

Obecná fyziologie BV: percepční složka I.

Mgr. Bc. Marcela Dostálková

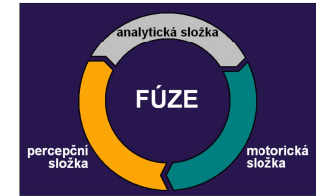
Jednoduché binokulární vidění

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 senzickou, konkrétně percepční složku, zprostředkovávající příjem informací - dnes pohledový směr a sumace informací do binokulárního vjemu. V širším slova smyslu senzická složka fúze zahrnuje složku percepční a analytickou. Percepční (projekční) neboli dostředivá (aferentní) složka fúze přijímá obrazové informace a převádí je do zrakové kůry mozku, analytická neboli centrální složka fúze představuje spojení obrazů z obou sítnic a analyzuje kvalitu a rozdíly jednotlivých obrazů, především detekce disparity a signálů o rozostření.

Senzická fúze je neurofyziologický a psychologický proces, kdy vizuální kortex kombinuje překryté obrazy získané oběma očima do jednoho sjednoceného vjemu ve vizuálním prostoru. K tomu, aby došlo k senzické fúzi, musejí být obrazy umístěny nejen na odpovídajících si místech sítnice (tzv. korespondujících místech), ale musejí mít také dostatečně podobnou velikost, jas a ostrost.

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

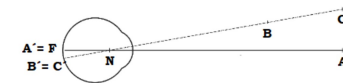
Abychom se mohli bezpečně pohybovat v prostoru, musíme být schopni lokalizovat a orientovat se vůči ostatním objektům kolem nás. Informace o naší poloze jsou zprostředkovávány našimi smysly. Ze všech smyslů nám zrak poskytuje nejpodrobnější a nejpřesnější informace o naší pozici a pozici dalších objektů v našem prostředí. Úkolem vizuálního systému je převést dvojrozměrný obraz na sítnici do komplexní trojrozměrné interpretace světa kolem nás.

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. Jak brzy uvidíme, vnímání vzdálenosti závisí na zpracování pohledového směru. Prvním krokem k tomu, abychom se zaměřili na nějaký objekt, je schopnost určit směr. 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 (obr. 2-1A). 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 (obr. 2-1B).

Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



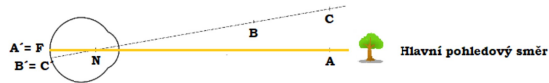
Projekce na sítnici přes uzlový bod
zraková osa = pohledový směr: hlavní/vedlejší

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

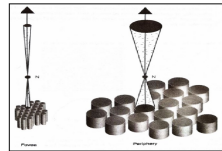
Pokud neuron signalizuje určitý směr v prostoru, musí existovat referenční směr, proti kterému jsou posuzovány všechny ostatní směry. Místo, ke kterému porovnáváme všechny směry, se nazývá hlavní pohledový směr. Všechny ostatní směry, například vlevo, vpravo, nad nebo pod fixačním bodem, se nazývají 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 jeho foveou, nese subjektivní pohledový směr přímo před sebe.

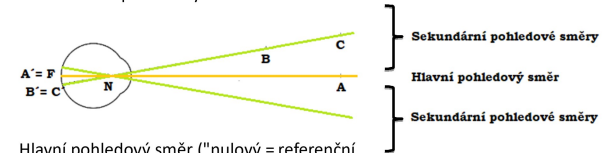
Přesnost pohledového směru je v přímém propojení s velikostí receptivních polí určujících polohu. Pohledový směr je proto přesněji lokalizován pro obrazy vytvořené ve fovee než pro obrazy vytvořené v periférii sítnice.

Při posunu směrem do periférie klesá přesnost pohledového směru, protože receptivní pole jsou tam větší; objekt proto musí vykonat větší posun, aby byl viděn v jiném směru. Proto jsme citlivější na malé posuny nebo pomalé rychlosti pohybu ve fovee a větší posunutí nebo rychlejší pohyb v periférii.

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

Subjektivní pohledový směr

- Monokulární pohledový směr.



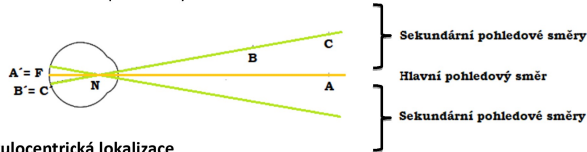
- Hlavní pohledový směr ("nulový = referenční směr") – směr signalizovaný fyziologickou foveou, nesoucí subjektivní pohledový směr přímo před sebe
- Sekundární = vedlejší pohledové směry (se směrovou hodnotou k fovee)

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 „přímo vpřed“).
- Pohledový směr obecného retinálního bodu není absolutní, ale vždy relativní k pohledovému směru fovei.

