

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხათუნა ფარქოსაძე

პერცეპტუალური დასწავლა ადამიანის მხედველობის  
სისტემაში

*ბიოლოგიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი  
დისერტაცია*

ხელმძღვანელები: პროფ. რევაზ სოლომონია  
პროფ. არჩილ კეზელი

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი, სამაგისტრო და სადოქტორო  
პროგრამების ფაკულტეტი

ი. ბერიტაშვილის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტი, ქცევისა და კოგნიტიური  
ფუნქციების განყოფილება

თბილისი  
2010

# შესავალი

## თემის აქტუალობა

სენსორულ სისტემებს შორის დომინანტური ადგილი მხედველობის სისტემას უკავია. ინფორმაციის დაახლოებით 80% სწორედ მხედველობის საშუალებით შემოდის ჩვენს ტვინში (Глезер, 1985). მხედველობის სისტემის მნიშვნელობა იმაშიც გამოიხატება, რომ თავის ტვინის ქერქის ზედაპირის დაახლოებით 30% მხედველობითი ინფორმაციის მიღება-დამუშავებას ემსახურება (Chalupa & Werner, 2003). მხედველობის სისტემა წარმოადგენს თვითორგანიზებად, თვითდასწავლად სისტემას, რომელიც მუდმივად აწარმოებს პერცეპტუალური გამოცდილების დაგროვებას. მხედველობითი ინფორმაცია გროვდება მხედველობით გრძელვადიან მეხსიერებაში, იქმნება რეალური ობიექტებისადმი მეტ-ნაკლებად მიმსგავსებული სუბიექტური წარმოდგენები, რომლებიც გამოიყენება შემდგომი მოქმედებისა და აზროვნების საფუძვლად. გარემოდან მიღებული მხედველობითი ინფორმაციით იქმნება ადამიანების ცოდნისა და გამოცდილების დიდი ნაწილი. სწორედ ამიტომაც, რომ დღემდე ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანად ითვლება იმ მექანიზმების შესწავლა, რომლებიც საფუძვლად უდევს მხედველობითი აღქმის პროცესებს.

მხედველობის ძირითადი დანიშნულებაა ორგანიზმის უზრუნველყოფა იმ ინფორმაციით, რომელზე დაყრდნობითაც წარმოიქმნება პერცეპტუალური წარმოდგენა გარე სამყაროში არსებული ობიექტებისა და მოვლენების შესახებ. მხედველობა რთულად ორგანიზებული მრავალსაფეხურიანი პროცესია, რომელიც იწყება მხედველობითი სისტემის პერიფერიულ ნაწილში - თვალში სინათლის მოხვედრისთანავე და მთავრდება რთული პერცეპტუალური ხატების წარმოქმნით ქერქის უმაღლეს დონეებზე. ერთი შეხედვით მხედველობა თითქოს მარტივი პროცესია, ის არ მოითხოვს რაიმე მნიშვნელოვან ძალისხმევას. საკუთარი გამოცდილებიდანაც

ვიციტ, რომ ადამიანი თვალის უბრალო გადავლებით მყისიერად და ყოველგვარი ძალდატანების გარეშე აღიქვამს გარესამყაროს მთელი თავისი სილამაზითა და სიმდიდრით. როგორც წესი, ჩვენ ძალზე მარტივად და სწრაფად ამოვიცნობთ ხოლმე გარშემო მყოფ საგნებსა და მოვლენებს. გარემოდან შემოსული ინფორმაციიდან ტვინი საკმაოდ სწრაფად ახდენს პერცეპტუალური აზრის მქონე ხატის შექმნას, რაც საშუალებას გვაძლევს ადეკვატურად ვიმოქმედოთ გარემოში მიმდინარე მოვლენების საპასუხოდ.

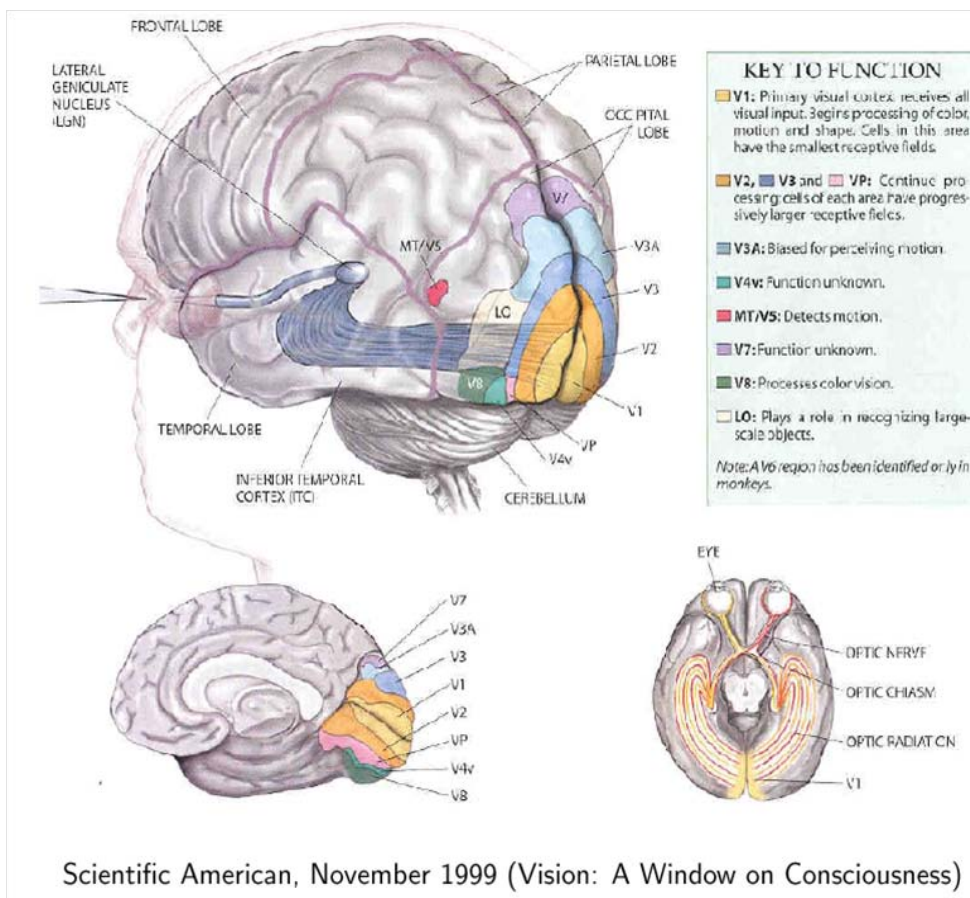
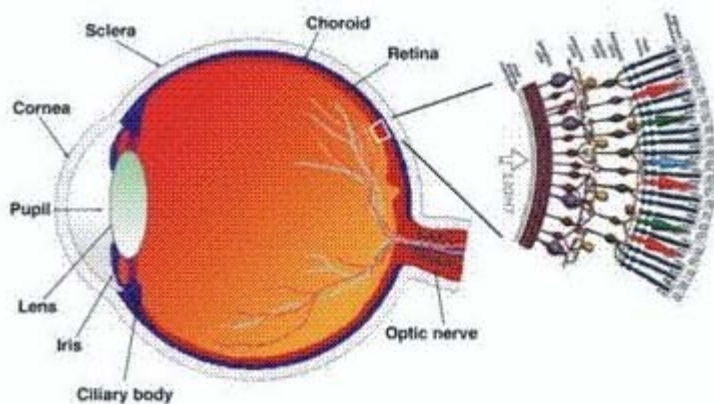
მხედველობის ველში არსებული ობიექტების გამოსახულება ბადურაზე გადაადგილდება თვალის, თავის ან მთლიანად სხეულის მოძრაობის გამო. შედეგად, წარმოქმნილი ბადურული გამოსახულება “იდლაზნება” და ბუნდოვანი ხდება. მაგალითად, თვალის სწრაფი, ბალისტიკური მოძრაობის - საკადების დროს ბადურაზე გამოსახულება გაცურდება ისეთი სიჩქარით, რომელზეც ბადურას არ შეუძლია დამაკამყოფილებლად დაამუშაოს დეტალები. ამიტომ ამ დროს წარმოქმნილი გამოსახულება გადლაზნილი უნდა იყოს (Grusser, 1972). ამგვარი ბადურული გამოსახულებები საშინელ დისკომფორტს გამოიწვევდა, მაგრამ, როგორც წესი, სისტემა რაღაცნაირად ასწორებს ამ “შეცდომას” და მხედველობითი აქტი ხარვეზების გარეშე ხორციელდება.

ბადურული გამოსახულება განუწყვეტილად იცვლება, თუმცა ჩვენ მაინც ვახერხებთ ამ ცვალებადი, ზოგჯერ კი არასრული ბადურული გამოსახულებიდან შევქმნათ სტაბილური პერცეპტუალური ხატი. ამიტომ, შეიძლება შეიქმნას შთაბეჭდილება, რომ “ხედვასთან” დაკავშირებული ოპერაციები საკმაოდ მარტივია, მაგრამ სინამდვილეში მხედველობა მეტად რთული პროცესია. იგი მოითხოვს მრავალრიცხოვანი ნეირონული ქსელებისა და სპეციალიზებული ბადურული რეცეპტორების შეთანხმებულ მუშაობას. იერარქიულად ორგანიზებული ათეულობით მხედველობითი ველი და მრავალი ქერქვეშა მხედველობითი ცენტრი, რომლებიც თავის მხრივ რამდენიმე ქვედანაყოფად იყოფა, ემსახურება მხედველობითი

ინფორმაციის დამუშავების ურთულეს პროცესებს.

მხედველობითი ინფორმაციის გადამუშავების პირველ საფეხურზე ხდება ბადურის რეცეპტორების (ფოტორეცეპტორების) გააქტივება სინათლის ენერგიით. შედეგად წარმოიქმნება ნერვული იმპულსები, რომლებიც მხედველობის ნერვის საშუალებით გადაეცემა თავის ტვინის მხედველობით ცენტრებს. აქ კი ნერვული იმპულსები გარდაიქმნება მხედველობით ინფორმაციად და ხდება მხედველობითი ხატის შექმნა. ცნობილია, რომ ობიექტის ფერის, ფორმის, ორიენტაციის, სივრცითი მდებარეობის, მოძრაობის მიმართულების თუ სხვა მრავალი მახასიათებლის აღქმაზე პასუხისმგებელი ტვინის სხვადასხვა მხედველობითი უბანია. ტვინის ეს უბნები მდებარეობს პირველად მხედველობით ქერქში და მათ ხშირად მხედველობითი ქერქის დაბალ დონეს უწოდებენ. ობიექტის ამ მარტივი მახასიათებლების გაერთიანება და ერთიანი აღქმის ჩამოყალიბება კი ხდება ტვინის უფრო მაღალ დონეებზე, კერძოდ კი ასოციაციური მხედველობითი ქერქის დონეზე (სურათი 1; მხედველობითი სისტემის პერიფერიული და ცენტრალური ნაწილები).

ცივილიზაციის განვითარების პარალელურად მიმდინარეობდა და დღესაც მიმდინარეობს ადამიანის მიერ მხედველობითი შესავლიდან მიღებული ინფორმაციის ხვედრითი წილის მუდმივი ზრდა. თანამედროვე ადამიანის როგორც პროფესიული, ისე ყოველდღიური ყოფითი საქმიანობა მუდმივი ინფორმაციული გადატვირთვის პირობებში მიმდინარეობს. კინოსა და ტელევიზიის, შემდეგ კი კომპიუტერული ტექნიკისა და სხვადასხვა ტიპის დისპლეების ფართოდ გავრცელებამ შეცვალა ინფორმაციის მიწოდების მეთოდები და დროის ერთეულში დასამუშავებელი ინფორმაციის რაოდენობა. შესაბამისად, დღეს მწვავედ დგას ინფორმაციული ნაკადების შესაძლო მინიმიზაციისა და ოპტიმალური ორგანიზაციის პრობლემა. მხედველობითმა სისტემამ უნდა შესძლოს და დროის ერთეულში მიღებული, არაოპტიმალურად ორგანიზებული ინფორმაციის უზარმაზარი მასივებიდან გამოყოს მხოლოდ ამ მომენტისათვის მნიშვნელოვანი ინფორმაცია, რათა ადამიანის რეაქცია გარემოში იყოს



სურათი 1. მხედველობის სისტემის პერიფერიული და ცენტრალური ნაწილები; და მხედველობითი ქერქის სხვადასხვა უბნები და მათ შორის არსებული რთული კავშირები (Logothetis N. (1999). Vision: A window on consciousness. Scientific American)

ადექვატური. ამასთანავე, მხედველობითი ინფორმაციის დიდი მასივების შეზღუდულ დროში გადამუშავების აუცილებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს როგორც მხედველობის აპარატის გადაღლა, ასევე ნერვული სისტემის გადატვირთვა, რასაც ფსიქიკური ჯანმრთელობისათვის არასასურველი შედეგები შეიძლება მოჰყვეს.

დღეს დედამიწის მოსახლეობის დაახლოებით 10% აღენიშნება მხედველობის სხვადასხვა ტიპის დარღვევები, რომლებიც გამოწვეულია ან ბადურის დეფექტებით, ან თავის ტვინის მხედველობით ცენტრებში მიმდინარე პროცესების ანომალურობით. რადგანაც ჩვენი ცოდნა იმის შესახებ, თუ რა უდევს საფუძვლად ამა თუ იმ დარღვევას, შეზღუდულია, ამჟამად მხოლოდ რამდენიმე ტიპის დარღვევის ეფექტური მკურნალობაა შესაძლებელი. ამგვარად, მხედველობითი პროცესების განმსაზღვრელი მექანიზმების გარკვევა დაგვეხმარება სხვადასხვა დარღვევების მკურნალობასა და მათ თავიდან აცილებაში, აგრეთვე ჩვენი მხედველობითი აღქმის შესაძლებლობების გაუმჯობესებაში.

ბოლო წლებია, განსაკუთრებული ინტერესი გამოიწვია ფენომენმა, რომელსაც პერცეპტუალური დასწავლა ეწოდება. ეს ინტერესი მას შემდეგ გაჩნდა, რაც პერცეპტუალური დასწავლა აღქმის პროცესებს დაუკავშირეს; ჩვენ სამყაროს ისე აღვიქვამთ, როგორც ნასწავლი გვაქვს მისი აღქმა.

რამდენად პლასტიკურია ადამიანის ტვინი? შეგვიძლია კი აღვიქვათ მარცხნივ გადახრილი ხაზი მარჯვნივ გადახრილად, თუ კი მასწავლებელი ასე გვასწავლის? ცხადია, რომ ასეთი რამ შეუძლებელია; გარემოდან მიღებულმა ინფორმაციამ შესაძლებელია გავლენა მოახდინოს გადაწყვეტილებაზე (decision) და არა აღქმაზე (perception) (Herzog & Fahle, 1999; Herzog, Ewald, Hermens, & Fahle, 2006): მიუხედავად იმისა, რომ თუ მოვინდომებთ, ჩვენ შეგვიძლია კატა ჩავთვალოთ ძაღლად, მაინც ვერასოდეს აღვიქვამთ კატას, როგორც ძაღლს.

მხედველობით მოდალობაში პერცეპტუალური დასწავლა ვლინდება მხედველობითი ამოცანის შესრულებაზე ვარჯიშის შედეგად ამ ამოცანის შესრულების

გაუმჯობესებით. ამოცანის შესრულების გაუმჯობესება ხდება იმ შემთხვევაში, როდესაც ცდის პირი ვარჯიშობს ერთი ტიპის სტიმულზე. ასეთ ამოცანებში გაუმჯობესება ნაჩვენებია სტიმულის ორიენტაციაზე, კონტრასტზე, მოძრაობის მიმართულებაზე და სხვა მახასიათებლებზე. მიუხედავად დიდი ინტერესისა, პერცეპტუალური დასწავლის საფუძვლად არსებული მექანიზმები კვლავ უცნობია (Fahle & Poggio, 2003).

## კვლევის მიზნები და ამოცანები

კვლევის ძირითადი საკითხია ზრდასრული ტვინის პლასტიკურობის შესაძლებლობების შესწავლა პერცეპტუალური დასწავლის მაგალითზე. კერძოდ, ცნობილია, რომ პერცეპტუალური დასწავლა საკმაოდ მარტივად და სწრაფად მიიღება, როდესაც ტრენირება ხდება მხოლოდ ერთი ტიპის სტიმულზე. საინტერესოა, ხდება თუ არა პერცეპტუალური დასწავლის ეფექტის მიღება ე.წ. შემთხვევითი წარდგენის პირობებში (roving paradigms) ანუ როდესაც სხვადასხვა სტიმულის (ანდა ერთი სტიმულის სხვადასხვა ტიპის) წარდგენა ხდება შემთხვევითი თანმიმდევრობით; როგორ ართმევს თავს ტვინი ისეთი ამოცანების გადაჭრას, როდესაც ტრენირების დროს წარდგენილია სხვადასხვა სტიმულები და ამ სტიმულთა წარდგენის თანმიმდევრობა გაურკვეველია (uncertain).

გარდა ამისა, ჩვენ შევისწავლით პერცეპტუალური დასწავლის ფენომენს ადამიანისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობის მქონე ისეთ სასიგნალო ნიშანზე, როგორცაა ფერი. მიუხედავად აქტიური კვლევებისა, ჯერ არაა შესწავლილი, რა გავლენა აქვს ფერით ინფორმაციას დასწავლის ეფექტზე. ცნობილია, რომ დასწავლა სპეციფიკურია იმ ნიშნის მიმართ, რომელზეც ხდებოდა ტრენირება; და რომ დასწავლის ეფექტის გადასვლა არ ხდება, მაგალითად, არატრენირებულ ორიენტაციაზე. საინტერესოა, მივიღებთ თუ არა დასწავლის ეფექტის გენერალიზაციას ერთი ფერიდან

მეორეზე, რომელიც ტრენინგების დროს გამოყენებული ფერის ოპონენტურია.

აღნიშნული კვლევა საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ, თუ რამდენადაა შეზღუდული გარემოდან მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და როგორ იცვლება მდგომარეობა ტრენინგების შემდეგ. შედეგად შესაძლებელია პოტენციური, არაინვაზიური მეთოდის დამუშავება, რომელიც ნორმალური მხედველობის მქონე პირებს საშუალებას მისცემს, გაიღრმავოს თავისი პერცეპტუალური გამოცდილება, ხოლო მხედველობის დეფიციტის მქონე პირები კი (მაგალითად, ამბლიოპიური, ანუ ზარმაცი თვალის შემთხვევაში) შესძლებენ, ასევე არაინვაზიურად გაიუმჯობესონ მხედველობა/აღქმა ტრენინგების შედეგად.

## მიღებული მონაცემების სამეცნიერო სიახლე

ნაშრომში პირველად არის ნაჩვენები, რომ:

- შემთხვევითი წარდგენის პირობებშიც შესაძლებელია პერცეპტუალური დასწავლის ეფექტის მიღება. წარდგენის ასეთ შემთხვევაში ხანგრძლივი ტრენინგებია საჭირო.
- სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენა არ არღვევს ამოცანის შესრულების ხარისხს, ის მხოლოდ ანელებს პერცეპტუალური დასწავლის პროცესს.
- წინასწარ ცოდნა იმისა, თუ როგორი თანმიმდევრობით იქნება წარდგენილი სტიმულები, აიოლებს დასწავლის ეფექტის მიღებას.
- პერცეპტუალური დასწავლის მიღება შესაძლებელია ფერად სტიმულებზეც.
- ერთ ფერზე მიღებული დასწავლის ეფექტის გენერალიზაცია ხდება, ანუ ამოცანის შესრულება უმჯობესდება იმ ფერყვეც, რომელზეც არ ხდებოდა ტრენინგება.



## თავი I

### სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა

#### 1.1. მხედველობითი აღქმის პროცესი

მკვლევართათვის ერთ-ერთ უმთავრეს პრობლემას წარმოადგენს იმის ახსნა, თუ როგორ გარდაიქმნება ფიზიკური ენერგია პერცეპტუალურ შეგრძნებებად (ხატებად). მხედველობის შემთხვევაში, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რომელიც თვალში შედის, როგორღაც გარდაიქმნება შენობების, ადამიანების, მცენარეების და სხვა უამრავი ობიექტების პერცეპტებად.

მხედველობითი ინფორმაციის დამუშავების პირველ საფეხურს წარმოადგენს ბადურული ფოტორეცეპტორების მიერ მიღებული სინათლის ნაკადიდან სივრცული და დროითი მახასიათებლების ამოღება. შემდგომში ხდება ისეთი მნიშვნელოვანი მხედველობითი პარამეტრების იდენტიფიცირება, როგორებიცაა ფორმა, მოძრაობა, ფერი და ა.შ. (Kullikowski & Vidyasagar, 1990). სინათლის სხივი, ეცემა რა ბადურას, მის ფოტორეცეპტორებზე ქმნის ბადურულ გამოსახულებას. სწორედ ამ მომენტიდან იწყება მხედველობითი პერცეპცია, მაგრამ ჩვენს მიერ სამყაროს აღქმა და “ხედვა” სწორხაზოვნად არ კორელირებს ბადურულ გამოსახულებასთან.

მკვლევარების ნაწილი ამტკიცებს, რომ პერცეპტუალური პროცესები არ არის პირდაპირი, არამედ იგი დამოკიდებულია მოლოდინზე, წინასწარ ცოდნაზე, კონტექსტზე და, რა თქმა უნდა, თვით სტიმულიდან წამოსულ ინფორმაციაზე, ე.წ. პერცეპციის ‘დაღმავალი’ (top-down) თეორია (Gregory, 1970), რომელიც მხედველობითი ინფორმაციის არაწრფივ გადამუშავებას გულისხმობს. გრეგორი თვლიდა, რომ სენსორული რეცეპტორების მიერ მიღებული სიგნალები ახდენენ ნერვული აქტივობის ჩართვას და შესაბამისი ცოდნისა და გამოცდილების ზეგავლენითა და შემოსულ

ინფორმაციაზე დაყრდნობით ხდება გარემოზე წარმოდგენის შექმნა. ეს მოსაზრება ეწინააღმდეგება გიბსონის (Gibson, 1966) მიერ მოწოდებულ პერცეპციის პირდაპირ ანუ 'bottom-up' თეორიას. ამ მოდელის თანახმად ინფორმაციის გადამუშავება მიდის ქვემოდან ზემოთ ხაზობრივად, ერთი იზოლირებული უბნიდან მეორესაკენ, და ინფორმაცია მხოლოდ მას შემდეგ გადაეცემა უფრო მაღალი დონის უბანს, როდესაც მის წინამდებარე უბანში ამ ინფორმაციის დამუშავება მთლიანად დასრულდება.

აღქმის მექანიზმების კვლევის ფუძემდებელი ჰელმჰოლცი თვლიდა, რომ პერცეპცია გაცილებით მეტია, ვიდრე სტიმულის მახასიათებლების პირდაპირი რეგისტრაცია და რომ სტიმულაციასა და ჩვენ შეგრძნებებს შორის უნდა იყოს რაღაც შუალედური პროცესები (Helmholtz, 1878).

თანამედროვე გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ მხედველობით აღქმასა და ქერქის აქტივობას შორის საკმაოდ ძლიერი აღმავალი და დაღმავალი ('top-down/bottom-up') მოდულაცია არსებობს (Kanwisher & Wojciulik, 2000). პირველად მხედველობით ქერქში ნეირონები სპეციფიურია სტიმულის ელემენტარული ლოკალური მახასიათებლებისადმი. ამ ნიშან-თვისებებს განეკუთვნება ლოკალიზაცია, ორიენტაცია, სტერეო დისპარატულობა, მოძრაობის მიმართულება, ფერი და სივრცული სიხშირე (De Valois, & De Valois, 1988; Hubel, 1995; Hubel, & Wiesel, 1968; Zeki, 1993 ). აგრეთვე ცნობილია, რომ V1-ის ნეირონები რეაგირებენ სტიმულის კონტექსტზეც (Maffei, & Fiorentini, 1976; Knierim, & Van Essen, 1992; Lamme, 1995; Kapadia, Westheimer, & Gilbert, 1999). ასეთი კონტექსტუალური მოდულაცია სავარაუდოდ ექსტრასტრიალური ქერქიდან V1-ს ნეირონებზე პროეცირებული უკუკავშირებით ხორციელდება. სავარაუდოდ, თითოეული ქერქული უბანი წარმოადგენს "ექსპერტს" მხედველობითი სცენის გარკვეული ასპექტის შესახებ დასკვნის გამოტანისათვის, თუმცა ეს დასკვნები კეთდება ტვინის სხვა უბნებთან კონსულტაციის გათვალისწინებით, და ამგვარად კონსტრუირდება როგორც შემოსული (bottom-up), ასევე დაღმავალი (top-down) კონტექსტუალური ზემოქმედებით (Lee, 2003).

