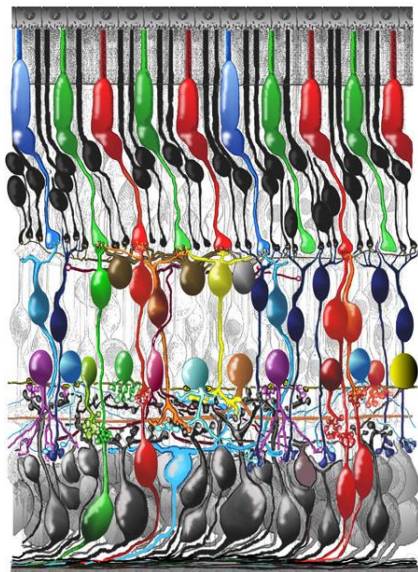
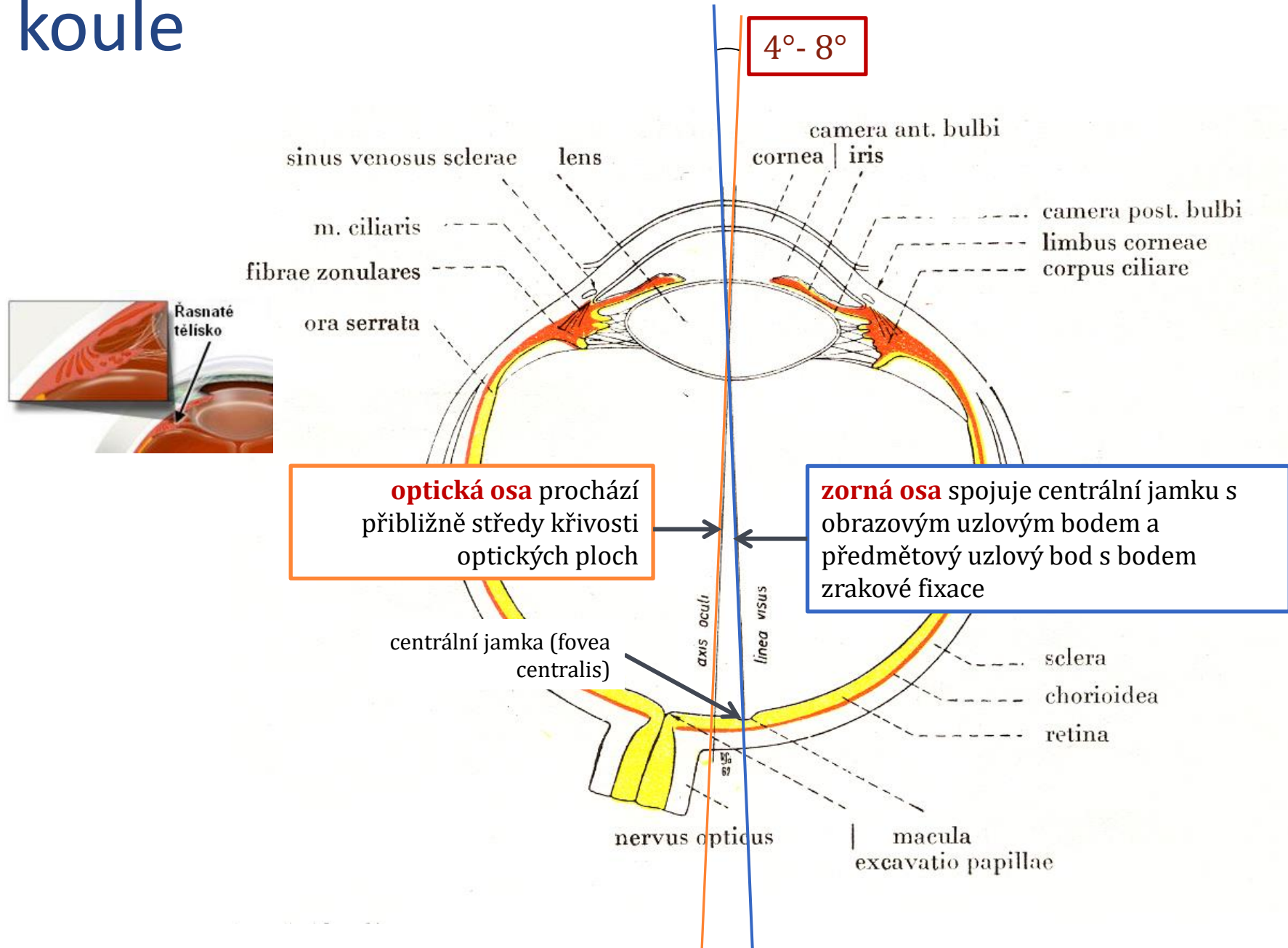


