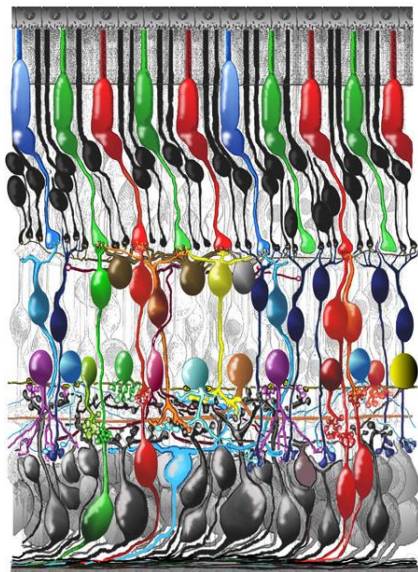
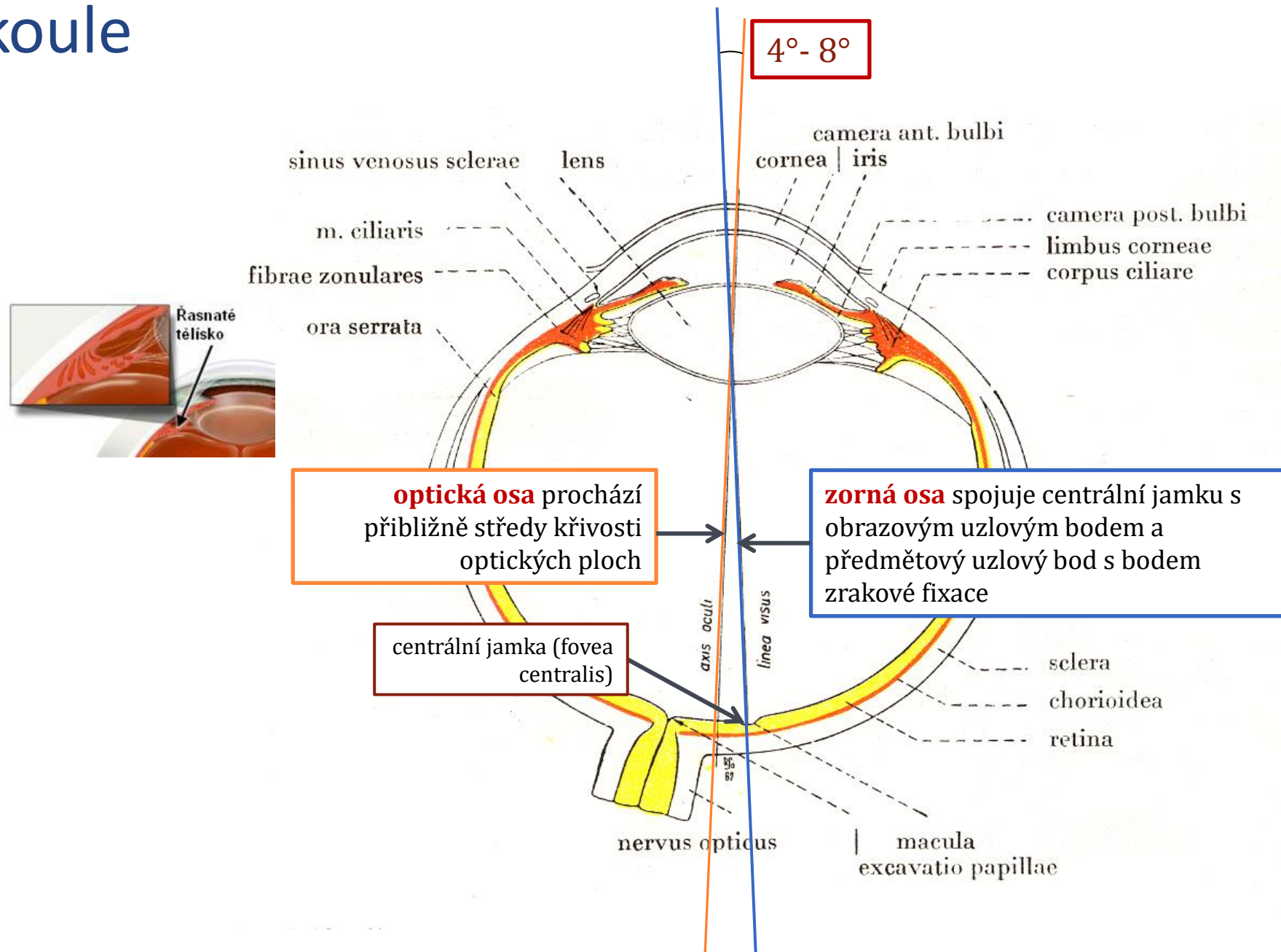


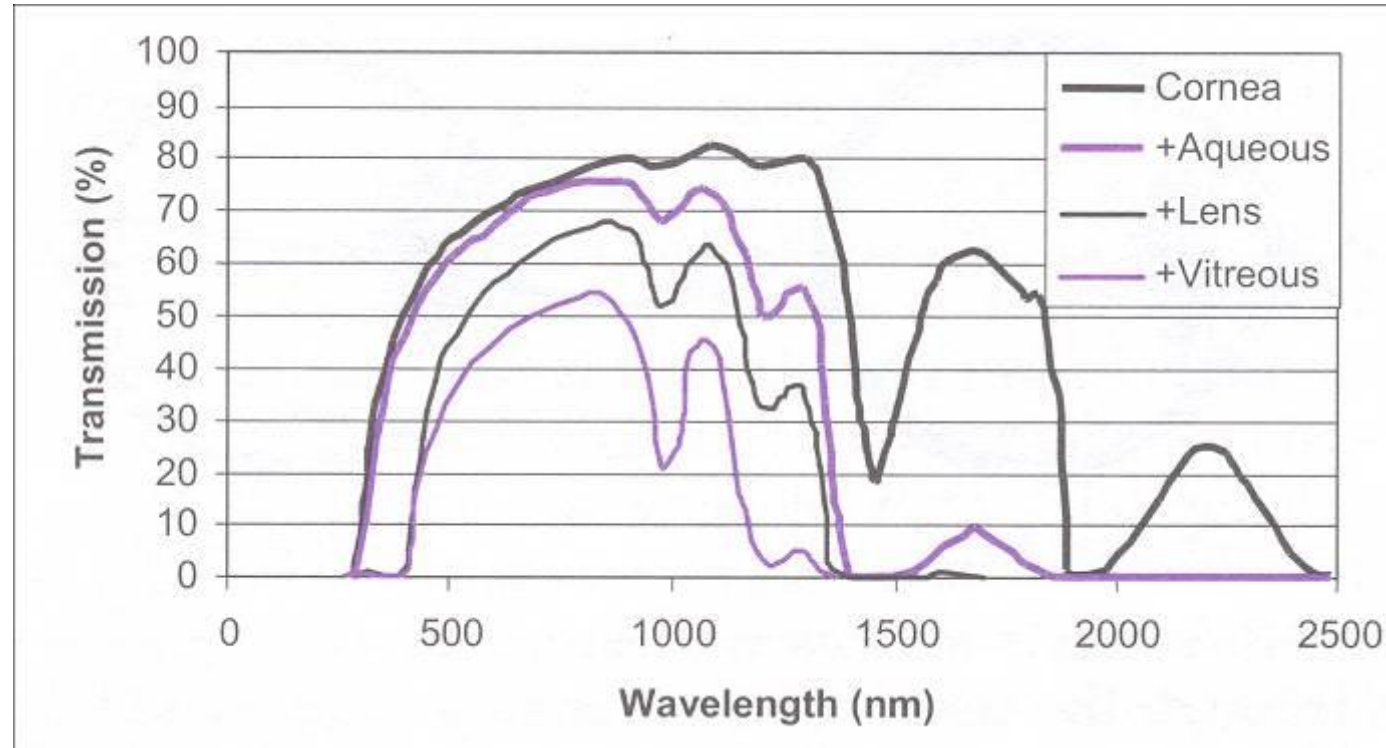
Zraková ostrost, optotypy



Oční koule



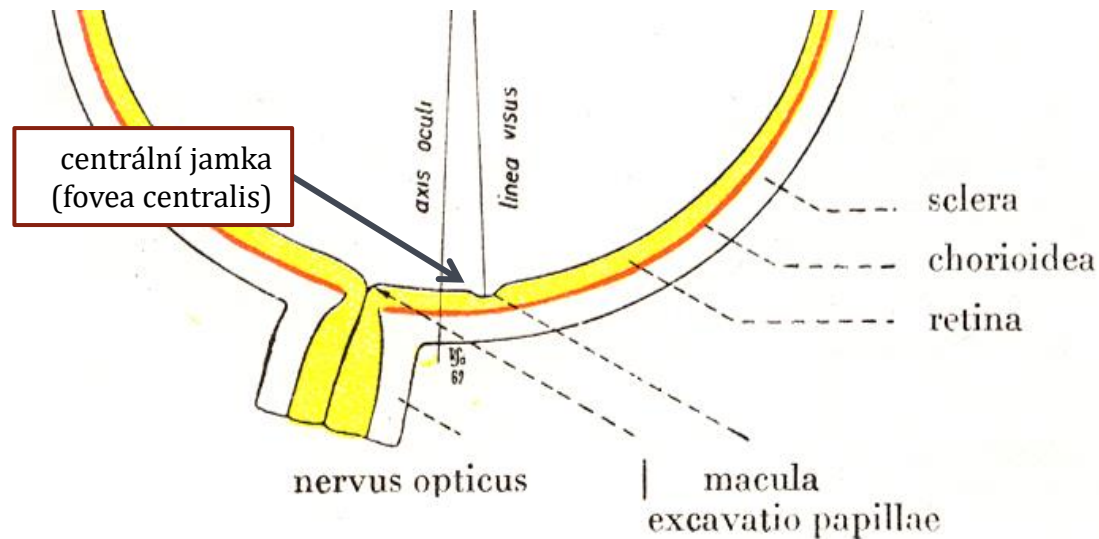
Spektrální propustnost oka



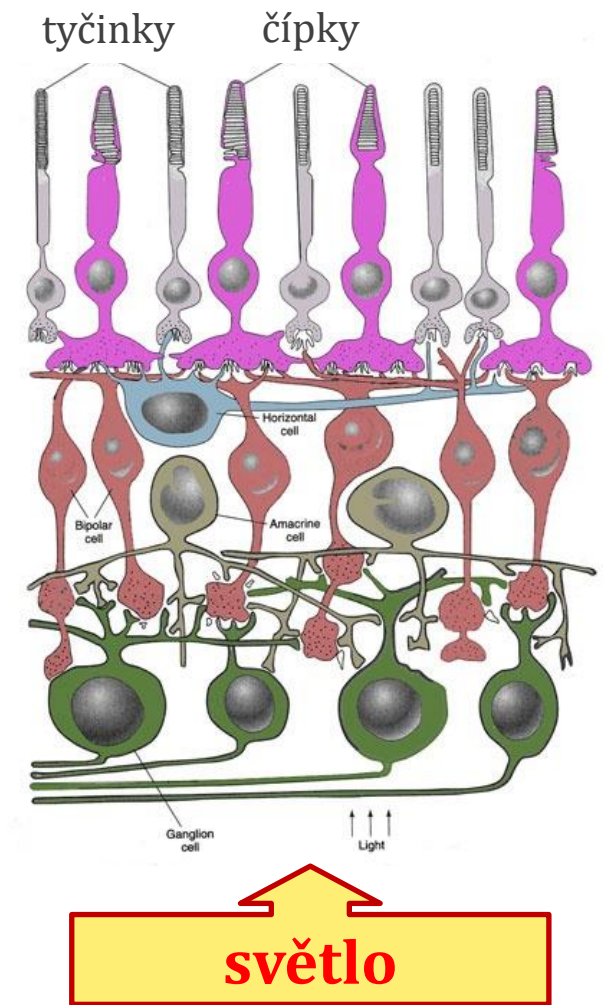
kumulativní spektrální propustnosti jednotlivých optických vrstev oka