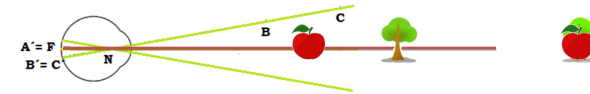
Okulocentrickou lokalizací nazýváme relativní směr vzhledem k fovee daného oka (=hlavnímu pohledovému směru). Vyjadřuje se ve stupních.

Za normálních okolností je směrová hodnota fovey „přímo vpřed“. 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

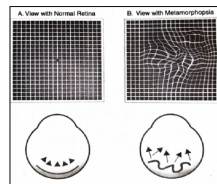
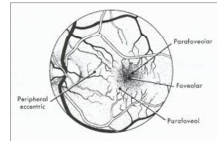
Pokud se v jednom pohledovém směru nachází více objektů, stimulují jediný bod sítnice, i když se mohou nacházet v různých vzdálenostech v tomto směru. Vizualní systém vyhodnotí tyto objekty překrývají se. Tento fenomén nazýváme zákon okulocentrického pohledového směru = **okulocentrické pravidlo**

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 postihující fotoreceptorovou orientaci – narušení lokalizace, metamorfopsie

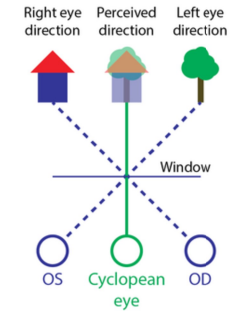


U některých abnormalit vizuálního systému může být k určení hlavního pohledového směru použit jiný bod než fovea. To se může objevit v případě excentrické fixace. Při excentrické fixaci se použije extrafoveální bod pro fixaci objektů a může být použit jako nulová referenční hodnota pro pohledový směr.

Onemocnění, která postihují fotoreceptorovou orientaci, narušují lokalizaci, způsobují metamorfopsii. VPMD

Binokulární subjektivní pohledový směr

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



Obvykle však vnímáme svět binokulárně.

Vzhledem k tomu, že máme dvě oči, je vizuální scéna každým okem viděna z trochu jiného pohledu.

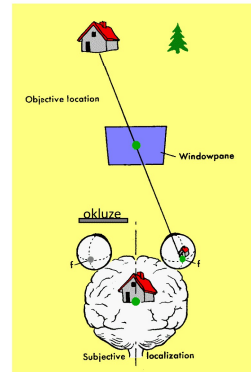
Jak je vnímán bod ve vztahu k pozorovateli, když je pozorován binokulárně? Protože každé oko má svůj vlastní hlavní pohledový směr, jak tyto dva směry sloučíme?

Kdybychom jako výchozí rámec použili monokulární hlavní pohledové směry za binokulárních podmínek, bylo by to velmi matoucí, protože bychom dostali dvě různá „kódování“ "rovně vpřed".

V roce 1879 Ewald Hering uvedl následující zákon na základě svých experimentů:

Binokulární subjektivní pohledový směr

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



Nejprve si pokus představme monokulárně:

Jedno oko pod okluzí

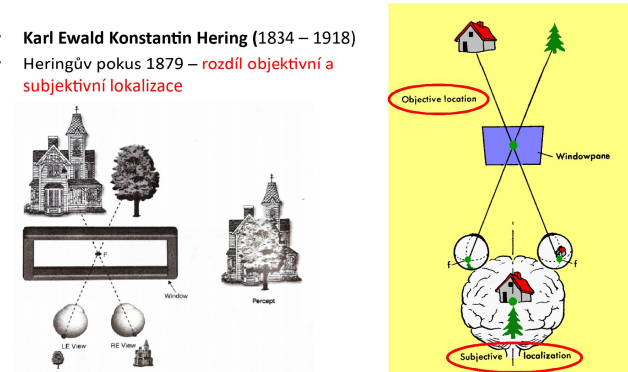
Druhým okem člověk fixuje bod-značku (rovně vpřed) na průhledné okenní tabuli.

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.

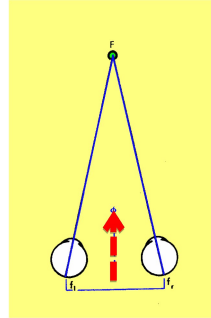
Kyklopské oko, byť pomyslné, nám pomáhá vysvětlit to, jak vidíme za binokulárních podmínek.

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

Poloha rovně vpřed představuje za binokulárních pozorovacích podmínek kompromis mezi jednotlivými hlavními pohledovými směry obou očí.

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

Tato forma směrovosti se nazývá egocentrickou lokalizací.

