

# Percepční složka II. Horopter

Mgr. Bc. Marcela Dostálková

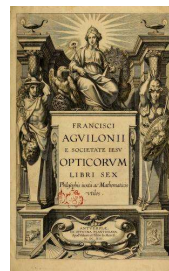
## Horopter

Plocha složená ze všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na korespondující místa sítnic obou očí

Každý bod na této ploše tvoří dojem stejné vzdálenosti od oka

Belgický matematik Francis Aguilonius v r. 1613 ve své knize Opticorum Libri Sex – horopter definoval jako **přímku**, ve které lze vidět objekty jednoduše

z řeckého... horos = hranice



- termín horopter: belgický matematik Francis Aguilonius (1613) v knize Opticorum Libri Sex (Šest knih o optice)
- vycházel z měření vzdáleností, ve kterých byl viděn objekt jednoduše či dvojitě
- definoval horopter jako **přímku**, ve které lze vidět objekty jednoduše

- pojem horopter: z řeckých termínů:

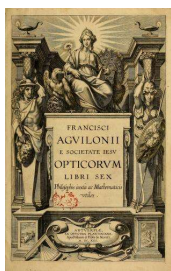
horos (hranice nebo limit)

horgo (,dívat se na něco' nebo 'vidět')

## Vlastnosti horopteru

Plocha složená ze všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na korespondující místa sítnic obou očí

Každý bod na této ploše tvoří dojem stejné vzdálenosti od oka

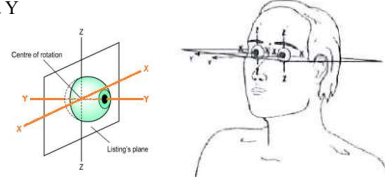


- body jsou viděny jednoduše
- maximum binokulární stereopse
- není vyvolána fúzní vergence
- shoda subjektivních pohledových směrů – Heringův princip

## Tvar horopteru

Pro usnadnění popisujeme tvar horopteru pouze v horizontální rovině:

- vymezena Fickovými osami X a Y
- = longitudinální horopter



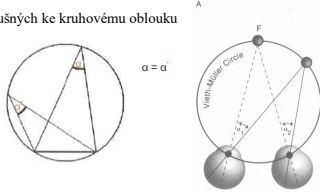
- Tvar horopteru určujeme teoretickým výpočtem nebo experimentálním proměřením (empirický horopter).

- plocha složená ze všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na korespondující místa sítnic obou očí při určitém postavení očí
- prochází fixačním bodem
- každý bod na této ploše tvoří dojem stejné vzdálenosti od oka
- body nacházející se v rovině horopteru vidíme jednoduše, je zde maximum binokulární stereopse a není vyvolána fúzní vergence (konvergence ani divergence)
- shoda subjektivních pohledových směrů – Heringův princip (tzn. předmět zobrazený na korespondující místa sítnice je i za monokulárních podmínek vnímán na stejném místě v prostoru) – okulocentrická vs. egocentrická lokalizace
- body ležící mimo oblast horopteru – nekorespondující (disparátní) místa – fyziologická diplopie

# Tvar horopteru

Teoretický horopter:

- von Helmholtz, Vieth (1818), Müller (1826)
- matematické výpočty tvaru teoretického horopteru
- Předpoklad: korespondující body jsou rozmístěny na sítnicích s geometrickou pravidelností
- Geometrický teorém shodných obvodových úhlů příslušných ke kruhovému oblouku



- Horopter: kružnice spojující fixační bod
- a uzlové body obou očí – Vieth-Müllerova kružnice