(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

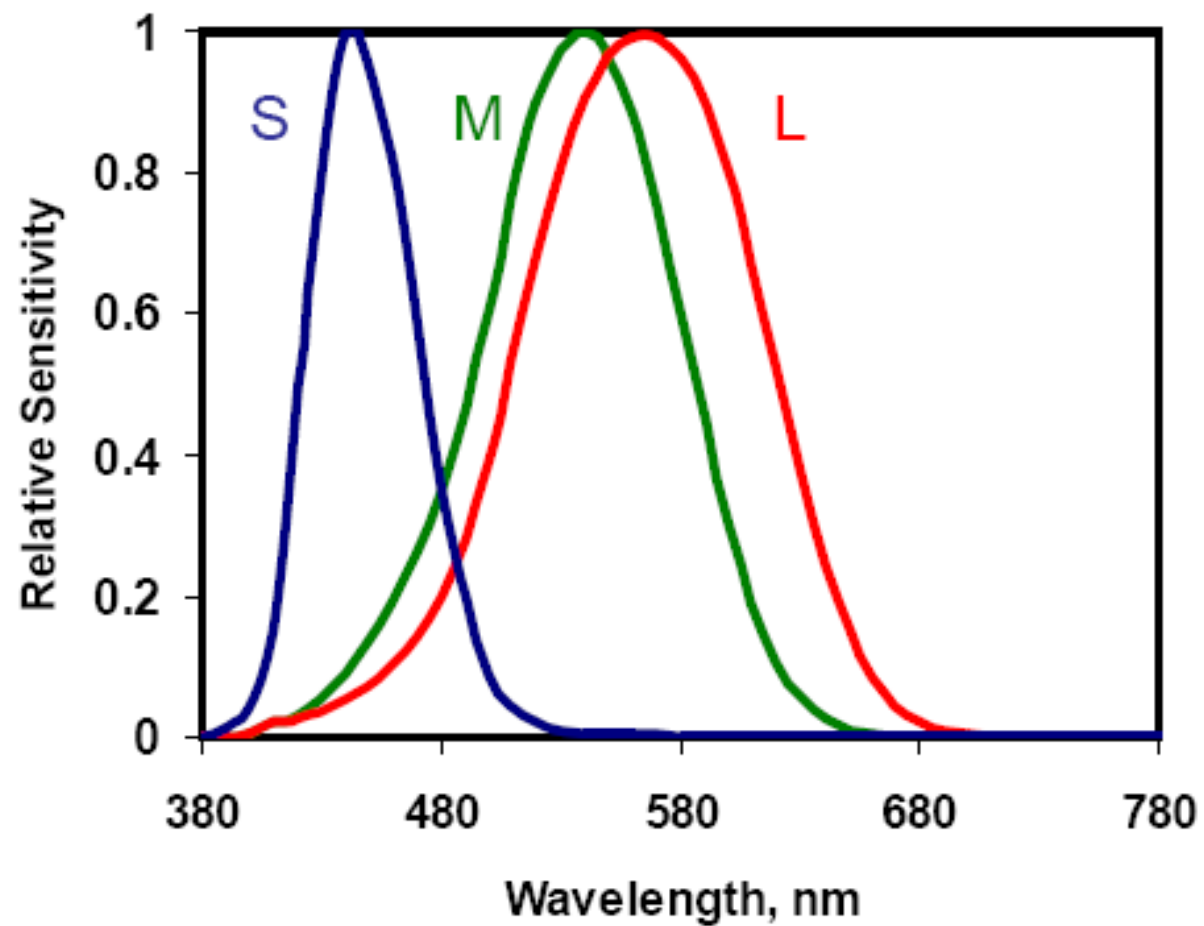
- vnější segment je tvořený oddělenými disky naplněnými rhodopsinem
- poskytují noční, tzv. skotopické, monochromatické vidění
- „vysvěcují se“ (přestávají pracovat) v jasném světle, mají rychlou časovou odezvu
- leží hlavně v okrajových částech sítnice, nejsou v centrální části (0,2 mm)
- celkový počet tyčinek na sítnici je asi 125 milionů

čípky

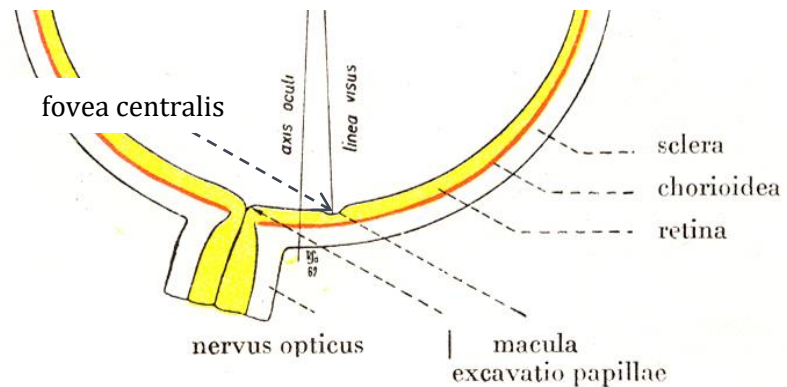
- vnější segment je tvořený řasami naplněnými fotocitlivou látkou (tři různé opsiny)
- poskytují denní, tj. fotopické barevné vidění
- v oku člověka jsou tři skupiny čípků (pro krátké, střední a dlouhé vlnové délky světla)
- jsou necitlivé ve tmě, mají pomalou časovou odezvu
- jsou umístěny většinou v centrální jamce (fovea centralis), částečně i na okraji sítnice
- celkový počet čípků na sítnici je asi 6,4 milionu



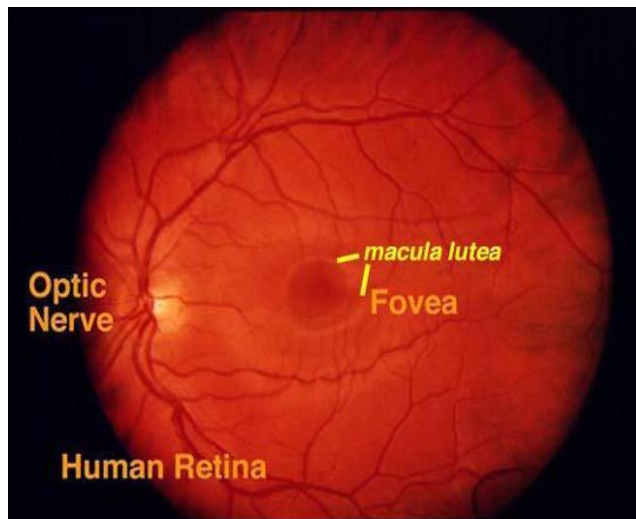
Spektrální citlivost čípků



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**, delší a štíhlejší, než v jiných částech sítnice
- průměr čípku je 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

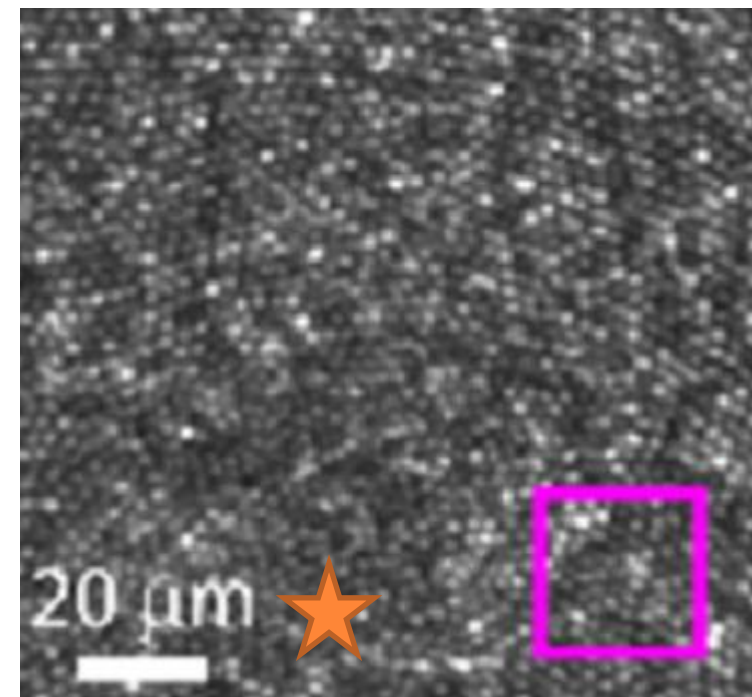
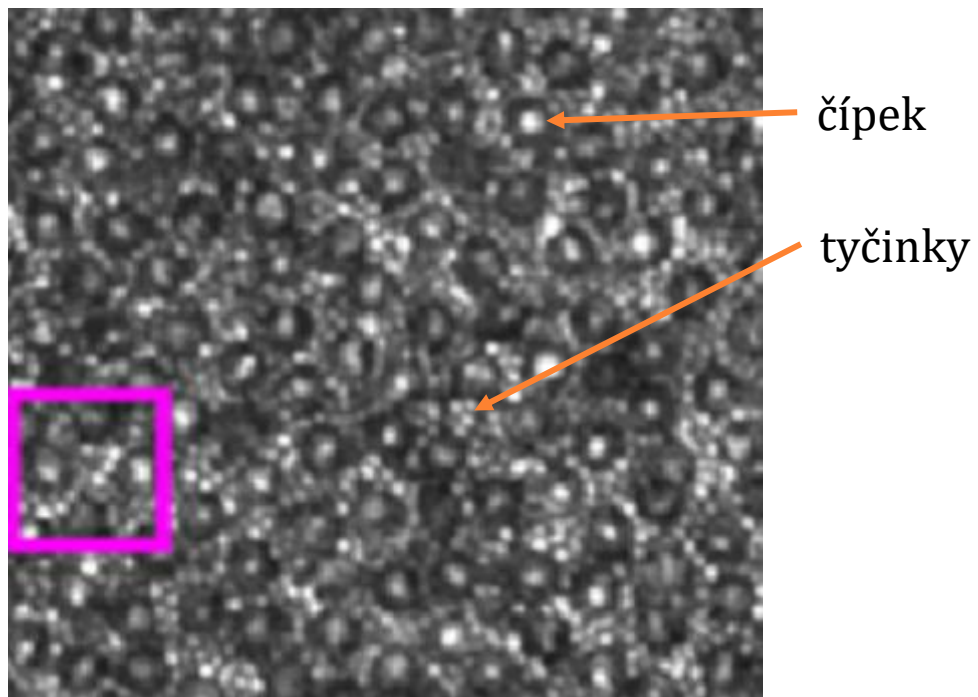
Zobrazení fotoreceptorů sítnice mikroskopem

