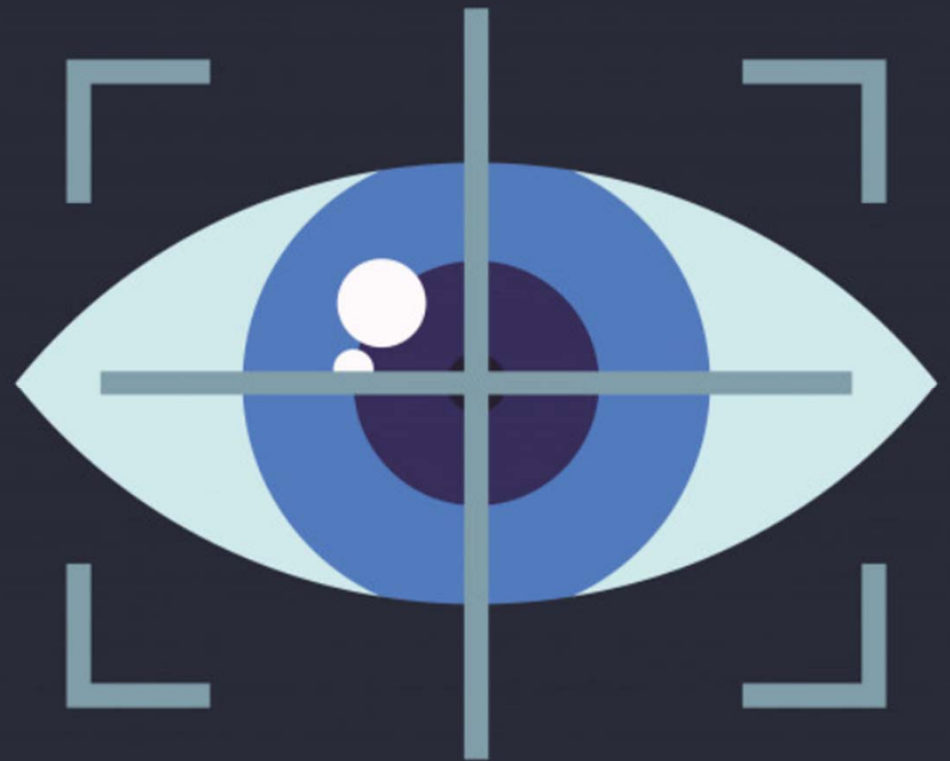


# Eye-tracking

Sledování pohybu očí

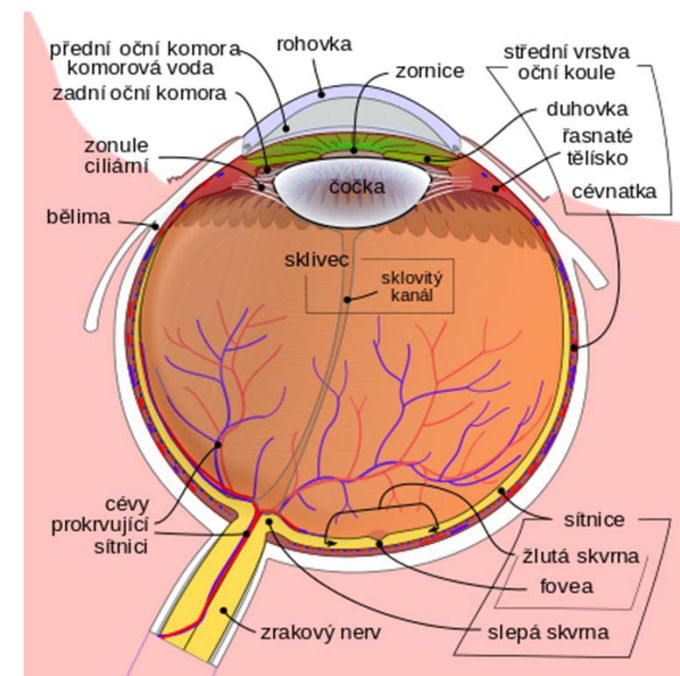
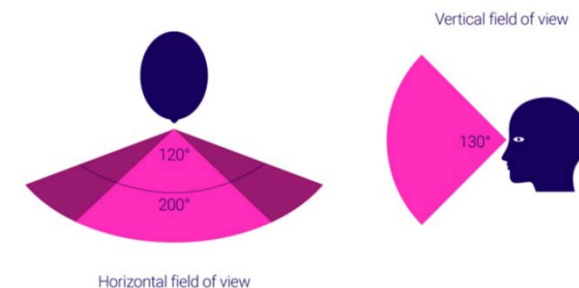
**POLn6012 Moderní informační technologie  
v politologii**

Michal Tóth  
Jaro 2022



# Ľudské oko – základ ET

- **dôležité pre pochopenie princípu eye-trackingu**
- približne guľovitý tvar s priemerom cca **2,3 cm**
- oči dohromady poskytujú obraz priestoru v rozpätí cca **200° na šírku** a **130° na výšku**
- **v jeden okamihu** vnímajú ostro len obmedzenú časť tohoto priestoru – **1-2° priestoru** (cca veľkosť nechty na palci pri natihnutí ruky pred seba)
- svetlo → **zrenica** → **šošovka** (otočenie obrazu „hore nohami“, zaostrenie) → **sietnica**
- svetlocitlivé bunky na sietnici – **tyčinky** (videnie za šera) a **čapíky** (vnímanie farieb) → transformácia svetla na **elektrické impulzy** → nervovou sústavou do **mozgu**
- **rohovka**
  - dôležitá pre ET
  - vonkajšia časť oka
  - odráža svetlo

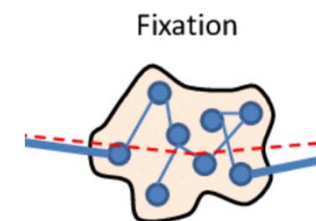


# Ľudské oko – pohyby

- oko ostro vníma len čas priestoru → potreba **neustáleho pohybu**
- **jeden z najdôležitejších pohybov oka** nie je vo svojej podstate pohyb

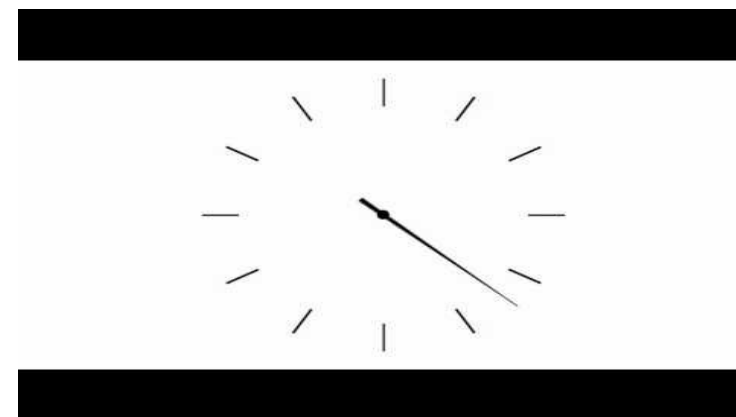
- **FIXÁCIA**

- schopnosť oka udržať sa zamerané na určitý bod v priestore
- niekoľko desiatok ms až sekúnd
- oko **nie je nikdy ÚPLNE fixované** - mikrosakády, tremor (tras)
- zložením väčšieho množstva fixácií vzniká **vizuálny vnem**