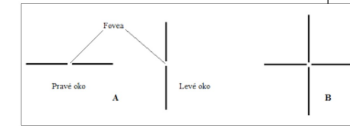
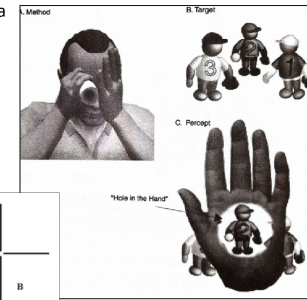
Vychází z dílčích okulocentrických lokalizací a z orientace obou očí, zraková osa kyklopského oka je kombinací zrakových os obou očí.

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

Představme egocentrický pohledový směr. Smotáme kus papíru do tvaru trubky (20 cm dlouhá). Drží se pravou rukou a umístí se před pravé oko. Levou ruku položte na konec vedle trubky a dívejte se do dálky! Při správné spolupráci očí se objeví díra v dlani (kombinace obou monokulárních pohledových směrů do jediného pohledu s jediným binokulárním pohledovým směrem). V této díře je scéna prohlížena trubcící.

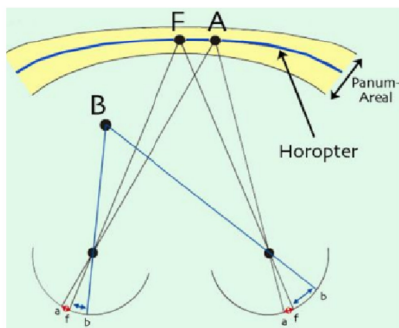
HB test

Test následných paobrazů dle Heringa-Bielschowského (použitím blesku fotoaparátu) – vyšetření korespondence sítnic. Do pravého oka se zableskne svislá uprostřed přerušovaná štěrbinu. Do levého oka stejná štěrbinu, orientovaná horizontálně. Vyšetřuje se ze vzdálenosti 1 m při striktním zakrytí oka, které zrovna štěrbinu nesleduje.

Při NRK vidí pacient jako následný paobraz rovnoramenný kříž (obě fovey mají společný pohledový směr). Při ARK vidí obraz ležatého „T“, protože fovey nemají společný pohledový směr.

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**.

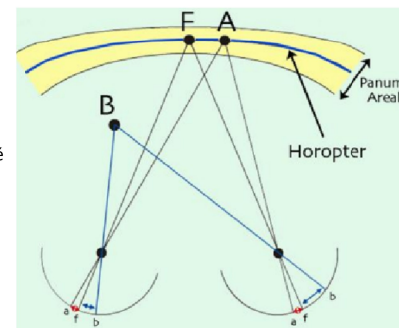
Kolem foveol jsou geometricky uspořádané body, které spolu korespondují. Korespondujícími místy sítnice nazýváme místa, která jsou teoreticky stejně vzdálená od fovey.

Pokud se na korespondujících místech vytvářejí odlišné obrazy, výsledkem je binokulární konfuze, kdy jsou vidět dva různé objekty ve stejném vizuálním směru.

Diplopie a vizuální konfuze se často vyskytují u strabismu, kde je jedno oko otočeno tak, aby jeho fovea již nebyla zaměřena na stejné místo v prostoru jako fovea druhého oka. Mnoho strabistických pacientů má tendenci eliminovat diplopický nebo konfuzní obraz potlačením vstupu ze strabistického oka.

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** sítnice.
- 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).

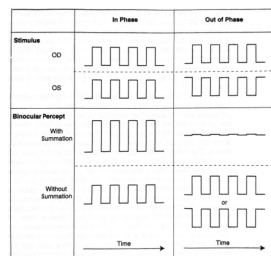
Horopter je množina bodů v prostoru, jejichž obrazy se při fixaci určitého bodu zobrazí na korespondující body na sítnici.

Panumův prostor je prostor v okolí horopteru, kde dochází ke stereoskopickému vidění z lehce disparátních bodů sítnice. 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.

Náš vizuální výkon se při mnoha vizuálních úkolech, včetně čtení, zlepšuje za binokulárních podmínek, za přítomnosti hloubkového vjemu.

Klasicky se definuje jako rozdíl hodnot binokulárního a monokulárního zrakového výkonu, jejichž úroveň je u obou očí fyziologicky podobná.

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.

(například detekce jasu, reakční doba, kritická frekvence fúze (CFF), zraková ostrost)

První výzkumy binokulární sumace byly provedeny Sherringtonem roku 1909.

Sherrington současně stimuloval obě oči blikáním-záblesky (testové pole, které je v pravidelných intervalech zhasínáno a rozsvíceno).

Záblesky mohou buď shodně blikat na obou očích, tj. ve (stejně) fázi, informace z obou očí se spojí a poskytnou silnější binokulární vjem.