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

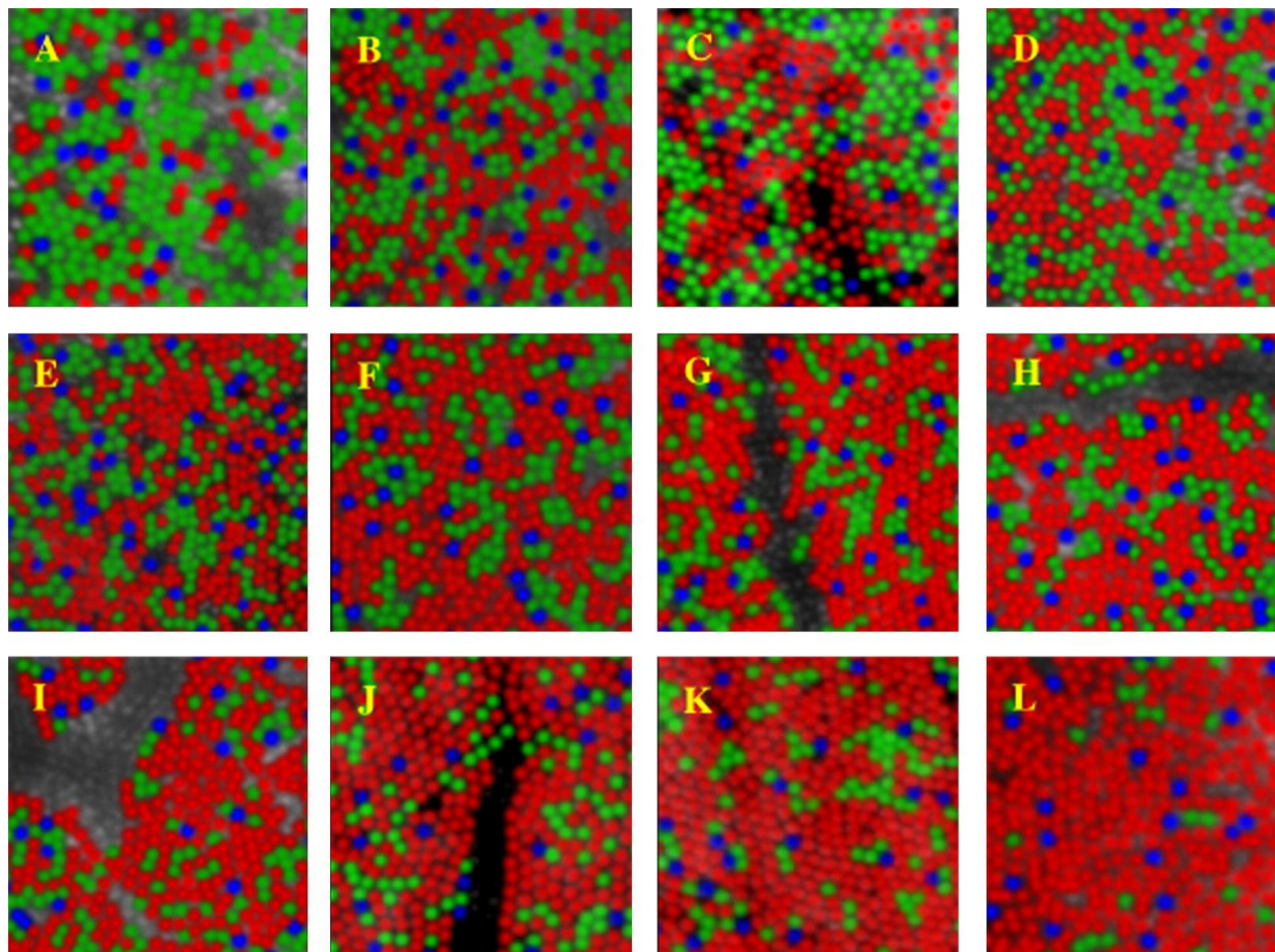


Rozložení S, M, L čípků na sítnici

Rozložení čípků na sítnici 10 subjektů s normálním barevným viděním získané kombinací metod adaptivního optického zobrazení a sítnicové denzitometrie (panely D a E, a J a K ukazují vždy zobrazení nazální a temporální sítnice téhož subjektu. Pseudobarvy modrá, zelená a červená odpovídají S, M, and L čípkům (skutečné barvy jsou žlutá, fialová a modrofialová). Je zřejmá enormní variabilita poměru L/M (A, 0.37, B, 1.11, C, 1.14, D, 1.24, E, 1.77, F, 1.88, G, 2.32, H, 2.36, I, 2.46, J, 3.67, K, 3.90, L, 16.54).

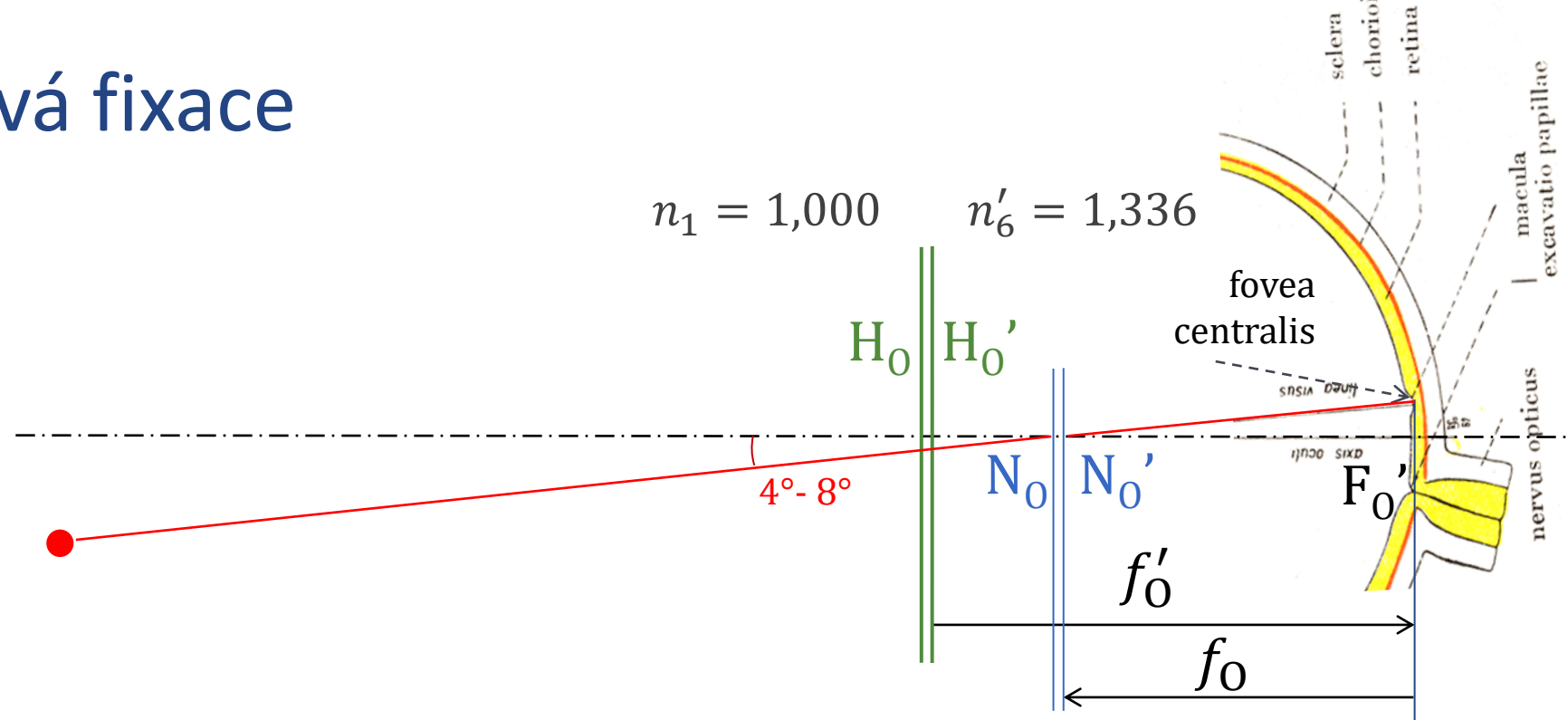
Podíl S čípků je relativně konstantní u všech očí v rozsahu od 3.9 % do 6.6 % v populaci. Zobrazení byla snímána buď 1° nebo 1.25° od středu fovey.

David R. Williams, Imaging single cells in the living retina, Vision Research 51 (2011) 1379.



