

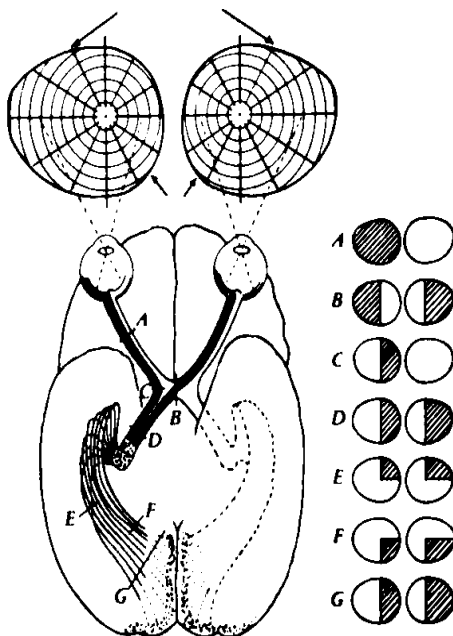
2. VIDENIE

„Je obtiažne okamžite vidieť to, čoho sa váš zrak doposiaľ nedotkol. Na prvý pohľad tomu nerozumiete. Videnie je proces, ktorému sa učíme dlhšiu dobu, avšak väčšina z nás si neuvedomuje, že sme sa museli naučiť pozerat' - rovnako ako hovorit' a počut'.“

/John Wimber/

2.1 FYZIOLOGIA VIDENIA

Procesu videnia sa najviac týka prepojenie medzi očami a mozgom (obr. 2.1). Hneď za bodom D vnikajú vlákna optických nervov do *vedľajšieho mozgu (geniculatum laterale)*, odkiaľ idú do časti mozgu nazvanej *kôrové zrkové centrum*. Zaujímavé je, že časť vlákien ide z každého oka do opačnej časti mozgu. Optické nervy z ľavej časti pravého oka prechádzajú cez *optický kríž (chiasma opticum)* B a pridávajú sa k nim nervy z ľavej časti ľavého oka. Takže ľavá časť mozgu dostáva všetky informácie prichádzajúce z ľavej časti každého oka, t.j. z pravej časti vizuálneho poľa, zatiaľ čo pravá strana mozgu vidí ľavú časť vizuálneho poľa. Takto sa za účelom určenia vzdialenosti (hlbkové videnie) skladajú informácie z každého oka. Práve v tomto spočíva binokulárny systém videnia.



Obr. 2. 1. Nervové spojenie očí so zrkovým centrom. Vedľa sú znázornené výpadky v zornom poli [7].

Zvláštnosťou je aj spojenie medzi sietnicou a zrkovým centrom. Ak sa poškodí časť sietnice, umŕtvi sa celé nervové vlákno. Podľa toho môžeme zistiť, kde bolo pripojené. Ukazuje sa, že ide o spojenie jedna k jednej - každému bodu na sietnici prislúcha jeden bod v zrkovom centre a body, ktoré sú veľmi blízko seba na sietnici, sú blízko seba aj v zrkovom centre. Zrkové centrum predstavuje priestorové zoskupenie tyčínok a čapíkov. Body, ktoré sú v strede poľa, sú na sietnici sústredené na veľmi malej ploche. V zrkovom centre sú však rozťahnuté na mnoho buniek. Zvislá čiara v strede nášho zorného poľa rozdeľuje zorné pole na dve oblasti. Informácie z bodov od nej napravo idú do ľavej časti mozgu a informácie z bodov od nej naľavo sú odvádzané do pravej strany mozgu. Stredná oblasť je rozrezaná rovno v strede zvisle nadol, takže informácie, ktoré sú si v strede veľmi blízke, sú v mozgu od seba veľmi vzdialené.

Tu vzniká zaujímavá otázka, ako sa celá táto sieť pospája. Problém spočíva aj v tom, nakoľko sú už mnohé veci pospájané a nakoľko sa spoja učením, čiže skúsenosťou. „Niekedy dávnejšie sa učilo, že presné pospájanie ani nie je vôbec potrebné, stačí, keď existujú hrubé spoje a potom, na základe skúsenosti, sa malé dieťa naučí, že keď sa vec nachádza „tamto“, tak to produkuje určité pocity v mozgu. (Lekári nám vždy radi hovoria, čo dieťa „cíti“, ale ako vedia, čo cíti dieťa, keď má rok?) Dá sa povedať, že ročné dieťa vidí nejaký predmet „tamto“, má určité pocity a učí sa siahnuť „tam“, lebo keď siahne „sem“, tak nič nechytí. Takýto prístup pravdepodobne nie je správny, lebo vidíme, že v mnohých prípadoch existujú tieto mimoriadne podrobné spojenia [7].“

Viac svetla do tejto problematiky vrhajú experimenty s mlokmi. Mlok nemá binokulárne videnie, pretože oči, každé na jednej strane hlavy, nevidia spoločnú plochu. Má iba priame krížové spojenie bez optického kríža. Z experimentov sa zistilo, že keď sa mlokoví pretrhne optický nerv, tak nerv z očí znovu narastie a mlok má dobrú zrakovú ostrosť. Niekoľko tisíc buniek sa znovu spojí. Keď však pretrhneme optický nerv a oko obrátime naopak a necháme ho znovu prirásť, mlok má znovu dobrý ostrý zrak, avšak s jednou veľkou chybou: Ak mlok vidí muchu „tam hore“, skočí za ňou „tam dole“ a nikdy sa to správne nenaučí. Podobný experiment sa urobil aj s lososom. Ukázalo sa, že na mieste, kde sa nerv presekol, vznikol uzol ako veľká jazva, ale aj napriek tomu sa všetky vlákna zrástli a spojili správne miesta mozgu. „Zdá sa, že záhada rozdielneho rastu rôznych vlákien je chemickej povahy. Je to jeden z najväčších nedávnych objavov biológie a nepochybne súvisí s mnohými starými nevyriešenými problémami rastu, organizácie a vývoja organizmov a najmä embryí [7].“

Naše nervové spojenia sú do určitej miery zafixované. „Toto je dôležitý fakt, lebo väčšina starších kníh anatómie a psychológie neuznáva alebo nezdôrazňuje skutočnosť, že naše nervové spojenia sú do takej miery zafixované - tvrdia, že všetko je iba naučené [7].“

Poznámka:

Veľmi zaujímavé sú najnovšie výsledky výskumu fyziologickej činnosti očí. Ukázalo sa totiž, že v mozgovej kôre a jej zrakovom centre sú špecifické skupiny nervových buniek schopné rozlíšiť určitý faktor prostredia, napr. vertikálnu alebo horizontálnu polohu predmetov. Napríklad žaba môže spozorovať korisť a nepriateľa len vtedy, ak sú v pohybe. Zaujímavé pokusy sa robili s mačkami. Keď sa pri raste mačiek od narodenia vylúči, aby ich mozog získal určité informácie (napr. držia sa v prostredí len s vodorovnými alebo len so zvislými líniami), vzniknú výrazné zmeny; ak sa špeciálnym golierom zabránilo, aby si mača videlo vlastné telo, a ak bolo súčasne vo valci so zvislými pásmi, bolo neskôr schopné reagovať len na vertikálne zrakové vnemy, na „vertikálnu situáciu“. Prejavilo sa to tak, že sa vedelo vyhnúť nohám stola, ale na schodišti s vodorovnými líniami sa pohybovať nevedelo, padalo. Normálne videnie sa mohlo vypestovať len vtedy, ak sa do prostredia bežného života začlenilo pred uplynutím štyroch mesiacov po narodení; ak sa to urobilo neskôr, ostalo už trvalo invalidné [25].

2.1.1 POHYBY OČÍ

Keď vonkajšie *okoľahbné svaly* pohybujú obidvoma očami v rovnakom smere (napr. zmena pohľadu doľava-doprava), hovoríme o *konjugovaných pohyboch očí*; protismerné pohyby oboch očí nazývame *vergenčné*. Striedanie divergenčných a konvergenčných pohybov nastáva pri striedaní pohľadov do diaľky a na blízko. Spolu s konvergenciou očných osí sa reflexne zužujú zrenice a súčasne dochádza k akomodácii: reakcia pri pohľade na blízko.

Táto reakcia môže byť porušená, ak sa nezhoduje stupeň akomodácie a nutná konvergencia (napr. pri ďalekozrakosti ľudia konvergujú vo väčšom rozsahu, škúlia do vnútra, pretože vzhľadom k refrakčnej chybe musia akomodovať viac ako zdraví jedinci).

Pri postupnom prezeraní predmetu uskutočňuje oko *trhavé pohyby (sakády)* a strieda tak body, ktoré fixuje (napr. pri čítaní jedného riadku). Tieto posuny sietnicového obrázku sú v CNS účelne potlačené. (Keď striedavo pozorujeme v zrkadle obe svoje oči, sami ich pohyby nepostrehneme, ale druhá osoba áno.)

Aby sme mohli okom stále fixovať pohybujúci sa predmet, vykonáva oko *pomalé sledovacie pohyby*. Kombinácia pomalých pohybov v jednom smere a rýchlych v smere opačnom sa nazýva *mystagmus*. Pritom sa smer mystagmu (doľava alebo doprava) označuje podľa rýchlej zložky. *Optokinetický mystagmus* vzniká, keď pozorujeme napr. strom z idúceho vlaku (sledovacie pohyby); po rýchlom spätnom návrate očí môžeme fixovať iný predmet.

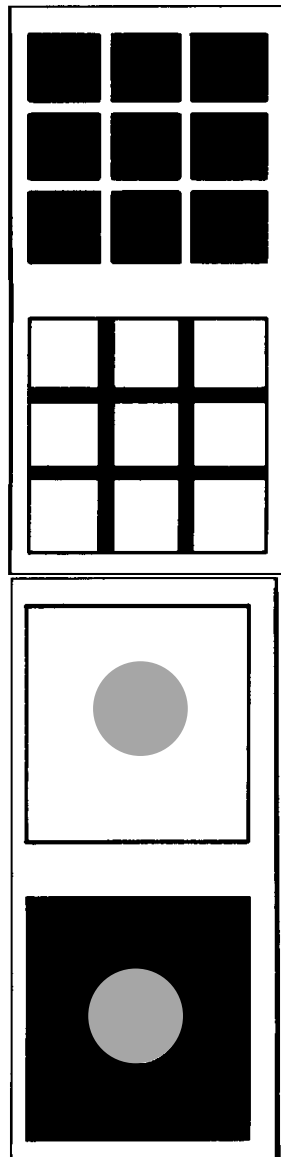
2.2 CENTRÁLNE SPRACOVANIE ZRAKOVÉHO PODNETU

Moderné fyziologické výskumy dokázali, že pri podráždení receptorov vznikajú nervové impulzy zložitými chemickými a elektrickými procesmi. Pri podráždení vznikajú v receptoroch látky, ktoré depolarizujú membrány receptorických buniek, a tým vznikajú miestne (tzv. „generátorové“) potenciály, alebo bipotenciály, ktoré sú úmerné logaritmu podráždenia. Tieto bipotenciály sú základom vzniku impulzov prenášaných nervovými vláknami v nervových dráhach až do mozgovej kôry [25]. „Vlastný mechanizmus premeny svetelnej energie na nervové podráždenie ešte nevieme vysvetliť ani pri videní za svetla ani pri videní za šera [27].“

Faktory vonkajšieho materiálneho sveta pôsobiace na zmyslové orgány sa vlastne činnosťou zmyslového orgánu „zakódujú“ do impulzov. Tie sú v mozgu transportované a prijímané ako špecifická informácia.

Bol vyslovený predpoklad, že odovzdávanie (prenos) informácií nervovými vláknami sa uskutočňuje dvojkovým kódom (0 = prítomnosť; 1 = neprítomnosť impulzu) [25]. Nervové vlákno je schopné transportovať 50 impulzov za sekundu.