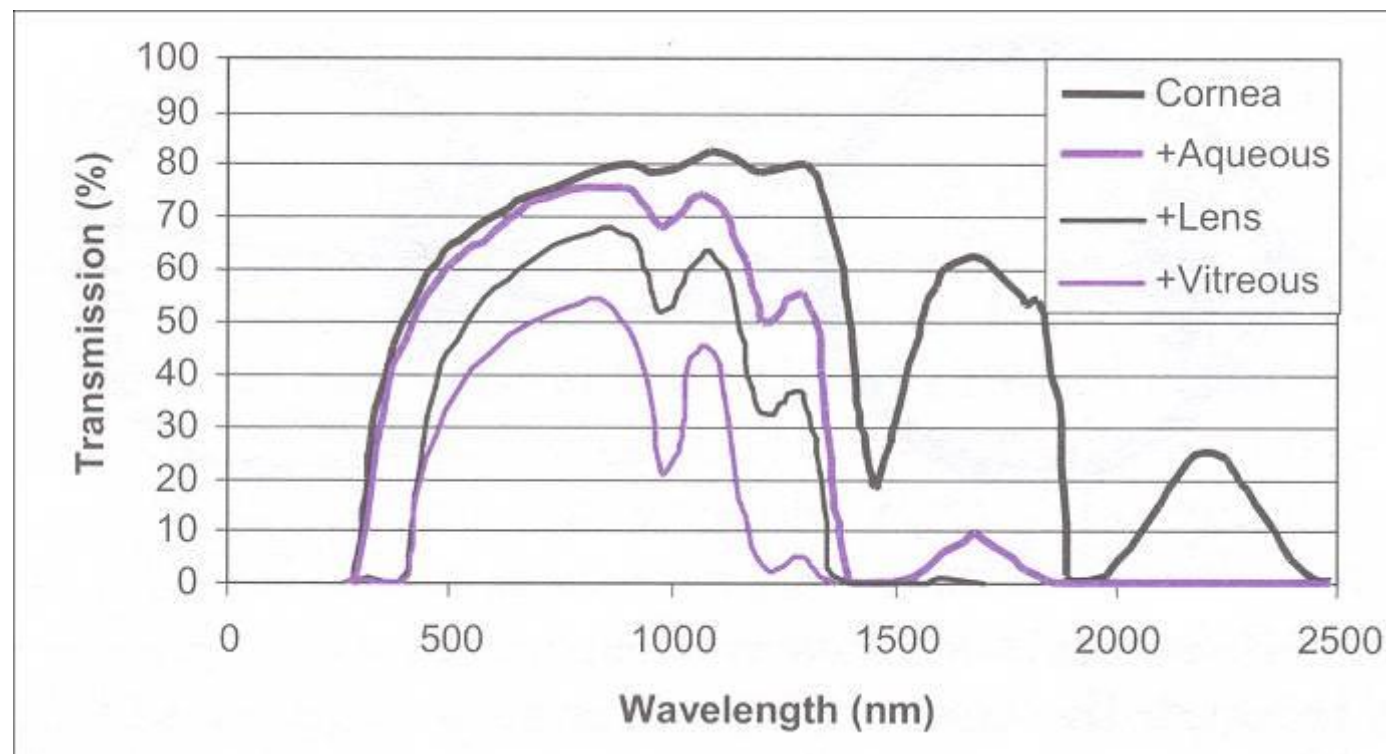
# Zraková ostrost, optotypy



# oční koule



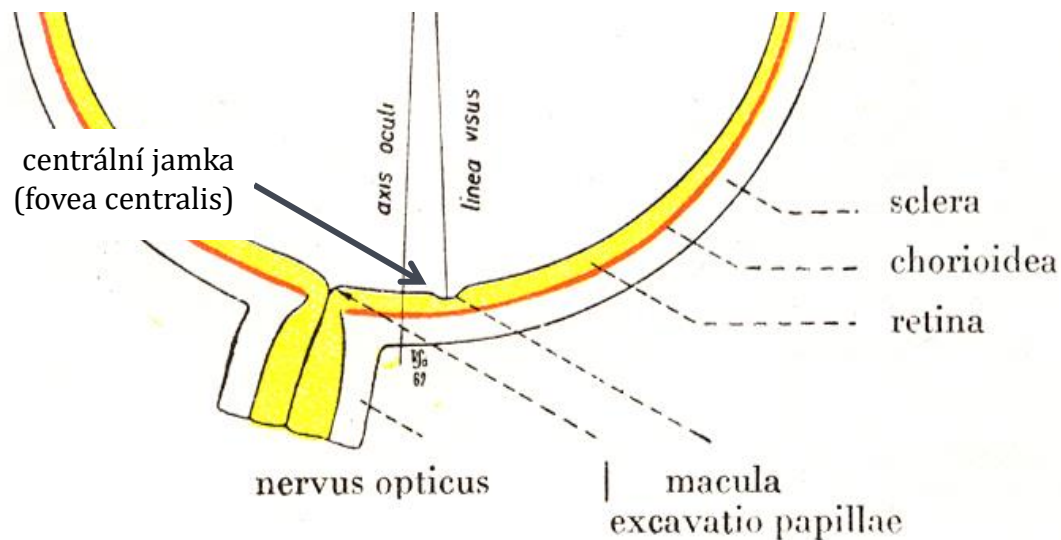
# spektrální propustnost oka



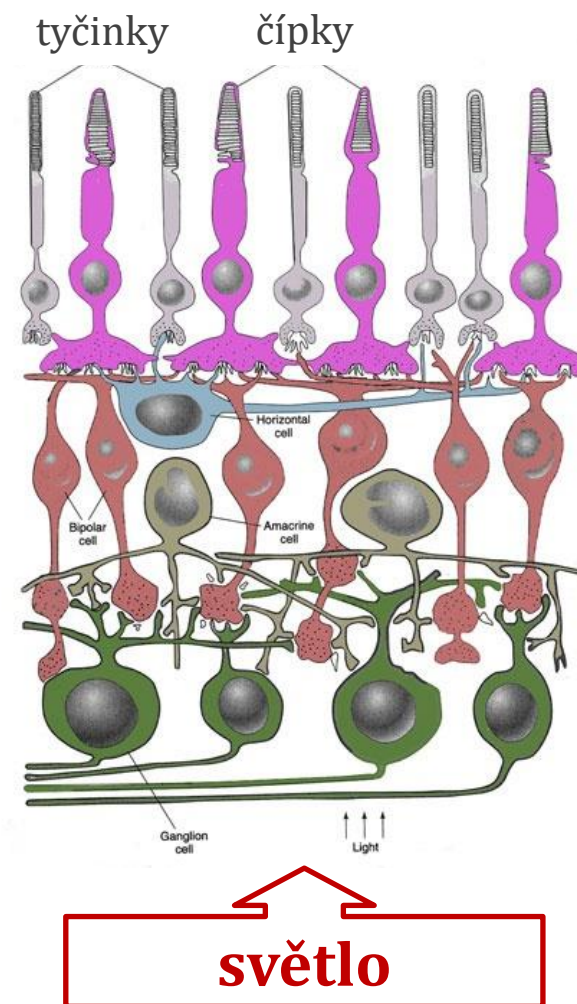
## kumulativní spektrální propustnosti jednotlivých optických vrstev oka

(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

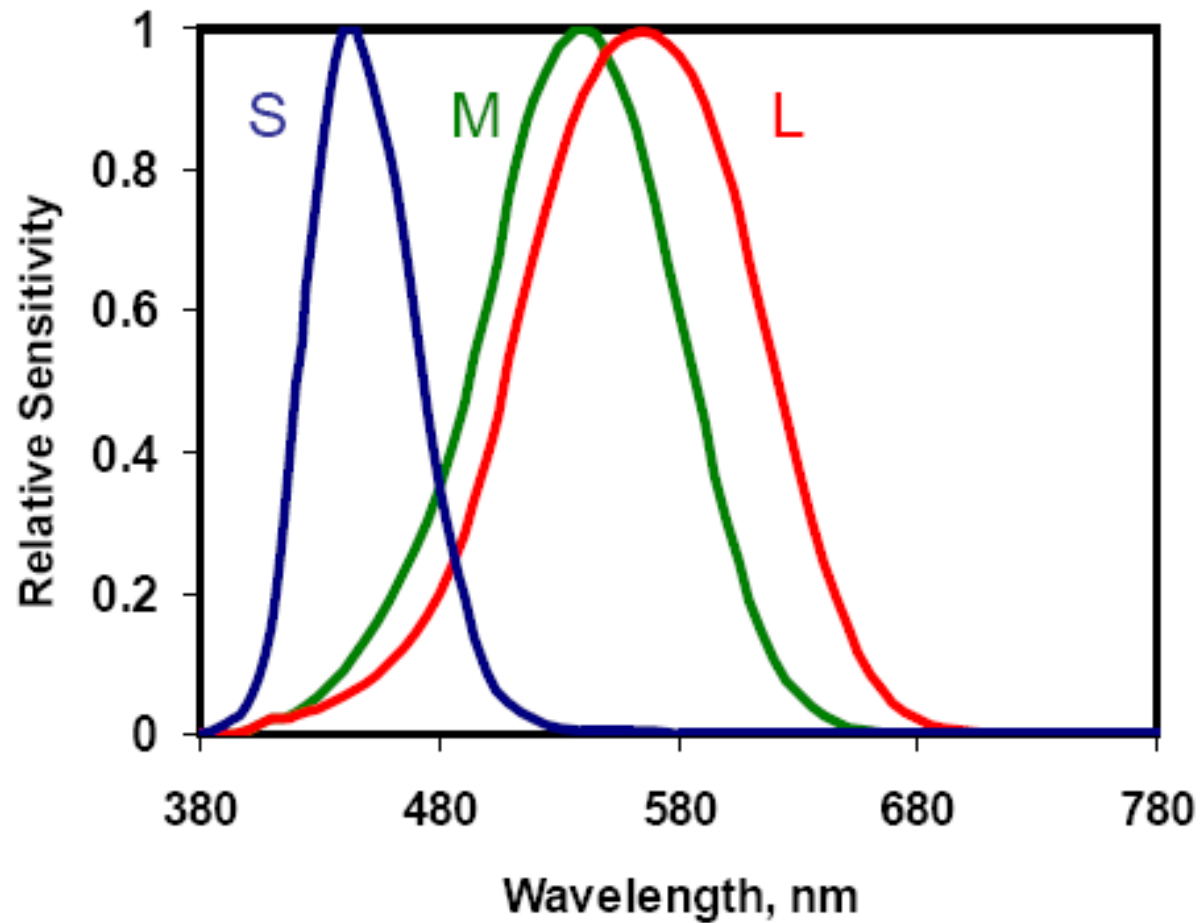
- vnější segment tvořený oddělenými disky naplněnými rhodopsinem
- noční, tzv. skotopické, monochromatické vidění
- „vysvěcují se“ v jasném světle
- rychlá časová odezva
- hlavně v okrajových částech sítnice, nejsou v centrální části (0,2 mm)
- v sítnici asi 125 milionů

## čípky

- vnější segment tvořený řasami naplněnými fotocitlivou látkou (tři různé opsiny)
- denní, tj. fopické 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

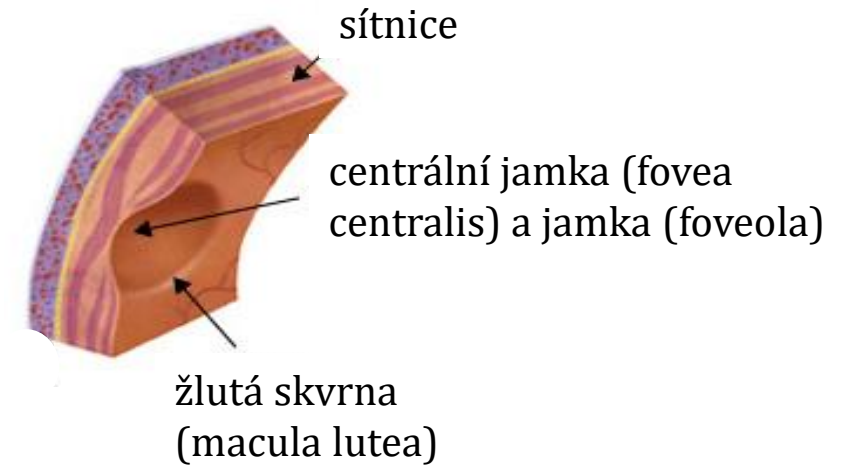
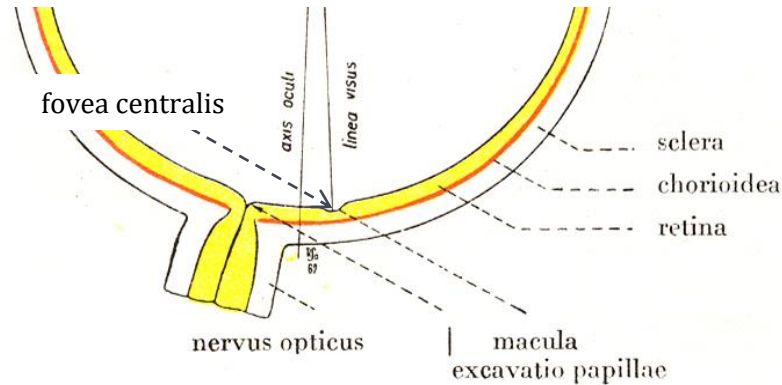


