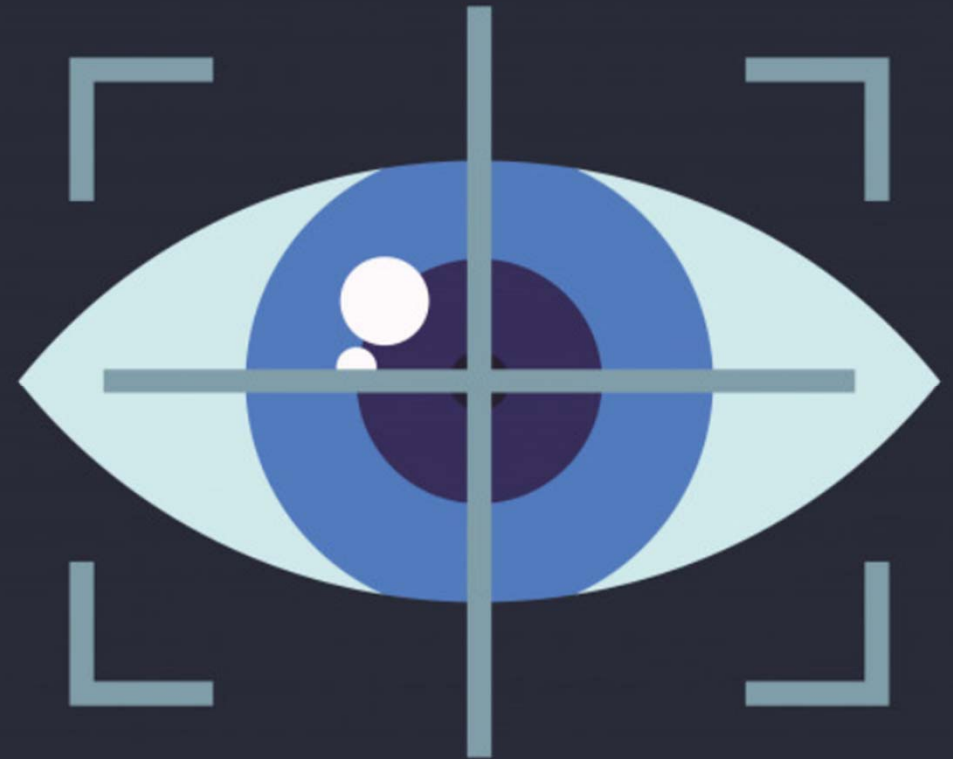


Eye-tracking

Sledování pohybu očí

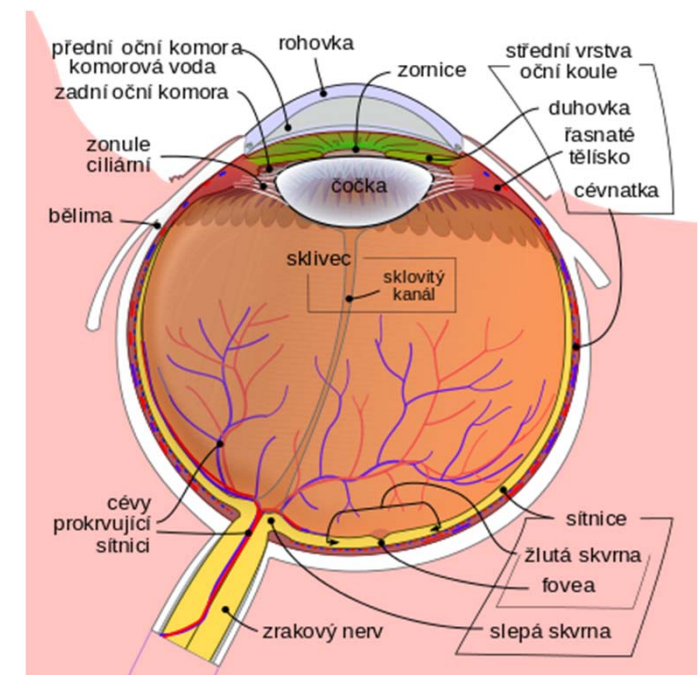
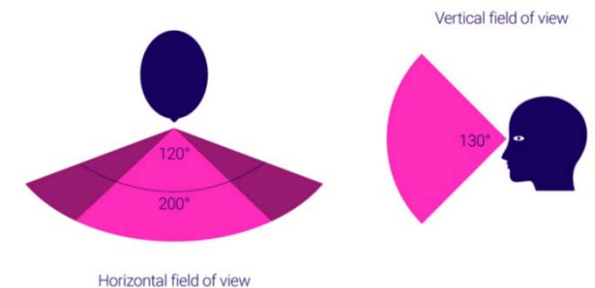
**POLn6012 Moderní informační technologie
v sociálních vědách**

Michal Tóth
Jaro 2023



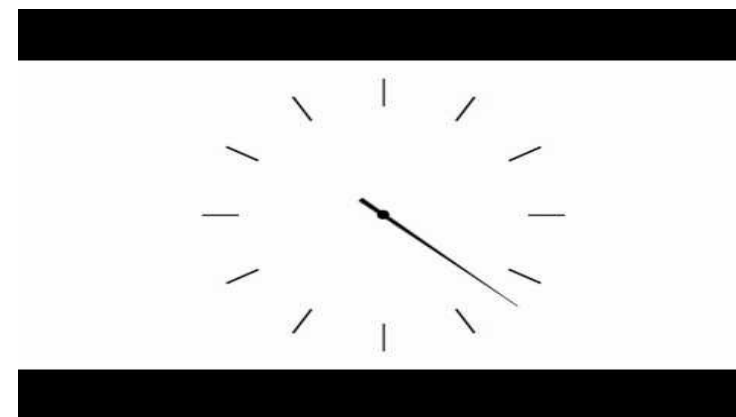
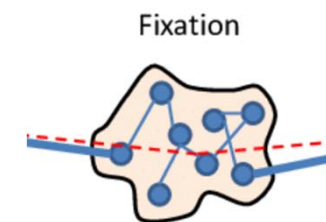
Ľudské oko – základ ET