Pôsobením svetelných podnetov vzniká v receptoroch sietnice tzv. *sekundárny receptorový potenciál*. Kludový membránový potenciál (-30 až -40 mV) sa pritom stáva ešte negatívnejší (až -70 mV), a to tým viac, čím silnejší bol podnet. Podnet na sietnici vyvoláva *hyperpolarizáciu*. Výška receptorového potenciálu je pritom v širokom rozmedzí úmerná logaritmu relatívnej intenzity podnetu. Tomuto sekundárnemu receptorovému potenciálu, ktorý je tiež daný poklesom vodivosti receptorovej membrány pre Na^+ , predchádza primárne kolísanie receptorového potenciálu založené na konfiguračných zmenách zrakových pigmentov [22]. Dostatočne vysoký receptorový potenciál vyvoláva prostredníctvom bipolárnych buniek v gangliovej bunke (zrakový nerv) *akčné potenciály*, ktorých frekvencia rastie s veľkosťou receptorového potenciálu.



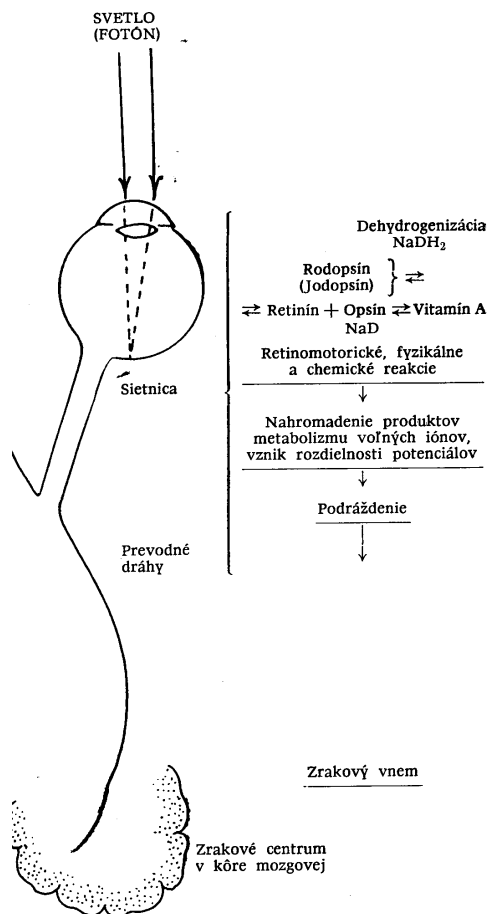
Obr. 2.2. *Simultánny kontrast* [22]

S činnosťou týchto potenciálov súvisia javy, ktoré môžeme pozorovať na rozhraní svetlej a tmavej plochy. Tmavá časť obrázku je vnímaná ako tmavšia, svetlá časť ako svetlejšia. Rovnako šedý kruh sa napr. javí vo svetlejšom prostredí tmavší ako v okolí tmavom (*simultánny kontrast*). Keď pozorujeme čiernobielu mriežku (obr. 2.2) javí sa nám biela mriežka v krížiacich sa miestach tmavšia, čierna svetlejšia. Tento dojem je spôsobený znížením kontrastu v miestach kríženia. Toto zníženie je možné vysvetliť rôznym výsledným stupňom podráždenia.

Receptory sietnice odovzdávajú signály cez nervové vlákna zrakového nervu len raz, a to v momente objavenia sa impulzu alebo nového predmetu. Túto činnosť popri čapíkoch a tyčinkách uskutočňuje veľký počet (asi 800 000 až 1 milión) nervových vlákien, ktoré sa končia v bunkách podkôrového centra medzimozgu. Tu sa nervový impulz odovzdáva, v nervových bunkách sa zosilní a ďalšou skupinou nervových vlákien sa impulzy dostávajú do kôrového centra v tylovom laloku mozgu. Prítom po vstupe zrakových nervov do lebečnej dutiny sa čiastočne prekrížia vlákna zrakového nervu, takže obrazy z rovnakých polovíc sietnic sa dostávajú do rovnakej polovice mozgu. Preto sa vnemy z oboch očí môžu spojiť, superponovať.

2.3 FOTOCHEMICKÁ PODSTATA VIDENIA

Svetelné lúče sústredené na sietnicu optickým systémom oka vyvolávajú v zmyslových elementoch sietnice *fotchemický proces*. Tento proces v sietnici je základom videnia. Absorpciou žiarivej energie svetla v čapíkoch a tyčinkách sa fotochemickou cestou utvárajú elektrické potenciály, ktoré sa potom v podobe *elektrických impulzov* prenášajú nervovou dráhou až do zrakového centra v mozgu.



Obr. 2.4. Schéma fotochemie videnia [25]

Základom fotochemického procesu v tyčinkách je špecifický pigment, tzv. „zrakový purpur“ - *rodopsín* s bielkovinovou zložkou *skotopsínom* [24]. Pri pôsobení svetla *rodopsín* mení farbu (z purpurovej na žltú) a za tmy sa regeneruje obráteným procesom. *Rodopsín* sa najrýchlejšie rozkladá pri svetle vlnovej dĺžky 530 nm (žltozelené svetlo). Pri tomto procese je nevyhnutná prítomnosť vitamínu A. (Za tmy sa vitamín A premieňa na *retinín*, ktorý sa spojí s lipoproteínom *opsínom* a vzniká *rodopsín*. Naopak, za svetla (najmä intenzívneho), nastáva rozpad tohto celku. Preto v sietnici za svetla značne stúpa množstvo vitamínu A, a naopak, za tmy je ho minimálne množstvo. Z toho vyplýva, že nedostatok vitamínu A, resp. jeho nedostatočné vstrebávanie v črevách, môžeme spájať s poruchami tzv. *súmravného (bezfarebného) videnia* - tzv. *šeroslepota* [25].)

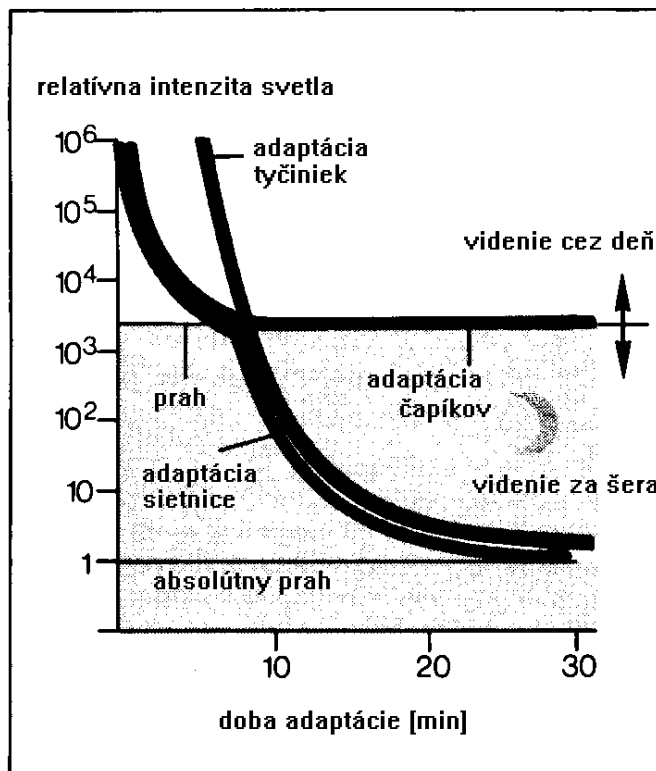
Moderné výskumy preukázali aj prítomnosť iného zrakového pigmentu - *jodopsínu*, ktorý sa pokladá za základ schopnosti oka vidieť farebne (nachádza sa totiž v čapíkoch). *Jodopsín* reaguje na tri rozličné časti viditeľného spektra elektromagnetického vlnenia (s maximom v oblasti 445 nm, 535 nm a 570 nm [25]). Zabezpečuje videnie pri vyšších intenzitách svetla, cez deň, a súčasne aj presné rozlíšenie detailov a farieb.

Fotchemický proces v sietnici, ktorý je zabezpečovaný *rodopsínom* a *jodopsínom*, neprebíha rovnako rýchlo. Premena *jodopsínu*, ktorý je v čapíkoch, trvá približne 4-krát dlhšie ako premena *rodopsínu* v tyčinkách. Preto sa ukazuje, že *rodopsín* v tyčinkách zabezpečuje videnie pri slabom osvetlení (tzv. *skotopické videnie* - videnie za šera), keď sa rozoznávajú skôr tvary predmetov. Predpokladá sa, že videnie pri plnom osvetlení - *fotopické, farebné videnie* - sprostredkujú chemické zmeny štruktúry čapíkových fotosenzitívnych pigmentov [24].

2.4 ADAPTÁCIA SIETNICE

Videnie sa viaže na určitú intenzitu svetla. Poklesom osvetlenia klesá aj zrková ostrosť. Najmenším osvetlením, ktoré ešte môže vyvolať v oku vnem svetla je tzv. *prahový podnet*. Najmenší rozdiel dvoch osvetlení, ktoré ešte môžeme okom rozlišovať, označujeme ako *rozdielový prah*. Ľudské oko vníma osvetlenie v intenzitách od 0,003 luxa až po 80 000 luxov [25].

Ak vstúpime z osvetleného priestoru do tmavej, neosvetlenej miestnosti, spočiatku nevidíme nič. Po dlhšom pobyte v tme začíname opäť vnímať svetlo a môžeme sa orientovať. Ak sa vrátíme naspäť do osvetleného priestoru, spočiatku sme oslnení a až po chvíli, vidíme opäť normálne. Tento dej - prispôbovanie sa oka, resp. sietnice na rozličné intenzity svetla - nazývame *adaptácia*. Oko sa pritom môže adaptovať buď na svetlo alebo na tmu. Tento proces úzko súvisí s *fotchemickými dejmi v sietnici*, pretože pri adaptácii nastáva rozklad a resyntéza rodopsínu - zrkového purpuru. Resyntéza zrkového purpuru je výrazne pomalšia ako rozklad rodopsínu, a preto prispôbenie sa na tmu je podstatne pomalšie než adaptácia na svetlo. Dĺžka adaptácie na tmu je priamo úmerná dĺžke predchádzajúcej adaptácie na svetlo.



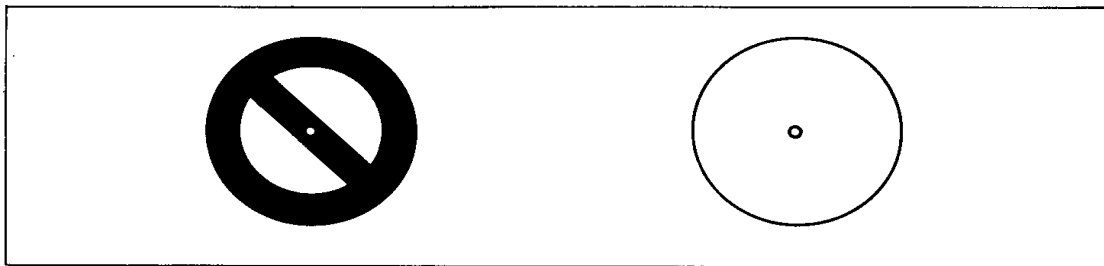
Obr. 2.5. Priebeh adaptácie [25]

Pri *adaptácii na tmu* má popri rodopsíne významnú úlohu aj zrenica, ktorá sa reflexne maximálne rozšíri, a tým umožní, aby sa do oka dostalo väčšie množstvo svetla. Adaptácia prebieha v dvoch fázach: Prvá fáza trvá 5-10 minút. Je to primárna (čapíková) adaptácia. Zúčastňujú sa na nej prvky sietnicového centra. V tejto fáze sa videnie len pomaly zlepšuje a na konci dosiahne asi 50-násobnú citlivosť oproti hodnotám z prvých sekúnd. Druhá fáza prebieha rýchlejšie: asi za 30 minút sa hodnoty pôvodnej citlivosti zvýšia 500 násobne. V sekundárnej adaptačnej fáze sa do videnia zapájajú najmä periférne prvky. Adaptácia dosiahne maximum asi po 30 minútach, po 45 minútach sa prakticky končí a dosiahnutá citlivosť na nízke intenzity svetla trvá počas celého pobytu v šere. Biochemickou podstatou adaptácie na tmu je regenerácia zrkového purpuru (rodopsínu).