თანამედროვე წარმოდგენებით, აღქმა და აზროვნება ე.წ. დაღმავალი (top-down) და აღმავალი (bottom-up) პროცესების ურთიერთქმედების შედეგად ყალიბდება. bottom-up გზები იძლევა ინფორმაციას სტიმულის ფიზიკური მახასიათებლების შესახებ, რომლებსაც მიმღებლობს სენსორული რეცეპტორები. top-down პროცესი კი უზრუნველყოფს ამ მონაცემების შემდგომ ინტერპრეტაციას. top-down სიგნალების საშუალებით ხდება ინფორმაციის მოდულირება კონტექსტის, ადრეული გამოცდილებისა და ცოდნის გათვალისწინებით (Miller, 1999). top-down და bottom-up სიგნალების მნიშვნელობა კარგად ჩანს, თუ დავაკვირდებით მე-2 სურათს.

არსებობს მოსაზრება, რომ აღმავალი და დაღმავალი სიგნალები ერთად ქმნიან ე.წ. იტერაციული მარყუჟების სისტემას, რომლებშიაც ადგილი აქვს ინფორმაციის ბრუნვას (Felleman & Van Essen, 1991; Zeki, 1993). მხედველობით გზაზე – სენსორული შესავლებიდან კოგნიტიურ ველებად ურთიერთკავშირის ასეთი ზოგადი კანონი უნდა მოქმედებდეს: ქერქის II და III შრეებში წარმოქმნილი აღმავალი სიგნალები აღწევს მაღალი დონის ქერქული უბნების IV შრის გრანულარულ უჯრედებამდე. თავის მხრივ, დაღმავალი სიგნალები, რომლებიც წარმოიქმნება მაღალი დონის ველების V შრის პირამიდულ უჯრედებში, მიემართება დაბალი დონეების I და VI შრეებში (Felleman & Van Essen, 1991; Perkel, Bullier and Kennedy, 1986). ამგვარად, აღმავალი და დაღმავალი სიგნალები იტერაციულ მარყუჟებში მიემართება განცალკევებული გზებით მანამდე, სანამ არ მოხდება მათი ერთმანეთთან დაკავშირება. ამ გზით შესაძლებელია, რომ მარყუჟებში მბრუნავი შედარებით ზოგადი ხასიათის ინფორმაცია ზედ დაედოს უფრო მარტივ, დაბალ დონეზე კოდირებულ ინფორმაციას, რაც, სავარაუდოდ, საშუალებას იძლევა, გადამოწმდეს შემოსული სტიმულის შესაბამისი ყველა ალტერნატიული პერცეპტუალური რეპრეზენტაციები (Grosberg, 1995; Munford, 1992; Sillito, Jones, Gerstain and West, 1994).

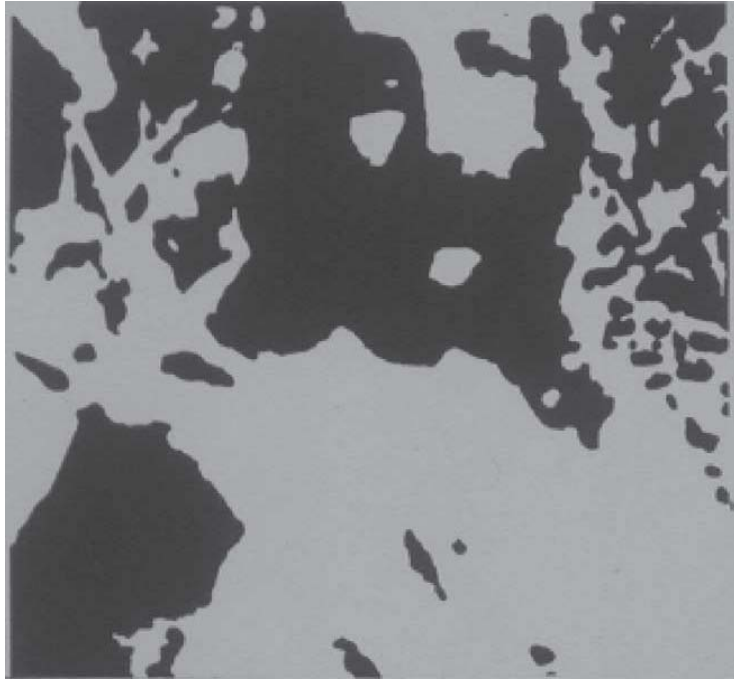
შეგვიძლია დავუშვათ, რომ აღმავალი და დაღმავალი ურთიერთკავშირის ასეთი წრებრუნვების პირველ ციკლში, სისტემის შიგნით, დაბალ დონეებზე, ხდება საწყისი

სიგნალის კოდირება, რომელიც შემდგომ გადადის მაღალ დონეებზე, სადაც ხდება პირველადი, სასინჯი კოგნიტიური რეპრეზენტაციის შექმნა.

ნერვული სიგნალების შემდეგი დატრიალებისას, მაღალი დონის რეპრეზენტაციები უკან ბრუნდება დაბალი დონეებისაკენ და ახდენს შედარებას ამ მომენტისათვის იქ არსებულ ინფორმაციასთან. თუკი დაბალ დონეებზე გამოსახულება არ შეიცვალა, მაშინ წყვილი ნაპოვნი იქნება და პროცესინგი გაგრძელდება. მაგრამ თუ წრებრუნვადი ინფორმაცია არ შეესაბამება დაბალ დონეებზე არსებულ ინფორმაციას (ე.ი. როდესაც გამოსახულება იცვლება) ამ შემთხვევაში ჩნდება ახალი სასინჯი რეპრეზენტაცია და პროცესინგი ახლა უკვე გაგრძელდება ახალი სტიმულისათვის (Di Lollo, Enns & Rensink, 2000).

სავარაუდო ცოდნა იმისა, თუ “რა არის” წარმოდგენილი მხედველობით ველში, აადვილებს ინტერპრეტაციის პროცესს, ანუ როდესაც ცნობილია რას ვეძებთ, უფრო ადვილია მისი პოვნა. მხედველობითი სცენის საოცრად ზუსტი “ცნობა,” რომელსაც ჩვენ საკმაოდ სწრაფად ვახდენთ, ეყრდნობა ჩვენს ცოდნას გარემოზე და აგებულია ჩვენს მოლოდინზე გარკვეული სცენისადმი. top-down პროცესინგი აჩქარებს ბადურული გამოსახულების ანალიზის პროცესს, როდესაც ნაცნობი სცენა ან ობიექტი იქნება წარდგენილი. ეს პროცესები გვეხმარება გამოტოვებული დეტალების შევსებასა და დასრულებული ფორმით წარმოდგენაში (Cavanagh, 1991, 1999). ამ იერარქიაში დაბალი დონის პროცესები ძირითადად დაკავშირებულია მხედველობითი ხატის ამოცნობასა და კოდირებასთან, ხოლო უფრო მაღალი დონის პროცესინგი ჩართულია დანახულის შესახებ წარმოდგენის, აზრის შექმნაში.

სავარაუდოდ, სწორედ ასევე უნდა მოქმედებდეს ის მექანიზმიც, რომელიც პერცეპტუალურ დასწავლაზეა პასუხისმგებელი.



**სურათი 2.** ერთი შეხედვით ეს სურათი წარმოადგენს შავი და ნაცრისფერი ლაქების მონაცვლეობას რაიმე მნიშვნელობის გარეშე. მაგრამ თუ კარგად დავაკვირდებით, დავინახავთ სახეს. ამის შემდეგ კი ეს ეფექტი არის სწრაფი, ძლიერი და ხანგრძლივი, რაც კიდევ ერთხელ ადასტურებს აღმავალი და დაღმავალი სიგნალების მნიშვნელობას: bottom-up ანალიზი ამ შემთხვევაში იძლევა ინფორმაციას ლაქების განლაგების და ლოკალური კონტურების შესახებ, ხოლო top-down გამოცდილებაზე დაყრდნობილი პროცესები იძლევა კოჰერენტულობის შეგრძნებას და შემოსულ ინფორმაციას ანიჭებს აზრს ისე, რომ უკვე ამ ლაქების საშუალებით გამოვარჩევთ ჩვენთვის ნაცნობ ფიგურას.

## 1.2. ზრდასრული ტვინის პლასტიკურობა

ახალდაბადებული ორგანიზმის ტვინი, მიუხედავად იმისა, რომ უფრო მცირეა ზომით, ვიდრე ზრდასრული ტვინი, თავისი სტრუქტურული აგებულებით დიდად არ განსხვავდება ზრდასრული ინდივიდის ტვინისაგან. მიუხედავად იმისა, რომ ცენტრალური ნერვული სისტემის ჩამოყალიბება მნიშვნელოვან წილად მიმდინარეობს ინდივიდის დაბადებამდე, ტვინის საბოლოო ფორმირება დამოკიდებულია პრენატალური და პოსტნატალური განვითარების თავისებურებებზე. ცენტრალური ნერვული სისტემის პრენატალური განვითარების დროს ყველაზე უფრო მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს, თუ როგორ პოულობს ცალკეული ნერვული ბოჭკო მისთვის განკუთვნილ ადგილს, რომლის წყალობითაც ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად განვითარებული სტრუქტურები, როგორებიცაა მაგალითად, თვალი, გარეთა დამუხლული სხეული და ქერქი, ტვინის მომწიფების პროცესში ერთმანეთს უკავშირდება აბსოლუტურად განსაზღვრული სპეციფიკური კავშირებით. მიუხედავად თანამედროვე კვლევებისა, აღნიშნულ საკითხზე ამომწურავი და ჩამოყალიბებული პასუხი ჯერ არ არსებობს.

ტვინის პოსტნატალურ განვითარებაში პირველ რიგში იგულისხმება ახალი ნერვული კავშირების ფორმირება და მოდიფიკაცია გარეშე ფაქტორების ზემოქმედებით.

მხედველობის სისტემა წარმოადგენს მკაცრად დეტერმინირებულ სისტემას, რომელიც თითქმის ჩამოყალიბებულია ორგანიზმის დაბადებისას, მაგრამ იგი თვითდამსაწავლელი სისტემაცაა და მისი მოქმედება დიდად არის განპირობებული უნარით, გარდაქმნას და დააფიქსიროს თავისი გამოცდილება, რომელსაც იგი იძენს ფუნქციონირების პროცესში.

არც თუ ისე დიდი ხნის წინ მრავალ ნეირომეცნიერს მიაჩნდა, რომ ზრდასრული ტვინი მკაცრად ორგანიზებულია და არ გააჩნია ცვლილებების უნარი. სპეციფიკური

ადრეული სენსიტიური პერიოდების არსებობამ ენის (მეტყველების) განვითარებისთვის და მხედველობითი ქერქის ორგანიზაციისთვის (Berardi, Pizzorusso & MaVei, 2000; Hubel & Wiesel, 1965; Kuhl, 1994; Mower & Christen, 1985; Newport, 1990; Weber-Fox & Neville, 1996) ხელი შეუწყო იმ შეხედულების გავრცელებას, რომ ქერქის გარკვეული უბნები გადის აქტივობაზე დამოკიდებულ პლასტიკურობის პროცესებს ახალშობილობის ან ადრეული ბავშვობის პერიოდში. ამასთან, ერთხელ მიღებული გამოცდილება გარკვეულ როლს თამაშობს მომწიფების წარმართვაში და შედეგად ყალიბდება ფიქსირებული ნერვული წრეები. კავშირები მხედველობით ველებს შორის ძალიან რთული და სპეციფიკურია. გასაოცარი იქნებოდა, რომ ასეთი კავშირები ნაწილობრივ მაინც არ იყოს გენეტიკურად განსაზღვრული. ამასთან, ასევე საოცარი იქნებოდა, რომ მხედველობითი გზები აბსოლუტურად გენეტიკურად იყოს განსაზღვრული, მკაცრად განსაზღვრული კავშირებით და არ ჰქონდეს უნარი დაემორჩილოს მოდიფიკაციებს. ამ შემთხვევაში სამყარო ჩვენს ირგვლივ უნდა ყოფილიყო უცვლელი, ყველაფერს ერქმეოდა ერთი და იგივე სახელი, ყველა შესაძლო მდგომარეობა და რეაქცია წინასწარ იქნებოდა განსაზღვრული და ცნობილი. ჩვენი სამყაროს ძირითადი ნიშანი კი ისაა, რომ იგი განუწყვეტლივ იცვლება. ამიტომ ქერქულ კავშირებს რასაკვირველია, უნდა გააჩნდეს პლასტიკურობის ან მოდიფიცირების გარკვეული უნარი.

მხედველობითი გამოცდილების დაგროვება იწყება ბადურაზე სინათლის სხივის პირველი ექსპოზიციით და როგორც ჩანს, ეს პროცესი ყველაზე ინტენსიურად უნდა მიმდინარეობდეს განვითარების სენსიტიურ პერიოდში. პლასტიკურობა განსაზღვრავს ნატიფი ნეირონული კავშირების ჩამოყალიბებას, რომელიც აუცილებელია ფორმის, მოძრაობის, სივრცის, მოცულობის და ა.შ. აღსაქმელად. აღნიშნული კავშირები ძირითადად ყალიბდება პოსტნატალურ პერიოდში, თვითონ მხედველობის კონტროლის ქვეშ. ეს იდეა მიმზიდველია იმიტაც, რომ ტვინს დასწავლის უნარი სხვადასხვაგვარ პირობებთან ადაპტაციის საშუალებას აძლევს (Berger, 1900;

Goodman ,1932; Riesen, Kurke, & Mellinger , 1953; Chow, & Nissen, 1955). სხვა მოსაზრების თანახმად, პირველადი მხედველობის ქერქის და შესაძლოა, სხვა დონის კავშირები უკვე არსებობენ ორგანიზმის დაბადებისას. გასაგებია, რომ ამ შემთხვევაში კავშირების უმრავლესობა ყალიბდება პრენატალურად და შესაბამისად მასში მონაწილეობას არ ღებულობს სენსორული გამოცდილება (Hubel, & Wiesel, 1963). V1-ის ნეირონები ამ ბოლო დრომდე განიხილებოდა, როგორც პასიური ფილტრები, რომლებიც იღებდნენ ინფორმაციას მხედველობითი სტიმულის ელემენტარულ მახასიათებლებზე, კერძოდ ლოკალურ ორიენტაციაზე, მოძრაობის მიმართულებაზე და ა.შ და უცვლელად პასუხობდნენ წარმოდგენილი სტიმულის ფიზიკურ მახასიათებლებზე. თუმცა, ამ ბოლო წლებში საწინააღმდეგო მოსაზრებებიც გაჩნდა, რომლის თანახმადაც V1-ის ნეირონები სივრცული და დროითი კონტექსტის ძლიერ ზეგავლენას განიცდიან. V1-ის ნეირონების აქტივობა აგრეთვე მოდულირდება მხედველობითი გამოცდილების მაგ., პერცეპტუალური დასწავლის და ადაპტაციის ზემოქმედებით. ე.ი. მხედველობის სისტემას პირველადი ველების დონეზეც კი გააჩნია პლასტიკურობა. ქერქულ ნეირონებს გააჩნია ადაპტაციური უნარი, თავისი პასუხები შეცვალონ პერცეპტუალური დასწავლის საპასუხოდ (Gilbert, Sigman & Crist, 2001).

ამჟამად დაგროვდა როგორც ქცევითი, ისე ნეიროფიზიოლოგიური მონაცემები, რომ ზრდასრულ ტვინშიც მიმდინარეობს პლასტიკური ცვლილებები (Buonomany & Merzenich, 1998; Das, 1997; Das, Franca, Gattass, Kaas, Nicolelis, & Iaria, 2001; Karmarkar, & Dan, 2006; Mogilner, Grossman, Ribary, Joliot, Volkmann, Rapaport, Beasley, & Linas, 1993; Ward, 2001). პერცეპტუალური დასწავლა არის ფენომენი, რომელიც ზრდასრულ ინდივიდებში ტვინის პლასტიკურობის ერთ-ერთ გამოხატულებას წარმოადგენს და რომელიც ვარჯიშის შემდეგ სტიმულის მარტივი მახასიათებლების დისკრიმინაციის უნარის გაუმჯობესებით გამოვლინდება. პერცეპტუალური დასწავლა წარმოადგენს პლასტიკურობის განსაკუთრებულ ფორმას, რომელიც იწყება პოსტნატალური განვითარების პერიოდში და გრძელდება ზრდასრულობის პერიოდში (ანუ მთელი



სიცოცხლის განმავლობაში).

ადამიანებსა და ცხოველებშიც ქერქული აქტივობის ცვლილებები შეიძლება ვნახოთ მაშინვე სენსორული შესავალის, ან მოტორული აქტივობის შეცვლის შემდეგ, მაგრამ პლასტიკურობის შემდგომი კომპონენტი უფრო მოგვიანებით ჩნდება. შეიძლება არსებობდეს სამი განსხვავებული მექანიზმი – ორი, რომლებიც პასუხისმგებელია ხანმოკლე ცვლილებებზე და ცალკე მექანიზმი უფრო ხანგრძლივი ეფექტისთვის.

სწრაფი ცვლილებები უნდა ასახავდეს უკვე არსებული სუსტი კავშირების გახსნას, როგორც შეკავებისაგან გათავისუფლების, ასევე სინაპსის ეფექტურობის გაზრდის შედეგად. უფრო ხანგრძლივი პლასტიკურობა ალბათ მიიღება ახალი სინაპსური კავშირების ჩამოყალიბების ზრდის შედეგად.

სწრაფი ეფექტი ასევე უნდა გამოიწვეოდეს შემაკავებელი სინაპსური კავშირების აქტივობის დონის შემცირებით. ციმანმა და კოლეგებმა (Ziemann, Müllbacher, Gallett & Cohen, 2001) აჩვენეს, რომ მოტორულ ქერქში რეორგანიზაცია დამოკიდებულია გამა-ამინო-ერბოს მჟავას (გაემ)-ის დონეზე. როგორც კი გაემ-ერგული შეკავების დონე იზრდება, გაემ რეცეპტორების აგონისტის (ლორაზეჰამი) შეყვანით, პლასტიკურობის შესაძლებლობა მცირდება.

მრავალი მონაცემი არსებობს იმის შესახებ, რომ NMDA გლუტამატური რეცეპტორების აქტივაცია ჩართულია სინაპსური ეფექტურობის მოდულაციაში ჰიპოკამპში. ნაჩვენებია NMDA რეცეპტორების მონაწილეობა ქერქულ პლასტიკურობაში ადამიანებში (Dinse, Ragert, Pleger, Schwenkreis & Tegenthoff, 2003). მათ აჩვენეს, რომ NMDA ანტაგონისტის მიღება ამცირებდა პერცეპტუალური დასწავლის ეფექტურობას და ქერქულ გადაწყობას, რომელიც თან ახლავს ასეთ დასწავლას სტიმულაციის ხანმოკლე პერიოდის შემდეგ. ცხადია, რომ სინაპსური ეფექტურობის ცვლილება უნდა იყოს ნაწილი ხანმოკლე პლასტიკური ცვლილებების მექანიზმისა, რომელიც ნანახია ზრდასრული ადამიანის ქერქის სენსორულ უბნებში.

### 1.3. პერცეპტუალური დასწავლა

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მხედველობის სისტემა წარმოადგენს თვითორგანიზებად, თვითდასწავლად სისტემას, რომელიც მუდმივად აწარმოებს პერცეპტუალური გამოცდილების დაგროვებას. ნაჩვენები იქნა, რომ რეცეპტული ველის ზოგიერთი მახასიათებელი იცვლება მიღებული გამოცდილების ზემოქმედებით (Gilbert, 1998). ასევე ცნობილია, რომ პოსტ-ტრავმული აღდგენითი პროცესები და ტრენირების შემდეგ პერცეპტუალური ამოცანების შესრულების გაუმჯობესება დაკავშირებულია სხვადასხვა ტიპის ცვლილებებთან ტვინის ქერქულ უბნებში (Polat, 2009; Weinberger, Ashe, Metherrate, McKenna, Diamond, & Bakin, 1990; Recanzone, Merzenich, Jenkins, Grajski, & Dinse, 1992; Recanzone, Schreiner, & Merzenich, 1993).

მხედველობით მოდალობაში პერცეპტუალური დასწავლა ვლინდება მხედველობითი ამოცანის შესრულებაზე ვარჯიშის შედეგად ამ ამოცანის შესრულების გაუმჯობესებით ან ნეირონული აქტივობის ცვლილებით. ამგვარი გაუმჯობესების მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა პერცეპტუალური ამოცანის შესრულებისას, მაგ., ორიენტაციის (Schoups, Vogels & Orban, 2001; Vogels & Orban, 1985), მოძრაობის მიმართულების (Ball & Sekuler, 1987; Vaina, Sundaeswaran & Harris, 1995; Watanabe, Nanez & Sasaki, 2001), სივრცის სტერეოსკოპული აღქმის (Ramachandran & Braddick, 1973), კონტრასტის (Adini, Wilkonsky, Haspel, Tsodyks & Sagi, 2004; Tsodyks, Adini & Sagi, 2004; Yu, Klein & Levi, 2004), Bisection სტიმულის (Crist, Kapadia, Westheimer, & Gilbert, 1997; Crist, Li, & Gilbert, 2001; Fahle & Morgan, 1996) და ვერნიერის სტიმულის დისკრიმინაციის უნარში (Fahle & Edelman, 1993; Foley-Fisher, 1968; McKee & Westheimer, 1978; Poggio, Fahle & Edelman, 1992; Saarinen & Levi, 1995). საინტერესოა, რომ მიღებული გაუმჯობესება შენარჩუნებულია კვირებისა და თვეების განმავლობაში (Ball & Sekuler, 1987, Crist, Kapadia, Westheimer & Gilbert, 1997; Fahle & Edelman, 1993), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ პერცეპტუალური დასწავლა განსხვავდება სენსიტიზაციის, მიჩვევის

და პრაიმინგის (რაიმე ნიშნის მატარებელი სტიმულის წინასწარი წარდგენის შედეგად მომდევნო სტიმულის იგივე ნიშნის აღქმის გაადვილება) ფენომენებისაგან, რომლებიც გაცილებით უფრო სწრაფად ქრება (Fahle, 2005a).