- **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 → **rohovka** → **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

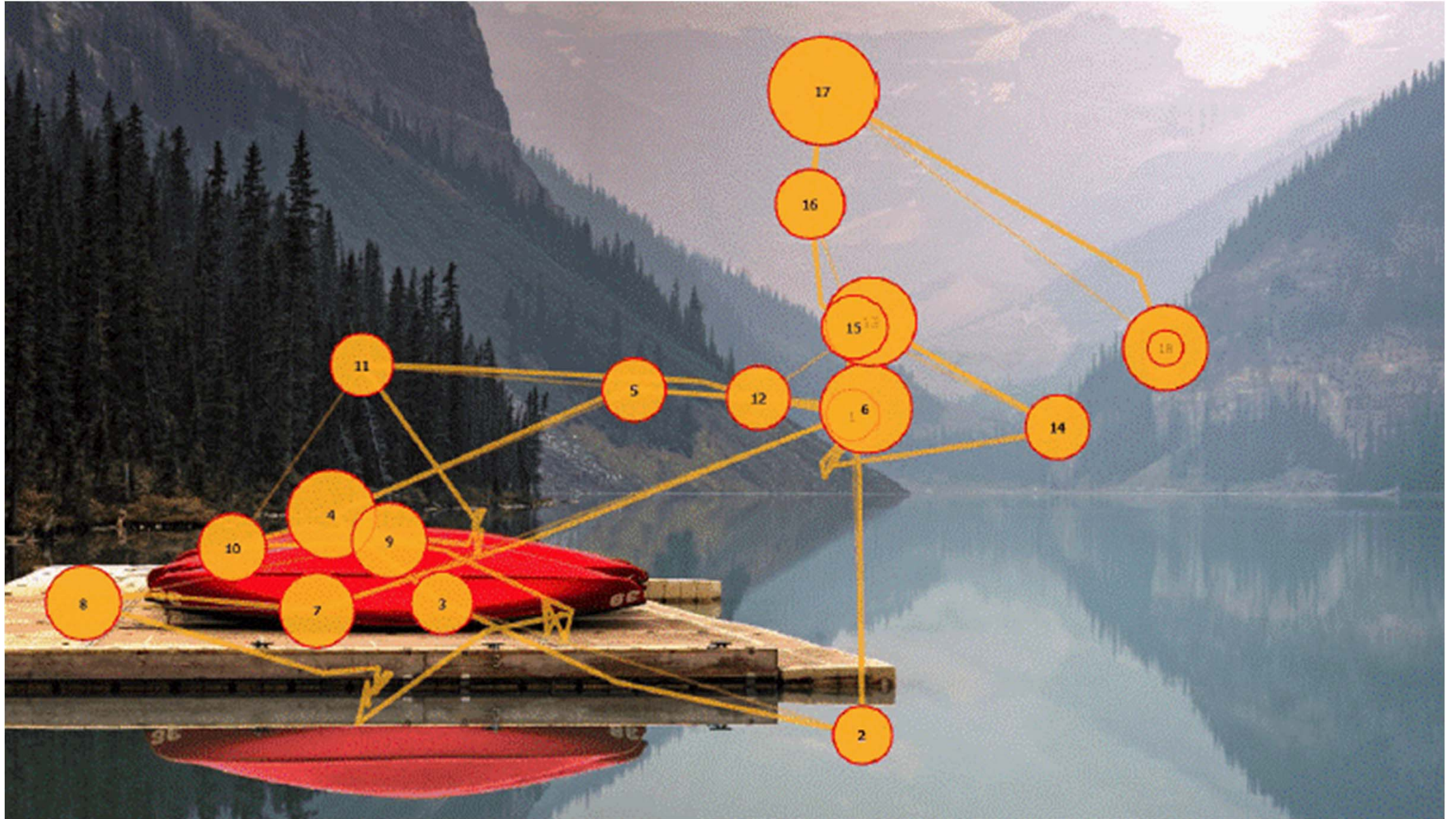


Ľudské oko – pohyby

- 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)

