



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО НЕВРОБИОЛОГИЯ

Мирослава Димитрова Стефанова

**СУБЕКТИВНА ГЛОБАЛНА ПОСОКА НА СМЕС ОТ
РЕАЛНО (НЕПРЕКЪСНАТО) И МНИМО (ДИСКРЕТНО)
ДВИЖЕНИЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

**София
2014**



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО НЕВРОБИОЛОГИЯ

Мирослава Димитрова Стефанова

**СУБЕКТИВНА ГЛОБАЛНА ПОСОКА НА СМЕС ОТ
РЕАЛНО (НЕПРЕКЪСНАТО) И МНИМО (ДИСКРЕТНО)
ДВИЖЕНИЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за присъждане на образователната и научна
степен “доктор”**

научна специалност: психофизиология

**Научен ръководител:
проф. Стефан Матеев, дбн**

**Рецензенти:
проф. Ангел Василев, дбн
доц. Димитър Митов**

**София
2014**

Дисертационният труд е написан на 130 стандартни машинописни страници и е онагледен с 34 фигури и 1 таблица. Библиографията включва 169 заглавия, от които 1 е на кирилица и 168 са на латиница.

Дисертацията е обсъдена и предложена за защита на научен колегиум на Института по невробиология- БАН, състоял се на 11.02.2014.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 24.04.2014 г. от 13 часа в залата на Институт по невробиология –БАН, ул. “Акад. Г. Бончев”, бл. 23, ет. 2. Материалите по защитата са на разположение в канцеларията на Института по невробиология, ул. Акад. Г. Бончев, бл. 23.

СЪДЪРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. ВЪВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 2. ЦЕЛИ И ХИПОТЕЗИ НА НАСТОЯЩАТА РАБОТА..... | 6 |
| 3. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА | 7 |
| 3.1. Използвани психофизични методи..... | 8 |
| 3.2. Обстановка на експериментите и процедура..... | 9 |
| 3.3. Изследвани лица..... | 9 |
| 3.4. Използвани компютърни програми..... | 9 |
| 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ | 10 |
| 4.1. Експеримент 1. Изследване на възприятието на глобално движение на смес от реално и мнимо движение в еднакви посоки..... | 10 |
| 4.1.1 Резултати..... | 11 |
| 4.2. Експеримент 2. Изследване на възприятието на глобално движение на смес от реално и мнимо движение в различни посоки с метод на константни стимули..... | 11 |
| 4.2.1 Резултати..... | 12 |
| 4.3. Експеримент 3. Изследване на глобалното движение на смес от реално и мнимо движение в различни посоки с дуалтернативен принудителен избор..... | 13 |
| 4.3.1. Резултати..... | 13 |
| 4.4. Дискусия на Експерименти 1 – 3..... | 14 |
| 4.5. Експеримент 4. Изследване ефекта на разстоянието на гледане върху горната критична граница на мнимо движение..... | 18 |
| 4.5.1. Резултати..... | 18 |
| 4.6. Експеримент 5. Изследване на критичната горна граница A_{max} при мнимо движение по различни меридиани на зрителното поле..... | 19 |
| 4.6.1. Резултати | 19 |
| 4.7. Експеримент 6. Паралелно определяне на A_{max} и D_{max} в рамките на една и съща перцептивна задача при възприятие на зигзаговидно движение..... | 20 |
| 4.7.1. Резултати..... | 22 |
| 4.8. Експеримент 7. Изследване на глобално зигзаговидно движение при манипулиране на скоростта (времетраенето) на видимото движение..... | 23 |
| 4.8.1. Резултати..... | 24 |
| 5. ОБСЪЖДАНЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ. ОБЩА ДИСКУСИЯ | 25 |
| 5.1. Обсъждане на Експерименти 6 и 7..... | 25 |
| 5.2. Обсъждане на Експеримент 5. Ефект на “косо движение”..... | 27 |
| 5.3. Обсъждане на Експеримент 4 и на някои перцептивни явления, които възникват при проследяване на глобалното движение с поглед..... | 28 |
| 5.4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 29 |
| 6. ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ | 31 |
| 7. ПРИНОСИ | 32 |
| 8. ПРИЛОЖЕНИЕ | 33 |

