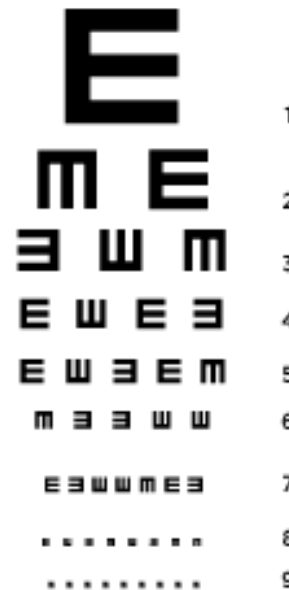
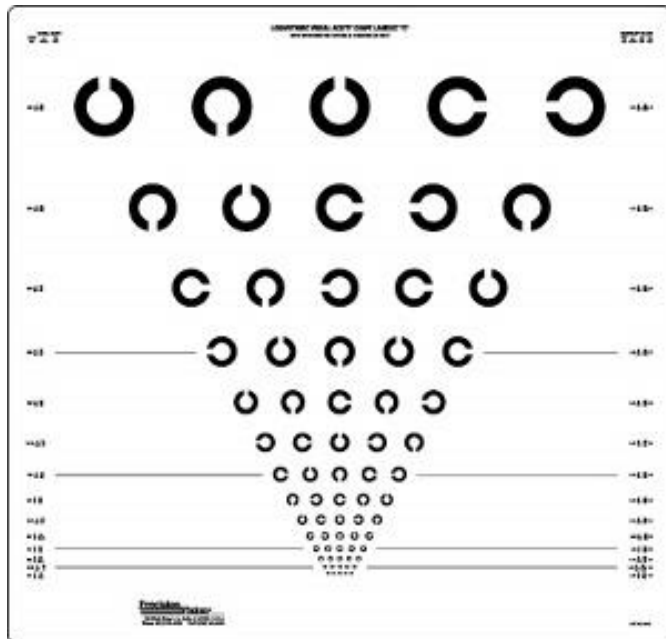
Landoltovo „C“



Plügerův „háček“



„Lea“ symboly



odstupňování velikosti optotypů

Die Grösse unserer Buchstaben ebenso wie der Zwischenraum zwischen den einzelnen, genau durch die Theilmaschine auf dem Stein ausgemessen, ist folgende:

| | | | | | |
|--------|---------|---------|--------|----------|---------|
| No. I | = 0,209 | Par. M. | No. XI | = 2,304 | Par. M. |
| „ II | = 0,419 | „ „ | „ XII | = 2,513 | „ „ |
| „ III | = 0,628 | „ „ | „ XV | = 3,141 | „ „ |
| „ IV | = 0,838 | „ „ | „ XX | = 4,189 | „ „ |
| „ V | = 1,047 | „ „ | „ XXX | = 6,283 | „ „ |
| „ VI | = 1,257 | „ „ | „ XL | = 8,377 | „ „ |
| „ VII | = 1,466 | „ „ | „ L | = 10,472 | „ „ |
| „ VIII | = 1,675 | „ „ | „ LXX | = 14,660 | „ „ |
| „ IX | = 1,885 | „ „ | „ C | = 20,943 | „ „ |
| „ X | = 2,094 | „ „ | „ CC | = 41,886 | „ „ |

Die Nummer über den Buchstaben drückt in Pariser Fuss den Abstand aus, in welchem die Buchstaben unter einem Winkel von 5 Minuten gesehen werden.