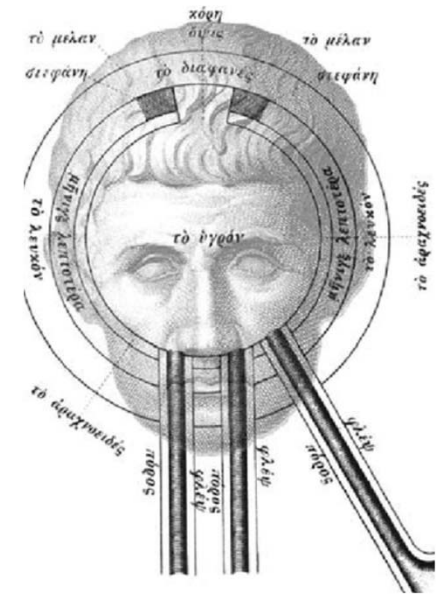






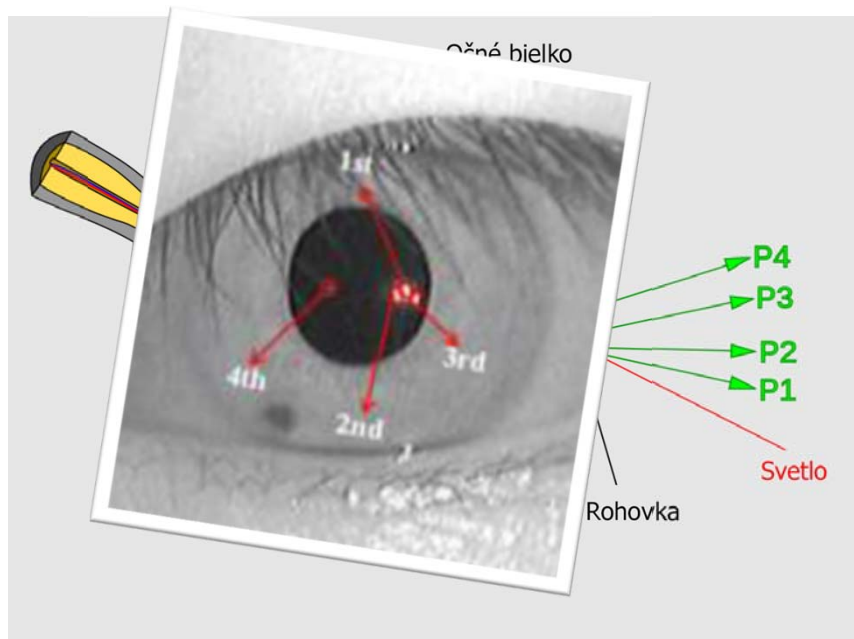
História eye-trackingu

- **Aristoteles** (4. stor. p. n. l.)
 - študoval pohyby oka
 - všimol si, že sa **oči hýbu a vnímajú spoločne** (nedá sa jedným pozrieť napravo a druhým v tom istom momente naľavo) → oči ako **spoločná jednotka**
- **Ptolemaios** (2. stor. n. l.)
 - venoval sa rovnakej problematike
 - experimentálny výskum **binokulárneho videnia**
 - skúmal rozsah pohybu oka (oči sa môžu pohybovať **proti sebe, ale len horizontálne**)



História eye-trackingu

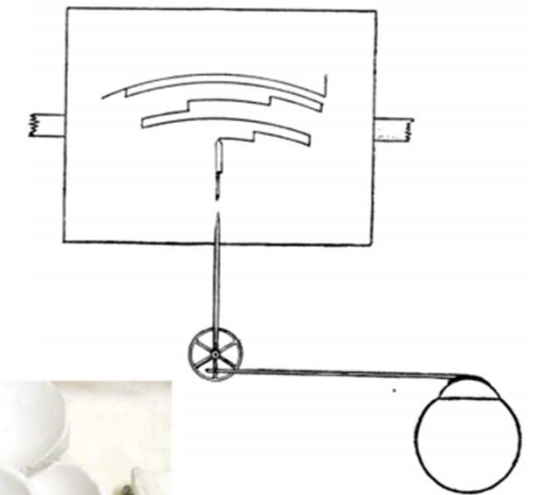
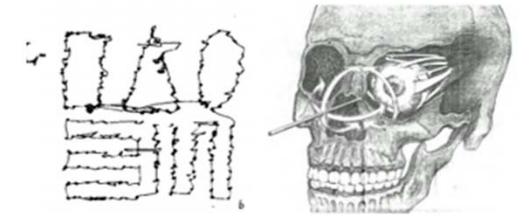
- **Jan Evangelista Purkyně** (19. stor.), fyziológ, anatóm, biológ
- popísal obrazy odrážajúce sa od povrchu oka – tzv. **Purkyňove obrázky** → **presný záznam polohy oka**
- tmavá miestnosť, sviečka cca 30 cm pred očami → 4 svetlolomné plochy → 4 rôzne odrazy svetla
- **4 viditeľné** Purkyňove obrázky:



