

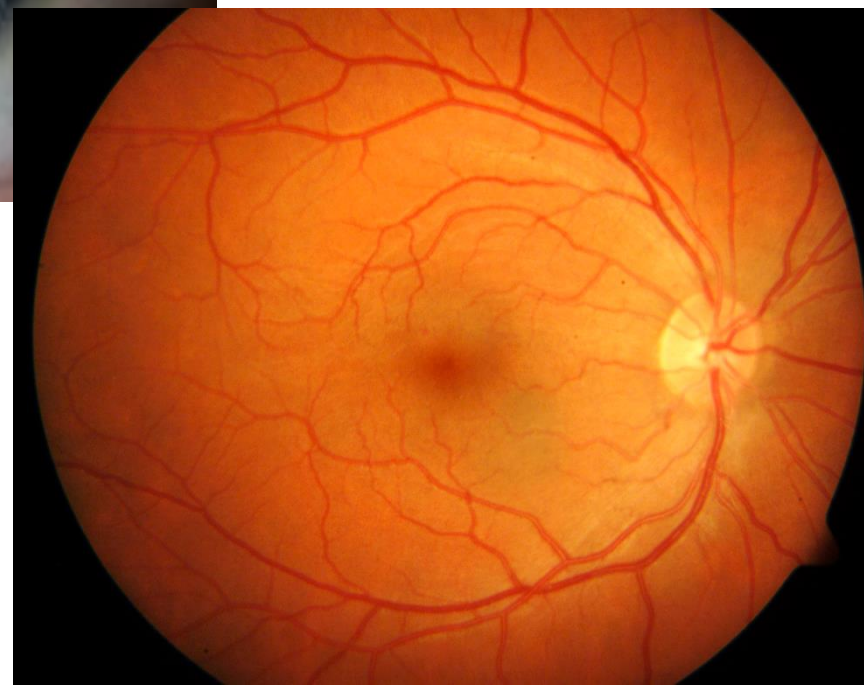
# BIO – Biometrické systémy

## Rozpoznávání podle duhovky a sítnice

Duhovka

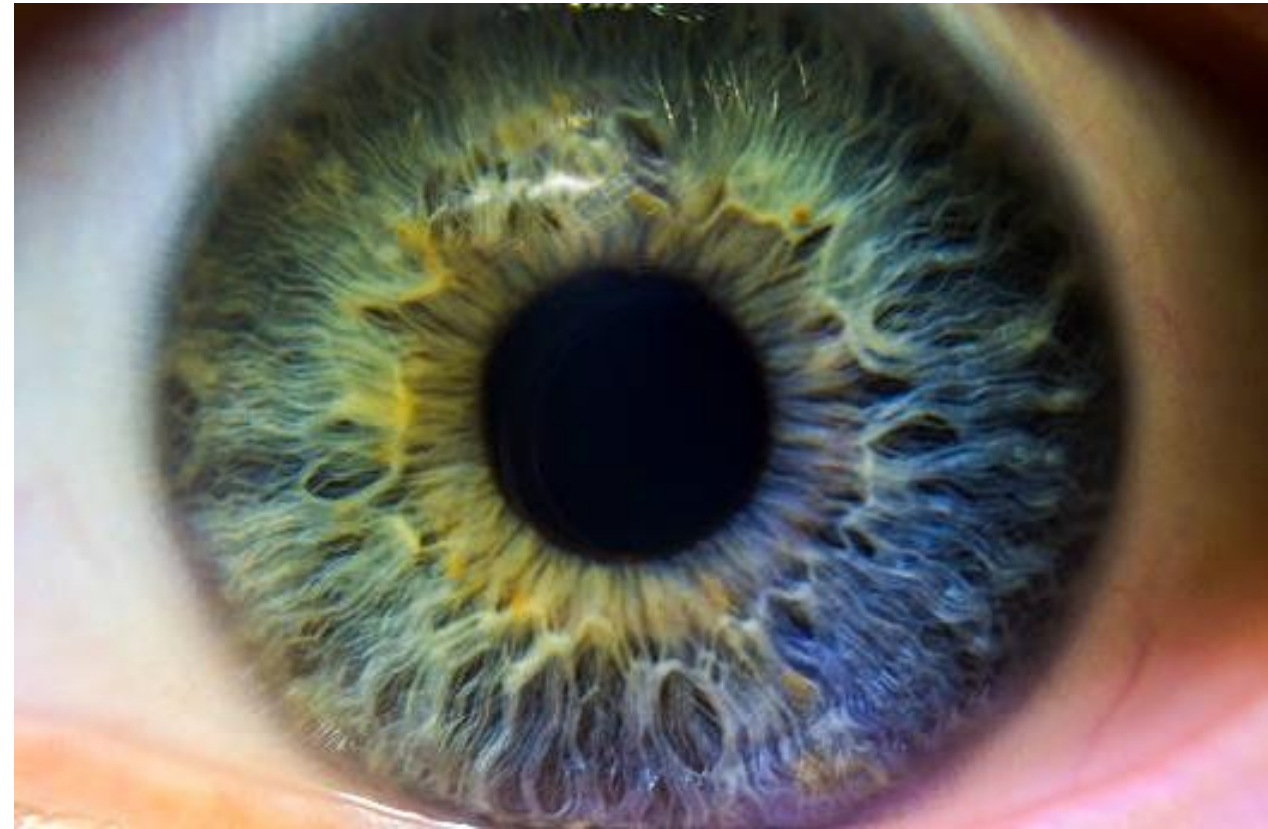
Sítnice

- základní údaje
- přístroje
- používané algoritmy
- falšování
- testování živosti

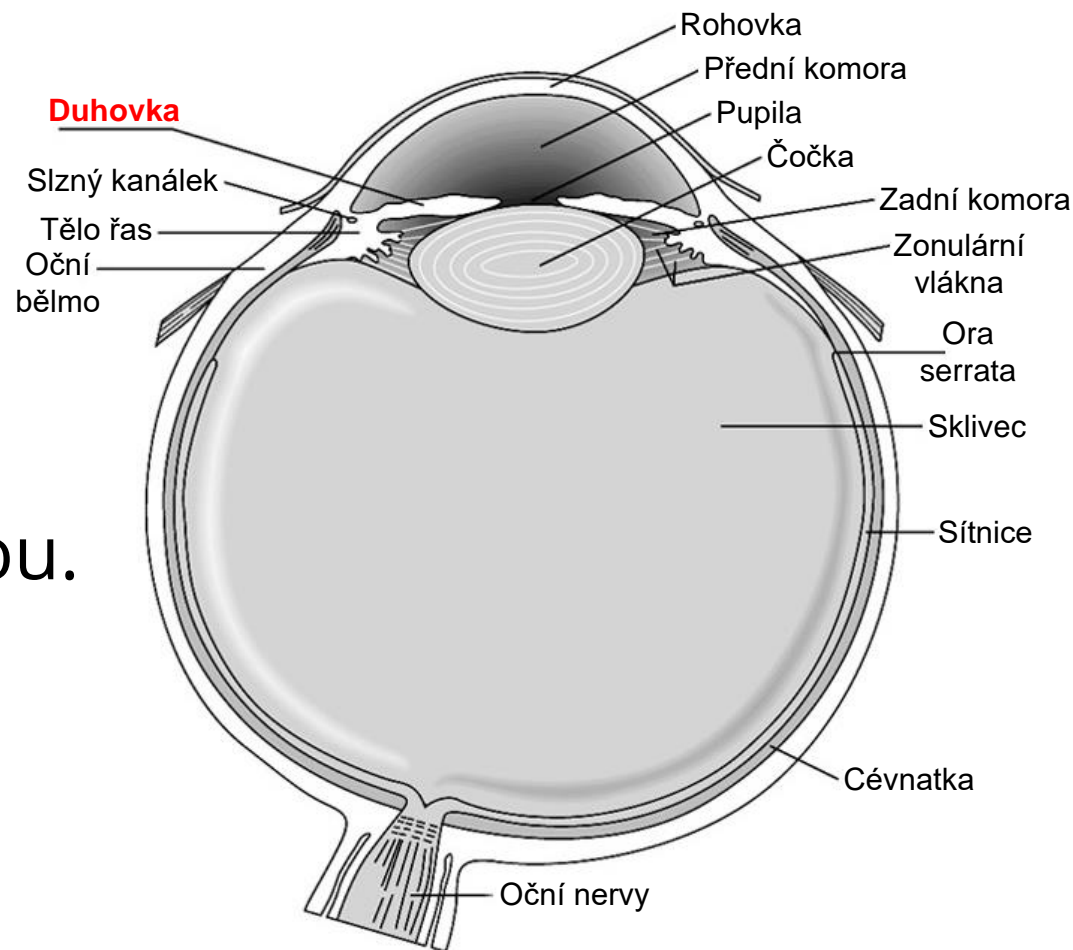


- ❑ Barevná část oka, pozorovatelná pouhým pohledem.
- ❑ Slouží pouze k regulaci množství světla, které vstupuje do oka.
- ❑ Je spojena s jemnými svaly, které duhovku rozšiřují nebo zužují.
- ❑ Černý otvor ve středu se nazývá pupila (panenka, zornice, zornička, zřítelnice)
- ❑ Zornicí prochází světlo do oka.

Barva, textura a vzor duhovky jsou u každé osoby jiné → lze porovnat s rozlišovací schopností otisků prstů.



- ❑ Svírací sval leží podél hranice duhovky a stahuje duhovku při silnějším světle.
- ❑ Roztahovací sval leží příčně, podobně jako výplet jízdního kola, a roztahuje duhovku při slabším osvětlení.
- ❑ Duhovka je plochá, rozděluje oko na přední a zadní část.
- ❑ Nachází se mezi pupilou a oční bělimou.
- ❑ Velikost duhovky se pohybuje kolem 11 mm.



## ☐ Kolagen

- Vrstva kolagenových vláken se nachází v zadní části duhovky a vytváří složité vzory a textury, které dávají duhovce její vlastní fyzickou strukturu. Působí jako pružiny, které zmenšují zornici.

## ☐ Zornice

- Čím jsou lidé citlivější na světlo, tím větší mají zorničky.

## ☐ Melanin

- Jedná se o přirozeně se vyskytující pigment, který se nachází v celém těle.
- Člověku dodává hnědé vlasy, tmavý odstín pleti a pihy.
- V oku interaguje s modrou vrstvou kolagenu a určuje barvu oka.

## ☐ Pásy

- Soustředné, obklopují vnější stranu duhovky.
- Melaninová vrstva je natažena a rozštěpena za vzniku růstových prstenců.

- ❑ Duhovku ovlivňuje téměř 2000 genů – ovlivňují i barvu a vzory na ní.
- ❑ Vzor duhovky je určen tvarem a uspořádáním melaninových granulí.
- ❑ Vizuální textura se formuje během prvních dvou let života a základní struktura zůstává během života neměnná.
- ❑ Duhovka je u dvojčat odlišná!
- ❑ Vzory jednoho oka se liší od druhého. Ale jsou podobné.
- ❑ Kolagenová vlákna jsou buď rozdělená a sbíhavá, tvoří světla a stíny, navozují tmavší vzhled, nebo rozmístěná a paralelní, pak vytvářejí světlejší, jednotnou barvu.
- ❑ Studie zjistila, že celková pravděpodobnost zdědění pigmentovaných prstenců je 93 %, brázdy 87 % a krypt 84 %.

Ovlivněna pigmentací, strukturou tkání nebo rozložením pigmentů.

## ☐ Modrá

- Melanin se nachází v duhovce ve dvou vrstvách.
- Bílý kolagen ve vláknech na zadní straně duhovky rozptyluje světlo.
- Krátkovlnné světlo je rozptylováno (stejně jako na obloze).

## ☐ Zelená

- V případě, že je přítomen žlutý pigment (pheomelanin).
- S tenkou vrstvou melaninu a modrým rozptylem světla tvoří zelenou.

## ☐ Jantarová

- Zlatohnědá až měděná barva – s větším množstvím žlutého pigmentu.
- V běžném světle se jeví jako hnědá barva.

## ☐ Tmavá

- Pokud je množství melaninu v oku velké.



Rozpoznávání jako v daktyloskopii.

☐ Pigmentované prstence

- Široké barevné pruhy s jiným odstínem, ovinuté kolem zornice.

☐ Krypty (Crypts)

- Malé prohlubně nebo otvory v přední vrstvě duhovky.
- Vznikají, pokud se přední vrstva nedostatečně vyvine.
- Tvar diamantu, liší se velikostí, umístěné v celé duhovce.

☐ Rýhy (Furrows)

- Na periferii duhovky, mohou mít různou hloubku a délku
- Důsledek opakované kontrakce a rozšiřování zornice, což se děje v reakci na změny světelných podmínek.



Duhovka se dá rozdělit na vnitřní (pupilární) a vnější (řasovou) oblast. V obou lze nalézt krypty, límečky a rýhy stejně jako barevné změny.

## ☐ Trabekuly (Trabeculae)

- Vlákenné struktury v duhovce, které tvoří síť mezi kolaretním kruhem a vnější hranou duhovky. Mohou mít různou hustotu a vzor, který je u každého jedince jedinečný.