H. Snellen, Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe, Utrecht 1862

odstupňování velikosti optotypů

Snellenovo odstupňování velikostí z roku 1890:

0,1; 0,16; 0,25; 0,33; 0,5; 0,66; 1,0; 1,33; 2,0

Ve zlomkovém zápise a po úpravě (pro 6 m):

6/60; 6/36; 6/24; 6/18; 6/12; 6/8; 6/6; 6/5; 6/4

Po dalších úpravách vznikly řady pro pětimetrovou a šestimetrovou verzi:

| V des. č. | V zlomkem | poměry |
|--------------|--------------|-------------|
| 0,10 | 6/60 | - |
| 0,20 | 6/30 | 2,0 |
| 0,25 | 6/24 | 1,25 |
| 0,33 | 6/18 | 1,32 |
| 0,40 | 6/15 | 1,21 |
| 0,50 | 6/12 | 1,25 |
| 0,67 | 6/9 | 1,34 |
| 1,00 | 6/6 | 1,49 |
| 1,50 | 6/4 | 1,5 |

| V des. č. | V zlomkem | poměry |
|--------------|--------------|-------------|
| 0,10 | 5/50 | - |
| 0,17 | 5/30 | 1,7 |
| 0,25 | 5/20 | 1,47 |
| 0,33 | 5/15 | 1,32 |
| 0,50 | 5/10 | 1,51 |
| 0,67 | 5/7,5 | 1,34 |
| 1,00 | 5/5 | 1,49 |
| 1,25 | 5/4 | 1,25 |

logaritmické odstupňování

| V zlomkem | V des. č. | Log MAR | VAR |
|------------|-------------|------------|------------|
| 6/60 | 0,10 | 1,0 | 0 |
| 6/48 | 0,125 | 0,9 | 10 |
| 6/38 | 0,16 | 0,8 | 20 |
| 6/30 | 0,20 | 0,7 | 30 |
| 6/24 | 0,25 | 0,6 | 40 |
| 6/19 | 0,32 | 0,5 | 50 |
| 6/15 | 0,40 | 0,4 | 60 |
| 6/12 | 0,50 | 0,3 | 70 |
| 6/9,5 | 0,63 | 0,2 | 80 |
| 6/7,5 | 0,80 | 0,1 | 90 |
| 6/6 | 1,00 | 0,0 | 100 |
| 6/4,75 | 1,25 | -0,1 | 110 |
| 6/3,75 | 1,60 | -0,2 | 120 |
| 6/3 | 2,00 | -0,3 | 130 |