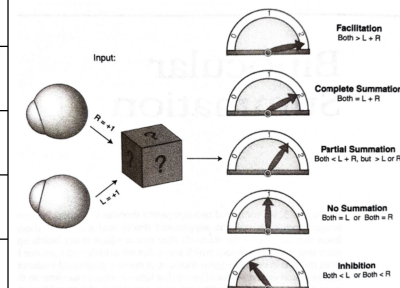
Naopak střídavé blikání mezi P a L okem poskytnou malou nebo žádnou odezvu za binokulárních podmínek (sumací se snižuje citlivost).

Pokud by nedošlo k žádné binokulární sumaci, neprojevil 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

Monokulární vstup	Výstup binokulární sumace
Pravé oko Výstup = +1,00	+2,40 = zesílení
	+2,00 = úplná sumace
+	+1,80 = částečná sumace
Levé oko Výstup = +1,00	+1,00 = žádná sumace
	+0,40 = potlačení



Existuje několik možností toho, co se může stát

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 podráždí dvojnásobný počet fotoreceptorů)
- Stimulace velmi oddělených nekorespondujících bodů jednajících nezávisle (nevyžaduje prostorovou nebo časovou synchronizaci)
- Binokulární výkon se zlepšil o 40% (=1.4 x vyšší pravděpodobnost, že zachytí (slabý) signál)

Teorie nezávislosti:

- Pomocí dvou nezávislých detektorů (dvě oči) lze dosáhnout lepšího výkonu než jedním detektorem (jedním okem)
- vizuální systém podráždí dvojnásobný počet fotoreceptorů a tím se zvýší šance na detekci
- pokud stimulujete velmi oddělené nekorespondující body, očekáváte, že budou jednat nezávisle, protože nejsou přímo neurologicky propojeny. Jedná se o situaci, kdy dochází k jednoduché statistické pravděpodobnostní sumaci: máte dva záběry při sledování podnětu, takže je pravděpodobnější, že ho zjistíte.
- pravděpodobnostní sumace nevyžaduje prostorovou nebo časovou synchronizaci mezi dvěma expozicemi cíle v obou očích
- Vstupy obou očí nejsou fúzovány a jsou zpracovávány samostatně
- Centrální rozhodovací proces má přístup k oběma monokulárními vstupům
- I když neurony v obou očích působí zcela nezávisle a neurony z každého oka se nespojíly na společný binokulární neuron ve zrakovém kortexu, předpokládá se, že binokulární výkon se zlepšil o 40%, protože nyní máte "dva záběry" když vidí podnět místo jednoho

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 zlepšil, 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 %

Termín 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 rozsvíceno. Pokud jsou přerušované stimuly prezentovány dostatečně rychle, vizuální systém je vnímá jako kontinuální (neblíkají).

Sherrington měřil CFF.

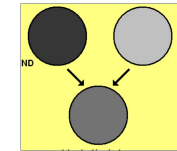
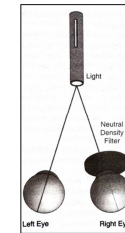
Při výzkumech binokulární sumace jsme se soustředili na prahové úkoly. Nicméně, za běžných každodenních pozorovacích podmínek se setkáváme s nadprahovými situacemi (suprathreshold), tedy s dobře viděnými podněty.

Existuje nějaká výhoda použití obou očí v nadprahových úkolech? Je třeba, aby oči fúzovali, když jsou cíle snadno viditelné, nebo mohou pracovat samostatně?

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.

Pokud se podíváte na tužku jedním okem, pak oběma očima, tužka nevypadá dvakrát tak jasně, a to i přesto, že obě oči dohromady poskytnou dvakrát tolik světla odrazené od tužky, stejně jako oko samo. V tomto konkrétním úkolu je váš výkon poměrně neovlivněn použitím jednoho nebo obou očí. Pokud při pohledu na tužku zakryjete jedno oko, vůbec se nezmění jas.

Vezměme si tento krok ještě dál a porovnáme jas, když vstupy do jednotlivých očí nejsou stejné. Pokud umístíme neutrálně denzitní filtr před levé oko a pozorujeme monokulárně světlo, na levém oku, které je filtrováno, se snižuje jas. Monokulárně pravé oko bez filtru vnímá maximální jas.

Při binokulárním pohledu 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. Jinými slovy, při binokulárních a monokulárních podmínkách by nebyl rozdíl ve vnímání jasu.

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

Proto je zapotřebí třetí hypotéza Teorie průměrování jasu (Levelt, 1965). Ta uvádí, že vizuální systém jednoduše zprůměruje vnímaný jas každého oka, aby dospěl k binokulárnímu jasu.

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 percepcce 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.*