- 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

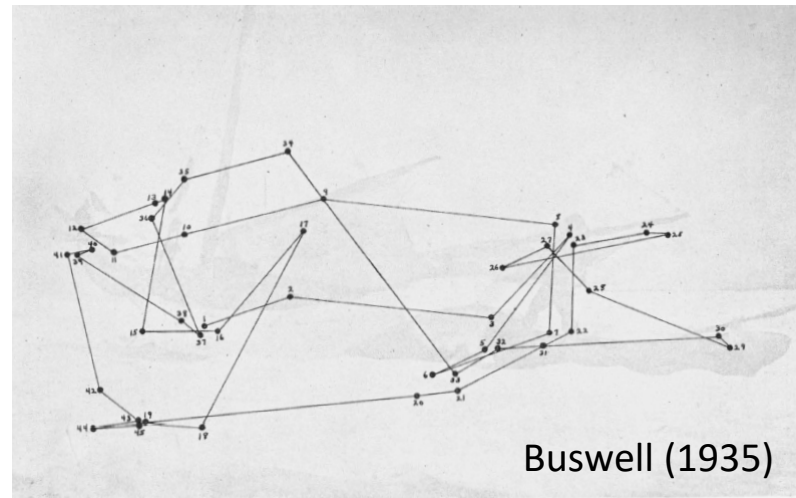
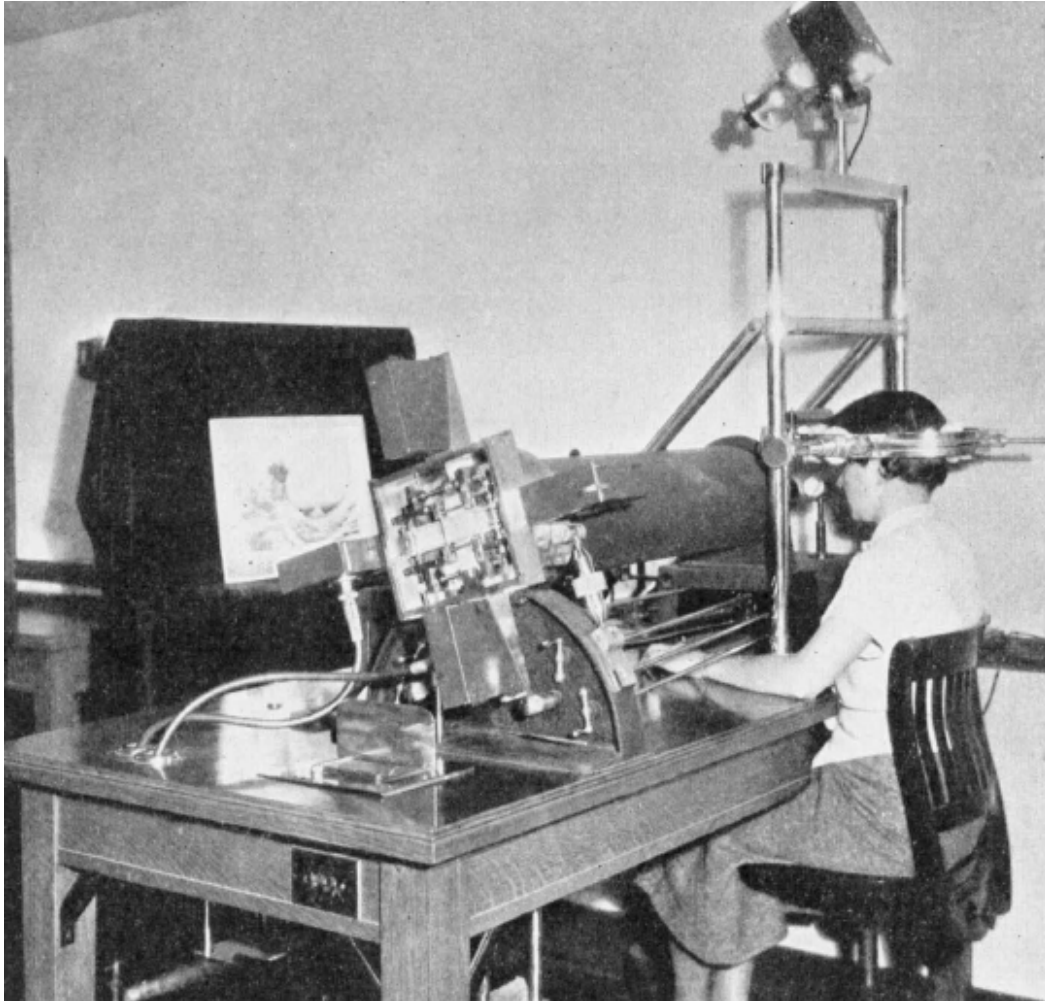


História eye-trackingu

- **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**

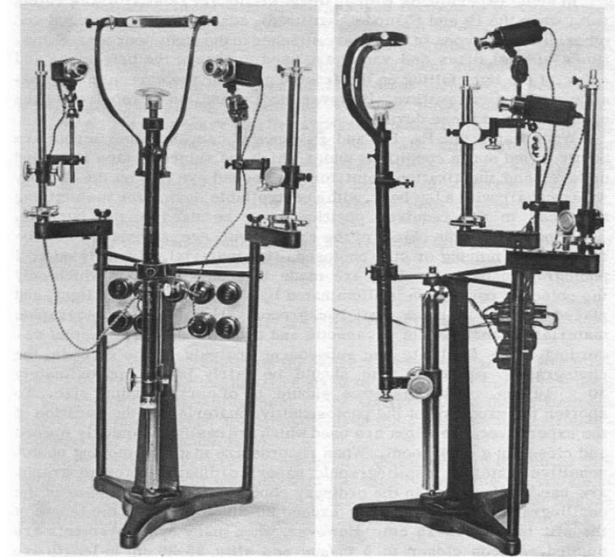
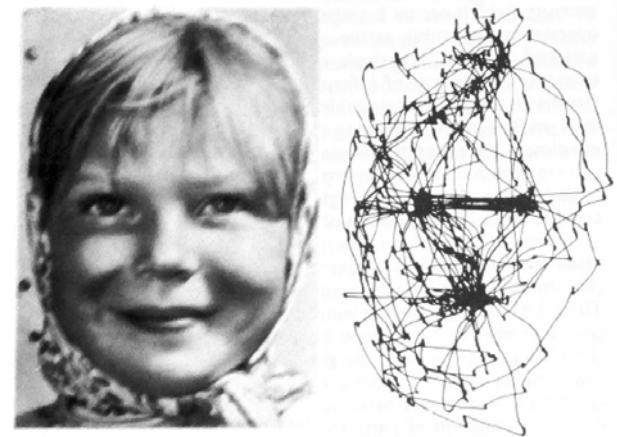


Fig. 21. The apparatus used in recording eye movements.