პერცეპტუალური დასწავლა სპეციფიკურია სტიმულის იმ მახასიათებლის მიმართ, რომლებზეც ხდება ტრენირება (Ahissar & Hochstein, 1996; Doshier & Lu, 2006; 2007). მაგალითად, ცნობილია, რომ დასწავლის გენერალიზაცია არ ხდება არატრენირებულ ორიენტაციაზე, სივრცულ სიხშირეზე, ან სტიმულის პოზიციაზე (Ahissar & Hochstein, 1997; Crist, Kapadia, Westheimer & Gilbert, 1997; Fahle, Edelman & Poggio, 1995; Fahle & Morgan, 1996; Karni & Sagi, 1991; Schoups, Vogels & Orban, 1995; Shiu & Pashler, 1992). დასწავლის გადატანა ასევე არ ხდება ნავარჯიშევი თვალიდან გაუვარჯიშებელ თვალზე (Fahle, 2005a; Karni & Sagi, 1991; Schoups, Vogels & Orban, 1995). ითვლება, რომ რაიმე ცვლილების შემდეგ ცდის პირმა ახლიდან უნდა ივარჯიშოს, რომ შეცვლილი მახასიათებლის შესრულების გაუჯობესება მოხდეს. არსებობს მოდელი, რომლის თანახმადაც ყოველი წარდგენის დროს სტიმული პროეცირდება ბადურის ერთსა და იმავე პოზიციაზე (Schoups, Vogels & Orban, 1995; Tsodyks & Gilbert, 2004); თუმცა, ამ მოდელის ექსპერიმენტულად დადასტურება ვერ მოხერხდა, რადგანაც თვალის ტრემორის, დრეიფის ან მიკროსაკადების გამო თვალის პოზიციაც მუდმივად იცვლება და შესაბამისად, სტიმულის პროეცირებაც ერთსა და იმავე პოზიციაზე არასდროს ხდება. მიუხედავად ამისა, ხშირად პოზიციის დისკრიმინაციის ამოცანების შესრულება ძალიან ნატიფად მიმდინარეობს. მაგალითად, ორად გაყოფის ამოცანის (bisection task) შესრულებისას, პოზიციის დისკრიმინაციის ზღურბლი არის რამდენიმე ათეული არკსეკუნდი, მაშინ როცა მიკროსაკადების ზომა არის რამდენიმე ათეული არკმინუტი (Martinez-Conde, Macknik & Hubel, 2004). როგორც ჩანს, ამ დროს საჭიროა ადამინის ტვინმა შეძლოს პოზიციის ცვლილებასთან გამკლავება, რომ მივიღოთ პერცეპტუალური დასწავლა და ტვინი ამას წარმატებით ახერხებს რაღაც მექანიზმის საშუალებით, რომლის მოქმედების დეტალები ჯერ კიდევ უცნობია.

პერცეპტუალური დასწავლის ფენომენმა განსაკუთრებული ინტერესი მას შემდეგ გამოიწვია, რაც იგი დაუკავშირეს პერცეპტუალური ხატის შექმნის პროცესებს (Walsh, & Booth, 1997). მიიჩნევენ, რომ პერცეპტუალური დასწავლა არის უნარი, გაიუმჯობესო ალქმა, რადგანაც მისი საშუალებით ხდება ალქმისთვის საჭირო “სამშენებლო ბლოკების” შექმნა. ჩვენ სამყაროს ისე აღვიქვამთ, როგორც ნასწავლი გვაქვს მისი დანახვა. პერცეპტუალური დასწავლა შეიძლება ასევე განვმარტოთ, როგორც უკვე არსებულ გამოცდილებაზე დამყარებული ცვლილებები რეალური სამყაროს ალქმაში. შესაბამისად, ითვლება, რომ პერცეპტუალური დასწავლა ხორციელდება მხოლოდ მაშინ, თუ ადგილი აქვს შინაგან შეცდომებს. ეს შეცდომები კი მაშინ ჩნდება, როდესაც გარემოდან მომავალი ინფორმაცია წინააღმდეგობაშია შინაგან ვარაუდებთან და ცოდნასთან იმის შესახებ, თუ როგორი უნდა იყოს რეალური გარემო (Bedford, 1993, 1999). მიუხედავად ინტენსიური კვლევებისა, ტვინში მიმდინარე ცვლილებები, რომლებიც პერცეპტუალურ დასწავლას უდევს საფუძვლად, კვლავ უცნობია (Fahle & Poggio, 2003, Fahle, 2005b).

პერცეპტუალური დასწავლა ცვლილებებს უნდა იწვევდეს უშუალოდ იმ ნეირონულ ქსელებში, რომლებიც ტრენირებული ამოცანის გადაწყვეტაში მონაწილეობს, განსხვავებით “ეპიზოდური”, ან “ფაქტობრივი” მეხსიერებისაგან, რომლებიც ტვინის იმ უბნების აქტიურობასთანაა დაკავშირებული, რომლებიც პირდაპირ არ არის ჩართული სენსორული სიგნალის ანალიზში (Fahle, 2005a). ის ფაქტი, რომ პერცეპტუალური დასწავლა სპეციფიკურია სტიმულის იმ ნიშნის მიმართ, რომელზედაც ხდება ტრენირება, მიუთითებს მასში პირველადი დონის ქერქული უბნების მონაწილეობაზე, კერძოდ პირველადი მხედველობითი ქერქის - V1-ის დონეზე, სადაც სტიმულის ისეთი მარტივი მახასიათებლებისადმი პასუხისმგებელი ნეირონული უბნებია გამოყოფილი, როგორიცაა ორიენტაცია, ფორმა, პოზიცია, მოძრაობის მიმართულება და ა.შ. სწორედ ამ ნეირონულ წრეებში უნდა ხდებოდეს პლასტიკური ცვლილებები ტრენირების შედეგად (Carmel & Carrasco, 2008; Schiltz, Bodart, Dubois, Dejardin, Michael, Roucoux, Crommelinck & Orban, 1999; Sheth, Walker, Modestino, Miki, Terhune, Francis, Haselrove & Liu, 2007; Thiele,

2004). ამავე დროს, მოიპოვება ექსპერიმენტული მონაცემები, რომ უფრო მაღალი დონის უბნებიც ჩართული უნდა იყოს პერცეპტუალურ დასწავლაში (Herzog & Fahle, 1998; Pleger, Foerster, Ragert, Dins, Schwenkreis, Malin, Nicolas & Tegenthoff, 2003; Schwartz, Maquet, & Frith, 2002; Watanabe, Nanez & Sasaki, 2001). აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა ფაქტორები, მაგ., ამოცანის სირთულე, მნიშვნელოვნად მოქმედებს დასწავლის სისწრაფეზე (Fine & Jacobs, 2002). მიუხედავად იმისა, რომ მხედველობითი ყურადღების ჩართვა არაა საჭირო დასწავლის ეფექტის მისაღებად, არსებობს მონაცემები, რომ ყურადღების მონაწილეობით დასწავლის ეფექტის მიღება ჩქარდება (Fahle, 2009; Crist, Kapadia, Westheimer & Gilbert, 1997; Schoups, Vogels & Orban, 2001); რაც კიდევ ერთხელ ამტკიცებს იმ ფაქტს, რომ მაღალი დონის ქერქული ველებიც მონაწილეობენ პერცეპტუალური დასწავლის პროცესში.

პერცეპტუალური დასწავლის ერთ-ერთ სავარაუდო მექანიზმად მიიჩნევა აღმავალი (bottom-up) და დაღმავალი (top-down) სიგნალების ურთიერთქმედება (Ahhsisar & Hochstein, 2004; Ahhsisar, Nahum, Nelken & Hochstein, 2009) დაახლოებით ისეთნაირად, როგორც ეს ზოგადად აღქმის მექანიზმისთვისაა დამახასიათებელი. პერცეპტუალური დასწავლის შემთხვევაში ასეთი აღმავალი და დაღმავალი ურთიერთობა ხდება მხედველობითი ქერქის დაბალ და მაღალ დონეებს შორის (V1-სა და ინფეროტემპორალურ უბნებს შორის).

არსებობს ასევე უახლესი მონაცემები, რომლის თანახმადაც დასწავლა ხდება არა მხოლოდ ექსპლიციტური ტრენირების შედეგად, არამედ უყურადღებო, პასიური სტიმულაციის შედეგადაც (Seitz & Dinse, 2008). ამ ავტორების მონაცემებმა აჩვენა, რომ დასწავლის მისაღებად საჭიროა სტიმულაციის შედეგად დასწავლის ზღურბლს გადააჭარბოს ტვინის შესაბამის უბანში მიღებულმა აქტივაციამ. ამ შემთხვევაში კი ყურადღებისა და განმტკიცების პროცესები და ასევე ოპტიმალური სტიმულაცია მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ დასწავლის პროცესისათვის.

პერცეპტუალური დასწავლის ფენომენი მხედველობის სფეროში

ელექტროფიზიოლოგიურადაცაა შესწავლილი. ასე, მაგალითად, ადამიანებში ნაჩვენებია იყო, რომ ე.წ. “გარემოებით განსაზღვრული ადრეული ჯამური პოტენციალები”, ისევე როგორც გამოწვეული პასუხები, იცვლება პერცეპტუალური დასწავლის შედეგად (Casco, Campana, Grieco & Fuggeta, 2004; Ding, Song, Fan, Qu & Chen, 2003; Fahle & Skrandies, 1994). მაიმუნებზე ჩატარებულ კვლევებში შეისწავლეს მაიმუნების V1 და V4 კორტიკალური უბნების ნეირონების რეაქციები. აღმოჩნდა, რომ ორიენტაციის დისკრიმინაციის ტრენირების შედეგად იცვლება ორიენტაციული ნეირონების რაოდენობა, ორიენტაციის დეტექციის სიზუსტე და სხვა (Ghose, Yang & Msunsell, 2002; Ghose, 2004; Yang & Maunsell, 2004; Li, Piech & Gilbert, 2004).

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, მიუხედავად აქტიური კვლევებისა, ჯერ კიდევ ბოლომდე არ არის გარკვეული, თუ რა ნეირონული მექანიზმები უდევს საფუძვლად პერცეპტუალურ დასწავლას. შემოთავაზებულია რამოდენიმე მოდელი სავარაუდო მექანიზმის ასახსნელად: 1) ტრენირების შედეგად ხდება V1 უბნის ნეირონებს შორის უკვე არსებული კავშირების მოდიფიცირება ისე, რომ ლოკალური ქსელი ხდება უფრო სენსიტიური იმ სტიმულის მიმართ, რომელზეც ხდება ტრენირება (Adini, Sagi & Tsodyks, 2002; Tsodyks, Adini & Sagi, 2004). 2) პასუხის გადაფასების მოდელის თანახმად, ტრენირების შედეგად ხდება V1-ის იმ ნეირონების პასუხის გაძლიერება, რომლებსაც სპეციფიურად პასუხობენ სავარჯიშო სტიმულზე, და ეს გაძლიერება ხდება სხვა (არასპეციფიური) ნეირონების პასუხების გადაფასების ხარჯზე (Doshier & Lu, 1998; Lu & Doshier, 2004). ეს ორი მოდელი გულისხმობს პერცეპტუალური დასწავლის მექანიზმებში დაბალი მხედველობითი ველების მონაწილეობას. ისინი კარგად ხსნიან დასწავლის მიღებას იმ შემთხვევაში, როდესაც ტრენირება მიმდინარეობს ერთი სახის სტიმულზე. 3) ეს მოდელი გულისხმობს, რომ პერცეპტუალური დასწავლის პროცესში ჩართულია როგორც მაღალი დონის, ასევე დაბალი დონის ქერქული ველები. მაღალი დონის უბნებიდან V1 იღებს ბრძანებას თუ რომელ სტიმულს უნდა მიექცეს ყურადღება (Ahissar & Hochstein, 1997; 2004; Hochstein, & Ahissar, 2002).

## თავი II

### ექსპერიმენტული ნაწილი

#### 2.1. კვლევის მეთოდები

გამოყენებული იქნა ფსიქოფიზიკური კვლევის მეთოდები. ფსიქოფიზიკური მეთოდი არის ძირითადი მეთოდი, რომელიც გამოიყენება პერცეპტუალური სისტემების შესასწავლად. ეს მეთოდიკა საშუალებას იძლევა გამოვიკვლიოთ რაოდენობრივი კავშირი ფიზიკურ სტიმულსა და შეგრძნებასა და აღქმას შორის. შედეგად იზომება საექსპერიმენტო სტიმულის ობიექტური მახასიათებელი – ზღურბლი. ფსიქოფიზიკური მეთოდით გაზომილი ზღურბლი კი არის სტიმულის ის ინტენსივობა, რომელზეც ცდის პირს შეუძლია ამოიცნოს სტიმულის არსებობა, ან აღმოაჩინოს განსხვავება სტიმულებს შორის. ჩვენს ექსპერიმენტებში bisection ან ვერნიერის სიმახვილის ზღურბლებს განვსაზღვრავდით სწორი პასუხების 75%-ით (adaptive staircase method and maximum likelihood estimation of the parameters of the psychometric function (PEST; Taylor & Creelman, 1967)). ამ მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ bisection ან ვერნიერის სტიმულის საწყისი გადახრა (ცენტრალური ხაზის მდებარეობა პირველ შემთხვევაში და ქვემოთა ხაზის მდებარეობა ზედას მიმართ) არის მაქსიმალური და ყოველი მომდევნო წარდგენისას გადახრა მცირდება ან იზრდება, წინა პასუხის შესაბამისად, ანუ სწორი პასუხის შემდეგ გადახრა მცირდება, ხოლო შეცდომით პასუხი შემდეგ – გადახრა ისევ იზრდება.

ყველა ფსიქოფიზიკური ექსპერიმენტები შესრულდა ი. ბერიტაშვილის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტში, ქცევისა და კოგნიტიური ფუნქციების განყოფილებაში.

### 2.1. 1. ცდის პირები

ცდაში მონაწილეობას იღებდნენ ჯანმრთელი ცდის პირები, რომელთა მხედველობითი სიმახვილე იყო ნორმალური, ან კორექტირებული ნორმალურამდე (20/20, Freiburg Visual Acuity Test (Bach, 1996)). ექსპერიმენტის დაწყებამდე ცდის პირს განემარტებოდა ექსპერიმენტის არსი, ეძლეოდა დეტალური ინსტრუქცია, თუ როგორ უნდა შეესრულებინა დავალება. ცდის პირს ასევე განემარტებოდა, რომ მას შეეძლო ნებისმიერ მომენტში შეეწყვიტა დავალების შესრულება და უარი ეთქვა ექსპერიმენტის გაგრძელებაზე. ცდის დაწყების წინ იგი ხელს აწერდა ექსპერიმენტში მონაწილეობაზე თანხმობის ფორმას, ბიოსამედიცინო კვლევების საერთაშორისო ეთიკური კომისიის წესდების შესაბამისად (2002). ყველა ექსპერიმენტში მონაწილეობდა ცდის პირთა ახალი კონტინგენტი, რათა თავიდან აგვეცილებინა წინა ექსპერიმენტის ტრენირების გავლენა.

### 2.1.2. საექსპერიმენტო მოწყობილობა და სტიმულები

პერცეპტუალური დასწავლის ექსპერიმენტებში ვიყენებდით ორად გაყოფის ამოცანას (Bisection task) და სტიმულებს (Bisection stimuli) და ვერნიერის სტიმულებს (Vernier stimuli) (სურათი 3). ამ ამოცანებს ხშირად Bisection acuity და Vernier acuity ამოცანებსაც უწოდებენ.

Bisection სტიმული შედგება სამი ელემენტისგან (ხაზები, ან წერტილები), რომელთაგან ორი ნაპირა ელემენტი შემოსაზღვრავს გარკვეული სიგანის მონაკვეთს, ხოლო მესამე ცენტრალური ელემენტი კი ამ მონაკვეთს ყოფს ორად. ყოველი წარდგენისას ცენტრალური ელემენტი ან მარჯვენა ან მარცხენა შემომსაზღვრელი ელემენტისკენაა ცოტათი წანაცვლებული (სურათი 3) და ცდის პირმა კომპიუტერის კლავიატურის შესაბამის (მარჯვენა ან მარცხენა) ღილაკზე ხელის დაჭერით უნდა



უპასუხოს, უფრო მარჯვნივაა ის, თუ უფრო მარცხნივ. ტრენირების შემდეგ მიღებული გაუმჯობესება კი გამოიხატება ცენტრალური ელემენტის წანაცვლების მანძილის შემცირებით (ანუ ვარჯიშის შემდეგ ცდის პირი ამჩნევს და პასუხობს უფრო მცირე წანაცვლებას, ვიდრე ვარჯიშის დასაწყისში ამჩნევდა).

ვერნიერის სტიმული წარმოადგენს ორ ხაზს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ მცირედაა წანაცვლებული (სურათი 3). ცდის პირის ამოცანაა, კომპიუტერის კლავიატურის შესაბამის (მარჯვენა ან მარცხენა) ღილაკზე ხელის დაჭერით უპასუხოს სტიმულის ქვედა ხაზი ზედას მიმართ უფრო მარჯვნივაა, თუ უფრო მარცხნივ. ტრენირების შემდეგ მიღებული გაუმჯობესება კი გამოიხატება ქვედა ხაზის წანაცვლების მანძილის შემცირებით (ანუ ვარჯიშის შემდეგ ცდის პირი ამჩნევს უფრო მცირე წანაცვლებას, ვიდრე ვარჯიშის დასაწყისში ხედავდა).

როგორც ვერნიერის, ასევე Bisection ამოცანები მიეკუთვნება ე.წ. ჰიპერსიმახვილის ამოცანებს (hyperacuity tasks) და საკმაოდ წარმატებულად გამოიყენება პერცეპტუალური დასწავლის ფენომენის შესასწავლად. ასეთ ამოცანებს ჰიპერსიმახვილის ამოცანას უწოდებენ იმიტომ, რომ ხშირ შემთხვევაში გაუვარჯიშებელ ცდის პირსაც კი შეუძლია მიაღწიოს 10" (არკსეკუნდი) შესრულების ზღურბლს (Harris & Fahle, 1995). ასეთი ზღურბლი კი მცირეა ბადურის ფოვიაზე განლაგებულ ფოტორეცეპტორებს შორის მანძილზე. ჰიპერსიმახვილის ამოცანები კარგია პერცეპტუალურ სისტემაში დასწავლის ფენომენის შესასწავლად, რადგან ის ქერქში მიმდინარე პროცესების საკმაოდ სენსიტიური საზომია (Fahle, 1991).

საექსპერიმენტო სტიმულების გენერირება და წარდგენა ხდებოდა სპეციალური კომპიუტერული პროგრამებით (SING) სამსუნგის ტიპის CRT მონიტორზე (Samsung SyncMaster 957DF), რომელიც იმართება სტანდარტული გრაფიკული ბარათით. ეკრანის ფერადი ნაწილის ზომა იყო 320მმ X 256მმ, ეკრანის გადაწყვეტა იყო 1280 X 1024 პიქსელი. სტიმულების წარდგენა ხდებოდა შავ ეკრანზე. სტიმულის განათებულობა იყო 100 კანდელი/მ<sup>2</sup>. ეკრანის განახლების ხარისხი იყო 75 ჰერცი. მანძილი ცდის პირიდან

კომპიუტერის ეკრანამდე იყო 5 მეტრი. ექსპერიმენტები ტარდებოდა ჩაბნელებულ ოთახში, სადაც ფონური განათება იყო 5 ლუქსი.

### Bisection სტიმული



შუა ხაზი წანაცვლებული მარჯვნივ



შუა ხაზი წანაცვლებულია მარცხნივ

### Vernier სტიმული



ქვედა ხაზი მარჯვნივაა



ქვედა ხაზი მარცხნივაა

**სურათი 3.** ექსპერიმენტებში გამოყენებული სტიმულების ზოგადი სურათი. ნაჩვენებია მდებარეობები, რომლებზეც ცდის პირი პასუხობს კომპიუტერის შესაბამის ლილაკზე ხელის დაჭერით.

### 2.1.3. ექსპერიმენტის პროცედურა

ექსპერიმენტის პროცედურა ყველა სახის ექსპერიმენტისთვის თითქმის ერთნაირი იყო: ექსპერიმენტის დაწყების წინ ცდის პირი ხელს აწერდა ინფორმირებული თანხმობის ფორმას. რომელშიც განმარტებული იყო ექსპერიმენტის არსი და რომლის მიხედვითაც, ცდის პირი აცხადებდა თანხმობას ექსპერიმენტში მონაწილეობაზე. შემდეგ ვზომავდით მხედველობის სიმახვილეს ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test). ექსპერიმენტში მონაწილეობას იღებდა კარგი მხედველობის მქონე პირი, ხოლო ისინი ვისაც არ ჰქონდა ნორმალური, ან სათვალთ ნორმალურამდე კორექტირებული მხედველობა, არ იღებდნენ მონაწილეობას ექსპერიმენტის პროცედურაში.

ცდის პირი იჯდა კომპიუტერის ეკრანიდან 5 მეტრის მანძილზე და პასუხს აფიქსირებდა კომპიუტერის კლავიატურის მარჯვენა ან მარცხენა ღილაკზე ხელის დაჭერით. ეკრანზე სტიმული ჩნდებოდა დაახლოებით 150-500 მსეკ-ით, შემდეგ მას მოჰყვებოდა ბნელი ინტერვალი 3000 მსეკ-ის ხანგრძლივობით, რომლის დროსაც ცდის პირს უნდა დაეფიქსირებინა პასუხი. პასუხის დაფიქსირების შემდეგ ჩნდებოდა შემდეგი სტიმული და ა.შ. სხვადასხვა ექსპერიმენტისათვის ვარჯიში გრძელდებოდა 2 - 5 სესია, ამოცანის სპეციფიკიდან გამომდინარე. სესიები დაყოფილი იყო ბლოკებად, რომელთა განმავლობაშიც ცდის პირი შესვენების გარეშე ვარჯიშობდა. ერთი ბლოკის განმავლობაში სტიმულების წარდგენების რაოდენობა იყო 60, 80 ან 120, ექსპერიმენტის სპეციფიკიდან გამომდინარე. ერთი სესიის ხანგრძლივობა იყო დაახლოებით 60-70 წუთი. ცდის პირს საშუალება ჰქონდა, შეესვენებინა სესიის განმავლობაში ბლოკებს შორის 5-10 წუთი, რათა თავიდან აგვეცილებინა დაღლა. შეცდომების დროს ცდის პირს ეძლეოდა გაფრთხილება (error feedback), რაც გამოიხატებოდა კომპიუტერის მიერ გენერირებული აუდიტორული სიგნალით.

ჩვეულებრივ, პერცეპტუალური დასწავლის ექსპერიმენტებში ვარჯიშის

დაწყებამდე ხდება საკონტროლო გაზომვები, რაც გულისხმობს იმ სტიმულების დისკრიმინაციის დონის შეფასებას, რომლებზეც უნდა მოხდეს ვარჯიში. ვარჯიშის შემდეგ ისევ ხდება საკონტროლო გაზომვა, რათა შეფასდეს, მოხდა თუ არა გაუმჯობესება მოცემული სტიმულის დისკრიმინაციაში (გაუმჯობესება გულისხმობს შესრულების ზღურბლის შემცირებას). საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით როგორც სავარჯიშოდ გამოყენებულ, ასევე სხვა სახის სტიმულებსაც, რომლებიც სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმულებისაგან განსხვავდებოდნენ ზომით ან ორიენტაციით, რათა შეგვეფასებინა, მოხდებოდა თუ არა დასწავლის გადატანა არანავარჯიშებ სტიმულზეც (ანუ ერთი სტიმულის დისკრიმინაციის დონის გაუმჯობესება რა გავლენას მოახდენდა სხვა სტიმულის დისკრიმინაციის დონეზე). როგორც პრე-, ასევე პოსტ-ტესტირებისას თითოეული სტიმულის დისკრიმინაციის დონის შეფასება ხდებოდა გაზომვათა 2 ბლოკში, თითოეულ ბლოკში მხოლოდ ერთი სახის სტიმულის წარდგენა ხდებოდა (წარდგენათა რაოდენობა ყველა სახის ექსპერიმენტში იყო 80).

ჩვენ სხვადასხვა ექსპერიმენტში ვცვლიდით სავარჯიშო სტიმულების ზომას და ორიენტაციას, ფერს, ასევე ტრენირებას ვახდენდით სხვადასხვა ხანგრძლივობით და თანმიმდევრობით (უფრო დეტალური აღწერა იხილეთ ქვემოთ); ამასთან, ექსპერიმენტის პროცედურა, საექსპერიმენტო მოწყობილობა, ცდის პირის ამოცანა და შემდეგ მიღებული შედეგების დამუშავების პროცედურა ყველა სახის ექსპერიმენტში ერთნაირი იყო.