## ☐ Svěrač zornice (musculus sphincter pupillae)

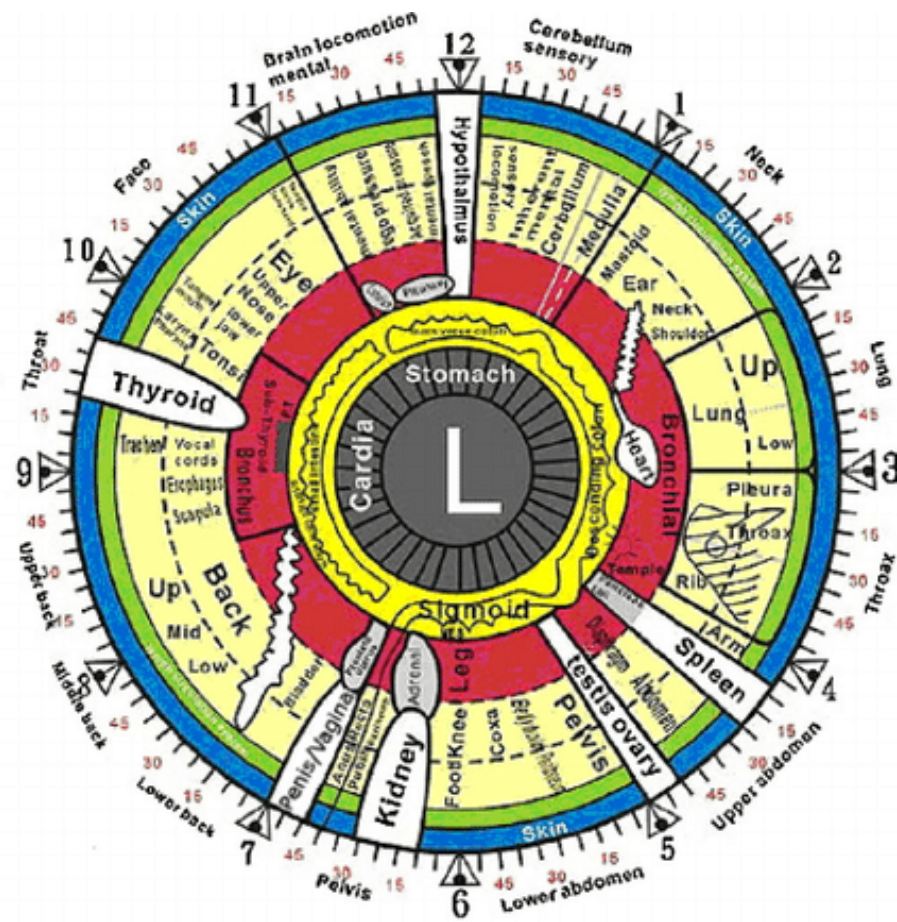
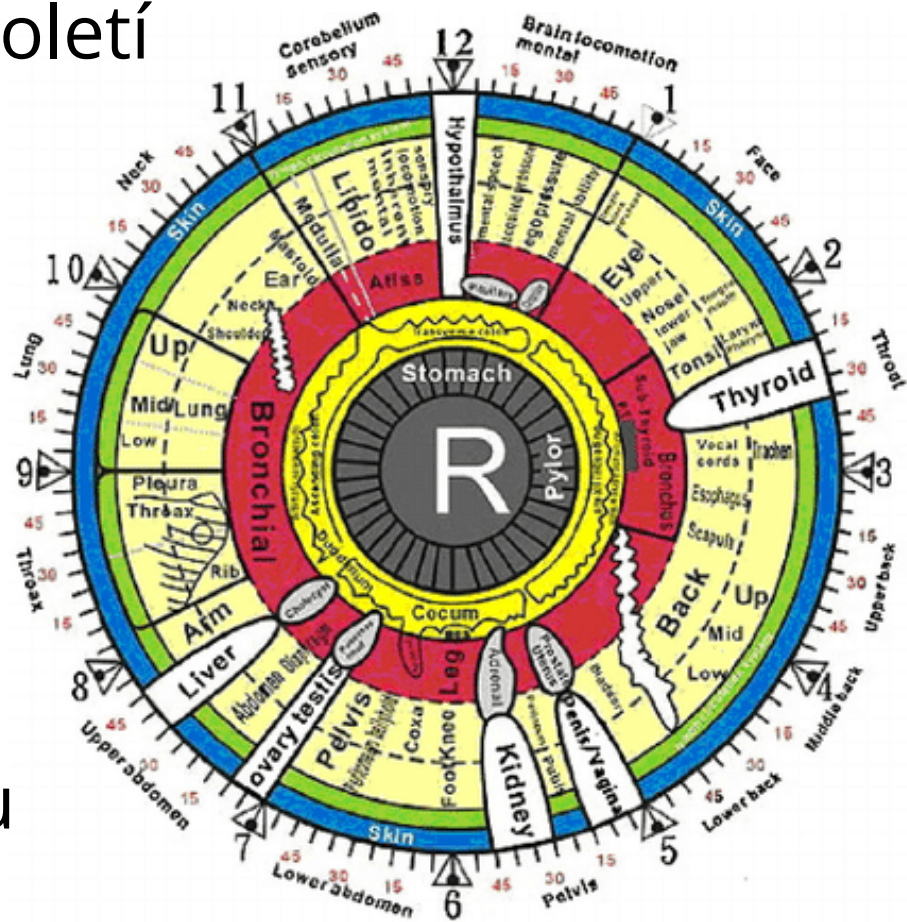
- Tvořen tenkými svazky vláken probíhajícími okolo zornice.

## ☐ Kolaretní kruh (Collarette)

- Jasně viditelná hranice mezi centrální a periferní částí duhovky.



- ❑ Studium duhovky na základě vzorů a objektů na ní.
- ❑ Alternativní medicína, která tvrdí, že části duhovky ukazují stav určité části těla.
- ❑ V 90. letech 19. století nejvíce prosadil maďarský lékař Ignatz Peczely.
- ❑ Biometrie vs. Iridiologie → pokud funguje jedno, nemůže platit druhé.
- ❑ Možnost zjištění zdravotního stavu



Konstituční vzory podle Rayidova modelu.

### ❑ Drahokam (Jewel)

- Tmavě zbarvené tečky nebo skvrny.
- Údajně naznačuje analytickou osobnost.
- Je velmi vzácné mít čistě pouze tento vzor.

### ❑ Květina (Flower)

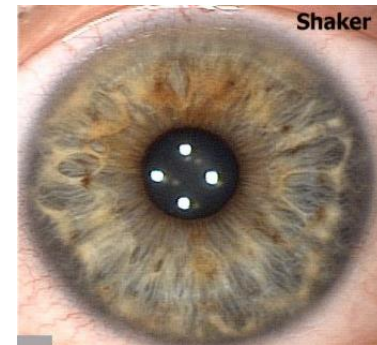
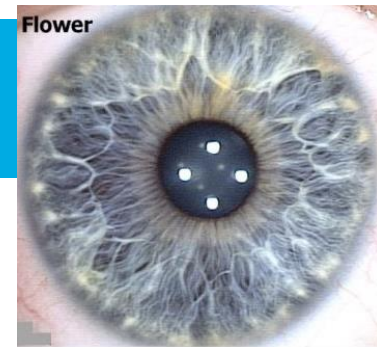
- Zakřivené nebo zaoblené otvory ve vlákněch vzoru duhovky.
- Naznačuje emocionální, citový a expresivní typ osobnosti.
- Je vzácné mít čistě pouze tento vzor.

### ❑ Proud (Stream)

- Přímé linie nebo barevné pruhy.
- Citlivý, intuitivní typ osobnosti.

### ❑ Shaker

- Tečkovité pigmenty, ale i zaoblené tvary.
- Řízená, extrémní osobnost.

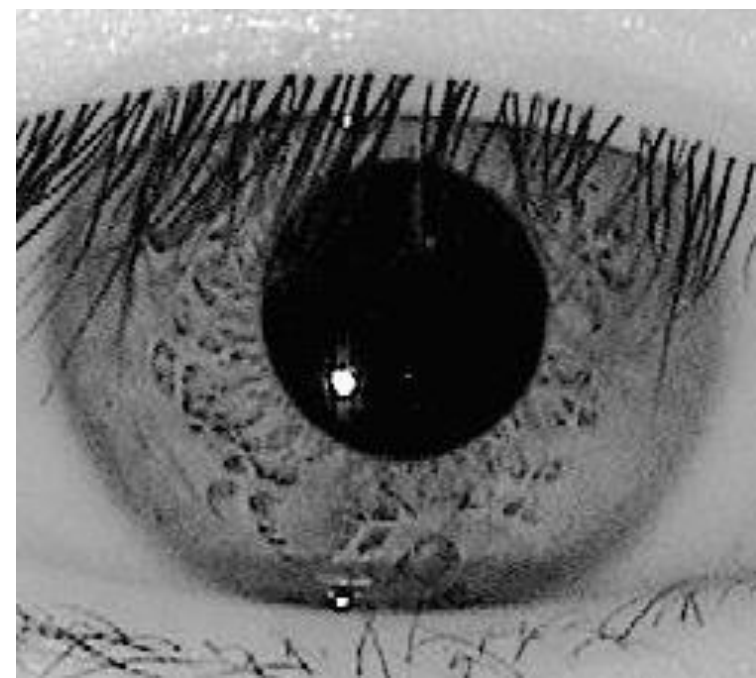


## □ Viditelné světlo

- Viditelné vrstvy.
- Méně texturní informace.
- Melanin absorbuje viditelné světlo.
- Informace o barvě biometricky nerozpoznáváme.

## □ Infračervené světlo

- Melanin reflektuje většinu infračerveného světla
- Lépe vynikají kontury ve vnitřních vrstvách.
- Preferovaná technologie pro rozpoznávání duhovky.



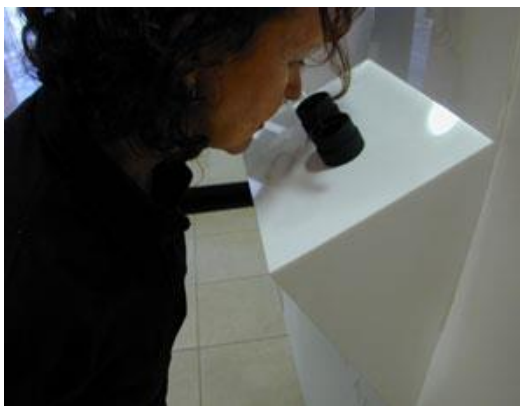
## Výhody

- ❑ Stabilní během života jedince.
- ❑ Pořízení snímku je neinvazivní.
- ❑ Velikost šablony je malá (viz dále).
- ❑ Patentovaný spolehlivý algoritmus.
- ❑ Vnitřní orgán – malé možnosti změn.
- ❑ Vysoká náhodnost informace uvnitř duhovky.

## Nevýhody

- ❑ Možnost podvrhu kontaktními čočkami.
- ❑ Strach uživatelů z poškození oka.
- ❑ Možnost nasnímání bez vědomí nositele.