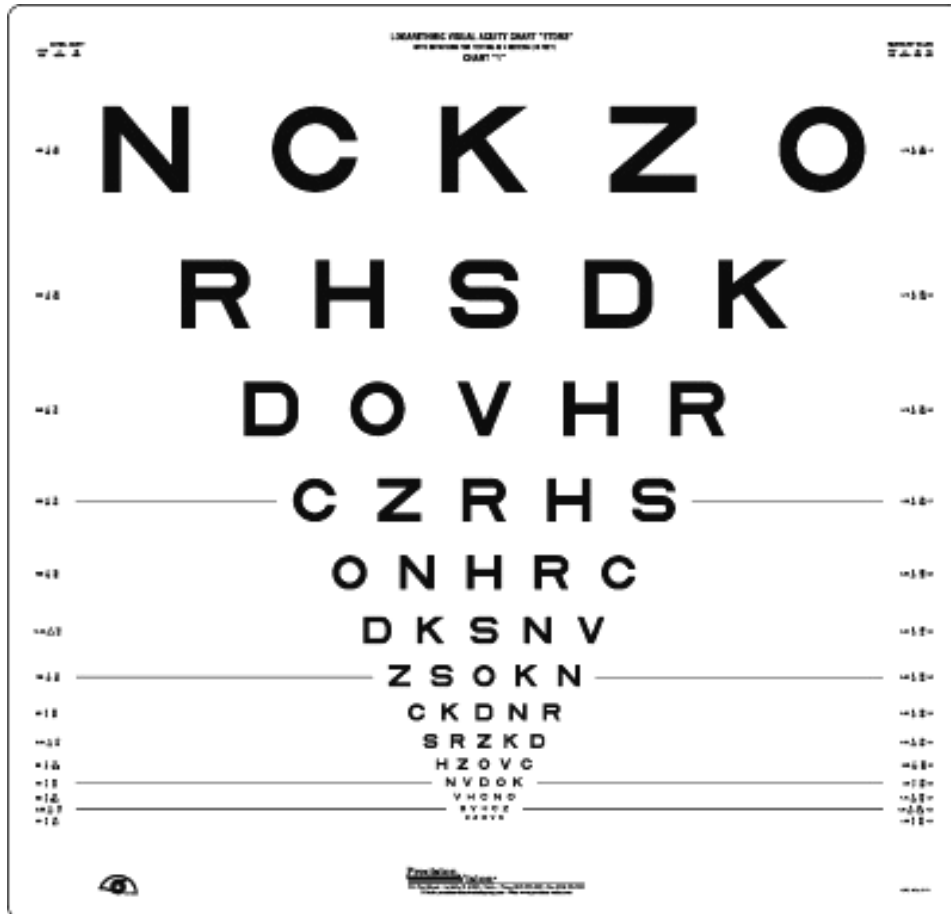
$$\text{LogMAR} = \log_{10}(1/V)$$

(Logarithm of Minimum Angle of Resolution, Bailey a Lovie, 1976)

$$\text{VAR} = 100(1 - \text{LogMAR})$$

(Visual Acuity Rating, Bailey)

tabule ETDORS

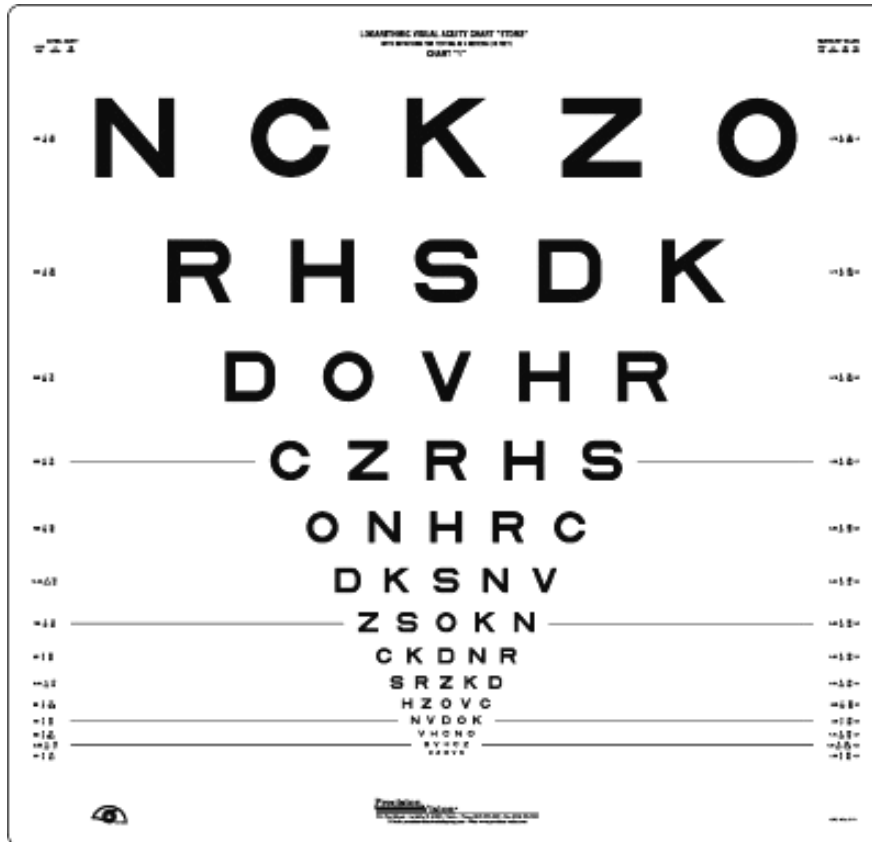


interpoláční metoda ETDORS

- vyšetřovaný čte až k řádku, který přečte méně než z 60%
- vezme se hodnota předchozího řádku (správně přečtených alespoň 60% znaků) v jednotkách logMAR
- za každý další přečtený znak (ze stejného řádku nebo řádků následujících) se odečte 0,02 logMAR

| V des. č. | Log MAR | VAR |
|-------------|------------|------------|
| 0,63 | 0,2 | 80 |
| 0,80 | 0,1 | 90 |
| 1,00 | 0,0 | 100 |
| 1,25 | -0,1 | 110 |