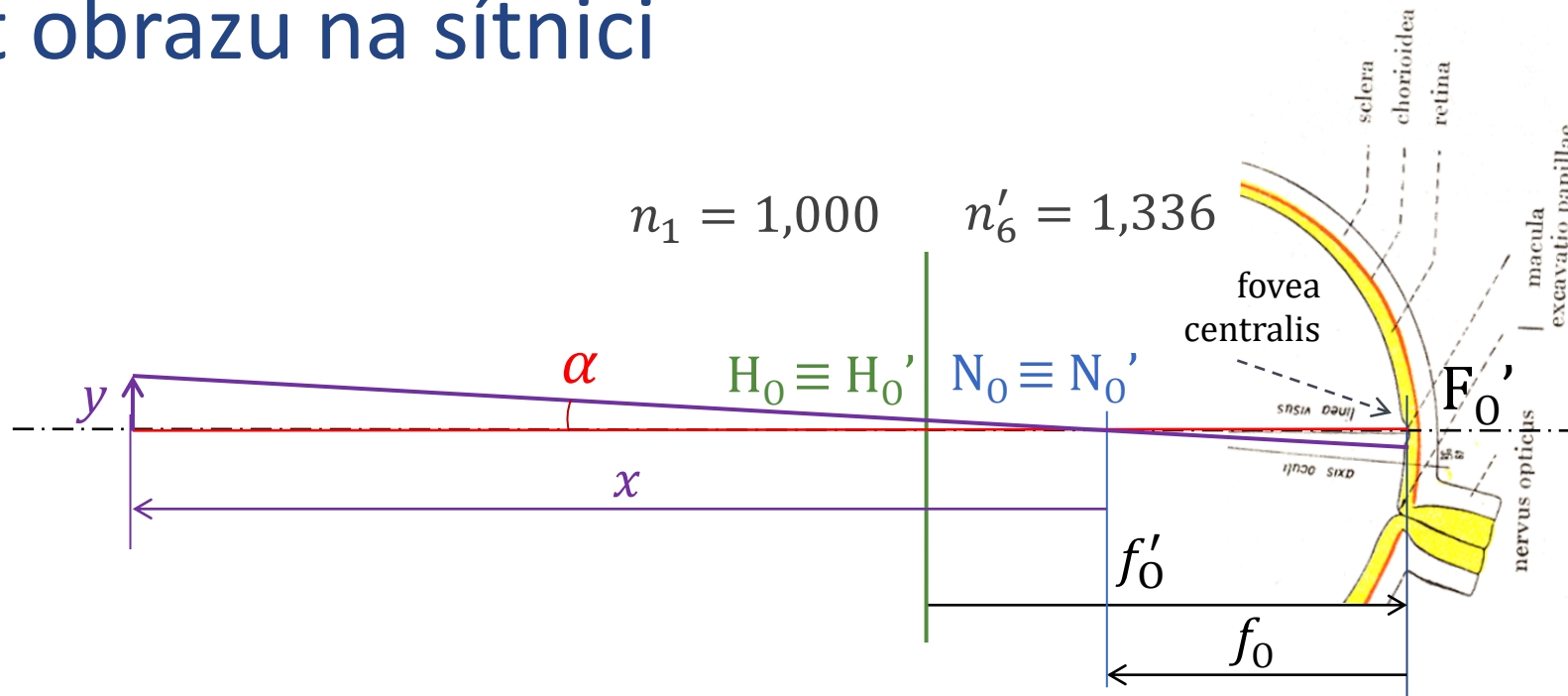
5 arcmin

Zraková fixace



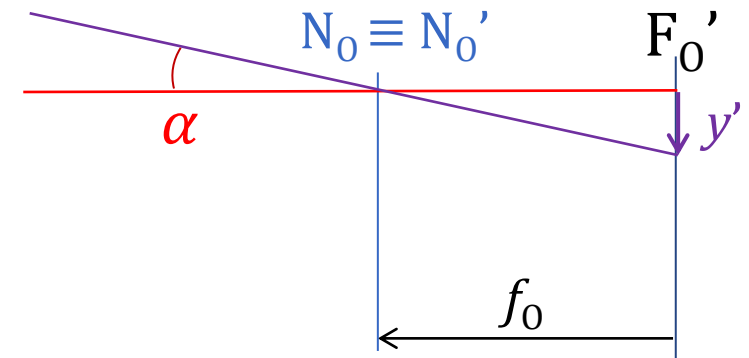
- konjugované páry hlavních rovin a uzlových bodů mají vzdálenosti 0,25 mm, proto se sjednocují do **jedné hlavní roviny** oddělující indexy lomu vzduchu a sklivce a do **jednoho uzlového bodu** (podobně redukovanému modelu oka)
- ohniskové vzdálenosti: $f_0 = -17,05$ mm, $f'_0 = 22,78$ mm, délka oka 24 mm
- při zrakové fixaci se oko se natáčí tak, aby bod fixace ležel **na spojnici se sdruženým uzlovým bodem a fovea centralis**

Velikost obrazu na sítnici



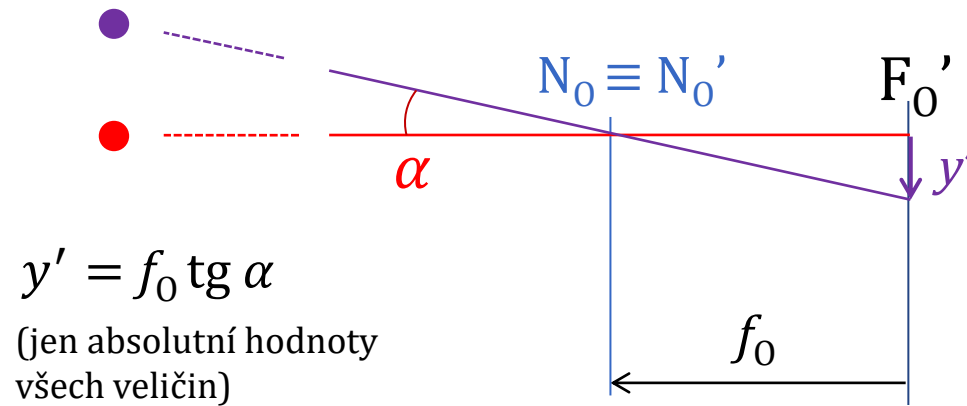
- ohnisková vzdálenost: $f_0 = -17,05$ mm
- předmět **o výšce y** ležící ve velké vzdálenosti x před okem (optické ∞), se zobrazuje **pod úhlem α** na sítnici,
- obraz na sítnici má **velikost y'**

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

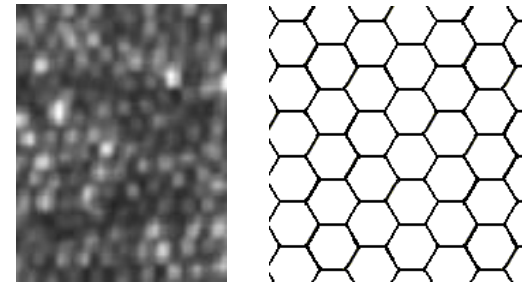


Angulární zrková ostrost

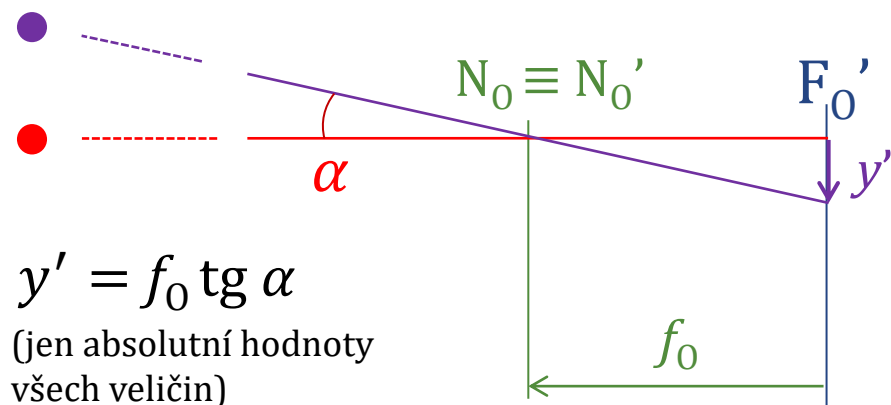
- **Zrková ostrost** (*visual acuity, VA, V*) je kvalita a stupeň schopnosti oka rozlišovat prostorové detaily předmětu.
- **Angulární zrková ostrost** (*resolution acuity, rozlišovací schopnost*) je definována poměrem $V = \alpha_{\text{stand}} / \alpha_{\text{min}} (')$, kde
 - α_{stand} je nejmenší úhlová vzdálenost bodů rozlišených **standardním** okem
 - α_{min} je nejmenší úhlová vzdálenost bodů rozlišených **posuzovaným** okem



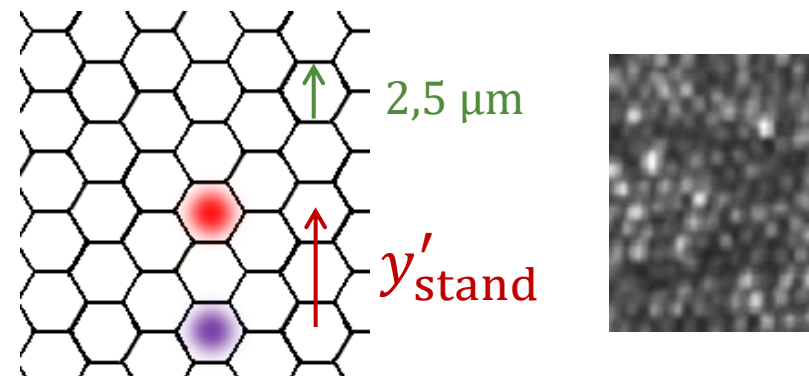
čípky ve fovea centralis



Standardní angulární zrková ostrost



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



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

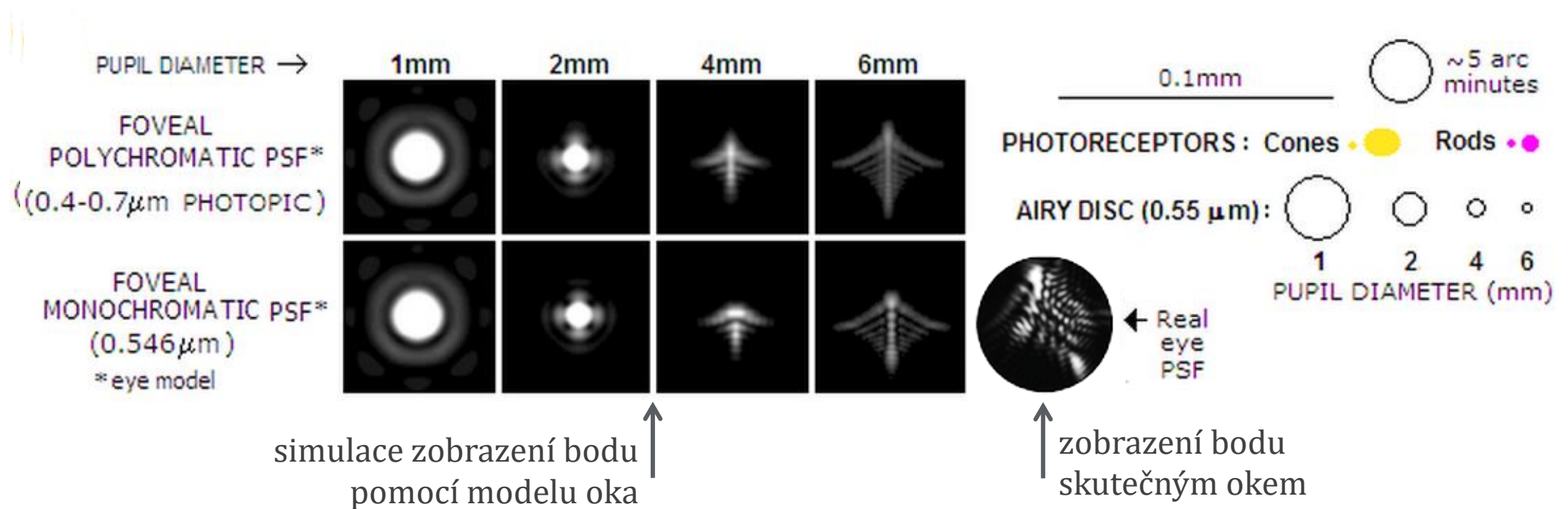
$$\alpha_{\text{stand}} \approx 0,00029 \text{ rad} = 0,9969' \approx 1' \quad (1 \text{ úhlová minuta})$$

Standardní (zdravé) oko je schopno rozlišit 2 body o úhlové vzdálenosti $\alpha_{\text{stand}} = 1'$ (standardní rozlišovací schopnost, *minimum separabile*, *minimum angle of resolution*, MAR). Tomu odpovídá zrková ostrost (resolution acuity) $V = \alpha_{\text{stand}} / \alpha_{\text{min}}(') = 1' / 1' = 1$.