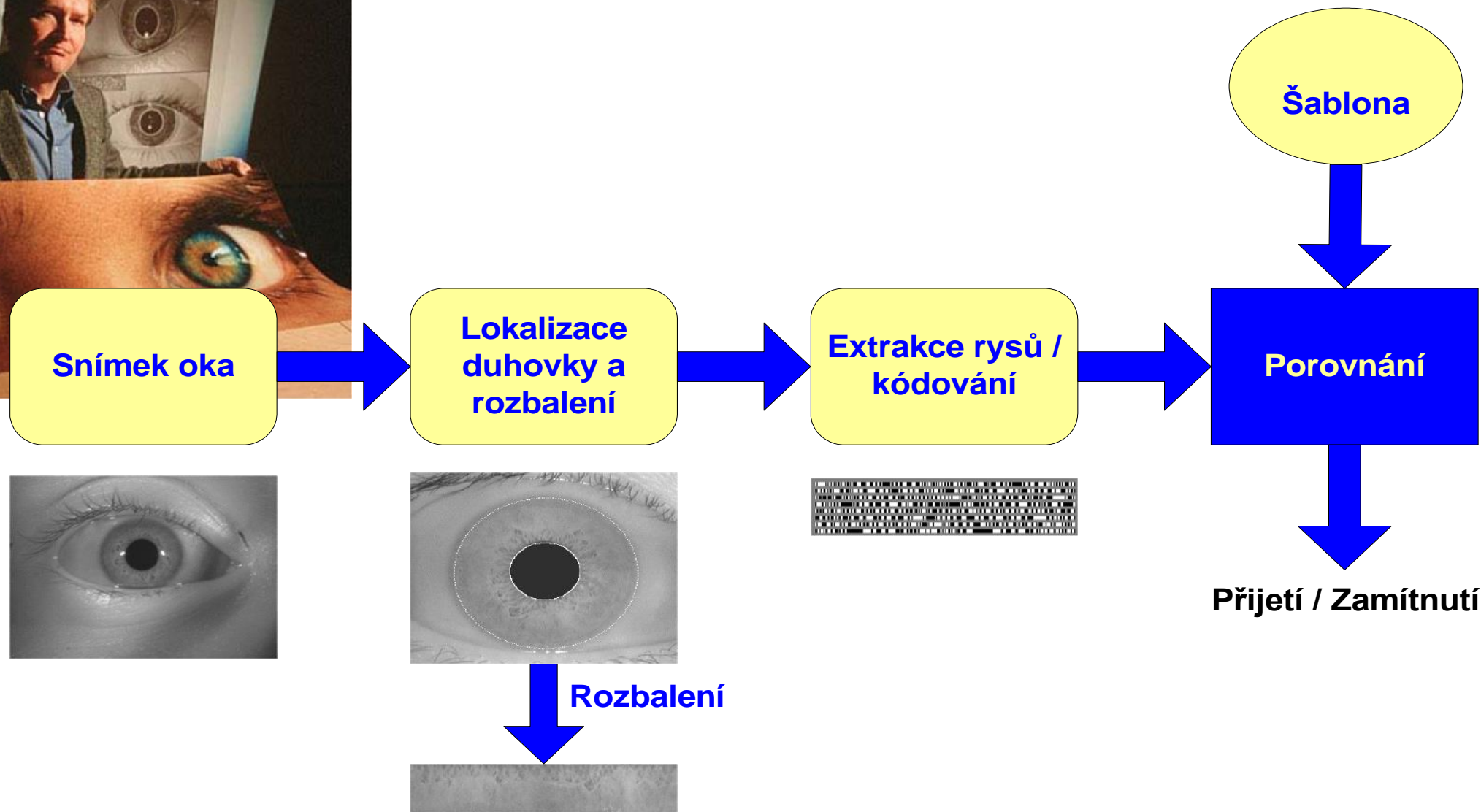


BIO

# Přístroje



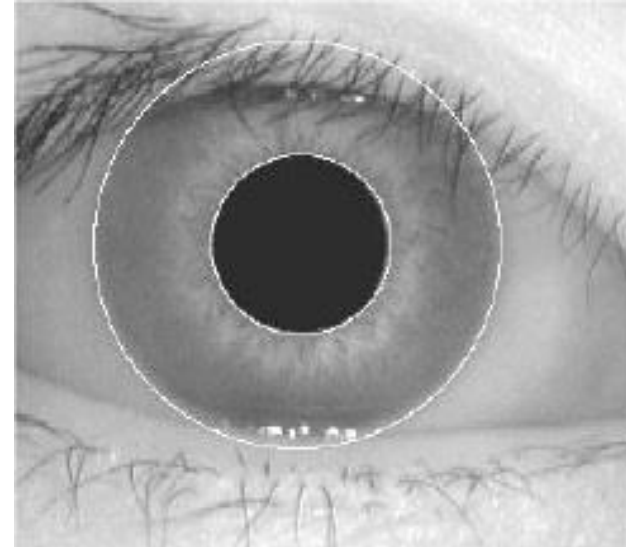
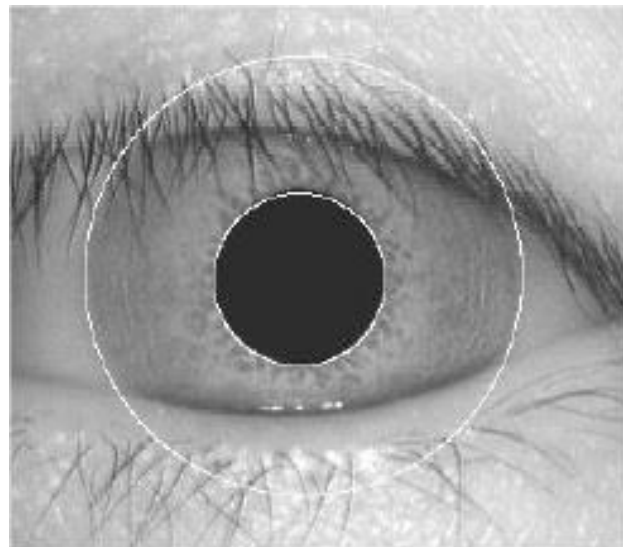
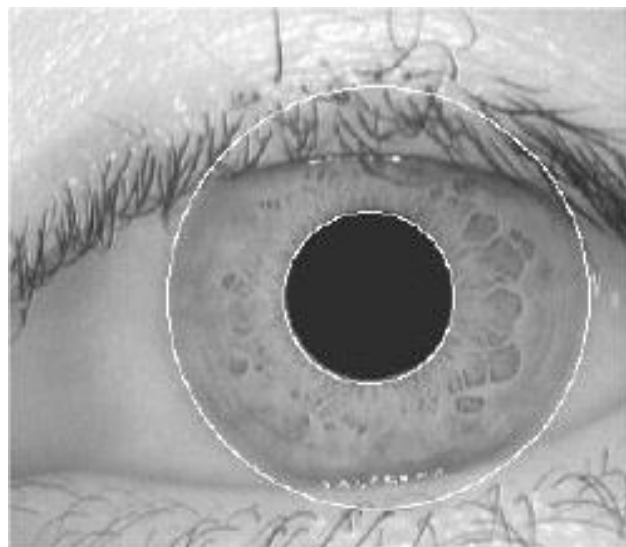
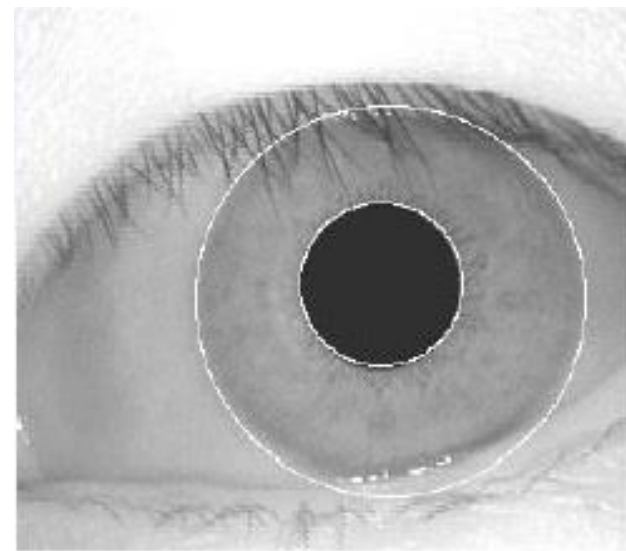
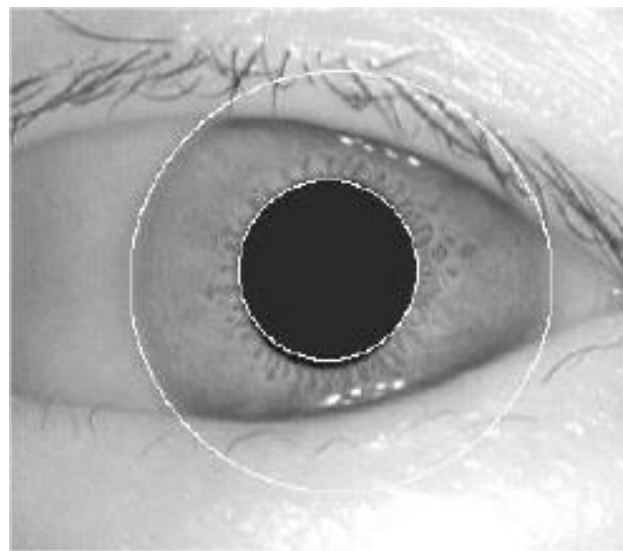
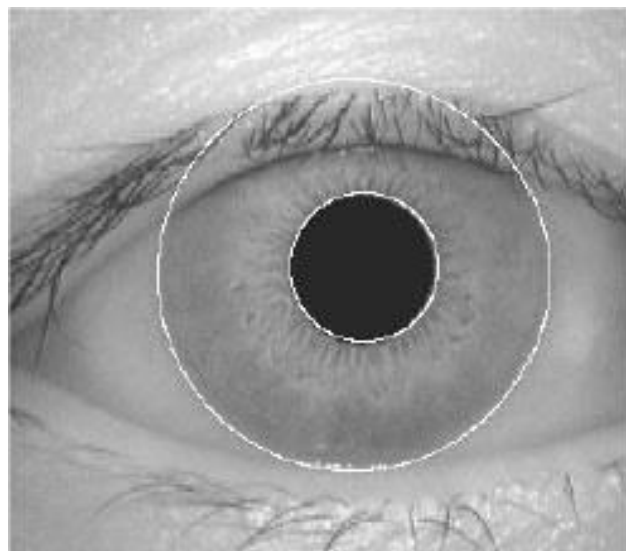
- ❑ Gaborova demodulace (Daugman, PAMI 1993)
  - Extrakce textur a frekvenčních rysů. Vytváří fázový vzor, z něj binární kód.
- ❑ Waveletové rysy (Lim, Lee, Byeon, Kim, ETRIJ 2001)
  - Rozkládá obraz do úrovní frekvenčních komponent. Analyzuje lokální i globální rysy, což zvyšuje přesnost rozpoznávání. Vytváří multifrekvenční signály, které reprezentují struktury duhovky.
- ❑ Analýza nezávislých komponent (Bae, Noh, Kim, AVBPA 2003)
  - Rozkládá obraz na nezávislé komponenty, lépe extrahuje jemné rysy.
- ❑ Variace lokálních klíčů (Ma, Tan, Wang, Zhang, IEEE TIP 2004)
  - Podobné principu daktyloskopie – analyzuje rysy v obrazu (krypty, rýhy, apod.). Rysy zůstávají stejné i při změně snímání.
- ❑ Genetické algoritmy (Hamdi Boukamcha, 2014)
  - Optimalizují výběr rysů, hledají nejlepší kombinace parametrů filtrů a nastavení.
- ❑ Statistické modely (PCA, LDA)
  - Redukují rozměry dat a extrahují klíčové rysy z obrazu duhovky.

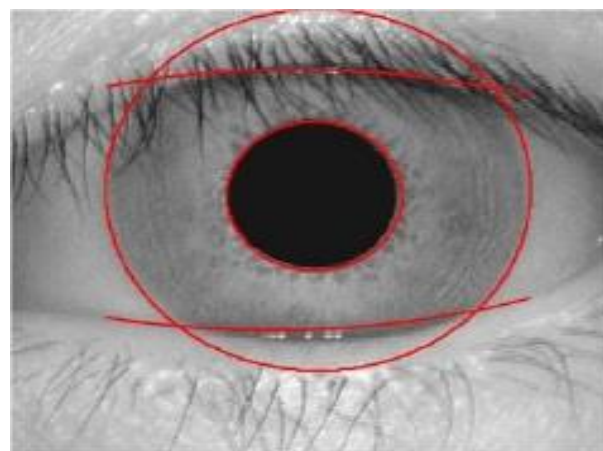
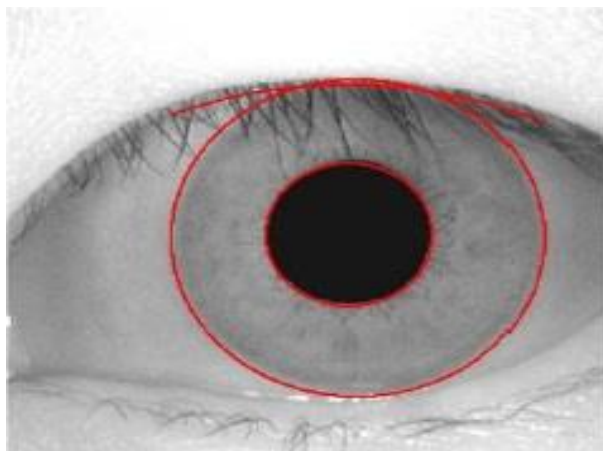
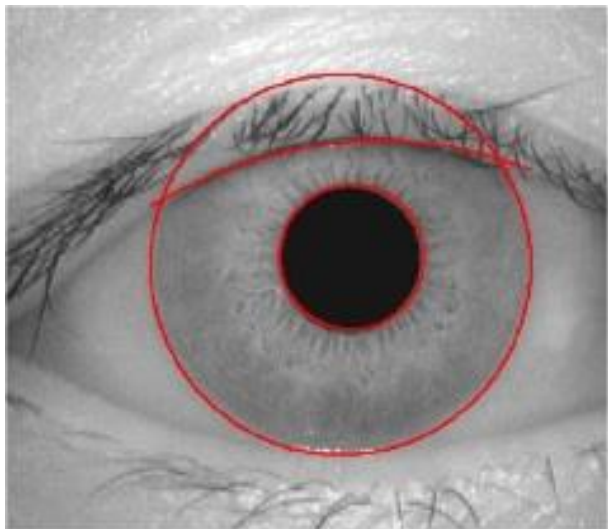
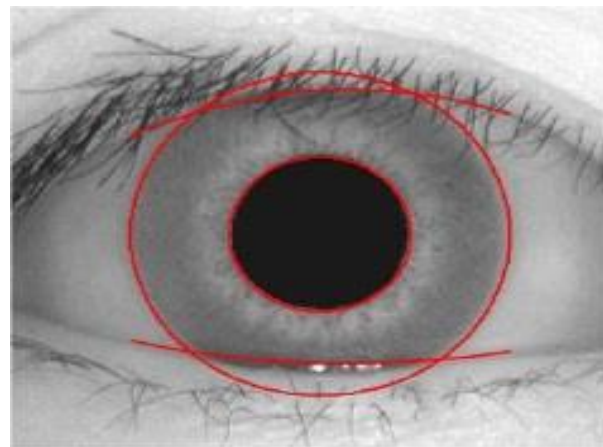
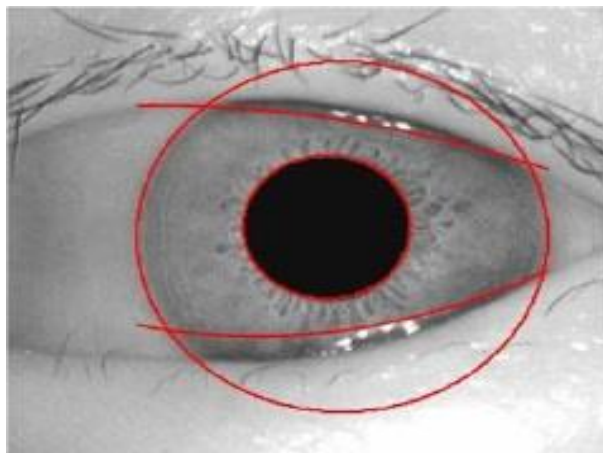
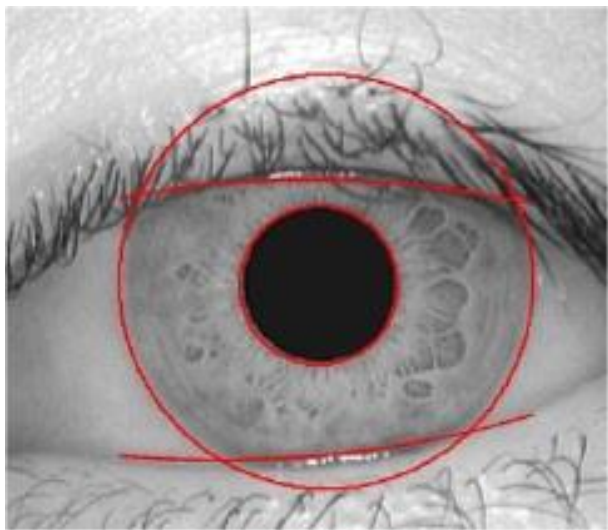


- Duhovka je lokalizována pomocí následujícího operátoru:

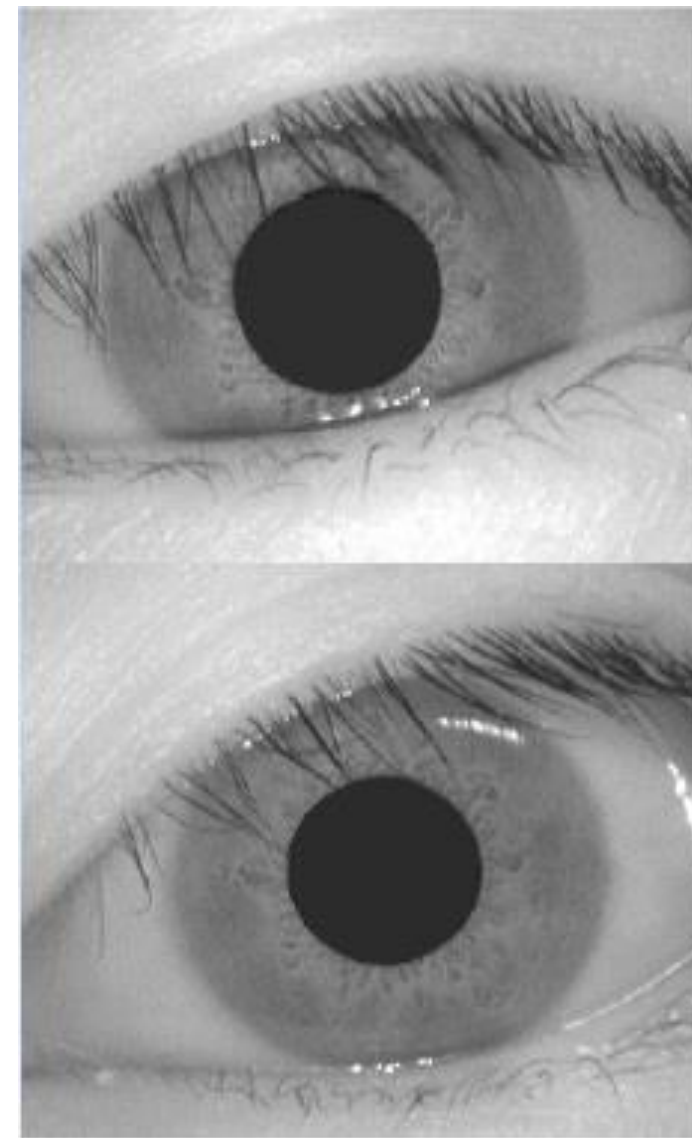
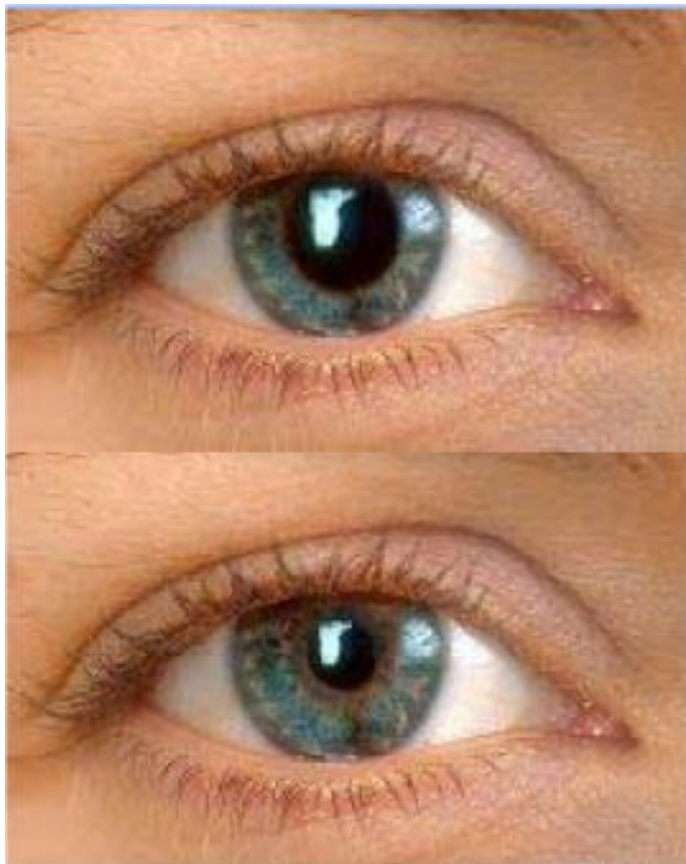
$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

- $G_\sigma(r)$  je gaussovská funkce uhlazení (smooth) dle  $\sigma$
- $I(x, y)$  je hrubý vstupní obrázek a operátor hledá maximum v rozostřené parciální derivaci obrazu s ohledem na poloměr  $r$  a souřadnice středu  $(x_0, y_0)$
- Operátor je v podstatě kruhovým detektorem hran a vrátí maximum, pokud sdílí kandidátská kružnice střed pupily a poloměr.
- Obdobným postupem, jakým se detekovala samotná duhovka, se určí pozice dolního a horní víčka oka.
- Část z předchozího vzorce, která slouží k detekci kontury se zamění z kruhové za obloukovou, přičemž splinové parametry jsou nastaveny dle standardních statistických metod odhadu, aby optimálně korespondovaly každé hranici očního víčka.