#### 2.1.4. მიღებული შედეგების დამუშავება და ანალიზი

ყოველი ბლოკის შემდეგ, საექსპერიმენტო პროგრამა მთავრდებოდა და გვაძლევდა შედეგების შემცველ ფაილს (ე.წ. .datview.dv file), რომელშიც მოცემული იყო შესრულების ზღურბლი, ანუ იმ წანაცვლების საშუალო მანძილი, რომელსაც ცდის პირი სწორად ხედავდა და პასუხობდა წარდგენათა 75%-ში (PEST; Taylor & Creelman, 1967). თითოეული ცდის პირისთვის ვითვლიდით ზღურბლების საშუალო მაჩვენებელს და სტანდარტულ შეცდომებს სესიის განმავლობაში. იმის შესამოწმებლად, მივიღეთ თუ არა დასწავლის ეფექტი, თითოეული ცდის პირის მოცემისთვის ინდივიდუალურად ვავლებდით რეგრესიის ხაზს და ვითვლიდით გადახრას ამ რეგრესიის ხაზისთვის (slopes of regression lines). იმის შესამოწმებლად, სტატისტიკურად სარწმუნო იყო თუ არა ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული დისკრიმინაციის ზღურბლების გაუმჯობესება, ვიყენებდით  $t$ -ტესტს (one-sample  $t$ -test,  $\alpha = 0.05$ ), ანუ რეგრესიის ხაზის გადახრას ვადარებდით ნულოვან გადახრასთან (ნულოვანი ჰიპოთეზა, არ არის გაუმჯობესება).

საკონტროლო გაზომვებში მიღებული გაუმჯობესების შესამოწმებლად ვითვლიდით პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების საშუალო მნიშვნელობების შეფარდების კოეფიციენტებს. თუ კოეფიციენტი იყო 1-ის ქვემოთ, ეს მიუთითებდა შესრულების გაუმჯობესებას ტრენირების შედეგად. იმის შესამოწმებლად, სტატისტიკურად სარწმუნო იყო თუ არა ეს გაუმჯობესება, ვიყენებდით  $t$ -ტესტს (paired  $t$ -test,  $\alpha = 0.05$ ).

## 2.2. ჩატარებული ექსპერიმენტები და მიღებული შედეგები

ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ bisection სტიმულზე ხანმოკლე ტრენირება საკმარისი დასწავლის ეფექტის მისაღებად. თუმცა დასწავლის ასე სწრაფად მიღება ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ტრენირება ხდება ერთ კონკრეტულ სტიმულზე (ან სტიმულის მხოლოდ ერთ ნიშანზე). ითვლებოდა, რომ დასწავლის ეფექტი არ მიიღება, თუ სტიმულის ორ ან მეტ ვარიანტზე ერთდროულად ხდება ტრენირება. ფსიქოფიზიკურ კვლევებში ისეთ პარადიგმას, როდესაც სტიმულის ორი ან მეტი ვარიანტის წარდგენა ხდება შემთხვევითი თანმიმდევრობით, უწოდებენ სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პარადიგმას (ე.წ. roving condition). ჩვენი კვლევის მიზანი იყო, შეგვესწავლა, ხდება თუ არა გაუმჯობესების მიღება, ანუ დასწავლის ეფექტის მიღება ერთდროულად ერთი სტიმულის ორ ვარიანტზე ტრენირების შედეგად, და აქვს თუ არა სტიმულების წარდგენის თანმიმდევრობას და ტრენირების ხანგრძლივობას რაიმე გავლენა დასწავლაზე, და შესაბამისად ტვინში მიმდინარე პლასტიკურ პროცესებზე.

### 2.2.1. ექსპერიმენტი 1

პირველ ექსპერიმენტში ცდის პირების ტრენირება ხდებოდა Bisection სტიმულის ორ ვარიანტზე ერთი სესიის განმავლობაში, ისე რომ ერთი ბლოკის დროს წარდგენილი იყო მხოლოდ ერთი სახის სტიმული, მომდევნო ბლოკში მეორე სახის სტიმული და ასე შემდეგ.

#### *ცდის პირები*

ამ ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 18-დან 50 წლამდე ასაკის, ორივე სქესის 9 ცდის

პირი (4 მამრობითი სქესის და 5 მდედრობითი სქესის). ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 სიმახვილეს შეესაბამება). ექსპერიმენტის დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ ინფორმირებული თანხმობის ფორმას.

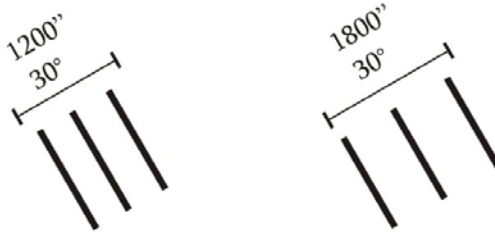
### **სტიმულები და პროცედურა**

ტრენირება ხდებოდა ერთნაირი ორიენტაციის (კერძოდ, 30°-ზე ორიენტირებული) 1200'' და 1800'' სიგანის მქონე სტიმულებზე. სტიმულები ჩნდებოდა ერთი და იგივე ადგილას, ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით ტრენირებისას გამოყენებულ ორივე სტიმულს და ასევე ერთ დამატებით სტიმულს, კერძოდ, (-30°)-ზე ორიენტირებულ 1800'' სიგანის სტიმულს (სურათი 4).

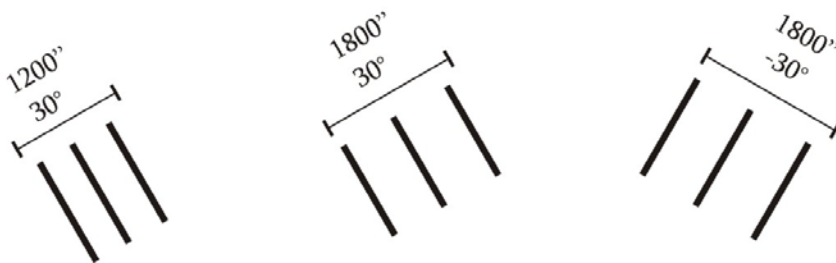
ტრენირება მიმდინარეობდა 3 დღის განმავლობაში, 3 სესიად, რომელიც 64 ბლოკად იყო დაყოფილი (32 ბლოკი თითოეული სტიმულისათვის). ცდის პირი ვარჯიშობდა დღეში მხოლოდ ერთი სესია. პირველ დღეს ვახდენდით საკონტროლო გაზომვებს (პრე-ტესტირება) და 15 წუთით შესვენების შემდეგ ვიწყებდით ტრენირების პროცედურას. ამ დღეს ცდის პირი ვარჯიშობდა 20 ბლოკის განმავლობაში. თითოეული ბლოკი შედგებოდა სტიმულის 60 წარდგენისაგან (1920 წარდგენა თითოეული სტიმულისათვის). ერთი ბლოკის განმავლობაში ცდის პირი ვარჯიშობდა მხოლოდ ერთი სახის სტიმულის დისკრიმინაციაზე (მაგ, 30°, 1200''), მეორე ბლოკში მეორე სტიმულზე (30°, 1800''), მესამეში ისევ პირველზე და ასე შემდეგ. მეორე დღეს ტრენირება ხდებოდა იგივე პრინციპით, მხოლოდ ამ დღეს ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 24 ბლოკის განმავლობაში. მესამე დღეს ტრენირება ხდებოდა 20 ბლოკის განმავლობაში. ამ დღეს

ტრენირების დასრულების შემდეგ ცდის პირი ისვენებდა სულ მცირე 15 წუთით მაინც, შემდეგ ისევ ვახდენდით საკონტროლო გაზომვებს (პოსტ-ტესტირება).

### სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმულები



### საკონტროლო გაზომვებში გამოყენებული სტიმულები



**სურათი 4.** 1, 2 და 3 ექსპერიმენტებში გამოყენებული Bisection სტიმულები. ცდის პირის ამოცანაა, კომპიუტერის შესაბამის დილაკზე ხელის დაჭერით უპასუხოს ცენტრალური ხაზის მდებარეობაზე, ანუ უფრო მარჯვნივ მდებარეობს ის, თუ უფრო მარცხნივ.

### მიღებული შედეგები

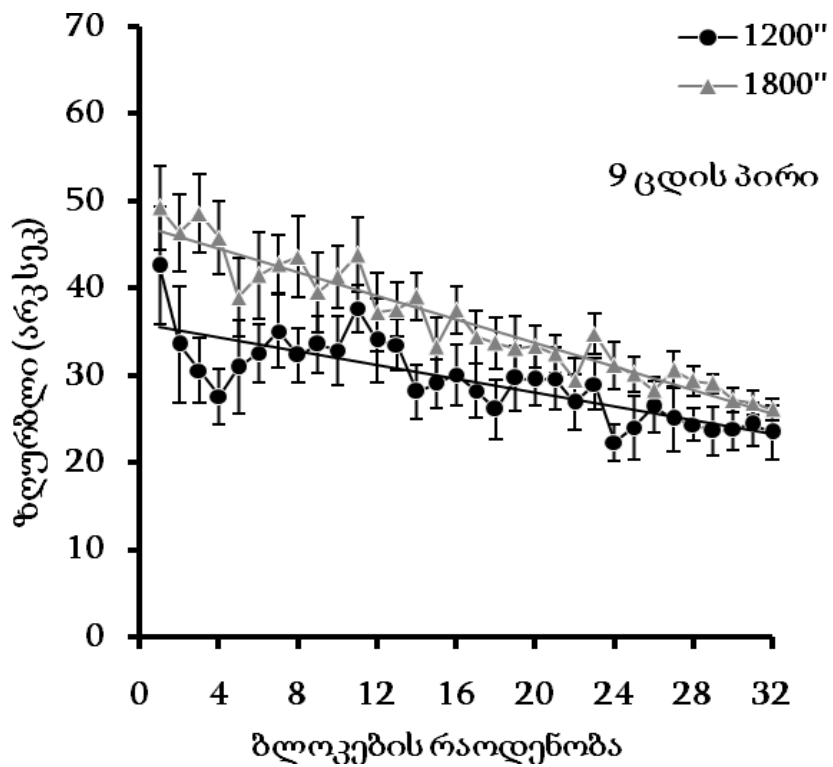
ამ ექსპერიმენტში ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 64 ბლოკის განმავლობაში (3840 წარდგენა სულ ორივე სტიმულისათვის). ტრენირების შედეგადაც მივიღეთ დისკრიმინაციის შესრულების შესამჩნევი გაუმჯობესება. მე-5 სურათზე მოცემულია გრაფიკი, რომელიც ასახავს ვარჯიშის შედეგად ზღურბლების ცვლილებას ბლოკების



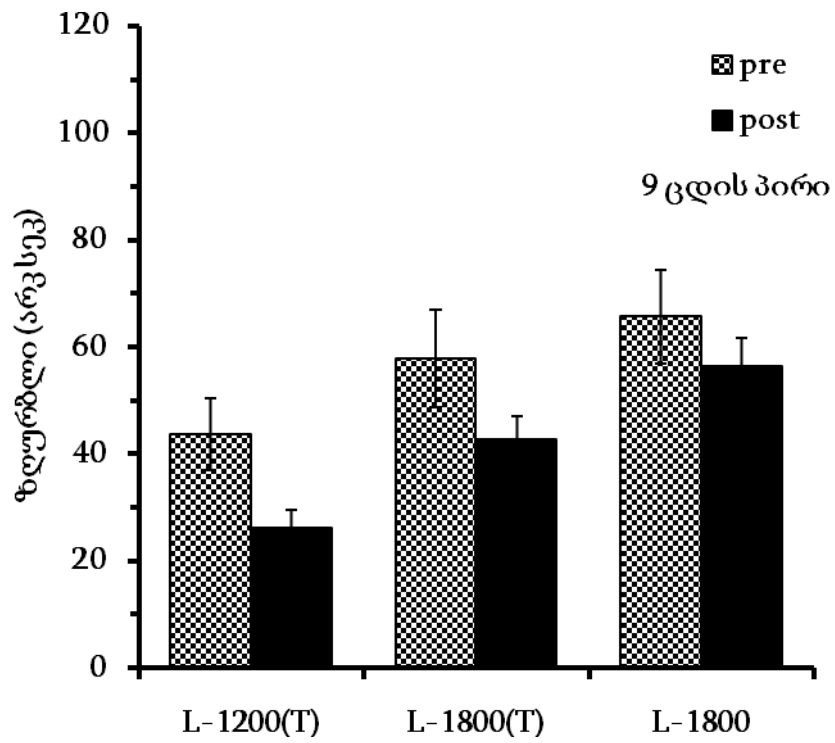
განმავლობაში. გრაფიკზე მოცემულია ყველა ცდის პირის შესრულების ზღურბლების საშუალო მნიშვნელობები.

ტრენირების დროს ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1200'' სტიმულისათვის იყო -0,15-დან -0,68-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,39; სტანდარტული შეცდომა: 0,07). ტრენირების შედეგად მიღებული გაუმჯობესება 1200'' სტიმულისათვის იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,007$ ). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1800'' სტიმულისათვის იყო -0,25-დან -1,19-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,68; სტანდარტული შეცდომა: 0,11). მიღებული გაუმჯობესება ამ შემთხვევაშიც იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,002$ ).

საკონტროლო გაზომვების შედეგად მიღებული პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შედარება მოცემულია მე-6 სურათზე. საკონტროლო გაზომვების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები ყველა სტიმულისათვის იყო 1-ის ქვემოთ (1200'' - 0,6; 1800'' - 0,7; -1800'' - 0,92), რაც მიუთითებს იმას, რომ მივიღეთ გარკვეული გაუმჯობესება. საკონტროლო გაზომვებში მიღებული გაუმჯობესება სტატისტიკურად სარწმუნო იყო ტრენირების დროს გამოყენებული 1200'' სტიმულისათვის ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,003$ ), ასევე 1800'' სტიმულისათვისაც ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,04$ ). -1800'' სტიმულისათვის სარწმუნო გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,19$ ), რაც სტიმულის ორიენტაციით უნდა იყოს განპირობებული.



**სურათი 5.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღურბლი. გრაფიკზე მოცემულია 9 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 32 ბლოკისათვის. ცდის პირები 64 ბლოკის განმავლობაში ვარჯიშობდნენ ორი სახის სტიმულების დისკრიმინაციაზე (32 ბლოკი თითოეული სტიმულისათვის). ტრენირების შედეგად შესრულება მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა, რასაც ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.



**სურათი 3.1.2.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღუბლი საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ტრენირების დროს გამოყენებულ სტიმულებისთვის პოსტ-ტესტირებისას მნიშვნელოვნად დაიწია ზღურბლებმა.

## 2.2.2. ექსპერიმენტი 2

პირველ ექსპერიმენტში ვნახეთ, რომ როდესაც ტრენირება ხდება მხოლოდ ერთნაირ სტიმულზე ერთი ბლოკის განმავლობაში, დასწავლის ეფექტი მიიღება. შემდეგ ექსპერიმენტში შევცვალეთ ტრენირებისას სტიმულების წარდგენის თავისებურება. სავარჯიშოდ ვიყენებდით იგივე 2 სახის სტიმულს, მაგრამ ამ შემთხვევაში სტიმულების წარდგენა ხდებოდა მონაცვლეობით ბლოკის განმავლობაში, ანუ პირველ ჯერზე ჩნდებოდა ერთი სახის სტიმული, შემდეგ მეორე, შემდეგ ისევ პირველი და ასე შემდეგ, ერთი ბლოკის განმავლობაში, ისე რომ ცდის პირმა იცოდა, თუ როგორი იქნებოდა ყოველი მომდევნო სტიმული. გვინდოდა გვენახა, რა გავლენას ახდენს წინასწარი ცოდნა და მოლოდინი დასწავლის ეფექტზე, როდესაც ორი სახის სტიმულის მონაცვლეობით წარდგენა ხდება.

### *ცდის პირები*

ამ ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 19-დან 30 წლამდე ასაკის, ორივე სქესის 9 ცდის პირი (4 მამრობითი სქესის და 5 მდედრობითი სქესის). ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 შეესაბამება). ექსპერიმენტის დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ ინფორმირებული თანხმობის ფორმას.

### *სტიმულები და პროცედურა*

ტრენირება ხდებოდა იგივე სტიმულებზე, რაც პირველ ექსპერიმენტში, კერძოდ, 30°-ზე ორიენტირებული 1200'' და 1800'' სიგანის სტიმულებზე. სტიმულები ჩნდებოდა

ერთი და იგივე ადგილას, ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით სავარჯიშოდ გამოყენებულ ორივე სტიმულს და ასევე ერთ დამატებით სტიმულს, კერძოდ, (-30°)-ზე ორიენტირებულ 1800” სიგანის სტიმულს (სურათი 4).

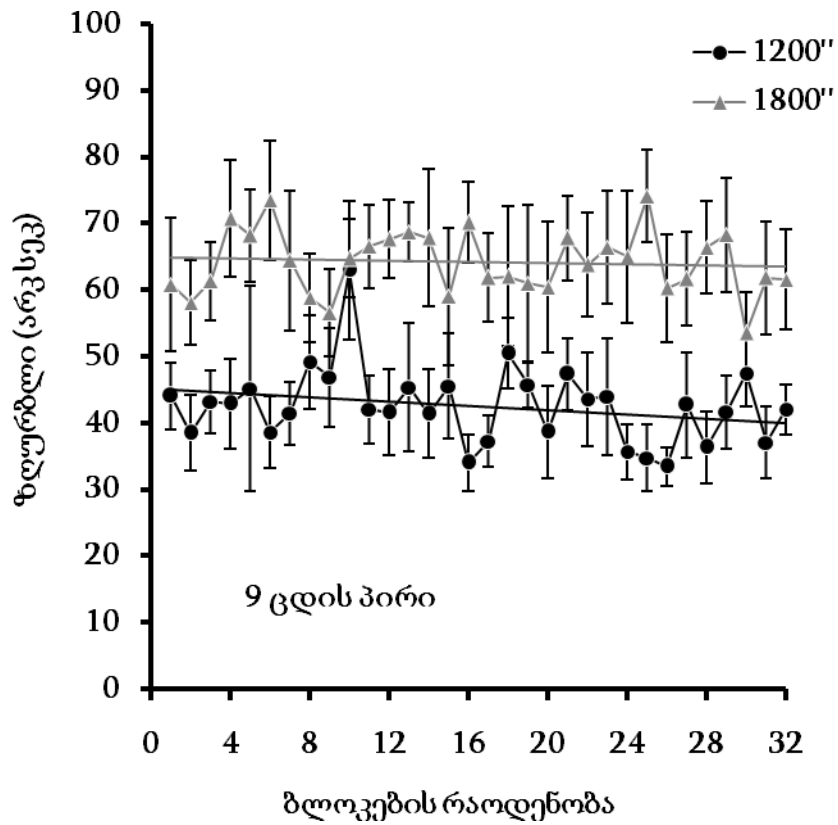
ტრენირება მიმდინარეობდა 3 დღის განმავლობაში, 3 სესიად, რომელიც 32 ბლოკად იყო დაყოფილი. ცდის პირი ვარჯიშობდა დღეში მხოლოდ ერთი სესია. პირველ დღეს ვახდენდით საკონტროლო გაზომვებს (პრე-ტესტირება) და 15 წუთით შესვენების შემდეგ ვიწყებდით ტრენირების პროცედურას. ამ დღეს ცდის პირი ვარჯიშობდა 10 ბლოკის განმავლობაში. თითოეული ბლოკი შედგებოდა სტიმულების 120 წარდგენისაგან (60 წარდგენა თითოეული სტიმულისათვის). ერთი ბლოკის განმავლობაში ცდის პირი ვარჯიშობდა ორიენიანი სტიმულის დისკრიმინაციაზე, ისე რომ ეს ორი სტიმული თანმიმდევრობით ენაცვლებოდა ერთმანეთს (მაგ, პირველად ჩნდებოდა 30°, 1200” სტიმული, შემდეგ 30°, 1800”, შემდეგ ისევ 30°, 1200” და ასე შემდეგ მთელი ბლოკის და სესიის განმავლობაში). მეორე დღეს ტრენირება ხდებოდა იგივე პრინციპით, მხოლოდ ამ დღეს ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 12 ბლოკის განმავლობაში. მესამე დღეს ტრენირება ხდებოდა 10 ბლოკის განმავლობაში. ამავე დღეს, ტრენირების დასრულების შემდეგ ცდის პირი ისვენებდა სულ მცირე 15 წუთით მაინც, შემდეგ ისევ ვახდენდით საკონტროლო გაზომვებს (პოსტ-ტესტირება).

### ***მიღებული შედეგები***

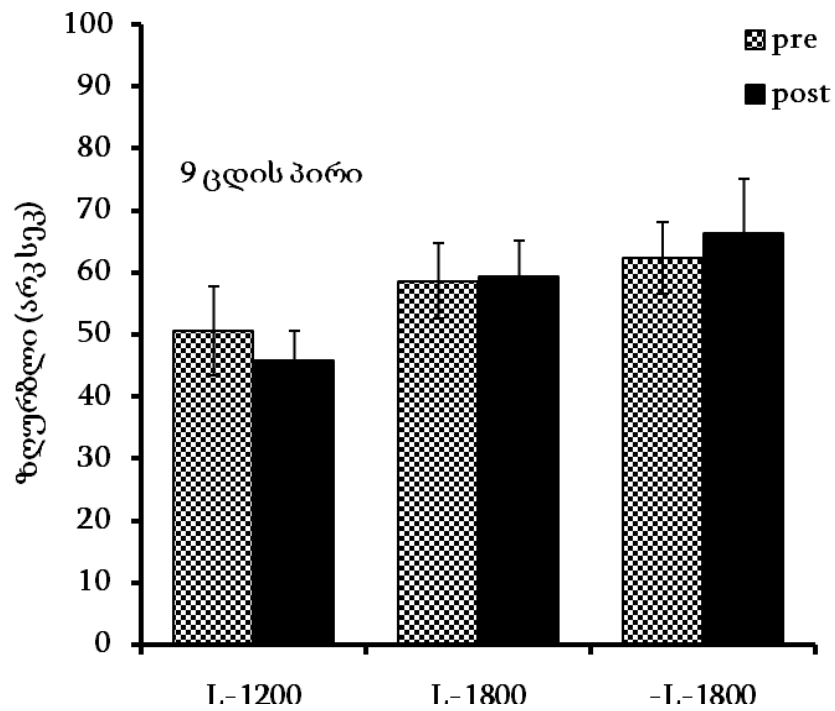
ზემოთ აღწერილ ექსპერიმენტში ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 32 ბლოკის განმავლობაში (3840 წარდგენა სულ ორივე სტიმულისათვის, შესაბამისად 1920 წარდგენა თითოეულისთვის), რომლის დროსაც ხდებოდა 2 სხვადასხვა სტიმულის თანმიმდევრულად წარდგენა. ასეთი ტრენირების შედეგად ვერ მივიღეთ შესამჩნევი გაუმჯობესება დავალების შესრულებაში (სურათი 7). ინდივიდუალურად

განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1200” სტიმულისათვის იყო -0,63-დან 0,25-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,17; სტანდარტული შეცდომა: 0,11). მიღებული შედეგი არ იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,160$ ). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1800” სტიმულისათვის მერყეობდა -0,54-დან 0,84-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,015; სტანდარტული შეცდომა: 0,16). ვერც ამ შემთხვევაში მივიღეთ სტატისტიკურად სარწმუნო გაუმჯობესება ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,930$ ).

საკონტროლო გაზომვების შედეგად მიღებული ზღურბლების შედარება მოცემულია მე-8 სურათზე. პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები იყო 1-თან ახლოს, რაც მიუთითებს იმას, რომ შესრულების გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ. კერძოდ, 1200” სტიმულისათვის კოეფიციენტები იყო 0,4-დან 1,47-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 0,97; სტანდარტული შეცდომა: 0,10); 1800” სტიმულისათვის – 0,6-დან 1,6-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 1,03, სტანდარტული შეცდომა: 0,81); -1800” სტიმულისათვის – 0,64-დან 2,4-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 1,07; სტანდარტული შეცდომა: 0,72). საკონტროლო გაზომვებში მიღებული შედეგები ასევე მიუთითებს, რომ დასწავლის ეფექტი ვერ მივიღეთ: 1200” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,810$ ; ხოლო 1800” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,766$ .