# spektrální citlivost čípků

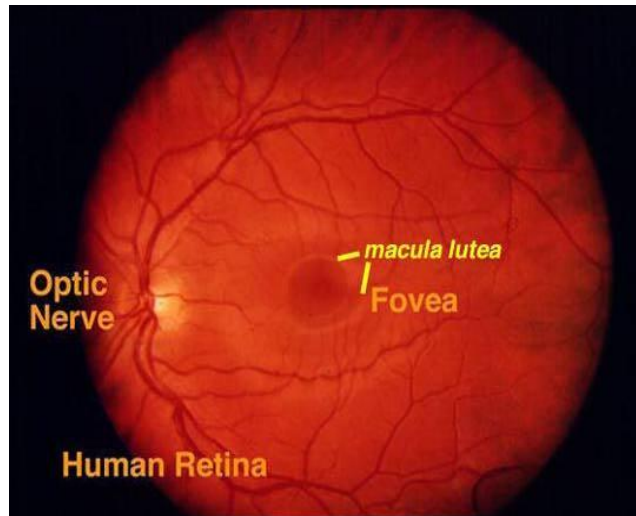




# žlutá a slepá skvrna



zobrazení lidské sítnice  
oftalmoskopem



## žlutá skvrna (průměr 2 - 3 mm)

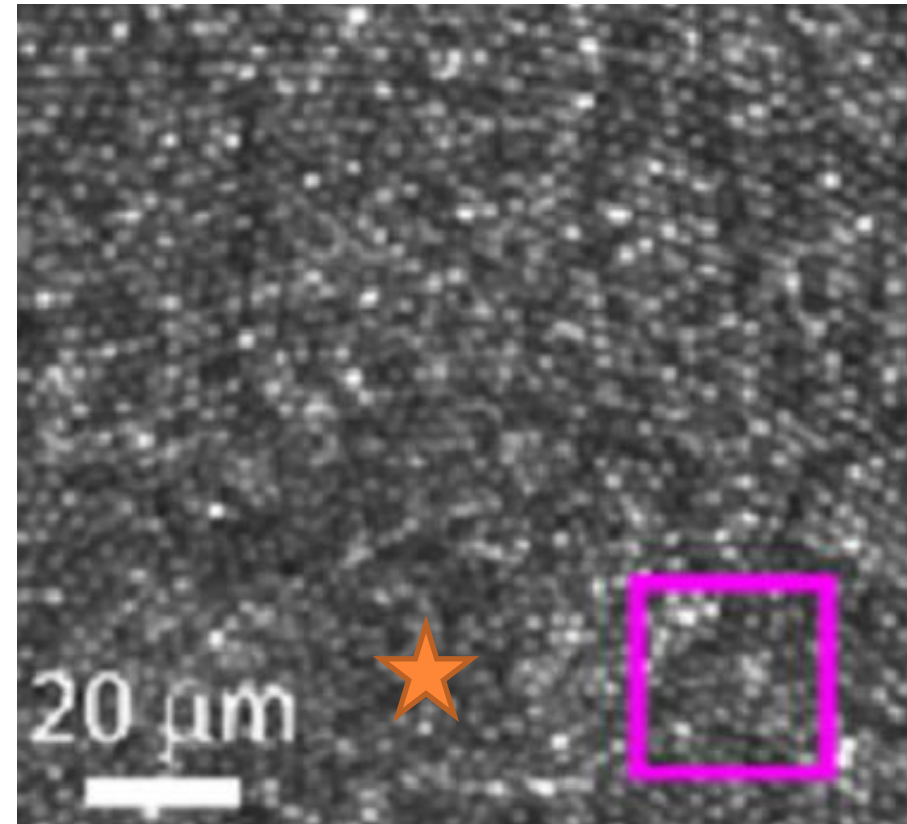
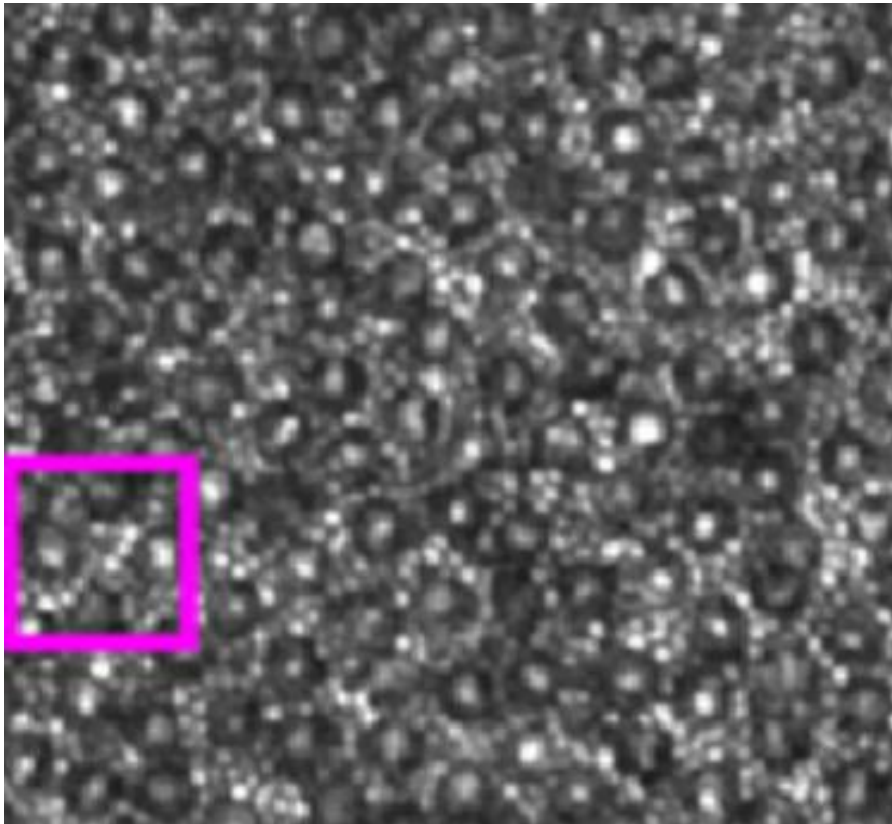
- vysoká zraková ostrost: v **centrální jamce** (fovea centralis, průměr asi 1,25 mm, bezcévná oblast) připadá **1 neuron na 1 čípek**
- **ve středu** centrální jamky (**foveola**, průměr asi 0,25 mm – 0,35 mm) **jen čípky**; jsou delší a štíhlejší, než v jiných částech sítnice
- průměr čípku **cca 2,5 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

## slepá skvrna

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

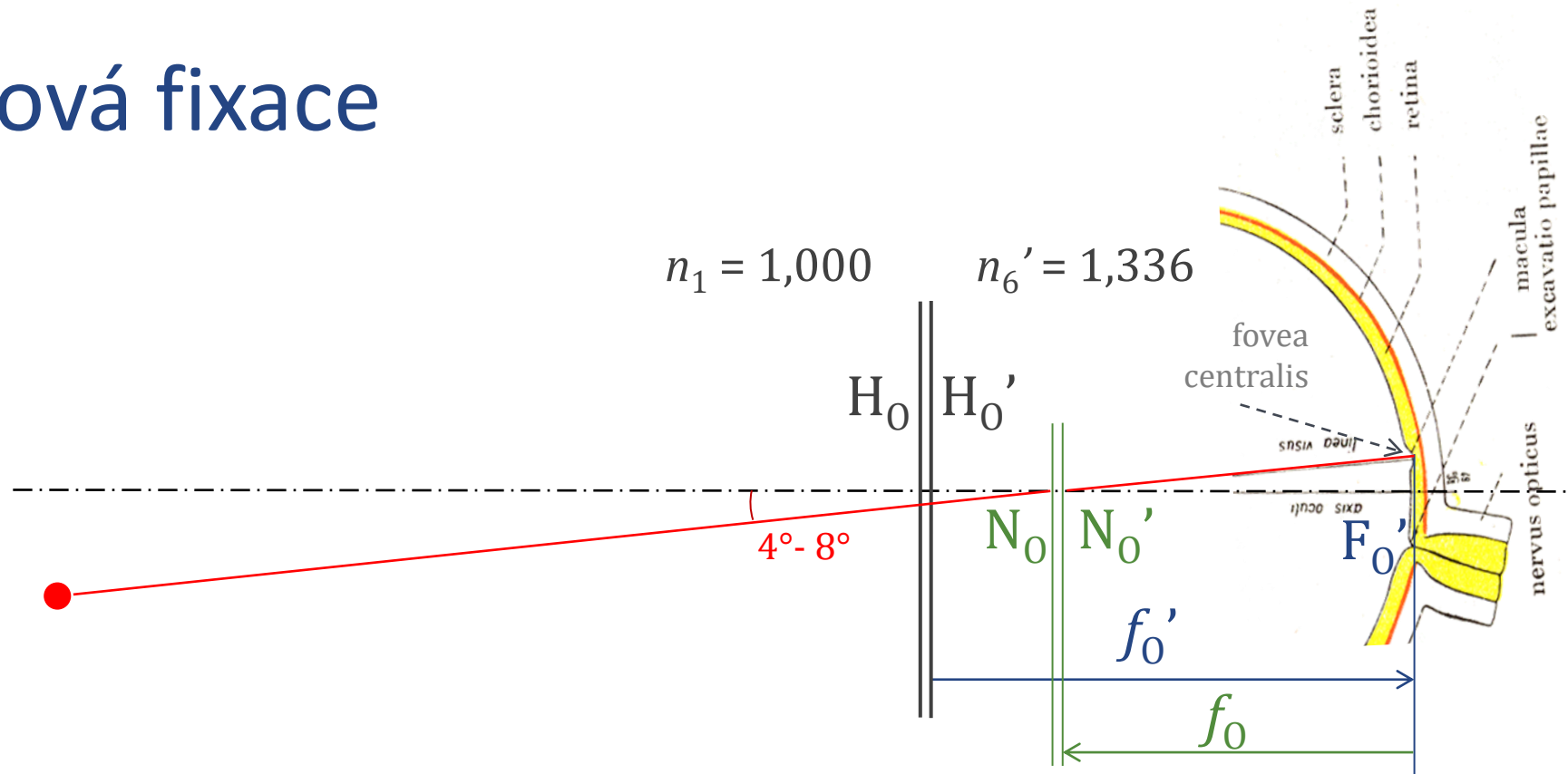
# fotoreceptory sítnice

**Tyčinky a čípky v živém lidském oku** zobrazené konfokálním mikroskopem.  
Vlevo: tyčinky a čípky 10° temporálně od místa fixace.  
Vpravo: čípky ve fovei, hvězdička označuje její střed.  
(R. Lu et al. Optica 8: 3 (2021) 333-343)