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Зрителната система е най-мощното средство, с което разполага човек за възприятие на разстояния, големини на предмети и движения. Зрителното възприятие на движение, по посока и скорост, изглежда много лесно и бързо, но всъщност изисква сложна преработка на нееднозначна информация. Когато се движим – ходим или караме кола, изображението на видимия свят се движи непрекъснато върху ретината на нашите очи. Ние не си даваме сметка, как мозъкът ни регистрира промените на тези движения и използва информацията за автоматично поддържане на изправен стоеж на тялото, за контрол на посоката и начина на ходене, за поддържане на желаната посока и скорост при шофиране или каране на колело. Възприятието на движение играе важна роля за правилното възприятие в пространството, за взаимното разположение на обектите, за дълбочината им, а също и за идентификация на формата им.

По-голямата част от движенията, които наблюдаваме ежедневно, са действителни - реални, обектите се преместват от една точка в пространството в друга видимо, като могат например да се проследят с поглед. Тук подчертаваме една важна характеристика на реалното движение, а именно че то е „*непрекъснато*” движение.

„Мнимо” (apparent) движение е вид дискретно движение, известно още с имена като “бета” или “фи” движение. Обектът се премества в пространството, като заема последователно различни позиции, но е статичен във всяка една от тях. Възприятието на мнимо движение е предмет на хиляди статии. Интересът се крие главно в две неща. За да се възприеме мнимо движение, обикновено е необходимо в първата и втората позиция да има *един и същ* обект. С други думи, за да се възприеме мнимо движение, зрителната система трябва да реши *проблема за съответствието* (correspondence problem). Второ, развитието на неврофизиологията в последните десетилетия показва, че поне при някои типове мнимо движение, механизмите на възприятие съвпадат с тези на непрекъснатото движение. По този начин експериментирането с мнимо движение стана инструмент за изучаване на механизмите на възприятие на движение въобще.

През 1974, Oliver Braddick предполага наличието на два отделни процеса за обработка на мнимо движение, които той нарича „short-range” и „long-range” (процес за „къс” и „дълъг” обхват на движение). За описание на процеса „short-range” мнимо движение, Braddick използва т.н. рандомизирани точкови кинематограми (RDK). Дискретното преместване на всички точки от RDK води до възприятие на „short-range” мнимо движение, но само ако размерът на преместването не надхвърля критичната стойност от 15 ъглови минути (Braddick, 1974). Тази стойност се обозначава с d_{\max} и се нарича *горна пространствена граница на short-range процеса*. Това е горната граница, до която може да се наблюдава гладко, кохерентно движение на конфигурация от случайно разпределени точки. Над тази граница, вместо

движение, възниква перцепт на подскачащи точки в различни посоки като е невъзможно да се определи посоката на отместването им. Наличието на горна пространствена граница предполага, че това е пределът, над който зрителната система не може да разреши проблема със съответствието между елементи в последователни позиции. Смята се също, че измерването на d_{\max} при условия на дискретно преместване на патерна, носи информация за пространствените и времеви свойства на детекторите за движение.

Един от фундаменталните въпроси, стоящи пред възприятието на зрителна информация, е как се извлича субективно глобално движение от разнопосочните сигнали, така че разпокъсания образ от тези сигнали да се сглоби, за да можем добре да се ориентираме в средата, в която живеем. Установено е, че зрителната система на човек може да извлече глобален перцепт за движение при условие на наличие на много, понякога и на противоречиви сведения от отделните обекти в зрителното поле. Например, наблюдател може да оцени глобалната посока или глобалната скорост на конфигурация от случайно разпределени точки, движещи се с хетерогенни големини или посоки на векторите на скоростта. По литературни данни, възприетото глобално движение от елементи с разнопосочни посоки и скорости, съответства на средните стойности на физическите параметри на стимулация. Това се интерпретира като способност на зрителната система *да интегрира информацията за движение*, която постъпва от различни позиции в пространството.

