

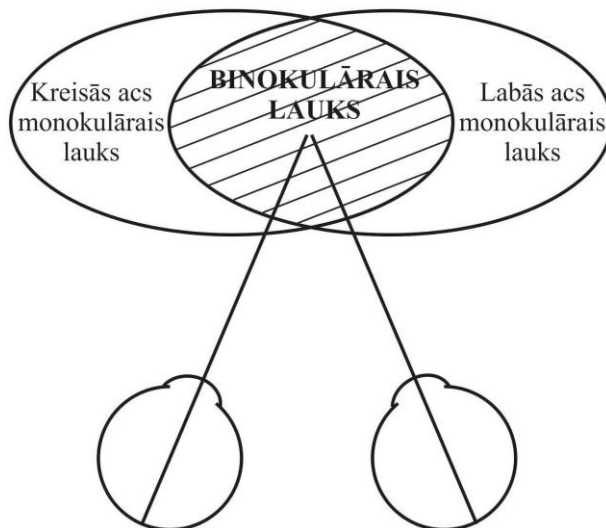
IEVADS

Mēs uztveram pasauli trīs dimensijās, neskatoties uz to, ka attēli, kas projicējas uz abām tīklenēm, ir divdimensionāli. Ir arī daudz monokulāru norāžu, kas dod nozīmīgu informāciju par reālā dziļuma uztveri, tomēr tieši stereoredze ir tā, kas padara dziļuma uztveri efektīvu. Stereoredzes pamatā ir binokulārā disparitāte, kas ir objekta attēla nobīde uz vienas acs tīklenes attiecībā pret attēlu uz otras acs tīklenes. Šī nobīde rodas tāpēc, ka abas acis ir laterāli atdalītas un redz pasauli no diviem nedaudz atšķirīgiem skata punktiem. Binokulārā disparitāte ir visa vajadzīgā informācija smadzenēm, lai noteiktu telpas dziļumu. Stereoredze ir smadzeņu spēja veikt šīs informācijas analīzi.

Stereoredzes mērījumi ir svarīgi dažādu binokulārās redzes anomāliju skrīningā un diagnostikā, tāpēc stereoredzes testi bieži tiek nozīmēti kā vieni no skrīninga procedūrām, lai noteiktu ambliopiju, anizotropiju vai anizeikoniju. Mūsdienās ir arvien vairāk profesiju, kur ir nepieciešama laba stereoredze. Kā arī ir parādījušās daudzas izklaides (3D kino un televizori), kurām ir nepieciešama laba stereoredze. Tādēļ sākumā vēlos dot ieskatu, kas ir stereoredze, kā tā veidojas, kādi faktori to ietekmē.

STEREOREDZES PAMATPRINCIPI

Cilvēkam ir divas acis un tās ir vērstas uz priekšu, līdz ar to daļa abu acu redzes *monokulārie lauki* savstarpēji pārklājas un veidojas *binokulārais lauks* (skat.1.zīm.), kas nodrošina binokulārās redzes veidošanos un ir priekšnosacījums stereoredzes radīšanai. Binokulārai redzei var izdalīt trīs hierarhiskos līmeņus: *bifoveālo fiksāciju*, *fūziju* (gan motoro, gan sensoro) un pašu augstāko līmeni – *stereoredzi*. Ja kāds no hierarhiskiem līmeņiem iztrūkst, tad attiecīgi augstākie līmeņi neeksistē. Lai binokulārā redze varētu pilnvērtīgi darboties un veidoties stereoredze, tad jāizpildās sekojošiem priekšnosacījumiem.



1.zīm. Binokulārā redzes lauka veidošanās.

1. Katrā acī jābūt veselai tīklenes centrālajai bedrītei un efektīvam fokusēšanās mehānismam, lai uz abu acu tīklenēm varētu izveidoties divi asi un aptuveni vienādi skaidri attēli. Pie tam redzes asumam centrālajā bedrītē jābūt augstākam nekā jebkurā citā tīklenes vietā, lai uz acs ārējiem muskuļiem varētu tikt nosūtīts pietiekami stiprs impulss, kas nodrošinātu abu acu pagriešanos pret fiksējamo objektu un tā attēlu veidošanos uz tīklenes centrālajām bedrītēm.
2. Jābūt normāli funkcionējošiem acs ārējiem muskuļiem, kas varētu nodrošināt tādu acu novietojumu, kāds katrā konkrētajā situācijā būtu nepieciešams. Pie tam, runājot par redzes asu novietojumiem, literatūrā tiek atzīmēta to precīza horizontāla, vertikāla un torzionāla savstarpējā orientācija.
3. Jābūt efektīvi strādājošam neirālajam mehānismam, kas uztvertu divus atsevišķos abu acu objekta attēlus un saplūdinātu tos vienā kopējā attēlā. Kad attēli būs saplūdināti, tad notiks tālāka informācijas apstrāde, kas veidos telpiskuma uztveri.

Vislabākais redzes asums un smadzeņu darbības spējas ir koncentrētas 1° - 2° lielā foveolas apgabalā. Parasti, cilvēkam skatoties tieši uz objektu, tiek uztverts dubultattēls, kurš smadzenēs tiek analizēts un integrēts. Ja cilvēkam ir pirmais līmenis jeb bifoveālā fiksācija, tad ar to tiek apmierināts binokulārās redzes zemākais līmenis. Šādos gadījumos nekonstatē patoloģiskas izmaiņas, proti, redzes binokulārie testi (*Schober, Worth, Maddox* un *Bagolini*) tiek atbildēti pareizi.