- **SAKÁDA**

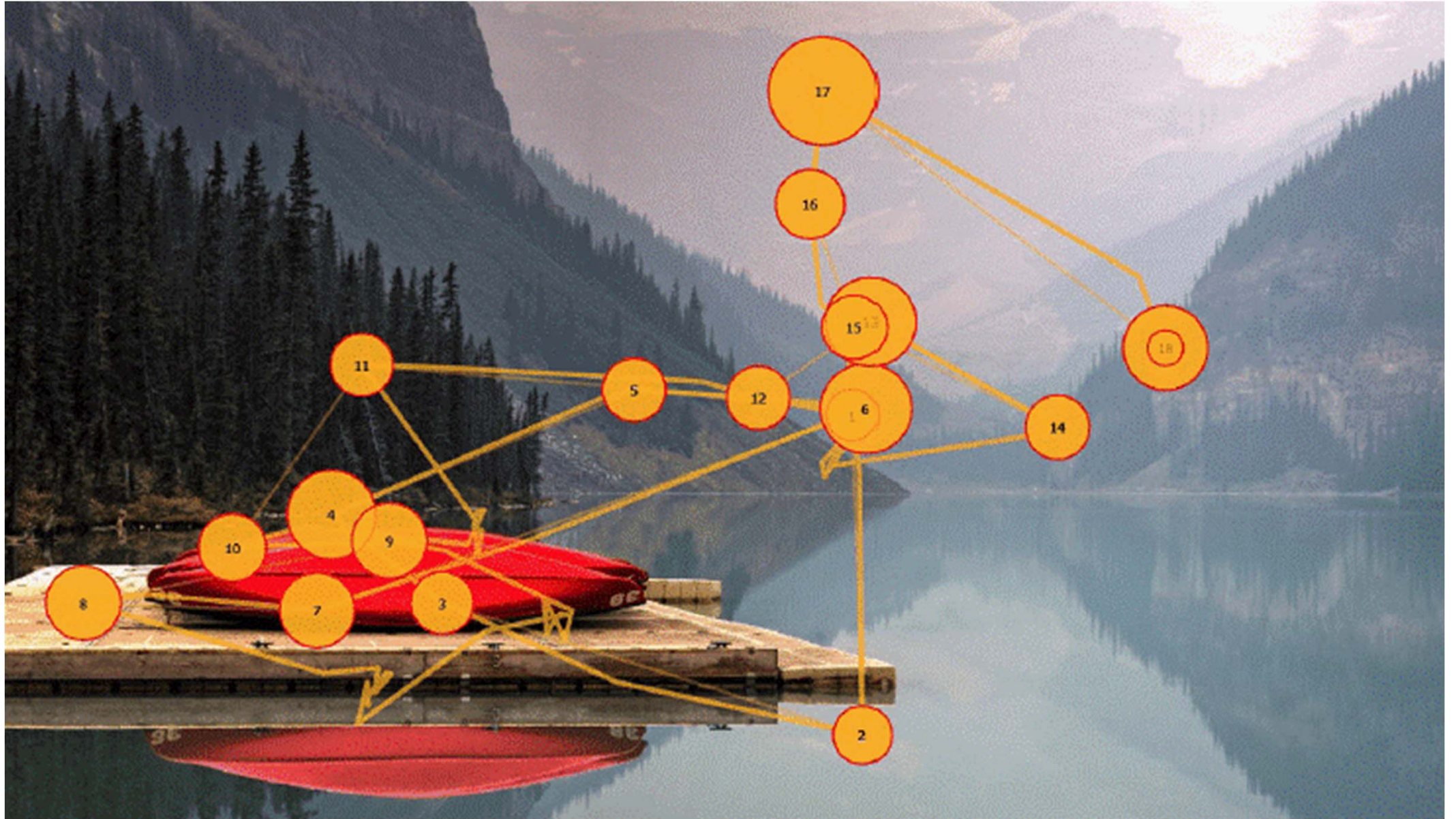
- presun oka z jednej fixácie na druhú
- rýchly balistický pohyb (až 500°/sekundu)
- najrýchlejší pohyb časti ľudského tela
- 3-4 sakády za sekundu (200 tis. za den)
- počas sakády oko nevníma žiaden vizuálny vnem
- zachytíte pohyb vlastných očí v zrkadle?



- ďalšie pohyby, napr. **smooth pursuit**

- sledovací pohyb (pomaly pohybujúci sa objekt - lietadlo)
- vyžaduje sledovací objekt (nie je možný v tme, alebo pred holou stenou)