- horopter F. Aguilonia jako přímky nesplňuje požadavky jednoduchého zobrazení obrazu
- přesné určení tvaru horopteru von Helmholtz, Vieth a Müller
- odvození teoretického tvaru horopteru na základě matematického rozboru
- předpoklad: rozložení korespondujících bodů na sítnici je geometricky pravidelné (odpovídající sítnicové body mají stejnou horizontální a vertikální vzdálenost od fovey na pravé i levé polovině sítnice)
- výpočet prováděli podle shodných obvodových úhlů příslušných ke kruhovému oblouku
- vznikla kružnice spojující fixační bod a uzlové body obou očí = Viethova – Müllerova kružnice (kružnice mění průměr v závislosti na pohledové vzdálenosti)
- zjednodušená verze horopteru (využití pro vysvětlení převodu fyzického prostoru do vizuálního prostoru, případně k posouzení efektu fixační disparity) – neodpovídá skutečnému tvaru horopteru

# Tvar horopteru

Experimentální proměření horopteru (empirický horopter):

- Metoda zdánlivé frontoparalelní roviny
- Metoda prahu diplopie
- Noniová (mřížková) metoda

- Vieth-Müllerova kružnice neodpovídá skutečnému vnímání prostoru
- horopter není kruhový, ale eliptický (vyklenutí je závislé na vzdálenosti fixačního bodu)
- tvar a vlastnosti horopteru jsou u každého jiné, každý má „svůj osobní“ horopter

# Tvar horopteru

Experimentální proměření horopteru (empirický horopter):

- **Metoda zdánlivé frontoparalelní roviny**
- Hering, Hillebrand
- Kritérium: zachování stejné vzdálenosti bodů od pozorovatele = ekvidistantní horopter

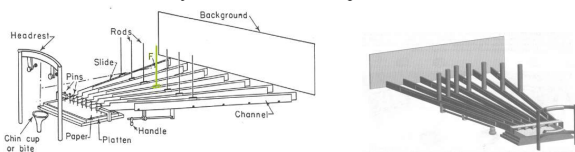


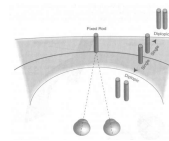
Fig. 5. A simplified sketch of the horopter apparatus.

- první experimentální stanovení křivky horopteru: Hering, Hillebrand
- podmínka: zachování stejné vzdálenosti bodů od pozorovatele = ekvidistantní horopter (ekvidistantní = zachovávající stejnou vzdálenost)
- postup vyšetření:
  - Přístroj obsahuje řadu tyčinek ručně posuvatelých oproti bílému pozadí
  - Vyšetřující nastaví centrální tyčinku, na kterou vyšetřovaný fixuje
  - Úkolem vyšetřovaného je zarovnat všechny periferní posuvné tyčinky tak, aby se mu jevily ve stejné vzdálenosti jako tyčinka centrální

# Tvar horopteru

Experimentální proměření horopteru (empirický horopter):

- **Metoda prahu diplopie**
- vymezení hranic Panumova prostoru a výpočet jeho středu

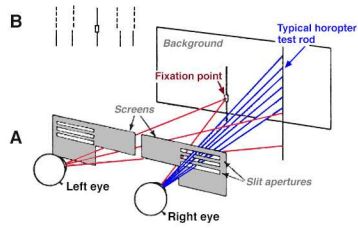


- vymezení hranic Panumova prostoru a následného výpočtu jeho středu
- postup vyšetření:
  - Při fixaci centrální tyčinky vyšetřování posouvá periferní tyčinkami až do jejich rozdvojení
  - Určíme tak Panumův prostor, ze kterého vypočítáme jeho střed – horopter
  - Nevýhoda: obtížné přesné určení vzniku diplopie

# Tvar horopteru

Experimentální proměření horopteru (empirický horopter):

- **Noniová (mřížková) metoda**
- **Tschermak von Sarsenege, Ames, Ogle**
- Nejpřesnější a nejčastěji používaná metoda
- shoda subjektivního pohledového směru