2. ЦЕЛИ И ХИПОТЕЗИ НА НАСТОЯЩАТА РАБОТА

Ние насочихме нашите изследователски интереси към един по-специален вид перцепт на глобално движение, именно глобално движение породено от последователно представени реално (непрекъснато-**R**) и мнимо (дискретно- **A**) движение. Примери за периодично редуване на реално и мнимо движение са застъпени и в нашето ежедневие. Най-простия пример е наблюдение на непрекъснато движение при периодично бързо затваряне и отваряне на очи. Комбинация от реално и мнимо движение се среща, когато наблюдаваме движение на обект или текстура през периодично редуващи се прегради, като ограда от дървени летви, перките на вентилатор, клони на дървета, решетки и други периодични структури.

Целите на настоящите изследвания бяха:

1. Да се проучи способността на наблюдателя да възприема глобално движение, когато се представя смес от реално и мнимо движение;
2. Да се установят механизмите на интеграция между двата типа движение;
3. Да се установят възможните взаимодействия между двата типа движение.

Мнимо движение може да се възприеме само, ако размерът A на дискретното преместване е по-малък от определена горна критична граница A_{max} . Оформи се следните хипотези:

1. Ако мнимото отместване е по-малко от критичната горна граница ($A < A_{max}$), информацията от реалното (**R**) и мнимо (**A**) движение *могат да се интегрират* във времето, водейки до възприятие на глобално движение в посока на векторната им сума **R + A**.

2. Ако мнимото отместване е по-голямо от критичната горна граница ($A > A_{max}$), зрителната система не може да установи съответствие между две последователни позиции на всяка точка, и перцепт на мнимо движение няма да възникне. Отговорът ще е или грешен, или ще се възприема хаотично движение на точките.

3. Като нулева хипотеза, предполагаме, че критичната горна граница на отместване на точките (A_{max}) няма да се влияе от манипулации на реалното движение т.е. че между сигналите от двата вектора няма взаимодействие.

Задачата ни е да проверим тези хипотези, чрез измерване на стойността на горната граница A_{max} с различни методи и при различни условия на комбиниране на векторите за реално и мнимо движение (**R** и **A**).

Целесъобразно е, още тук да въведем някои основни означения, които се използват в настоящия текст:

- **R** – обозначава *векторът* на реалното, непрекъснато движение на всяка точка от случайния патерн. Това е видимата фаза на движението;

- **R** – обозначава *разстоянието*, което всяка точка от патерна изминава в условия на реално, непрекъснато движение (видима фаза);

- **A** – обозначава *векторът* на дискретното, мнимо движение, или преместване, на всяка точка от патерна в невидимата фаза;

- **A** – обозначава *разстоянието*, на което физически се премества точката в невидимата фаза;

- A_{max} – това е горна критична граница на дискретното преместване на точките A , над която настъпва качествена промяна на перцепта на глобално движение. По причини, които ще станат ясни при дискусията на експериментите, ние използваме обозначението d_{max} , въведено от Braddick, за малко по-друг вид променлива, която се пресмята от данните.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Изследванията насочени към определяне на критичната горна граница за мнимо движение в различни условия се провеждаха с помощта на конфигурация от случайно разпределени светли точки, представени на тъмен фон. Те образуваха безкрайна текстура, движеща се в невидима апертура. Използването на конфигурация от случайно разпределени точки вместо на единичен подвижен обект, има преимущество, че нейната позиция в зрителното поле не се мени във времето. По този начин, скоростта на движение не може да се оцени въз основа на съотношението между

възприетата дължина на изминатия път и възприетото времетраене на движение, както би могло да се получи при движение на единичен обект.

Движението на стимулите в първите четири експеримента се извършваше само в хоризонтална посока. Във всяка проба, точките се движеха с една и съща глобална скорост и посока. Промяната на някой от тези параметри водеше до промени в параметрите на движение на цялата конфигурация и съответно на възприетото глобално движение. Във всички опити изследваните лица наблюдаваха екран, равномерно осветен с яркост 0.6 cd/m^2 . Гъстотата на точките беше $0.38 \text{ dots per deg}^2$, като всяка точка беше с диаметър 3 mm и яркост 2 cd/m^2 . Главата на изследваното лице бе фиксирана на подбрадник на 30 cm от екрана, така че погледът да попада на фиксационна точка на 2 cm под средата на долния ръб на четириъгълна апертура с височина 2 cm и ширина 20 cm . Единствено в опит 4 варирахме разстоянието до екрана от 30 cm до 120 cm .