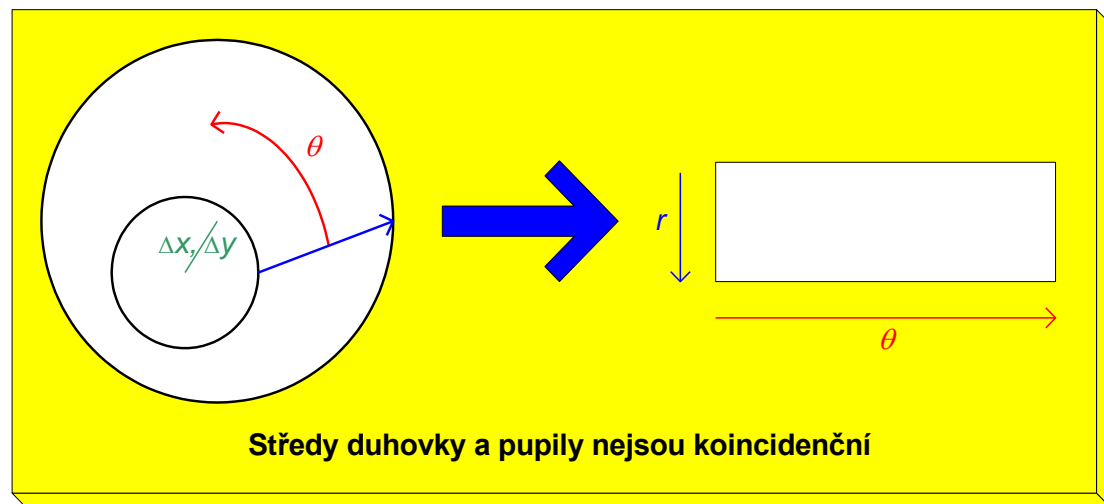
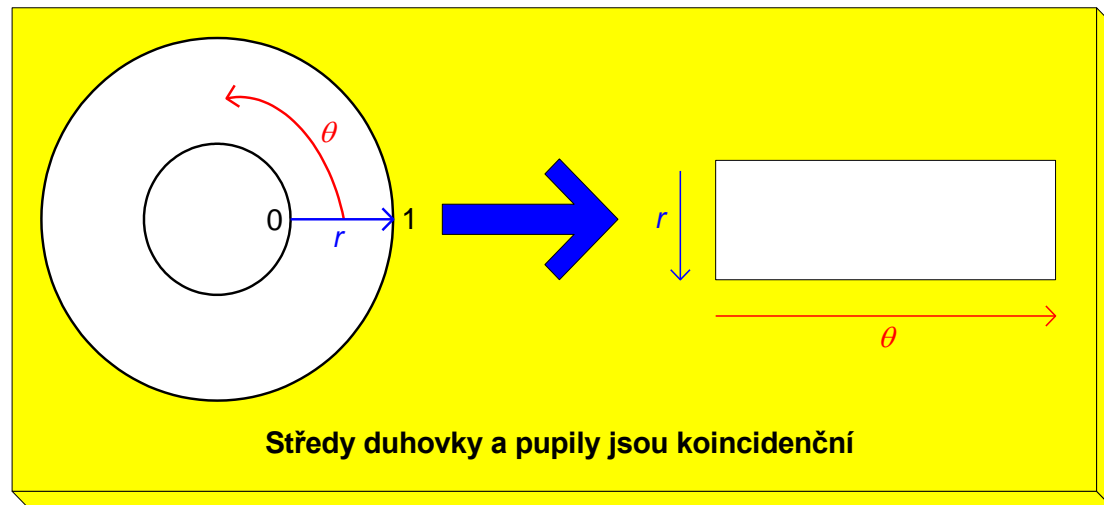




- ❑ Rozšíření pupily (změna osvětlení)
- ❑ Různá velikost (změna vzdálenosti od snímače)
- ❑ Rotace oka (náklon hlavy)



- ❑ Model mapuje každý bod uvnitř duhovky do polárních souřadnic  $(r, \theta)$ , kde  $r$  je z intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$  a  $\theta$  je úhel z intervalu  $\langle 0, 2\pi \rangle$ .
- ❑ Model kompenzuje rozšíření (dilataci) pupily a nekonzistenci ve velikosti díky reprezentaci v polárním souřadném systému, invariantnímu vůči velikosti a translaci.
- ❑ Model však nekompenzuje rotační nekonzistenci, která je řešena posunem šablony duhovky ve směru  $\theta$  ve fázi porovnávání, dokud obě šablony nedosáhnou shody.



## □ Gaborovo filtrování v polárním souřadném systému

$$G(r, \theta) = e^{j\omega(\theta-\theta_0)} e^{-\frac{(r-r_0)^2}{\alpha^2}} e^{-\frac{j(\theta-\theta_0)^2}{\beta^2}}$$

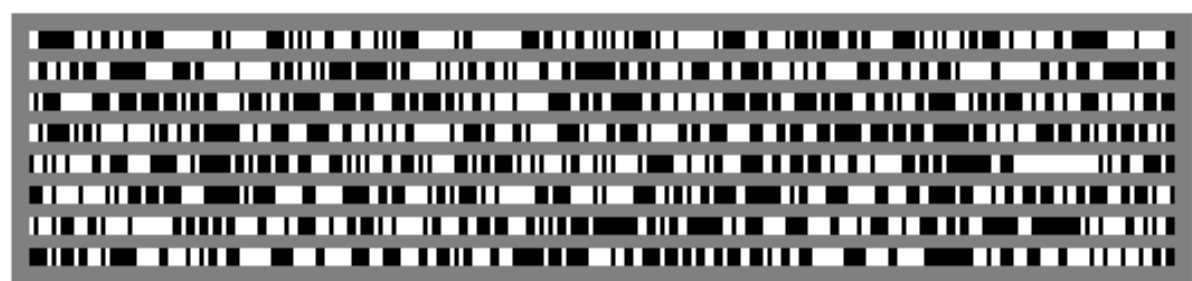
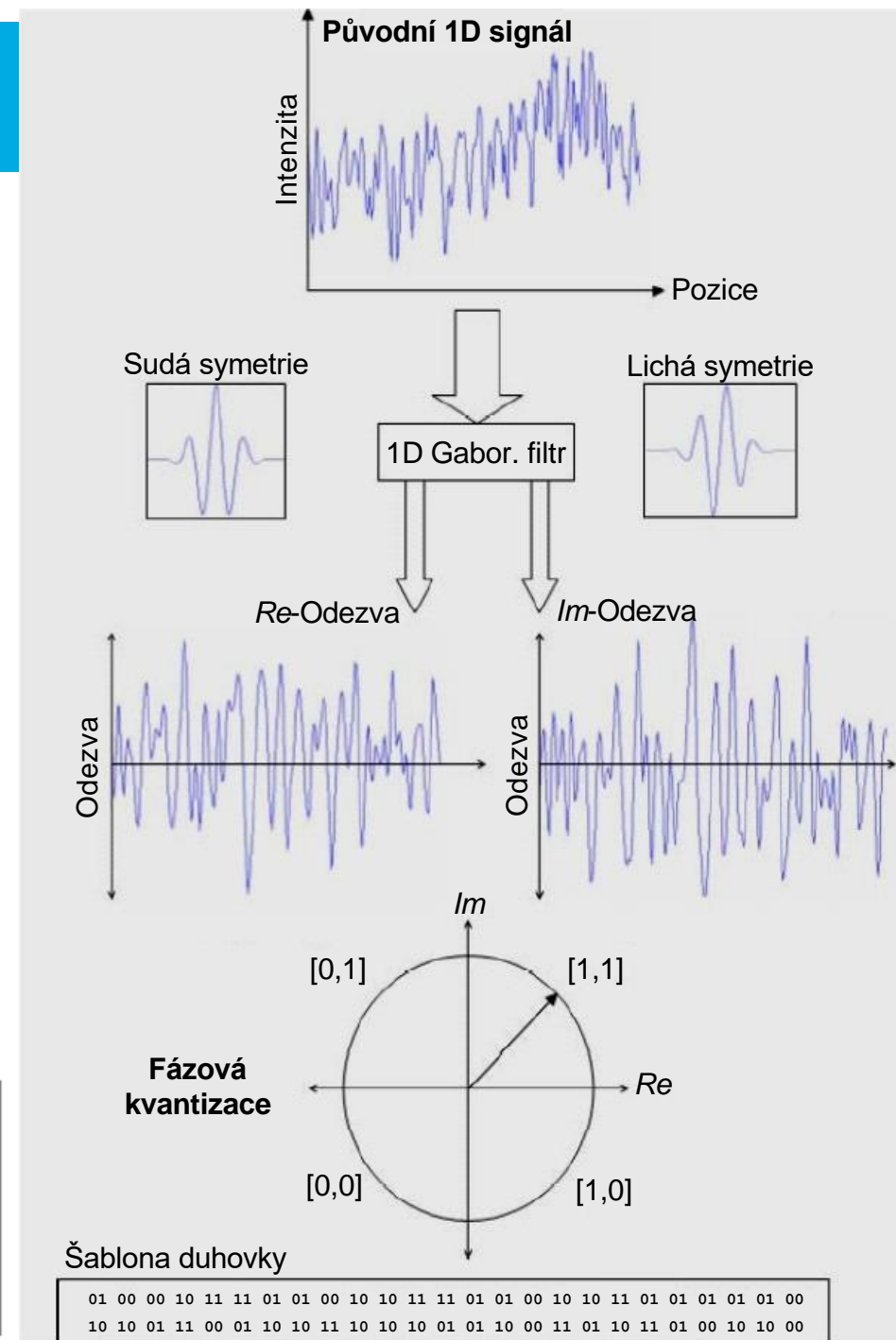
- $(r, \theta)$  udává pozici v obraze,  $(a, b)$  určují efektivní výšku a délku a  $\omega$  je frekvence filtru

## □ Demodulace a fázová kvantizace

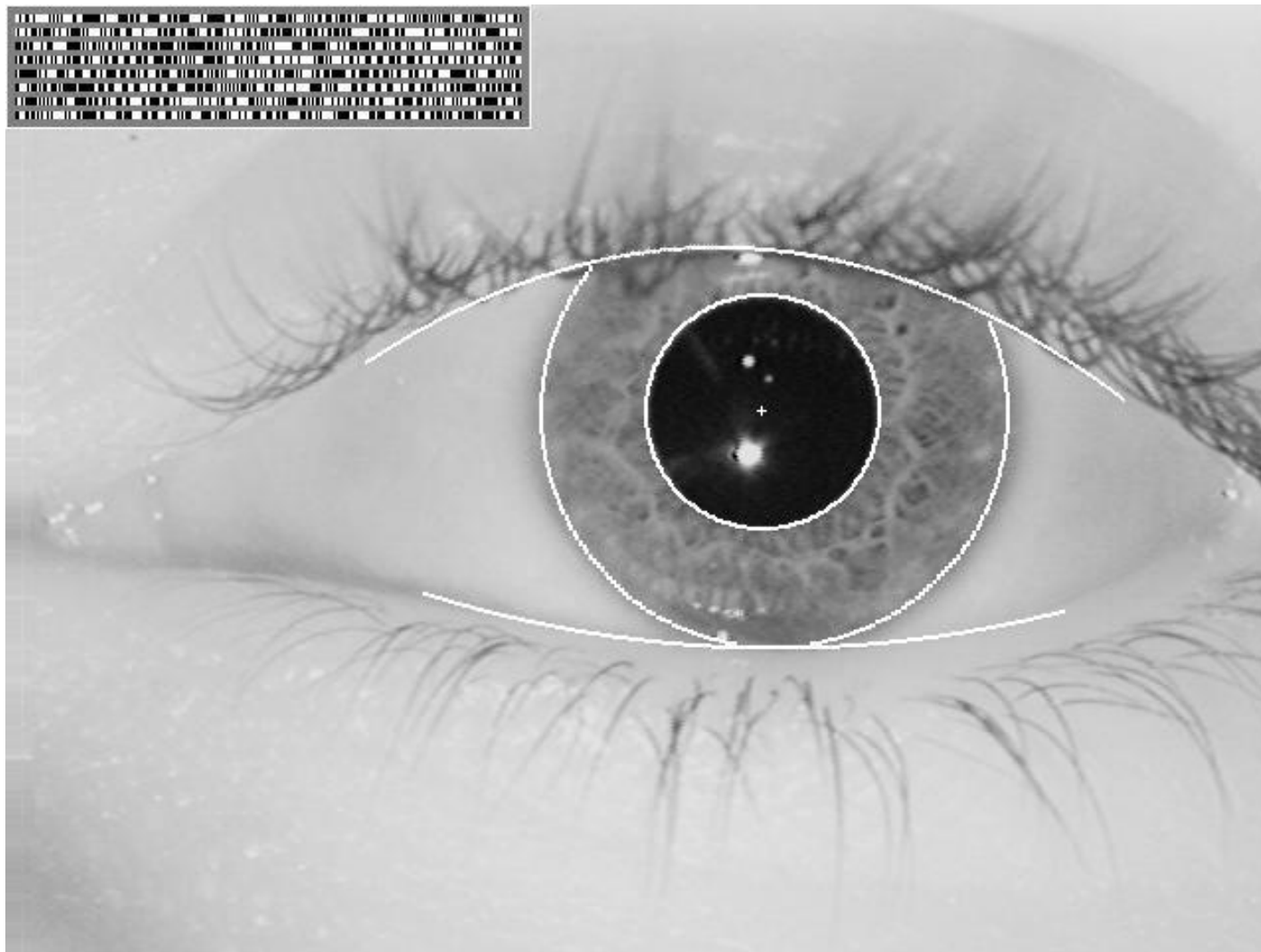
$$g_{\{\text{Re,Im}\}} = \text{sgn}_{\{\text{Re,Im}\}} \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{j\omega(\theta_0-\phi)} e^{-\frac{(r_0-\rho)^2}{\alpha^2}} e^{-\frac{(\theta_0-\phi)^2}{\beta^2}} \rho d\rho d\phi$$

- $I(\rho, \phi)$  je hrubý obrázek duhovky v polárním souřadném systému a  $g_{\{\text{Re,Im}\}}$  je bit v komplexní rovině odpovídající znaménku reálné a imaginární části odezev filtru

- ❑ Původní intenzity šedotónového obrázku jsou přes Gaborův filtr převedeny na reálnou a imaginární odezvu.
- ❑ Podle toho, do kterého kvadrantu výsledná úroveň odezev „zapadne“, je do kódu duhovky zapsána příslušná dvojice bitů.



- ❑ Kód duhovky obsahuje 2.048 bitů, tj. 256 bytů.
- ❑ Velikost vstupního obrázku je  $64 \times 256$  bytů, velikost kódu duhovky je  $8 \times 32$  bytů a rozměr Gaborova filtru je  $8 \times 8$ .



- ❑ Porovnání je provedeno výpočtem Hammingovy vzdálenosti mezi oběma 256bytovými kódy duhovek
- ❑ Hammingova vzdálenost mezi kódem duhovky A a B je dána:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$

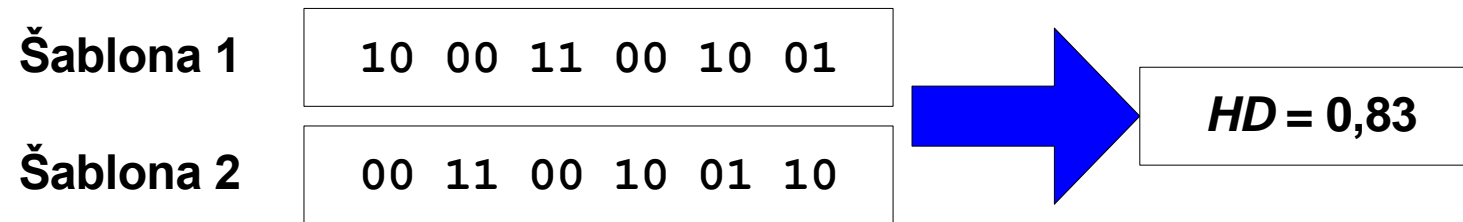
- ❑ Kde  $N=2.048$  ( $8 \times 256$ ), není-li duhovka zastíněna víčkem. V opačném případě jsou použity pro výpočet Hammingovy vzdálenosti pouze platné regiony.