Stav adaptácie jedného oka neovplyvní adaptáciu druhého oka. Za svetla je sietnica najcitlivejšia na svetlo vlnovej dĺžky okolo 580 nm, kým v tme sa citlivosť presúva na kratšie vlnové dĺžky a nachádza sa v oblasti 520 nm [24].

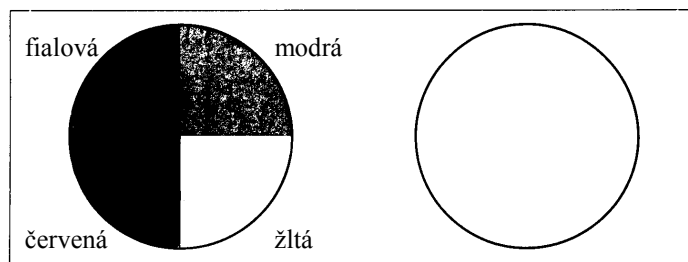
Adaptácia na farebné svetlo má rôzny účinok na následné prispôsobenie sa na tmu. Napr. žlté a červené svetlo urýchľujú následnú adaptáciu na tmu, pretože červené svetlo vôbec nedráždi tyčinky, ale iba čapíky. Modré a biele svetlo zasa spomaľuje následnú adaptáciu na tmu.

Ak sa uprene pozeráme určitý čas na nejaký objekt, jeho osvetlené časti spôsobia adaptáciu sietnice na svetlo, zatiaľ čo tmavé časti vyvolajú adaptáciu na tmu. V časti sietnice, stimulovanej svetlom sa citlivosť znížila a v časti sietnice vystavenej tme sa citlivosť podstatne zvýšila. Ak teraz preniesieme zrak na biely povrch, vidíme ten istý obraz ako v negatíve (svetlé časti tmavé a naopak). Ide o *negatívnu následnú indukciu* (čierno-biela), ktorá môže pretrvávať pomerne dlhý čas, niekoľko minút, ale aj hodinu. Hovoríme o *sukcesívnom kontraste* („lokálna adaptácia“) (obr. 2.6).



Obr. 2.6. Keď budete asi 20 sekúnd pozorovať stred čiernobieleho obrazca a potom sa rýchlo pozriete na vedľajší biely kruh, javia sa pôvodné tmavé partie svetlejšie ako okolie, pretože príslušné oblasti sietnice sa stali citlivejšími [22].

Ten istý jav môžeme pozorovať aj po dlhšie trvajúcim uprenom pohľade na farebný objekt, ktorý potom vidíme v doplnkovej (komplementárnej) farbe. Ak očami fixujeme plochu kruhu rozdeleného na dve polovice zafarbené dvoma doplnkovými farbami po dobu asi 30 sekúnd, po prenesení pohľadu na biely kruh sa nám objaví kruh zafarbený v opačnom usporiadaní - *farebný následný kontrast*. (Takúto komplementárnu dvojicu tvoria napr. oranžové (612 nm) a modré (490 nm) svetlo.)



Obr. 2.7. Farebný sukcesívny kontrast [22]

Procesy vzrušenia vyvolajú súčasne v susedných zmyslových bunkách negatívnu indukciu procesy útlmu - hovoríme o *súčasnom* resp. *simultánnom kontraste* (obr. 2.2, str. 45). Tento kontrast je fyziologicky výhodný, lebo pôsobí proti neostroti obrazu vznikajúcej v dôsledku optických chýb oka, ako je sférická a chromatická aberácia šošovky a rohovky. Pri niektorých chorobných stavoch stráca oko schopnosť prispôbiť sa zníženým hodnotám osvetlenia, preto sa postihnutý nemôže orientovať za šera (*šerosleposť* alebo vlčia tma) [25].

2.5 PROCES VIDENIA

Videnie je zložitý dej, pri ktorom sa opticky spracovaný obraz dostáva na receptory sietnice, odkiaľ sa vzruchy prenášajú zrakovou dráhou do nižších a vyšších zrakových centier. „Keď sa na niečo pozeráme, tak vidíme či už človeka alebo vec; inými slovami mozog interpretuje, čo vidíme. Ako to robí, nikto nevie, no treba dodať, robí to na veľmi vysokej úrovni [7].“ V procese videnia možno vyčleniť 4 základné zrakové funkcie:

- 1) videnie predmetov a tvarov (centrálne a periférne videnie),
- 2) videnie farieb,
- 3) videnie za rôznych svetelných podmienok (adaptácia, denné a nočné videnie),
- 4) binokulárne a hĺbkové videnie.

Treba si uvedomiť, že tieto funkcie oka nie sú izolované, ale spoločne sa zúčastňujú na každom akte fyziologického videnia.

Dokonalé videnie teda vyžaduje, aby za normálnych anatomických pomerov očí boli všetky zrakové funkcie normálne. Predpokladá neporušenú a správne fungujúcu nervovú sústavu, ktorá pracuje v niekoľkých zložkách. V senzorickej zložke uskutočňuje vnem, v motorickej zabezpečuje pohyblivosť očných svalov, zrenie a vo vegetatívnej obstaráva metabolizmus očí.

2.5.1 CENTRÁLNE A PERIFÉRNE VIDENIE

Pri videní je potrebné rozlíšiť *centrálne videnie*, t.j. videnie predmetov, na ktoré oko fixujeme, od tzv. *periférneho videnia*. Centrálne alebo „priame videnie“ sa zabezpečuje funkciou žltej škvrny, kým periférne alebo „nepriame videnie“ funkciou celej sietnice mimo žltej škvrny. V oblasti žltej škvrny je najväčšia koncentrácia zmyslových buniek - čapíkov na sietnici (v ústrednej jamôčke na ploche 0,4-0,6 mm² je ich koncentrácia asi 13 000, tyčinky takmer úplne chýbajú). Smerom k periférii stále pribúda počet tyčiniek a sietnica čoraz menej rozlišuje detaily predmetov. Periféria neslúži na ostré videnie, ale najmä na orientáciu v priestore a na rozlišovanie obrysov. Vzájomná spolupráca centra a periférie je pri plynulých zmenách osvetlenia plynulá. Funkciu tyčiniek môžeme označiť aj ako *rozptýlené videnie*.

Periféria sietnice je vždy pripravená reagovať na vonkajšie podnety. Centrálne videnie môže byť niekedy aj menej pozorné, takže chvíľkami sa môže stať, že sa pozeráme na veci bez toho, aby sme ich videli.

Ak dopadne na oblasť žltej škvrny svetlo veľmi nízkej intenzity, vnímame ho veľmi zle. Zato perifériou sietnice, ktorá je schopná pracovať už pri osvetlení 0,01 lx, vnímame aj málo intenzívne svetlo veľmi dobre.

2.5.2 FAREBNÉ VIDENIE

Farebný vnem je zložitý psychologický dej, ktorého základom je správna činnosť čapíkového aparátu sietnice človeka. Pritom farebné videnie je priamo podmienené prítomnosťou čapíkov v sietnici. (Zvieratá, ktoré v sietnici čapíky nemajú, sú neschopné rozoznávať farby, čiže sú farboslepé.) „Ako prebieha podráždenie farebnými lúčmi a aké sú procesy, ktorých výsledkom je farebný vnem, predbežne ešte nevieme. Na vysvetlenie videnia farieb je viac teórií a proti každej je dosť námietok [27].“

V rámci viditeľného svetla jednotlivé vlnové dĺžky vyvolávajú vnemy jednotlivých farieb. Najkvalitnejší farebný vnem sprostredkúva stredná časť sietnice pozostávajúca z čapíkov (oblasť žltej škvrny). Ubúdaním čapíkov v sietnici smerom od žltej škvrny súčasne klesá schopnosť rozoznávať farby: v prechodnom pásme v blízkosti žltej škvrny sietnica preto rozoznáva žltú a modrú farbu, okrajovejšie časti neobsahujúce čapíky rozoznávajú už len čierno-biely kontrast.

Svetlo určitej vlnovej dĺžky (napr. 660 nm) dopadajúce na sietnicu podmieni v určitých svetlocitlivých elementoch vznik a šírenie vzruchu, ktorý podráždi projekčné mozgové neuróny. Aktivitu týchto buniek potom interpretujeme ako vnem určitej farby (v našom prípade červenej). Približne rovnaké podráždenie všetkých typov čapíkov dáva vnem bielej farby.

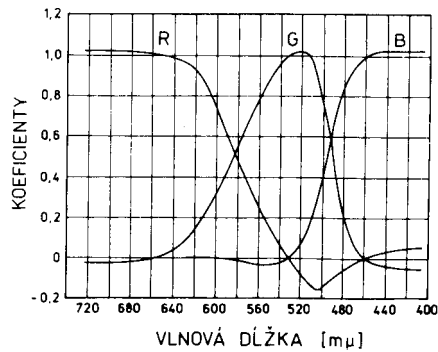
Poznáme veľa farebných odtieňov, ale špecifické pomenovanie dávame tým, ktoré reprezentujú určitý vnem. Napríklad vlnové dĺžky 723 až 647 nm označujeme ako červené, 585 až 575 nm ako žlté, 575 až 492 nm ako zelené, 455 až 424 nm ako modrofialové a 424 až 397 nm ako fialové [podľa 23]. Miesto prekrytia červenej a zelenej farby v nás vyvoláva vnem, ktorý nenazývame červeno-zelenou farbou, ale ktorý nazývame novou, v tomto prípade žltou farbou.

V sietnici človeka existujú tri druhy čapíkov, ktoré majú absorpčné maximá v krátkovlnnej (cca 440 nm), strednovlnnej (cca 540 nm) a dlhovlnnej (cca 570 nm) časti spektra [24]. Tento dnes už experimentálne dokázaný jav predpokladala pôvodná *trichromatická teória* farebného videnia, ktorá vychádzala z toho, že aditívnym miešaním troch základných farieb (červenej, zelenej a modrofialovej) možno vytvoriť ľubovoľný farebný odtieň*. Treba si ešte uvedomiť, že „také niečo, ako správne primárne farby na miešanie svetla neexistuje. Z praktického hľadiska môžu existovať tri farby, ktoré sú užitočnejšie, ako iné tri. Ľubovoľné tri rôzne farby (s výnimkou toho, keď jedna z nich sa dá vytvoriť zmiešaním ostatných dvoch farieb), sa vždy dajú zmiešať v správnom pomere a vznikne akákoľvek iná farba [7].“

***Poznámka:**

Základný výklad farebného videnia podali Joung a Helmholtz, pričom predpokladali tri druhy receptorov: na vnímanie predovšetkým červenej, zelenej a fialovej farby.

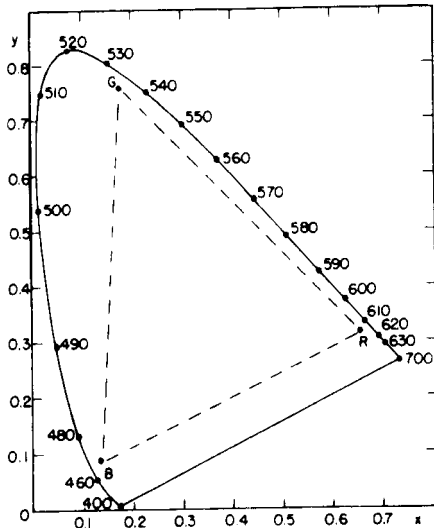
Roku 1967 dostali Granit, Hartline a Wald Nobelovu cenu za svoje elektrofyziologické a biochemické výskumy, pričom dokázali tri druhy fotoreceptorov citlivých na tri základné farby, čo zodpovedá trichromatickej teórii videnia. Ich zistenia zodpovedajú vysvetleniu farebného videnia podľa Youngovej-Helmholtzovej teórie [25].