Точките бяха прожектирани на бял екран с помощта на осцилоскоп и решето (парче черен картон надупчен по случаен начин). Осцилоскопът се намираще зад екрана, а решето заемаше положение между осцилоскопа и екрана. Опитната постановка е разработена и подробно описана от Mateeff, Dimitrov & Hohnsbein (1995).

Яркостта на лъча на осцилоскопа се контролираше с помощта на допълнителен дигитално-аналогов преобразовател. Това позволяваше яркостта на лъча да се сведе до нула за дискретните отмествания Δ . Движението на конфигурацията от точки за 1 deg беше разделено на 1500 стъпки, като всяка нова позиция на лъча се пресмяташе на всеки 0.1 ms . Тази финна времева стъпка позволяваше да се възприема гладко, непрекъснато движение на точките от конфигурацията, като това движение на практика не се различава от реалното движение в естествени условия.

За опити от 5 до 7 използвахме монитор. Отново представяхме конфигурация от случайно разпределени точки. Те се появяваха в кръгла апертура с диаметър 19 deg , позиционирана в средата на 13 инчов, CRT монитор с честота 70 Hz . Една от причините да се използва такава форма на апертурата се корени в естеството на задачата- наблюдение не само на хоризонтално, но и на вертикално движение. Друга причина е възможността да се възпроизведат тези опити и от други автори на екран на монитор.

Резолюцията на монитора беше 640 px по хоризонтала и 200 px по вертикала. Така всеки пиксел беше с ширина 0.078 deg и височина съответно 0.17 deg . Яркостта на фона бе 12 cd/m^2 , а на точките беше 75 cd/m^2 – с Майкелсонов контраст 0.72 . Конфигурацията наброяваше около 100 точки, със средна гъстота 0.4 елемента на квадратен градус. За визуализация на стимулите, използвахме софтуер с интерфейс карта за контрол и синхронизация на кадрите, изработени по поръчка. Програмата за представяне на стимулите, е предназначена за моделиране на движение на обект (в нашият случай конфигурация от случайно разпределени точки) в тримерното пространство чрез паралелна проекция върху екрана на монитор.

3.1. Използувани психофизични методи

Основният метод, който използвахме в нашите експерименти беше трансформираният up-down метод на Levitt (1971)- TUD. Принципът е следния: ако наблюдателят отговори правилно на n последователни фиксирани проби (ние работихме с 3 повторения, което отговаря на 79.4%-процентната точка от психометричната крива), силата на стимула или разликата между два стимула в следващата проба се намалява с една стъпка. Ако наблюдателят даде неправилен отговор на дадена проба, в следващата проба силата на стимула или разликата между два стимула се увеличава с една стъпка. Ходът на разликите между стимулите при последователни проби, е начупена линия. Методът е удобен за измерване на праг на различаване или откриване. Неговото предимство е, че с малко измервания, може да се получи надеждна оценка на прага. Прагът се определя чрез осредняване на стойностите на стимулите, където е настъпило обръщане на отговора. В нашите опити броят на обръщанията за един опит е не по-малко от 10. Първите две обръщания се изключват от осредняване. Това е честа практика, защото се счита, че в самото начало наблюдателят още не е свикнал с изпълнение на задачата.

В поредицата от експерименти, които конструирахме, само в опит 2 използвахме метода на константните стимули, като всеки стимул се повтаряше по 32 пъти.

3.2. Обстановка на експериментите и процедура

На екрана се появяваше фиксационен знак и предупреждаващ сигнал, преди появата на пробата. Изследваното лице трябваше да фиксира погледа си върху фиксационния знак и да бъде готово за появата на стимулите. Пробите бяха двуинтервални 2AFC (с изключение на Експеримент 2). Задачата на изследваните лица в повечето експерименти беше, да определят каква е глобалната посока на движение на случайния патерн - наляво или надясно от субективна вертикала. Отговорите се записваха чрез външна клавиатура. При отклонение на движението на конфигурацията наляво, изследваните лица бяха инструктирани да отговарят с ляв бутон, при отклонение надясно съответно с натискане на десен бутон. Така беше формулирана задачата за различаване на посоката.