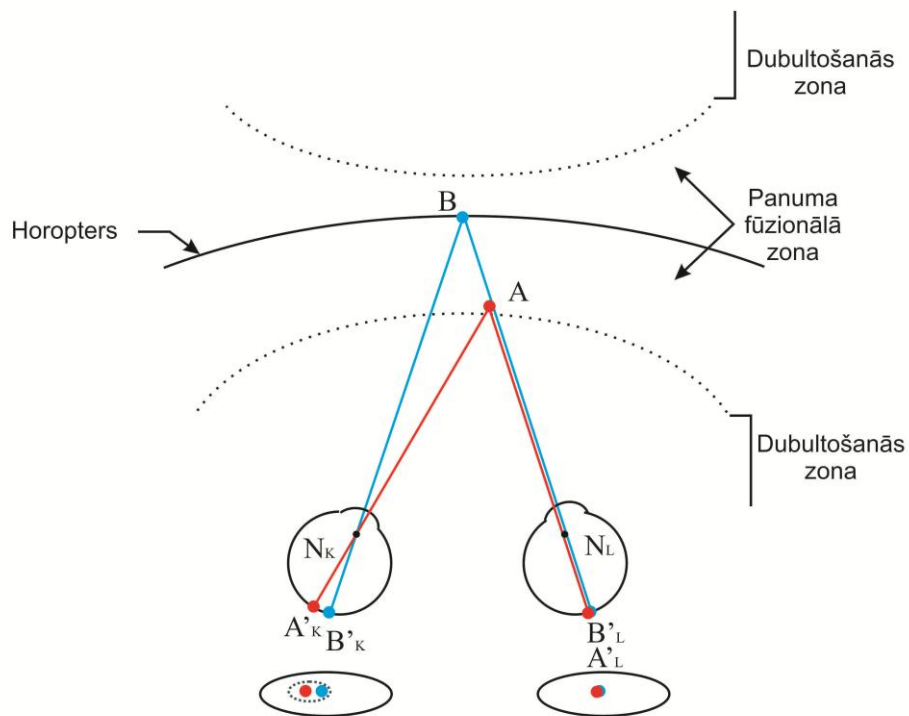
Otrs binokulārās redzes līmenis ir fūzijas jeb divu acs tīklenes attēlu pārveidošana par vienkāršu redzes fenomenu. Skatoties uz vienu mazu objektu telpā, katra acs saņem stimulus noteiktās tīklenes daļās. Objektam atrodoties uz labās acs redzes līnijas BB'_L (skat.2.zīm.) un pārvietojoties uz punktu A, tā attēls nemaina savu atrašanās vietu uz labās acs tīklenes ($A'_L=B'_L$), bet mainās kreisās acs tīklenes projekcija no B'_K uz A'_K . Līdz ar to tiek izjaukts līdzsvars un parādās dubultattēls, kuru kompensē sensorā fūzija. Laika gaitā cilvēks iemanās pieredzes ceļā vienkāršo objektu fiksēt un noteikt tā atrašanās vietu trīsdimensiju telpā. Eksistē īpašo punktu teorija, kura tiek saukta arī par *korespondento* jeb atbilstošo *punktu* teoriju. Fūziju darbība noris arī ārpus foveolas apgabala. Novērotājam fiksējot skatu uz mērķi, apkārt esošie redzes lauka objekti ar fūziju palīdzību tiek saplūdināti, lai gan to projekcija uz abu acu tīklenēm ir atšķirīga.

Fūzijas nav ierobežotas objektiem, ko fiksē ar foveolas apgabaliem. Fūzijas darbojas arī perifērijā, bet tur tām ir noteikts no objekta projekcijas uz tīkļu perifērajiem laukiem atkarīgs lielums. Līniju, kurā nenotiek objektu dubultošanās sauc par *empīrisku horopteru* (skat.2.zīm.). Jebkurš objekts, kurš skata fiksācijas laikā atrodas pirms vai aiz horoptera, projicējas uz tīklenes disparātiem punktiem. *Disparāto punktu* stimulācijas rezultātā redzes uztverē rodas dubultattēls – *diplopija*. Savukārt zonu, kurā atrodies objektiem notiek to attēlu saplūdināšana sauc par *Panuma zonu*. Visi telpas punkti, kas atrodas ārpus Panuma zonas, izraisa diplopiju jeb dubultošanos, t.i., šo punktu projekcijas uz abu acu tīklenēm netiek smadzenēs savietotas kopā un apvienotas vienā tēlā.

STEREOREDZES ĢEOMETRISKAIS MODELIS

Svarīgākais dziļuma uztveres mehānisms – *stereoredze* – ir atkarīgs no vienlaicīgas abu acu izmantošanas redzes uztveres procesā. Stereoredzes procesā smadzenes salīdzina vienas un tās pašas scēnas attēlus abu acu tīklenēs un ar lielu precizitāti nosaka telpisko dziļumu. Ja pieņem, ka novērotājs ar savu skatienu fiksē punktu B (skat.2.zīm.), tas nozīmē, ka abas acis ir pavērstas tā, lai attēli no punkta B nonāktu abu acu tīkļu korespondentos punktos (B'_L un B'_K). Ja telpā uzrodas vēl viens objekts – punkts A, tad novērotājam tas ir citā attālumā kā

punkts B. A'_L un A'_K ir punkta A projekcijas labās un kreisās acs tīklenēs. Skatu fiksējot punktā B, punkti B'_L un B'_K joprojām paliek par abu acu tīkļu korespondentiem punktiem. No ģeometriskiem apsvērumiem izriet, ka punkts A, kas atrodas tuvāk kā punkts B, veidos projekcijas uz abu acu tīkļu punktiem A'_L un A'_K – nekorespondējošos jeb disparātos tīklenes punktus. Disparātie punkti būs novietoti uz tīklenēm tālāk viens no otra kā korespondējošie. Ja sensorās un motorās fūzijas mehānisms spēj kompensēt radušos dubultošanos, tad cilvēkam izveidojas dziļuma sajūta, proti, punkts A tiks uztverts tuvāk esošs nekā punkts B.