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



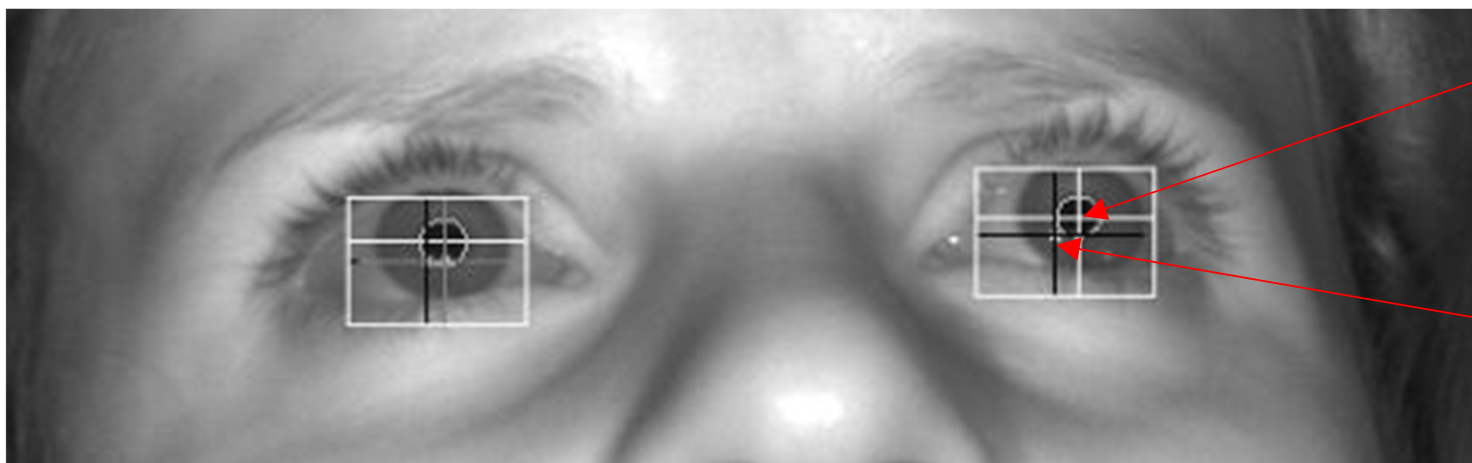
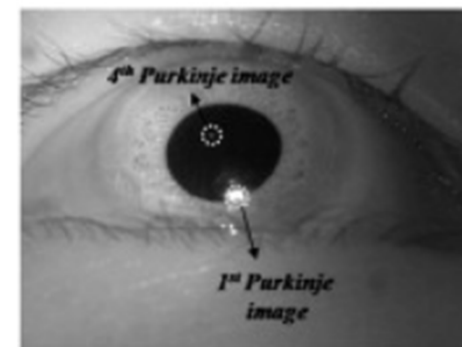
Techniky sledovania pohybu očí

- **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

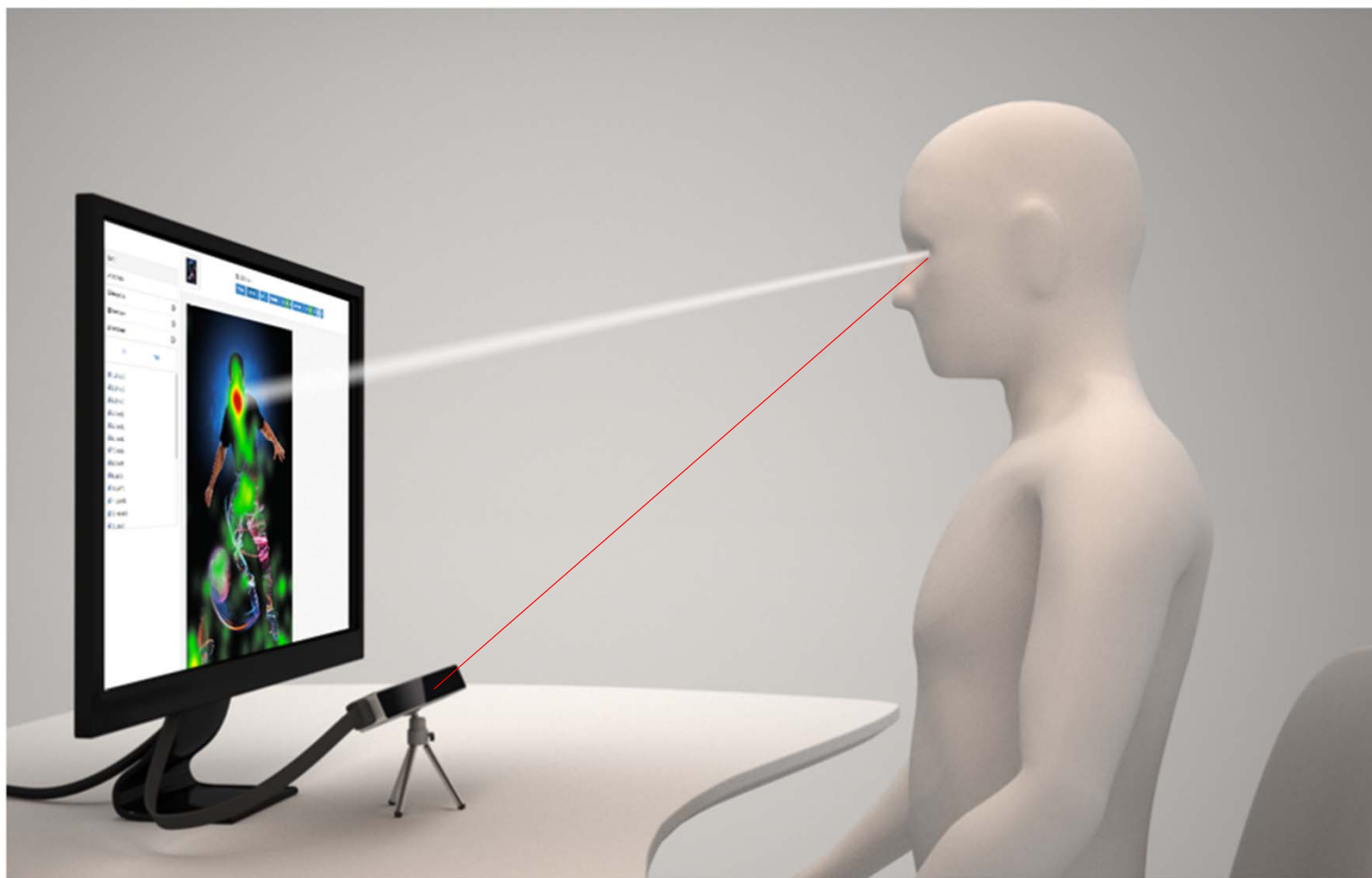
- detekcia **stred**u zrenice a **odrazu (svetla) od rohovky**
 - **Pupil and Corneal Reflexion Tracking** (dnes najčastejšie využívaná technika)
 - detekcia **stred**u zrenice a **odrazu infračerveného lúča svetla od rohovky** (korneálny odraz)
 - **Prvý Purkyňov obrázok**