ETDRS-fast



metoda ETDRS-fast (Camparini 2001)

- vyšetřovaný čte znaky nikoli horizontálně, ale odshora vertikálně
- zastaví se na řádku, kde již znak není správně identifikován
- vrátí se o jeden řádek výš, kde již čte znak po znaku s interpolací - za každý přečtený znak se odečte 0,02 logMAR

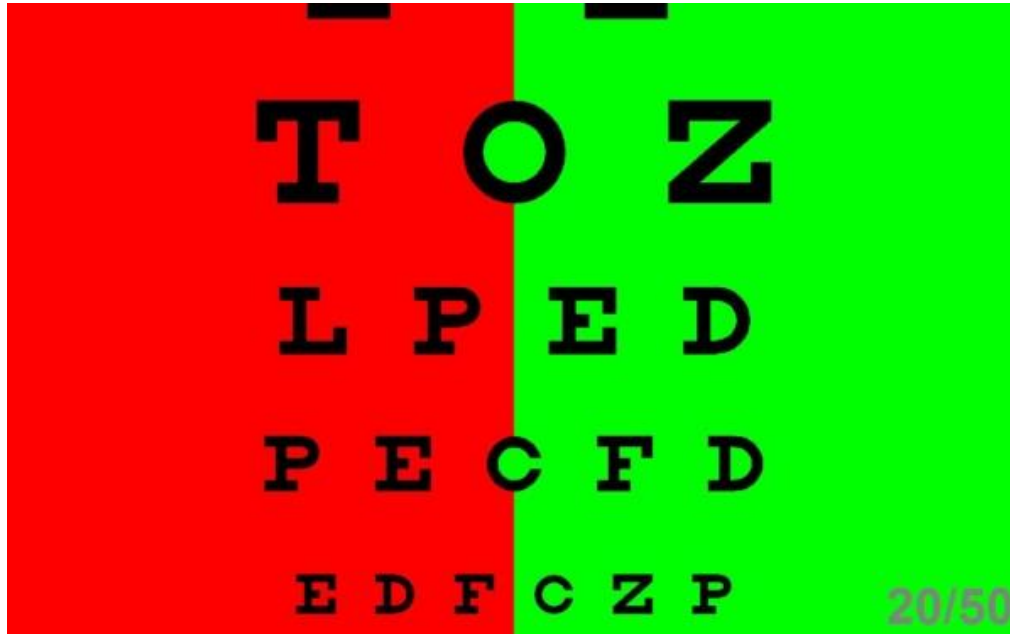
| V des. č. | Log MAR | VAR |
|--------------|------------|------------|
| 0,63 | 0,2 | 80 |
| 0,80 | 0,1 | 90 |
| 1,00 | 0,0 | 100 |
| 1,25 | -0,1 | 110 |

tabule cRLM

| | |
|-------|------|
| D Z O | 1,0 |
| C H R | 0,9 |
| O Z K | 0,8 |
| N V O | 0,7 |
| R H S | 0,6 |
| C N V | 0,5 |
| D Z O | 0,4 |
| S N K | 0,3 |
| V S H | 0,2 |
| O Z D | 0,1 |
| K N C | 0,0 |
| V O H | -0,1 |
| C Z O | -0,2 |
| K V K | -0,3 |

(compact reduced LogMAR)

dvojbarevný test



A **Duochrome Test** is a test commonly used to refine the final sphere in refraction, which makes use of the [chromatic aberration](#) of the eye. Because of the chromatic aberration of the eye, the shorter wavelengths (green) are focused in front of the longer red wavelengths. The patient is asked to compare the clarity of the letters on the green and the red side. If the letters of the green side are clearer +0.25 D sphere is added and if the letters on the red side are clearer -0.25 D sphere is added. With optimal spherical correction, the letters on the red and green halves of the chart appear equally clear. Because this test is based on chromatic aberration and not on color discrimination, it is used even with [color-blind](#) patients. The eye with overactive accommodation may still require too much minus sphere in order to balance the red and green. [Cycloplegia](#) may be necessary. The duochrome test is not used with patients whose [visual acuity](#) is worse than 20/30 (6/9), because the 0.50 D difference between the 2 sides is too small to distinguish.

