

Obecná fyziologie BV:  
Percepční složka I.  
Korespondence a sumace

Mgr. Bc. Marcela Kudová

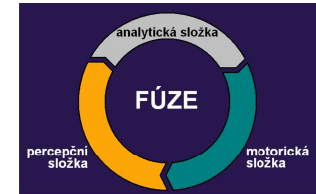
## Jednoduché binokulární vidění

### REFLEXNÍ OBLOUK BINOKULÁRNÍ FÚZE

Motorická (odstředivá) složka fúze:  
udržování geometrických a optických podmínek  
pro projekční složku JBV

Percepční (dostředivá) složka fúze  
zachycení obrazové informace a její převedení  
do vizuálního mozku

Analytická (centrální) složka fúze  
spojení obrazů ze dvou sítnic, detekce kvality a  
rozdílů v těchto obrazech (signál o disparitě a  
rozostření)



1) geometrické aspekty

(pohledový směr, korespondence  
sítnicových bodů, horopter...)

2) neuroanatomické aspekty  
(receptivní pole, konvergence signálu...)

Reflexní oblouk binokulární fúze.

Motorická neboli odstředivá (eferentní) složka fúze slouží k zachování geometrických (pohyby očí funkcí extraokulárních svalů) a optických (akomodace funkcí intraokulárních svalů) podmínek pro percepční složku fúze (pro JBV).

Dnes přecházíme z motorické složky fúze na složku senzorickou, konkrétně percepční složku, zprostředkovávající příjem informací

## Subjektivní pohledový směr

- Světelné podráždění sítnicového bodu obsahuje vedle informace o barvě, jasů a tvaru podnětu vždy také informaci o směru, kde se podnět ve vizuálním prostoru nachází.
- Umístění objektu ve vizuálním prostoru je určeno jeho směrem a jeho vzdáleností vůči nám.

### Lokalizace (*local sign*)

- zásadní vlastnost sensorické percepce
- sensorický vjem je vždy zpracován příslušnou neurální strukturou, která vjem zpracovává (tzv. reprezentace) a na základě epigenetické asociace mu přiřazuje „virtuální“ umístění v prostoru (tzv. zdánlivá prostorová lokalizace)
- pro fyziologickou funkci senzoria je nezbytná harmonie reprezentací (tedy i lokalizací) jednotlivých sensorických modalit

Umístění objektu v prostoru je určeno dvěma hodnotami: jeho směrem a jeho vzdáleností vůči nám.

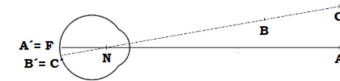
Pohledový směr je dvourozměrná lokalizace objektu, přičemž se bere v úvahu pouze laterální a vertikální poloha objektu, bez ohledu na jeho vzdálenost. Vzdálenost je třetí dimenze. Schopnost vizuálních neuronů zpracovat směr se nazývá lokalizace. To znamená, že každý vizuální neuron kóduje jedinečný dvojrozměrný směr s ním spojený.

Když je daný vizuální neuron aktivován, náš vjem je stimulem lokalizován ve vizuálním prostoru v pevném směru.

Lokalizace je umožněna retinotopickým mapováním (uspořádáním) neuronů ve vizuálním systému. Obraz vytvořený na daném místě sítnice bude stimulovat neuron s odpovídajícím specifickým umístěním uvnitř sítnice, corpus geniculatum laterale a mozkové kůry.

## Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



Projekce na sítnici přes uzlový bod  
zraková osa = pohledový směr: hlavní/vedlejší

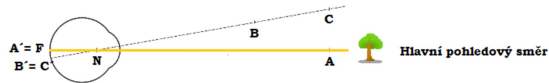
Pohledový směr je reprezentován přímkou, která se promítá z daného (libovolného) místa na sítnici (prochází uzlovým bodem) do fyzického prostoru.

Hlavní pohledový směr - místo, ke kterému porovnáváme všechny směry

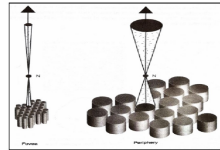
Všechny ostatní směry - sekundární pohledové směry.

## Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



- Hlavní pohledový směr ("nulový = referenční směr") – směr signalizovaný fyziologickou foveou, nesoucí subjektivní pohledový směr přímo před sebe



Hlavním pohledovým směrem každého oka (=nulovým=referenčním), je směr signalizovaný foveou ...fyziologicky

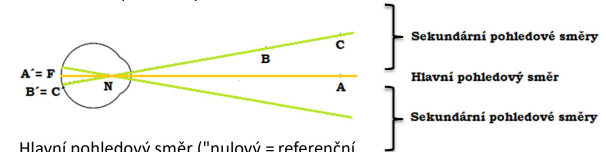
Přesnost pohledového směru je v přímém propojení s velikostí receptivních polí určujících polohu

Při posunu směrem do periferie klesá přesnost pohledového směru, protože receptivní pole jsou tam větší

Vnímání pohybu proto může být myšleno jednoduše jako změna v pohledovém směru objektu jako funkce času

## Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



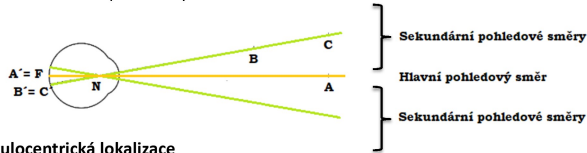
- Hlavní pohledový směr ("nulový = referenční směr") – směr signalizovaný fyziologickou foveou, nesoucí subjektivní pohledový směr přímo před sebe
- Sekundární = vedlejší pohledové směry (se směrovou hodnotou k fovee)

Sekundárními=vedlejšími pohledovými směry se označují ty, které procházejí body okolo fixovaného bodu v prostoru, uzlovým bodem, ale nedopadají přesně do fovey ... dopadají na místo v odpovídající vzdálenosti od fovey (excentrické body).

Každému bodu sítnice můžeme v tomto konceptu přiřadit směrovou hodnotu, která odpovídá relativnímu směru příslušného vedlejšího pohledového směru, tzv. **okulocentrické lokalizace**

## Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



### Okulocentrická lokalizace

- Relativní směr vzhledem k fovee daného oka.
- Vyjádřena ve stupních.
- Body ležící na přímce hlavního pohledového směru mají okulocentrickou lokalizaci rovnou nule (směrová hodnota fovey „přímou vpřed“).
- Pohledový směr obecného retinálního bodu není absolutní, ale vždy relativní k pohledovému směru fovei.

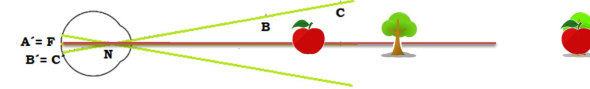
Okulocentrická lokalizace - relativní směr vzhledem k fovee daného oka (=hlavnímu pohledovému směru), ve stupních

Body ležící na přímce hlavního pohledového směru mají okulocentrickou lokalizaci rovnou nule.

Pohledový směr obecného retinálního bodu není absolutní, ale vždy relativní k pohledovému směru fovei.

## Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



### Okulocentrické pravidlo

- všechny objekty ležící na ose pohledového směru stimulují stejný receptor a jsou vnímány v jednom směru v prostoru

Pokud se v jednom pohledovém směru nachází více objektů, stimulují jediný bod sítnice, i když se mohou nacházet v různých vzdálenostech v tomto směru. Vizualní systém vyhodnotí tyto objekty překrývají se = **okulocentrické pravidlo**

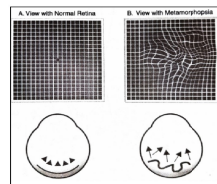
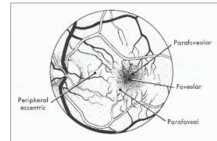
Všechny body ležící na jedné linii pohledového směru, v jakékoliv vzdálenosti od oka vypadají, že leží ve stejném směru v zorném poli.