Zhoršení zrakové ostrosti

Zhoršení zrakové ostrosti může být způsobeno:

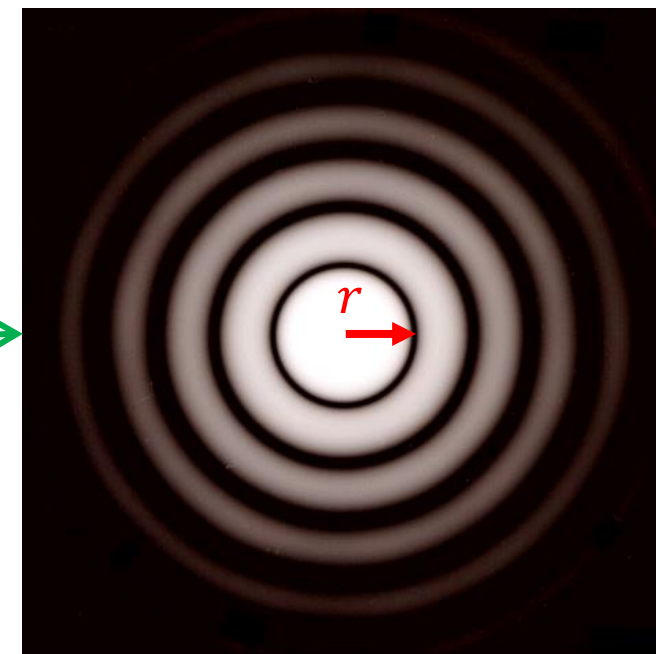
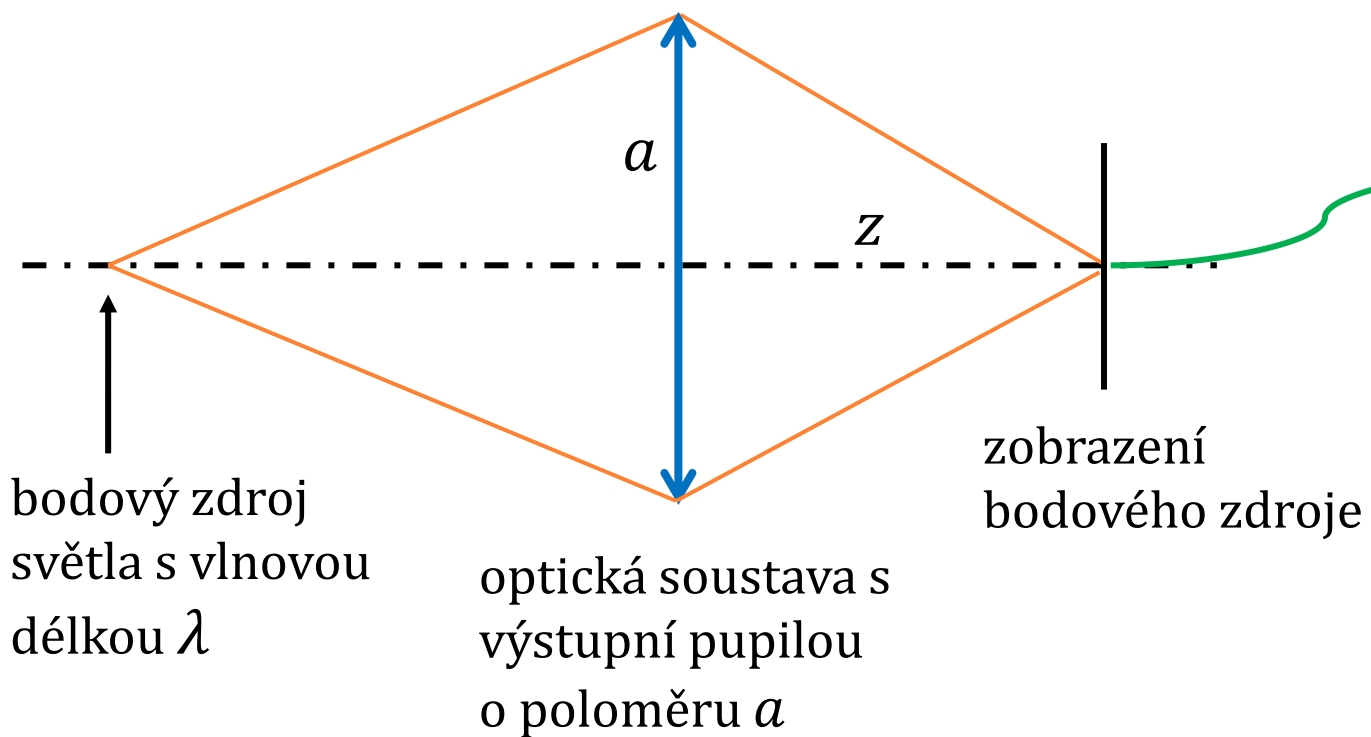
- **vadou optické soustavy oka** (refrakční vadou, dalšími optickými aberacemi oka),
- **difrakcí světla** (nemá-li optický systém aberace, zobrazí se bod jako tzv. Airyho disk, který je větší pro menší průměr pupily oka),
- **vadou sítnice** (retinopatie),
- **rozptylem světla** na nehomogenitách v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



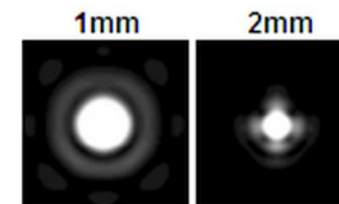
Více o difrakci světla

Difrakce světla ...

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



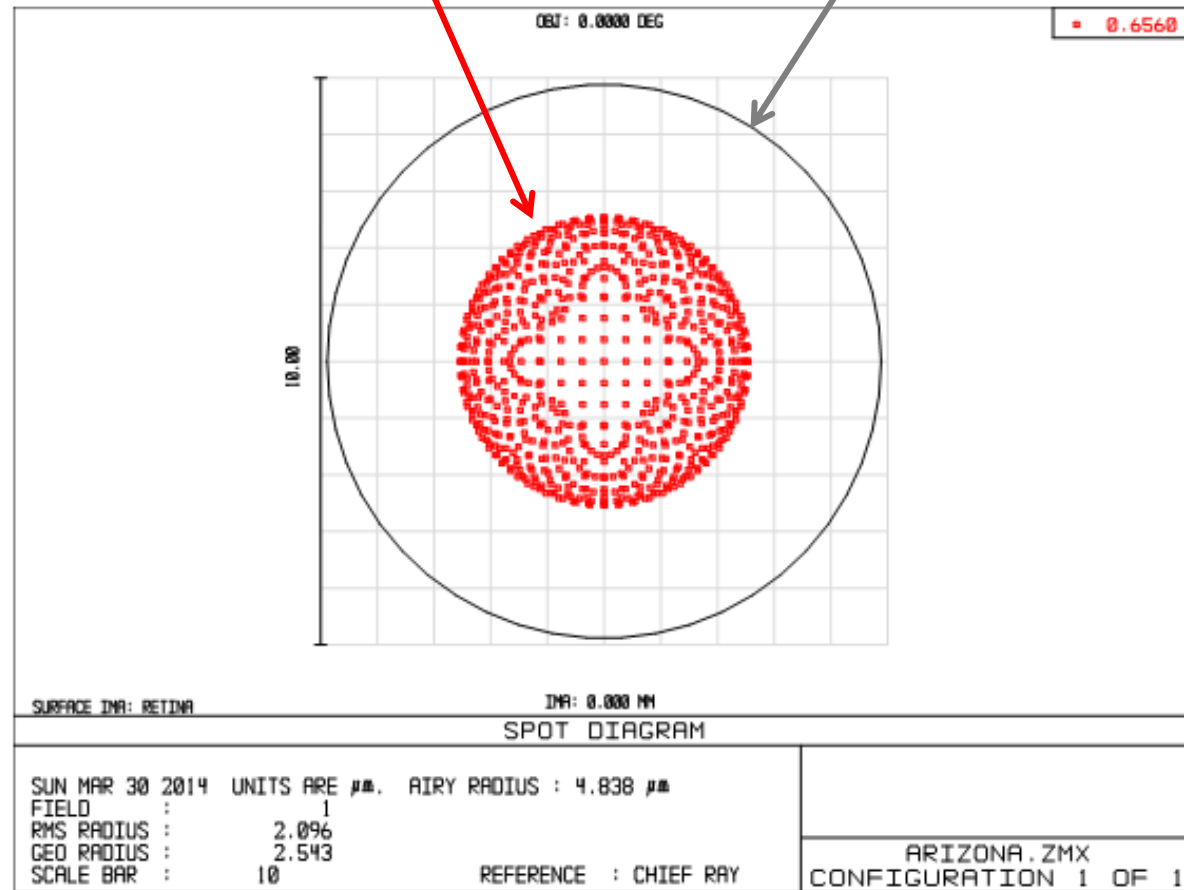
$$r \sim \frac{\lambda z}{a}$$



Příklad zobrazení bodu (trasování paprsků)

stopy paprsků procházejících
pupilou oka na sítnici

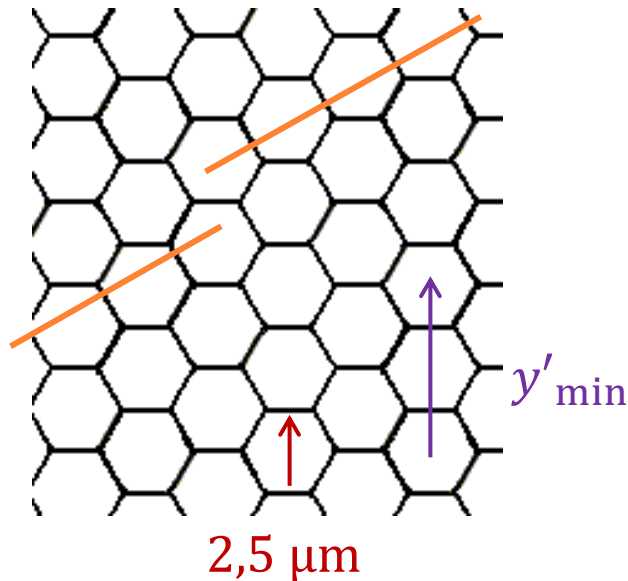
okraj Airyho disku
(vliv difrakce)



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 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. Auge	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. Vogelsang
8. Pulvermühle	8. Baumeister	8. Stadtgericht
9. Ofendhür	9. Hausaufwand	9. Hebelthau
10. Kleinbüchse	10. Pfingsttag	10. Augenschwäche
11. Kuchentopf	11. Buchstaben	11. Krählingvogel
12. Kugelgeschloß	12. Kugelgeschloß	12. Kugelgeschloß

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“ takto:

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

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

Zraková ostrost – první definice a efekt brýlové čočky



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

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

α_{znak} ... úhlová velikost
nejmenšího rozlišeného znaku
v úhlových minutách



Dondersova definice odpovídá současné
definici zrakové ostrosti (resolution acuity):

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

Má-li brýlová čočka zvětšení M_L , vidíme $M_L \times$ větší obraz,
tedy pro **vizus s brýlovou čočkou** platí $V_L = M_L V$.