Tschermak von Sarsenege, Ames a Ogle

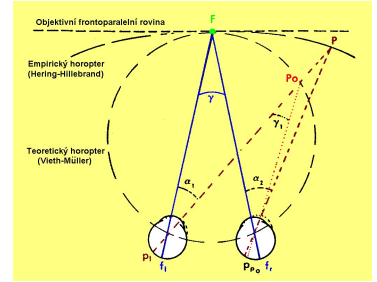
- tato metoda považována za nejpřesnější
- na základě shody subjektivního pohledového směru

- postup vyšetření:

Přístroj obdobné konstrukce, navíc obsahuje clony nebo polarizační filtry pro rozdělení obrazu horní a dolní poloviny tyčinek pro pravé a levé oko (obr. A)  
 Vyšetřovaný fixuje centrální tyčinku oběma očima  
 Pravé oko vidí přerušované horní část periferních tyčinek, levé oko vidí plně dolní části periferních tyčinek  
 Úkolem je posunout tyčinky tak, aby vznikl vjem zarovnání horní a dolní části tyčinky v jejich prodloužení (Obr. B)

# Tvar horopteru

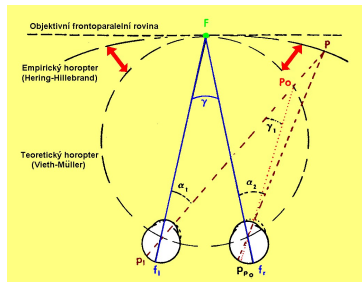
Objektivní frontoparalelní rovina  
 Subjektivní frontoparalelní rovina =  
 Empirický horopter  
 Vieth-Mullerova kružnice =  
 Teoretický horopter



# Tvar horopteru

Objektivní frontoparalelní rovina  
 Subjektivní frontoparalelní rovina =  
 Empirický horopter  
 Vieth-Mullerova kružnice =  
 Teoretický horopter

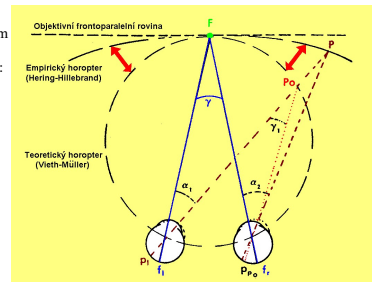
- **Hering-Hillebrandova difference (deviace)**



# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova difference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptermem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:

>  
>  
>  
>  
>



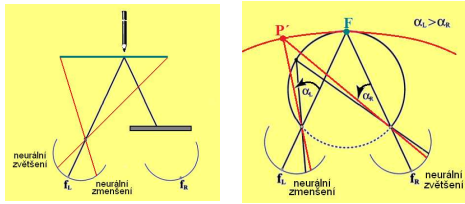
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptermem = Heringova- Hillebrandova deviace
- důsledkem optických a neuroanatomických faktorů
- rozložení korespondujících míst v rámci sítnice není rovnoměrné (za ideálních podmínek by měl horopter kruhový tvar pouze v případě, že by všechna receptivní pole na sítnicích byla symetrická a stejně velká) – receptivní pole se směrem do periferie zvětšují, čímž se oploštuje i horoptrová křivka

# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova diference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptrem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:

> neurální zmenšení/zvětšení

>  
>  
>  
>



# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova diference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptrem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:

> neurální zmenšení/zvětšení  
> **nasální komprimace fotoreceptorů** – více receptorů v nasální části sítnice

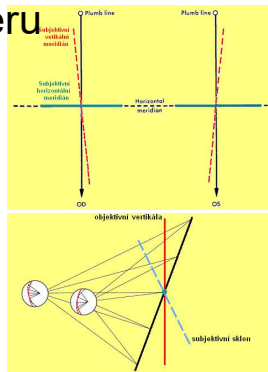
>  
>

# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova diference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptrem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:

> neurální zmenšení/zvětšení  
> nasální komprimace fotoreceptorů  
> **von Helmholtzovy „nůžky“** (vertikální progresse) horizontální disparity  
> → Vertikální sklonění e. horopteru