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

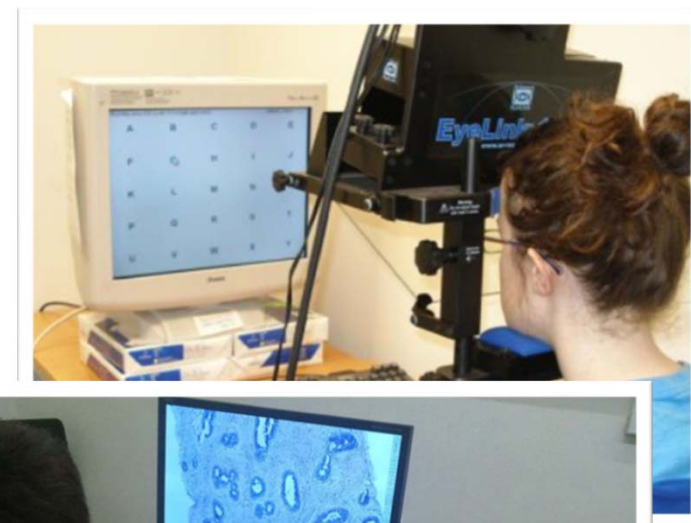
- **3 typy eyetrackerov** využívajúcich *Pupil and Corneal Reflexion Tracking*

- 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

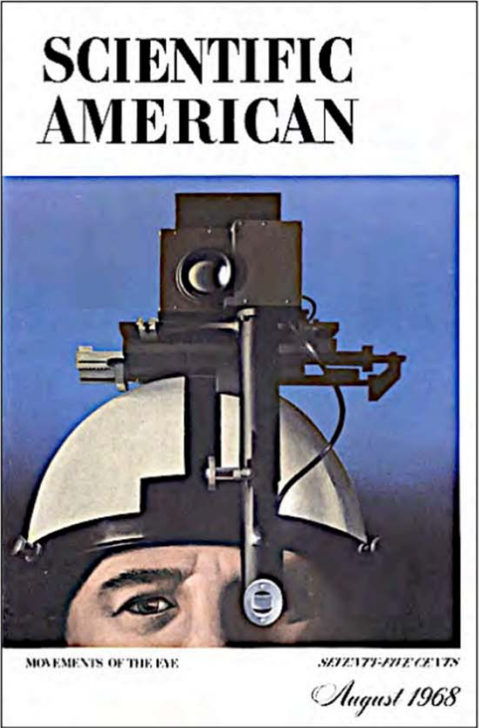
- statické ET využívané na meranie reakcií v kontrolovaných **lab. podmienkach**
- od začiatku ET výskumu záujem o štúdium ľudí v **reálnych podmienkach**, reál. svete
- mobilné systémy umožňujúce sledovanie očí mimo laboratória
- zariadenie (kamera aj zdroj infra-lúča) pripevnené priamo na hlave vo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



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

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

Techniky sledovania pohybu očí



[Thomas (1968) *Scientific American*]

Techniky sledovania pohybu očí

- **statické ET**

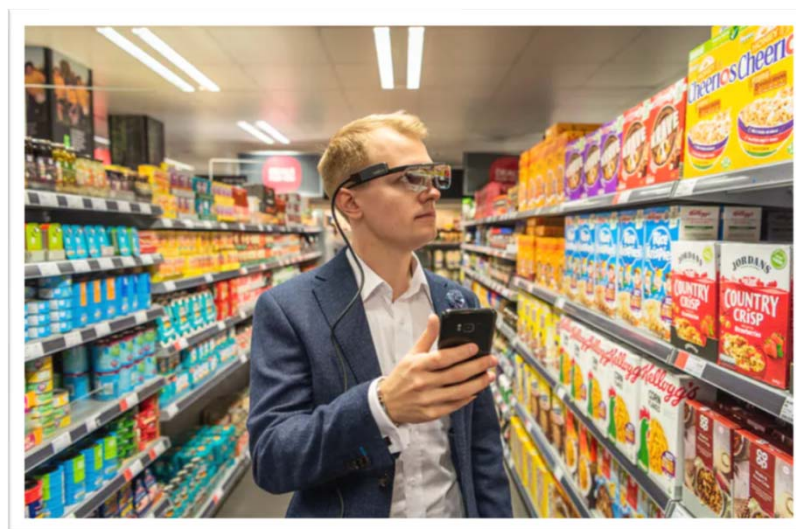
- jednoduchšie na obsluhu
- participant ľahko zabudne, že je monitorovaný (výskum detí)
- existujú aj vo verziách s viacerými kamerami, ak participant potrebuje pohybovať hlavou (letecké simulátory, výskum šoférov)
- **fixné umiestnenie stimulu** (monitor, časopis, plocha nad ET)
- **výstup** – súradnice 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