Zraková ostrost – první měření



*H. Snellen
Med. Dr.*

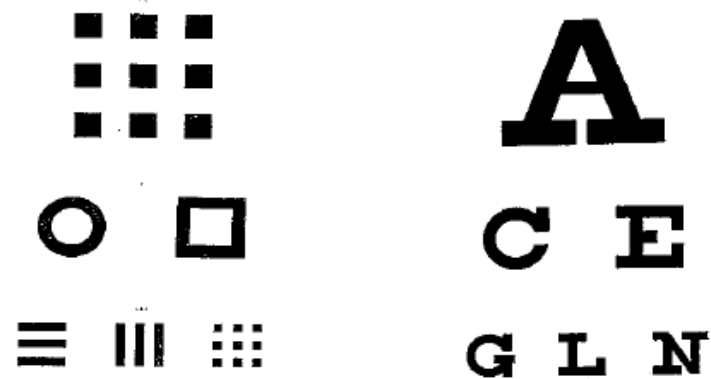
Herman Snellen
(1834 – 1908)



Na žádost C. Donderse 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')

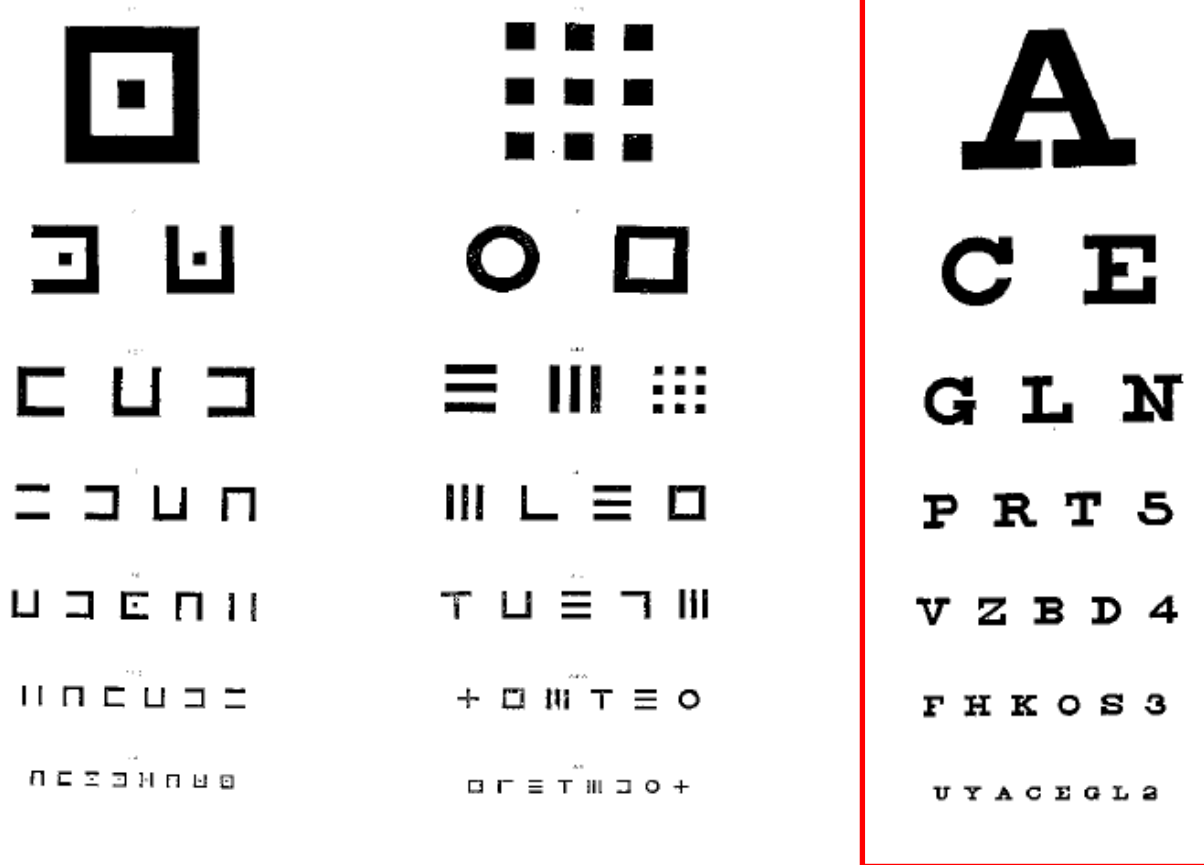
Písmena se ukázala praktičtější, než abstraktní znaky.



Snellenovy optotypy



*H. Snellen
Med. Dr.*

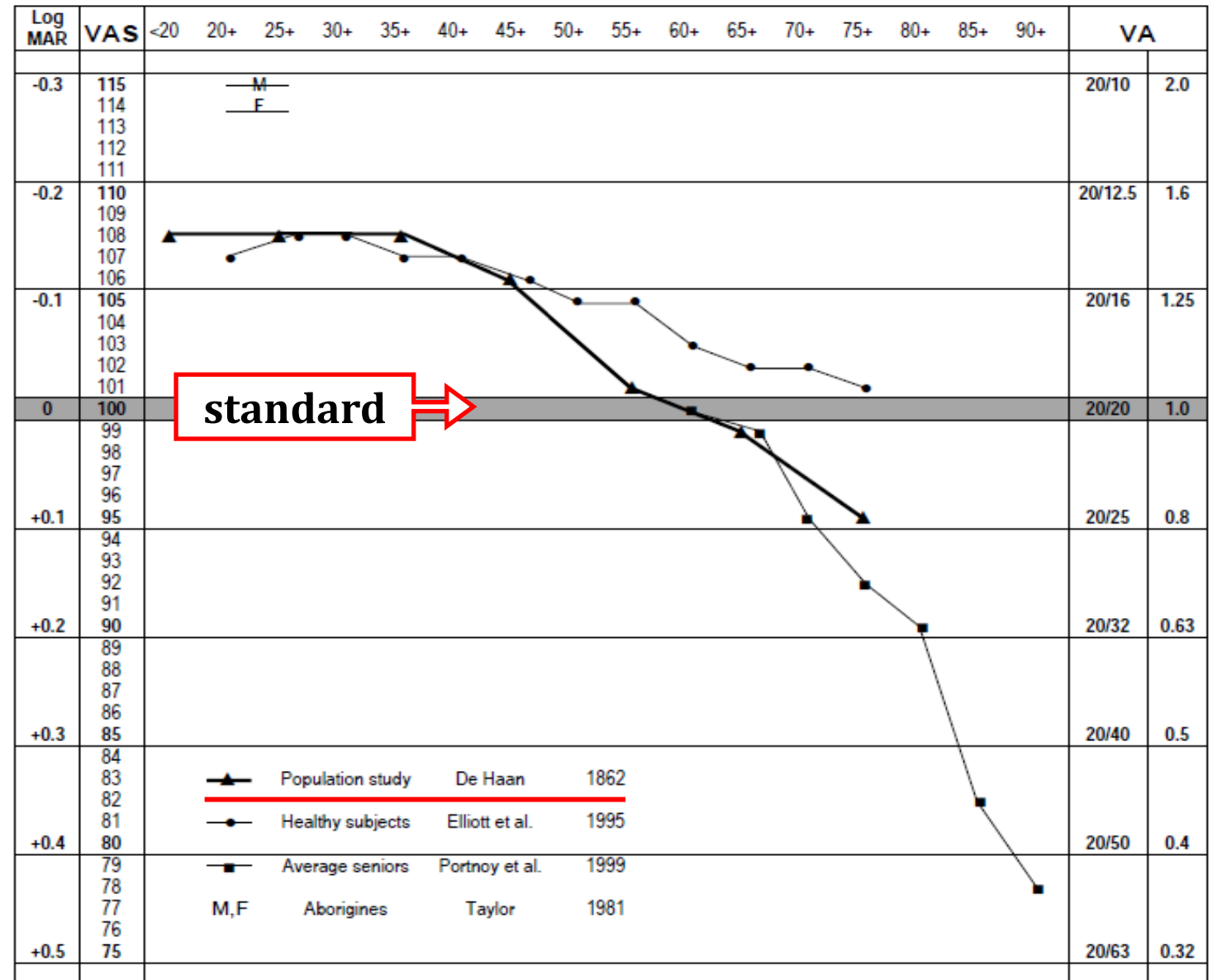


Poprvé publikovány:

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

Závislost zrakové ostrosti na věku

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

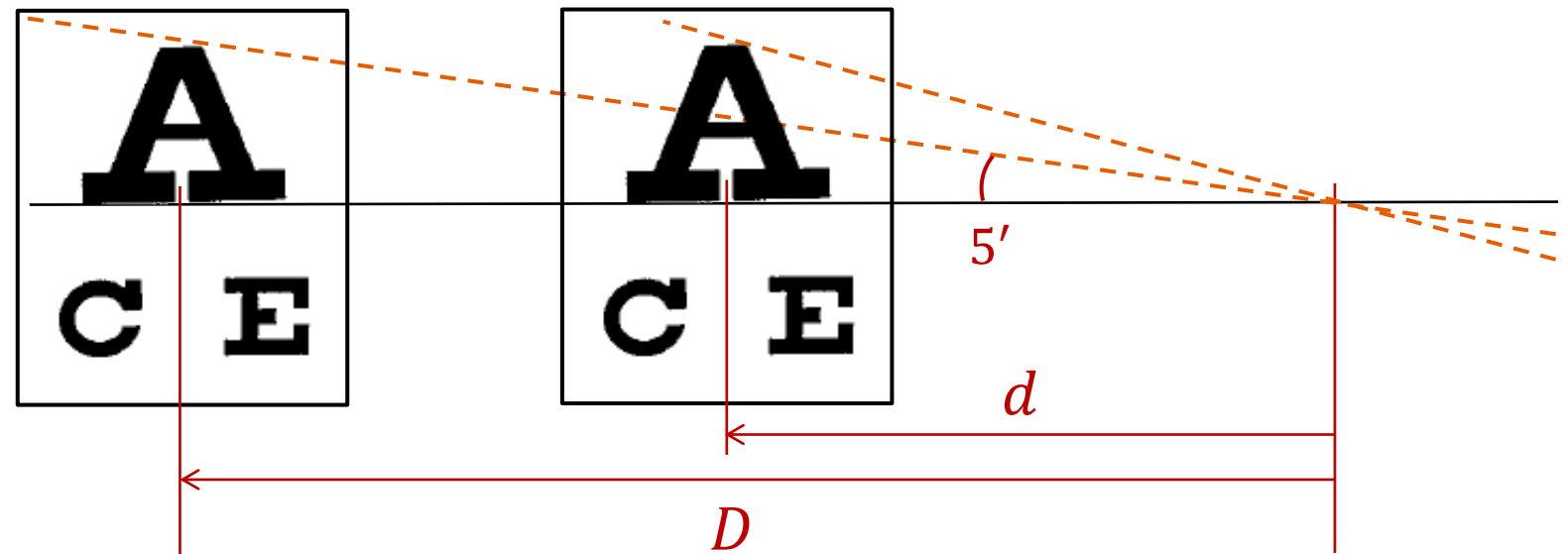


Vizus a vzdálenosti

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

Velikost znaků lze také vyjádřit vzdáleností D , z níž by se daný znak jevil pod úhlem $5'$ (jeho detail – kritérium - pod úhlem $1'$).

Standardní vyšetřovací vzdálenost optotypové tabule označme d .



Pak:

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

... poměr uvedený na optotypové tabuli

Vizus a vzdálenosti

DIE SEHSCHAERFE (S) WIRD AUSGEDRÜCKT DURCH DAS VERHÄELTNISS
DES ABSTANDES, IN WELCHEM DER BUCHSTABE ERKANNT WIRD ($\overset{2}{D}$)
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 nestejně 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.