2.zīm. Stereoredzes veidošanās ģeometriskais modelis. B un A ir fiksējamie objekti, N – acs nodālie punkti, B' un A' – objektu projekcija uz tīklenes. Ar raustīto ovālu atzīmēta tīklenes fūzionālā zona, kurā atrodas disparātie punkti un kur ir iespējama abu acu tīklenes attēlu saplūdināšana gan ar sensorās, gan ar motorās fūzijas palīdzību.

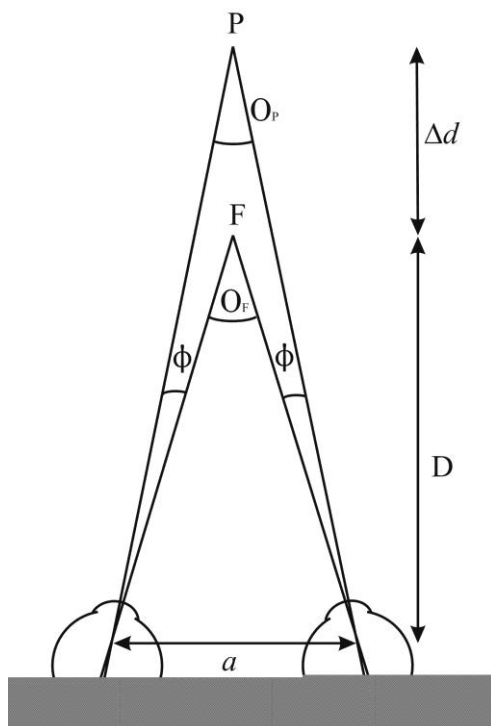
Visi punkti, kuri pēc cilvēka subjektīvās uztveres šķiet atrodami vienādā attālumā, atrodas uz noteiktas virsmas – empīriskā horoptera. Šī virsma atšķiras gan no plaknes, gan sfēras, tā ir atkarīga no konkrēta cilvēka telpiskā dziļuma analīzes spējas, t.i. no attiecīgā indivīda smadzeņu darbības īpatnībām. Foveolai ir augsta telpiskā izšķiršanas spēja, kā rezultātā pat maza novirze no horoptera līnijas centrālajā redzes laukā tiek noteikta, savukārt, pārvietojoties uz perifēriju, receptīvie lauki palielinās un telpiskā izšķirtspēja samazinās, kā rezultātā mazas objekta novirzes no empīriskā horoptera netiek uztvertas.

STEREOASUMS, STEREOSLIEKSNIS

Stereoredzes raksturlielums ir *stereoasums* (*binokulārās disparitātes lielums*), kas nosaka relatīvās stereoskopiskās paralaksis leņķi, kuru cilvēks vēl var saskatīt un atšķirt. Stereoskopiskās paralaksis lielums ir atkarīgs no cilvēka starpzīlīšu attāluma, no objekta lokalizācijas (skat.3.zīm).

Stereoredzes asumu visvienkāršākā gadījumā, kad objekts atrodas tieši pa vidu skata virzienam, var aprēķināt pēc formulas:

$$\operatorname{tg} \frac{O_F}{2} = \frac{a}{2D} \quad \text{un} \quad \operatorname{tg} \frac{O_P}{2} = \frac{a}{2(D + \Delta d)}. \quad [1]$$



3.zīm. Stereoasuma aprēķināšana starp diviem reāliem objektiem. P un F ir objektu novietojums telpā, D – attālums līdz F objektam, Δd – attālums starp F un P objektu, a – attālums starp acu nodāļiem punktiem vai starpzīlīšu attālums, O_P un O_F – leņķis, kas veidojas no objektiem starp abām acīm.

Maziem leņķiem (līdz 10 grādiem) tangenss no leņķa ir vienāds ar to pašu leņķi, kas izteikts radiānos. Tas nozīmē, ka

$$\text{stereoasums(rad)} = 2\varphi \approx \frac{a}{D} - \frac{a}{D + \Delta d} \quad \text{vai} \quad [2]$$

Parasti šādos gadījumos $D\Delta d$ ir mazs lielums salīdzinot ar D^2 un tad var pieņemt, ka

$$\text{stereoasums(rad)} \approx \frac{a\Delta d}{D^2}. \quad [3]$$

Šādi tiek aprēķināts stereoasums izteikts radiānos. Lai pārveidoto uz pieņemto stereoredzes pamatmērvienību (loka sekundes), lieto formulu:

$$\text{stereoasums(l.sek)} \approx \text{stereoasums(rad)} \times 206369 \quad [4]$$

Stereoredzes raksturlielums ir stereoasums, stereoleņķis vai stereoslieksnis, kuru mērvienība ir loka sekundes. Stereoasums 400 loka sekundes un vairāk ir novērojams perifērās binokularitātes gadījumā, 80-200 loka sekundes raksturo binokularitāti, kas veidojas makulas rajonā, stereoasums mazāks kā 60 loka sekundes ir iegūstams tikai ar foveolas binokularitāti (Simons 1993).