## Subjektivní pohledový směr

Ovlivnění pohledového směru:

- Excentrické fixace – extrafoveální bod pro fixaci objektů, nulová referenční hodnota pro pohledový směr
- Onemocnění postihují fotoreceptorovou orientaci – narušení lokalizace, metamoropsie



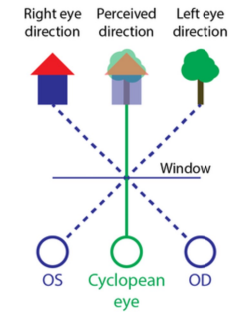
U některých abnormalit vizuálního systému může být k určení hlavního pohledového směru použit jiný bod než fovea

př. excentrické fixace

př. onemocnění, která postihují fotoreceptorovou orientaci,, př. VPMD

## Binokulární subjektivní pohledový směr

- Karl Ewald Konstantin Hering (1834 – 1918)
- Heringův pokus 1879



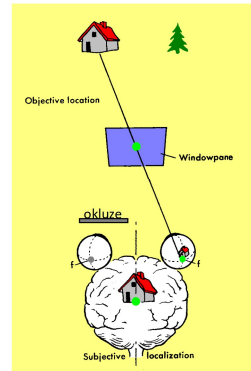
Obvykle však vnímáme svět binokulárně, každé oko má svůj vlastní hlavní pohledový směr, jak tyto dva směry sloučíme?

Dva monokulární hlavní pohledové směry za binokulárních podmínek = dvě různá „kódování“ "rovně vpřed"

1879 Ewald Hering: Heringův pokus

## Binokulární subjektivní pohledový směr

- Karl Ewald Konstantin Hering (1834 – 1918)
- Heringův pokus 1879 – rozdíl objektivní a subjektivní lokalizace



Heringův pokus

Monokulárně, jedno oko pod okluzí

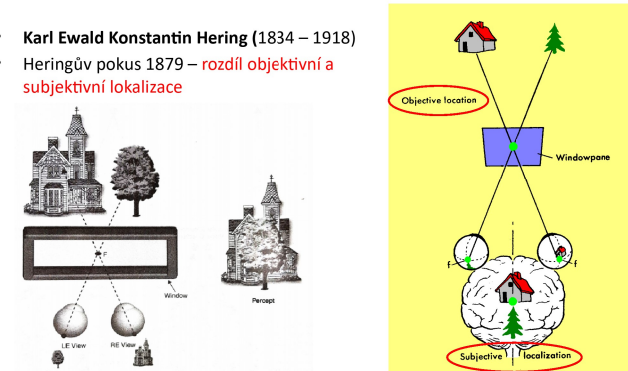
Druhým okem člověk fixuje bod-značku (rovně vpřed) na průhledné okenní tabuli.

V pohledovém směru pravého oka je skrz fixační značku na okně viděn dům, který se ve skutečném prostoru nachází vlevo. V pohledovém směru levého oka se za fixační značkou na okně nachází strom, který je umístěn napravo ve skutečném prostoru.

Žádný objekt není fyzicky přímo před námi.

## Binokulární subjektivní pohledový směr

- Karl Ewald Konstantin Hering (1834 – 1918)
- Heringův pokus 1879 – rozdíl objektivní a subjektivní lokalizace



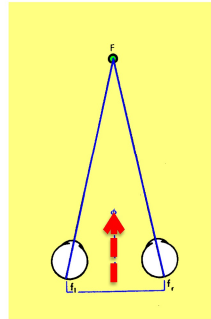
Binokulárně

Obrazy tvořené na obou foveách se objeví v jediném společném subjektivním pohledovém směru a vnímaná poloha těchto dvou studovaných obrazů je přímá, tzn. obrazy budou překrývat, jako kdyby se vytvořily na jediném kyklopském oku umístěném uprostřed mezi oběma očima.

**Heringův pokus vyjadřuje nadřazenost egocentrické (subjektivní) lokalizace nad okulocentrickou (objektivní) lokalizací.**

## Binokulární subjektivní pohledový směr

- Objekty, které současně stimulují obě fovei jsou vnímány ve stejném směru: společný subjektivní pohledový směr
- Pozorovatel je subjektivně vnímá na stejném místě v prostoru jakoby se na ně díval „kyklopským“ okem
- **egocentrická lokalizace** – subjektivní lokalizace
- Dominance oka



modře: (objektivní) osy vidění – objektivní směr chodu paprsků  
červeně: subjektivní chod paprsků