В Експеримент 1 се използваше задача за различаване на скорост. Наблюдателят трябваше да определи кое от двете движения е по-бързо в проба с два интервала. Ако е първото движение, той натискаше ляв бутон от клавиатурата. Ако е второто движение, той натискаше десен бутон.

3.3. Изследвани лица

В опитите участваха общо 20 изследвани лица с нормално или коригирано до нормално зрение, на възраст от 28 до 60 години. 17 от тях бяха наивни за целите на експеримента, като за участието им в опитите получаваха парична премия. Повечето лица участваха в повече от един експеримент. Най-малко брой участници- 4 имахме в опит 4, където променяхме разстоянието на гледане до екрана. Най-много лица – 8, имахме

в опит 1. Преди всеки експеримент, участниците попълваха форма за информирано съгласие съобразно Правилника на Комисията по етика към Института по невробиология.

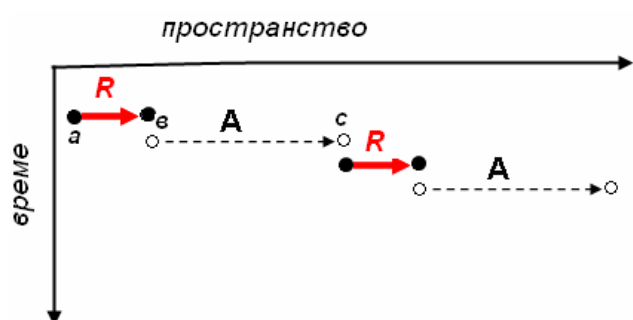
3.4. Използувани компютърни програми

Програмите, които използвахме, работеха на платформа DOS - Паскал, Турбо паскал и Асемблер. Тези програми, както и съответния интерфейс с осцилоскопа за прожекция на стимулите, ни бяха предоставени от колеги от Изследователския център „Лайбниц“ за работна среда и човешки фактори в град Дортмунд, Германия, с които имахме дългогодишно сътрудничество и проекти. Статистическите данни се обработваха основно с програмата STATISTIKA 7, дисперсионен анализ.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

4.1. Експеримент 1. Изследване на възприятието на глобално движение на смес от реално и мнимо движение в еднакви посоки

В този опит измервахме горната граница на мнимо движение A_{\max} като функция от реалното движение, като векторите на реалното и мнимото движение бяха с една посока. На фигура 1 е представено движението на една точка от стимула. Тя се появява на екрана, но не стои неподвижно, а се движи за 50 ms надясно ($R = (av)$ -плътната линия). След това изчезва за 50 ms и се появява отместена на разстояние $A = (vc)$ от крайната си позиция. Тези движения се повтаряха 16 пъти за 1.6 s.



Фигура 1. Схематично описание на движението на една точка от конфигурацията с еднакви посоки на двете движения. Отместването на точката между позициите a и v е видимата фаза на непрекъснатото движение R (плътната линия насочена надясно); отместването между позициите v и c съответно невидимата фаза на мнимото движение A (прекъснатата линия).

Размерите на реалното движение бяха с големина 0, 0.57, 0.96, 1.33 deg. Те се комбинираха с различни размери на мнимото отместване от 0.76 до 2.1 deg. При това условие правилното различаване на посоката щеше да бъде винаги възможно на базата на възприетото реално движение и това наложи използването на задача за различаване на скорости. Представяхме двойки движения с фиксирана големина на реалното като манипулирахме големината на мнимото по такъв начин, че да се установи критична стойност, над която Вебер отношението за различаване на скорости достига 80%. Така се образуваха общо 26 стандартни комбинации на смес от реално и мнимо движение (скоростите им варираха от 5.7 deg/sec при $R= 0.57$ deg и $A = 0$ до

26 deg/s при $R = 1.3 \text{ deg}$ и $A = 1.3 \text{ deg}$). За да бъде балансиран опитът и да се избегне адаптация и послеефект, посоката на двойката стимули в половината проби беше наляво, в другата половина надясно (но винаги една проба съдържаше двойка **A** и **R** в една и съща посока).