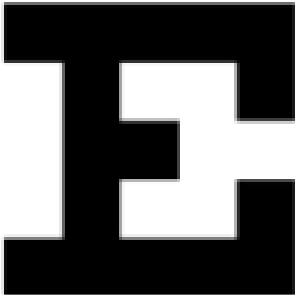
1976, Ian Bailey a Jan Lovie navrhli test s 5 písmeny na řádku, se vzdálenostmi znaků i řádků rovnou výšce písmen a logaritmickou stupnicí velikostí (tzv. LogMAR tabulky).


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

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

	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 H O	10	
F E R O L C F T D	11	

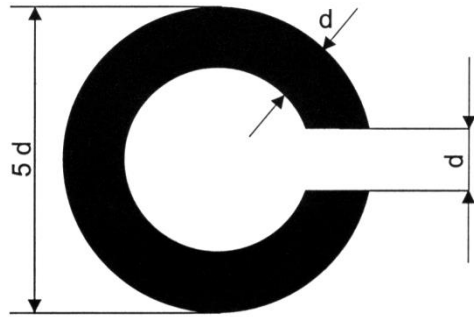
Celořádková metoda

(ČSN EN ISO 8596):

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

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

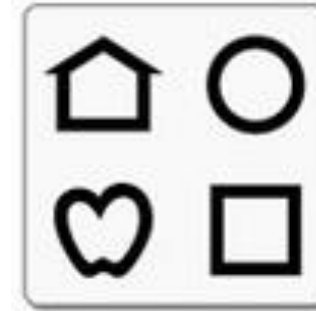
Další používané optotypy



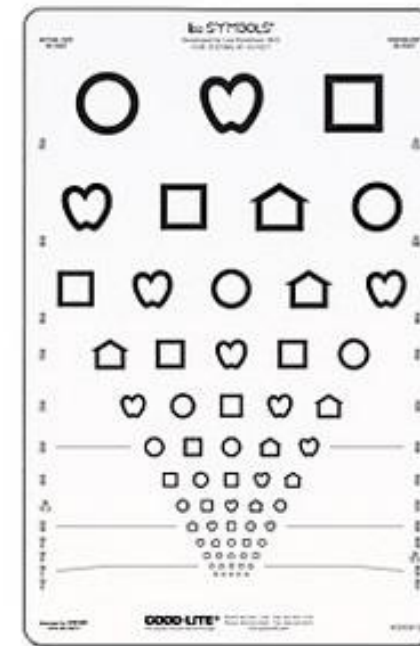
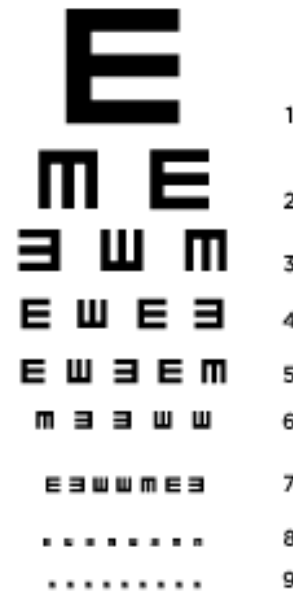
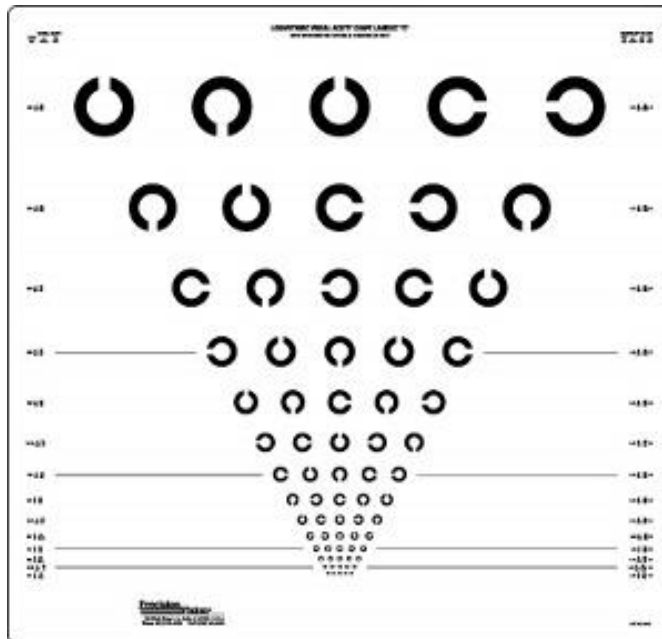
Landoltovo „C“



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	poměr
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	poměr
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

Poměr dvou následujících vizů je vždy 1,25.

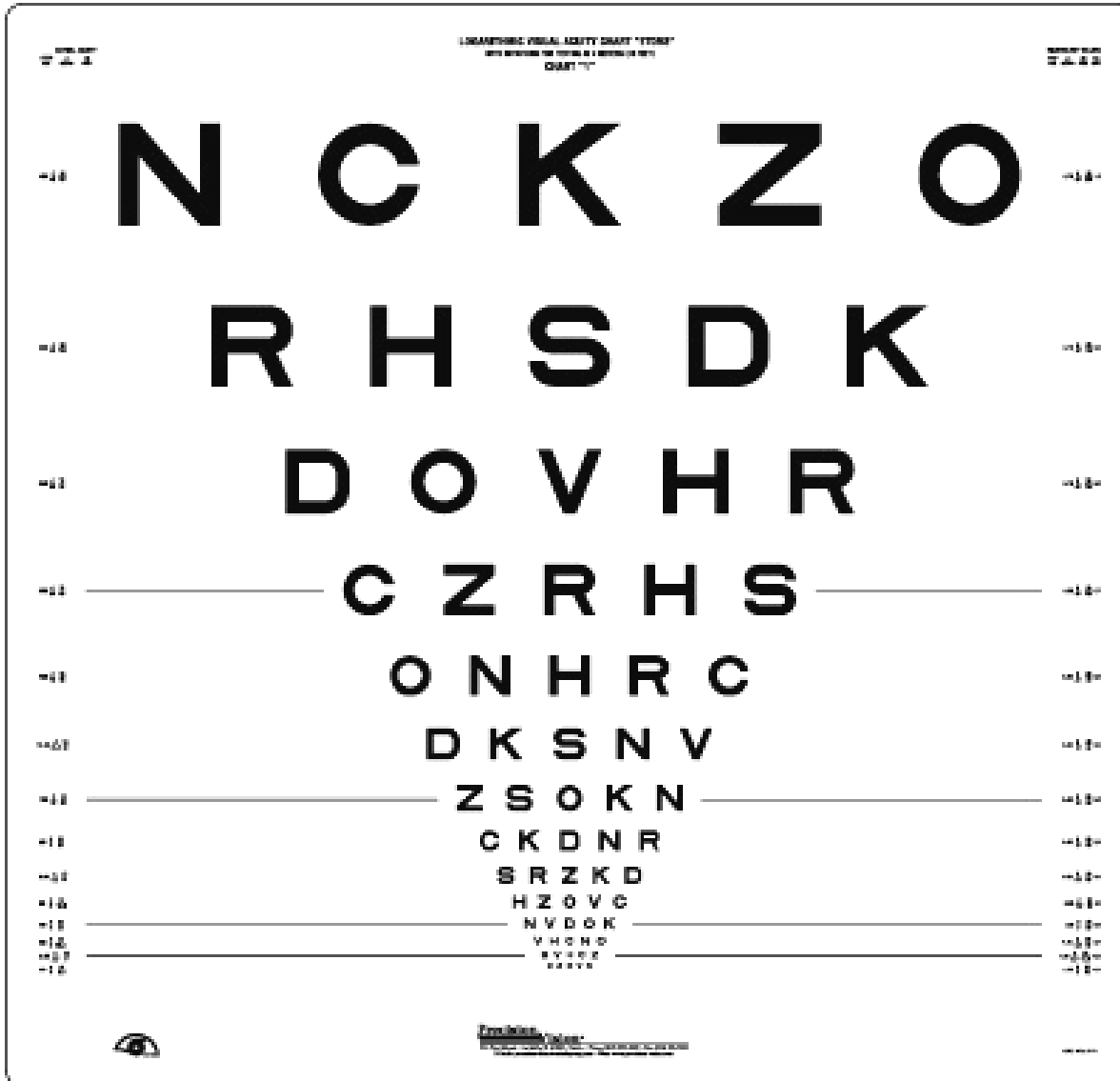
$$\text{LogMAR} = \log_{10} \left(\frac{1}{V} \right) = \log_{10} \left(\frac{\alpha_{\min}(')}{1'} \right)$$

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

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

(Visual Acuity Rating, Bailey)

Tabule ETDRS

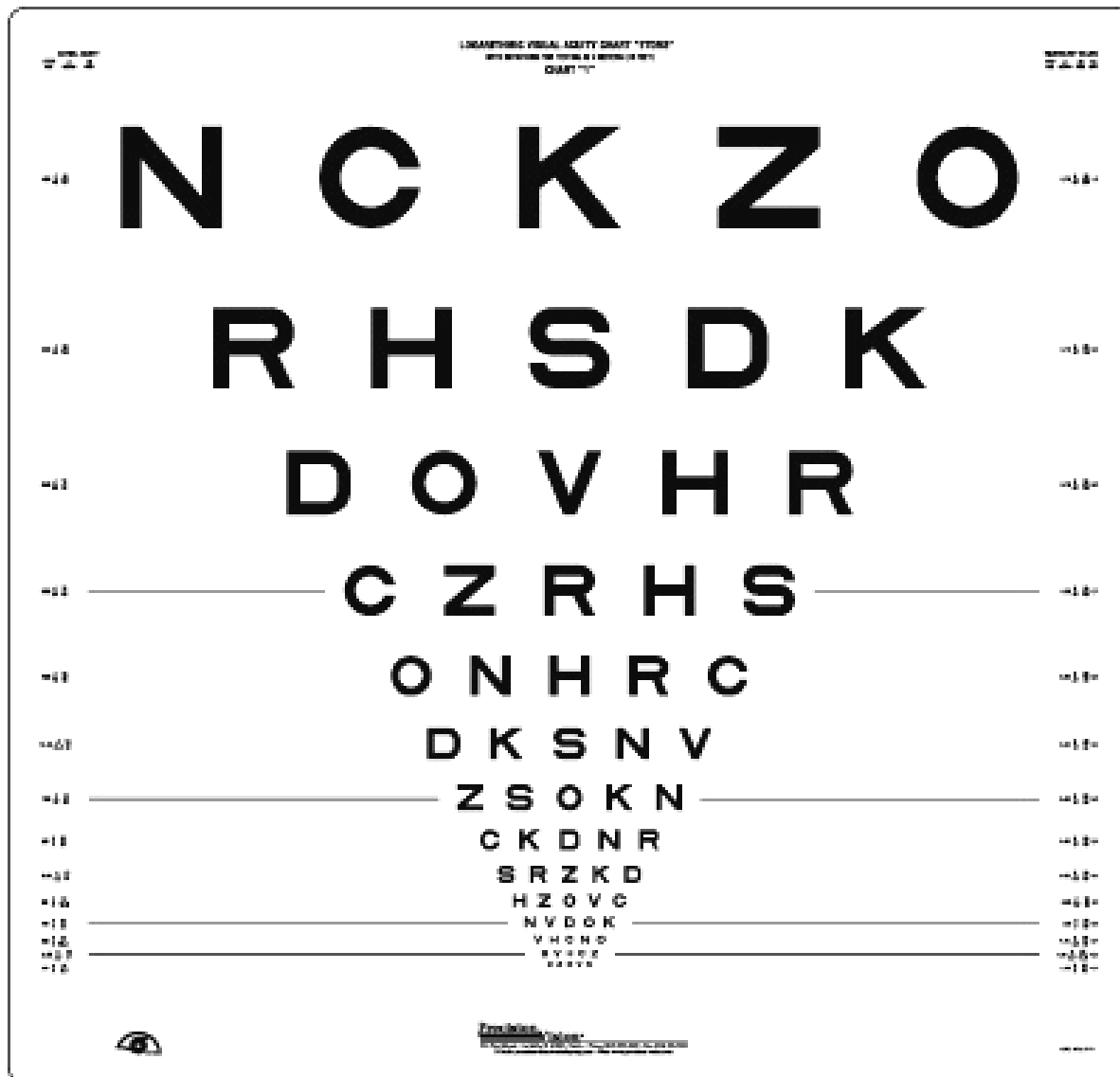


Interpolační metoda ETDRS

- vyšetřovaný čte až k řádku, který přečte méně než z 60 % (3 znaky)
- 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
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 (přičte 2 VAR)