STEREOREDZES ATTĪSTĪBA

Klasiskais jautājums par binokulārās redzes attīstību paliek vēl joprojām nenoskaidrots: “Vai zīdaiņiem ir iespējama telpiskā uztvere un ja ir tad, kurš mehānisms kontrolē tā attīstību?” Kad bērns piedzimst, tam nav binokulārās redzes – tātad nav arī stereoredzes.

Vecums, kurā neironi primārajā redzes garozā kļūst jutīgi uz binokulārām disparitātēm, vēl joprojām ir neskaidrs.

Stereoredzi tāpat kā fūziju ir grūti izpētīt zīdaiņiem. 20.gadsimta 80.gados aizsākās zīdaiņu un mazu bērnu stereoredzes pētījumi ar atvieglotās skatīšanās metodi (*preferential looking method*). *Fox et al.* (1980), *Birch et al.* (1982, 1985) un *Ciner et al.* (1996) konstatējuši, ka 90% zīdaiņu vecumā no 2 līdz 6 mēnešiem jau ir rupjā stereoredze. Vislielāko pētījumu veica autori *Fox et al.* (1980), kuri pierādīja, ka 75% zīdaiņi (no divu līdz piecu mēnešu vecumam) redz 45 loka minūtes stereotestus. Vēlākos periodos stereoredze tikai nostiprinās un attīstās stereoasums, kur variācijas ir atkarīgas no katra indivīda turpmākās binokulārās redzes attīstības.

Stereoredze šajā gadījumā tiek definēta kā objektu relatīvā attāluma novērtēšana ar disparitātes palīdzību, vēlāk dziļuma uztvere veidojas subjektīvās pieredzes ceļā un attīstās smalkā stereoredze. Runājot par stereoasuma attīstības periodiem, tad šeit var izdalīt trīs daļas. Perifērā binokularitāte attīstās 3-4 mēnešu vecumā, tai seko ļoti ātra makulas binokularitātes attīstība un bifoveālā nostiprinās tikai 6-8 mēnešu vecumā.

Zīdaiņu dziļuma uztvere galvenokārt tiek pētīta izmantojot dažādas metodes, kas pēta zīdaiņiem raksturīgo uzvedības attīstību, objektu sasniedzamību un acu kustību novērošanu. *Gordon & Yonas* (1976) un *Yonas* (1987) eksperimentāli parāda, ka precīza rotaļlietas sasniedzamība ir novērojama tikai četrus mēnešus veciem zīdaiņiem. Viņi precīzi noteica binokularitātes konkurenci, divu attēlu saplūdināšanas nespēju un konfliktu starp akomodāciju un konvergenci, kuru rezultātā ir iespējama divu attēlu saplūdināšana tikai pie lielas disparitātes. Piecus līdz sešus mēnešus veci zīdaiņu spēj precīzi sasniegt telpā novietotus priekšmetus un šķietami veidotos attēlus virtuālajā pasaulē.

Vecumā no gada līdz trīs gadu vecumam binokulārai redzei ir visjutīgākais periods un dažādi faktori (šķielēšana, anizotropija) var ietekmēt stereoredzes turpmāko attīstību. Savukārt šis periods var atstāt neatgriezeniskas izmaiņas uz binokulārās redzes funkcijām, kas nosaka un kontrolē disparitātes uztveršanu. Visagrīnākajā postnatālajā periodā lielu daļu nosaka ģenētika uz redzes pieredzes veidošanās kvalitāti. Lielu lomu nosaka agri izveidojies kortikālais redzes ceļš, ko kodē ģenētika. Kopējais binokulārais redzes attīstības modelis parādās jau rudimentārā augļa formā un tiek variēta sensorās un motorās sistēmas ietekmē. Zīdaiņiem četru līdz sešu mēnešu vecumā izveidojas binokulārās redzes pamats, uz kura tālāk tiek veidota stereoredze un attīstās tā kvalitāte (*Simons* 1993).

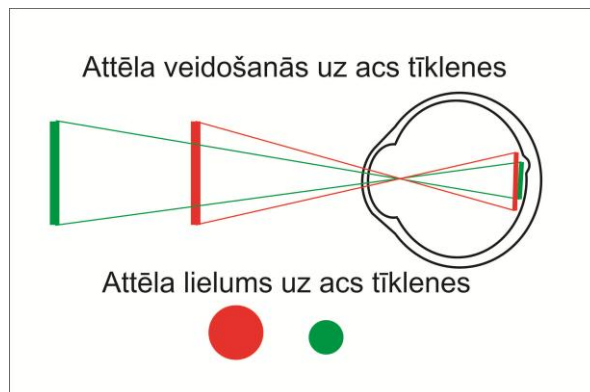
STEREOREDZES BINOKULĀRIE UN MONOKULĀRIE NOSACĪJUMI

Cilvēks izmanto vairākus mehānismus telpiskā dziļuma noteikšanai. Daļa no tiem ir binokulāri – abu acu sadarbības rezultāts (konverģence, diverģence un binokulārā disparitāte), daļa monokulāri – vienas acs uztverts telpiskums (perspektīva, daļēja objektu pārklāšanās, atmosfēras gaismas izkliede, fokusēšana, kustību paralakse u.c.).

Ja cilvēkam ir divas acis, tad šādā situācijā visbiežāk telpas uztveri veidos binokulārie telpiskās uztveres nosacījumi. Viens no tiem ir acu *verģences* (redzes asu savērsuma) pozīcija – konverģence un diverģence – un otrs nosacījums ir *binokulārā disparitāte*. Binokulārā disparitāte jeb binokulārā paralakse ir objekta pozīcijas, orientācijas vai stāvokļa atšķirības abu acu izveidotajos attēlos, kas veidojas no apkārtējās pasaules.