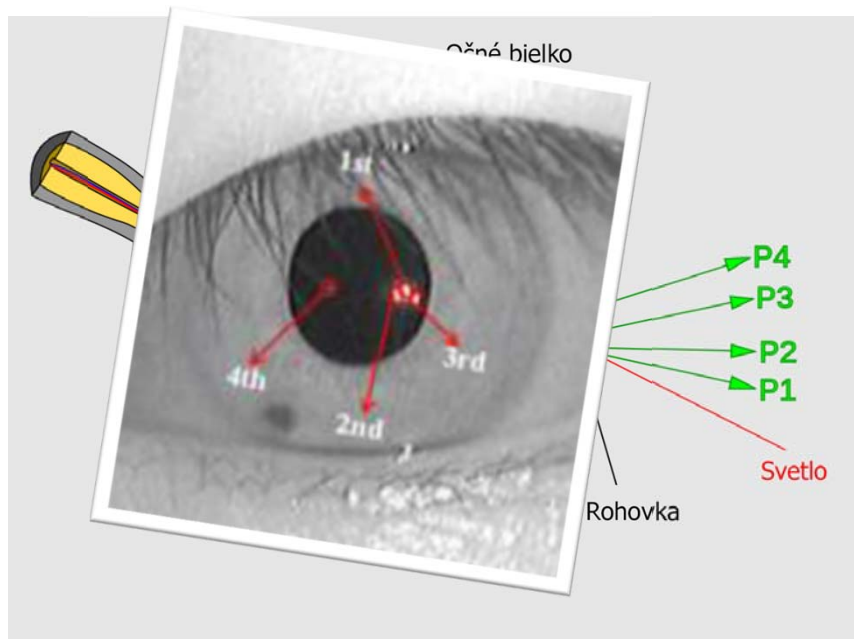






# História eye-trackingu

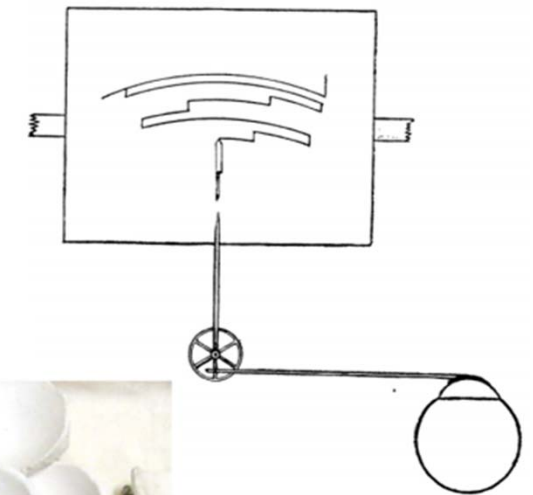
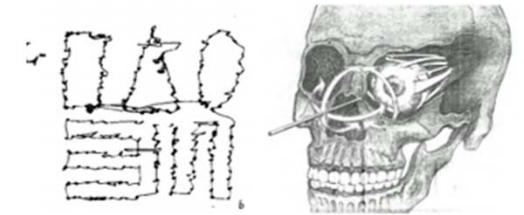
- **Jan Evangelista Purkyně** (19. stor.), fyziológ, anatóm, biológ
- popísal obrazy odrážajúce sa od povrchu oka – tzv. **Purkyňove obrázky** → **presný záznam polohy oka**
- tmavá miestnosť, sviečka cca 30 cm pred očami → 4 svetlolomné plochy → 4 rôzne odrazy svetla
- **4 viditeľné** Purkyňove obrázky:



- P1 – odraz od vonkajšej strany rohovky
- P2 – odraz od vnútornej strany rohovky
- P3 – odraz od vonkajšej strany šošovky
- P4 – odraz od vnútornej strany šošovky

# História eye-trackingu

- **Émile Javal** (koniec 19. stor.)
- oči sa nepohybujú plynule (výskum pohybu oka počas čítania)
- **popísal sakády** (názov podľa rýchlo pohybu koňa pri drezúre)
- zariadenie na záznam pohybu oka pomocou **zrkadla pripevneného na oko**
- **E. B. Delabarre** (koniec 19. stor.)
- pohyb oka zaznamenaný pomocou **sadrovej misky na oku** a pripevneného drôtu
- **Presné pri pomalých pohyboch**, rýchlejšie (prirodzenejšie) pohyby - problematická interpretácia
- **bolestivá** procedúra – znecitlivenie oka kokainom

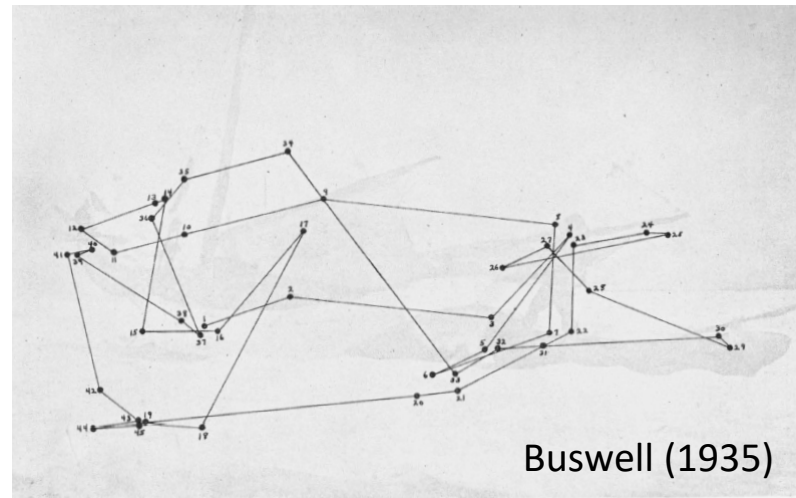
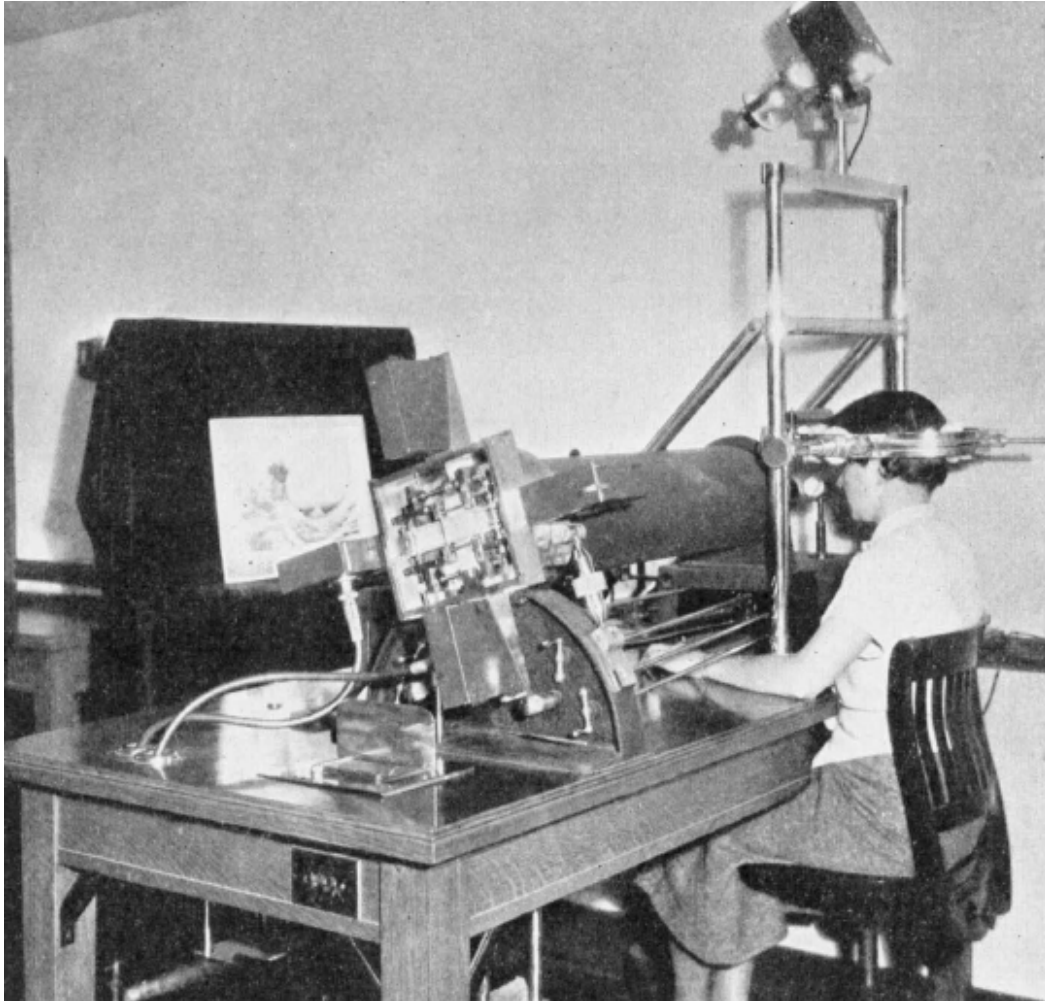