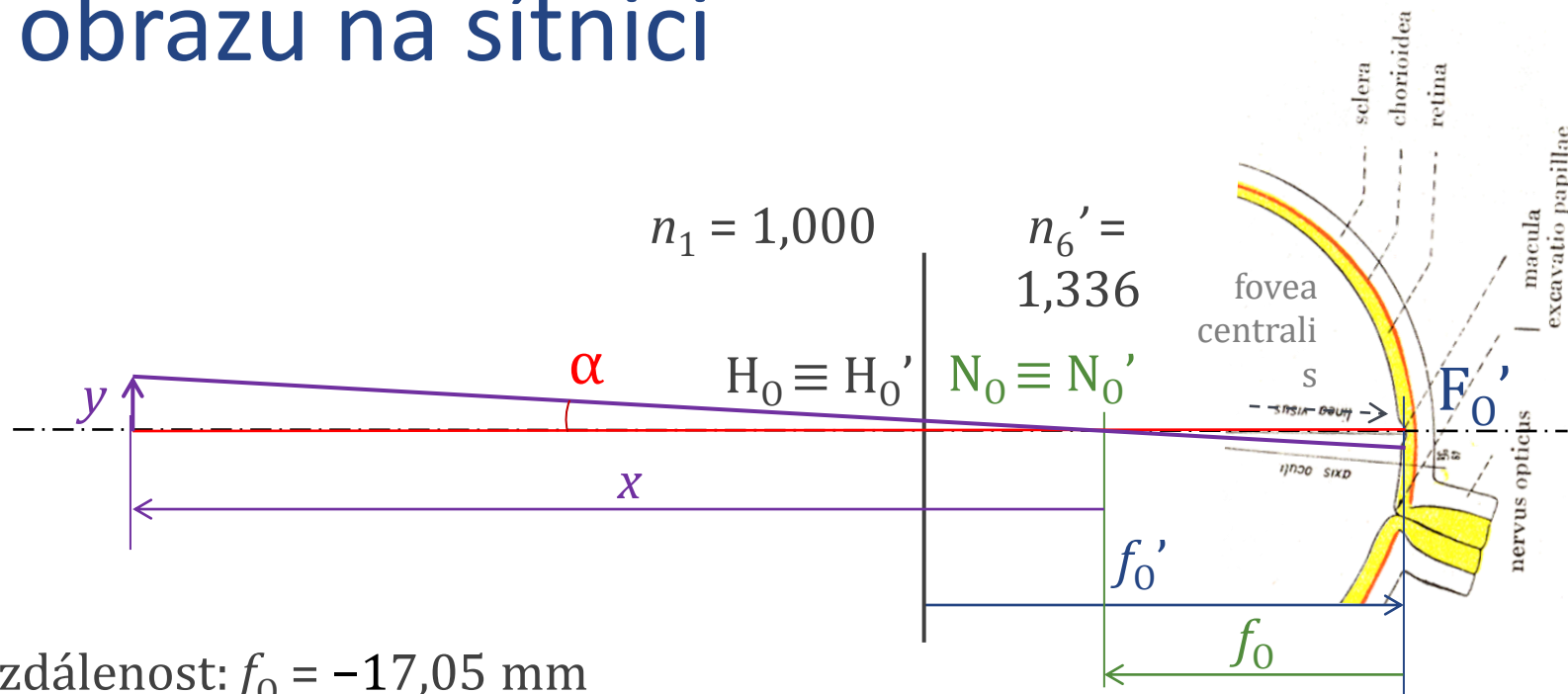


# zraková fixace



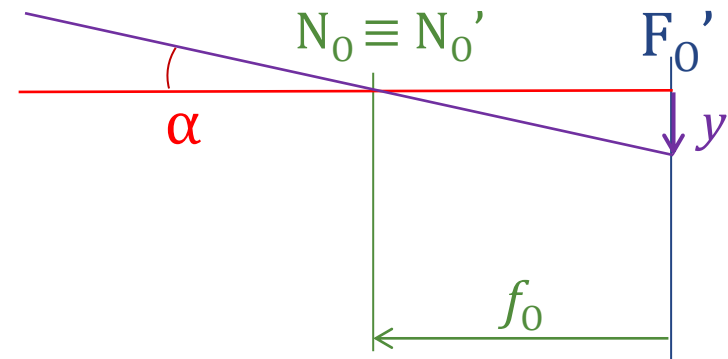
- konjugované páry hlavních rovin a uzlových bodů mají vzdálenosti 0,25 mm, proto se sjednocují do **jedné hlavní roviny** oddělující indexy lomu vzduchu a sklivce a do **jednoho uzlového bodu** (redukovaný model oka)
- ohniskové vzdálenosti:  $f_0' = 22,78$  mm,  $f_0 = -17,05$  mm, délka oka 24 mm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

# velikost obrazu na sítnici



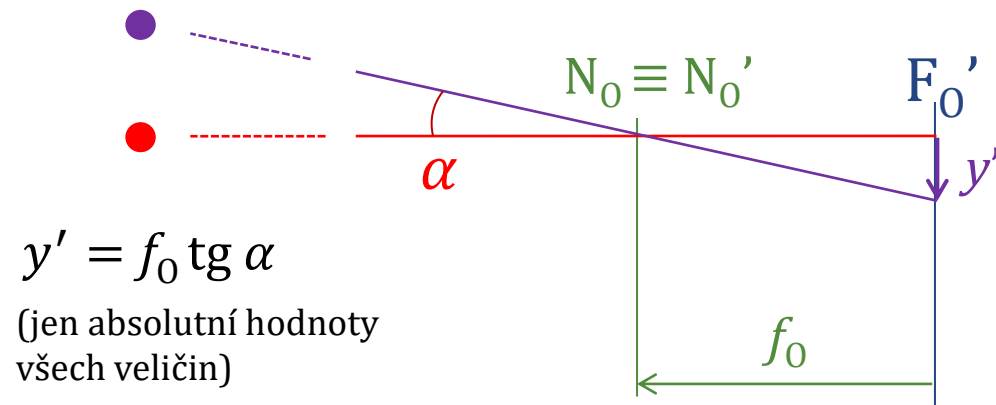
- ohnisková vzdálenost:  $f_0 = -17,05$  mm
- předmět o výšce  $y$  ležící ve velké vzdálenosti  $x$  před okem (optické  $\infty$ ), se zobrazuje pod úhlem  $\alpha$  na sítnici,
- obraz na sítnici má velikost  $y'$

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



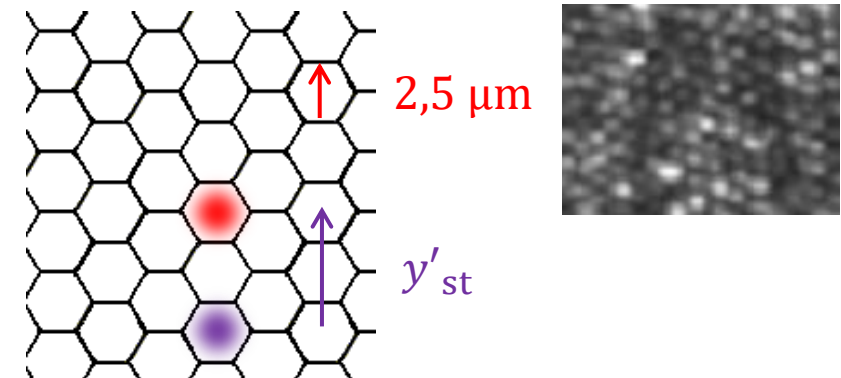
# zrková ostrost: angulární (úhlová)

- Zrková ostrost (*visual acuity*, VA, V) je kvalita a stupeň schopnosti oka rozlišovat prostorové detaily předmětu.
- Zaměříme se na *angulární zrkovou ostrost* (*resolution acuity*, *rozlišovací schopnost*) závisující na nejmenší úhlové vzdálenosti  $\alpha_{\min}$  bodů právě okem rozlišených.



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

čípky ve fovea centralis, **standardní** oko:



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

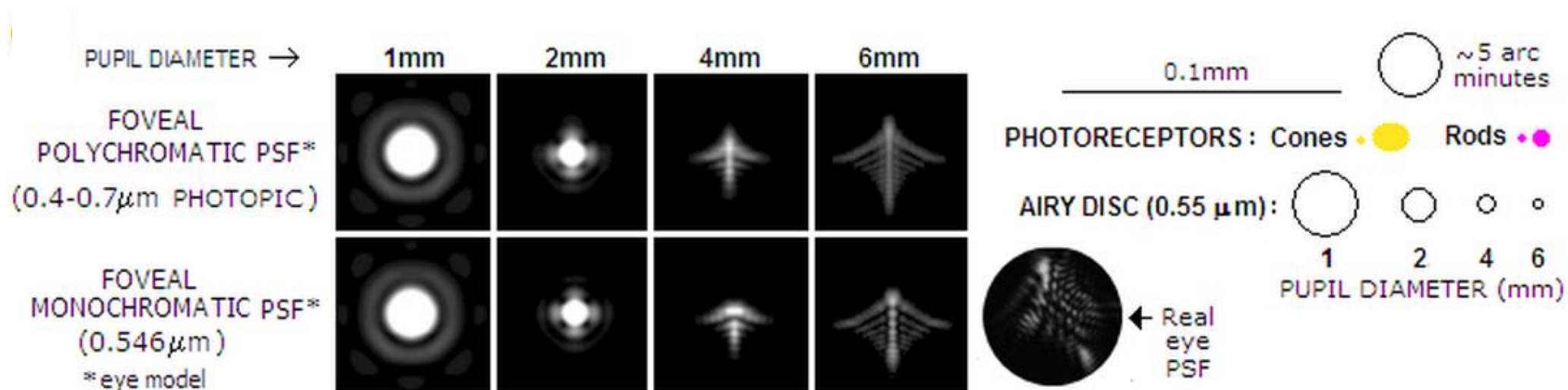
Zdravé (standardní) oko je schopno rozlišit 2 body o úhlové vzdálenosti  $\alpha_{\text{st}} = 1'$  (rozlišovací schopnost, *minimum separabile*, *minimum angle of resolution*, MAR).

Tomu odpovídá zrková ostrost (resolution acuity)  $V = \alpha_{\text{st}}/\alpha_{\min}(') = 1'/1' = 1$ .

# zhoršení zrakové ostrosti

Zhoršení zrakové ostrosti může být způsobeno:

- **vadou optické soustavy oka** (refrakční vadou, dalšími optickými aberacemi oka),
- **difrakcí světla** (nemá-li optický systém aberace, zobrazí se bod jako tzv. Airyho disk, který je větší pro menší průměr pupily oka),
- **vadou sítnice** (retinopatie),
- **rozptylem světla** na nehomogenitách v optických prostředích oka.