**სურათი 7.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღურბლი. გრაფიკზე მოცემულია 9 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 32 ბლოკისათვის. ცდის პირები 32 ბლოკის განმავლობაში ვარჯიშობდნენ ორი სახის სტიმულის დისკრიმინაციაზე, როდესაც ეს სტიმულები თანმიმდევრულად ენაცვლებოდა ერთმანეთს ბლოკის განმავლობაში. ტრენირების შედეგად შესრულება არ გაუმჯობესდა, რასაც ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის სისწორეც მიუთითებს.



**სურათი 8.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღურბლი საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას). როგორც სურათიდან ჩანს, პოსტ-ტესტირების ზღურბლებმა კი არ დაიკლო, არამედ გაუარესდა 1800” სტიმულებისათვის.



### 2.2.3. ექსპერიმენტი 3

როგორც წინა ექსპერიმენტის შედეგებიდან ვნახეთ, სტიმულთა მონაცვლეობითი წარდგენა ხელს უშლის დასწავლის ეფექტის მიღებას. მომდევნო ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ კლასიკური შემთხვევითი წარდგენის პარადიგმა (roving condition), სადაც ორი სტიმული შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარედგინება ერთი ბლოკის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში ცდის პირმა არ იცის, და არც შეუძლია გამოიცნოს, თუ როგორი იქნება ყოველი მომდევნო სტიმული.

#### *ცდის პირები*

ამ ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 20-დან 50 წლამდე ასაკის, ორივე სქესის 6 ცდის პირი (1 მამრობითი სქესის და 5 მდედრობითი სქესის). ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური ან ნორმალურამდე სათვალთ კორექტირებული მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 სიმახვილეს შეესაბამება). ექსპერიმენტის დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ ინფორმირებული თანხმობის ფორმას.

#### *სტიმულები და პროცედურა*

ტრენირება ხდებოდა იგივე სტიმულებზე, რაც პირველ და მეორე ექსპერიმენტებში, კერძოდ, 30°-ზე ორიენტირებული 1200'' და 1800'' სიგანის სტიმულებზე. სტიმულები ჩნდებოდა ერთი და იგივე ადგილზე, ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით სავარჯიშოდ გამოყენებულ ორივე სტიმულს და ასევე ერთ დამატებით სტიმულს, კერძოდ (-30°)-ზე

ორიენტირებულ 1800” სიგანის სტიმულს (სურათი 4).

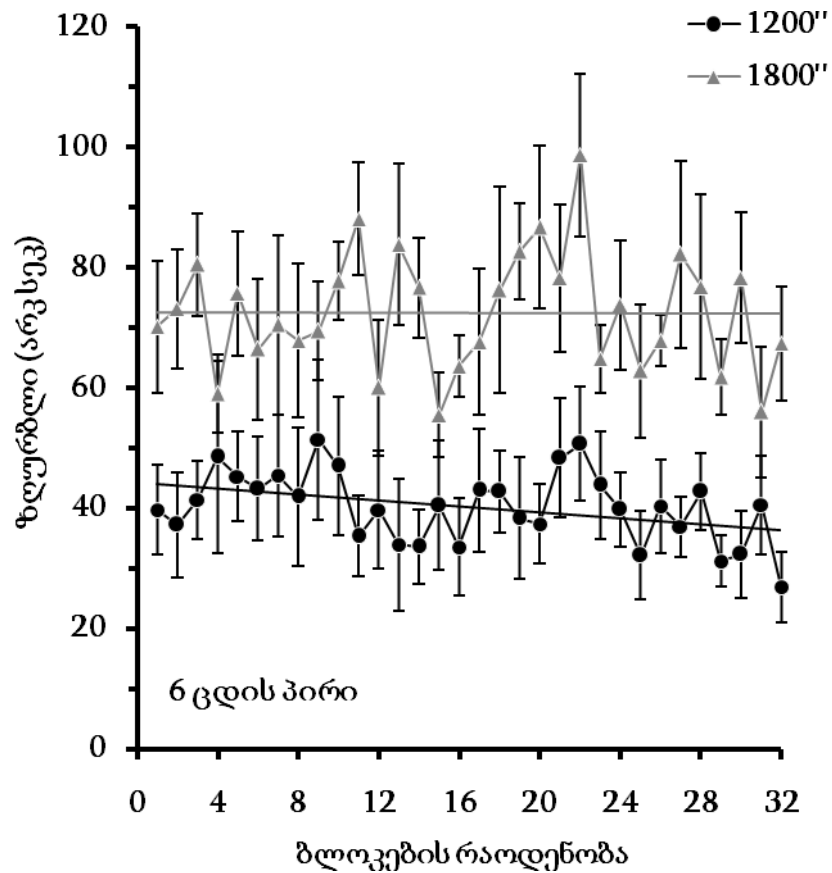
ვარჯიში მიმდინარეობდა 3 დღის განმავლობაში, 3 სესიად, რომელიც 32 ბლოკად იყო დაყოფილი. ცდის პირი ვარჯიშობდა დღეში მხოლოდ ერთი სესია. პირველ დღეს ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პრე-ტესტირება) და 15 წუთით შესვენების შემდეგ ვიწყებდით ტრენირების პროცედურას. ამ დღეს ცდის პირი ვარჯიშობდა 10 ბლოკის განმავლობაში. თითოეული ბლოკი შედგებოდა სტიმულების 120 წარდგენისაგან (60 თითოეული სტიმულისათვის). ერთი ბლოკის განმავლობაში ცდის პირი ვარჯიშობდა ორივენაირ სტიმულის დისკრიმინაციაზე, ისე რომ ეს ორი სტიმული შემთხვევითი თანმიმდევრობით ენაცვლებოდა ერთმანეთს. მეორე დღეს ტრენირება ხდებოდა იგივე პრინციპით, მხოლოდ ამ დღეს ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 12 ბლოკის განმავლობაში. მესამე დღეს ტრენირება ხდებოდა 10 ბლოკის განმავლობაში. ამ ექსპერიმენტის დროსაც ორივე სტიმული წარედგინებოდა სულ 3840-ჯერ (1920-ჯერ თითოეული). ამავე დღეს ტრენირების დასრულების შემდეგ ცდის პირი ისვენებდა 15 წუთით, შემდეგ ისევ ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პოსტ-ტესტირება).

### *მიღებული შედეგები*

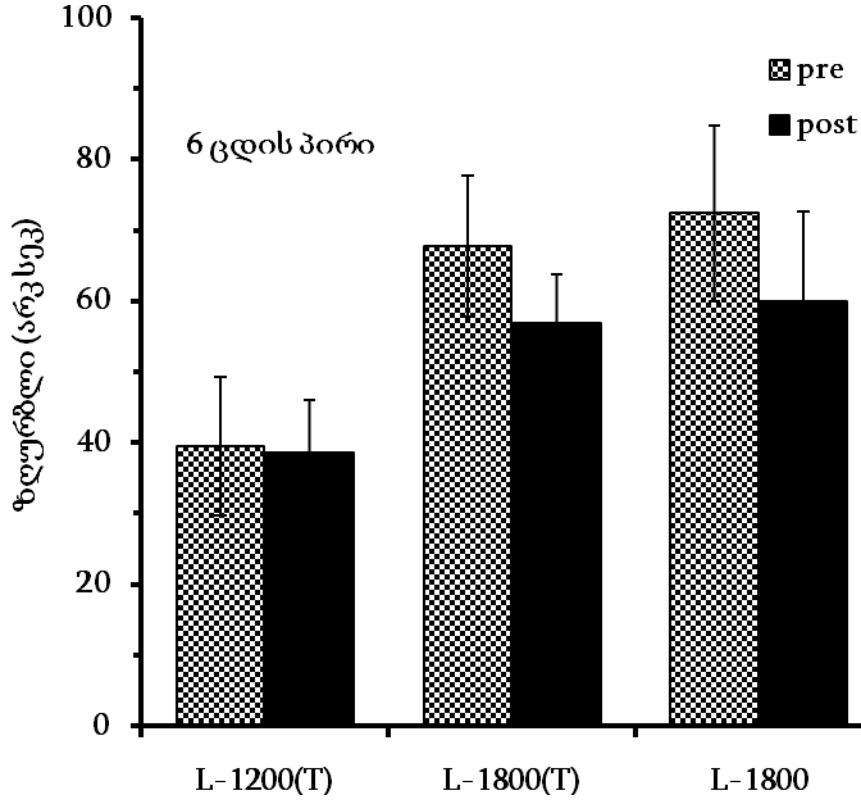
ამ ექსპერიმენტში ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 32 ბლოკის განმავლობაში (3840 წარდგენა სულ), რომლის დროსაც ცდის პირებს შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარედგინებოდათ 2 სხვადასხვა სტიმული. ტრენირების შემდეგ ვერ მივიღეთ შესამჩნევი გაუმჯობესება შესრულებაში (სურათი 9). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1200” სტიმულისათვის იყო -0,63-დან 0,32-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,25; სტანდარტული შეცდომა: 0,27). მიღებული გაუმჯობესება არ იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,406$ ). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1800” სტიმულისათვის მერყეობდა -0,58-დან 0,87-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 0,04;

სტანდარტული შეცდომა: 0,26). ამ შემთხვევაშიც დასწავლის ეფექტი ვერ მივიღეთ ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,883$ ).

საკონტროლო გაზომვების დროს, პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები იყო 1200” სტიმულისათვის 0,5-დან 2,3-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 1,17; სტანდარტული შეცდომა: 0,35); 1800” სტიმულისათვის – 0,5-დან 1,1-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 0,85, სტანდარტული შეცდომა: 0,09); -1800” სტიმულისათვის – 0,4-დან 1,1-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: 0,82; სტანდარტული შეცდომა: 0,13). მიუხედავად იმისა, რომ შეფარდების კოეფიციენტები 1-ის ქვემოთაა, მიღებული გაუმჯობესება არც ერთი სტიმულისათვის არ იყო სტატისტიკურად სარწმუნო: 1200” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,620$ ; ხოლო 1800” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,122$ ). საკონტროლო გაზომვების ზღურბლების შედარება მოცემულია მე-10 სურათზე.



**სურათი 9.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღვრული. გრაფიკზე მოცემულია 6 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 32 ბლოკისათვის. ცდის პირები 32 ბლოკის განმავლობაში ვარჯიშობდნენ ორი სახის სტიმულის დისკრიმინაციაზე, როდესაც ეს სტიმულები შემთხვევითი თანმიმდევრობით ენაცვლებოდა ერთმანეთს ბლოკის განმავლობაში. ტრენირების შედეგად შესრულება არ გაუმჯობესდა, რასაც ზღვრულებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.



**სურათი 10.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღუბლი საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას). მართალია პოსტ-ტესტირებისას ზღუბლებმა მცირედ დაიკლო, თუმცა სტატისტიკურად სარწმუნო გაუმჯობესება არ მიგვიღია.

#### 2.2.4. ექსპერიმენტი 4

მომდევნო ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ იგივე შემთხვევითი წარდგენის პარადიგმა (roving condition), სადაც ორი სტიმული შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარედგინება ერთი ბლოკის განმავლობაში, მაგრამ გავახანგრძლივეთ ტრენირების დრო, რათა გვენახა, მართლა შეუძლებელია დასწავლის ეფექტის მიღება სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენისას, თუ შესაძლებელია მისი მიღება, ოღონდ მხოლოდ ხანგრძლივი ტრენირებს შემდეგ.

#### *ცდის პირები*

ამ ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 20-დან 35 წლამდე ასაკის, ორივე სქესის 5 ცდის პირი (1 მამრობითი სქესის და 4 მდედრობითი სქესის). ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური ან ნორმალურამდე სათვალთ კორექტირებული მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 სიმახვილეს შეესაბამება). ცდების დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ თანხმობის ფორმას.

#### *სტიმულები და პროცედურა*

ტრენირება ხდებოდა ორი სახის სტიმულზე, კერძოდ, 90°-ზე ორიენტირებული (ჰორიზონტალური) 1200'' და 1800'' სიგანის სტიმულებზე. სტიმულები ჩნდებოდა ერთი და იგივე ადგილზე, ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით სავარჯიშოდ გამოყენებულ ორივე სტიმულს, და ასევე რამოდენიმე დამატებით სტიმულსაც, კერძოდ (-90°)-ზე ორიენტირებულ 1200'' და 1800''

სიგანის შემომსაზღვრელ წერტილებისაგან შედგენილ Bisection სტიმულებს და ასევე სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმულების ორთოგონალურ სტიმულებს, კერძოდ 0°-ზე ორიენტირებულ (ვერტიკალური) 1200” და 1800” სიგანის შემომსაზღვრელ ხაზებისგან შედგენილ Bisection სტიმულებს (სურათი 11).

ტრენირება მიმდინარეობდა 5 დღის განმავლობაში, 10 სესიად, რომელიც 150 ბლოკად იყო დაყოფილი. ცდის პირი ვარჯიშობდა დღეში ორჯერ, ორი სესიის განმავლობაში, ისე რომ შუალედი პირველ და მეორე სესიას შორის იყო არანაკლებ 3 საათისა. პირველ და მეხუთე დღეს ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პრე- და პოსტ-ტესტირება). ერთი სესია შედგებოდა 15 ბლოკისგან, თითოეული ბლოკი კი შედგებოდა სტიმულების 120 წარდგენისაგან (60 თითოეული სტიმულისათვის). ერთი ბლოკის განმავლობაში ცდის პირი ვარჯიშობდა ორივენაირი სტიმულების დისკრიმინაციაზე, ისე რომ ეს ორი სტიმული შემთხვევითი თანმიმდევრობით ენაცვლებოდა ერთმანეთს. ყველა დღეს ტრენირება ხდებოდა ერთი და იგივე პრინციპით.

### **მიღებული შედეგები**

ხანგრძლივი ტრენირების შედეგად (150 ბლოკი, 18000 წარდგენა სულ ორივე სტიმულისათვის, შესაბამისად 9000 წარდგენა თითოეულისათვის) მივიღეთ შესრულების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1800” სტიმულისათვის მერყეობდა -0,19-დან -0,07-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,12; სტანდარტული შეცდომა: 0,02). მიღებული გაუმჯობესება იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,006$ ). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა 1200” სტიმულისათვის მერყეობდა -0,25-დან 0,02-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,09; სტანდარტული შეცდომა: 0,05). ამ შემთხვევაში მიღებული გაუმჯობესება არ იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,168$ ), სავარაუდოდ ერთ-ერთი ცდის პირის მონაცემების გამო, რომელსაც ცდების

დასაწყისშივე ძალიან დაბალი შესრულების ზღურბლი ჰქონდა (რეგრესიის ხაზების გადახრა: 0,02; საშუალო ზღურბლი პირველ სამ ბლოკში: 20,8”). მე-12 სურათზე მოცემულია გრაფიკი, რომელიც ასახავს ხანგრძლივი ტრენირების შედეგებს ტრენირების ბლოკების შესაბამისად. მე-13 სურათზე კი მოცემულია გრაფიკი, რომელიც ასახავს ხანგრძლივი ტრენირების შედეგებს სესიების შესაბამისად. როგორც ჩანს, სტიმულთა შემთხვევითი წარდგენის პირობებში, შესრულების ზღურბლები თავდაპირველად უარესდება (დაახლოებით პირველი სამი სესია ჩვენს შემთხვევაში), ხოლო შემდგომი გახანგრძლივებული ტრენირების შედეგად შესრულების ზღურბლები იკლებს და დასწავლის ეფექტი ვითარდება.

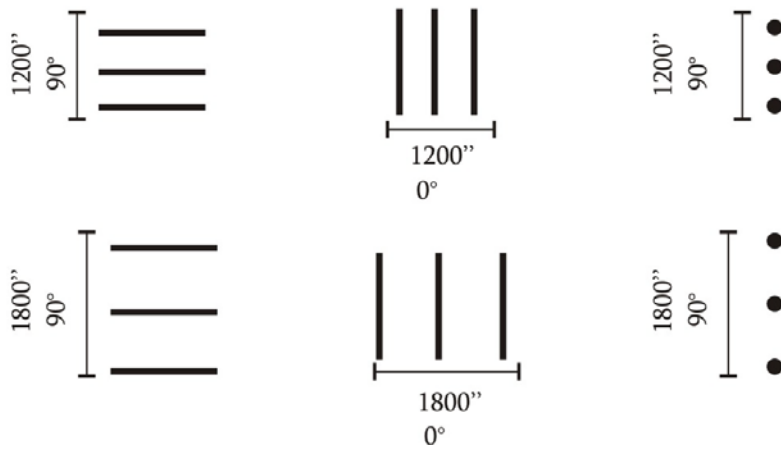
საკონტროლო გაზომვების დროს, პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები იყო 1-ის ქვემოთ. კერძოდ, 1200” სტიმულისათვის კოეფიციენტები იყო 0,39-დან 0,81-მდე, ხოლო 1800” სტიმულისათვის – 0,40-დან 0,72-მდე. საკონტროლო გაზომვებში მიღებული გაუმჯობესება სავარჯიშოდ გამოყენებული ორივე სახის სტიმულისათვის იყო სტატისტიკურად სარწმუნო (1200” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,004$ ; 1800” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,003$ ). მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება მივიღეთ ასევე დამატებით სტიმულებზეც, კერძოდ კი წერტილებისაგან შედგენილ სტიმულებზე, რომლებსაც იგივე ორიენტაცია ჰქონდათ როგორც სავარჯიშოდ გამოყენებულ სტიმულებს. 1200” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,003$ , ხოლო 1800” სტიმულისათვის  $t$ -ტესტი,  $p = 0,018$ . საკონტროლო გაზომვების ზღურბლების შედარება მოცემულია მე-14 სურათზე.



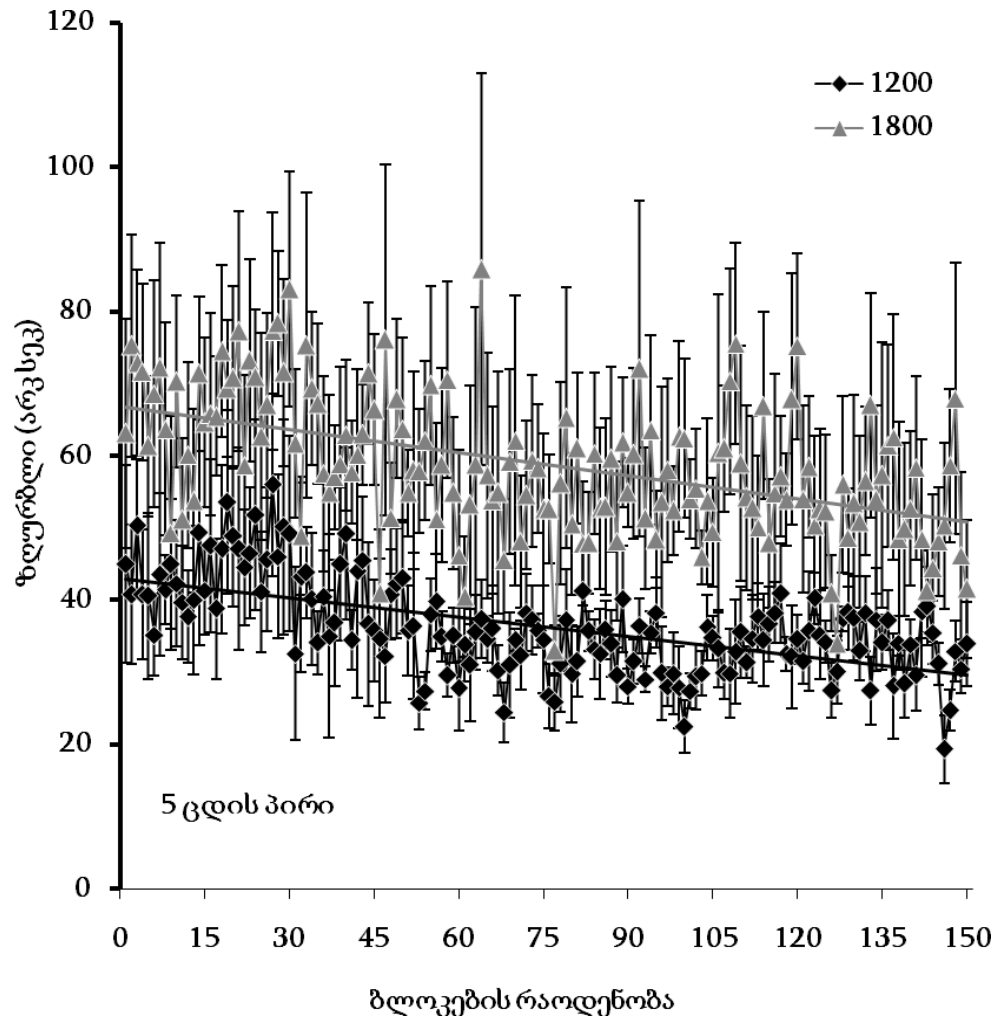
## სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმულები



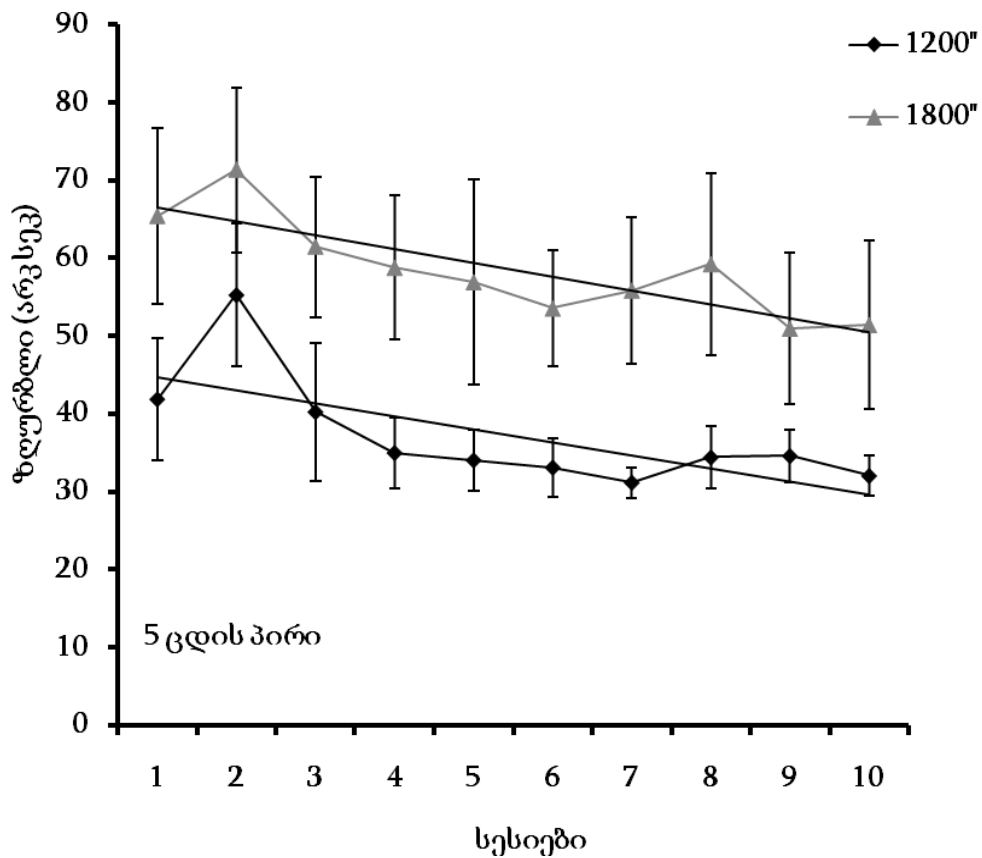
## საკონტროლო გაზომვებში გამოყენებული სტიმულები



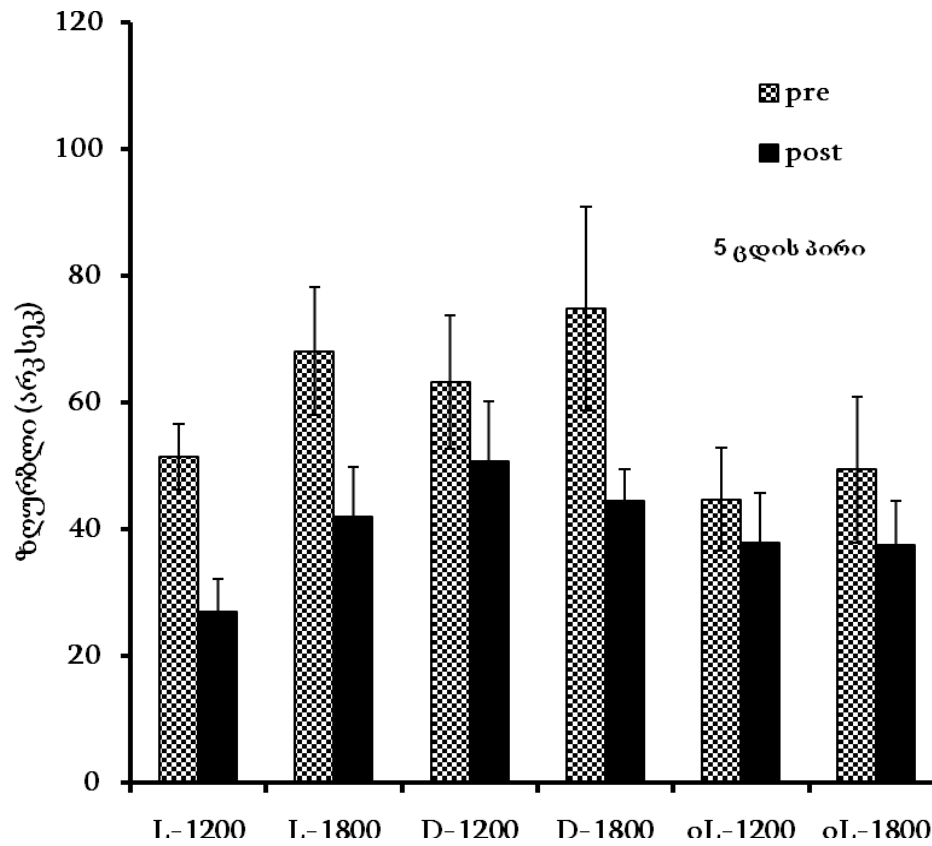
**სურათი 11.** 4 ექსპერიმენტში გამოყენებული Bisection სტიმულები. ცდის პირის ამოცანაა უპასუხოს, ცენტრალური ელემენტის (ხაზის ან წერტილის) უფრო ზემოთ, ან უფრო ქვემოთ (ან უფრო მარჯვნივ, ან უფრო მარცხნივ, ვერტიკალური სტიმულის შემთხვევაში) მდებარეობაზე, შესაბამის დილაკზე ხელის დაჭერით.