Критичната горна граница на мнимото движение - A_{\max} се определяше по следния начин. При фиксирана големина на R конструирахме няколко стандартни стимула с различни равноотстоящи дължини на A . Прагът за различаване на скорости беше мерен с всеки от тези стандарти и стимул с променлива скорост. Критичната големина на A_{\max} беше изчислена като средата между най-голямата стойност на A , получена като „краен“ инкрементен праг и най-малката стойност на A получена като „безкраен“ праг.

Задачата на наблюдателя беше да оцени, кой от двата стимула се движи по-бързо. За измерване на прага на различаване и дробта на Вебер, прилагаме процедура за дуалтернативен принудителен избор (2AFC) и трансформираният up-down метод (TUD-staircase, Levitt, 1971). Опитите се проведоха в рамките на два последователни дни. Един опит се състоеше от 60 представяния с фиксирана комбинация на R с A , като от него се получаваха около 10-12 обръщания на стълбицата.

С всяко изследвано лице беше проведено и контролно условие, със същата процедура, при което се определяше прагът за различаване на две непрекъснати, реални движения на патерна, със скорости на стандартното движение 21 deg/sec (тази скорост е достатъчно висока, за да проверим нейното влияние върху изпълнението с гладко движение).

В Експеримент 1 участваха 8 лица - 4 жени и 4 мъже с нормално или коригирано до нормално зрение на възраст от 28 до 60 години.

4.1.1 Резултати:

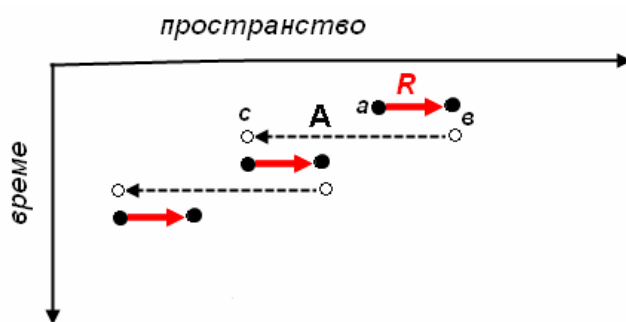
Очаквано, крайни прагове за различаване се получиха при ниски стойности на мнимото движение A . В този случай дробта на Вебер се получи „приемлива“ - между 8% и 14%. Но при отклонения на A над A_{\max} , дробта на Вебер нарастваше до 80% и дискриминация беше невъзможна. За всяка големина на $R = 0, 0.57, 0.96, \text{ и } 1.34 \text{ deg}$ получихме средна оценка за A_{\max} съответно 1.26, 0.81, 0.62 и 0.31 deg. Резултатите от опита са представени на фигура 4 заедно с данните от опити 2 и 3. В опит 1 горната критична граница A_{\max} последователно намалява с увеличаване големината на реалното движение ($F = 76.5$; $df = 3, 21$; $p < .0001$).

Възможно е, неспособността на лицата да различават движения в условия с по-високи скорости, да се дължи именно на твърде високата скорост. Но данните от контролното условие опровергаха това предположение. Непрекъснатите движения бяха със същите скорости както и тези с най-бързата комбинация от реално и мнимо движение, но от контролния експеримент се получиха крайни стойности на праговете за всички лица (средно 9%). Следователно, високата скорост на движение не е

причина за неспособността на лицата да различат скорости. “Безкрайни” прагове се получават поради това, че невидимата фаза A е с твърде голям размер и надхвърля критичната стойност.

4.2. Експеримент 2. Изследване на възприятието на глобално движение на смес от реално и мнимо движение в различни посоки с метод на константни стимули

При този експеримент, проверката на нулевата хипотеза продължи в условия, при които посоките на реалното и мнимото движение бяха противоположни. Пример за такъв тип движение е илюстриран на фигура 2. Всяка точка от патерна се появява в позиция a , движи се 50 ms до позиция b надясно и изчезва. Реалното движение е разстоянието $R = (ab)$ нарисувано с плътна линия на фигурата. След 50 ms точката се появява отново на екрана, но отместена в позиция c . A е мнимото отместване $A = (bc)$ на точката в обратна посока на реалното движение (пунктирираната линия -наляво).



противоположна посока-наляво).