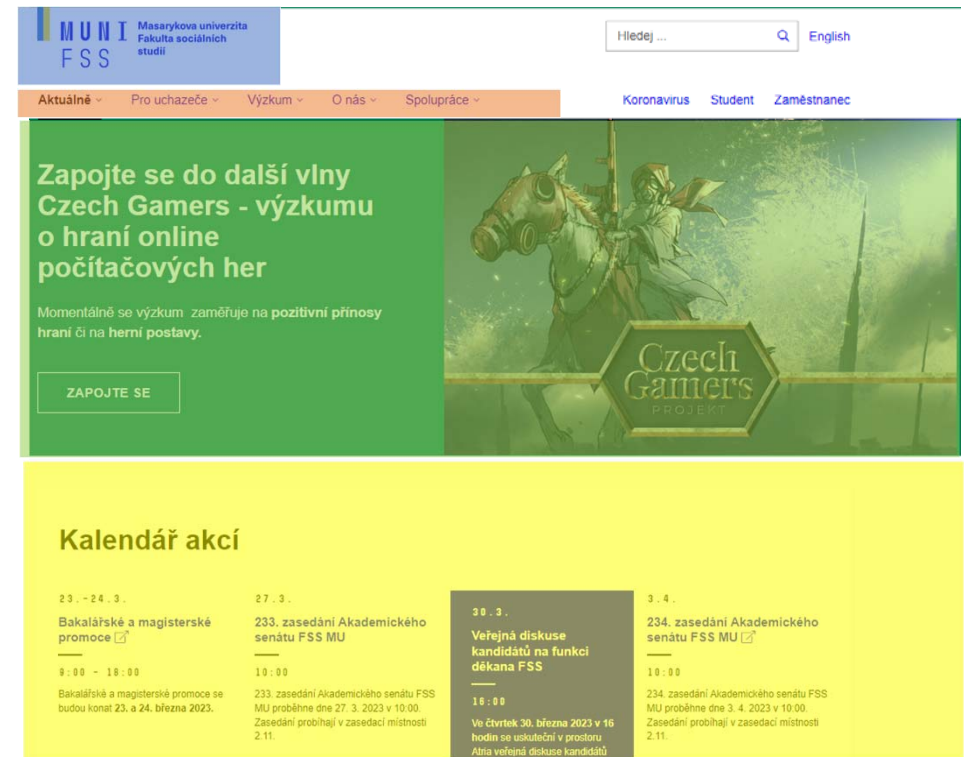
- **between-subject** design vs. **within subject** design?

	Within-subject experiment	Between-subject experiment
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 metrik**
 - odvodené (najčastejšie) od **identifikovaných fixácií a sakád**
 - vzťahujú sa k stimulu ako celku, alebo len konkrétnej oblasti (**area of interest - AOI**)



MUNI Masarykova univerzita
FSS Fakulta sociálních studií

Hledej ... English

Aktuálně - Pro uchazeče - Výzkum - O nás - Spolupráce - Koronavirus Student Zaměstnanec

Zapojte se do další vlny
Czech Gamers - výzkumu
o hraní online
počítačových her

Momentálně se výzkum zaměřuje na pozitivní přínosy
hraní či na herní postavy.

ZAPOJTE SE

Kalendář akcí

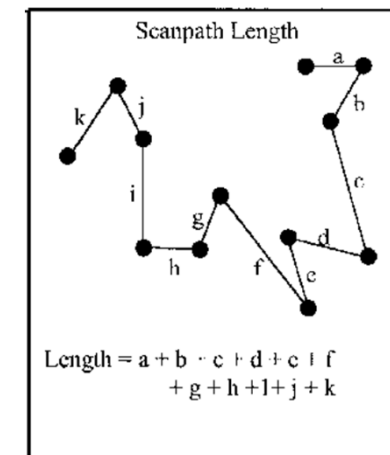
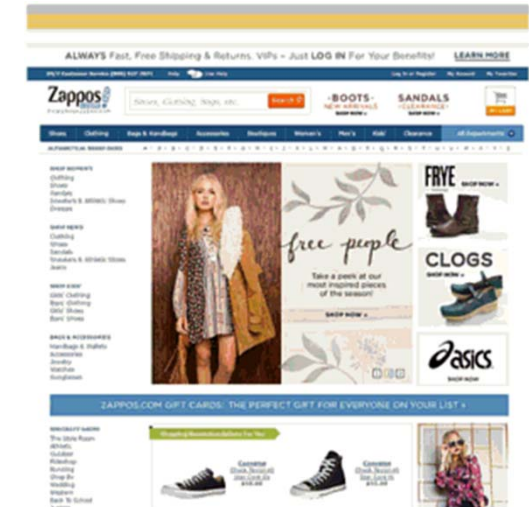
23. - 24. 3.	27. 3.	30. 3.	3. 4.
Bakalářské a magisterské promoce 📄	233. zasedání Akademického senátu FSS MU	Veřejná diskuse kandidátů na funkci děkana FSS	234. zasedání Akademického senátu FSS MU 📄
9:00 - 18:00	10:00	16:00	10:00
Bakalářské a magisterské promoce se budou konat 23. a 24. března 2023.	233. zasedání Akademického senátu FSS MU proběhne dne 27. 3. 2023 v 10:00. Zasedání probíhají v zasedací místnosti 2.11.	Ve čtvrtek 30. března 2023 v 16 hodin se uskuteční v prostoru Alna veřejná diskuse kandidátů	234. zasedání Akademického senátu FSS MU proběhne dne 3. 4. 2023 v 10:00. Zasedání probíhají v zasedací místnosti 2.11.

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)



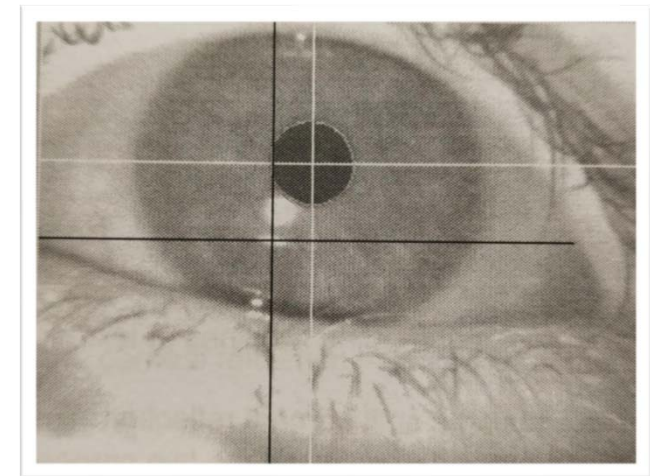
ET metriky

4. analýza **reakčného času a vzdialenosti**

- vzdialenosť a omeškanie jednej udalosti za druhou
- ***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.)