# História eye-trackingu

- **20. stor.** – rýchly nárast technológií pre sledovanie pohybu očí
- nové metódy **bez potreby fyzického napojenia** na oko (Dodge a Cline 1901) → pohodlnejšie
- **revolúcia vo výskume pohybu očí** → rozvoj teórií o **väzbe medzi pohybom očí** (fixáciami a sakádami) a **vnímaním** (percepciou)
- kam presne sa človek pozerá → rozvoj eye-trackingu
  
- **1935 – Guy Buswell** – „How People Look at Pictures“
  - základ dnešného eye-trackingu
  - **200 subjektov** – každý z nich viac obrázkov → vyše 2000 pozorovaní pohybu oka (!!!)
  - **prvá práca systematicky** skúmajúca pohyb očí pri prezeraní zložitejších stimulov
  - respondentov rôzne porovnával (distribúciu fixácií, rôzne stimuly/úlohy)
  - prvé heatmapy (hustoty fixácií v konkrétnych častiach obrazu)

# História eye-trackingu



# História eye-trackingu

- **50.-60. roky – Rusko – Alfred Yarbus**
- respondentom ukázal rovnaký obrázok 7x po sebe, ale vždy s iným zadaním
- **zistenie 1: fixácie oka podmienené znením úlohy**
  - „high level“ faktory (dané úlohou) môžu zatieniť „low level“ faktory (dané stimulom)
- **zistenie 2: pri pohľade na ľudskú tvár fixovanie na oči a ústa**
- **70. roky**
- snahy o technické vylepšenie eye-trackerov (presnosť)
- vzniklo viac techník sledovania pohybu oka (rôzna presnosť a možnosti) – **Purkyňove obrázky doposiaľ neprekonané**

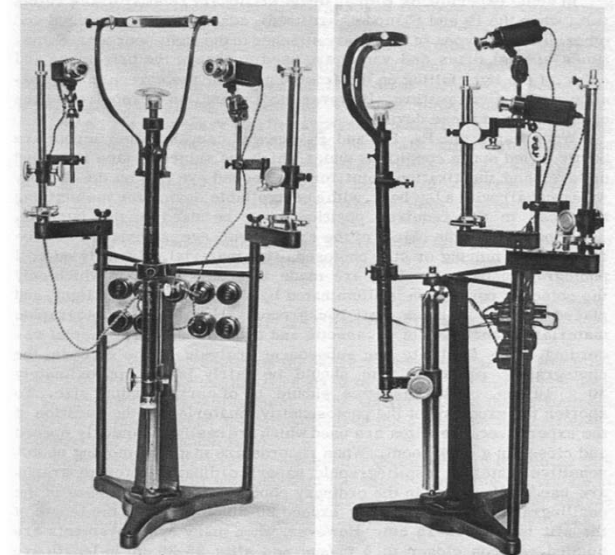
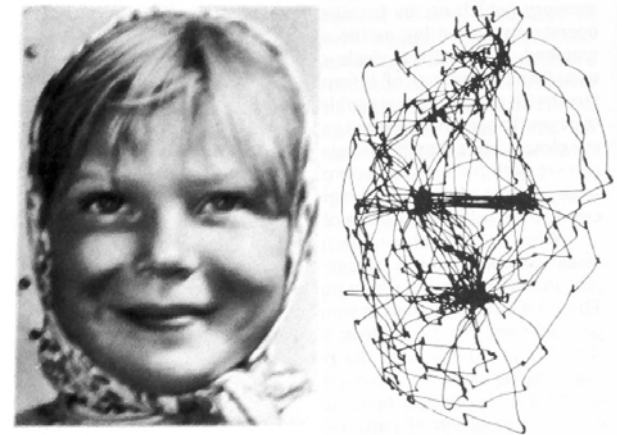


Fig. 21. The apparatus used in recording eye movements.





Free examination.

1



Estimate material circumstances of the family

2



Give the ages of the people.

3



Surmise what the family had been doing before the arrival of the unexpected visitor.

4



Remember the clothes worn by the people.

5



Remember positions of people and objects in the room.

6



Estimate how long the visitor had been away from the family.

7

3 min. recordings of the same subject

Yarbus (1967)

# Techniky sledovania pohybu očí

- **2 základné** typy techník sledovania pohybu oka:
  - 1. meranie **polohy oka vzhľadom k polohe hlavy** (invazívne – nutnosť pripojenia zariadenia k hlave alebo oku)
  - 2. meranie **polohy oka v priestore** (vzhľadom na vizuálnu scénu) – kam sa človek pozerá („Point of Regard“)
- Duchowski (2007) – 4 techniky sledovania pohybu oka
  - **Elektrookulografia**
  - Využitie **kontaktných šošoviek**
  - **Foto- alebo videookulografia**
  - **Detekcia zrenice a odrazu od rohovky** (Pupil and Corneal Reflexion Tracking)



# Techniky sledovania pohybu očí

- **elektrookulografie (EOG)**

- meranie rozdielov elektrického odporu kože (elektrody)
- možnosť pozorovať pohyb zavretého oka (výskum spánku)
- meria sa **poloha očí voči polohe hlavy** – bez zmerania polohy hlavy nezistíme smer pohľadu
- hojne využívané v 70. rokoch
- najmenej presná

- využitie **kontaktnej šošovky**

- veľmi presná
- na šošovku je pripevnený mechanický objekt (napr. **drôtená cievka**) - priamo na oku
- v okolí sú umiestnené **3 zdroje magnetického poľa** → dochádza k zmenám v el. prúde vedenom cievkou → poloha oka
- **nezistíme smer pohľadu** (bez zmerania polohy hlavy)
- náročná a **nepríjemná** aplikácia