Taču telpiskā uztvere var veidoties skatoties uz pasauli ar vienu aci. Šos nosacījumus galvenokārt izmanto glezniecībā, datorgrafikā trīsdimensiju telpas radīšanai. Monokulārās redzes pielāgošanās telpai ir vairāki risinājumi. Tos tagad apskatīsim!

Relatīvais lielums. Tīklenes attēla izmērs mainās proporcionāli objekta leņķiskajam izmēram un apgriezti proporcionāli attālumam līdz objektam (skat.4.zīm.). Normālos apstākļos attēla lieluma samazināšanās netiek skaidrota kā objekta samazināšanās, bet gan kā konstanta lieluma objekta pārvietošanās prom no novērotāja.



4.zīm. Attēla izmaiņas uz acs tīklenes, ja objekts tiek pietuvināts acij.

Aizsegšana. Tuvākie objekti mūsu skatam aizsedz tālāk esošos objektus (skat.5.zīm.), līdz ar to mūsu pieredze pasaka priekšā, kuri objekti ir tuvāk mums un kuri ir tālāk no mums. Taču ar šīs īpašības palīdzību mēs nevaram novērtēt attālumu līdz objektiem. Tas tikai mums dod priekšstatu.



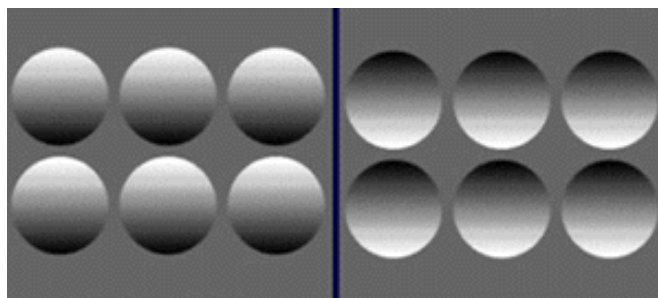
5.zīm. Tuvāk esošie objekti neļauj saskatīt tālāk esošā objekta detaļas, kuras ir aizklātas.

Atmosfēras perspektīva. Gaismas izkliede atmosfērā tālumā esošos objektus padara neskaidrākus un bieži iekrāso tos zilganos toņos (skat.6.zīm.). Tāpēc arī miglas laikā autobraucējiem jābrauc piesardzīgāk, jo migla rada nepareizu sajūtu, proti, objekti šķiet, ka atrodas tālāk nekā tie ir patiesībā.



6.zīm. Atmosfēras perspektīva.

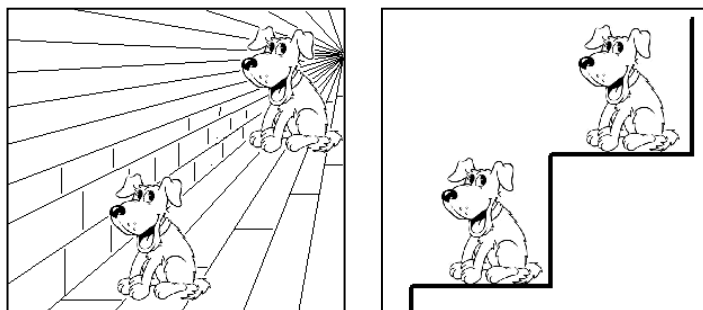
Gaisma un ēnas. Apgaismojuma virziens veido ēnas, kas izceļ virsmas tekstūru. Gaišākie objekti šķiet atrodamies tuvāk nekā tumšākie, un spilgtākās krāsas šķiet tuvāk nekā tumšās krāsas (skat. 7.zīm.).



7.zīm. Skatoties uz attēla kreiso pusi, rodas sajūta, ka veidojas izciļņi lapā, savukārt labajā pusē – veidojas iedobes. Tā ir mūsu pieredze, ko esam ieguvuši ikdienā skatoties sev apkārt un zinot, ka saule spīd no augšas. Tagad apgrieziet lapu pa 180 grādiem uz riņķi un apskatieties vai iedobes ir iedobes un izciļņi palika par izciļņiem?

Kustību paralakse. Tikko novērotājs pārvietojas, tuvāk esošie objekti pārvietojas ātrāk nekā tālāk esošie objekti un tuvākie šķiet pārvietojamies pretēji, bet tālāk esošie šķiet kustamies novērotāja virzienā. Pavērojiet šo parādību dzīvē, kad pārvietojaties ar sabiedrisko transportu vai brauciet ar automašīnu.

Perspektīva. Bieži tiek dēvēta par ģeometrisku perspektīvu, kura raksturo attiecību starp objekta priekšplānu un fonu. Attēlojot objektus telpas aizmugurējā plānā, tos attēlo mazākus (skat. 8.zīm.).



8.zīm. Lineārās perspektīvas dēļ mums rodas nepareizs priekšstats par reāliem objekta izmēriem. Kreisajā pusē augstāk esošais suns šķietami ir lielāks. Taču ja to nosēdina uz trepēm, tad situācija mainās un abi suņi ir vienāda lieluma.

STEREOREDZES NOVĒRTĒŠANAS METODES

Klīniskajiem testiem stereoredzes mērīšanai jābūt ātriem un viegli saprotamiem visu vecumu pacientiem. Testus var iedalīt:

1. reālās telpas stereoredzes testi, kur tiek izmantoti reāli telpiski instrumenti;
2. testi, kuros izmanto mākslīgus stereoattēlus vai haploskopiskus instrumentus.