>

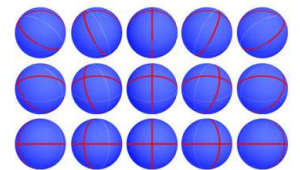


# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova diference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptrem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:

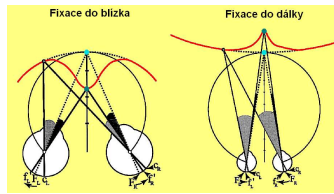
> neurální zmenšení/zvětšení  
> nasální komprimace fotoreceptorů  
> von Helmholtzovy „nůžky“ (vertikální progresse) horizontální disparity  
> **torse očí při laterálních pohledech a při asymetrických vergencích (Listingův zákon)**

>



# Tvar horopteru

- **Hering-Hillebrandova diference (deviace)**
- Rozdíl mezi empirickým a teoretickým horoptrem
- Důsledek optických a neuroanatomických faktorů:
  - > neurální zmenšení/zvětšení
  - > nasální komprimace fotoreceptorů
  - > von Helmholtzovy „nůžky“ (vertikální progresse) horizontální disparity
  - > torse očí při laterálních pohledech a při asymetrických vergencích (Listingův zákon)
  - > **konvergence** – některá empirická měření ukazují na lokální změny zvýhodňující fúzi při konvergenci (nepotvrzená hypotéza „lokálního posunu“)

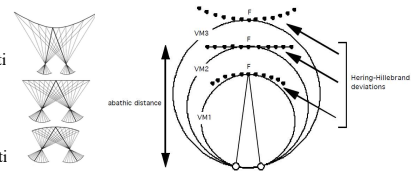


# Tvar horopteru

## Abatická vzdálenost

tvar horopteru závisí na vzdálenosti fixačního bodu

- konvexní horopter – ve větší vzdálenosti
- frontoparalelní horopter – v abatické vzdálenosti
- konkávní horopter – v menší vzdálenosti



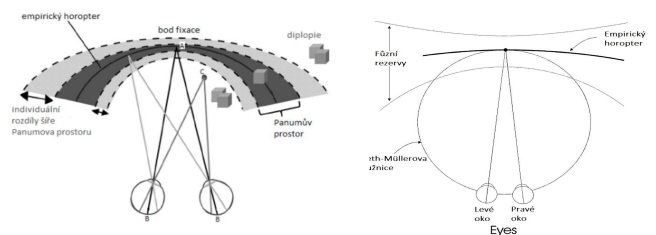
- Při fixování na krátkou vzdálenost má horopter konkávní tvar
- Dále se horopter oplošťuje a ve vzdálenosti od jednoho do šesti metrů má tvar přímky, tato vzdálenost je známá jako abatická
- Dále od abatické vzdálenosti má empirický horopter tvar konvexní.

# Nefyziologické změny horopteru

## Fyzikálně-optické vlivy:

- 1. globální zvětšení (anizeikonie)** – rotuje longitudinální e.horopter „vnitřní“ nekorigovaná sférická anizometropie „vnější“ korigovaná sférická anizometropie (1D anizokorekce = 1,4% anizeikonie, do 2% tolerováno) – „size lens“
- 2. meridionální zvětšení** – rotace e.horopteru podle vertikálních a horizontálních os astigmatismus meridionální „size lens“
- 3. nefyziologický stereo-podnět** (vizuální vjem neodpovídá taktilní verifikaci a monokulárním stereoskopickým signálům)

# Fyziologická diplopie



## Aniseikonie – nestejná velikost retinálních obrazů

Příklad: na levém oku větší refrakční vada (obraz dopadající na sítnici levého oka je větší a rozostřený)