Obr. 2.8. Farebné koeficienty pre čisté spektrálne farby vyjadrené pomocou primárnych farieb: (R - červená, G - zelená, B - modrá) [7]

Normálne oko je trichromatické, rozlišuje tri základné farby. Všetky ostatné farby môžeme vnímať na základe integračnej činnosti sietnice a mozgovej kôry miešaním svetelných lúčov rôznej vlnovej dĺžky. Takémuto miešaniu farieb na sietnici alebo až v mozgovej kôre hovoríme *aditívne* alebo *subjektívne miešanie farieb*. V maliarstve poznáme aj *subtraktívne miešanie farieb*, pri ktorom ide o miešanie farieb nie na sietnici, ale na palette a výsledná farba závisí od zvyšku svetla po jeho absorpcii pigmentmi, preto nie je totožná s farbou získanou aditívnym miešaním monochromatických svetelných lúčov. Ďalšie využitie našlo subtraktívne miešanie vo fotografii pri farebných filtroch. Napríklad žltý lak alebo filter absorbuje podiel modrej farby v bielom svetle, takže zostáva komplementárna farba žltá. Pokiaľ sa primieša k žltej farbe laku červená, absorbuje sa i zelená a vznikne oranžová.

Aditívne miešanie farieb sa vysvetľuje tým, že každá vlnová dĺžka dráždi v podstate všetky farbocitlivé elementy, ale tieto nie sú na každú farbu rovnako citlivé, a preto nie sú dráždené rovnako intenzívne. Keď na ne zasvieti svetlo, nastane v tkanivách rôzna absorpcia a informácia o tom sa v oku alebo mozgu, prípadne niekde inde, spracúva na výsledný farebný vnem. „Napríklad vlnová dĺžka 610 nm dráždi „červené“ čapíky stimulačnou hodnotou 0,75, „zelené“ čapíky stimulačnou hodnotou 0,13 a „modré“ čapíky stimulačnou hodnotou 0. Tento vzťah môžeme vyjadriť rovnicou $\check{c}:z:m = 0,75:0,13:0$ a nervový systém ho interpretuje ako červenú farbu [23].“



Obr. 2.9. Štandardný diagram chromatickosti [7]

Z tzv. *Helmholtzovho trojuholníka* (obr. 2.9), vidíme, že farbu určitej vlnovej dĺžky môžeme získať aj miešaním 2 až 3 i viacerých farieb určitých vlnových dĺžok. Ak za primárne farby použijeme modrú, zelenú a červenú, tak na obrázku vidíme, že čiarkovaný trojuholník obsahuje takmer všetky farby, ktoré môžeme vidieť, pretože všetky možné viditeľné farby sú ohraničené zakrivenou čiarou. Keď zmiešame dve doplnkové farby, ležiace na stranách trojuholníka, dostaneme vnem bielej farby, podobne ako pri zmiešaní všetkých spektrálnych farieb.

Za súmraku, resp. pri veľmi slabej intenzite svetla, sú farby nerozlišiteľné, dokonca v centre zorného poľa sa objaví tzv. *relatívny skotóm* (predmety, na ktoré sa pozeráme priamo vidíme veľmi zle alebo nevidíme vôbec, kým susedné predmety vidíme aj keď len v obrysoch). Keď sa oko adaptuje na tmu, posúva sa maximum svetlosti spektra smerom od dlhovlnného ku krátkovlnnému. Inými slovami, červená farba takmer nedráždi adaptovanú sietnicu, modrá časť spektra sa za týchto podmienok zdá ako svetločervená a najsvetlejšou sa javí zelená časť spektra (tá dráždi sietnicu viac ako za svetla). (Preto sa v šere zle zbierajú jahody a maliny.) Pritom sa maximálna spektrálna citlivosť posúva na dlhšie vlnové dĺžky (z 505 na 550 nm)* [25]. Za denného svetla sa červená časť spektra zdá svetlejšia; najjasnejšia sa zdá byť oblasť žltej farby.

*Poznámka:

Tento jav prvý opísal už r. 1825 Jan Evangelista Purkyně (Purkyňov jav). Purkyňov fenomén prakticky využívajú napr. röntgenológovia, keď si chcú zachovať adaptovaný stav očí. Ak pre nejakú príčinu musia zmeniť tmavú miestnosť za osvetlenú, nasadia si červené okuliare, ktoré uchránia sietnicu od adaptácie asi na 15 minút.

2.5.2.1 PORUCHY FAREBNÉHO VIDENIA

Nie každý vníma farby správne. Môže sa stať, že niektoré farby človek vidí nesprávne, alebo ich vôbec nevidí. Stav, kedy človek farby nevníma a svet vníma len v čierno-bielej škále označujeme ako *farbosleposť* alebo *daltonizmus**. Častejšie ako daltonizmus sa vyskytujú *poruchy farbecitu*, ktoré sú dedičné.

Podľa štatistík sa poruchy farbocitu vyskytujú asi u 9-10% mužov a u 1-2% žien v populácii. Pritom rozlišujeme neschopnosť rozoznať červenú farbu (*protanopia*), zelenú (*deutanopia* a modrofialovú (*tritanopia*). Keď je vnímanie oslabené, hovoríme o *protanomálii* (oslabené vnímanie červenej časti spektra), *deuteroanomálii* (zelenej časti spektra) a *tritanomálii* (modrej časti). Najčastejšie sa pritom vyskytujú poruchy farbocitu pri vnímaní v oblasti červenej a zelenej farby. Napríklad človek s protanomáliou použije pri miešaní žltej farby z červenej a zelenej viac červenej, s deuteroanomáliou viac zelenej. Protanop nadto označuje všetky farby s vlnovou dĺžkou väčšou ako 520 nm ako žlté [22]. Vrodené poruchy farbocitu nie je možné odstrániť. Je to vlastne nedostatok, a nie choroba.

***Poznámka:**

Daltonizmus = stav popísaný anglickým fyziológom Daltonom.

2.5.3 DENNÉ A NOČNÉ VIDENIE

Denné (*fotopické*) videnie je výsledkom činnosti čapíkov, pričom je potrebné, aby osvetlenie bolo viac ako 30 luxov. Ak je osvetlenie intenzívnejšie, zrenica sa zúži, zmenší sa sférická aberácia rohovky a šošovky, a tým sa zvýši rozlišovacia schopnosť oka. Pri hodnotách osvetlenia v rozmedzí 25-0,3 lx sa zapoja do činnosti ešte aj čapíky, ale už aj tyčinky. Ide o prechodné, tzv. *mezopické videnie*. Pri osvetlení pod 0,3 lx až do 0,1 lx pracujú takmer výlučne tyčinky. Toto videnie označujeme ako *súmravné (skotopické) videnie*. Pod hodnotou 0,1 lx ide už výlučne o prácu tyčínok - tzv. *nočné videnie*.

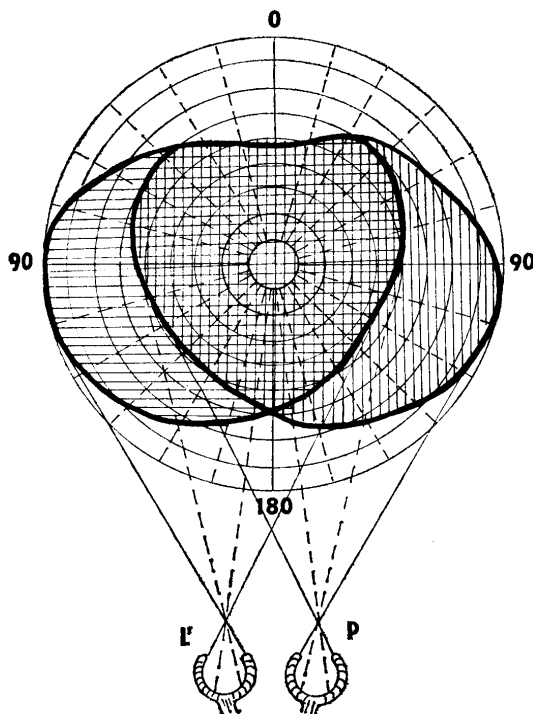
Súmravné videnie v porovnaní s denným má značné nedostatky: nie je možné rozoznávať farby a niektoré farebné tóny sa zdajú tmavšie. Jas dvoch farebných papierov (povedzme červeného a modrého, pričom červená farba môže byť na dennom svetle jasnejšia ako modrá) sa bude v prítomí javiť úplne naopak. Ak si v tmavej miestnosti pozrieme farebný časopis, môžeme posúdiť, ktoré plochy sú svetlejšie a ktoré tmavšie. Keď ho vynesieme na svetlo, budeme prekvapení, ako zaujímavo sa zmení jas farebných častí obrázkov. Kým za svetla dráždi sietnicu najvýraznejšie žlté a červené svetlo, za šera je to modré a zelené.

Súmravné videnie má „periférny charakter“, keďže oblasť žltej škvrny je prakticky vyradená. Takýto stav sa označuje ako *nočná slepota*. Prejavuje sa nemožnosťou rozlíšiť detaily predmetov. V dôsledku týchto nedostatkov vznikajú mnohé omyly pri pobyte v prírode za tmy (napr. pri slabom mesačnom osvetlení sa nám javia kríky a stromy ako zvieratá; tu spadá aj základ porekadla „Potme je každá krava čierna“).

2.5.4.1 ZORNÉ POLIA

Zorné pole je priestor, ktorý vidíme pri pohľade fixovanom na jeden bod. Predstavuje súhrn všetkých bodov zobrazených na sietnici prostredníctvom priameho a nepriameho videnia. Predmety sa v zornom poli za normálnych podmienok premietajú na sietnicu opačne, t.j. z horných častí zorného poľa na dolné časti sietnice a obrátene.

Monokulárne zorné pole predstavuje plochu, ktorú vnímame jedným okom pri uprenom pohľade do diaľky bez pohybu oka a hlavy. Za fyziologických okolností je determinované rozlohou svetlocitlivých elementov na sietnici, polomerom zakrivenia deliacich plôch rohovky a šošovky, konfiguráciou tváre (nos, obočie). Najširšie je smerom von - až 104° (*temporálny smer*), smerom k nosu je to 60° (*nazálny smer*); smerom hore do 60° a smerom dole 70° .



Obr. 2.10. Zorné polia [25]

Binokulárne zorné pole obsahuje priestor v rozsahu až 120° . Zorné polia oboch očí sa čiastočne prekrývajú (čo je výhodné pre stereoskopické videnie), čiastočne ostávajú voľné ako tzv. *temporálne mesačiky*, v rámci ktorých sa uplatňuje monokulárne videnie. Keďže zorné polia oboch očí sa čiastočne prekrývajú, slepú škvrnu možno dokázať len pri izolovanom vyšetrení jedného oka. Videnie do diaľky a do blízka i priestorové videnie sú predovšetkým výsledkom spolupráce oboch očí, a preto sú obmedzené na binokulárne zorné pole.

Zúženie zorného poľa, resp. výpadky v zornom poli (*skotómy*) môžu znamenať poškodenie zrakového analyzátora na rôznych úrovniach: 1) v sietnici,

2) v priebehu zrakovej dráhy,

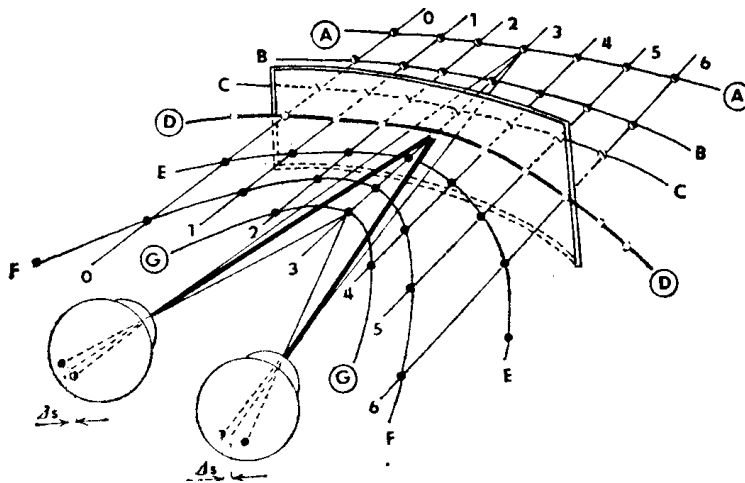
3) v podkôrových alebo kôrových častiach zrakového analyzátora [23].