### Egocentrická lokalizace

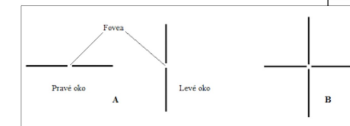
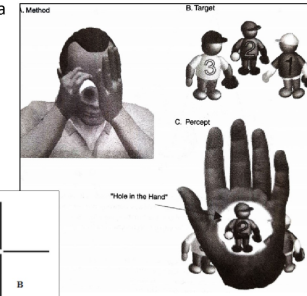
Vychází z dílčích okulocentrických lokalizací a z orientace obou očí, zraková osa kyklopského oka je kombinací zrakových os obou očí.

Dominantní oko má větší váhu při stanovení binokulárního pohledového směru.

## Binokulární subjektivní pohledový směr

Z praxe: rozdíl objektivní (okulocentrické) a subjektivní (egocentrické) lokalizace

- Díra v dlani
- Hering-bielschowského test



- nadřazenost egocentrické lokalizace nad okulocentrickou lokalizací

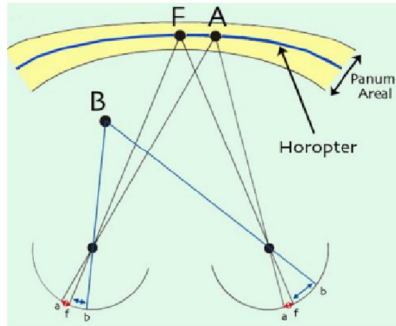
### Z klinické praxe:

Díra v dlani

Test následných paobrazů dle Heringa-Bielschowského (použitím blesku fotoaparátu) – vyšetření korespondence sítnic

## Korespondující body sítnic

- Pro každý bod na sítnici jednoho oka existuje bod na sítnici druhého oka, který má stejný pohledový směr – **korespondující body sítnice**.
- Obrazy, které dopadají na tyto korespondující body vidíme jednoduše a ostře.
- Fovey – hlavní **korespondující body (NRK)**, hlavní pohledový směr
- Obecně – korespondující body sítnice – body, které jsou teoreticky stejně vzdáleny od fovey na pravé a levém oku



Za binokulárních pozorovacích podmínek je směr posuzován vzhledem k jedinému binokulárnímu subjektivnímu pohledovému směru. Pohledové směry každého oka musí být "shodné", aby vytvořily jednotný pohledový směr.

Pro každý bod na sítnici jednoho oka existuje bod na sítnici druhého oka, který má stejný společný subjektivní pohledový směr. Takovou dvojici bodů, které jsou současně stimulovány, nazýváme korespondující body sítnice. Všechny ostatní body jsou ke zvolenému bodu disparátní.

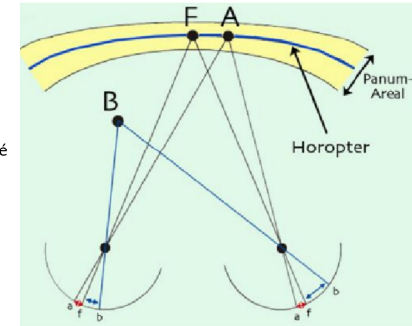
Jednoduše vidíme v prostoru jen ty obrazy, které dopadají na tyto korespondující body. Pokud promítneme jeden předmět z vizuálního prostoru na korespondující místa, vznikne nám jednoduchý a ostrý vjem.

Fovey obou očí jsou místa nejostřejšího vidění a zároveň jsou hlavními korespondujícími body na sítnici. Jejich společný pohledový směr při pozorování předmětu v předmětovém prostoru je **hlavním pohledovým směrem**.

Kolem foveol jsou geometricky uspořádané body, které spolu korespondují. Korespondujícími místy sítnice nazýváme místa, která jsou teoreticky stejně vzdálená od fovey.

## Disparátní body sítnic

- Pro každý bod na sítnici jednoho oka existuje bod na sítnici druhého oka, který má stejný pohledový směr – **korespondující body sítnice**.
- Všechny ostatní body, vztažené k tomuto původnímu bodu, jsou **disparátní body** sítnic.
- Jeden předmět promítnutý na disparátní body je viděn dvojitě (diplopie).