- ❑ Hammingova vzdálenost: pro dané dva vzory A a B je to počet shodných bitů (suma XOR mezi jednotlivými bity) vydělený počtem N, tj.:

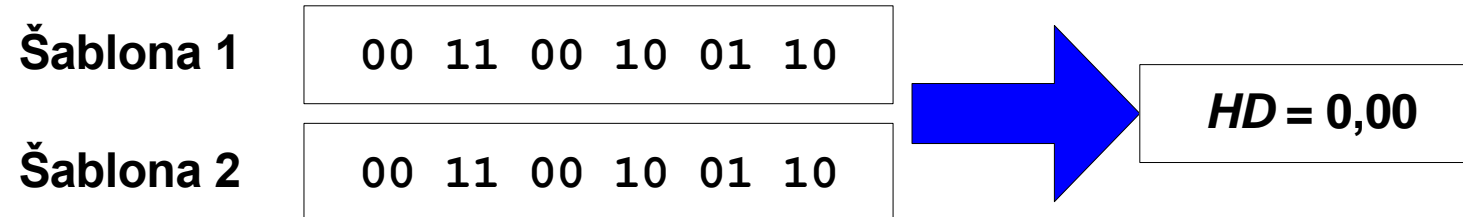
$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$

- ❑ Pokud jsou oba vzorky získány ze stejné duhovky, je Hammingova vzdálenost mezi nimi rovna či blízka nule (díky vysoké korelaci obou vzorků).
- ❑ K zajištění rotační konzistence je jeden ze vzorů shiftován doprava/doleva a vždy je spočtena odpovídající Hammingova vzdálenost.
- ❑ Nejnižší hodnota Hammingovy vzdálenosti je potom brána jako výsledné skóre porovnání s.

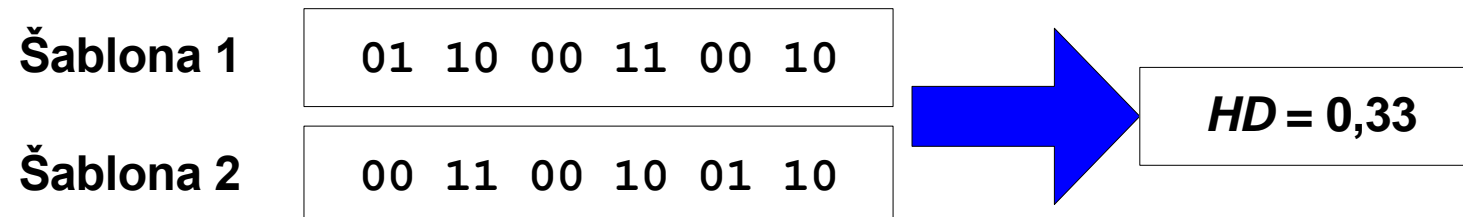
□ Příklad porovnání kódů duhovek za použití shiftování



← Shift 2 bity doleva

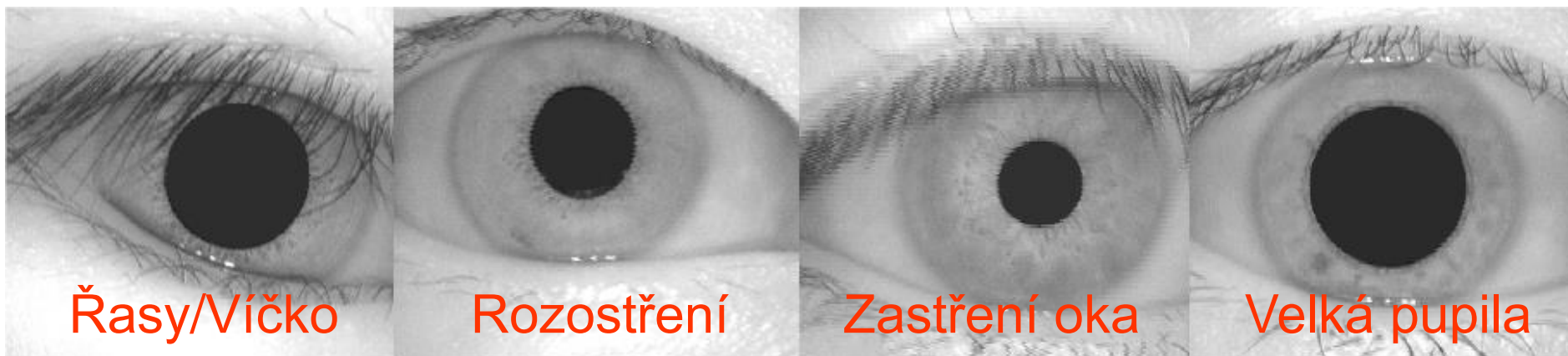


→ Shift 2 bity doprava



- ❑ Indie (1,3 mld. obyvatel) – Aadhaar
  - Včetně otisků prstů nebo fotografií obličeje.
  - Nasnímáno za 3 roky (cca milion lidí denně).
  - Kontrola duplicit = stovky bilionů porovnání denně.
  - Pro bezpečné vyplácení sociálních dávek a provádění finančních transakcí.
  - <http://uidai.gov.in>
- ❑ Indonésie (180 mil. obyvatel)
  - Elektronický občanský průkaz e-KTP - při spuštění 600 tisíc zapsaných osob denně.
- ❑ Mexiko (110 mil. obyvatel, vydávání volebních průkazů)
- ❑ USA (vojenství, věznice, hranice)
- ❑ Spojené Arabské Emiráty (hraniční kontrola)
- ❑ Bangladéš (100 mil. obyvatel, ověřování totožnosti na vládní úrovni)
- ❑ Pákistán (120 mil. obyvatel, průkaz totožnosti a volební procesy)
- ❑ Jižní Korea (bezpečnostní systémy na letištích a vládních institucích)

- ❑ Pořízení snímku duhovky vyžaduje spolupráci uživatele; uživatel musí stát v předdefinované vzdálenosti a pozici před kamerou
- ❑ Náklady na systém s vysokou výkonností jsou nemalé
- ❑ Obrázky duhovky mohou mít nízkou kvalitu, což vede k chybám při registraci / verifikaci / identifikaci.
- ❑ Bylo zjištěno [NN], že až 7% snímků duhovek je nevhodných k rozpoznávání, díky anomáliím očí (slzy v očích, dlouhé řasy nebo tvrdé kontaktní čočky).



- ❑ Duhovka se může změnit s přibývajícím časem:
  - Operace šedého zákalu
  - Nemoc nystagmus (třás oka)
  - Nemoc anaridia (zcela chybí duhovka)
- ❑ Slepí lidé jsou diskriminováni!
- ❑ Použití kontaktních čoček – viz. dále.



Šedý zákal

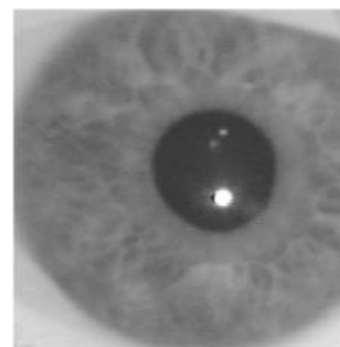
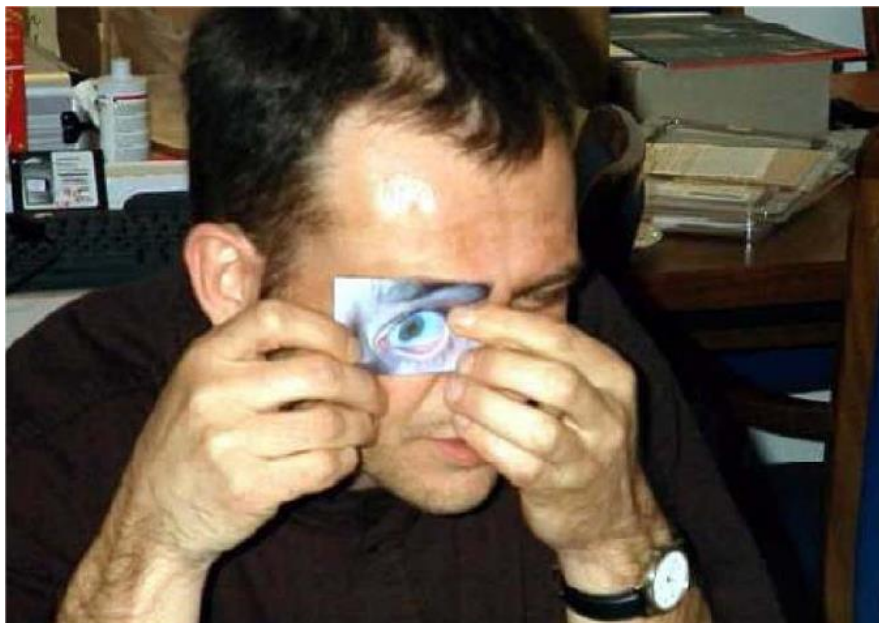


Krevní výron

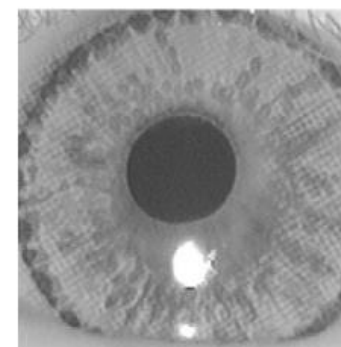


Iridodialýza

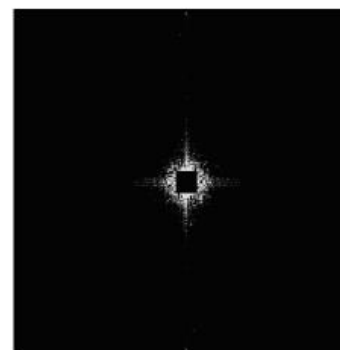
- ❑ K podvedení systému může být použita buď kontaktní čočka a nebo fotografie duhovky.