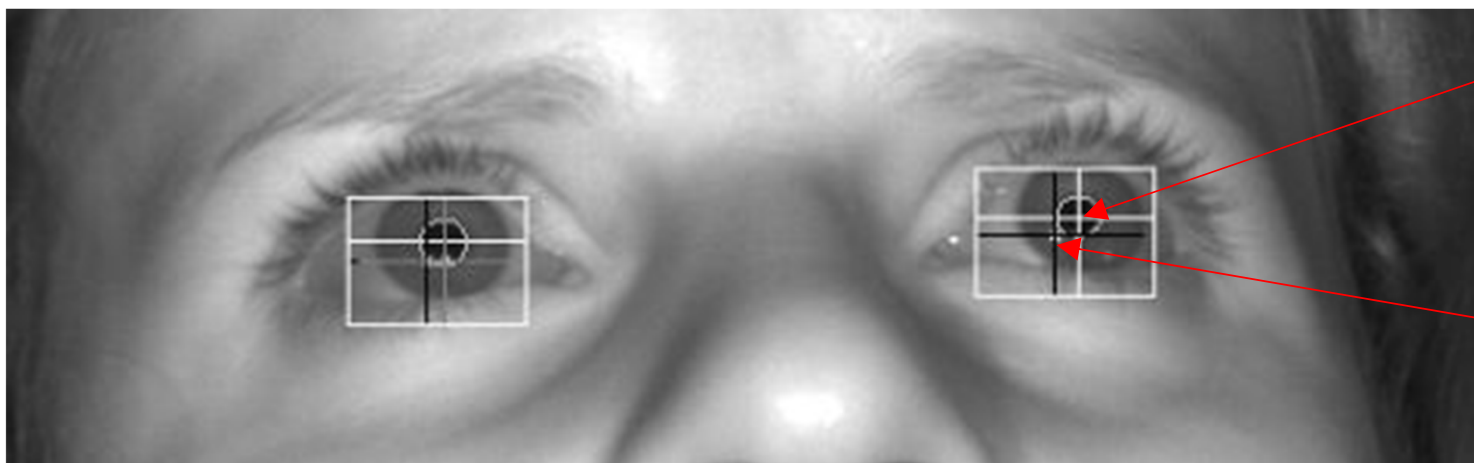
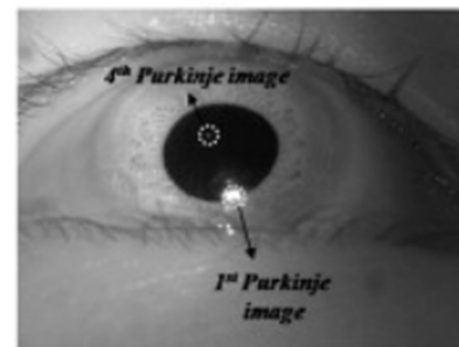
# Techniky sledovania pohybu očí

- **foto- alebo videookulografia**
  - meranie pozície rozlíšiteľných častí oka
  - detekcia tvaru zrenice, príp. vzájomná pozícia limbu (hranice medzi rohovkou a bielkom) a odrazu svetelného zdroja od rohovky
  - interpretuje sa **videozáznam pohybu oka** (zdĺhavé, náchylné k chybám)
  - **neposkytuje informáciu o smere pohľadu**
- **Ako zistiť aj smer pohľadu?**
- charakteristika očí musí byť zameraná tak, aby sa **odlíšil pohyb hlavy od otáčania oka** (fixácia hlavy tak, aby sa zhodovala poloha oka vzhľadom k hlave so smerom pohľadu)



# Techniky sledovania pohybu očí

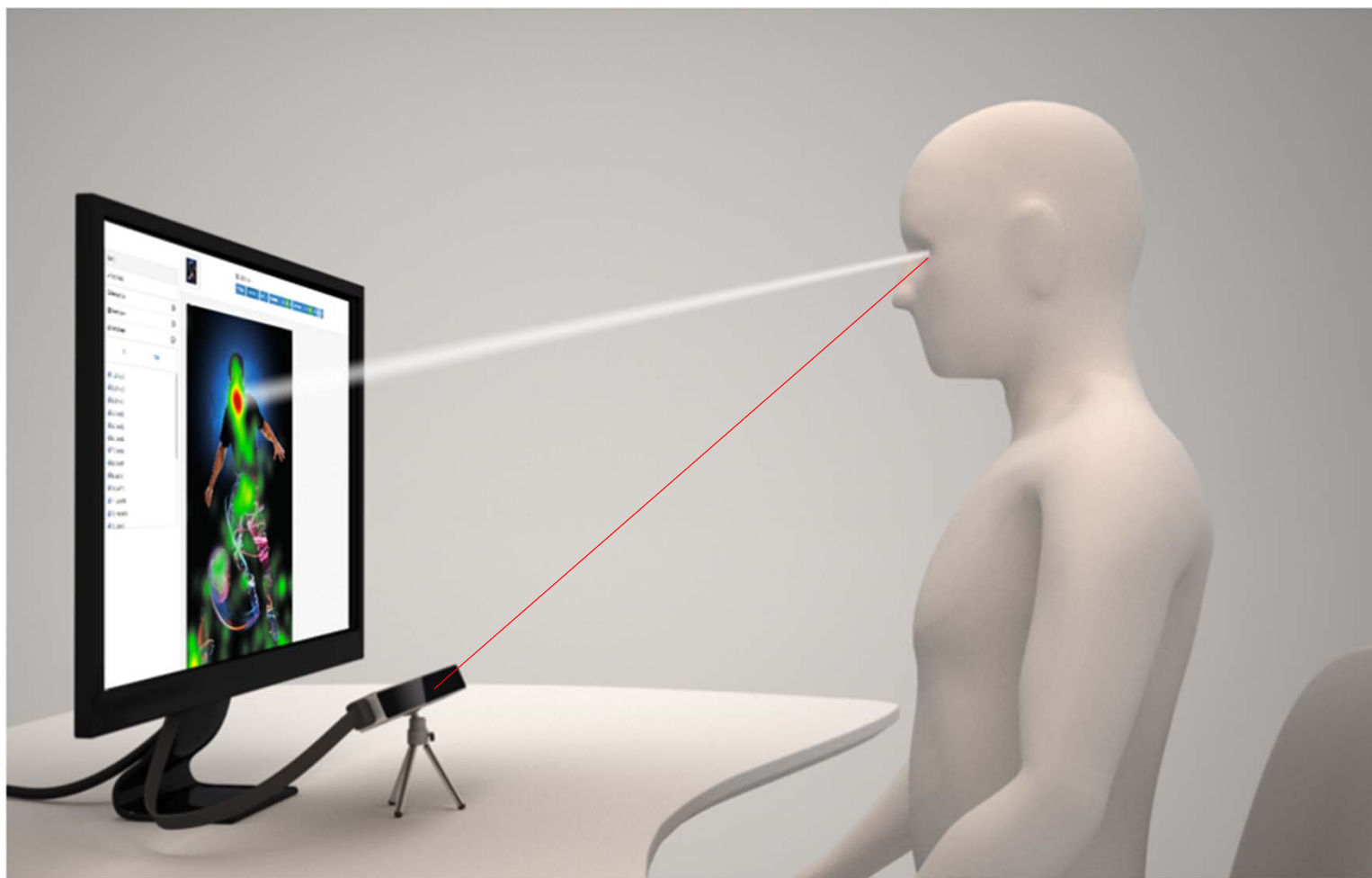
- detekcia **stred**u zrenice a odrazu od rohovky
  - **Pupil and Corneal Reflexion Tracking** (dnes najčastejšie využívaná technika)
  - detekcia **stred**u zrenice a **odrazu infračerveného lúča svetla od rohovky** (korneálny odraz)
  - **Prvý Purkyňov obrázok**



stred zrenice

korneálny odraz

# Techniky sledovania pohybu očí



**Smer pohľadu (point of regard)** – spočítaný na základe určenia vzájomnej polohy **stredú zrenice** a odrazu infračerveného lúča od rohovky (**korneálny odraz**)