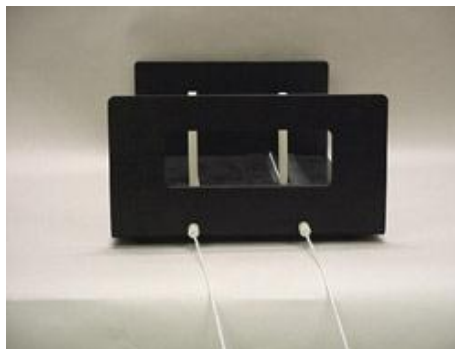
Reālās telpas stereoredzes testi

Satikšanās tests – vēl tiek saukts par divu zīmuļu testu. 50 cm attālumā plecu līmenī optometrists tur tievu, vertikālu objektu, piemēram, zīmuli, bet pacientam jāatvairina otrs tāds objekts, tā, lai tie saskartos ar smailēm (skat.9.zīm.). Ja kļūda nav lielāka par 0,3 mm, tas atbilst 15 loka sekundes lielai stereodisparitātei.



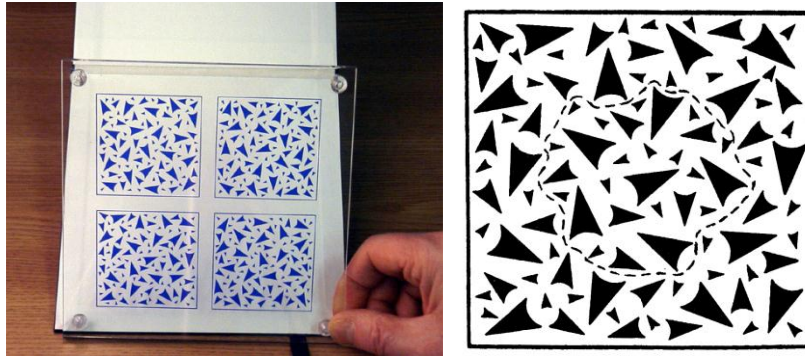
9.zīm. Bērniem testa veikšanai var izmantot lielākus testa objektus. Kā arī testa izpildi var salīdzināt, veicot testu ar abām acīm vaļā un pēc tam ar vienu aci ciet aizvērtu. Cilvēkam, kuram ir stereoredze, testu veikt ar vienu aci ir grūti, proti, viņš kļūdās, kamēr trāpa uz zīmuļa spici.

Hovarda – Dolmana testam ir daudz variantu. Tajā jānosaka divu vai vairāku stienīšu relatīvais novietojums – cilvēkam jāautā, kurš no tiem atrodas tuvāk vai tālāk kā pārējie (skat.10.zīm.). Stereoskopisko asumu aprēķina no iegūtās stienīšu longitudinālās nobīdes sliekšņa vērtības. Metode ir ļoti jūtīga, bet laikietilpīga.



10.zīm. Hovarda-Dolmana tests, kurā cilvēkam skatoties uz blakus novietotiem kociņiem, jāpasaka, kurš atrodas tuvāk.

Frisbija tuvuma stereotests sastāv no kvadrātveida, caurspīdīgu plākšņu komplekta, kurām vienā pusē ir uzzīmēti 4 aptuveni līdzīgi attēli. Vienam no attēliem centrālā daļa ir uzzīmēta plates otrā pusē kas rada attēla nobīdi dziļumā (skat.11.zīm.). Stereoredzes asums ir atkarīgs no plates biezuma un skatīšanās attāluma. Parasti tiek izmantotas 6, 3 un 1 mm biezas plates.



11.zīm. Frisbija testa plates paraugs. Zīmējuma labajā pusē ir ieskicēta zona, kuru cilvēks pamana uz priekšu izbīdītu no pārējām bultiņām.

Lietojot reālās telpas dziļuma testus, pacienta galvai jābūt nofiksētai, lai pacients nevarētu testu apskatīt no dažādiem horizontālajiem leņķiem, tādējādi uztverot telpisko dziļumu bez stereoredzes palīdzības. Priekšrocība ir tas, ka nav papildus acij priekšā jānovieto filtri, prizmas, lēcas u.c., kas varētu būt apgrūtināši strādājot ar maziem bērniem.

Mākslīgi veidotie stereoredzes testi

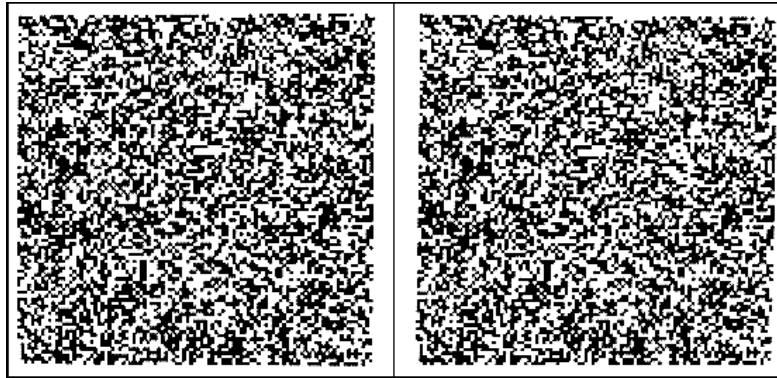
Mākslīgi veidotajos stereoredzes testos galvenokārt izmanto cilvēka fūziju mehānismu, kas saplūšina abu acu attēlus vienā stereoskopiskā attēlā. Dažāda attēlu horizontālā nobīde uz acs tīklenēm rada dažādu dziļuma sajūtu. Tagad apskatīsim visbiežāk izmantotos stereoeфекta veidošanas principus redzes pārbaudē.