Výpadok v normálnom zornom poli predstavuje slepá škvrna, ktorá odpovedá neprítomnosti sietnice v mieste vstupu zrakového nervu. Zorné pole pre farebné predmety je menšie ako pre čiernebiele predmety.

2.5.4.2 BINOKULÁRNE A STEREOSKOPICKÉ VIDENIE

Dej, pri ktorom nastáva syntéza obrazov získaných kôrovou časťou zrakového analyzátora, je základom *priestorového, hĺbkového videnia*. Medzi jednoduchým binokulárnym videním a dokonalejším stereoskopickým (priestorovým, plastickým) je malý kvalitatívny rozdiel. Správnym priestorovým videním zisťujeme nielen tvar, veľkosť a farbu, ale aj pohyb a vzdialenosť od nás, čo je bližšie a čo ďalej.

Pri fixácii pohľadu na určitý predmet v priestore nastáva konvergencia očných osí k danému predmetu. Obraz predmetu sa vytvára na žltých škvrnách obidvoch sietníc, teda na identických miestach. Súčasne sa však na sietnicu premietajú aj obrazy predmetov, ktoré sú ďalej, ale aj bližšie ako fixovaný predmet; nezobrazia sa však na miesto najostrejšieho videnia. Obrazy týchto predmetov budú preto na sietniciach menej ostré a primerane k ich vzťahu voči fixovanému predmetu bude aj ich obraz rôzne vzdialený od miesta najostrejšieho videnia. Takto vlastne vzniká obraz a to na sietnici každého oka rovnako.



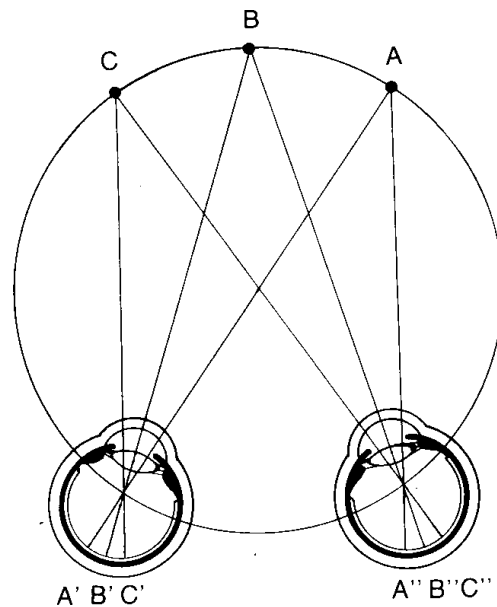
Obr. 2.11. Vznik priestorového videnia

Bod nachádzajúci sa v mieste fixácie pohľadu oboch očí (D-3) a všetky ostatné body nachádzajúce sa v tejto rovine (v tzv. rovine horopteru), premietajú sa na identické miesta obidvoch sietníc. Všetky ostatné body nachádzajúce sa pred alebo za rovinou horopteru sa dostanú na tzv. disparátne miesta sietníc. Bod A-3 sa teda premieta vo vzťahu k bodu D-3 na obidve sietnice smerom dovnútra (smerom k nosu), kým bod G-3, ktorý je bližšie k oku, opačne. Tento malý posun je základom hĺbkového videnia. Sietnica v oblasti žltej škvrny rozlišuje už vzdialenosti niekoľko tisícín mm, a tým aj hĺbku, resp. dimenzie [25].

Keďže oči sú od seba vzdialené priemerne 58-63 mm, obrazy predmetov na sietniciach nebudú ideálne totožné. Medzi obrazmi bude minimálny posun, čiže každé oko bude vidieť predmety v okolí fixovaného predmetu v inom, minimálne odlišnom uhle. Práve tento minimálny rozdiel dvoch obrazov toho istého predmetu pri superpozícii v mozgovej kôre dáva vnem „tretieho rozmeru“ - *priestorové (stereoskopické) videnie*.

Aby sa mohol obraz z oboch očí v mozgovej kôre spojiť do jedného a dať podklad pre trojrozmerné priestorové videnie, musia byť obrazy rovnako veľké a rovnako ostré. Ak sa do mozgovej kôry nedostanú dva rovnocenné obrazy, ale rozdielne, vzniká *dvojité videnie*. Takýto stav je na začiatku života človeka. V priebehu vývoja, zhruba v priebehu prvého polroka života, sa však okohybné svaly postupne zdokonalia a „naučia sa“ pracovať tak, aby sa táto nesmierne dôležitá funkcia očí - *priestorové videnie* - zaistila „automatickou“ činnosťou svalového aparátu. Kým sa dieťa nenaučí používať obidve oči súčasne, vidí svet vlastne dvojrozmerné a dvojmo.

Stereoskopické videnie teda premieňa dvojrozmerné zorné pole na trojrozmerný *zrakový priestor*. Avšak aj jedným okom môžeme vnímať hĺbky, odhadovať vzdialenosti a pod. Pomáha nám pritom *perspektívne skreslenie*, zdanlivá veľkosť známych predmetov, prekrývanie vzdialenejších predmetov bližšími, usporiadanie predmetov v zornom poli (bližšie veci sú väčšinou dole, kým vzdialenejšie hore pri pohľade na hornatú krajinu), akomodácia atď. Pomáhame si aj pohybmi hlavy, čím sa mení uhol, pod ktorým vidíme vzájomné usporiadanie predmetov v priestore. Pri pozeraní sa obidvoma očami na určitý bod v priestore sú všetky body ležiace na rovnakej úrovni ostro zobrazené na korešpondujúcich miestach sietníc. Súbor všetkých týchto bodov nazývame *horopterom*. Body ležiace vnútri horopterovej kružnice sa vnímajú ako bližšie, body mimo nej ako vzdialenejšie.



Obr. 2.12. Kružnica horopteru

Znázorňuje množinu bodov v priestore, ktorých obraz sa utvára na korešpondujúcich miestach sietníc [26].

Všetky body, ktoré ležia pred alebo za touto rovinou sa zobrazia menej ostro na nekorešpondujúcich miestach sietníc. Preto ich vidíme dvojmo. Toto fyziologické dvojité videnie, tzv. *diplopia* si v procese videnia neuvedomujeme, keďže nežiaduce obrazy sa v mozgovej kôre potláčajú. Dvojité videnie možno dokázať iba pre objekty umiestnené pred alebo za tzv. fixačným bodom vo vzdialenosti väčšej, ako je určitá kritická vzdialenosť. Ak je objekt umiestnený pred fixačným bodom,

môže vzniknúť *heteronymná diplópia*, ak je umiestnený za fixačným bodom, vzniká *homonymná diplópia*. Pri heteronymnej diplópii po zatvorení jedného oka (napr. ľavého) sa obraz zdvojeného predmetu posunie smerom preč od fixujúceho oka (pravého). Pri homonymnej diplópii po zatvorení jedného oka sa obraz zdvojeného predmetu posunie smerom k fixujúcemu oku.

Treba si ešte uvedomiť, že mierny stupeň disparity nespôsobuje diplopiu, ale naopak, je rozhodujúcim faktorom vzniku priestorového videnia.

Na realizácii binokulárneho videnia spolupôsobia tri funkčné zložky zrakového orgánu:

- a) *optická zložka* modeluje tok lúčov cez lomivé prostredie tak, aby na sietnicu dopadol ostrý obraz,
- b) *motorická zložka* otáča očné gule tak, aby obraz dopadol do optického centra sietnice oboch očí,
- c) *senzorická zložka* odvádza podráždenie zo sietnice jedného i druhého oka do kôrových centier, kde sa uskutočňuje ich splynutie (fúzia).

Binokulárne videnie sprostredkujú neuróny v zrakovej kôre, ktoré majú svoje receptorové polia v oboch sietniciach. Tieto polia sú rovnako orientované, majú rovnako rozložené excitačné a inhibičné oblasti. „Priestorové videnie sa pravdepodobne realizuje prostredníctvom neurónov, ktoré na monokulárne podnety nereagujú. Ich vzrušová aktivita je maximálna pri binokulárnej expozícii podnetov s určitou špecifickou mierou disparity [24].“

Priestorové videnie predpokladá nielen dobré binokulárne videnie, ale aj dobrú spoluprácu niektorých nekorešpondujúcich miest sietnice. Na stereoskopickom videní pracujú aj niektoré podvedomé nervové činnosti, napr. porovnávanie akomodačného úsilia pre blízke a vzdialené predmety. Z mimoočných faktorov pri tomto videní treba rátať s pamäťou, skúsenosťami a schopnosťou odhadovať vzdialenosť.

Celkove možno povedať, že hĺbková percepcia je zabezpečovaná:

- 1) binokulárnym videním,
- 2) vyššou nervovou činnosťou a to:
 - a) podľa relatívnej veľkosti objektov: pri väčšej vzdialenosti objektu je obraz na sietnici menší a naopak,
 - b) z pohybovej paralaxy: pri pohyboch hlavy z jednej strany na druhú obrazy blízkeho objektu sa pohybujú rýchlo, vzdialené obrazy ostávajú takmer stáť (napr. pri pohľade z idúceho vlaku).

Dôkazom skutočnosti, že človek vie iba oboma očami presne zistiť vzdialenosť predmetov je stav, keď sa jedno oko vyradí z činnosti. Vtedy, ak máme presne chytiť alebo trafiť malý predmet, túto zdanlivo ľahkú úlohu nespĺníme, predmety na stole presne nechytíme, netrafíme presne prstom na určitý bod.

***Poznámka:**

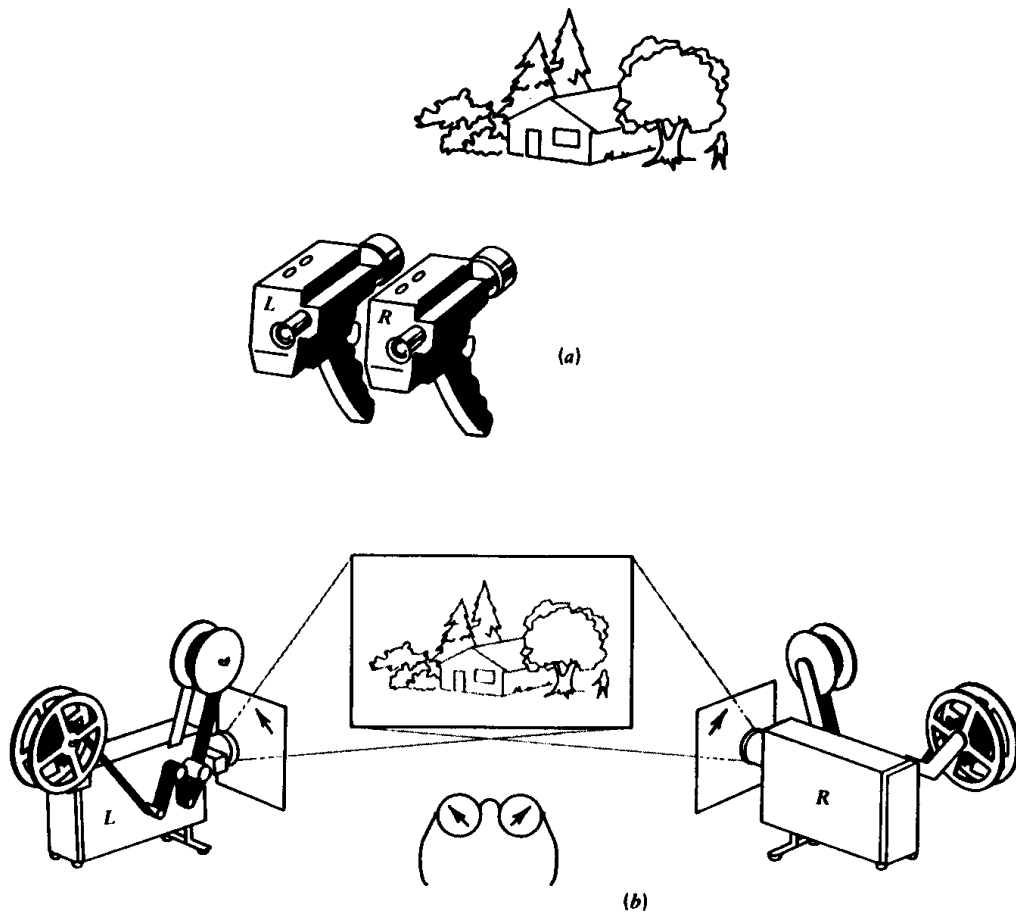
Odhadnúť hĺbku priestoru a tvar predmetov možno aj pri pozieraní jedným okom. Vzdialenosť predmetov sa potom určuje podľa veľkosti zorného uhla, sýtosti farieb, podľa princípov perspektívy, vlastných a vrhnutých tieňov pri jednostrannom osvetlení a pod. Všetky tieto princípy využívajú maliari pri priestorovom znázorňovaní predmetov na ploche obrazu (obr. 2.13).