# Techniky sledovania pohybu očí

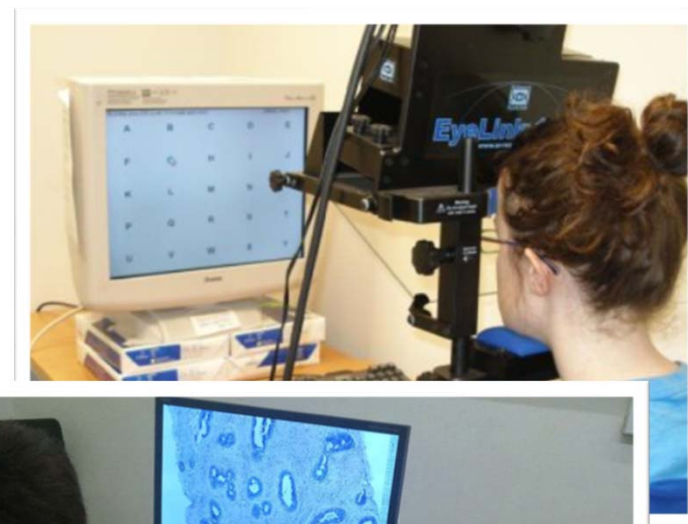
- **3 typy eyetrackerov** využívajúcich *Pupil and Corneal Reflexion Tracking*

- rozdiely v:

- umiestnení kamery a zdroja infračerveného lúča
- type získaných dát
- možnostiach analýzy

## 1. statický eye-tracker

- kamera aj zdroj infra-lúča umiestnený na stole pred participantom
- 2 podtypy:
  - „tower mounted“
    - ET v tesnom kontakte s participantom
    - zabraňuje pohybom hlavy (veľmi presný)
  - „remote“
    - bez kontaktu s participantom
    - snímanie z väčšej vzdialenosti
- stimul prezentovaný (typicky) na monitore





# Techniky sledovania pohybu očí

## 2. head mounted ET

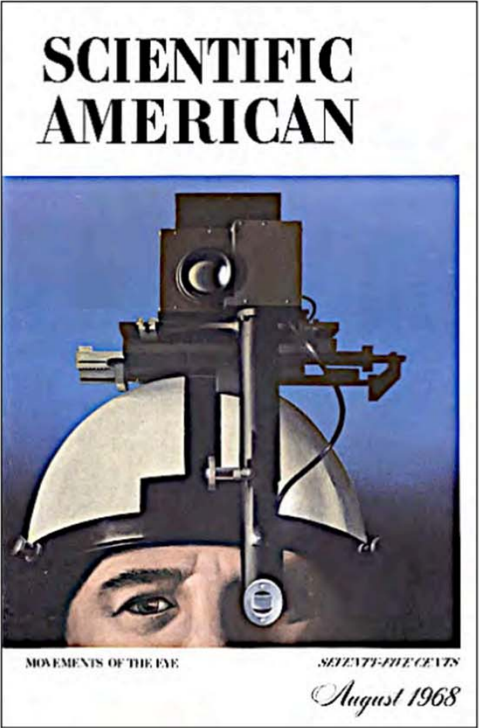
- statické ET – meranie reakcií v kontrolovaných **lab. podmienkach**
- od začiatku ET výskumu záujem o štúdium ľudí v **reálnych podmienkach**, reál. svete
- mobilné systémy umožňujúce sledovanie očí mimo laboratória
- zariadenie (kamera aj zdroj infra-lúča) pripevnené priamo na hlave vo forme okuliarov alebo prilieb



## 3. k head mounted ET je pripojený „head tracker“

- sníma polohu hlavy v priestore
- uľahčuje analýzu dát z head mounted ET
- ojedinelý

# Techniky sledovania pohybu očí



[ Thomas (1968) Scientific American ]

# Techniky sledovania pohybu očí

- **statické ET**

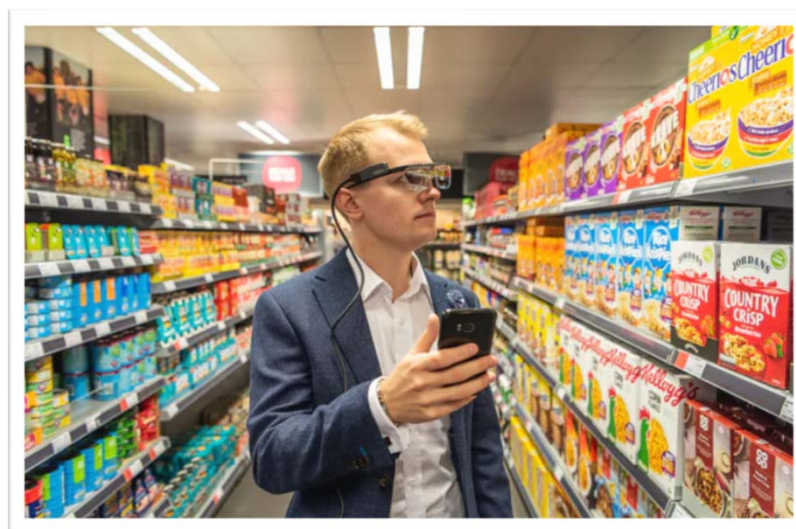
- jednoduchšie na obsluhu
- participant ľahko zabudne, že je monitorovaný (výskum detí)
- existujú aj vo verziách s viacerými kamerami, ak participant potrebuje pohybovať hlavou (letecké simulátory, výskum šoférov)
- fixné umiestnenie stimulu (monitor, časopis, plocha nad ET)
- **výstup** – súradnice v rámci fixného súradnicového systému plochy, na ktorej je stimul umiestnený (napr. poloha na obrazovke monitora)
- vyžadujú **kalibráciu** (aby sa ET „naučil“, na ktorý bod plochy so stimulom – akú súradnicu - sa oko v daný moment pozerá)



# Techniky sledovania pohybu očí

- **head mounted ET**

- poskytujú participantom maximálnu mobilitu (závisí na veľkosti a váhe)
- bežné aktivity – jazda na bicykli, nakupovanie, hranie tenisu, ...
- obsahujú kameru, ktorá sníma okolie a smer pohľadu
- zariadenie potom vzájomne prekryje súradnice pohybu oka s videom (zjednodušené!)
- omnoho náročnejšie spracovanie dát než pri statickom ET



# Techniky sledovania pohybu očí

- **moderné ET** fungujú väčšinou bezkontaktne
- **najčastejšie využívaný princíp** – detekcia zrenice a korneálneho odrazu
- Výrobcovia:



tobii



gaze point





# Dizajn ET výskumu

- najdôležitejšia je **výskumná otázka**, eye-tracker je **len nástroj (!!!)** ako ju zodpovedať
- **kvanti. prístup**: VO → konceptualizácia → hypotéza (teória!) → operacionalizácia
- kauzálny vzťah: **nezávislá vs. závislá** premenná
- ET štúdie typicky využívajú metódu **experimentu**:
  - **manipulácia s nezávislou premennou** (napr. veľkosť fontu na pol. letáku)
  - **meranie zmien závislých premenných** – efektu (napr. dobrá riešenia úlohy – napr. zadanie najst' hlavné posolstvo na letáku)
  - **kontrola tretích premenných**, ktoré by mohli spôsobiť zmeny závislej premennej (napr. učenie sa pri opakovanom meraní, alebo individuálne rozdiely participantov – náhodné rozdelenie)
- závislá premenná/meraná hodnota musí zodpovedať:
  - teoretickým predpokladom a hypotézam
  - možnostiam zariadenia
  - plánovaným štatistic. analýzam

# Dizajn ET výskumu

- **between-subject** design vs. **within subject** design?