optotypy na blízko

No. 7.
1.50M

able treaty, the restitution of the standards and prisoners which had been taken in the defeat of Crassus. His generals, in the early part of his reign, attempted the reduction of Ethiopia and Arabia Felix. They marched near a thou-

No. 8.
1.75M

sand miles to the south of the tropic; but the heat of the climate soon repelled the invaders, and protected the unwarlike natives of those sequestered regions

No. 9.
2.00M

The northern countries of Europe scarcely deserved the expense and labor of conquest. The forests and morasses of Germany were

No. 10.
2.25M

filled with a hardy race of barbarians who despised life when it was separated from freedom; and though, on the first

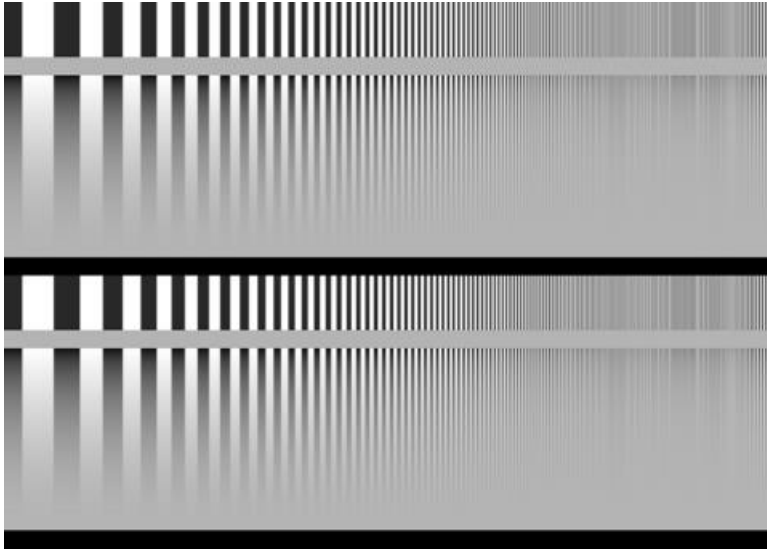
No. 11.
2.50M

attack, they seemed to yield to the weight of the Roman power, they soon, by a signal

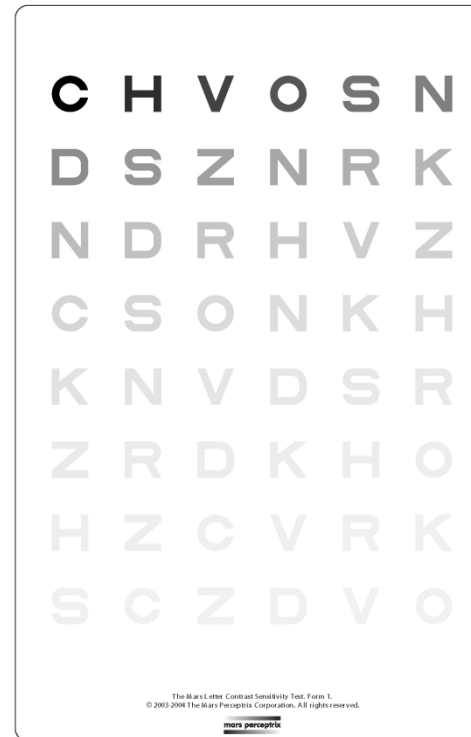
Jägerovy tabulky

Eduard Jäger, 1854 navrhl tabulky pro měření zrakové ostrosti, které se dodneška používají na blízko. Podle velikosti písma jsou odstavce označeny čísly 1 – 24.

kontrastní tabulky



Kontrastní tabulka



Optotypový test na kontrastní citlivost

závislost zrakové ostrosti na úhlu