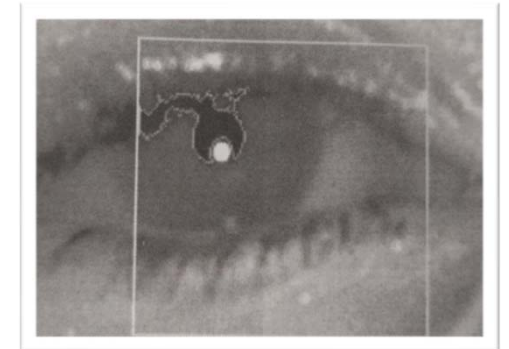
Ako by malo vyzerat' ET laboratorium?

- **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 ...

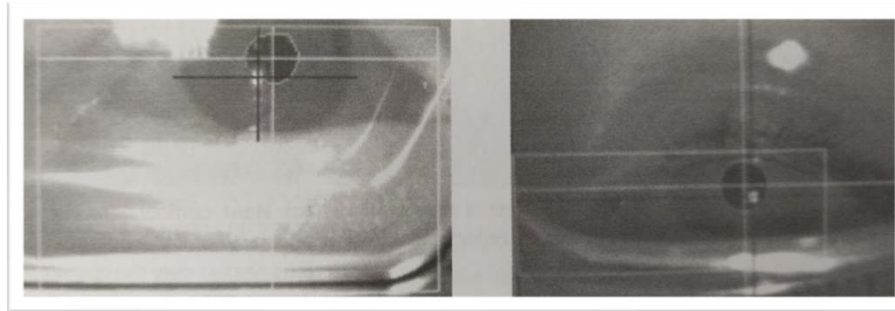
- **správne nastavenie** = kvalitné dáta
- umiestnenie (remote) ET:
 - mierne pod smerom pohľadu (pod stimulom)
 - príliš nízko/vysoko → problém detekovať odraz infra-lúča resp. stred zrenice („zavadzajú“ viečka)
 - primeraná vzdialenosť participanta od zariadenia
- pri **snímaní len jedného oka** – 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
- politická veda
(selektívne vnímanie)



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.



GMO production destroys native species and contaminates the ecosystem

Genetically modified organisms (GMOs) pose a significant risk to nature.

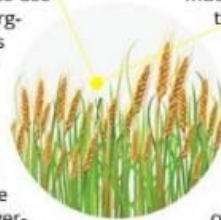
Like any living organism, GMO crops multiply and spread. Once released into the environment, they cannot be "taken back". There is evidence that growing some GMOs causes the death of beneficial insect larvae. Herbicide-resistant "super-weeds" are emerging, forcing farmers to use chemical spraying on a much larger scale. Despite the promises of manufacturers of modified plants, the use of chemical sprays has not decreased and, on the contrary, is increasing.

The cultivation of GMOs leads to contamination of native plant species, threatens biodiversity, and causes irreversible change to the ecosystem. At the same time, several foreign organizations (the Society for Organic Food Consumers, the Union of Engaged Scientists and Greenpeace) emphasize that the risks associated with the production and use of GM organisms have not yet been sufficiently determined and therefore cannot be effectively scientifically confirmed or refuted. Some reputable health associations point out that due to the relatively short time that GMO foods

have been produced worldwide, studies on their long-term effects on human health are still lacking.

It is also often argued that GMOs can help solve the problem of hunger. However, the problem is not caused by food shortages, but by unequal distribution. According to the United Nations Food Aid Program, so much food is currently produced in the world that it can satisfy all the world's inhabitants. Yet almost one billion people remain hungry because they cannot afford to buy food or land, or do not have access to these resources.

If most of the primary sources of agriculture become the "intellectual property" protected by patents owned by a few biotechnology companies producing GMO seeds, hunger will not be solved but instead exacerbated. The concentration of the decisive influence on global food stocks in the hands of GMO food-producing companies is hazardous and irresponsible.



GMO production has a significant positive impact on the environment

Restricting the production of genetically modified crops (GMOs) is nonsense.

A global ban on GMOs would, on the one hand, increase the average price of food and, on the other hand, contribute one billion tons of carbon dioxide into the Earth's atmosphere, which is about a quarter of Europe's total emissions. Suppressing GMO production would thus make a significant contribution to global warming. The difference between supply and demand for conventional foods would have to be offset by traditional agriculture by increasing the share of cultivated area. This would mean the transfer of meadows, pastures, and forests into agricultural land.

Such a transition would, depending on the region, result in the release of large amounts of carbon bound in the soil and vegetation into the atmosphere. This assumption is also supported by a study published in the Journal of Environmental Protection, according to which a ban on GMOs would significantly damage the environment. Indeed, to compensate for the lower production of conventional crops, which are more frequently infested

by pests and more susceptible to various other diseases, it would be necessary to expand the agricultural areas, as already mentioned. This would be done at the expense of less fertile areas, including the deforestation of forests.

Many of those who oppose GMOs are also calling for a reduction of global emissions. But they do not realize that both cannot be managed at the same time.

It is impossible to fight GMOs and, at the same time, try to save the Earth from global warming. It is the cultivation of GMO crops that is a highly effective way to reduce emissions. If countries that already grow GMOs were to expand their production to the level of the US, global greenhouse gas emissions would fall by 0.2 billion tons of carbon dioxide, and 0.8 million hectares of arable land could be transformed into pastures and forests.

The issue of GMO production in Europe is highly politicized. An example of this is that the EU opposes only certain types of cereals. Many GMOs, such as papaya and cocoa, are traded on the European markets, which does not arouse any hysteria.