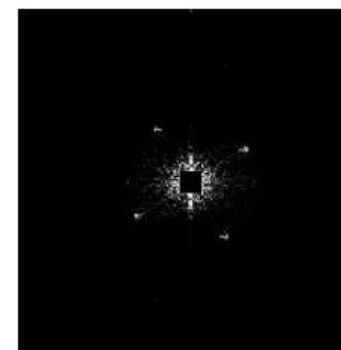
Přirozená duhovka



Vytištěná duhovka

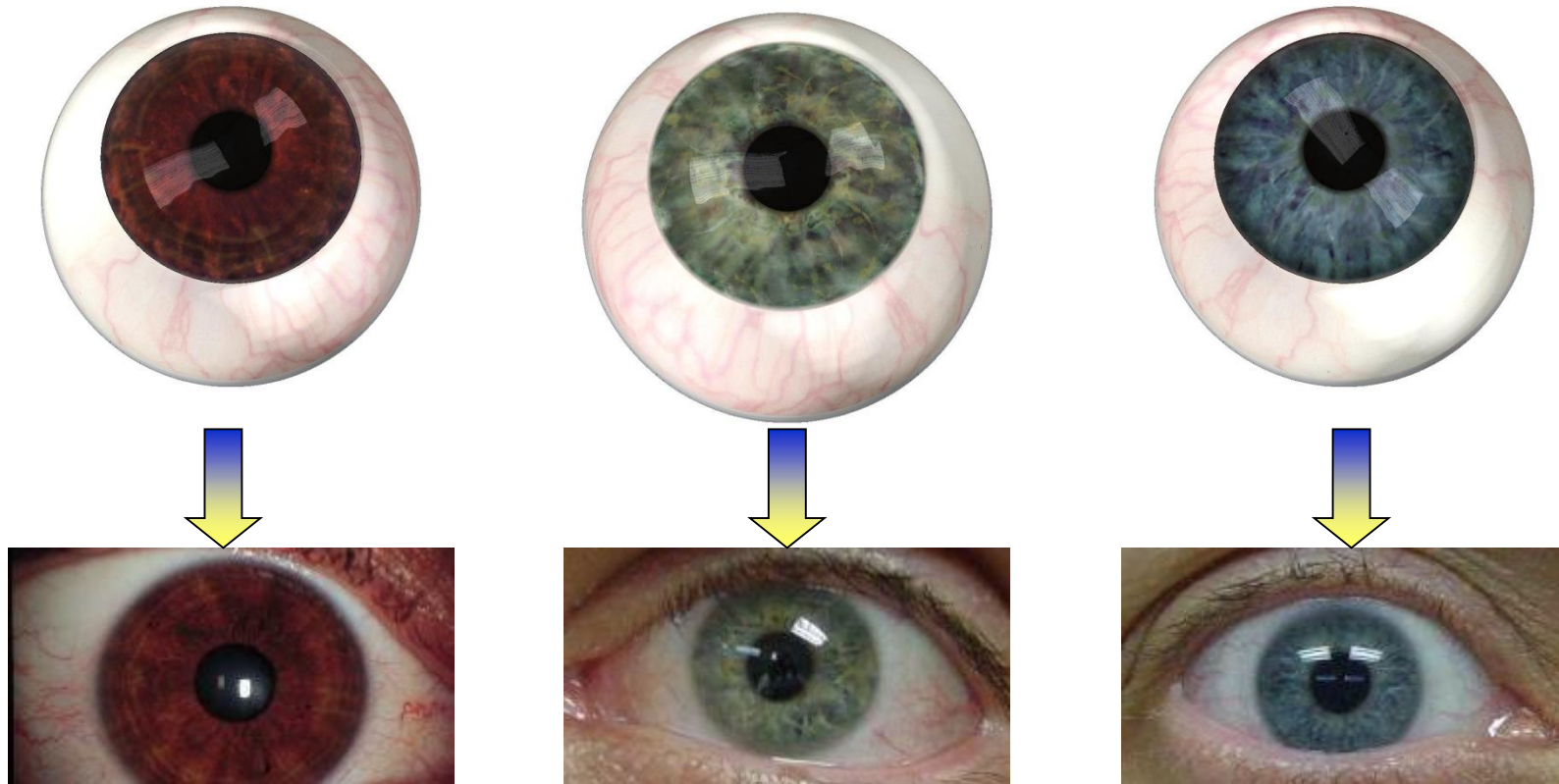


Frekvenční spektrum

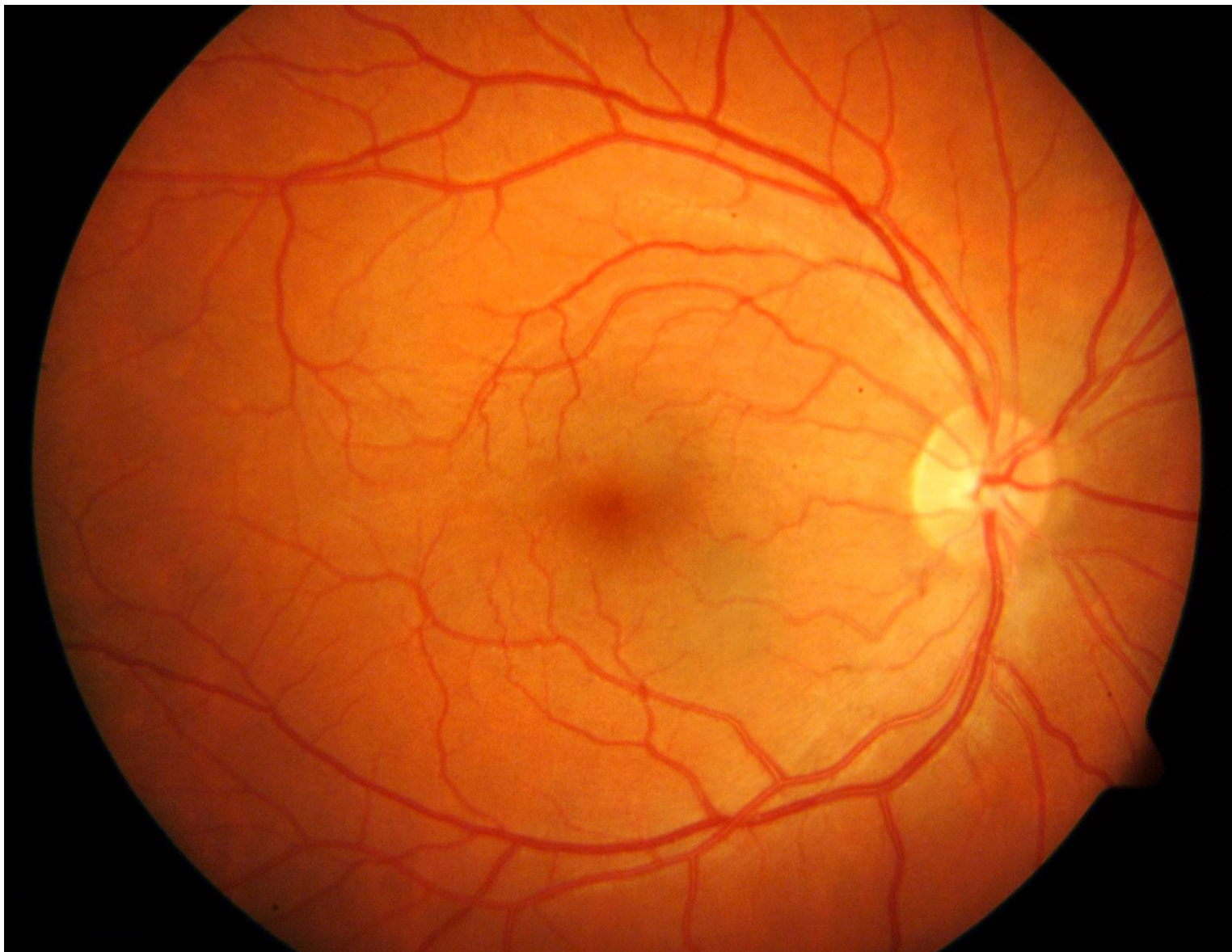


Frekvenční spektrum

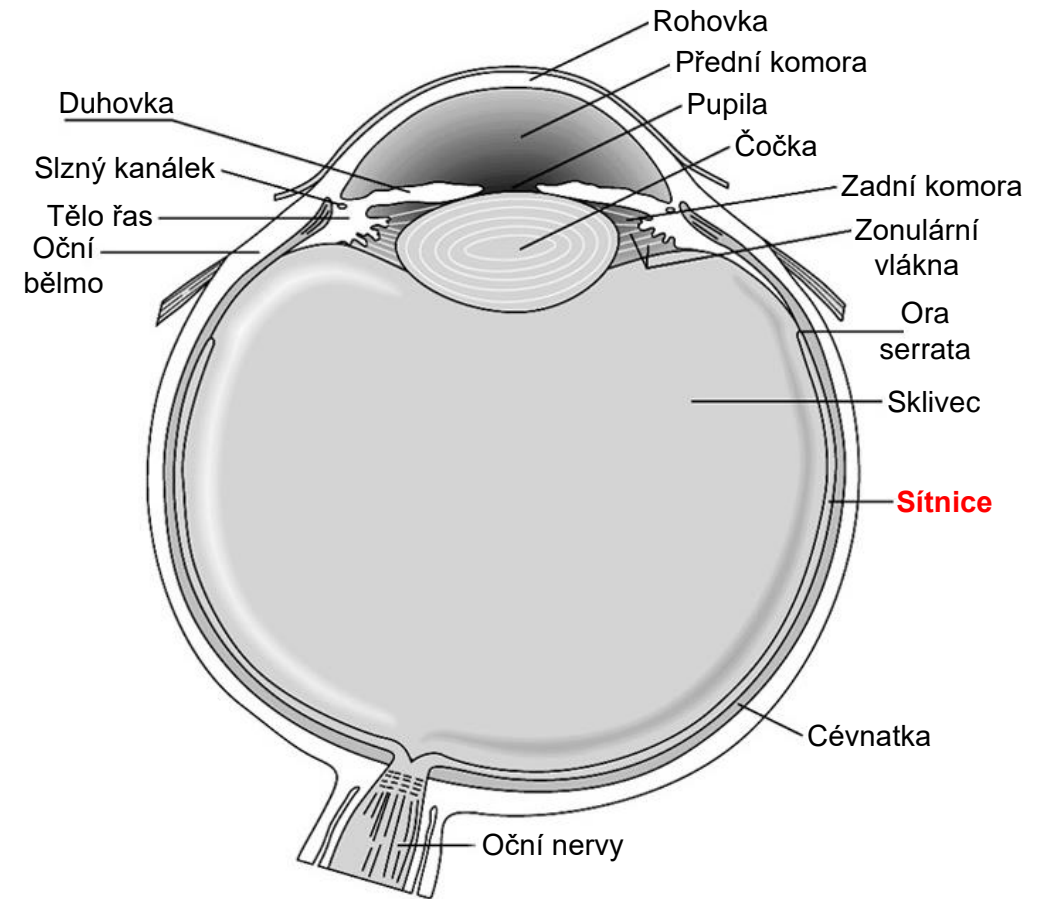
- Kontaktní čočka může obsahovat matoucí informace a to nejen o barvě duhovky, ale může se jednat i o novou strukturu duhovky → podvedení systému.



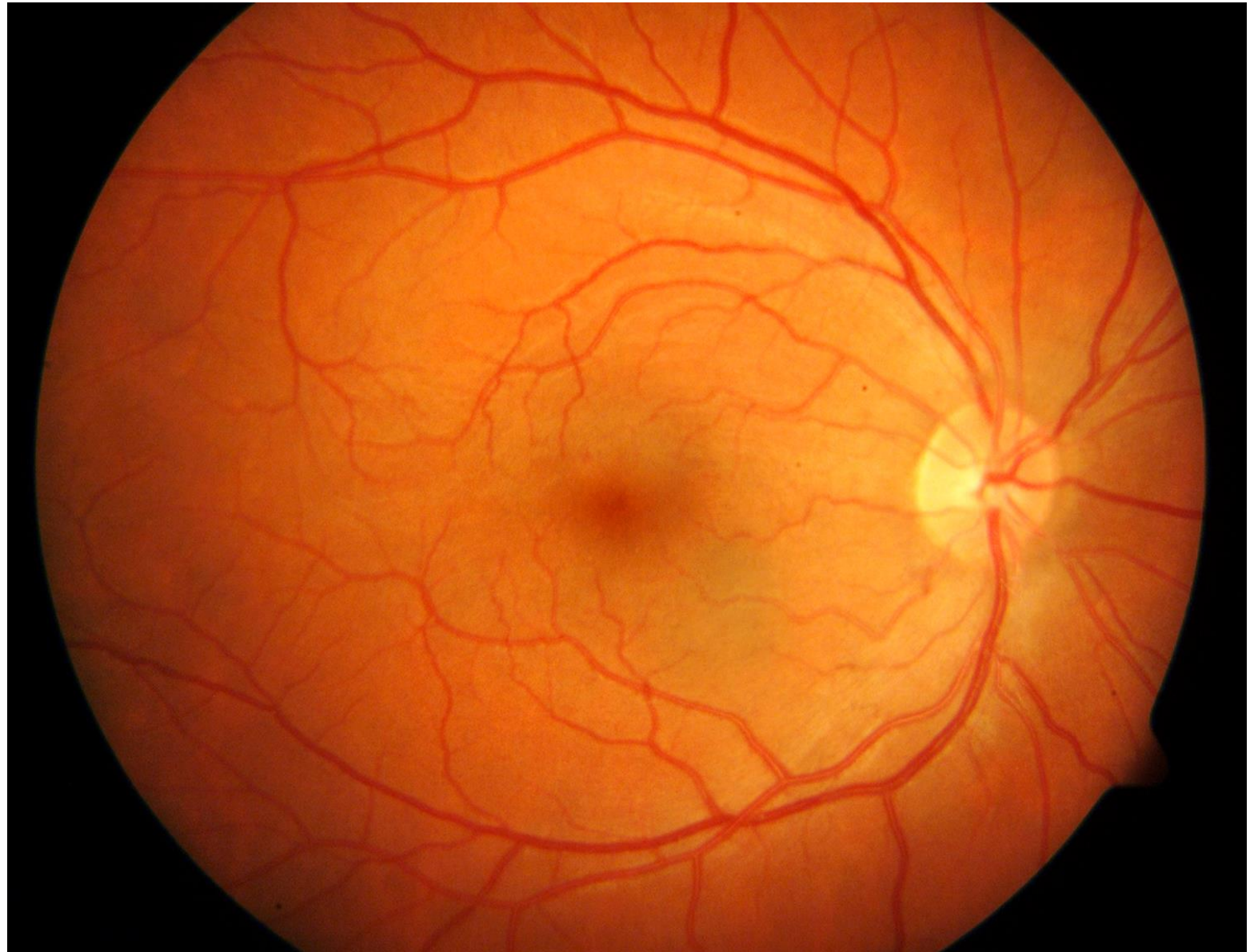
- ❑ Fotonická a spektrografická protiopatření
  - Spektrografické vlastnosti tkání, tuků a krve
  - Spektrografické vlastnosti barviva melanin
  - Koaxiální zadní reflexe duhovky („červené oči“)
  - 4 Purkyňovy reflexe z povrchu rohovky a čočky
- ❑ Protiopatření pomocí reakcí (chování)
  - Nekontrolovatelné
    - Pohyby pupily
    - Reflex pupily na světlo
  - Kontrolovatelné
    - Pohyby oka / mrkání dle povelů



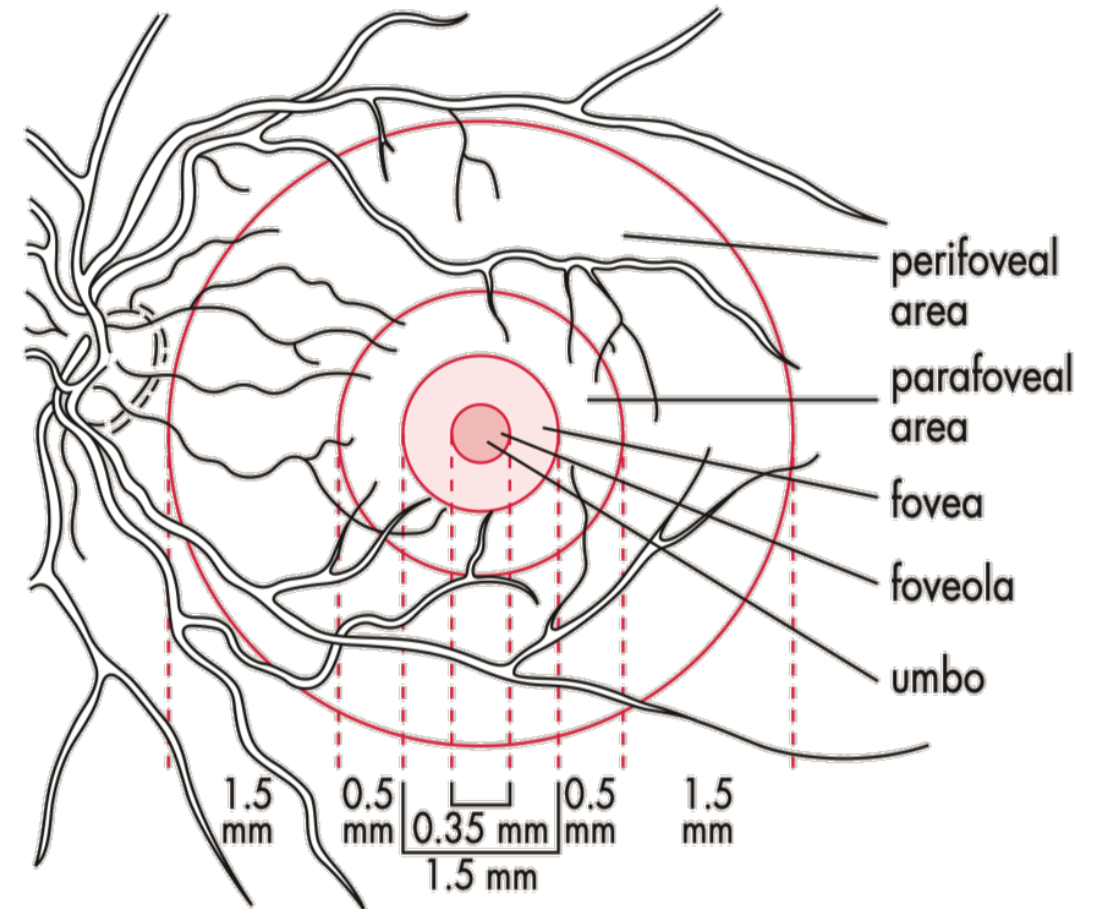
- ❑ Roku 1935 zjistili lékaři C. Simon a I. Goldstein, že žíly oka jsou u různých jedinců odlišné.
- ❑ Oko vykazuje podobný aparát jako mozek – struktura a žilní spleť zůstávají neměnné.
- ❑ Díky pozici uvnitř oka je sítnice chráněna před vlivy prostředí, tím je velmi vhodná k biometrickým účelům.



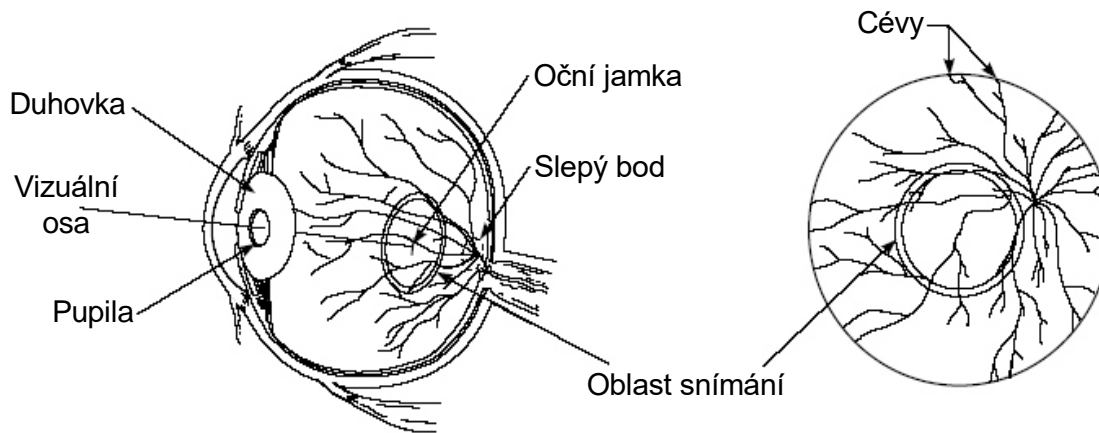
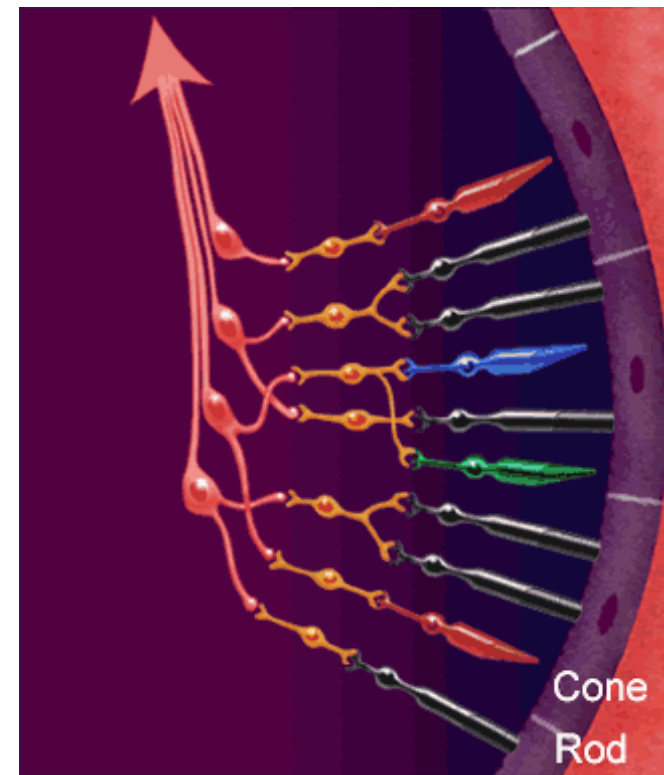
- Optický disk (slepá skvrna)
- Fovea (žlutá skvrna)
- Cévy – přivádějící a odvádějící krev.
- Nervy – přenášejí vjemy do mozku.