**სურათი 12.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღურბლი. გრაფიკზე მოცემულია 5 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 150 ბლოკისათვის. ცდის პირები 150 ბლოკის განმავლობაში ვარჯიშობდნენ ორი სახის სტიმულის დისკრიმინაციაზე, როდესაც ეს სტიმულები შემთხვევითი თანმიმდევრობით ენაცვლებოდა ერთმანეთს ბლოკის განმავლობაში. ტრენირების შედეგად მივიღეთ შესრულების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება, რასაც ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.



**სურათი 13.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღურბლების საშუალო სესიების დროს. გრაფიკზე მოცემულია 5 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 10 სესიისთვის. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ზღურბლები დაწევას იწყებს მე-3 სესიის შემდეგ. ტრენირების შედეგად მიღებულ გაუმჯობესებაზე ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.



**სურათი 14.** Bisection სტიმულების შესრულების ზღვრული საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას). შესრულება სტატისტიკურად სარწმუნოდ გაუმჯობესდა ტრენირების დროს გამოყენებული სტიმულებისთვის; მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა წერტილებისგან შედგენილი და იგივე ორიენტაციის სტიმულებისათვის, ხოლო ორთოგონალური სტიმულებისათვის შესრულების გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ, რაც ადასტურებს იმას, რომ პერცეპტუალური დასწავლის სპეციფიკურობა შენარჩუნებულია ხანგრძლივი ტრენირების შემდეგაც.

## 2.2.5. ექსპერიმენტი 5

ამ ექსპერიმენტებში ცდის პირების ტრენირება ხდებოდა ვერნიერის სტიმულის მხოლოდ ერთ ტიპზე, კერძოდ წითელი ფერის ვერნიერზე. წინა ექსპერიმენტებისგან განსხვავებით, ცდის პირები ვარჯიშობდნენ ხანმოკლე დროით, რადგან შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენა აღარ ხდებოდა.

### *ცდის პირები*

ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 20-დან 35 წლამდე ასაკის, მდედორნითი სქესის 10 ცდის პირი. ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური ან ნორმალურამდე სათვალთ კორექტირებული მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 სიმახვილეს შეესაბამება). ცდების დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ თანხმობის ფორმას.

### *სტიმულები და პროცედურა*

ტრენირება ხდებოდა ვერტიკალური ორიენტაციის მქონე წითელი ფერის ვერნიერის სტიმულზე (სურათი 15). სტიმულის თითოეული ხაზის სიგრძე არის 600” და სიგანე 18”. ხაზების ურთიერთწანაცვლების საწყისი მანძილი არის 150”, რაც საკმარისი მანძილია იმისათვის, რომ დარწმუნებული ვიყოთ, რომ ცდის პირი ნამდვილად ხედავს გადახრას. სტიმული ჩნდებოდა ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით როგორც ტრენირებისას გამოყენებულ წითელ ვერნიერის სტიმულს, ასევე სამ დამატებით სტიმულს, კერძოდ მწვანე და ყვითელ

ვერტიკალურ ვერნიერ სტიმულებს და ჰორიზონტალურ წითელ ვერნიერ სტიმულს. მწვანე და ყვითელი ფერის განათებულობა ისე იყო შერჩეული, რომ ისინი იყვნენ წითელი ფერის იზოლუმინანტური, რათა თავიდან აგვეცილებინა ფერის გარდა კიდევ ერთი ნიშნის - განათებულობის ჩართვა.

ვარჯიში მიმდინარეობდა 2 დღის განმავლობაში, 2 სესიად, რომელიც 24 ბლოკად იყო დაყოფილი. ცდის პირის ტრენირება ხდებოდა დღეში მხოლოდ ერთი სესია. პირველ დღეს ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პრე-ტესტირება) და 15 წუთით შესვენების შემდეგ ვიწყებდით ტრენირების პროცედურას. ამ დღეს ცდის პირი ვარჯიშობდა 12 ბლოკის განმავლობაში. თითოეული ბლოკი შედგებოდა სტიმულის 80 წარდგენისაგან. მეორე დღეს ტრენირება ხდებოდა იგივე პრინციპით. ტრენირების დასრულების შემდეგ ცდის პირი ისვენებდა 15 წუთით, შემდეგ ისევ ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პოსტ-ტესტირება).

### **მიღებული შედეგები**

ზემოთ აღწერილ ექსპერიმენტში ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 24 ბლოკის განმავლობაში (1920 წარდგენა), რომლის დროსაც ხდებოდა ტრენირება წითელ ვერნიერზე. ტრენირების შედეგად მივიღეთ შესამჩნევი გაუმჯობესება შესრულებაში (სურათი 16). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა მერყეობდა -0,03-დან -0,26-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,09; სტანდარტული შეცდომა: 0,04). მიღებული შედეგი არის სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,05$ ).

საკონტოლო გაზომვების დროს, პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები იყო 0,7 წითელი ვერტიკალური ვერნიერისთვის, 0,8 მწვანე ვერნიერისთვის, 0,7 ყვითელი ვერნიერისთვის და 0,9 წითელი ჰორიზონტალური ვერნიერისთვის. საკონტოლო გაზომვების შედეგად მიღებული გაუმჯობესება სტატისტიკურად სარწმუნო იყო ვერტიკალური წითელი ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,004$ ), მწვანე ( $t$ -

ტესტი,  $p = 0,07$ ), ყვითელი ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,02$ ) სტიმულებისათვის, ხოლო ჰორიზონტალური წითელი ვერნიერისთვის სტატისტიკურად სარწმუნო გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,43$ ) (სურათი 17).

სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმული



წითელი vernier სტიმული

საკონტროლო გაზომვებში გამოყენებული სტიმულები



წითელი  
vernier სტიმული



მწვანე  
vernier სტიმული

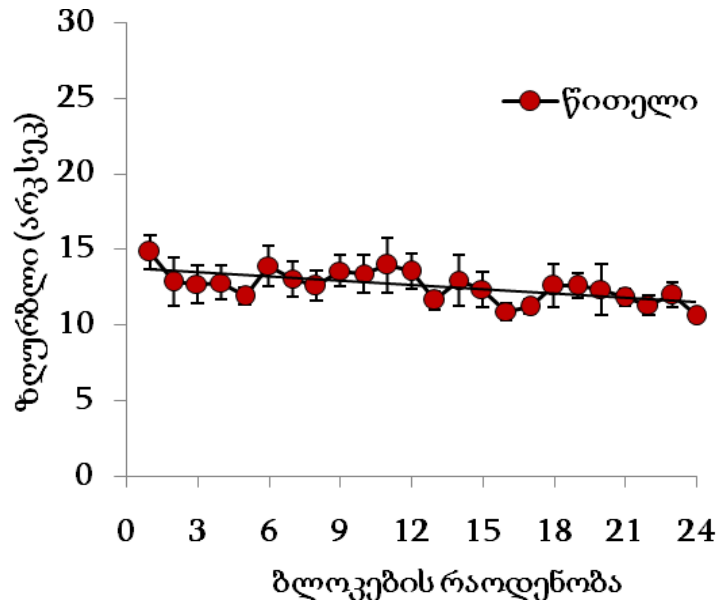


ყვითელი  
vernier სტიმული



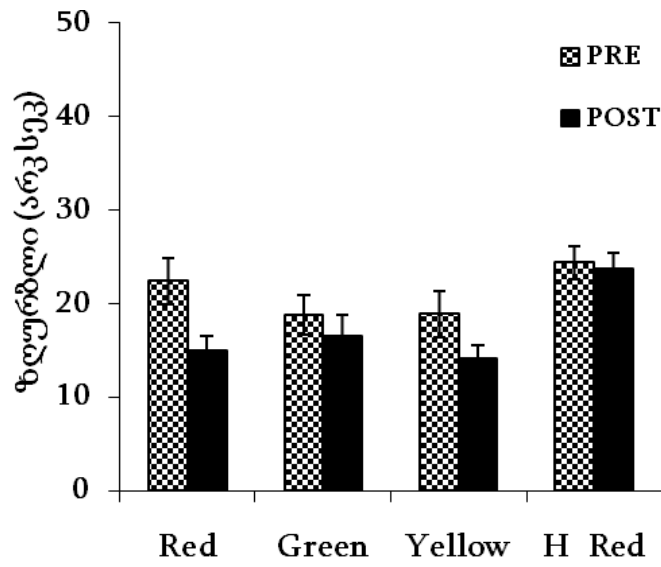
წითელი ჰორიზონტალური  
vernier სტიმული

**სურათი 15.** ფერადი ვერნიერის სტიმულები. იზოლუმინანსური ფერადი სტიმულები ჩნდებოდა შავ ეკრანზე.



**სურათი 16.** წითელი ვერნიერის სტიმულის შესრულების ზღურბლი. გრაფიკზე მოცემულია 10 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 24 ბლოკისათვის. ტრენირების შედეგად მივიღეთ შესრულების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება, რასაც ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.





**სურათი 17.** Vernier სტიმულების შესრულების ზღვრილი საკონტროლო გაზომვებში წითელი, მწვანე და ყვითელი ვერტიკალური და წითელი ჰორიზონტალური სტიმულებისთვის (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას).

## 2.2.6. ექსპერიმენტი 6

რადგან წინა ექსპერიმენტში მივიღეთ წითელ ფერზე მიღებული დასწავლის ეფექტის გენერალიზაცია მის ოპონენტურ მწვანე ფერზე და ასევე ყვითელი ფერის სტიმულზეც, მომდევნო ექსპერიმენტით შევამოწმეთ, მოხდებოდა თუ არა იგივე გენერალიზაცია მწვანიდან წითელზეც.

### *ცდის პირები*

ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 18-დან 30 წლამდე ასაკის, ორივე სქესის 10 ცდის პირი (4 მამრობითი სქესის და 6 მდედრობითი სქესის). ყველა ცდის პირს ჰქონდა ნორმალური ან ნორმალურამდე კორექტირებული მხედველობა. მხედველობის შემოწმება ხდებოდა ფრაიბურგის მხედველობის სიმახვილის ტესტით (Freiburg Visual Acuity Test; Bach, 1996), რომელშიც ცდის პირს უნდა მიეღწია მნიშვნელობისთვის 1.0 (რაც 20/20 სიმახვილეს შეესაბამება). ექსპერიმენტის დაწყებამდე ცდის პირები ხელს აწერდნენ ინფორმირებული თანხმობის ფორმას.

### *სტიმულები და პროცედურა*

ტრენირება ხდებოდა ვერტიკალური ორიენტაციის მქონე მწვანე ფერის ვერნიერის სტიმულზე (სურათი 18). სტიმულის თითოეული ხაზის სიგრძე არის 600” და სიგანე 18”. ხაზების ურთიერთწანაცვლების საწყისი მანძილი არის 150”, რაც საკმარისი მანძილია იმისათვის, რომ დარწმუნებული ვიყოთ, რომ ცდის პირი ნამდვილად ხედავს გადახრას. სტიმული ჩნდებოდა ეკრანის ცენტრში. საკონტროლო გაზომვებში (პრე- და პოსტ-ტესტირება) ვიყენებდით როგორც ტრენირებისას გამოყენებულ მწვანე ვერნიერის სტიმულს, ასევე სამ დამატებით სტიმულს, კერძოდ წითელ და ყვითელ ვერტიკალურ

ვერნიერ სტიმულებს და ჰორიზონტალურ მწვანე ვერნიერის სტიმულს. წითელი და ყვითელი ფერის განათებულობა ისე იყო შერჩეული, რომ ისინი იყვნენ წითელი ფერის იზოლუმინანტური, რათა თავიდან აგვეცილებინა ფერის გარდა კიდევ ერთი ნიშნის - განათებულობის (luminance) ჩართვა.

ვარჯიში მიმდინარეობდა 2 დღის განმავლობაში, 2 სესიად, რომელიც 24 ბლოკად იყო დაყოფილი. ცდის პირის ტრენირება ხდებოდა დღეში მხოლოდ ერთი სესია. პირველ დღეს ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პრე-ტესტირება) და 15 წუთით შესვენების შემდეგ ვიწყებდით ტრენირების პროცედურას. ამ დღეს ცდის პირი ვარჯიშობდა 12 ბლოკის განმავლობაში. თითოეული ბლოკი შედგებოდა სტიმულის 80 წარდგენისაგან. მეორე დღეს ტრენირება ხდებოდა იგივე პრინციპით. ტრენირების დასრულების შემდეგ ცდის პირი ისვენებდა 15 წუთით, შემდეგ ისევ ვახდენდით საკონტოლო გაზომვებს (პოსტ-ტესტირება).

### **მიღებული შედეგები**

ზემოთ აღწერილ ექსპერიმენტში ცდის პირები ვარჯიშობდნენ 24 ბლოკის განმავლობაში (1920 წარდგენა), რომლის დროსაც ხდებოდა ტრენირება მწვანე ვერნიერზე. ტრენირების შედეგად მივიღეთ შესამჩნევი გაუმჯობესება შესრულებაში (სურათი 19). ინდივიდუალურად განსაზღვრული რეგრესიის ხაზების გადახრა მერყეობდა -0,03-დან -0,22-მდე (საშუალო მნიშვნელობა: -0,12; სტანდარტული შეცდომა: 0,04). მიღებული შედეგი არის სტატისტიკურად სარწმუნო ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,03$ ).

საკონტოლო გაზომვების დროს, პოსტ- და პრე-ტესტირების ზღურბლების შეფარდების კოეფიციენტები იყო 0,7 მწვანე ვერტიკალური ვერნიერისთვის, 0,7 წითელი ვერნიერისთვის, 0,8 ყვითელი ვერნიერისთვის და 0,9 მწვანე ჰორიზონტალური ვერნიერისთვის. საკონტოლო გაზომვების შედეგად მიღებული გაუმჯობესება

სტატისტიკურად სარწმუნო იყო ვერტიკალური მწვანე ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,004$ ), წითელი ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,017$ ), ყვითელი ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,065$ ) სტიმულებისათვის, ხოლო ჰორიზონტალური მწვანე ვერნიერისთვის სტატისტიკურად სარწმუნო გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ ( $t$ -ტესტი,  $p = 0,147$ ) (სურათი 20).

სავარჯიშოდ გამოყენებული სტიმული



მწვანე vernier სტიმული

საკონტროლო გაზომვებში გამოყენებული სტიმულები



წითელი  
vernier სტიმული



მწვანე  
vernier სტიმული

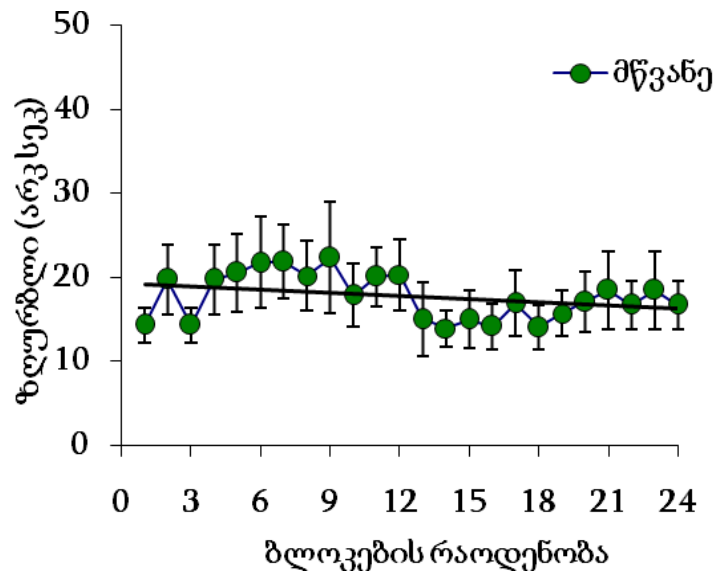


ყვითელი  
vernier სტიმული

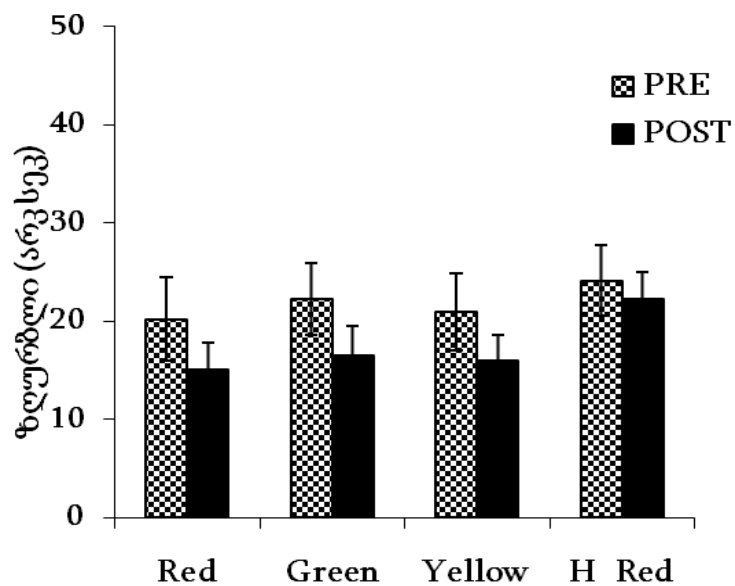


მწვანე ჰორიზონტალური  
vernier სტიმული

**სურათი 18.** ფერადი ვერნიერის სტიმულები. იზოლუმინანსური ფერადი სტიმულები ჩნდებოდა შავ ეკრანზე.



**სურათი 19.** მწვანე ვერნიერის სტიმულის შესრულების ზღურბლი. გრაფიკზე მოცემულია 10 ცდის პირის მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები 24 ბლოკისათვის. ტრენირების შედეგად მივიღეთ შესრულების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება, რასაც ზღურბლებზე გატარებული გადახრის ხაზის მიმართულებაც მიუთითებს.



**სურათი 20.** Vernier სტიმულების შესრულების ზღვრილი საკონტროლო გაზომვებში წითელი, მწვანე და ყვითელი ვერტიკალური და წითელი ჰორიზონტალური სტიმულებისთვის (პრე- და პოსტ-ტესტირებისას).

## მიღებული შედეგების განხილვა

ცნობილია, რომ Bisection სტიმულის დისკრიმინაციის დონის გაუმჯობესება სწრაფად და იოლად მიმდინარეობს, როდესაც მხოლოდ ერთი კონკრეტული ზომის (გარკვეული სიგანის სივრცის შემომსაზღვრელი) სტიმული გამოიყენება პერცეპტუალური დასწავლის ამოცანებში (Allan & Gerhardt, 2001; Fahle & Morgan, 1996; Otto, Herzog, Fahle & Zhaoping, 2006). შემთხვევითი წარდგენის პარადიგმის დროს კი, როდესაც ერთი სტიმულის ორი ან მეტი ვარიანტი გამოიყენება ერთდროულად, დასწავლის ეფექტი არ მიიღება (Aberg & Herzog, 2009; Adini, Wilkonsky, Haspel, Tsodyks, & Sagi, 2004; Kuai, Zhang, Klein, Levi, & Yu, 2005; Otto, Herzog, Fahle & Zhaoping, 2006; Yu, Klein & Levi, 2004). არსებობს ვარაუდი, რომ პერცეპტუალური დასწავლის ამოცანის შესრულებისას, აღმავალი სენსორული ინფორმაცია (bottom-up sensory inputs) გავლენას ახდენს დაღმავალი მეხსიერების კვალის განვითარებაზე (top-down memory traces) და რომ ამ ურთიერთქმედების შედეგად ხდება მეხსიერების კვალის დახვეწა და განმტკიცება, რის შედეგადაც ვიღებთ შესრულების გაუმჯობესებას. ერთდროულად სტიმულის ორი ან მეტი ვარიანტის შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენა კი ასეთ ურთიერთქმედებას არღვევს და შესაბამისად დასწავლის ეფექტიც არ ვითარდება. ამ ვარაუდის საფუძველზე კი გაკეთდა დასკვნა, რომ სტიმულთა შემთხვევითი წარდგენის პირობებში დასწავლის ეფექტის მიღება შეუძლებელია (Kuai, Zhang, Klein, Levi, & Yu, 2005). დაახლოებით მსგავსი მოდელი იყო შემოთავაზებული სხვა ავტორების მიერ (Zhaoping, Herzog & Dayan, 2003), რომლის თანახმადაც სტიმულის სხვადასხვა ვარიანტები კოდირდება ნეირონებით, რომელთა შორისაც უკუკავშირები არსებობს. დასწავლის პროცედურის დროს შესრულების გაუმჯობესება რომ მოხდეს, აუცილებელია შესაბამის ნეირონებს შორის კავშირების დახვეწა. ამასთან, უკუკავშირის გამო, ერთი ნეირონის აგზნება (რომელიც ერთი სახის სტიმულის კოდირებას ახდენს) შესაძლოა შემაკავებელი იყოს მეორე ნეირონისათვის, რომელიც მეორე სახის სტიმულის

კოდირებას ახდენს. აქედან გამომდინარე, ნერვულმა სისტემამ შეუძლებელი უნდა შესძლოს: შეინარჩუნოს ამაგზნებელი კავშირი ნეირონებს შორის ერთი სახის სტიმულისთვის და ამავე დროს შეაკავოს იმავე ნეირონებს შორის კავშირი მეორე სახის სტიმულისათვის. აქედან გამომდინარე კი გაკეთდა დასკვნა, რომ სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის დროს, დასწავლის ეფექტის მიღება შეუძლებელია.