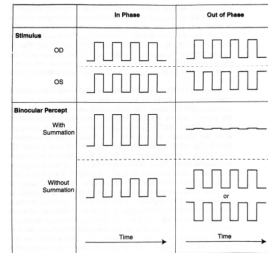
Disparátní body sítnice jsou všechny body, které spolu vzájemně nekorespondují. Obrazy předmětu dopadajícího do těchto disparátních bodů vidíme dvojitě (diplopie).

Horopter je množina bodů v prostoru, jejichž obrazy se při fixaci určitého bodu zobrazí na korespondující body na sítnici. Panumův prostor je prostor v okolí horopteru, kde dochází ke stereoskopickému vidění z lehce disparátních bodů sítnic. Tomu odpovídá zobrazení na sítnici tzv. Panumových areálů. Mají tvar protáhlé elipsy v horizontále. V periférii jsou větší než v blízkosti fovey. Jedná se sice ještě o disparátní zobrazení, ale zrakové centrum v mozku je schopno vytvořit jednoduchý vjem.

Vnímání hloubky vzniká ze stimulace nekorespondujících – lehce disparátních bodů sítnice a až velké rozdíly mezi obrazy (mimo Panumovy areály, velmi oddělených nekorespondujících místech) vedou k diplopii. Vnímání stereopse se objevuje u snímků obsahujících horizontální rozdíly. Vertikální rozdíly nevedou k vnímání hloubky.

## Binokulární sumace

- Obecný neurofyziologický podklad pro spojení dvou (monokulárních) signálů
- Zlepšení zrakového vnímání při BV
- Sir Sherrington 1909: „visual summation“



Binokulární sumace je definována jako součet informací z pravého a levého oka, abychom dosáhli binokulárního vizuálního výkonu, který přesahuje výkon monokulární.

Abychom určili, jakým způsobem dochází ke spojení informací z každého oka, je třeba provést několik testů za binokulárních a monokulárních podmínek a porovnat jejich výsledky (př. detekce jasu, reakční doba, kritická frekvence fúze (CFF), zraková ostrost)

První výzkumy binokulární sumace – Sherrington, 1909

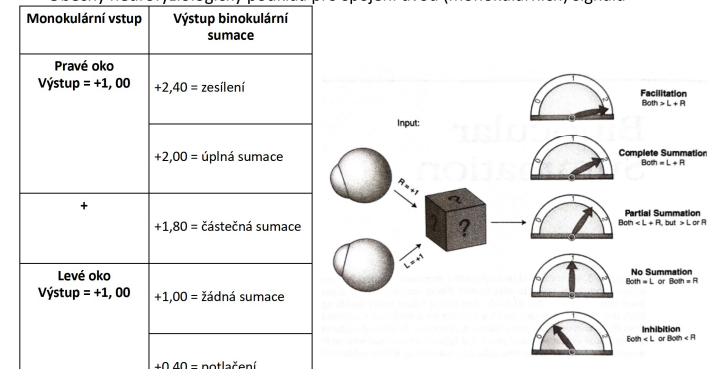
Sherrington současně stimuloval obě oči záblesky (testové pole, které je v pravidelných intervalech zhasínáno a rozsvěcováno)

Záblesky mohou shodně blikat do obou očí, tj. ve (stejně) fázi, informace z obou očí se spojí a poskytnou silnější binokulární vjem. Střídavé blikání mezi P a L okem poskytnou malou nebo žádnou odezvu za binokulárních podmínek (sumací se snižuje citlivost)

Pokud by nedošlo k žádné binokulární sumaci, nebyl by žádný rozdíl mezi záblesky ve fázi a mimo fázi  
Sherringtonova studie poskytla první důkaz podporující existenci binokulární sumace.

## Binokulární sumace

- Obecný neurofyziologický podklad pro spojení dvou (monokulárních) signálů



Binokulární sumaci lze názorně vysvětlit pomocí následujícího schématu, který znázorňuje sumaci (součet) vjemů z pravého a levého oka ve vizuální kůře. Hodnoty uvedené ve schématu mají pouze názorný charakter, pomocí kterého můžeme vysvětlit princip binokulární sumace. Výraz *Pravé oko – výstup = +1,0* představuje vizuální vjem, který je zcela plnohodnotný (= oko netrpí amblyopií nebo jinou patologií, která by snižovala např. zrakovou ostrost atp.).