Obr. 2.13. Princíp lineárnej perspektívy [11]

Obrázok ukazuje, ako sa líče vstupujúce do oka z rohov kocky premietajú na dvojrozmerný povrch.

V technickej praxi sa stereoskopia dosahuje vhodnou úpravou pozorovania dvoch obrazov získaných snímaním dvoma kamerami v určitom horizontálnom odstupe (obr. 2.14).



Obr. 2.14. Metóda na vytvorenie priestorového vnemu pri použití polarizovaného svetla:

a) nakrúcanie, b) premietanie a sledovanie filmu cez vhodné polarizované sklá [11]

2.5.4.3 VÝVOJ BINOKULÁRNEHO VIDENIA

V prvých týždňoch života má človek schopnosť vnímať očami len svetlo, chýba schopnosť fixovať. Očné gule sa pohybujú každá zvlášť, nekoordinovane. V 2.-3. mesiaci sa so vzrastajúcou zrakovou ostrosťou zjaví *fixačný reflex* a dieťa začína monokulárne fixovať svetlo, predmety a osoby. Vyším vývojovým stupňom je *monokulárne alternujúce videnie* (okolo 6. mesiaca života), keď sa dieťa pozerá striedavo pravým alebo ľavým okom. Obe oči ešte nie sú schopné pozerat' súčasne.

V druhom polroku života sa už začínajú normalizovať reflexy, akomodácia a pohyby zrenice. Prechod od monokulárneho videnia k binokulárnemu je postupný a pomalý. Vysvetľuje sa rozvojom a neustálym tvorením podmienených reflexov. Súčasne s rastom a skúsenosťami sa dieťaťu tvoria komplikovanejšie reflexy. Koncom prvého roka je stavba reflexov zhruba hotová, ale je vratná. V 3. roku života sú reflexy ešte labilné, v 5. roku sa rozpadávajú už nepatrne, v 7.-8. roku sú všetky reflexy binokulárneho videnia pevné a ťažko sa dajú odbúrať.

Vývoj *binokulárneho videnia* má tri stupne: a) súčasné alebo *simultánne* videnie

b) *fúzia*

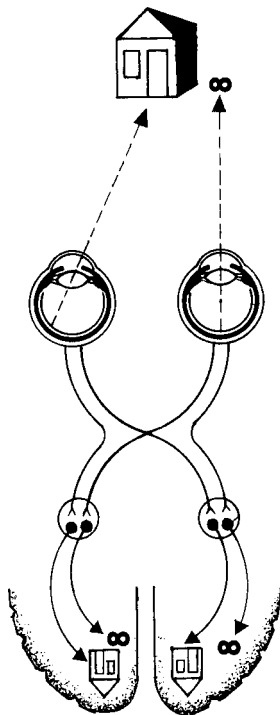
c) priestorové alebo *stereoskopické* videnie

a) Spočiatku sa pri dopade svetla na sietnicu obidvoch očí obrazy neprekrývajú dokonale, preto nesplynú; vzniká tzv. súčasné alebo *simultánne* videnie. Toto videnie môžeme charakterizovať tak, že kým sa nesústredí pozornosť na určitý predmet, človek sa pozerá „celkove“, obidve jeho oči vidia súčasne. Len čo sa však pozornosť sústreďí na určitý bod v priestore, obraz druhého oka, ktorý nie je identický, pôsobí veľmi rušivo a v mozgovej kôre sa vnímanie takýchto rušivých obrazov potlačí. V tomto prípade oko, ktoré nefixuje, akoby blúdilo, a preto u malých detí (asi do pol až trištvrté roka) môžeme pozorovať istý stupeň škúlenia. Potom sa dieťa pozerá raz jedným, inokedy druhým okom na fixovaný predmet.

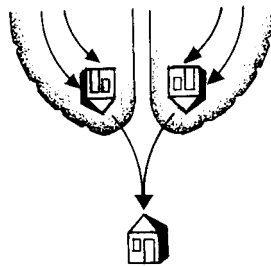
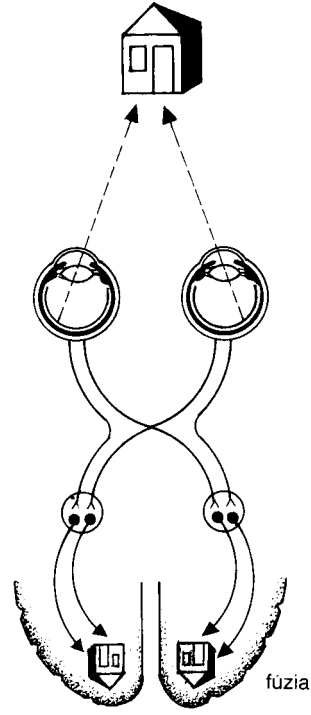
b) Dokonalejším stupňom je videnie, keď obrazy z korešpondujúcich miest obidvoch sietníc splynú v mozgovej kôre, t.j. keď sú utvorené reflexné fixovania toho istého predmetu obidvoma očami. Takýto stav sa nazýva *fúzia*.

c) Keď obrazy z obidvoch očí nielen splynú, ale utvorí sa aj priestorový vnem, vzniká najdokonalejšie, tzv. *stereoskopické videnie*. Stereoskopické alebo priestorové videnie (vnímanie „tretieho rozmeru“) vzniká splnutím obrazov utvorených na nepatrne odlišných bodoch sietníc oboch očí. Na základe toho však vzniká celkom symetrický trojrozmerný vnem, ktorý umožňuje lepšiu orientáciu v priestore a možnosť vidieť aj za prekážky nachádzajúce sa pred jedným okom. Pritom sa musia zlúčiť obrazy súhlasné z obidvoch žltých škvŕn, ale aj obrazy z minimálne nesúhlasných bodov z okolia obidvoch žltých škvŕn. Ak padnú obrazy na celkom rozdielne miesta sietníc, vzniká u dospelého človeka veľmi rušivé dvojité videnie, pôsobiace dezorientačne. Tento jav napr. vzniká, ak sa očná os vychýli jemným tlakom na očnú guľu. Osoba vidí dvojmo, pretože predmet sa zobrazí v každom oku na inom - *- disparátnom* - mieste.

I. videnie monokulárne



II. videnie binokulárne



III. videnie stereoskopické

Obr. 2.15. Vývoj binokulárneho videnia [26]

- I - monokulárne videnie: jedno oko fixuje predmet a druhé sa pozerá do nekonečna, preto sa v mozgu tvoria dva rozdielne, nezlučiteľné obrazy (tzv. dvojité videnie),*
- II - binokulárne videnie: obe oči fixujú ten istý predmet. V mozgovej kôre sa skladajú obrazy z korešpondujúcich bodov rovnakých polovic sietníc oboch očí (fúzia),*
- III - stereoskopické (priestorové) videnie: výsledok činnosti mozgovej kôry. Po fúzii obrazov, vytvorených v každej hemisfére, psychickou činnosťou vzniká výsledný trojrozmerný (stereoskopický) vnem o skutočnosti.*

2.5.5 VIDENIE POHYBU

Pri posunutí obrazu na sietnici z oblasti nepriameho videnia do oblasti priameho videnia vzniká vnem pohybu. Ak sa oko nepohybuje, pohyb sa vzťahuje na predmety pred okom. Keď sa pohybuje oko aj vtedy sa posunie obraz na sietnici, avšak v tomto prípade sú v pohybe všetky body, teda ich vzájomný vzťah sa nemení, preto vnímame predmety ako nehybné.

Na pohyb sú zvlášť citlivé okrajové časti sietnice. Keď sa na pokraji nášho zorného poľa pohne nejaký malý živočích, o ktorom nevieme, že je tam, okamžite ho zaregistrujeme. „Všetci sme stворení tak, že okamžite vnímame, keď sa niečo pohne na okraji nášho zorného poľa [7].“

Zrakové pocity nevznikajú hneď pri pôsobení podráždenia, ale až po istom čase *latencie*, ktorý trvá priemerne 0,1 sekundy. Aj vymiznutie pocitu svetla trvá dlhšie, teda nenastáva súčasne s pôsobením svetla. Toto predĺženie alebo *retardácia* sa nazýva *následný obraz* a trvá tak dlho, ako je potrebné na vymiznutie rozpadových produktov vzniknutých na sietnici pôsobením svetla v rámci fotochemickej reakcie. Existencia týchto následných obrazov nám umožňuje vidieť pohyb.

Jednotlivé svetelné záblesky dráždia zrakové receptory asi 0,03 až 0,1 s. Na základe pretrvávania obrazu na sietnici sa záblesky nasledujúce rýchlo za sebou spoja a dávajú kontinuálny vnem (efekt známy z televízie a filmu). Kritická frekvencia, pri ktorej blikanie splynie, kolíše s intenzitou svetla. Pri nízkej intenzite svetla splynutie nastáva napr. už pri frekvencii 5 až 6 zábleskov za sekundu, pri silnom osvetlení je kritická frekvencia splynutia okolo 60 zábleskov. Preto točivé stroje alebo točivé časti strojov nesmú mať frekvenciu 50 až 60 Hz. Čapíky, ktoré sú funkčné iba pri vyššej hladine osvetlenia, môžu zaznamenať oveľa rýchlejšie zmeny v osvetlení ako tyčinky, pretože vzrušenie čapíkov pretrváva oveľa kratšie (0,03 s) na rozdiel od tyčiniek (0,1 s).

Pri videní pohybu hrá dôležitú úlohu fyziologické chvenie očí - tzv. *fyziologický „mystagmus“*, ktorého amplitúda sa mení v rozsahu 1/2-1 priestorovej minúty. Pri chýbaní tohto jemného chvenia očí nastáva tzv. *fixačná slepota*, pri ktorej postihnutý vie rozlíšiť iba pohybujúce sa predmety. U žaby je napr. fixačná slepota fyziologická.

2.6 PODMIENKY A ZÁKONY ZRAKOVÉHO VNÍMANIA

Pocity a vnemy, predstavy a fantázia (obrazotvornosť) patria k poznávacím (kognitívnym) procesom, ktoré skúma psychológia.

Pocit vzniká v dôsledku pôsobenia fyzikálneho podnetu na zmyslový orgán (receptor), v ktorom nastane premena (transformácia) tohto fyzikálneho podnetu na fyziologický proces a vznikne vzruch. Ten sa potom po dostredivom nervovom vlákne dostáva do centra, kde vyvoláva pocit. Takže *pocity* a *pociťovanie* sú výsledkom činnosti analyzátorov. *Zrakový analyzátor* patrí medzi vonkajšie diaľkové analyzátory. Podnetom na zrakové pociťovanie sú elektromagnetické vlny v rozmedzí vlnových dĺžok od 390 nm do 760 nm [podľa 30]. Psychickým zážitkom pri zrakovom pociťovaní sú pocity farby.