ჩვენ გამოვიყენეთ Bisection სტიმულის ორი ვარიანტი (1200” და 1800” სიგანის მონაკვეთის შემომსაზღვრელი), რომელთა წარდგენასაც ვახდენდით სხვადასხვა თანმიმდევრობით ტრენირების ბლოკებისა და სესიების განმავლობაში. პირველ ექსპერიმენტში ტრენირება ხდებოდა ერთი სახის სტიმულზე ერთი ბლოკის განმავლობაში (60 თანმიმდევრული წარდგენა), მომდევნო ბლოკში (მომდევნო 60 თანმიმდევრული წარდგენა) მეორე სახის სტიმულზე და ასე შემდეგ 64 ბლოკის განმავლობაში (32 ბლოკი თითოეული სტიმულისათვის). მიუხედავად იმისა, რომ ეს არ იყო სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენა ბლოკის განმავლობაში, ერთი ბლოკის ხანგრძლივობა (დაახლოებით 2 წუთი) არ უნდა იყოს საკმარისი მტკიცე ნეირონული კავშირების ჩამოსაყალიბებლად და დასწავლის ეფექტის მისაღებად. მიუხედავად ამისა, ტრენირების 3 სესიის შემდეგ მივიღეთ შესრულების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. შესაძლებელია, რომ როდესაც ერთიდაიგივე სტიმული წარედგინება თანმიმდევრობით, საკმაოდ მოკლე დროც კი საკმარისია იმისათვის, რომ მოხდეს ნეირონული კავშირების ჩამოყალიბება და განმტკიცება ორივე სტიმულისათვის, მესხიერების კვალის შექმნა და შენახვა და დასწავლის ეფექტის მიღება.

მომდევნო ექსპერიმენტში სტიმულების წარდგენა ხდებოდა თანმიმდევრულად ერთი ბლოკის შიგნით: პირველად ჩნდებოდა ერთი სახის სტიმული, შემდეგ მეორე და ასე შემდეგ 120 წარდგენა (60 წარდგენა თითოეული სტიმულისათვის). შესაბამისად, ცდის პირმა იცოდა, თუ როგორი იქნებოდა ყოველი მომდევნო სტიმული. ჩვენ გვინდოდა გაგვერკვია, თუ რა გავლენა აქვს სტიმულის ცოდნას და მოლოდინს



დასწავლის ეფექტის მიღებაზე. ამ შემთხვევაში შესრულების გაუმჯობესება ვერ მივიღეთ - როგორც ჩანს, იმის გამო, რომ მიუხედავად სტიმულის ვარიანტის ცოდნისა და მოლოდინისა, თანმიმდევრული წარდგენის დროს მეხსიერების კვალი ვერ ასწრებს ჩამოყალიბებას ვერც ერთი სტიმულისათვის, შესაბამისად დასწავლის ეფექტიც არ მიიღება.

მესამე ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ კლასიკური, სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პარადიგმა (ამ შემთხვევაში ეს შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ლიტერატურული მონაცემების განმეორება და დამტკიცება). როგორც მოსალოდნელი იყო, ამ ექსპერიმენტის შედეგად დასწავლის ეფექტი ვერ მივიღეთ. შემდეგი ექსპერიმენტი შესრულდა იმის შესამოწმებლად, მართლა შეუძლებელია თუ არა დასწავლის მიღება სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პარადიგმის დროს, თუ მას უფრო ხანგრძლივი დროს სჭირდება, რომ ჩამოყალიბდეს. ამ ექსპერიმენტის დროს ცდის პირების ტრენირება ხდებოდა 5 დღე, სტიმულთა წარდგენების 150 ბლოკის განმავლობაში. ტრენირების შედეგად მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება მივიღეთ. ამ ექსპერიმენტით კი დადასტურდა, სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პირობებშიც დასწავლის ეფექტის მიღება შესაძლებელია, მხოლოდ ხანგრძლივი ტრენირების შედეგად. როგორც ჩანს, მტკიცე ნეირონული კავშირების ჩამოყალიბებას თითოეული სტიმულისათვის საკმაოდ დიდი დრო სჭირდება, რათა აღმავალ სენსორულ ინფორმაციასა (bottom-up sensory inputs) და დაღმავალ მეხსიერების კვალს (top-down memory traces) შორის ურთიერთქმედება გახდეს უფრო ნატიფი და სწორი მეხსიერების კვალი ჩამოყალიბდეს თითოეული სახის სტიმულისათვის.

ამ ექსპერიმენტის შედეგად მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება და დასწავლის ეფექტის გადატანა მოხდა ისეთ სტიმულებზე, რომლებიც არ იყო სავარჯიშოდ გამოყენებული. კერძოდ, წერტილებისაგან შედგენილ Bisection სტიმულებზე, რომლებსაც იგივე ზომა და ორიენტაცია ჰქონდათ, რაც სავარჯიშოდ გამოყენებულ სტიმულებს. ცნობილია, რომ

დასწავლა სპეციფიკურია მხოლოდ ნავარჯიშები სტიმულისათვის და რომ ეფექტის გადატანა არ ხდება ნავარჯიშები სტიმულიდან ისეთ სტიმულზე, რომელზეც ტრენირება არ ხდებოდა. ჩვენს შემთხვევაში დასწავლის ეფექტის გადატანა შეიძლება აიხსნას იმით, რომ წერტილი წარმოადგენს ხაზის შემადგენელ ნაწილს და შესაბამისად, ნეირონული წრეები, რომლებიც აკოდირებენ ხაზებს, მოიცავენ ასევე წერტილების მაკოდირებელ წრეებსაც. ტრენირების პროცესში ამ წრეების აქტივაცია და განმტკიცებაც ხდება, რასაც შედეგად შესრულების გაუმჯობესება მოსდევს. ამ შემთხვევაში შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ პერცეპტუალური დასწავლის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისება – სპეციფიკურობა, არ დარღვეულა.

ჩვენი ექსპერიმენტების შედეგებიდან დადასტურდა კიდევ ერთი ვარაუდი, რომ დასწავლის ეფექტის მიღება შესაძლებელია ერთდროულად რამოდენიმე სტიმულზე და რომ ასეთ შემთხვევაში, სენსორული პროცესების დაღმავალი (top-down) მოდულაცია ხდება შესასრულებელი ამოცანის შესაბამისად (Schäfer, Vasilaki, & Senn, 2007). ანუ, სტიმულების მაკოდირებელი ნეირონული წრეები აქტივდება მაშინ, როდესაც შესაბამისი სტიმულია წარდგენილი. თუმცა, ეს მოდელი ვერ ხსნის, რატომ სჭირდება დასწავლის ეფექტის მიღებას ხანგრძლივი ტრენირება.

ჩვენი ექსპერიმენტებიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ პერცეპტუალური დასწავლის მიღება სტიმულის 2 სხვადასხვა ვარიანტზე შესაძლებელია ხანმოკლე ტრენირების შედეგადაც, თუკი ეს სტიმულები ცალ-ცალკე წარედგინება ერთი ბლოკის განმავლობაში და რომ დასწავლის ეფექტის მიღება ასევე შესაძლებელია სტიმულთა შემთხვევითი წარდგენის დროსაც, მხოლოდ ამ შემთხვევაში უფრო ხანგრძლივი ტრენირებაა საჭირო.

შემდეგი ექსპერიმენტების მიზანი იყო გაგვერკვია ფერის, როგორც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნიშნის გავლენა და როლი პერცეპტუალური დასწავლის ფენომენის მისაღებად. ამ ექსპერიმენტებში ცდის პირების ტრენირება ხდებოდა ვერნიერის სტიმულზე, ტრენირების დროს ვიყენებდით სხვადასხვა ფერის მქონე სტიმულებს,

მხოლოდ წინა ექსპერიმენტებისგან განსხვავებით ცდის პირების ტრენირება ხდებოდა მხოლოდ ერთი ფერის (მაგალითად მწვანე, ან წითელი) ვერნიერის სტიმულზე.

ბოლო ორი ექსპერიმენტის შედეგებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პერცეპტუალური დასწავლის ეფექტი მიიღება ფერზე და უფრო მეტიც, მიღებული გაუმჯობესება გადადის ტრენირებული ფერიდან არატრენირებულ ფერზეც. ცნობილია, რომ ორიენტაციაზე მიღებული გაუმჯობესება არ გადადის, თუ ტრენირებული ორიენტაცია შეიცვლება 10 გრადუსზე მეტად, ხოლო ჩვენს შემთხვევაში კი გვქონდა ტრენირებული ორიენტაციის ორთოგონალური სტიმული, ამიტომ გასაკვირი არაა, რომ მასზე მიღებული გაუმჯობესების გენერალიზაცია არ მოხდა. ფერის შესახებ ინფორმაციის კოდირება ბადურის დონეზე “ფერადი” კოლბებიდან იწყება. ცნობილია, რომ არსებობს 3 ტიპის კოლბა: ‘წითელი’ კოლბები, რომლებიც მთელი კოლბების პოპულაციის 64%-ს შეადგენს, ‘მწვანე’ კოლბები, რომლებიც მთელი კოლბების პოპულაციის 32%-ს შეადგენს და ‘ლურჯი’ კოლბები, რომლებიც მხოლოდ 2%-ია. ‘წითელი’ და ‘მწვანე’ კოლბები ფოვეას ცენტრშია კონცენტრირებული, ხოლო ‘ლურჯი’ კოლბები ფოვეას პერიფერიაზეა თავმოყრილი. რადგან ვერნიერ სიმახვილის ამოცანა ჰიპერსიმახვილის ამოცანების ჯგუფს მიეკუთვნება და ფოვეალურ (ცენტრალურ) მხედველობას მოითხოვს, ამიტომ სწორედ წითელი და მწვანე ფერის სტიმულები გამოვიყენეთ. ფერის შესახებ ინფორმაციის დამუშავება ფოტორეცეპტორებიდან ბადურის ნეირონებში გრძელდება, სავარაუდოა, რომ სწორედ ამ დონეზე უნდა ხდებოდეს პირველი ცვლილებები ფერად სტიმულებზე ტრენირების შედეგად. ამ დონეზე მიღებული ცვლილებები კი გავლენას ახდენს როგორც პირველადი მხედველობითი ქერქის V1-ს ფერზე პასუხისმგებელ ნეირონებზე, ასევე მხედველობითი ქერქის შემდგომ უფრო მაღალ დონეებზეც. სავარაუდოდ, V1-ის დონეზე უნდა ხდებოდეს ფერზე, როგორც ერთ კონკრეტულ ნიშანზე დასწავლა, ხოლო არატრენირებულ ფერზე დასწავლის ეფექტის გენერალიზაცია მხედველობის ქერქის მაღალ დონეებზე უნდა მიმდინარეობდეს.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ზრდასრული თავის ტვინი ინარჩუნებს და აგრძელებს პლასტიკურობას, და რომ პერცეპტუალური დასწავლა შესაძლებელია შემთხვევითი წარდგენის პირობებშიც. როგორი რთულიც არ უნდა იყოს ამოცანა, ხანგრძლივი ტრენირების შედეგად შესაძლებელია ამ ამოცანის შესრულების გაუმჯობესება. მხედველობისთვის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნიშნის – ფერის მონაწილეობა კი ამ ამოცანის შესრულებას გააიოლებს და უფრო საინტერესოსაც გახდის. შესაძლებელია ასეთი მეთოდით გავაფართოვოთ და გავაღრმავოთ ჩვენი პერცეპტუალური გამოცდილება და აღქმა.

ახლახანს ამბლიოპიის სამკურნალოდ შემოთავაზებული იქნა პერცეპტუალური დასწავლის პროცედურა. ამბლიოპია, ანუ ზარმაცი თვალი, საკმაოდ გავრცელებული დაავადებაა. იგი გვხვდება პოპულაციის 2-4%-ში. ჩვეულებრივ, ამბლიოპია განისაზღვრება, როგორც დაქვეითებული მხედველობითი სიმახვილე. ამბლიოპიის დროს მხედველობა ერთ თვალში არის ნორმალური, ხოლო მეორე თვალი არ ვითარდება ნორმალურად. ითვლება, რომ ამბლიოპია ვითარდება მაშინ, როდესაც ტვინი უარს ამბობს ერთი თვალის გამოყენებაზე, რადგან ამ თვალიდან არამკაფიო გამოსახულებას იღებს და უპირატესობას ანიჭებს მეორე თვალს. მარტივად რომ ვთქვათ, ამბლიოპია არის ტვინის დისფუნქცია, რომლის დროსაც ტვინს არ შეუძლია ერთდროულად ორივე თვალის გამოყენება და ამიტომ ბლოკავს მხედველობას ერთი თვალიდან. ბავშვები, რომელთაც აქვთ ნომალური მხედველობა, სიცოცხლის პირველივე თვეებში სწავლობენ ორივე თვალის ერთდროულ გამოყენებას. მათი ტვინი ვითარდება ისე, რომ იგი იღებს მხედველობით გამოსახულებებს მარჯვენა და მარცხენა თვალებიდან და ახდენს ამ ორი გამოსახულების გაერთიანებას. ანუ მათ უვითარდებათ ნორმალური ბინოკულარული მხედველობა. ხოლო იმ ბავშვების ტვინი, რომლებსაც ზარმაცი თვალი აქვთ, ვერ სწავლობს ორივე თვალის ერთდროულ გამოყენებას. ტვინი იღებს ორ სხვადასხვანაირ გამოსახულებას და შესაბამისად ვერ ახდენს მათ გაერთიანებას, ამიტომ ადრეულ ასაკში ტვინი ახდენს იმ თვალის 'დაბლოკვას', საიდანაც

არასრულყოფილი გამოსახულება მოდის და შესაბამისად, ზარმაცი თვალის მხედველობის სიმახვილეს აღარ ვითარდება. სწორედ ამის გამოა, რომ ზარმაცი თვალით მკაფიო გამოსახულების დანახვა არ ხერხდება სწორად შერჩეული სათვალითაც კი. ამბლიოპიას ხშირად თან ახლავს ისეთი დარღვევები, როგორცაა სტრაბიზმი (იგივე სიელმე), ანიზომეტროპია, ასევე მრავალი სხვადასხვა აღქმითი დარღვევები. ნაჩვენები იქნა, რომ ვერნიერის სიმახვილის (Levi & Polat, 1996; Levi, Polat & Hu, 1997), პოზიციის დისკრიმინაციის (Li & Levi, 2004; Li, Young, Hoenig & Levi, 2005; Li, Provost & Levi, 2007), კონტრასტის დეტექციის (Polat & Sagi, 2004; Zhou, Huang, Xu, Tao, Qiu, Li, & Lu 2006; Huang, Zhou, & Lu, 2008) და ასოების ამოცნობის (Levi, 2005; Chung, Li, & Levi, 2006, 2008) დავალებების გამოყენებით მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება მიიღება ამბლიოპიან პაციენტებში, როგორც ბავშვებში, ასევე ზრდასრულებში. უნდა აღინიშნოს ასევე, რომ პერცეპტუალური დასწავლის დროს, ამოცანა სრულდება ამბლიოპიანი თვალით და ჯანმრთელი თვალი ახვეულია. საუკუნეების მანძილზე ამბლიოპიას მკურნალობდნენ ჯანმრთელი თვალის ახვევით, და ამით 'აიძულებდნენ' ტვინს გამოეყენებინა სუსტი ამბლიოპიანი თვალი. შესაბამისად, პერცეპტუალური დასწავლის პროცედურით ძველი მეთოდიც ჩართულია მკურნალობის მეთოდში.

აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია საქართველოშიც გამოვიყენოთ პერცეპტუალური დასწავლის მეთოდი ამბლიოპიის სამკურნალოდ. ლიტერატურული მონაცემებიდან გამომდინარე, Bisection სტიმულები და ამოცანა ჯერ არ ყოფილა გამოყენებული ამბლიოპიან პაციენტებში. რადგან Bisection ამოცანა ჰიპერსიმახვილის ამოცანაა, ამიტომ შესაძლებელია სწორედ Bisection სტიმულებზე ხანგრძლივი ტრენირება გახდეს ერთ–ერთი საუკეთესო მეთოდი ზრდასრული ამბლიოპიანი პაციენტების მხედველობის გასაუმჯობესებლად. ხოლო ფერად ვერნიერი შესაძლებელია გამოყენებული იყოს ამბლიოპიანი ბავშვებისთვის, რადგან ფერადი ინფორმაცია ნაკლებად მოსაწყენს გახდის ხანგრძლივი ტრენირების პროცესს.

## დასკვნები

- პერცეპტუალური დასწავლა არის ზრდასრული ტვინის პლასტიკურობის დამადასტურებელი ფენომენი და მისი მიღება შესაძლებელია სტიმულთა შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პირობებშიც ხანგრძლივი ტრენირების შედეგად.
- შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პირობებში პერცეპტუალური დასწავლის პროცესი ნელდება, თუმცა არ ირღვევა ამოცანის შესრულების პროცესი (ანუ დავალების შესრულება არ უარესდება).
- შემთხვევითი თანმიმდევრობით წარდგენის პირობებში მიღებული დასწავლა ინარჩუნებს სპეციფიკურობას ტრენირებისას გამოყენებული სტიმულის მახასიათებლების მიმართ. ჩვენს შემთხვევაში დასწავლის ეფექტი არ გადავიდა არატრენირებულ ორიენტაციაზე.
- პერცეპტუალური დასწავლა ხდება მხედველობითი პროცესინგის სხვადასხვა დონეზე, სხვადასხვა სიჩქარით და ამოცანის შესრულების გაუმჯობესების მისაღებად დიდი მნიშვნელობა აქვს top-down (დაღმავალ) და bottom-up გავლენას.
- დასწავლის ეფექტი მიიღება ფერით ინფორმაციაზე ტრენირების შედეგადაც.
- ფერად სტიმულზე ტრენირების შედეგად მიღებული დასწავლის ეფექტი გადადის არატრენირებულ ფერზეც. რაც იმას მიუთითებს, რომ ფერი როგორც ერთი ნიშანი ისე კოდირდება პერცეპტუალურ დასწავლაზე პასუხისმგებელი სისტემისთვის.

# დისერტაციის რეზიუმე ინგლისურ ენაზე

## Summary of the Dissertation

### Perceptual Learning in Human Visual System

Perceptual learning gained increasing interest in recent years since it is concerned with the creation of the building blocks of perception. We perceive the world, at least partly, according to how we have learned to perceive it. So, we can say, perceptual learning is the ability to improve perception per se. Objects or aspects of objects which are not visible before become visible after perceptual learning. In perceptual learning, training improves the ability to discriminate or detect basic features that are assumed to be fundamental for perception. Classical examples are the improvement of the discrimination of vernier, and bisection offsets, stereoscopic depth, line orientation, motion direction and contrast increments. However, the mechanisms underlying perceptual learning are still largely unknown. Perceptual learning is specific for many stimulus parameters. For example, no transfer of learning occurs when the orientation, the spatial frequency, or the position of stimuli change. Also, no transfer of perceptual learning occurs from the eye used during training to the untrained eye. This specificity indicates location of the underlying changes in the nervous system on the level of the primary visual cortex. There are evidences that learning is dependent in on error feedback and on attention, and these facts on the other hand, proves the importance of top-down influences from higher cortical centers. In summary, perceptual learning seems to rely on changes on a relatively early level of cortical information processing, such as the primary visual cortex, under the influence of top-down selection.

Recent behavioral and neuroscience research demonstrates a significant degree of plasticity within the adult sensory cortices. Perceptual learning is believed to be one example of adult brain plasticity.

Usually, in studies on perceptual learning, one stimulus variant is presented and

performance improves specifically for this variant. For example, when observers have to discriminate bisection offset, performance improves within 1 hour of training. When, instead of one, two or more stimulus variants are presented randomly interleaved, a so-called stimulus roving paradigm is used. Stimulus roving prevents perceptual learning. For example, performance in the bisection task does not improve on a short term scale if bisection stimuli with two outerelement-distances are presented randomly interleaved. Another example is contrast increment detection. Performance improves if one reference contrast is presented. However, if four or more reference contrasts are randomly interleaved during training, no improvement of performance occurs.

The aim of the study was to investigate how plastic is adult brain; is learning possible under roving condition or not? We tested what is the influence of stimuli presentation order during training. Also, a novel aspect investigated here is perceptual learning on the color. We checked whether learning effect is specific for trained color, or we get generalization of the effect to the untrained colors.

Psychophysical methods were used. Observers were trained Bisection stimuli or Vernier stimuli in the different experimental conditions. Training sessions lasted from 2 to 5 days, in 3-10 sessions in different experiments. Bisection stimuli consisted of two outer elements delineating a horizontal or vertical interval. This interval was bisected by a central element into two parts. The central element of the bisection stimulus is slightly displaced in the direction towards one outer element. Observers' task is to discriminate the direction of this displacement; that is, is the central element closer to the upper (left) or lower (right) outer element. A vernier stimulus consists of two (nearly) aligned bars of the same orientation, slightly displaced relative to each other by an offset. Observers' task is to discriminate the vernier offset, e.g. is lower bar to the right, or to the left side.

In roving condition experiments bisection stimuli with two outer line distances (1200'' and 1800'') were used. In different experiments we varied stimuli presentation order – stimuli



were presented randomly interleaved from trial to trial, or block by block, or common roving condition was used.

The following experiments were done:

**Experiment 1.** Observers trained with line bisection stimuli oriented  $30^\circ$ . Bisection stimuli with two outer line distances of either 1200'' and 1800'' were presented randomly interleaved block by block. Subjects were informed that bisection stimuli were alternately presented - in first block were presented 1200'' stimuli, in the second block - 1800'', in the third block - 1200'' and so on. Observers trained in 3 sessions in 64 blocks. A block of stimulus presentations consisted of 60 trials (i.e. per training block, only one outer-line-distance was presented in 60 trials). Before and after training, we determined baseline performance for the both trained bisection stimuli, and for bisection stimuli oriented orthogonally to the trained 1800'' stimulus. For each observer, we measured each condition twice and the order of conditions was randomized across observers.

During training bisection acuity thresholds improved. For the outer-line-distance of 1200'' the improvement of performance was significant (one sample t-test, p-value: 0.007). For the outer-line-distance of 1800'', improvement of performance was also significant (one sample t-test, p-value: 0.002). For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are below 1 for all stimuli, indicating that performance improved. The improvement was significant for trained stimuli, not for orthogonal stimulus.

**Experiment 2.** Observers trained with line bisection stimuli oriented  $30^\circ$ . Bisection stimuli with two outer line distances of either 1200'' and 1800'' were presented alternatively interleaved trial by trial during a block. Subjects were informed that bisection stimuli were alternately presented during one block (for example, in the first 1200'' stimulus was presented, then 1800'', next 1200'' and so on). Observers trained in 3 sessions in 32 blocks. A block of stimulus presentations consisted of 120 trials (60 trials for each stimulus). Before and after training, we determined baseline performance for the both trained line bisection stimuli, and for bisection

stimuli oriented orthogonally to the trained 1800'' stimulus. For each observer, we measured each condition twice and the order of conditions was randomized across observers.

During training sessions bisection acuity thresholds did not improve. Neither for the outer-line-distance of 1200'' nor for the outer-line-distance of 1800'' the improvement of performances were not significant (for 1200'': one sample t-test, p-value: 0.160; for 1800'': one sample t-test, p-value: 0.930). For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are near 1 for all stimuli, indicating that performance did not improve.

**Experiment 3.** Subjects trained on bisection stimuli with two outer line distances of 1200'' and 1800''. Stimuli were presented (pseudo)-randomly interleaved. Both stimuli were tilted on 30° and had the same spatial location on the screen. The experiment consisted of 3 sessions divided into 32 blocks. A block of stimulus presentations consisted of 120 trials (60 trials of each outer distance). Before and after training session, baseline performance was determined for both outer line distances separately and, in addition, for an outer line distance of 1800'' oriented -30°.