Titmus tests – tas ir viens no visvairāk klīniski pielietotajiem stereoredzes testiem (skat.13.zīm.). Labās un kreisās acs attēli ir 45° un 135° polarizācijas leņķī, cilvēks lieto attiecīgi orientētus polarizācijas filtrus. Tests sastāv no trim dažādām attēlu zonām. Testa negatīvais moments ir tas, ka daļu stereoskopisko attēlu var atpazīt monokulāri, īpaši tos, kuriem ir lielāka attēla disparitāte. Veids kā pārbaudīt, vai pacients tiešām redz stereoskopiskas bildes, ir testa pagriešana pa 90° grādiem – stereoeфекts tādā stāvoklī nedarbojas. Savukārt pagriežot testu pa 180° , stereofigūras pārvietosies pretējā virzienā.



13.zīm. Titmus tests jeb speciālistu vidū to dēvē arī par „mušas” testu.

Izkliedēto punktu stereotesti – agrāk tika pieņemts, ka stereoskopiskā redze vienmēr funkcionē binokulāri salīdzinot objektu malas. *Bela Julesz* atklāja, ka līnijas vai malas nav nepieciešamas, lai radītu stereoredzes sajūtu. Viņš izveidoja testu, kurš sastāv tikai no izkliedētiem punktiem un kuram nav noteiktas kontūras jeb malas.



14.zīm. Izkliedēto punktu stereotesta paraugs. Ja mēģina šos divus lielos kvadrātus saplūdināt kopā ar acīm skatoties pirms vai aiz papīra plaknes, tad ieraudzīsiet vidū mazāku kvadrātu un it kā dziļāk esošu. Sākumā ir vajadzīgs mazs treniņš, kamēr tos spēj saplūdināt. Taču ikdienas speciālista praksē tiek izmantotas šķidro kristālu brilles, kuras atdala vienas acs attēlu no otras un attiecīgi uz datora ekrāna arī tiek mainīts viens kadrs vienai acij, otrs kadrs otrai acij.

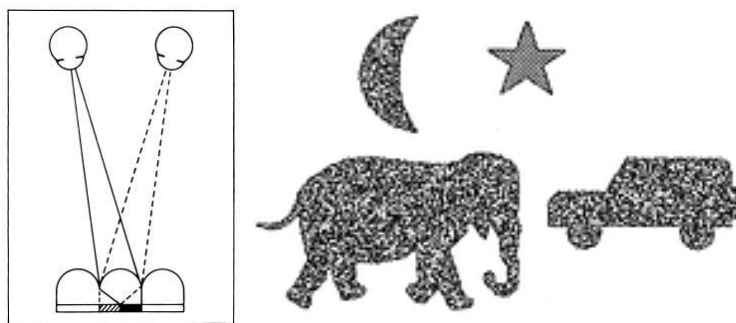
Punkti ir sakārtoti tā, ka katram punktam attēlā, ko rāda vienai acij, ir korespondējošs punkts otras acs attēlā. Atsevišķa punktu grupa ir nedaudz horizontāli nobīdīta un nobīdītie punkti tiek saplūdināti ar otras acs disparātiem punktiem – tikai tad mēs redzam telpisku attēlu. Izkliedēto punktu testiem ir tāda priekšrocība, ka tajos ir maz monokulāru norāžu, ko parasti rada citu testu attēlu kontūras, taču tie ievērojami atšķiras no dabiskiem redzes apstākļiem.

TNO tests – šis tests ir veidots kombinējot izkliedēto punktu testa un anaglifa tipa testa principus (skat.15.zīm.). Lai uztveru stereoattēlu jālieto sarkani-zaļās brilles. Bez tām nevar pat nojaust, kāds ir stereoattēls, jo nav monokulāru norāžu. Šis tests salīdzinājumā ar citiem parasti uzrāda sliktāku stereoredzes līmeni, jo gaismas intensitāte samazinās dēļ filtru gaismas caurlaidības.



15.zīm. TNO tests, kur jālieto sarkani-zaļos filtrus, lai ieraudzītu stereoattēlus.

Lange tests – testa virsma ir klāta ar vertikāliem, sīkiem cilindriem, caur kuriem katra acs redz savu attēlu (skat.16.zīm.). Uz šo cilindru apakšējās virsmas ir izvietoti izkliedētie punkti. Attēlu vietās punkti tiek izvietoti uz cilindru augšējās virsmas, tā panākot nobīdi starp punktiem. Šo testu parasti izmanto stereoredzes noteikšanai bērniem, jo šim testam nav nepieciešamas speciālas brilles. Testa trūkums – to nedaudz pakustinot var arī monokulāri nojaust attēlu atrašanās vietu.



16.zīm. Langes testa pamatprincips un tajā redzami attēli. Abas acis redz atšķirīgus attēlus tajās vietās, kur tiek mākslīgi izveidots telpiskais attēls. Šo parādību panāk ar speciāli izveidotiem blakus novietotiem maziem cilindriem.

Stereotestus redzes speciālists izmanto, lai novērtētu cilvēka redzes kvalitāti. Kā arī stereotestus ir ļoti ērti izmantot redzes skrīningos, kur ar pietiekami jutīgu metodi un bez lieliem laika ieguldījumiem, tiek izvērtēts redzes funkcijas augstākais līmenis. Ja redzes skrīningā stereotestus neredz, tad ir aizdomas uz traucētu abu acu kopredzes mehānismu, vai izmainītu redzes kvalitāti vienā acī. Izmantojot stereotestus skrīningos nevar uzstādīt diagnozi ne par kādu redzes funkciju konkrēti, bet ar to var atlasīt tos gadījumus, kad pirmskolas vecuma bērns būtu noteikti jāaizsūta uz padziļināto redzes pārbaudi.