	<b>Within-subject experiment</b>	<b>Between-subject experiment</b>
Definice	Všichni respondenti vidí všechny varianty	Každý respondent vidí pouze jednu variantu
Hlavní problém	Learning effect	Interindividuální rozdíly
Počet respondentů	Nižší všichni jsou v jedné skupině	Vyšší potřeba více skupin po X respondentech
Délka experimentu	Delší	Kratší
Porovnání variant	Respondenti mohou porovnat varianty mezi sebou	Respondenti nemohou porovnat varianty mezi sebou

- BS vs WS? – výber musí zodpovedať výskumnej otázke!

# Dizajn ET výskumu

- **kto sú naši respondenti - cieľová populácia?** – študenti vs. „verejnosť“
- **čo presne budeme merať a analyzovať?**
  - ktoré informácie o pohybe oka? – **fixácie vs. sakády**
- **ako to budeme analyzovať?**
  - jedným z najčastejších spôsobov analýzy ET dát je štatistické vyhodnotenie **eye-tracking metrík**
  - odvodené (najčastejšie) od **identifikovaných fixácií a sakád**
  - vzťahujú sa k stimulu ako celku, alebo len konkrétnej oblasti (**area of interest - AOI**)



The screenshot shows the website of Masarykova univerzita (MUNI) Faculty of Social Studies (FSS). The main banner features a green background with a person reading a book. The text on the banner reads: "Přihlášky do Mgr a PhD studia" and "Podávejte do 30. dubna 2021". Below the banner is a green button labeled "PODAT SI PŘIHLÁŠKU".

Below the banner is a yellow section titled "Kalendář akcí" (Calendar of events). It lists several events:

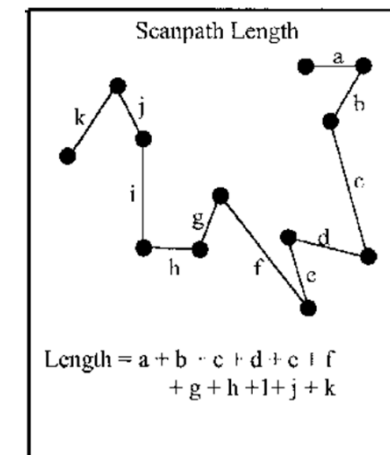
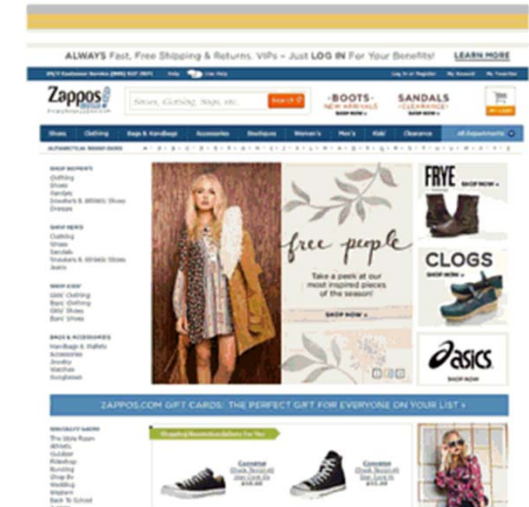
BREZEN - KVĚTEN	31. 3. - 31. 5.	26. 4.	31. 5.
<b>Czech for Foreign MU Staff and Ph.D. students</b> <a href="#">↗</a>	<b>Podmínky přijímacího řízení do navazujících magisterských studijních programů</b> <a href="#">↗</a>	<b>216. zasedání Akademického senátu FSS MU</b> <a href="#">↗</a>	<b>Cena IUS et SOCIETAS – vyhlášení pro rok 2020/2021</b>
<small>If you are looking for ways how to practice your Czech, MU Language Centre has five different Czech language courses for you. Choose your level by registering and taking a short entrance test. Courses range from A0 to A2-B1. Courses will take place from March to May. Click for more information and registration.</small>	<small>Přijímací řízení do navazujícího magisterského studia s nástupem PODZIM 2021 proběhne distanční formou. Přijímací řízení tedy proběhne pouze na základě doložených materiálů. Požadované materiály je třeba zaslat nejpozději do 31.05.2021 na emailovou adresu: <a href="mailto:prijim@muni.cz">prijim@muni.cz</a>. Požadavky jednotlivých studijních programů naleznete</small>	<small>od 16:00 216. zasedání Akademického senátu FSS MU proběhne dne 26. dubna 2021. Jednání začíná v 16:00 hodin a probíhá online na platformě Zoom. Pro připojení použijte link na stránce události.</small>	<small>Vzdělávací nadace Jana Husa ve spolupráci s Právnickou fakultou MU a Fakultou sociálních studií MU vyhlašuje soutěž o nejlepší esej, obsahující zajímavé podněty, pohledy a otázky týkající se role práva a justice ve společnosti.</small>

# ET metriky

- **Kategórie ET metrík podľa skúmanej premennej:**
  - **pohyb oka** (Movement measures)
  - **pozícia oka** (Position measures)
  - **počet pohybov** (Numerosity measures)
  - **reakčný čas a vzdialenosť** (Latency and Distance measures)

## 1. analýza pohybu oka

- ktorým **smenom**, akou **rýchlosťou** a ako **dlho** sa oko v určitom čase pohybovalo
- aký tvar mala **trajektória** pohybu
- v akom **poradí** oko „navštívilo“ jednotlivé definované AOI
- **Scanpath Length** (dĺžka trajektórie pohybu, v ms, pixeloch alebo počte fixácií)
- **Scanpath comparison** (porovnanie trajektórií)



# ET metriky

## 2. analýza **pozície oka**

- **kam** sa človek v určitom čase pozerá
- ktorá časť stimulu respondent **zaujala**, koľko **času** sledovaním daných AOI strávil
- **Fixation Duration**
  - dĺžka fixácie, v ms
  - dlhšia fixácia = vyššia pútavosť oblasti stimulu
- **Total Dwell Time** (tiež označované ako Total Viewing Time)
  - ukazuje, **koľko času** strávil participant pohľadom v definovanej oblasti stimulu (AOI)
  - v milisekundách alebo percentuálnom podiele z celkového času sledovania stimulu