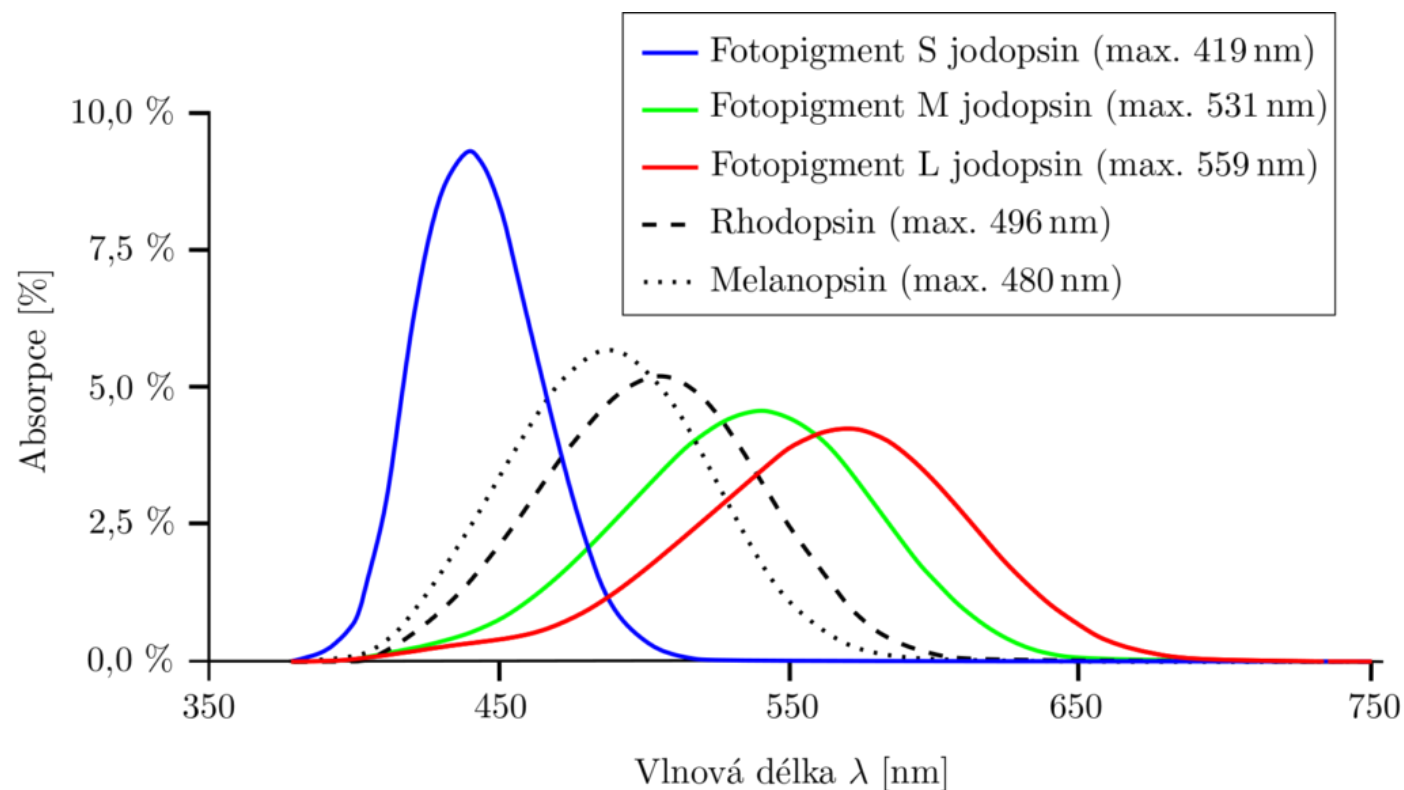
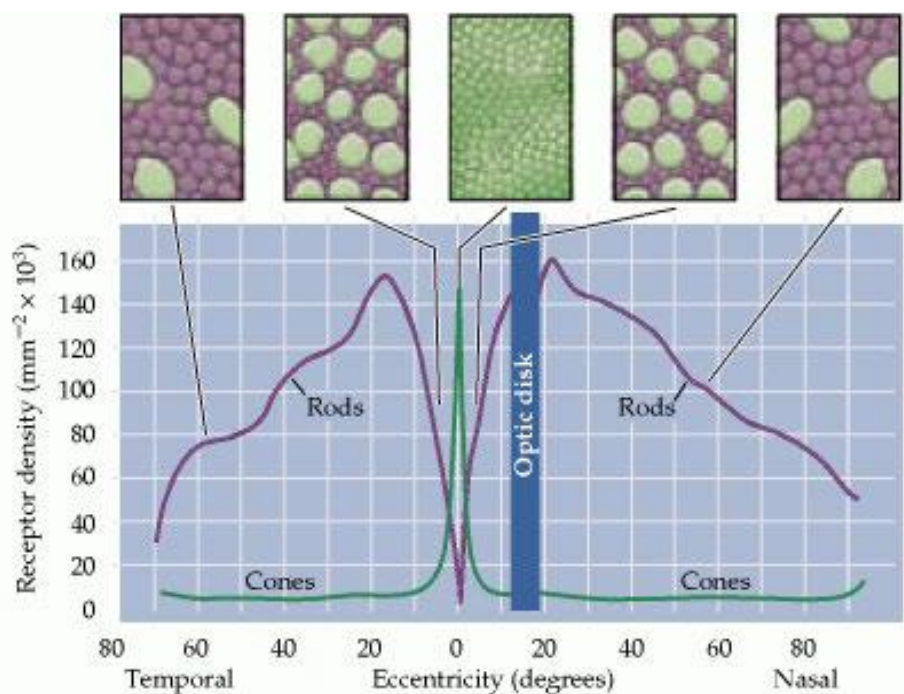
- ❑ Fovea má malou prohlubeň kvůli detailnější informaci o obrazu.
- ❑ Ptáci mají jamku mnohem hlubší, proto vidí mnohem detailněji.
- ❑ Fovea a její další pojmenované oblasti.



- ❑ Sítňice detekuje obraz, obdobně jako fotoaparát. Čočkou se upraví vstupní obraz a sítňicí je zachycen, podobně jako na film.
- ❑ Sítňice je zásobována krví, která je přiváděna cévami. Tyto cévy jsou připojeny k očnímu nervu.
- ❑ Světločivné buňky se dělí na tyčinky a čípky.
- ❑ Tyčinky vnímají šedotónově, čípky jsou tři typů – pro vnímání červené, zelené a modré barvy.



- ❑ Množství buněk klesá od fovey.
- ❑ Fovea obsahuje pouze čípky.



- ❑ K osvětlení sítnice se používá infračerveného světla, sítnice je u této vlnové délky průhledná, cévy sítnice infračervené světlo reflektují.
- ❑ Snímání ve viditelném spektru (jeden pokus kvůli reakci duhovky).
- ❑ Použití rozpoznávání duhovky je v oblastech s vysokými nároky na bezpečnost, jako např. nukleární vývoj, firmy vyvíjející a vyrábějící zbraně, vládní a armádní základny, tajné organizace....
- ❑ Systémy: EyeDentify (první funkční systém z roku 1975), Retinal Technologies, TPI (Trans Pacific Int.), RaycoSecurity.



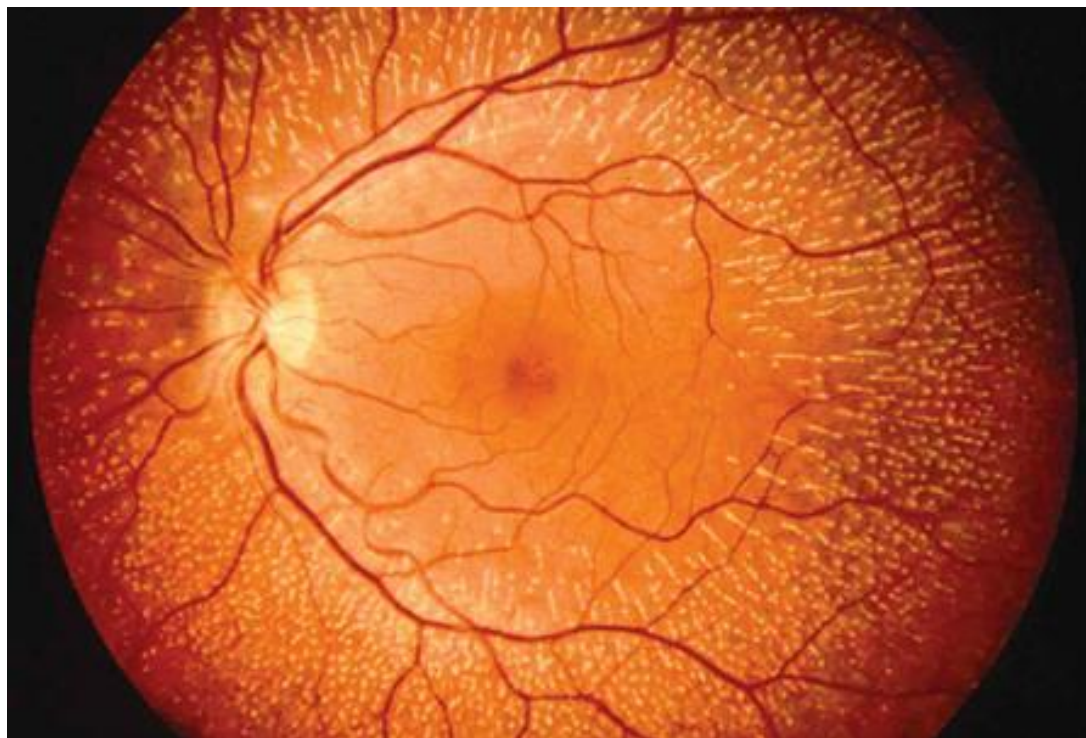
Šablona sítnice obsahuje pole 96 čtyřbitových čísel kontrastů z 96 scanů soustředných kruhů v časové oblasti, tj.  $96 \times 4 = 48$  bytů.

❑ Zpracovává se oblast okolo optického disku.

- Na většině snímků se optický disk nachází.
- Tolik nezáleží na velikosti nasnímané oblasti.

❑ Intenzity v časové oblasti mohou nabývat hodnot v intervalu  $\langle -8,7 \rangle$ , přičemž se provádí normalizace na toto rozložení – úprava na 4 bity intenzitního rozložení.

- ❑ Pro porovnání dvou šablon se musí provést tyto kroky:
  - Zarovnání (zajištění překryvu).
  - Normalizace obou šablon (intenzit).
  - Korelace obou šablon v časové oblasti (příp. Fourierova korelace)

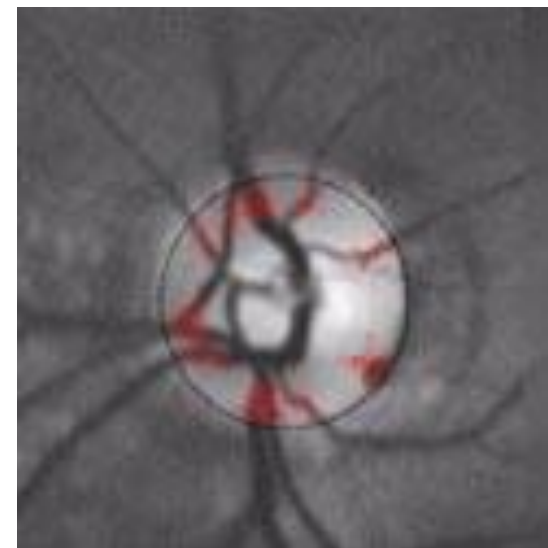
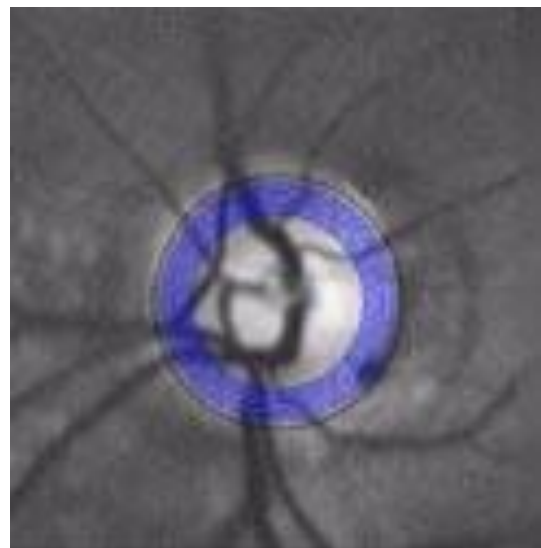
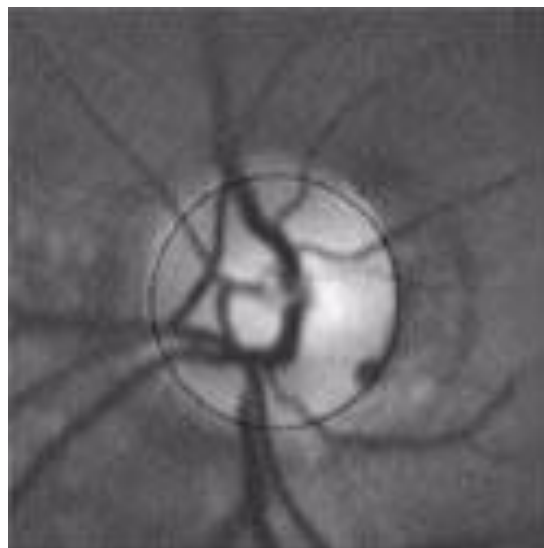


Okružící kolem optického disku

❑ Je ukládána tloušťka, úhel náklonu a poloha.