- u emetropického oka nebo správně korigované myopie (např. brýlemi) nedochází k naklonění křivky horopteru
- pokud je levostranná myopie nekorigovaná, je obraz vnímaný levým okem oproti pravému oku o něco větší (vznik aniseikonie)
- rozdíl ve velikostech obrazů způsobuje posun křivky empirického horopteru blíže k pravému (zdravému) oku, a naopak dále od levého (nekorigovaného) oka

Size lens – k posunu křivky horopteru může docházet i vlivem fyzikálních vlastností dioptrických skel při anizometrii (př. jiný prizmatický efekt skel na P a L oku)

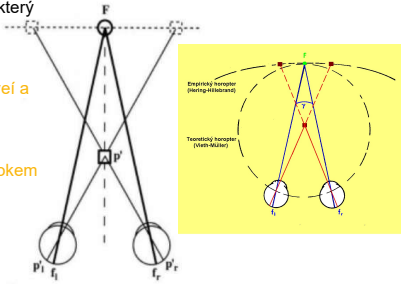
Nefyziologický stereopodnět – při změně podmínek vnímání prostoru, př. Při předpisu nových brýlí

Všechny předmětové body ležící na křivce horopteru stimulují korespondující body sítnice a vidíme je jednoduše

- Panumův prostor rozšiřuje oblast JBV, umožňuje stereoskopické vidění (dopadem obrazu na lehce disparátní místa sítnice, tzv. Panumovy areály)
- Mimo Panumův prostor je obraz vyhodnocen jako dvojitý, mozek jej však označí za zcela normální a nedostává se do vizuálního vědomí (veškerá pozornost se soustředí na oblast kolem bodu fixace)
- Za určitých podmínek jej lze vyvolat = fyziologická diplopie (př. při stídaném pozorování dvou předmětů v zákrytu vzdálených od sebe přibližně 30 cm)
- běžně nevnímáme!

## Fyziologická diplopie zkřížená

- Pozorovatel sleduje fixační bod F, který určuje vzdálenost horopteru.
- Umístíme-li další předmět **před horopter**, obrazy dopadnou na disparátní místa temporálně od fovey a způsobí **zkříženou fyziologickou diplopii**.
- Obraz předmětu vnímaný pravým okem je vlevo a naopak



Navození fyziologické diplopie: střídavá fixace dvou různobarevných tužek za sebou (jedna tužka ve čteci vzdálenosti, druhá asi 30 cm za ní)

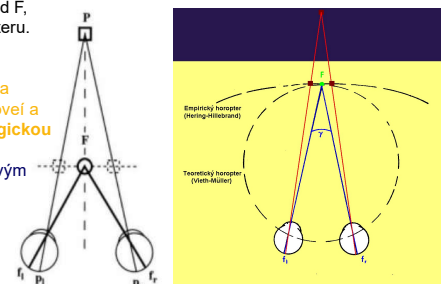
Při fixaci vzdálenější tužky se bližší tužka rozdvojí

Zdvojené obrázky bližší tužky jsou zkřížené - pravému oku náleží levý obraz a levému pravý obraz (obrazy bližší tužky se vytvořily na temporálních polovinách sítnic, promítají se do nazálních polovin zorného pole)

Zkřížená diplopie

## Fyziologická diplopie nezkřížená

- Pozorovatel sleduje fixační bod F, který určuje vzdálenost horopteru.
- Umístíme-li další předmět **za horopter**, obrazy dopadnou na disparátní místa nasálně od fovey a způsobí **nezkříženou fyziologickou diplopii**.
- Obraz předmětu vnímaný pravým okem je vpravo a naopak



Navození fyziologické diplopie: střídavá fixace dvou různobarevných tužek za sebou (jedna tužka ve čteci vzdálenosti, druhá asi 30 cm za ní)

při fixaci bližší tužky se vzdálenější tužka rozdvojí

levý ze zdvojených obrázků náleží levému oku a naopak (zobrazí se u obou očí v nazálních polovinách sítnic, promítá se do temporálních polovin zorných polí obou očí)

nezkřížená diplopie