## 3. analýza **počtu pohybov**

- počet fixácií, sakád alebo žmurknutí
- koľko krát sa participant **vrátil pohľadom do konkrétnej oblasti**
- **Fixation Count**
  - počet fixácií v konkrétnej oblasti (AOI)





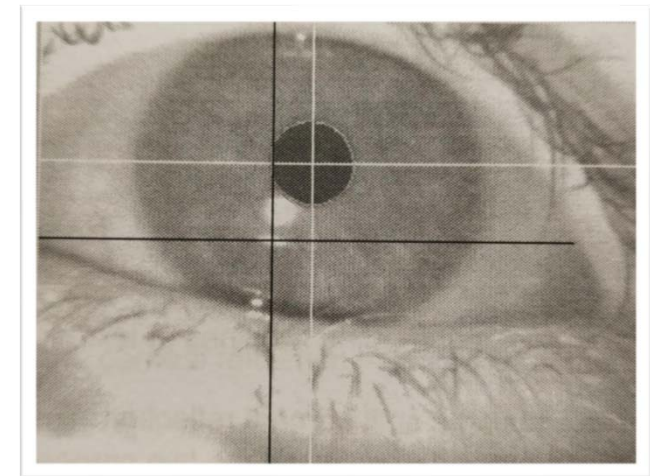
# ET metriky

## 4. analýza **reakčného času a vzdialenosti**

- vzdialenosť a omeškanie jednej udalosti za druhou
- napr. vzdialenosť pohľadu od kurzoru myši
- ***Time to First Fixation***
  - čas, ktorý ubehol od začiatku experimentu po prvú fixáciu (v konkrétnej AOI)
- **Analýza nameraných dát:** štandardné testovanie hypotéz pomocou štatistických metód (napr. porovnanie priemerov, korelačný koeficient, regresná analýza a pod.)

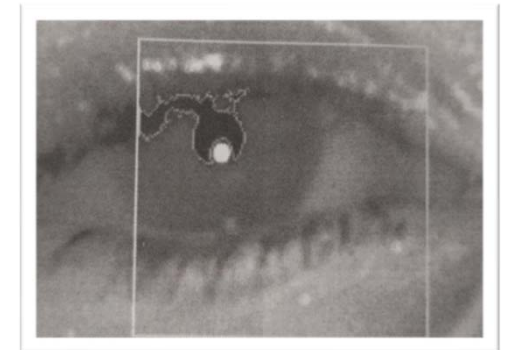
# Ako by malo vyzerat' ET laboratorium?

- **závisí na výskumnej otázke** (stimule) a **type** (dostupného) **zariadenia**
  - statické vs. head mounted ET (lab. vs real-life)
- väčšina prípadov: stimul prezentovaný **na monitore** (real-life situácie a prostredie len výnimočne)
- **odizolovaný** priestor/miestnosť (zvukovo aj svetelne)
- **bez rušivých prvkov** – napr. oddelená kabínka
- **bez okien**, prípadne s možnosťou zatemnenia (minimalizovať priame slnečné svetlo)
- použiť **umelé osvetlenie** – najlepšie neónové (menej infračerveného svetla), najhoršie halogénové
- pozor na **príliš málo svetla** → veľkosť zrenice
- participantov testovať **jedného po druhom** (menej rušivé, kvalitnejšie dáta)



# Skôr než začneme merať ...

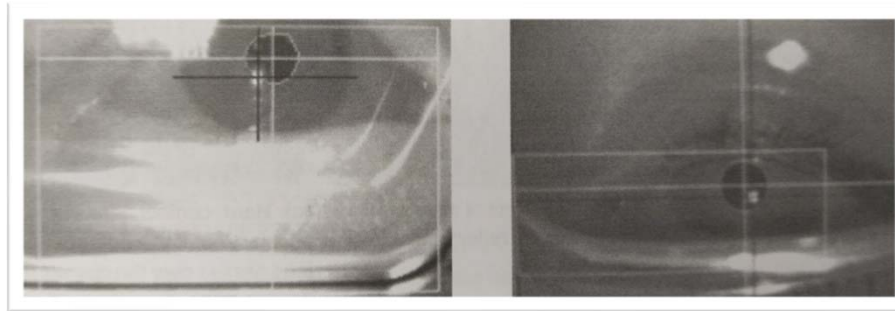
- **správne nastavenie** = kvalitné dáta
- umiestnenie (remote) ET:
  - mierne pod smerom pohľadu (pod stimulom)
  - príliš nízko/vysoko → problém detekovať odraz infra-lúča resp. stred zrenice („zavadzajú“ viečka)
  - primeraná vzdialenosť participanta od zariadenia
- pri **snímaní len jedného oka** – vopred zistiť, ktoré je **dominantné** (u 2/3 populácie pravé)
- **maskara**
  - môže výrazne ovplyvniť kvalitu záznamu
  - mihalnice bránia kamere v snímaní príp. je chybné detekovaný stred zrenice
  - riešenie: upozorniť participantov vopred, prípadne požiadať o odstránenie
- pozor na **ochabnuté viečka**
  - najmä pri starších participantoch, osobná charakteristika príp. spôsobené únavou
  - riešenie: upraviť polohu (ET/participanta), poprosiť aby prišiel v inom čase, fixovať viečko (krajné riešenie)



# Skôr než začneme merať ...

- **okuliare**

- sklo/rám **zhoršuje prienik svetla k oku** (problémy s detekciou)
- sklo odráža svetlo/odrazy späť do oka → vznikajú **falošné korneálne odrazy**
- **odrazy** infračerveného lúča od skiel
- problém sa zväčšuje pri **silných dioptriách**, **poškriabaných** sklách, sklách s **reflexnou vrstvou**
- **riešenie: problematické** (upraviť polohu zariadenia, požiadať participanta o zloženie okuliarov)



- **kontaktné šošovky**

- vytvárajú sa drobné **vzduchové bublinky** medzi šošovkou a okom → **odrazy**
- riešenie: podobné ako pri okuliaroch

# Využitie ET?

- marketing
  - dizajn (obaly produktov)
  - psychologické štúdie (poruchy pozornosti)
  - medicína
  - lingvistika
  - zoologia
  - atď. ...
- 
- politická veda?

**Nabudúce!**



Kate was turning ten years old. Her mum had planned an amazing birthday party. She baked a huge cake decorated with purple icing. Her brother set up colourful balloons and they hung a large door. Kate's whole class was invited and presents. They played a game of Pass the present wrapped in red paper. Kate enjoyed the Donkey. Her mum had a large poster of with a grey tail on the wall. Kate's favourite was blowing out her candles.