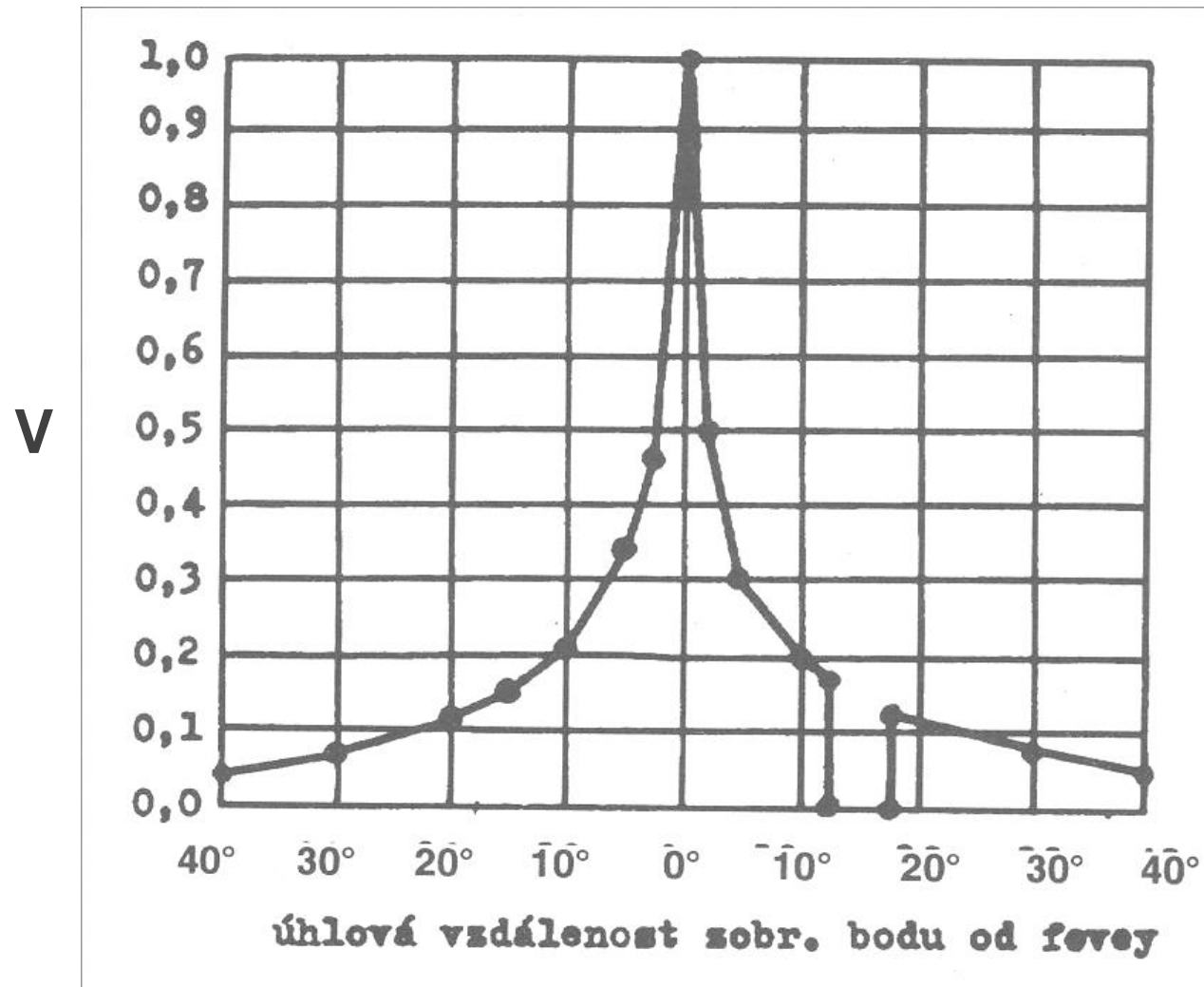
V des. č.	Log MAR	VAR
0,63	0,2	80
0,80	0,1	90
1,00	0,0	100
1,25	-0,1	110

Tabule cRLM

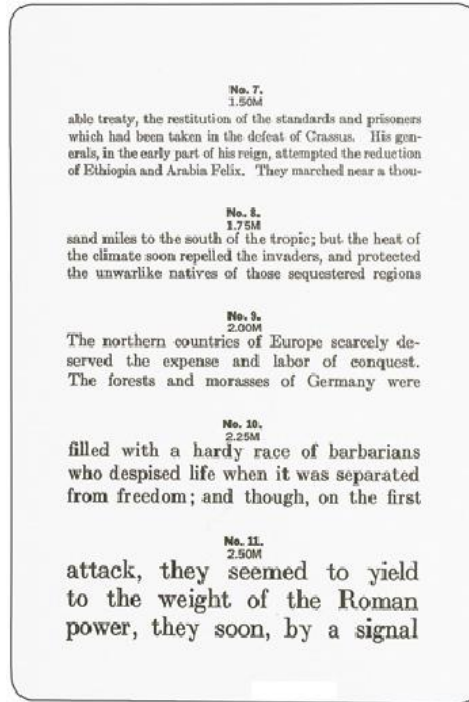
D Z O	1,0
C H R	0,9
O Z K	0,8
N V O	0,7
R H S	0,6
C N V	0,5
D Z O	0,4
S N K	0,3
V S H	0,2
O Z D	0,1
K N C	0,0
V O H	-0,1
C Z O	-0,2
R V H	-0,3

(compact reduced LogMAR)

Závislost zřakové ostrosti na úhlu



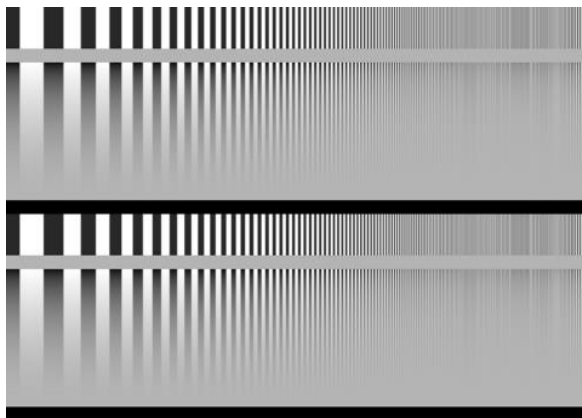
Optotypy na blízko a kontrastní tabulky



Jägerovy tabulky

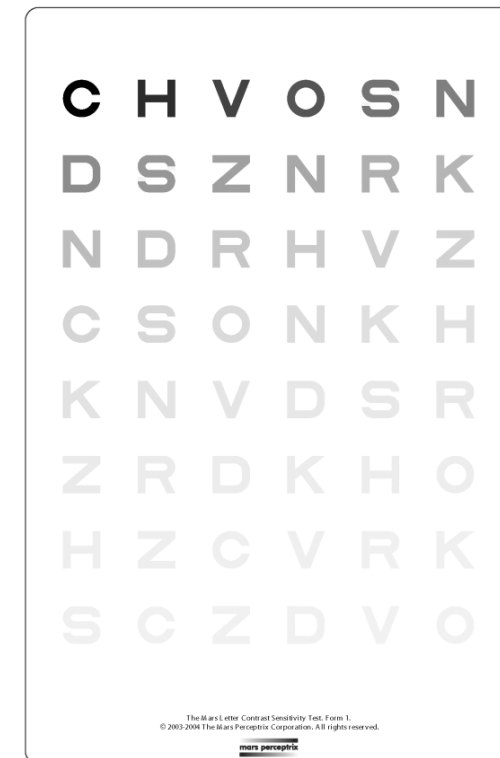
Eduard Jäger, 1854 navrhl tabulky pro měření zrakové ostrosti, které se dodneška používají na blízko.

Podle velikosti písma jsou odstavce označeny čísly 1 – 24.

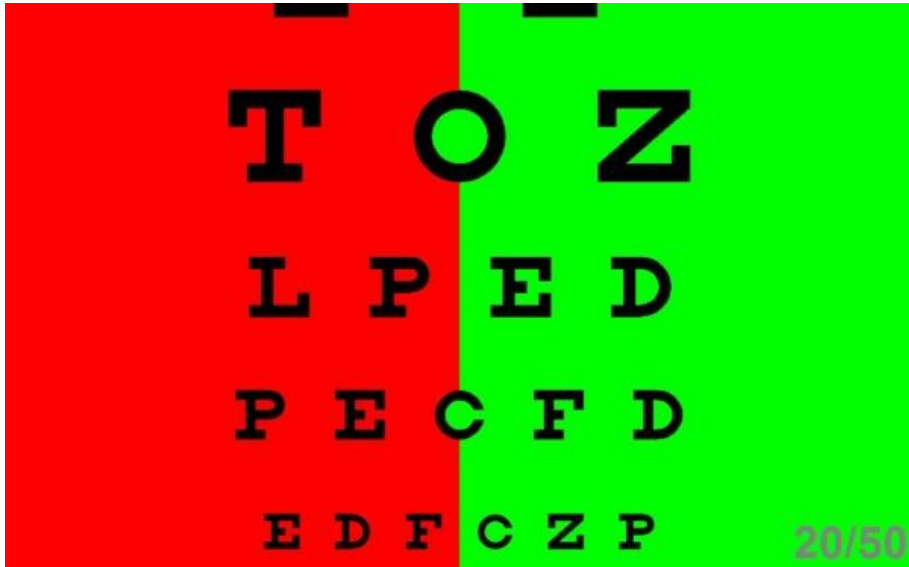


Kontrastní tabulka

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.