Vnem spravidla vzniká súčinnosťou viacerých analyzátorov, a to spojením viacerých pocitov (napr. vnem „stôl“ vznikne syntézou jeho tvaru, veľkosti a pod.). Môžeme ho považovať za odpoveď mozgu na podnet. Ako každý poznávací proces aj *vnímanie* veľmi úzko závisí od niekoľkých faktorov:

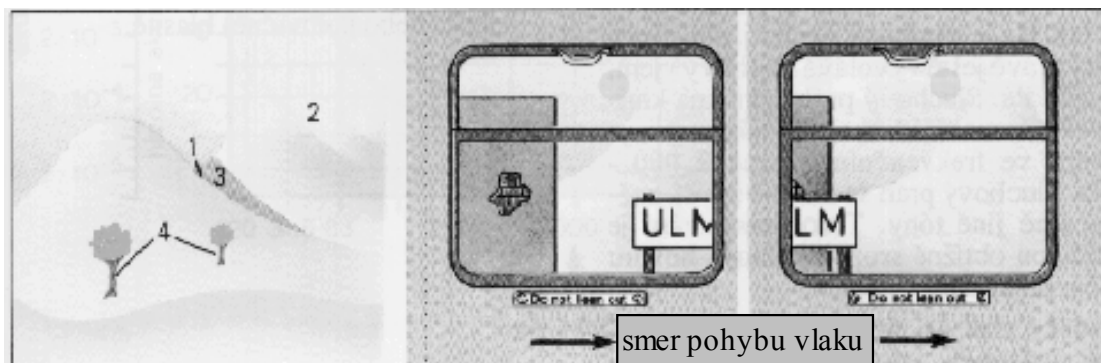
- 1) od našich poznatkov a doterajších životných skúseností. Čím väčšie skúsenosti a poznatky má človek o objektoch, ktoré vníma, tým presnejší a bohatší je obsah jeho vnemov. Minulá skúsenosť koriguje nesprávnosť vnemov.
- 2) od vrodenej vybavenosti organizmu (napr. zmyslových orgánov a pod.),
- 3) od aktivácie a motivácie organizmu (zvláštna pozornosť sa pritom venuje záujmom a postojom).

Vnímať priestor nám umožňuje predovšetkým binokulárne videnie. Okrem binokulárneho videnia pre vnímanie priestoru a vzdialenosti má dôležitú úlohu aj mnoho iných faktorov, ku ktorým patrí akomodácia a konvergencia očí, lineárna a vzdušná perspektíva, rozdelenie svetla a tieňov na povrchu predmetov.

Vnímanie vzdialenosti (hĺbky) sa vyvíja iba postupne so vzrastaním skúseností. Preto je vnímanie u detí oveľa nepresnejšie ako u starších ľudí. Pohyb môžeme vnímať iba vtedy, keď:

- a) predmet dosiahne určitú rýchlosť (nevnímame napríklad pohyb malej hodinovej ručičky);
- b) neprekročí istú rýchlosť (nevnímame napríklad pohyb strely z pušky).

Vnímanie hĺbky nám uľahčujú pohyby hlavy alebo celého tela: bližší predmet sa pritom pohybuje v zornom poli rýchlejšie než vzdialenejší (názov stanice v porovnaní so stenou na obr. 2.16).



Obr. 2.16. Pri pohľade na veľké vzdialenosti nám pri vnímaní napomáhajú tieto fenomény :

- 1) prekrývanie kontúr; 2) opar zahal'ujúci vzdialené predmety; 3) vrhnutý tieň obrysov; 4) rozdiely veľkosti [22].

Podobným príkladom pre vnímanie vzdialeností pri relatívnom pohybe je i to, že za jazdy vidíme stále mesiac na tom istom mieste, avšak kopce ubiehajú dozadu.

Vnímanie pohybu (premiestňovanie predmetov v priestore) závisí ako od priestorových, tak aj od časových činiteľov, od vzdialenosti predmetov, od rýchlosti, ktorou mení predmet svoje miesto a rovnako aj od zmeny miesta pozorovateľa samého. Pri vnímaní pohybu spolupôsobí viacero analyzátorov (zrakový, pohybový i sluchový). Najväčší význam však má zrakové vnímanie pohybujúceho sa predmetu.

Pocitovanie a vnímanie spolu veľmi úzko súvisia. Nemáme totiž možnosť vidieť len zelenú farbu, ale vždy je niečo zelené, a to už je vnem a vnem farby sa v rôznych situáciách mení. Otázka farby nie je iba otázkou fyziky svetla. Farby sú v podstate subjektívne pocitové fenomény, ktoré dostali špecifické pomenovanie. Objektívnym podnetom pre vyvolanie farebných pocitov je elektromagnetické vlnenie rôznych vlnových dĺžok v oblasti viditeľného spektra.

Globálny zrakový vnem, sprostredkovaný očami človeka, sa koriguje skúsenosťou získanou v prvých mesiacoch života. Preto napriek prevrátenému obrazu na sietnici je náš vnem okolitého sveta akoby „stojaceho na nohách“ správny.* Táto činnosť sa uskutočňuje napríklad vtedy, keď dieťa v kočíku alebo v postieľke chce dočiahnuť zavesenú hračku, ale nemôže. Začína liezť a neskôr aj chodiť týmto smerom. Až praxou (hmatom) sa presvedčí o skutočnom stave vecí; súčasne sa aj naučí fixovať predmety, ktoré chce dočiahnuť, obidvoma očami. Ak dieťa chce vidieť ostro rozličné predmety, musí vynaložiť vzhľadom na rôzne vzdialenosti predmetov aj rôzne veľkú námahu. Súčasne musia oči vynaložiť určitú prácu na zaostrenie šošovkou. Miera tejto svalovej námahy nás informuje o vzdialenosti predmetov od nás, od najbližšieho ostrého bodu až po najvzdialenejší ostrý bod zobrazený na sietnici.

***Poznámka:**

Ak u dospelého človeka pomocou špeciálnych tzv. prizmatických okuliarov umelo spôsobíme, aby sa obraz na sietnici utvoril „dolu nohami“, vznikne opačný vnem. Za normálnych okolností je obraz na úrovni sietnice prevrátený a v nervovom systéme sa potom znova obráti do skutočnej polohy na základe súčinnosti informácií z ostatných zmyslových orgánov. Prizmatické okuliare prevrátia obraz už na úrovni sietnice, takže do mozgu sa dostane prevrátený obraz. Človek má spočiatku po nasadení týchto okuliarov veľké ťažkosti, zle sa orientuje, má pocit, že všetko sa pohybuje opačne a rýchlejšie. Po niekoľkých dňoch sa postupne prispôbi, jeho mozog sa naučí nové informácie dávať do súladu s predošlými a aj do vzťahu s ostatnými zmyslovými informáciami, a tak sa dokáže pohybovať bez problémov.

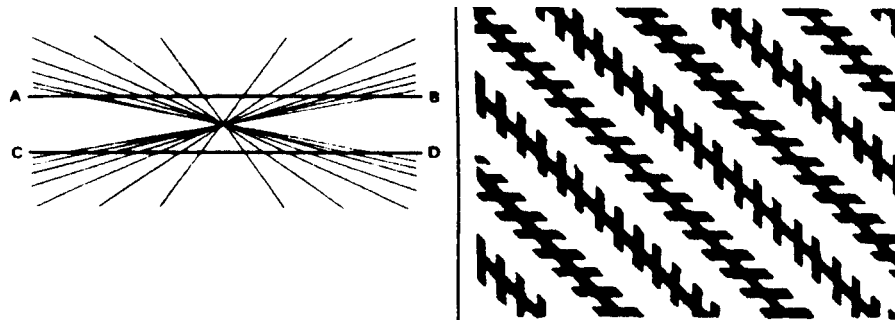
Žiakov možno oboznámiť s faktom, že za týmto účelom bol robený experiment, ktorý mal objasniť vnímanie obrazov okolitého sveta človekom. Pokusný človek mal nasadené tzv. prizmatické okuliare, ktoré mu na očnej sietnici dávali priamy, nie obrátený obraz okolitých predmetov. Približne tri dni bol pre tohto človeka okolitý svet obrátený. Orientoval sa v ňom veľmi zle, pretože všetko bolo neobvyklé. No po troch dňoch si privykol a začal vnímať okolité predmety v normálnej polohe, tak ako predtým bez okuliarov. Takto počas dvanástich dní, nezložiac okuliare, vnímal svet priamo, pri priamom zobrazovaní

na očnej sietnici. Keď po skončení pokusu zložil okuliare, opäť videl svet prevrátený, pretože jeho vnímanie bolo prispôbené priamemu zobrazovaniu na očnej sietnici. Trvalo mu asi tri dni, než sa jeho zrak ustálil a svet sa mu nezdal prevrátený, hoci na očnej sietnici sa vytváral obraz znova prevrátený [13].

2.6.1 ZRAKOVÉ KLAMY

Dôležitou zložkou fyzikálneho poznania je priame pozorovanie. Ak pozorovateľ nemá dostatok skúsenosti, je isté, že jeho pozorovania môžu mať skreslenú hodnotu. Preto je treba cvičiť sa umeniu pozerat' sa a kriticky hodnotiť to, čo vidíme. Po tejto stránke nie sú bez významu obrazce zrakových klamov. Zrakové klamy môžu viesť k nesprávnym záverom o kvantitatívnom pozorovaní.

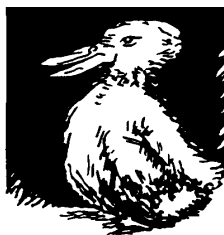
Pri mnohých klamoch má učiteľ možnosť vznik klamov presvedčivo demonštrovať. Napríklad klam o zdanlivej nerovnobežnosti čiar popreškrtných šikmými čiarami (obr. 2.17). Najprv premietne diapozitív rovnobežiek a cez neho diapozitív čiar. Podobným spôsobom môžeme demonštrovať vznik klamu na ďalších obrázkoch.



Obr. 2.17. Sú priamky AB a CD rovnobežné? [30]

„Demonštrácie týchto javov na školách majú aj výchovný význam, pretože vedú ku kritičnosti k záverom, ktoré by žiak činil iba na základe informácii, ktoré má od svojich zmyslov bez korekcie poznatkov merania. Ako všetky témy učiva, ktoré svojou povahou zasahujú z oblasti fyziky do iných odborov, tu napr. do biológie či psychológie, býva i táto téma opomínaná a macošsky odstrkovaná. Isto neprávom, lebo ktoré fyzikálne poznatky sú pre človeka bližšie ako sama fyzikálna stránka jeho fyziologických funkcií, jeho zmyslového vnímania? [15].“

2.6.1.1 PREDMET A POZADIE PRI VNÍMANÍ



Keď pozeráme na nejaký predmet, náš mozog sa snaží celkom prirodzene oddeliť tento predmet od toho, čo ho obklopuje. Takisto, keď pozeráme na šálku položenú na stole, ľahko rozlíšime tento predmet na pozadí, na ktorom sa vyníma.



A predsa. Niekedy nie je ľahké rozoznať pozadie a tvar. Pozrite sa na nasledujúce obrázky č. 2.18. Vidíte kačicu alebo kráľika? Dva profily tváre odrážajúce sa na bielom pozadí alebo skôr pohár na čiernom pozadí? Mladú alebo starú ženu? Divné videnie sveta, však? Čím viac sa na to pozeráme, tým menej to vieme.

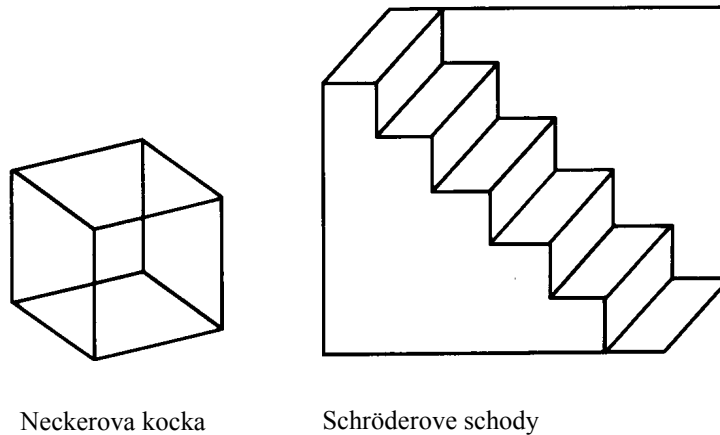


Náš zrakový orgán sa tiež sám snaží, bez toho, aby sme mu to výslovne nariadili, vytvárať zoskupenia medzi podobnými predmetmi.