Výraz *Výstup binokulární sumace* představuje binokulární sumaci na úrovni zrakového kortexu v mozku.

Před chvílí zmíněné experimenty ukazují, že dochází k binokulární sumaci. Nicméně nevysvětlují, jak je sumace dosaženo. Existují dva možné mechanismy binokulární sumace vizuálního systému: pravděpodobnostní sumace a neurální sumace.

## Binokulární sumace

### Elementární pravděpodobnostní (*probability*) sumace:

- Teorie nezávislosti
- Pomocí dvou nezávislých detektorů lze dosáhnout lepšího výkonu než jedním detektorem (vizuální systém podřadí dvojnásobný počet fotoreceptorů)
- Stimulace velmi oddělených nekorespondujících bodů jednajících nezávisle (nevýžaduje prostorovou nebo časovou synchronizaci)
- Binokulární výkon se zlepší o 40% (=1.4 x vyšší pravděpodobnost, že zachytí (slabý) signál)

- Teorie nezávislosti:  
Jedná se o situaci, kdy dochází k jednoduché statistické pravděpodobnostní sumaci: máte dva záběry při sledování podnětu, takže je pravděpodobnější, že ho zjistíte.
- Vstupy obou očí nejsou fúzovány a jsou zpracovávány samostatně
- CNS má přístup k oběma monokulárním vstupům

## Binokulární sumace

### Elementární neurální (*neuronal*) sumace:

- Teorie interakce
- Zvýšení citlivosti při použití dvou očí je větší než samotná předpokládaná pravděpodobnostní sumace.
- Stimulace korespondujících bodů, spojení na prvním binokulárním neuronu ve zrakové kůře
- Časová (*temporal*) sumace: fotoreceptor zvyšuje frekvenci impulzů až překročí prahovou hodnotu a postsynaptický neuron generuje akční potenciál
- Prostorová (*spatial*) sumace: narůstá počet fotoreceptorů vysílajících impulzy na postsynaptickou buňku až generuje akční potenciál

### teorie interakce:

Aby došlo k neurální binokulární sumaci, musí být podněty synchronní jak v prostoru, tak i v čase, prezentovány oběma očím, zaznamenány na korespondujících místech nebo bodech v oblasti Panumova prostoru, a musí být detekovány každým okem s interkulturním zpožděním nepřesahujícím 100 ms .

Výsledkem je ještě větší sumace než samotná pravděpodobnostní sumace (konvergence monokulárních informací ve vizuálním systému na binokulární dráhy)

skutečné testování neurální binokulární sumace je stimulace obou očí v přítomnosti a bez přítomnosti fúze. Pokud se prahové hodnoty zlepší, když je přítomna fúze, musí existovat neurální sumace.

- časová (*temporal*) sumace: fotoreceptor zvyšuje frekvenci impulzů až překročí prahovou hodnotu a postsynaptický neuron generuje akční potenciál
- prostorová (*spatial*) sumace: narůstá počet fotoreceptorů vysílajících impulzy na postsynaptickou buňku až generuje akční potenciál

## Binokulární sumace

Prahové (threshold) podněty-testy:

- **Zraková ostrost**
- za binokulárních podmínek je centrální zraková ostrost přibližně o jeden řádek lepší než za monokulárních podmínek (částečná sumace)
- **Kontrastní citlivost**
- za binokulárních podmínek je CK lepší 1,4 x v celém spektru testovaných frekvencí
- rostoucí rozostření obrazu jednoho oka se snižuje („maskuje“) vjem kontrastu na druhém oku
- rozostření větší než +1.5 D (např. při monovision) snižuje kontrastovou citlivost, především ve vyšších frekvencích, pod monokulární úroveň.
- **CFF (Critical Flicker Fusion) – citlivost na krátké podněty**
- při zrychlující se stroboskopické frekvenci obrazových záblesků se stanovuje nejnižší frekvence, při které záblesky subjektivně splnou do trvalého vjemu
- CFF je za binokulárních podmínek vyšší přibližně o 12,5 %

Critical flicker fusion (CFF) je definován jako frekvence, při které se pro daný souhrn podmínek blikající světelný stimul jeví jako kontinuální (nepřerušovaný). Ke zjištění CFF se využívá testové pole, které je v pravidelných intervalech zhasínáno a rozsvěceno.