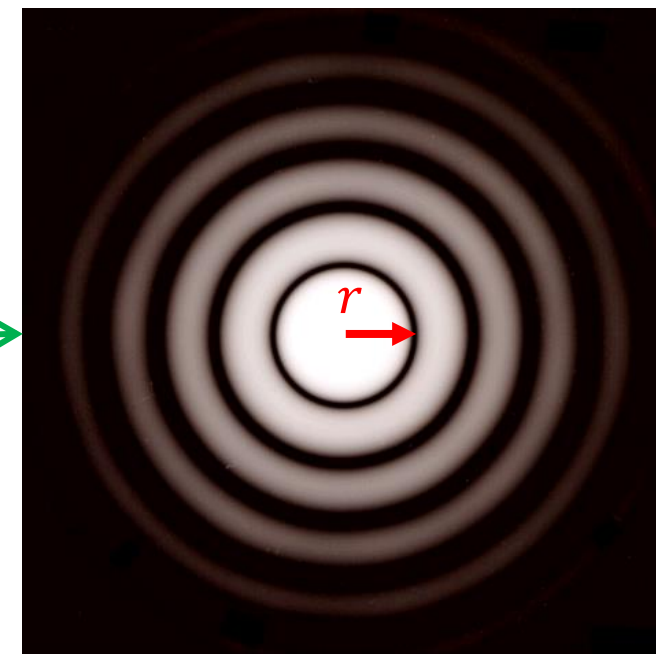
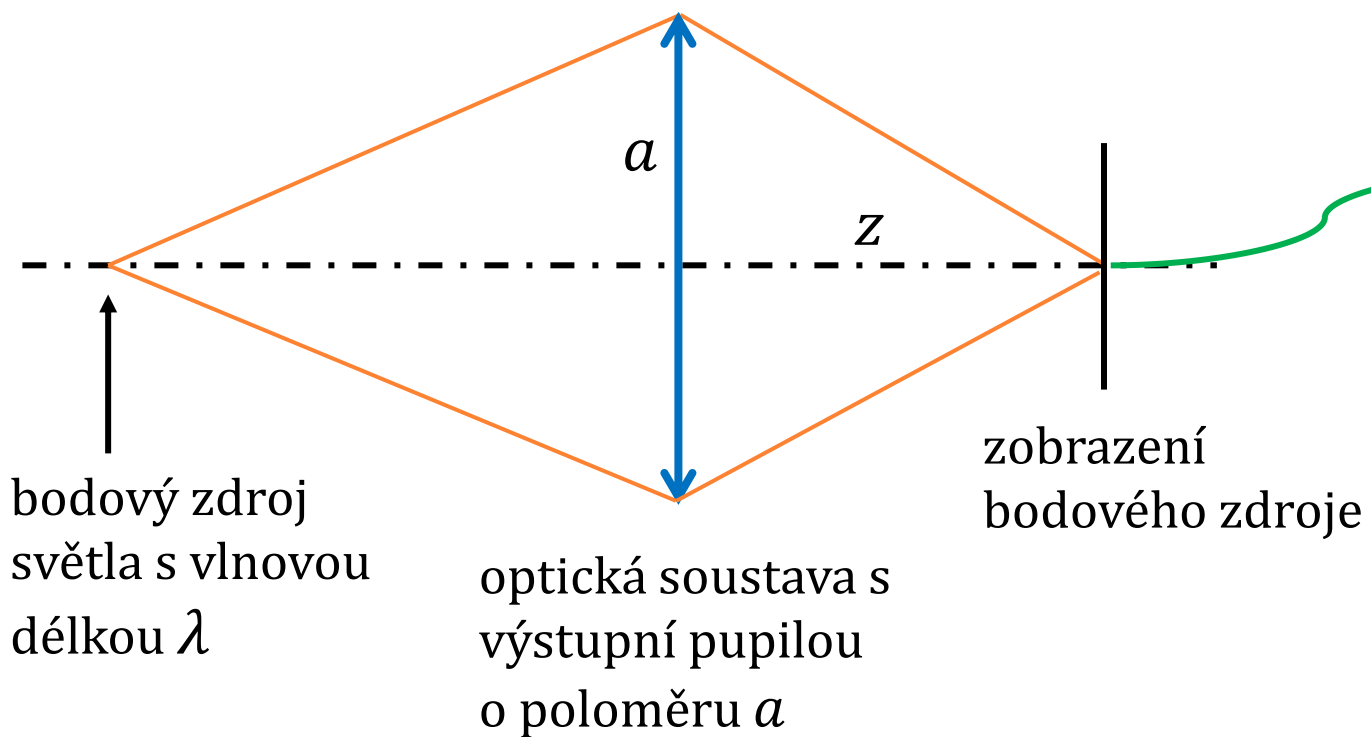
↑  
simulace zobrazení bodu  
pomocí modelu oka

↑  
zobrazení bodu  
skutečným okem

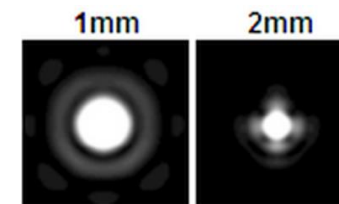
# více o difrakci světla

## Difrakce světla ...

změna směru šíření světla nezpůsobená lomem, ale vyplývající z vlnové povahy světla



$$r \sim \frac{\lambda z}{a}$$

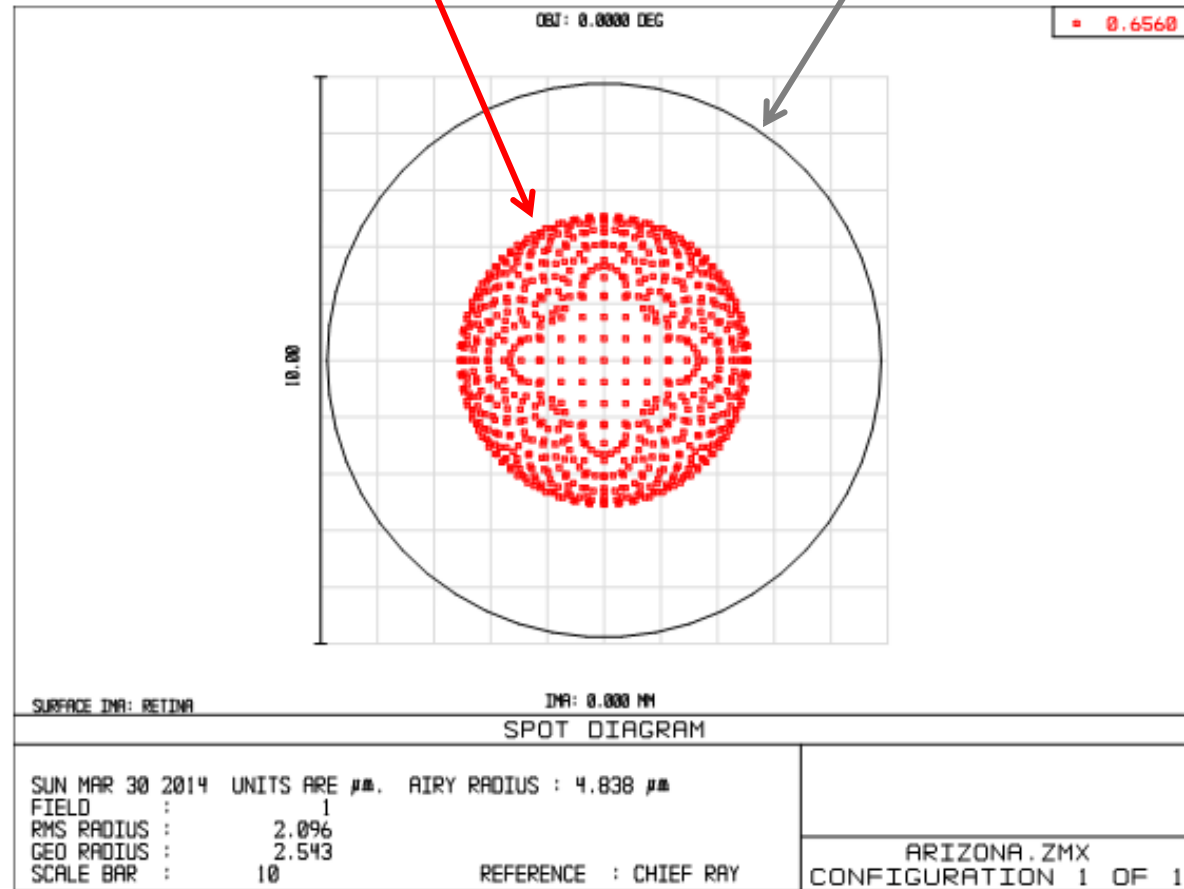




# příklad zobrazení bodu (trasování paprsků)

stopy paprsků procházejících  
pupilou oka na sítnici

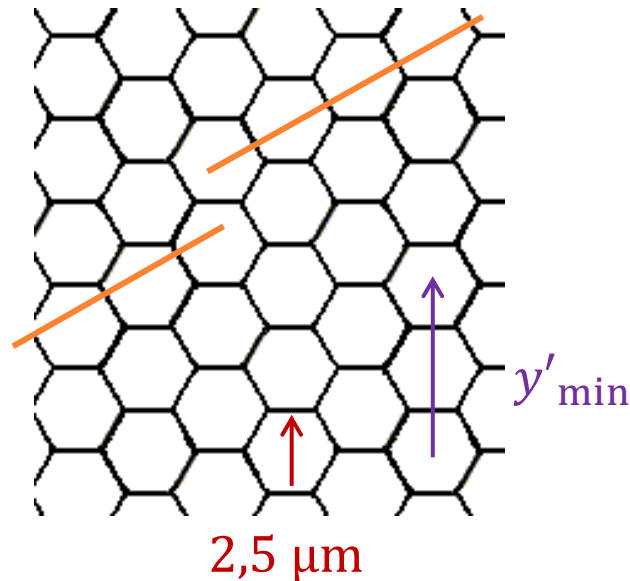
okraj Airyho disku  
(vliv difrakce)



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:

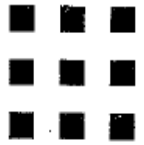


**Schopnost oka vyhodnotit koincidence (návaznost) dvou přímých čar**

Člověk dokáže vyhodnotit koincidence 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. Auge	1. Reich	1. Tagd
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. Vogelsang
8. Pulvermühle	8. Baumeister	8. Stadgericht
9. Ofenrohr	9. Bauzustand	9. Arbeitshaus
10. Kleinbuchstabe	10. Hauptort	10. Augenschwäche
11. Buchstabe	11. Höchstzahl	11. Gießlingverbot
12. Kleinbuchstabe	12. Hauptort	12. Arbeitshaus

# 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 (vidění, *vizus*,  $V$ ) podle **zvětšení** znaků, které bylo potřebné k tomu, aby pacient rozlišil totéž, co „standardní oko“.