Všetky tieto príklady umožňujú psychológom lepšie pochopiť, ako funguje vnímanie. Naše oči nám často podávajú skutočnosť rozličnými spôsobmi v závislosti od našej kultúry. Je to ďalší dôkaz toho, že človek pri pozeraní podvedome uvažuje, teda myslí.

*Obr. 2.18. Nejednoznačné
obrázky [30]*

2.6.1.2 GEOMETRICKO-OPTICKÉ (ZRAKOVÉ) KLAMY



Neckerova kocka

Schröderove schody

Obr. 2.19. Striedanie obrazu a pozadia

Kde sa nachádza schodište na obrázku? Na podlahe alebo na strope?

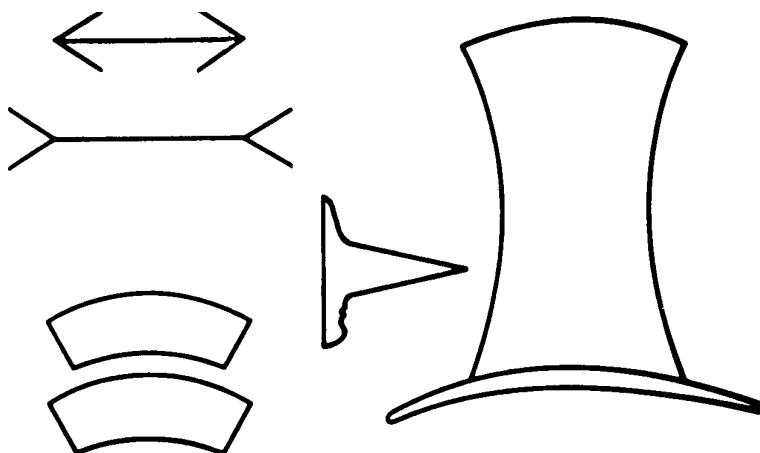
Vaše oči sa mýlia? Nie, na vine je náš mozog. Všetko, čo sme sa museli naučiť čítať, je dešifrované do znakov, ktoré voláme písmená. Teda v určitom momente sme boli nútení naučiť sa ich vidieť. Inak povedané, vedieť si vysvetliť svetelné lúče, ktoré zasahujú naše oči. Len čo sa náš mozog naučí „pravidlá“ pohľadu, napríklad pravidlo, že čím sú veci vzdialenejšie, tým sa zdajú menšie, aplikuje tie isté pravidlá na vysvetlenie všetkého na čo sa pozeráme.

Keď predmet naruší pravidlá alebo keď môže byť vysvetlený viacerými spôsobmi, náš mozog nám môže dať nepravdivú alebo zmätenú informáciu.

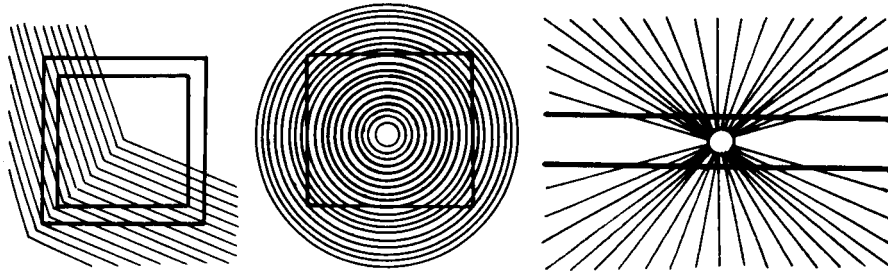
Ak sa budeme chvíľu pozeráť na schodište nakreslené na obrázku č. 2.19, bude sa nám zdať, že sa ide prevrátiť. Zadná stena sa stáva prednou a schodište akoby viselo na strope.

Tento jav sa vysvetľuje tak, že nákras obsahuje informácie, ktoré vnucujú dve vysvetlenia, ale mozgu sa nedarí vybrať to správne. Skáče z jedného vysvetlenia na druhé.

Existujú aj ďalšie experimenty z tejto oblasti. Možno si potom začnete myslieť, že vidíme viac svojím mozgom ako očami. A nakoniec budete mať pravdu!



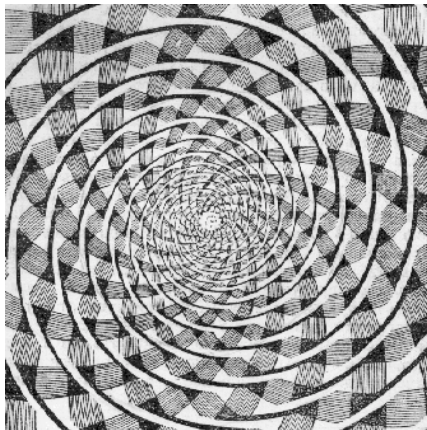
Obr. 2.20. Je tento klobúk vyšší ako širší? Bezpochyby, ale overte si to pravítkom, aby ste si boli tým istí.



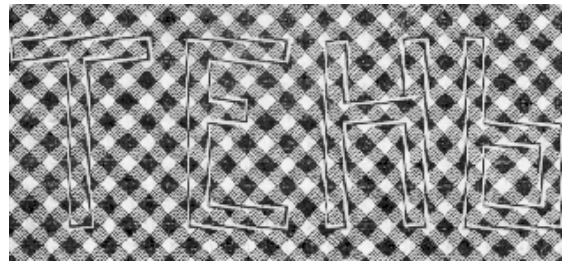
Obr. 2.21. Sú čiary na obrázkoch navzájom rovnobežné?



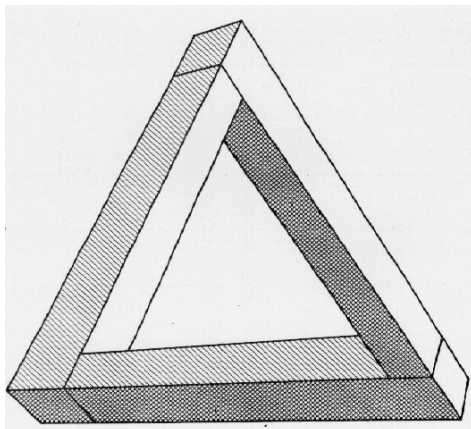
Obr. 2.22. Sú rovnaké krúžky uprostred? Ktorá z týchto rovnobežných čiar je dlhšia?
(Vyššie použité obrázky sú z [30].)



Obr. 2.24. Čo myslíte, je to špirála alebo sú to kružnice? [9]



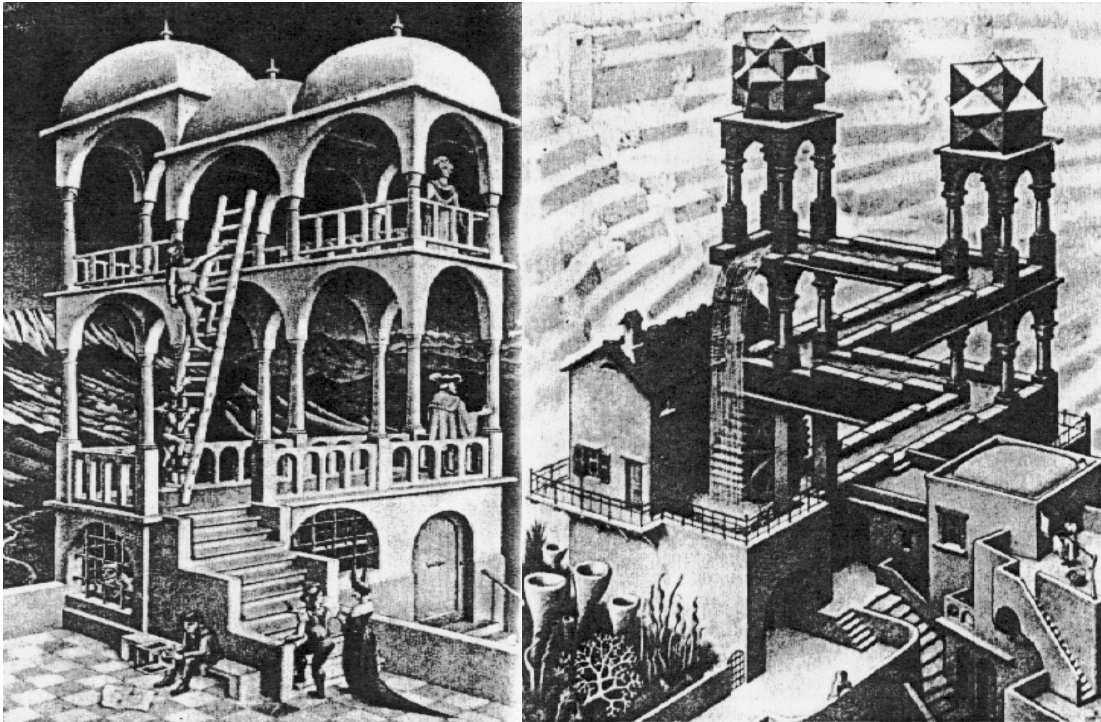
Obr. 2.23. Optické klam, ktoré sú výsledkom práce nášho mozgu. Mozog nemá postačujúce informácie alebo ho ruší informácia o pozadí [9].



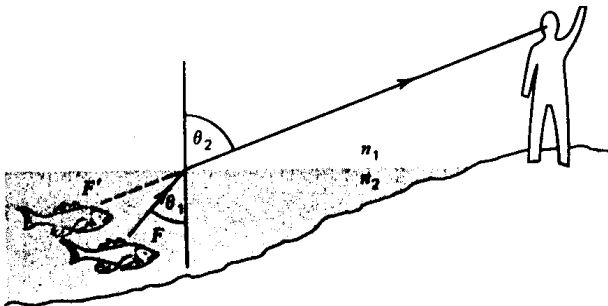
Obr. 2.25 b).



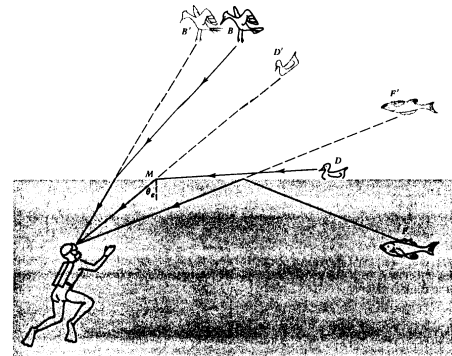
Obr. 2.25 a). Vychutnajte si ukážky niektorých ďalších optických klamov [10].



Obr. 2.26. Na prvý pohľad sa zdá, že obrázky sú v poriadku. Avšak skúsené oko pozorovateľa odhalí, že opak je pravdou. Umelec na obraze môže zmeniť perspektívu, na ktorú sme zvyknutí. Tieto hĺbkové paradoxy sú možné iba v umení, nie v skutočnosti [10].



Obr. 2.27 a). Klamlivý dojem. Rybu, ktorá je na pozícii F vidíme na pozícii F' [11].



Obr. 2.27 b). Zrkadlová ilúzia. Potápačovi sa za určitých podmienok javí vodná hladina ako zrkadlo.

Všimnime si nasledujúce obrázky (obr. 2.27 a), 2.27 b). Rybári vedia, že ryba sa nenachádza v skutočnosti tam, kde ju vidíme, ani nie je taká, akú ju vidíme. Napríklad pleskáč sa vo vode nejaví taký plošký, aký v skutočnosti je, a preto si ho často pomýlime s inou rybou. Aj potápač vidí svet pod vodou úplne inak, ako je v skutočnosti. Ak sa pozerá pod väčším uhlom, ako je medzný uhol, vodná hladina sa mu javí ako zrkadlo. Ako to vysvetlíme? O tom a o inom zaujímavom, čo v sebe ukrýva tajuplná príroda, sa dozvieme v nasledujúcej kapitole.