During training sessions bisection acuity thresholds did not improve. Neither for the outer-line-distance of 1200'' nor for the outer-line-distance of 1800'' the improvement of performances were not significant (for 1200'': one sample t-test, p-value: 0.406; for 1800'': one sample t-test, p-value: 0.883). For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are near 1 for all stimuli, indicating that performance did not improve.

**Experiment 4.** Subjects trained on bisection stimuli with two outer line distances of 1200'' and 1800''. Stimuli were presented randomly interleaved. Both stimuli were tilted on 0° and had the same spatial location on the screen. The experiment consisted of 10 sessions of training. Each training session contained 15 blocks of 120 trials (60 trials of each outer distance). Each observer viewed 18000 trials in total. Before and after training sessions, baseline performance was determined for the trained line bisection stimuli, for line bisection stimuli oriented orthogonally

to the trained stimuli, and for dot bisection stimuli oriented 0°.

During long training bisection acuity thresholds improved. For the outer-line-distance of 1200'' the improvement of performance was significant (one sample t-test, p-value: 0.006). For the outer-line-distance of 1800'', improvement of performance was not significant (one sample t-test, p-value: 0.168). The improvement of performance failed to be significant because of one subject, who had already very low thresholds at the beginning of the training. This ceiling effect possibly explains the lack of improvement of performance. For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are below 1 for trained stimuli and for dot bisection stimuli, indicating that performance improved. For orthogonal stimuli to trained stimuli the improvement was not significant.

**Experiment 5.** Subjects trained on red colored vernier stimulus. The experiments consisted of 2 sessions of training divided into 24 blocks. A block of stimulus presentations consisted of 80 trials. Before and after training sessions, baseline performance was determined for trained stimulus, for orthogonally oriented red vernier stimulus, for isoluminant green and yellow vernier stimuli.

During training red vernier acuity thresholds improved and this improvement of performance was significant (one sample t-test, p-value: 0.05). For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are below 1 for trained red vernier stimulus and for green and yellow vernier stimuli. For horizontal red vernier stimulus performance did not improve.

**Experiment 6.** Subjects trained on green colored vernier stimulus. The experiments consisted of 2 sessions of training divided into 24 blocks. A block of stimulus presentations consisted of 80 trials. Before and after training sessions, baseline performance was determined for trained stimulus, for orthogonally oriented green vernier stimulus, for isoluminant red and yellow

vernier stimuli.

During training green vernier acuity thresholds improved and this improvement of performance was significant (one sample t-test, p-value: 0.03). For baseline conditions, mean ratios of post- to pre-training performance are below 1. For trained green vernier stimulus and for red and yellow vernier stimuli improvement of performances were significant. For horizontal green vernier stimulus performance did not improve.

According the results we conclude that:

- Perceptual learning under roving condition is possible with extensive training.
- Roving seems to impede learning process but not the performance of the task per se.
- Stimulus specificities, as usually found in perceptual learning are also present with long term training under roving conditions.
- Perceptual learning might occur in different levels of visual processing, under different speed and top-down and bottom-up influences plays important role in this process.
- In perceptual learning improvement of performance occurs when train on color information.
- Improvement of performance for trained color generalizes to untrained colors too.

## ბიბლიოგრაფია

1. Aberg K.C. & Herzog M.H. (2009). Interleaving bisection stimuli – randomly or in sequence – does not disrupt perceptual learning; it just makes it more difficult. *Vision Research*, 49, 2591–2598
2. Adini Y., Sagi D. & Tsodyks M. (2002). Context-enabled learning in the human visual system. *Nature*, 415, 790–793.
3. Adini Y., Wilkonsky A., Haspel R., Tsodyks M. & Sagi D. (2004). Perceptual learning in contrast discrimination: The effect of contrast uncertainty. *Journal of Vision*, 4, 993–1005
4. Ahissar M. & Hochstein S. (1996). Learning pop-out detection: Specificities to stimulus characteristics. *Vision Research*, 36(21), 3487–3500
5. Ahissar M. & Hochstein S. (1997). Task difficulty and the specificity of perceptual learning. *Nature*, 387(6631), 401–406
6. Ahissar M. & Hochstein S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8(10), 457–464
7. Ahissar M., Nahum M., Nelken I. & Hochstein S. (2009). Reverse hierarchies and sensory learning. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, 285–299
8. Allan L.G. & Gerhardt K. (2001). Temporal bisection with trial referents. *Perception & Psychophysics*, 63(3), 524–540
9. Bach, M. (1996). The freiburg visual acuity test-automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Vision Science*, 73, 49–53
10. Ball K. & Sekuler R. (1987). Direction-specific improvement in motion discrimination. *Vision Research*, 27, 953–965.
11. Bedford F.L. (1993) Perceptual and Cognitive Spatial Learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 517–530

12. Bedford F.L. (1999). Keeping perception accurate. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 4-12.
13. Berardi N., Pizzorusso T. & MaVei L. (2000). Critical periods during sensory development. *Curr Opin Neurobiol*, 10, 138-145
14. Berger H. (1900). Experimentell-anatomische studien uber die durch den mangel optischer reize veranlassten entwicklungshemmungen im occipitallappen des hundes und der katze. *Arch Psychiatr Nervenkr*, 33, 521-567
15. Buonomano D.V. & Merzenich M.M. (1998). Cortical plasticity: from synapses to maps. *Annu Rev Neurosci*, 21, 149-186.
16. Campana G., Grieco A. & Fuggetta G. (2004). Perceptual learning modulates electrophysiological and psychophysical response to visual texture segmentation in humans. *Neurosci Lett*, 371, 18-23.
17. Carmel D. & Carrasco M. (2008). Perceptual Learning and Dynamic Changes in Primary Visual Cortex. *Neuron*, 57, 799-801
18. Casco C., Campana G., Grieco A. & Fuggetta G. (2004). Perceptual learning modulates electrophysiological and psychophysical response to visual texture segmentation in humans. *Neuroscience Letters*, 371, 18-23
19. Cavanagh P. (1991). What's up in top-down processing? In A. Gorea (ed.) *Representations of Vision: Trends and Tacit Assumptions in Vision Research* , Cambridge, UK: Cambridge University Press, 295-304.
20. Cavanagh P. (1999). Attention: Exporting vision to the mind. In C. Taddei-Ferretti and C. Musio (Eds.), *Neuronal basis and psychological aspects of consciousness*, 129-143
21. Chow K.L. & Nissen H.W. (1955). Interocular transfer of learning in visually naive and experienced infant chimpanzees. *J Comp Physiol Psychol*, 48(4), 229-237
22. Chung, S. T. L., Li, R. W. & Levi, D. M. (2006). Identification of contrast-defined

- letters benefits from perceptual learning in adults with amblyopia. *Vision Research*, 46, 3853–3861.
23. Chung, S. T. L., Li, R. W. & Levi, D. M. (2008). Learning to identify near-threshold luminance-defined and contrast-defined letters in observers with amblyopia. *Vision Research*, 48, 2739–2750
24. Crist R.E., Kapadia M.K., Westheimer G. & Gilbert C.D. (1997). Perceptual learning of spatial localization: Specificity for orientation, position, and context. *Journal of Neurophysiology*, 78, 2889–2894.
25. Crist R.E., Li W. & Gilbert C.D. (2001). Learning to see: experience and attention in primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, 4(5), 519-525
26. Das A. (1997). Plasticity in adult sensory cortex: a review. *Network-Computation in Neural Systems*, 8, 33-76.
27. Das A., Franca J.G., Gattass R., Kaas J.H., Nicolelis M.A. & Iaria C. (2001). The brain decade in debate: VI. Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. *Braz J Med Biol Res*, 34, 1497-1508.
28. DiLollo V., Enns J.T. & Rensink R.A. (2000). Competition for consciousness among visual events: the psychophysics of reentrant visual processes. *J. of Experimental Psychology, General*, 129(4), 481-507
29. Ding Y., Song Y., Fan S., Qu Z. & Chen L. (2003). Specificity and generalization of visual perceptual learning in humans: an event-related potential study. *Neuroreport*, 14, 587-590.
30. Dinse H.R., Ragert P., Pleger B., Schwenkreis P. & Tegenthoff M. (2003). Pharmacological Modulation of Perceptual Learning and Associated Cortical Reorganization. *Science*, 301, 91-94

31. Doshier B.A. & Lu Z-L. (1998). Perceptual learning reflects external noise filtering and internal noise reduction through channel reweighting. *Proc Natl Acad Sci US, A* *95*, 13988–13993.
32. Doshier B.A. & Lu Z-L. (2006). Level and mechanisms of perceptual learning first-order luminance and second-order texture objects. *Vision Research*, *46*, 1996–2007
33. Doshier B.A. & Lu Z-L. (2007). The functional form of performance improvements in perceptual learning: Learning rates and transfer. *Psychological Science*, *18(6)*, 531–539
34. Fahle M. (1991). A new elementary feature of vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *32*, 2151–2155.
35. Fahle M. (2005a). Perceptual learning: Specificity versus generalization. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*, 154–160.
36. Fahle M. (2005b). Learning to tell apples from oranges. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 455–457.
37. Fahle M. (2009). Perceptual learning and sensorimotor flexibility: cortical plasticity under attentional control? *Philos. Trans. R. Soc. B.*, *364*, 313–319
38. Fahle M. & Edelman S. (1993). Long-term Learning in Vernier Acuity: Effects of Stimulus Orientation, Range and of Feedback. *Vision Research*, *33(3)*, 397–412
39. Fahle M., Edelman S. & Poggio T. (1995). Fast perceptual learning in visual hyperacuity. *Vision Research*, *35(21)*, 3003–3013.
40. Fahle F. & Morgan M. (1996). No transfer of perceptual learning between similar stimuli in the same retinal position. *Current Biology*, *6(3)*, 292–297
41. Fahle M. & Skrandies W. (1994). An electrophysiological correlate of learning in motion perception. *German Journal of Ophthalmology*, *3*, 427–432.
42. Felleman D.J. & Van Essen D.C. (1991). Distributed hierarchical processing in primate visual cortex. *Cerebral Cortex*, *1*, 1–47.



43. Fine I. & Jacobs R.A. (2002). Comparing perceptual learning across tasks: A review *Journal of Vision*, 2, 190-203
44. Foley-Fisher J.A. (1968). Measurement of vernier acuity in white and coloured light. *Vision Research*, 8, 1055-1065.
45. Gilbert C.D. (1998). Adult cortical dynamics. *Physiol. Rev.* 78, 467-485.
46. Gilbert C.D., Sigman M. & Crist R.E. (2001). The Neural Basis of Perceptual Learning. *Neuron*, 31, 681-697
47. Ghose G.M. (2004). Learning in mammalian sensory cortex. *Curr Opin Neurobiol*, 14, 513-518.
48. Ghose G.M., Yang T.M. & Maunsell J.H.R. (2002). Physiological correlates of perceptual learning in monkey V1 and V2. *Journal of Neurophysiology*, 87(4), 1867-1888.
49. Goodman L. (1932). Effect of total absence of function on the optic system of rabbits. *Am J Physiol*, 100, 46-63
50. Grossberg S. (1995). 3-D vision and figure-ground separation by visual cortex. *Perception & Psychophysics*, 55, 48-120
51. Grusser O.J. (1972). Metacontrast and the perception of the visual world. *European Journal of Physiology*, 332 (Suppl.), 98.
52. Harris J. P. & Fahle M. (1995). The detection and discrimination of spatial offsets. *Vision Research*, 35, 51-58
53. Herzog M.H., Ewald K.R.F., Hermens F. & Fahle M. (2006). Reverse feedback induces position and orientation specific changes. *Vision research*, 46(22), 3761-3770.
54. Herzog, M. H., & Dayan, P. (2003). Nonlinear ideal observation and recurrent preprocessing in perceptual learning. *Network*, 14, 233-247.

55. Herzog M. H. & Fahle M. (1998). Modelling perceptual learning: difficulties and how they can be overcome. *Biological Cybernetics*, *78*, 107–117.
56. Herzog M.H. & Fahle M. (1999). A Recurrent Model for Perceptual Learning. *Journal of Optical Technology*, *66*(9), 836–841.
57. Hochstein S. & Ahissar M. (2002). View from the Top: Hierarchies and reverse hierarchies in the visual system. *Neuron*, *36*, 791–804
58. Huang, C. B., Zhou, Y. & Lu, Z. L. (2008). Broad bandwidth of perceptual learning in the visual system of adults with anisometric amblyopia. *Proceeding of National Academy of Sciences USA*, *105*, 4068–4073
59. Hubel D.H. & Wiesel T.N. (1963). *Receptive Fields of Cells in Striate Cortex of Very Young, Visually Inexperienced Kittens*. *J Neurophysiol*, *26*, 994–1002
60. Hubel D.H. & Wiesel T.N. (1965). Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint. *Journal of Neurophysiology*, *28*, 1041–1059.
61. Hubel D.H. & Wiesel T.N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, *195*, 215–243.
62. Kanwisher N. & Wojciulik E. (2000). Visual attention: Insights from brain imaging. *Nature reviews*, *1*, 91–100
63. Kapadia M.K., Westheimer G. & Gilbert C.D. (1999). Dynamics of spatial summation in primary visual cortex of alert monkeys. *Proc. Natl.Acad. Sci. USA* *96*, 12073–12078.
64. Karmarkar U.M. & Dan Y. (2006). Experience-Dependent Plasticity in Adult Visual Cortex. *Neuron*, *52*, 577–585
65. Karni A. & Sagi D. (1991). Where practice makes perfect in texture discrimination: evidence for primary visual cortex plasticity. *Proceedings of the National Academy of the Science United States of America*, *88*(11), 4966–4970.

66. Knierim, J.J. & Van Essen, D.C. (1992). Neuronal responses to static texture patterns in area V1 of the alert macaque monkey. *Journal of Neurophysiology* 67, 961–980.
67. Kuai, S.G., Zhang, J.Y., Klein, S.A., Levi, D.M., & Yu, C. (2005). The essential role of stimulus temporal patterning in enabling perceptual learning. *Nature Neuroscience*, 8, 1497–1499.
68. Kuhl P. (1994). Learning and representation in speech and language. *Current Biology*, 4, 812–822.
69. Kullikowski, J.J. and Vidyasagar, T.R.(1990). Hierarchical and parallel processing in primate vision: functional overlap. In: Guthrie, D.M. (eds), *Higher-order sensory processing*. Munchester University Press, Manchester and New York, 114-135.
70. Lamme, V.A.F. (1995). The neurophysiology of figure ground segregation in primary visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 15, 1605–1615
71. Lee D. (2003). Coherent oscillations in the neuronal activity of the supplementary motor area during a visuomotor task. *J Neurosci* 23, 6798–6809.
72. Levi D. M. (2005). Perceptual Learning in Adults with Amblyopia: A Reevaluation of Critical Periods in Human Vision. *Developmental Psychobiology*, 46, 222–232.
73. Levi D. M. & Polat U. (1996). Neural plasticity in adults with amblyopia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 6830–6834
74. Levi D. M., Polat U., & Hu Y. S. (1997). Improvement in Vernier acuity in adults with amblyopia. Practice makes better. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38, 1493–1510.
75. Li R.W. & Levi D. M. (2004). Characterizing the mechanisms of improvement for position discrimination in adult amblyopia. *Journal of Vision*, 4, 476–487.
76. Li W., Piech V. & Gilbert C.D. (2004). Perceptual learning and top-down influences in primary visual cortex. *Nat Neurosci*, 7, 651-657
77. Li R. W., Provost A. & Levi D. M. (2007). Extended Perceptual Learning Results in

- Substantial Recovery of Positional Acuity and Visual Acuity in Juvenile Amblyopia. *Investigations in Ophthalmological Vision Sciences*, 48, 5046–5051.
78. Li, R. W., Young, K. G., Hoenig, P. & Levi, D. M. (2005). Perceptual learning improves visual perception in juvenile amblyopia. *Investigations in Ophthalmological Vision Sciences*, 46, 3161–3168.
  79. Lu Z-L. & Doshier A.B. (2004). Perceptual learning retunes the perceptual template in foveal orientation identification. *Journal of Vision*, 4, 44-56
  80. Maffei, L. & Fiorentini, A. (1976). The unresponsive regions of visual cortical receptive fields. *Vision Research*, 16, 1131–1139.
  81. Martinez-Conde S., Macknik S.L. & Hubel D.H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229–240.
  82. McKee S.P. & Westheimer G. (1978). Improvement in vernier acuity with practice. *Perception & Psychophysics*, 24, 258–262.
  83. Miller, E.K. (1999). Straight from the top. *Nature*, 401, 650-651.
  84. Mogilner A., Grossman J.A., Ribary U., Joliot M., Volkman J., Rapaport D., Beasley R.W. & Llinas R.R. (1993). Somatosensory cortical plasticity in adult humans revealed by magnetoencephalography. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 90, 3593-3597, *Neurobiology*
  85. Mower G. & Christen W. (1985). Role of visual experience in activating critical period in cat visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 53, 572–589.
  86. Mumford D. (1992). On the computational architecture of the neocortex. *Biol Cybern*, 66, 241-251
  87. Newport E.L. (1990). Maturation constraints on language learning. *Cognitive Science*, 14, 11–28.
  88. Otto T.U., Herzog M.H., Fahle M. & Zhaoping L. (2006). Perceptual learning with spatial uncertainties. *Vision Research*, 46, 3223–3233

89. Perkel D. J., Bullier, J. & Kennedy, H. (1986). Topography of the afferent connectivity of area 17 in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 253, 347-402
90. Pleger B., Foerster A-F., Ragert P., Dins H.R., Schwenkreis P., Malin J-P., Nicolas V. & Tegenthoff M. (2003). Functional Imaging of Perceptual Learning in Human Primary and Secondary Somatosensory Cortex. *Neuron*, 40, 643–653
91. Poggio T., Fahle M. & Edelman S. (1992). Fast perceptual learning in visual hyperacuity. *Science*, 256, 1018–1021.
92. Polat U. (2009). Making perceptual learning practical to improve visual functions. *Vision Research*, 49, 2566–2573
93. Polat, U. & Sagi, D. (1994). Spatial interactions in human vision: From near to far via experience-dependent cascades of connections. *Proceeding of National Academy of Sciences USA*, 91, 1206–1209.
94. Ramachandran V.S. & Braddick O. (1973). Orientation-specific learning in stereopsis. *Perception*, 2(3), 371–376.
95. Recanzone G.H., Merzenich M.M., Jenkins W.M., Grajski K.A. & Dinse H.R. (1992). Topographic reorganization of the hand representation in cortical area 3b of owl monkeys trained in a frequency discrimination task. *J. Neurophysiol.* 67, 1031-1056.
96. Recanzone G.H., Schreiner C.E. & Merzenich M.M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult monkeys. *J. Neurosci.* 13, 87-103.
- 97.** Riesen A.H., Kurke M.I. & Mellinger J.C. (1953). Interocular transfer of habits learned monocularly in visually naive and visually experienced cats. *J Comp Physiol Psychol*, 46(3), 166-172.
98. Saarinen J. & Levi D.M. (1995). Perceptual learning in vernier acuity: What is learned? *Vision Research*, 35(4), 519-527

99. Schäfer R., Vasilaki E. & Senn W. (2007). Perceptual Learning via Modification of Cortical Top-Down Signals. *PLoS Computational Biology*, *3*(8), 1555-1566
100. Schiltz C., Bodart J.M., Dubois S., Dejardin S., Michel C., Roucoux A., Crommelinck M. & Orban G.A. (1999). Neuronal Mechanisms of Perceptual Learning: Changes in Human Brain Activity with Training in Orientation Discrimination. *NeuroImage*, *9*, 46-62
101. Schwartz S., Maquet P. & Frith C. (2002). Neural correlates of perceptual learning: A functional MRI study of visual texture discrimination. *PNAS Early Edition* (Doi:10.1073/pnas.242414599).
102. Schoups A.A., Vogels R. & Orban G.A. (1995). Human perceptual learning in identifying the oblique orientation: retinotopy, orientation specificity and monocularly. *Journal of Physiology*, *483*(3), 797-810.
103. Schoups A., Vogels R., Qian N., Orban G. (2001). Practising orientation identification improves orientation coding in V1 neurons. *Nature*, *412*, 549-553.
104. Seitz A.R. & Dinse H.R. (2008). A common framework for perceptual learning. *Current Opinion in Neurobiology*, *17*, 1-6
105. Sheth K.N., Walker B.M., Modestino E.J., Miki A., Terhune K.P., Francis E.L., Haselrove J.C. & Liu G.T. (2007). Neural Correlate of Vernier Acuity Tasks Assessed by Functional MRI (fMRI). *Current Eye Research*, *32*, 717-728
106. Sillito A.M., Jones H.E., Gerstein G.L. & West D.C. (1994). Feature-linked synchronization of thalamic relay cell firing induced by feedback from the visual cortex. *Nature*, *369*, 479-482
107. Taylor M.M. & Creelman C.D. (1967). PEST: Efficient estimates on probability functions. *Journal of the Acoustical Society of America*, *41*, 782-787
108. Thiele A. (2004). Perceptual Learning: Is V1 up to the Task? *Current Biology*, *14*, 671-673

109. Tsodyks M., Adini Y. & Sagi D. (2004). Associative learning in early vision. *Neural Netw*, 17, 823–832.
110. Tsodyks M. & Gilbert C. (2004). Neural networks and perceptual learning. *Nature*, 431(7010), 775–781.
111. Vaina L.M., Sundaeswaran V. & Harris J.G. (1995). Learning to ignore: psychophysics and computational modeling of fast learning of direction in noisy motion stimuli. *Cognitive Brain Research*, 2(3), 155–163
112. Vogels R. & Orban G.A. (1985). The effect of practice on the oblique effect in line orientation judgments. *Vision Research*, 25(11), 1679–1687.
113. Walsh V. & Booth M. (1997). Perceptual learning: Insight in sight. *Current Biology*, 7(4), 249–251
114. Watanabe T., Nanez J.E. & Sasaki Y. (2001). Perceptual learning without perception. *Nature*, 413, 844–848.
115. Weber-Fox, C., & Neville, H. J. (1996). Maturation constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 231–256.
116. Weinberger N.M., Ashe J.H., Metherate R., McKenna T.M., Diamond D.M. & Bakin J. (1990). Retuning auditory cortex by learning: a preliminary model of receptive field plasticity. *Concepts Neurosci*. 1, 91-132.
117. Yang T. & Maunsell T.H. (2004). The effect of perceptual learning on neuronal responses in monkey visual area. *J Neurosci*, 24, 1617-1626.
118. Yu C., Klein S.A. & Levi D.M. (2004). Perceptual learning in contrast discrimination and the (minimal) role of context. *Journal of Vision*, 4, 169-182
119. Zhaoping, LHubel D.H. & Wiesel T.N. (1963). Receptive Fields of Cells in Striate Cortex of Very Young, Visually Inexperienced Kittens. *J Neurophysiol*, 26, 994-1002.,

120. Zhou, Y., Huang, C., Xu, P., Tao, L., Qiu, Z., Li, X. & Lu, Z. (2006). Perceptual learning improves contrast sensitivity and visual acuity in adults with anisometric amblyopia. *Vision Research*, 46, 739–750
121. Ziemann U., Müllbacher W., Gallett M. & Cohen L. (2001). Modulation of practice-dependent plasticity in human motor cortex. *Brain*, 124, 1171-1181
122. Chalupa L. & Werner J. (Eds.). *The Visual Neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 2003.
123. De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1988). *Spatial Vision*. Oxford: Oxford University Press.
124. Fahle M. & Poggio T. (Eds.). (2003). *Perceptual learning*. MIT Press.
125. Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
126. Gregory R.L. (1970). *The intelligent Eye*. (New York: McGraw-Hill)
127. Hermann von Helmholtz (1878). *The Facts of Perception*. Wesleyan University Press
128. Hubel D.H. (1995). *Eye, Brain and Vision*. (ed. W.H. Freeman). Scientific American Library
129. Zeki S. A. (1993). *Vision of the Brain*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.
130. Глезер В.Д. *Зрение и мышление*. Наука, Ленинград, 1985.