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

To odpovídá současné definici zrakové ostrosti (resolution acuity):

$$V = \frac{1'}{\alpha_{\min}(')} = \frac{5}{5} \times \frac{1'}{\alpha_{\min}(')} = \frac{5'}{\alpha_{\text{znak}}(')} = \frac{1}{M}$$

$$M = \frac{\alpha_{\text{znak}}(')}{5'}$$



zvětšení znaků:	2x	zraková ostrost, vizus ( $V$ ):	1/2	0,5
	4x		1/4	0,25
	10x		1/10	0,1



# zraková ostrost – první měření



*H. Snellen  
Med. Dr.*

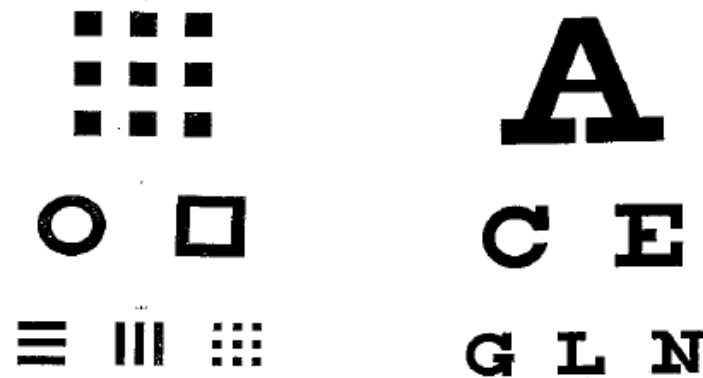
Herman Snellen  
(1834 – 1908)



Na žádost C. Dondersa navrhnul H. Snellen **znaky** pro posuzování stupně zrakové ostrosti (= **optotypy**), publikoval je r. 1862.

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

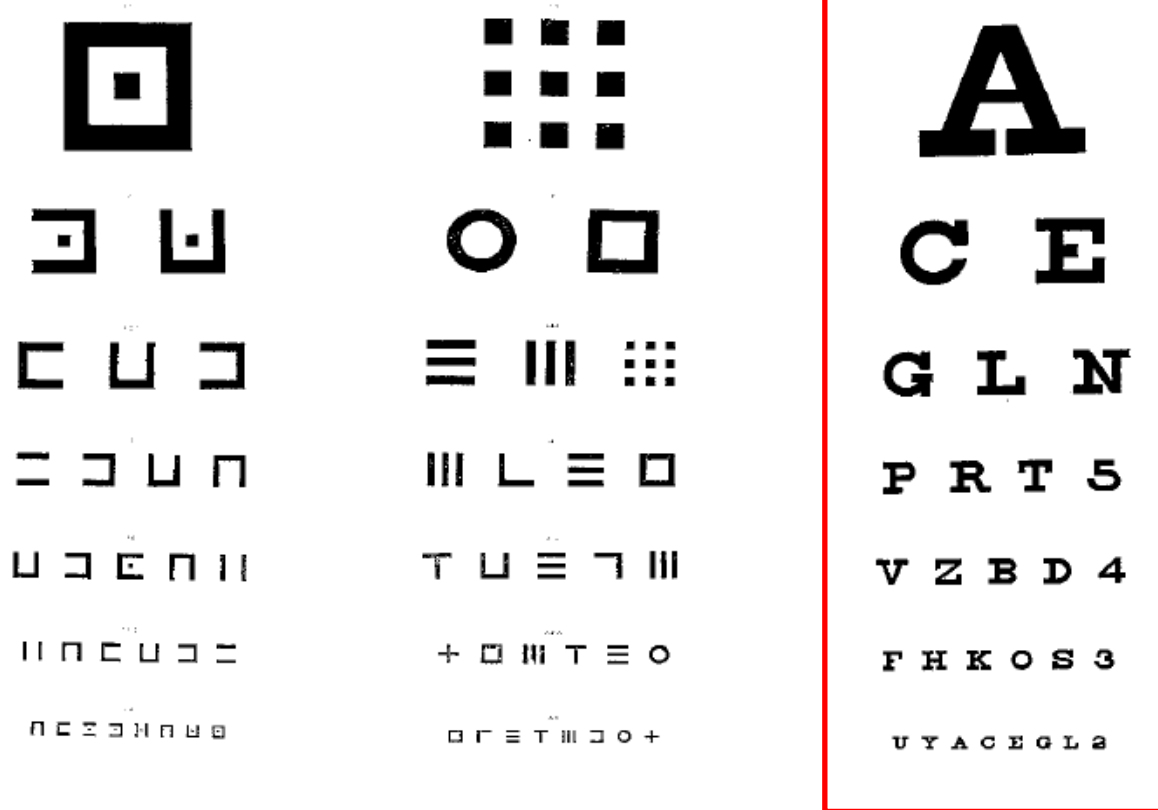
Písmena se ukázala praktičtější, než abstraktní znaky.



# Snellenovy optotypy



*H. Snellen  
Med. Dr.*

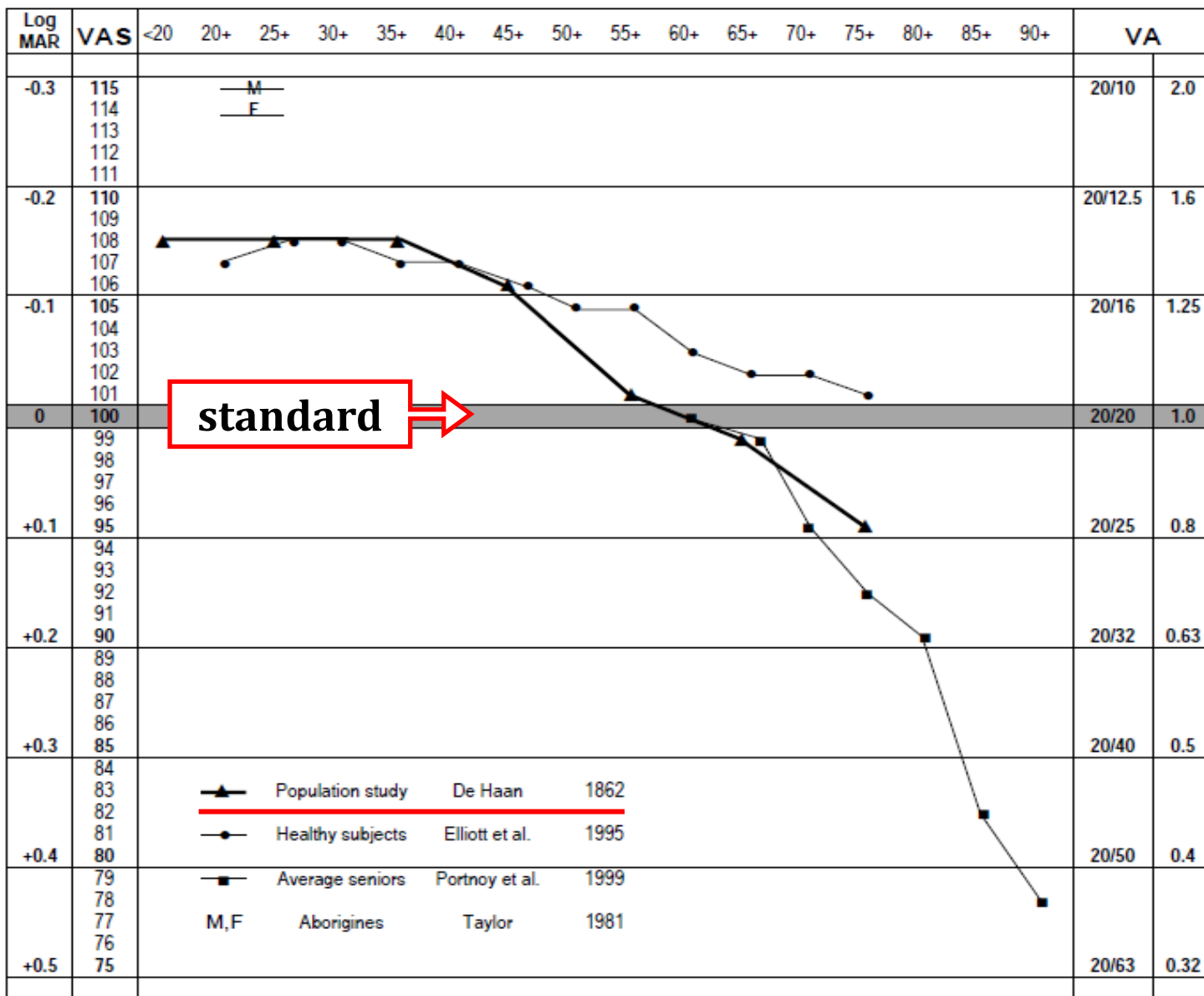


Poprvé publikovány:

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

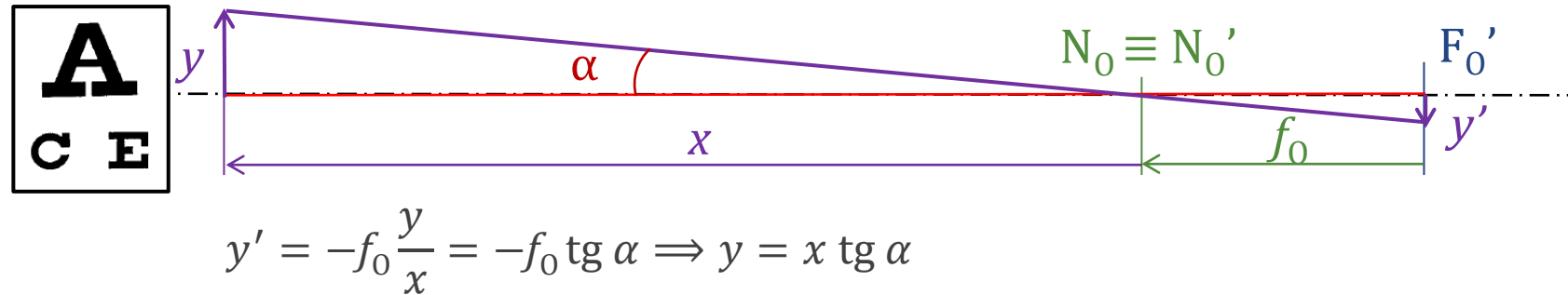
# závislost zrakové ostrosti na věku

První měření  
zrakové ostrosti  
populace provedl na  
žádost F. C. Dondersse  
pomocí Snellenových  
tabulí De Haan roku  
1862.



# vizus a vzdálenosti

$$V = \frac{\text{velikost znaků rozlišená standardním pozorovatelem}}{\text{velikost znaků rozlišená vyšetřovaným}} = \frac{5'}{\alpha_{\text{znak}}(')} = \frac{1}{M}$$



$$V = \frac{\text{standardní vyšetřovací vzdálenost}}{\text{vzdálenost, z níž se nejmenší přečtený znak jeví pod úhlem } 5' \text{ (kritérium = detail znaku pod úhlem } 1')} = \frac{d}{D}$$

... poměr uvedený na optotypové tabuli

Pozor, vyšetřovaný čte z vyšetřovací vzdálenosti  $d, D$  jen vyjadřuje velikost nejmenšího přečteného znaku!

# vizus a vzdálenosti

DIE SEHSCHAERFE (S) WIRD AUSGEDRÜCKT DURCH DAS VERHÄELTNISS  
DES ABSTANDES, IN WELCHEM DER BUCHSTABE ERKANNT WIRD ( $\overset{2}{D}$ )  
ZU DEM ABSTAND, IN WELCHEM ER SICH ÜNTER EINEM WINKEL VON  
FÜNF MINUTEN ZEIGT ( $\overset{2}{D}$ ).

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

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

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

$$s = \frac{2}{10} = 1/5$$

$$s = \frac{1}{6} = 1/6$$

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 nestejné poměry velikosti znaků v různých sériích**. Navrhl používat některá bezpatková písmena, proporcionální velikost mezer 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.

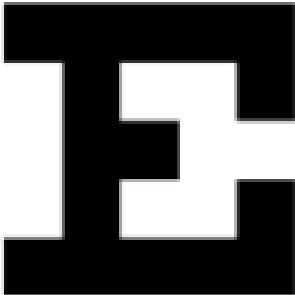
**1976, Ian Bailey a Jan Lovie** navrhli test s 5 písmeny na řádku, se vzdálenostmi znaků i řádků rovnou výšce písmen a logaritmickou stupnicí velikostí (tzv. LogMAR tabulky).


**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

	
<b>E C</b>	VISUS
$\frac{6}{36} = 0,17$	
<b>B T Z</b>	$\frac{6}{24} = 0,25$
<b>F C L B O</b>	$\frac{6}{18} = 0,33$
<b>T O E B H F C</b>	$\frac{6}{12} = 0,5$
<b>Z E B H C L F O B</b>	$\frac{6}{9} = 0,67$
<b>C B F Z E T F B O C Z E</b>	$\frac{6}{6} = 1$
<b>E Z C O B F C H E L B Z</b>	$\frac{6}{5} = 1,2$

	<b>1</b>	20/200
<b>F P</b>	<b>2</b>	20/100
<b>T O Z</b>	<b>3</b>	20/70
<b>L P E D</b>	<b>4</b>	20/50
<b>P E C F D</b>	<b>5</b>	20/40
<b>E D F C Z P</b>	<b>6</b>	20/30
<b>F E L O P Z D</b>	<b>7</b>	20/25
<b>D E F P O T E C</b>	<b>8</b>	20/20
<b>L E F O D P C T</b>	<b>9</b>	
<b>F D P L Y C H O</b>	<b>10</b>	
<b>F E R O L C P T D</b>	<b>11</b>	

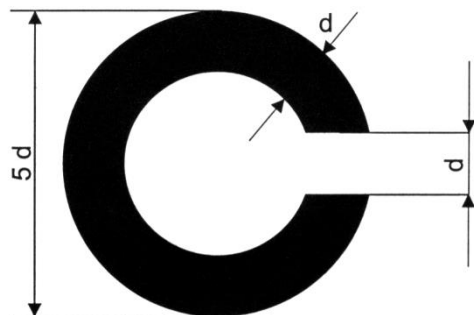
## Celořádková metoda

(ČSN EN ISO 8596):

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

$$V = \frac{\text{vyšetřovací vzdálenost}}{\text{vzdálenost, z níž se znak jeví pod úhlem } 5'}$$

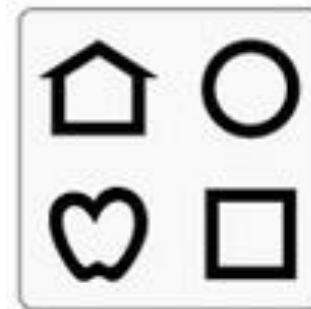
# další používané symboly



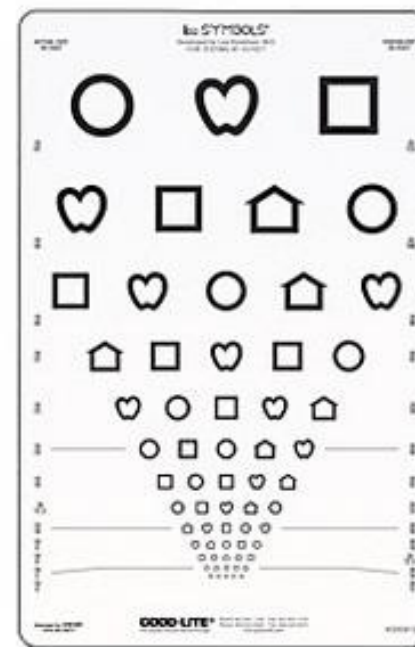
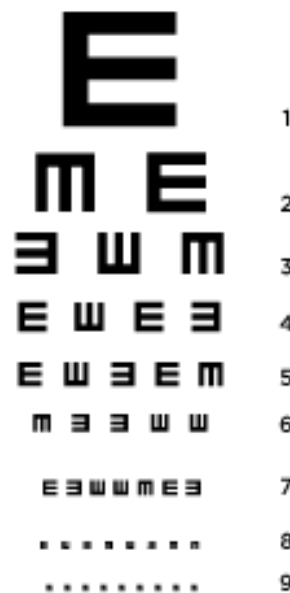
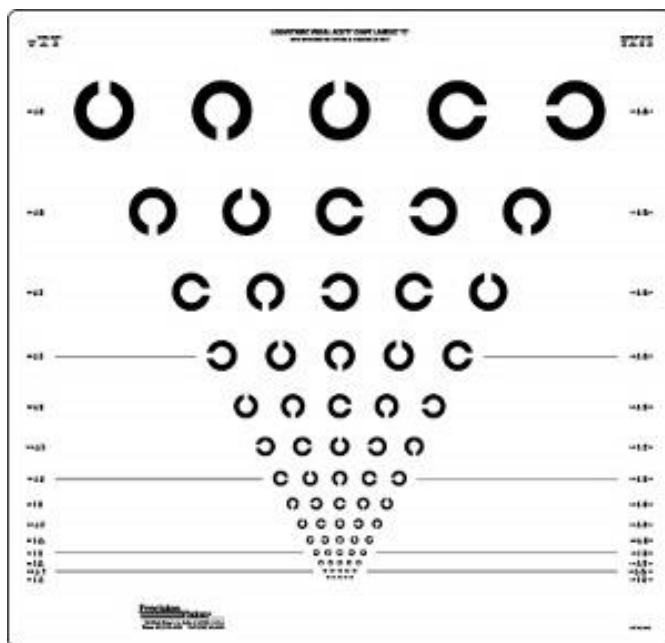
Landoltovo „C“



Plügerův „hák“



„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 gesehn 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 tabule:

V des. č.	V zlomkem	poměry	V des. č.	V zlomkem	poměry
0,10	6/60	-	0,10	5/50	-
0,20	6/30	2,0	0,17	5/30	1,7
0,25	6/24	1,25	0,25	5/20	1,47
0,33	6/18	1,32	0,33	5/15	1,32
0,40	6/15	1,21	0,50	5/10	1,51
0,50	6/12	1,25	0,67	5/7,5	1,34
0,67	6/9	1,34	<b>1,00</b>	<b>5/5</b>	1,49
<b>1,00</b>	<b>6/6</b>	1,49	1,25	5/4	1,25
1,50	6/4	1,5			

# 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
<b>6/6</b>	<b>1,00</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
6/4,75	1,25	-0,1	110
6/3,75	1,60	-0,2	120
6/3	2,00	-0,3	130

$$\text{LogMAR} = \log_{10} \left( \frac{1}{V} \right) = \log_{10} \left( \frac{\alpha_{\min} (')}{1'} \right)$$