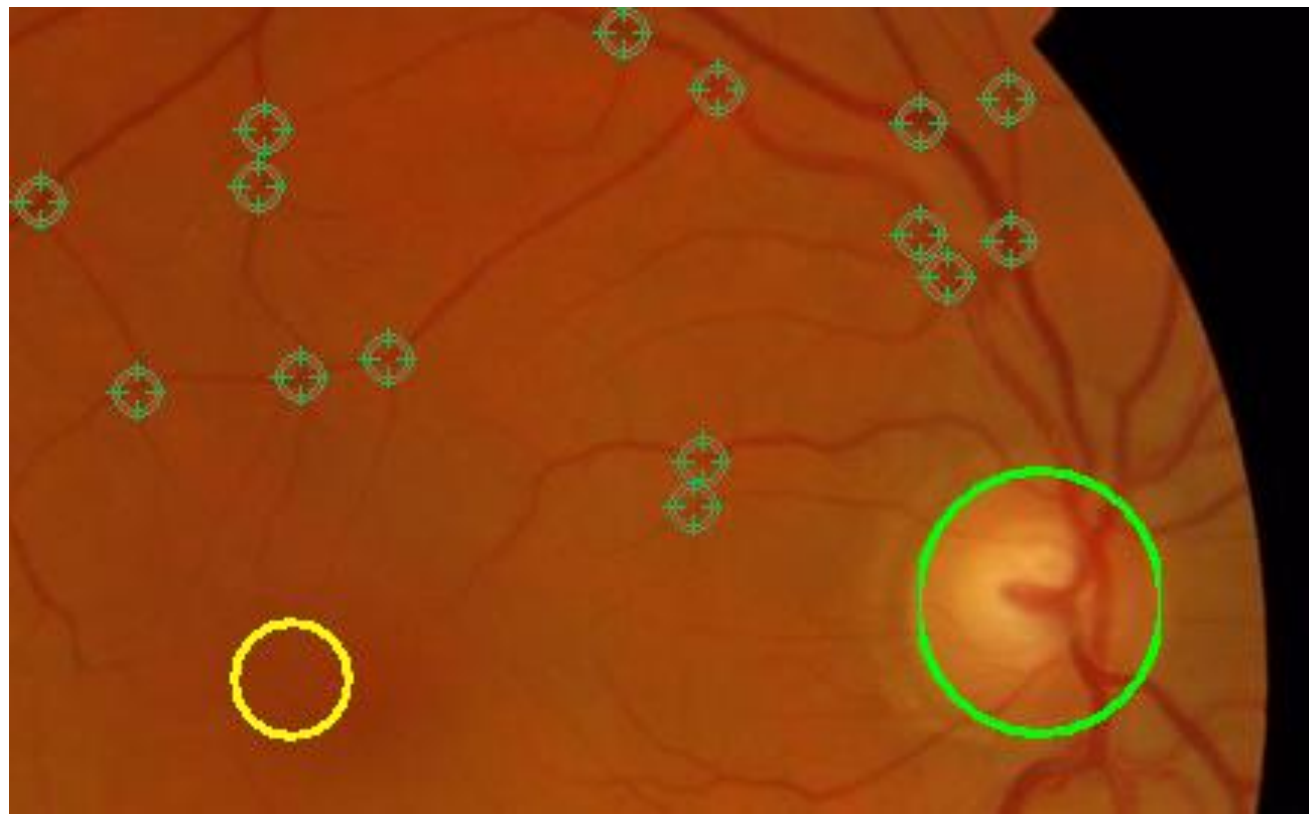
❑ Co když není na snímku optický disk vidět?

❑ Směry cév jsou často podobné, tloušťky taky, hlavní cévy většinou vedou stejnými směry.



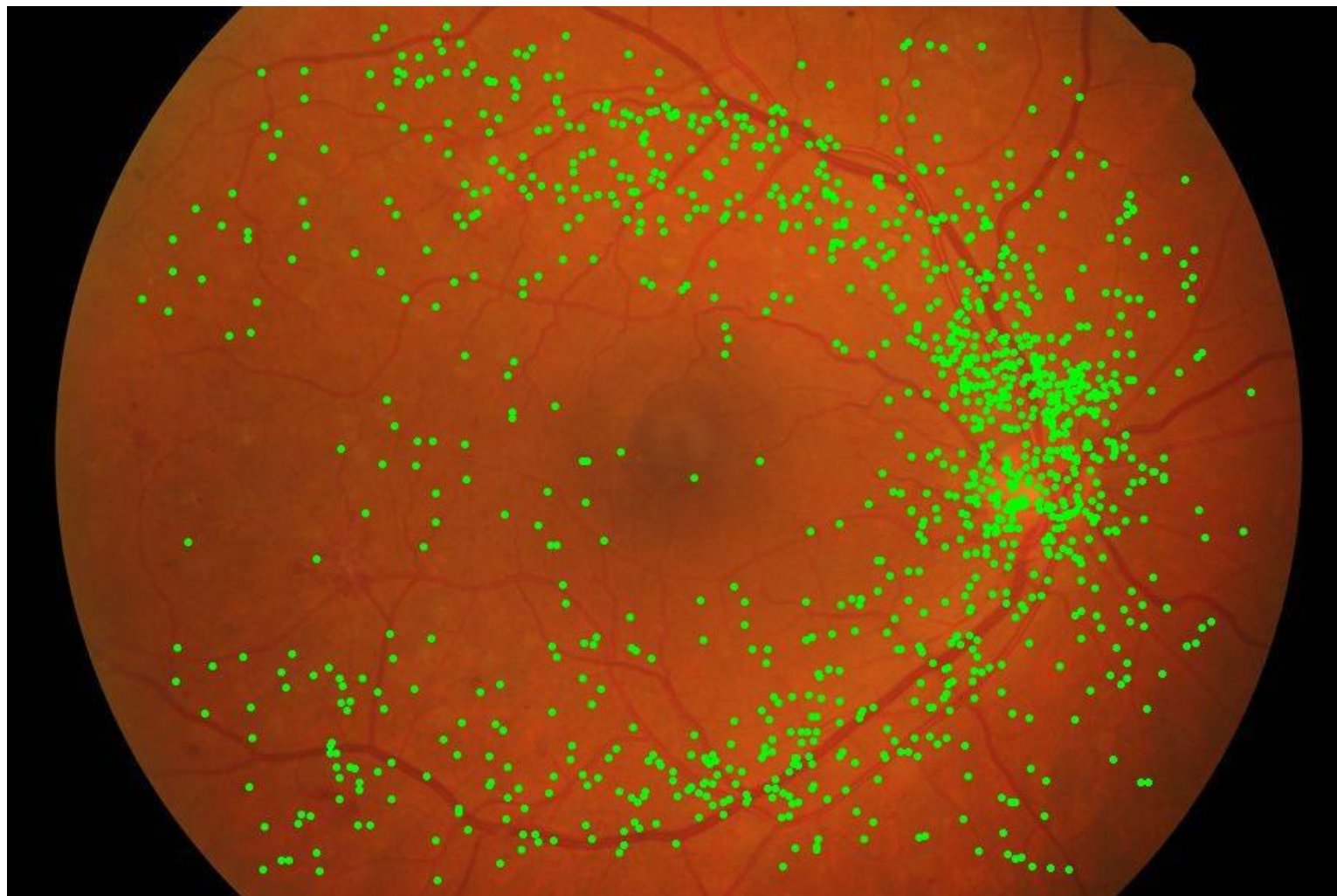
Detekce křížení cév

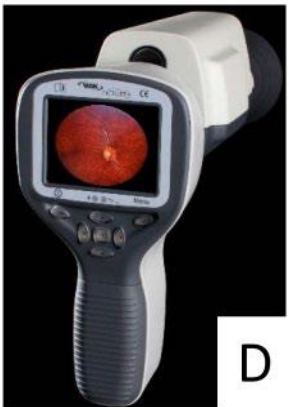
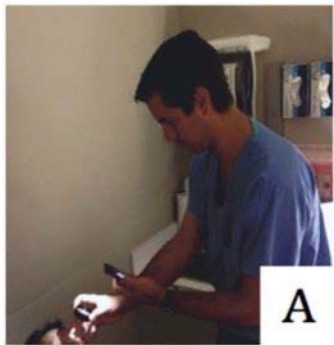
- Podobné jako u markantu vidličky na otiscích prstů.
- Pokud není viditelný optický disk, podle čeho určit část sítnice?
- Pokud není vidět část šablony nebo je vidět nezapsaná část? → stejné jako u otisků prstů
- Hůře viditelné křížení u tenkých vlásečnic.



- ❑ Strach uživatelů z poškození oka.
- ❑ Zjištění zdravotního stavu – kórnatění cév apod.
- ❑ Omezené možnosti pro venkovní použití.
- ❑ Vysoká cena zařízení.
- ❑ Lidé s poruchou zraku (astigmatismus) nejsou schopni zaostřit oko na bod (funkčnost srovnatelná s měřením zaostřovací schopnosti oka u očního lékaře) – nedojde ke správnému vygenerování šablony.
- ❑ Možné zdroje chyb
  - nedostatečná fixace oka,
  - chybná vzdálenost oka od snímače,
  - nedostatečně rozšířená pupila,
  - špinavý okulár,
  - kontaktní čočky,
  - interference světla...

- ❑ Po statistickém vyhodnocení lokalit výskytů markantů dojde k vytvoření vzorce pro zjištění počtu kombinací.
- ❑ Teoretické limity dané biometriky.

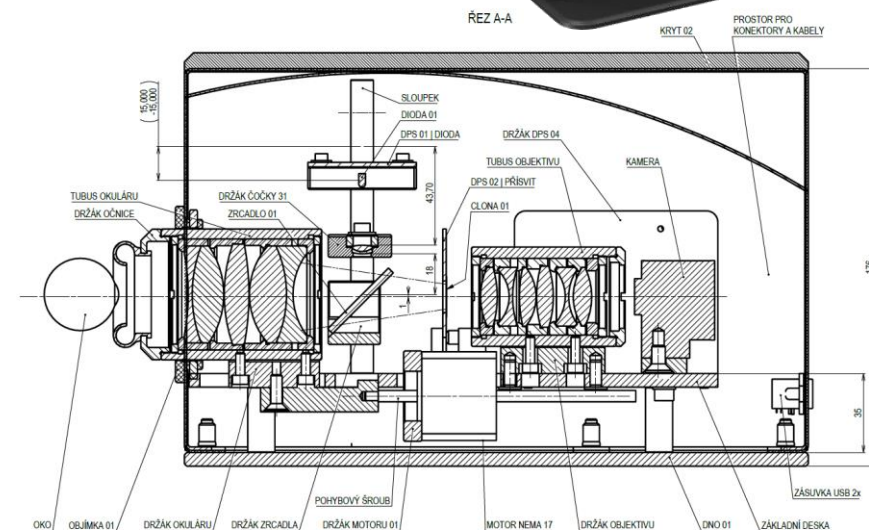
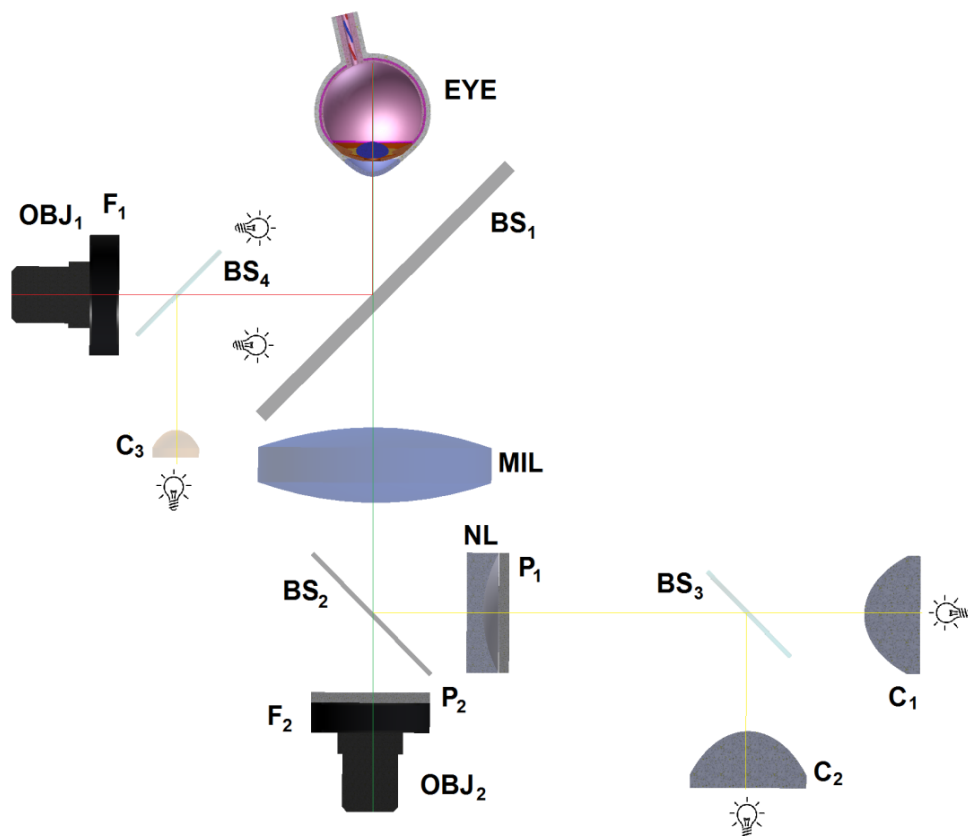


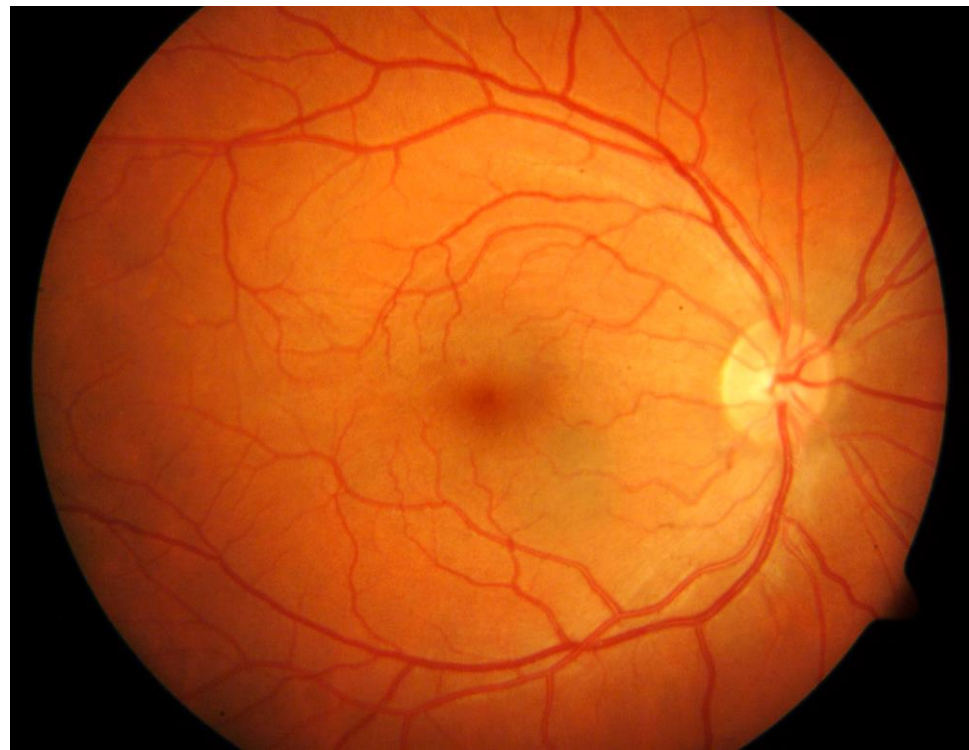


Snímání sítnice je komplikované již samo o sobě.

- Přirozený pohyb oka a cév,
- spektrální analýza tkání a cév,
- reflexe světla,
- krevní průtok,
- mrkání na povel,
- reakce na světlo.

- ❑ Zařízení vyvíjené skupinou STRaDe na FITu – „Eyrina“.
- ❑ Dokáže téměř v jednom okamžiku pořídit oba snímky.
- ❑ Využití pro biomedicínské a biometrické účely.





Děkuji za pozornost!