Sherrington měřil CFF.

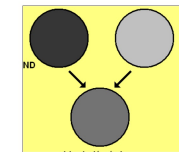
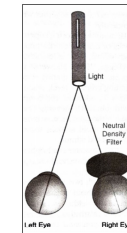
Při výzkumech binokulární sumace jsme se soustředili na prahové podněty.

Nadprahové podněty???

## Binokulární sumace

Nadprahové (supra-threshold) podněty-testy:

- **Citlivost na jas**
- binokulárně vnímaný jas je o něco větší než jas vnímaný monokulárně
- Fechnerův paradox: neutrálně denzitní (ND) filtr snižuje binokulárně vnímaný jas pod úroveň vnímanou nezastíněným okem (inhibice)
- Teorie průměrování jasu (Levelt, 1965)
- Vážený průměr blíže dominantnímu oku (Corcoran, Roth, 1983)



Pro nadprahové podněty se ve stupni sumace objevuje větší variabilita, než pro prahové stimuly.

Vstupy do jednotlivých očí nejsou stejné:

Pokus: neutrálně denzitní filtr před levé oko

Monokulárně: OP vnímá maximální jas, OL snížení jasu

Binokulárně: nastává tzv. **Fechnerův paradox, kdy za binokulárních podmínek dochází ke snížení jasu pod úroveň vnímanou nezastíněným okem**

Hypotéza nezávislosti by vedla k závěru, že pokud levé oko vidí cíl jako tmavý a pravé oko jasně, zavření levého oka by vjem nezměnilo, protože pravé oko stále přijímá jasný obraz za obou podmínek.

Hypotéza sumace by naznačovala, že binokulární vjem bude jasnější než monokulární vjem.

.....třetí hypotéza Teorie průměrování jasu (Levelt, 1965) – vizuální systém zprůměruje vnímaný jas každého oka, aby dospěl k binokulárnímu jas.

## Binokulární sumace

vizuální (testovací) vjem může být oslaben maskovacím („rušivým“) podnětem předloženým před, během nebo po testovacím podnětu

**Monokulární maskování** (testovací podnět i maska předloženy jednomu oku)

- **Crowding fenomen**
- vyšší centrální zraková ostrost při testování na jednotlivých optotypech než na řadě optotypů (viz. testy rozlišovací schopnosti)

**Binokulární (dichoptické) maskování** (maska předložena druhému oku než testovací obraz)

- **Visual masking**
- redukce nebo eliminace velmi krátkého podnětu z vizuálního vědomí vlivem následujícího podnětu (masky)

V případě vizuálního maskování je monokulárně nebo binokulárně sledovaný vizuální podnět (označovaný jako tzv. cíl), který prezentujeme danému oku/očím během určitého testování, oslaben předložením maskovacího (rušivého) podnětu. Tento maskovací podnět je označovaný jako tzv. maska. K vizuálnímu maskování pomocí masky může dojít před (tzv. forward masking), během (tzv. simultaneous masking) nebo i po (tzv. backward masking) sledování (dosažení) vizuálního cíle.

Dichoptické maskování je fyziologický komplexní supresní mechanismus vizuálního kortexu mozku. Jeho základem je pravděpodobně binokulární rivalita. „*Tento mechanismus omezuje zpracování méně kvalitního (rozostřeného) monokulárního vjemu během binokulární percepce daného vizuálního podnětu.* Monokulární signál s normální kvalitou pak brání (maskuje) vstup celého nekvalitního obrazu druhého oka s vyšším rozostřením (*blur*) do vizuálního vědomí. Dojde tedy k fyziologické supresi monokulárního vjemu na kortikální úrovni, monokulární obraz s vyšším rozostřením je vytěsněn z vizuálního vědomí.