Tai pat laikā mākslīgi radīto stereoredzi izmanto izklaides industrijā – 3D kino, 3D televīzija, „maģiskās acis”, realitātes spēles utt. Cik mēs esam gatavi to visu pieņemt un pierast pie tā, tas jau ir atsevišķs stāsts.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Anzai A., Ohzawa I., Freeman R.D. “Neural mechanisms for processing binocular information I. Simple cells.” *J Neurophysiol*, 82(2), pp.891-908 (1999a).
- Anzai A., Ohzawa I., Freeman R.D. “Neural mechanisms for processing binocular information II. Complex cells.” *J Neurophysiol*, 82(2), pp.909-924 (1999b).
- Anzai A., Ohzawa I., Freeman R.D. “Neural mechanisms underlying binocular fusion and stereopsis: position vs. phase.” *Proc Natl Acad Sci USA*, 94(10), pp.5438-5443 (1997).
- Becker S., Bowd C., Shorter S., King K., Patterson R. “Occlusion contributes to temporal processing differences between crossed and uncrossed stereopsis in random-dot displays.” *Vision Res*, 39(2), pp.331-339 (1999).
- Benjamin W.J. “Borish’s clinical refraction.” Elsevier, p.149, 155-157 (2006).
- Birch E.E., Gwiazda J., Held R. “Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants.” *Vision Res*, 22(5), pp.507-513 (1982).
- Birch E.E., Shimojo S., Held R. “Preferential-looking assessment of fusion and stereopsis in infants aged 1-6 months.” *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 26(3), pp.366-370 (1985).
- Blake R., Wilson H.R. “Neural models of stereoscopic vision.” *Trends Neurosci*, 14(10), pp.445-452 (1991).
- Ciner E.B., Schanel-Klitsch E., Herzberg C. “Stereoacuity development: 6 months to 5 years. A new tool for testing and screening.” *Optom Vis Sci*, 73(1), pp.43-48 (1996).
- Cumming B.G., De Angelis G.C. “The physiology of stereopsis.” *Annu Rev Neurosci*, 24, pp.203-238 (2001).
- Fleet D.J., Wagner H., Heeger D.J. “Neural encoding of binocular disparity: energy models, position shifts and phase shifts.” *Vision Res*, 36(12), pp.1839-1857 (1996).
- Fox R., Aslin R.N., Shea S.L., Dumais S.T. “Stereopsis in human infants.” *Science*, 207(4428), pp.323-324 (1980).

- Gonzalez F., Perez R. "Neural mechanisms underlying stereoscopic vision." *Progress in Neurobiology*, 55, pp.191-224 (1998).
- Gordon F.R., Yonas A. "Sensitivity to binocular depth information in infants." *J Exp Child Psychol*, 22(3), pp.413-422 (1976).
- Hubel D.H., Wiesel T.N. "Brain mechanisms of vision." *Sci Am*, 241(3), pp.150-162 (1979).
- Hubel D.H., Wiesel T.N. "Early exploration of the visual cortex. Review." *Neuron*, 20(3), pp.401-412 (1998).
- Julesz B. "Cooperative phenomena in binocular depth perception." *Am Sci*, 62(1), pp.32-43 (1974).
- Livingstone M.S., Hubel D.H. "Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth." *J Neurosci*, 7(11), pp.3416-3468 (1987).
- Marr D., Poggio T. "Cooperative computation of stereo disparity." *Science*, 194(4262), pp.283-287 (1976).
- Ohzawa I., DeAngelis G.C., Freeman R.D. "Encoding of binocular disparity by simple cells in the cat's visual cortex." *J Neurophysiol*, 75(5), pp.1779-1805 (1996).
- Ohzawa I., DeAngelis G.C., Freeman R.D. "The neural coding of stereoscopic depth." *Neuroreport*, 108(3), pp.3-12 (1997).
- Poggio G.F., Gonzalez F., Krause F. "Stereoscopic mechanisms in monkey visual cortex: binocular correlation and disparity selectivity." *J Neurosci*, 8(12), pp.4531-4550 (1988).
- Poggio G.F., Poggio T. "The analysis of stereopsis." *Annu Rev Neurosci*, 7, pp.379-412 (1984).
- Qian N. "Binocular disparity and the perception of depth." *Neuron*, 18, pp.359-369 (1997).
- Qian N., Zhu Y. "Physiological computation of binocular disparity." *Vision Res*, 37(13), pp.1811-1827 (1997).
- Richards W. "Anomalous stereoscopic depth perception." *J Opt Soc Am*, 61(3), pp.410-414 (1971).
- Richards W. "Stereopsis and stereoblindness." *Exp Brain Res*, 10(4), pp.380-388 (1970).
- Simons K. Ed. *Early Visual Development, Normal and Abnormal*. Oxford University Press, pp.197-284 (1993).
- Steinman S.B., Steinman B.A., Garzia R.P. "Foundation of binocular vision. A clinical perspective." McGraw-Hill Companies, Inc., pp.235-266 (2000).
- Tyler C.W. "A stereoscopic view of visual processing streams." *Vision Res*, 30(11), pp.1877-1895 (1990).
- Yonas A., Arterberry M.E., Granrud C.E. "Four-month-old infants' sensitivity to binocular and kinetic information for three-dimensional-object shape." *Child Dev*, 58(4), pp.910-917 (1987).