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

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

(Visual Acuity Rating, Bailey)

# tabule ETDORS



## Interpolační 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 (VAR)
- za každý další přečtený znak (ze stejného řádku nebo řádků následujících) se odečte 0,02 LogMAR (přičte 2 VAR)

V des. č.	Log MAR	VAR
0,63	0,2	80
0,80	0,1	90
<b>1,00</b>	<b>0,0</b>	<b>100</b>
1,25	-0,1	110



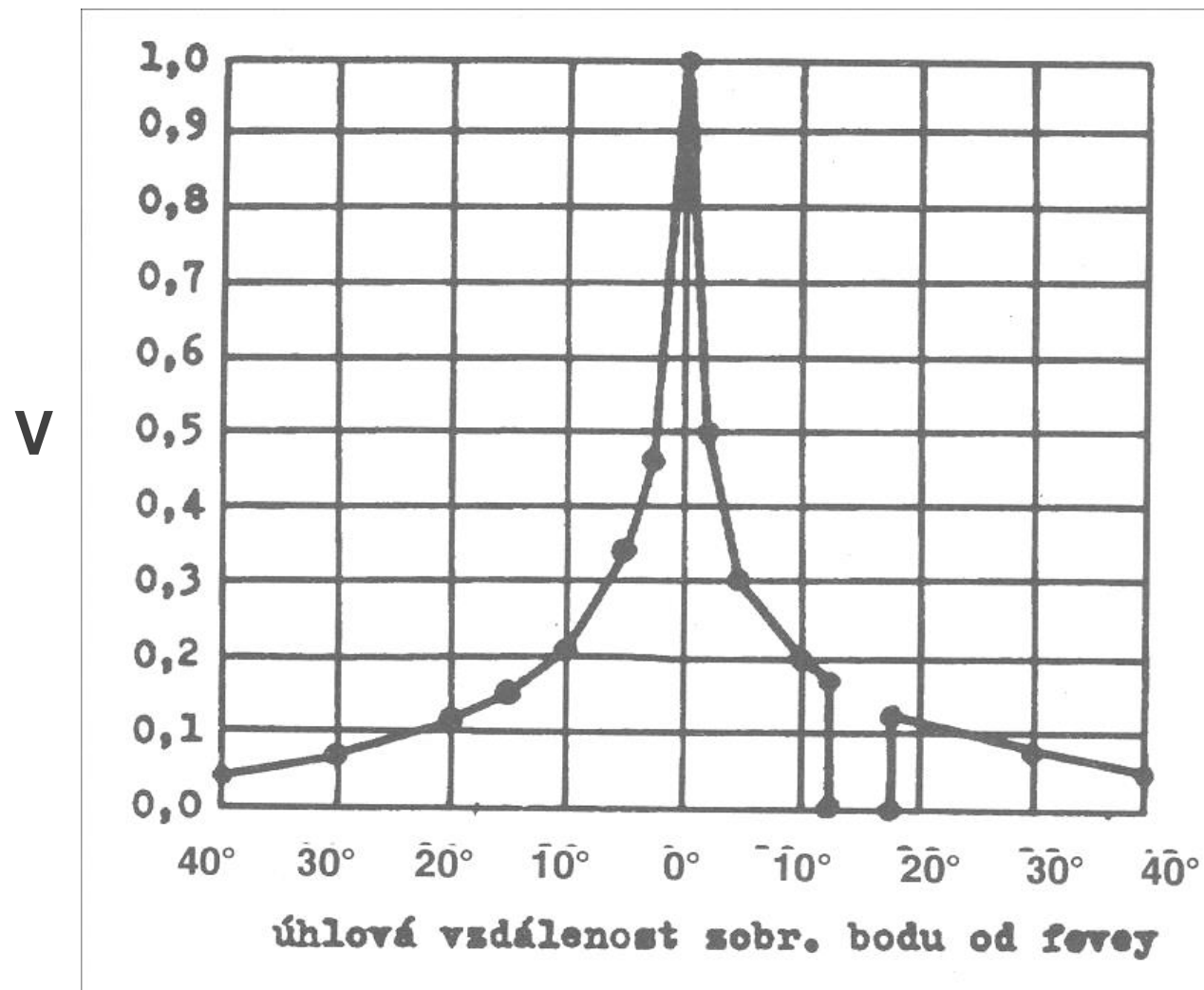


# tabule cRLM

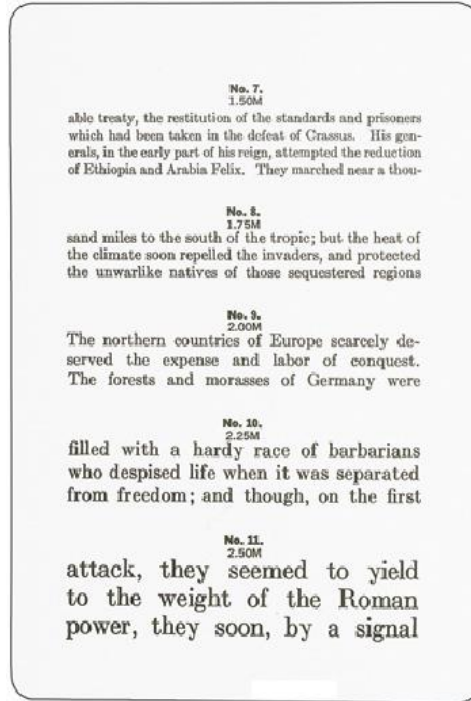
D Z O	1,0
C H R	0,9
O Z K	0,8
N V O	0,7
R H S	0,6
C N V	0,5
D Z O	0,4
S N K	0,3
V S H	0,2
O Z D	0,1
K N C	0,0
V O H	-0,1
C Z O	-0,2
R V H	-0,3

(compact reduced LogMAR)

# závislost zrakové ostrosti na úhlu



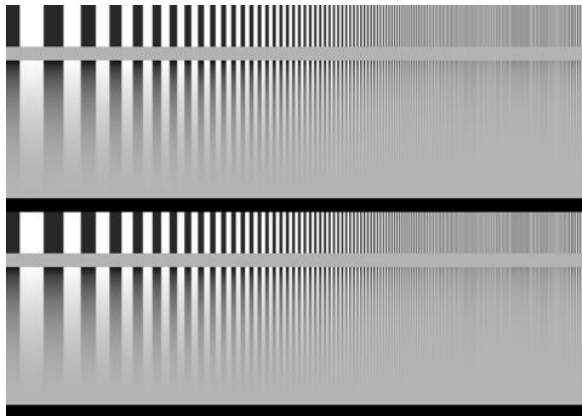
# optotypy na blízko a kontrastní tabulky



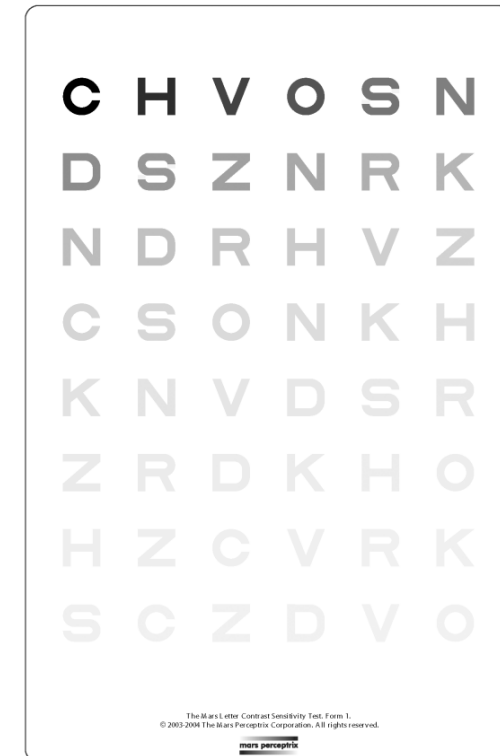
## Jägerovy tabulky

Eduard Jäger, 1854 navrhl tabulky pro měření zrakové ostrosti, které se dodneška používají na blízko.

Podle velikosti písma jsou odstavce označeny čísly 1 – 24.

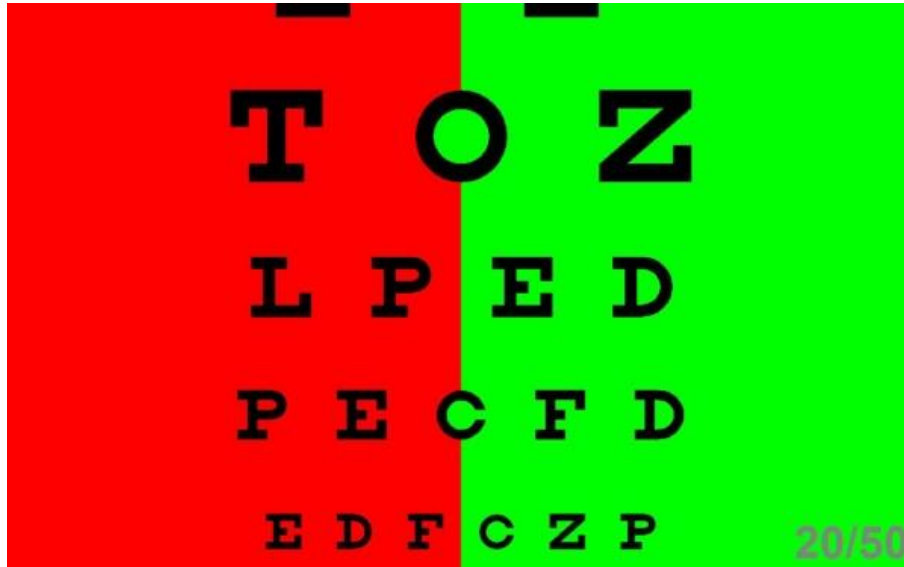


Kontrastní tabulka



Optotypový test na kontrastní citlivost

# 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.