Фигура 2. Пример на движение на една точка от конфигурацията с различни посоки на двете движения. Разстоянието между позициите a и b показва размерът на реалната, видима фаза на движението R (плътната линия, насочена надясно); разстоянието между позициите b и c показва размерът на невидимата, мнима, фаза A (прекъснатата линия, насочена в

Отново размерите на реалното движение бяха между 0 и 1.34 deg. Те се комбинираха с различни размери на мнимото движение от 0.3 до 3 deg. Глобалните посоки на движение на целият стимул бяха рандомизирани наляво и надясно. Изследваните лица описваха това, което виждат с помощта на четири възможни отговори: “движение наляво”, “движение надясно”, “движение в двете посоки”, “хаотично движение”. Отговорите на лицата “движение наляво” и “движение надясно” бяха прекодирани на “правилен” или „неправилен”, в зависимост от това дали съответствуват на физическата глобална посока на движение $R + A$, или не. В опита участваха 5 от лицата участвали в опит 1 - 4 жени и 1 мъж.

4.2.1. Резултати:

В случая $R = 0$ увеличаването на A над критичната стойност (над 1.2 deg), прогресивно водеше до намаляване на правилните отговори за вярната глобална посока и увеличение на отговорите „неутрални”, което показва драстично увеличение на хаотичното движение на стимула. Изследваните

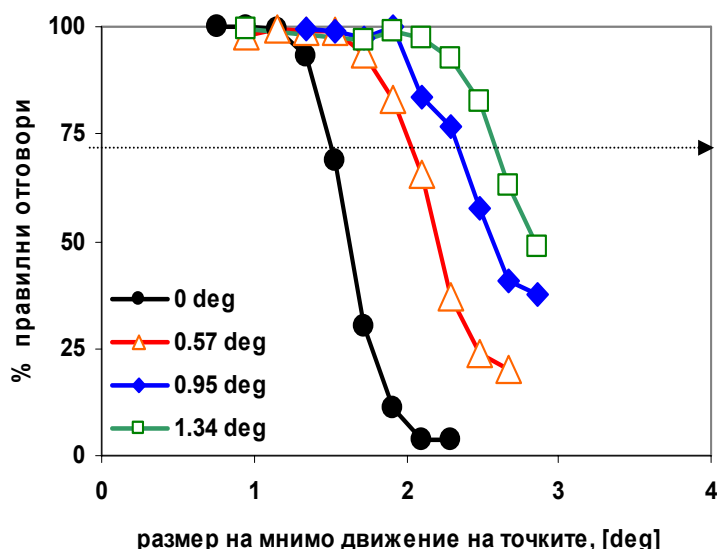
лица виждаха подскачащи точки, като се затрудняваха да определят тяхната посока. Опитите без реално движение показаха отсъствие на отговори ”две противоположни” движения и „неправилни” отговори.

За $R > 0$ увеличението на A също води до намаление на правилната идентификация, придружено от отговори ”две противоположни” движения. За всички размери на R , с увеличаване на A над 2 deg, процентът „правилни” отговори намалява. Но за разлика от случая без реално движение ($R = 0$), тук се появяват повече оценки за „две противоположни движения” и „неправилни” отговори. Процентът на „неутрални” отговори намалява, с увеличаване размера на R .

При $R \neq 0$ увеличението на A над критичната стойност, води до обръщане на възприетата посока. Движението на конфигурацията от точки се оценява на база посоката на реалното движение - R , т.е. обратно на глобалната посока $R + A$, което се разглежда като „неправилно” отговор. Това обръщане на посоката с увеличаване на A , е най-добре изразено при голям размер на реално движение ($R = 1.33$ deg).

От фигура 3 става ясно, че големината на реалното движение оказва ефект на формата на четирите криви по различен начин: те са отместени надясно с увеличението големината на реалното движение. Възможно е от графиката да се определи стойността на абсисата, която съответства на 75% правилни отговори. Така се определя A_{max} за всяка стойност на R .

Средната оценка на A_{max} за всяка от големините на $R = 0, 0.57, 0.96$ и 1.34 deg са съответно $A_{max} = 1.5, 2.0, 2.3$ и 2.6 deg. В този експеримент A_{max} силно нараства с нарастване големината на реалното движение ($F = 93.1$; $df = 3,12$; $p < .0001$).



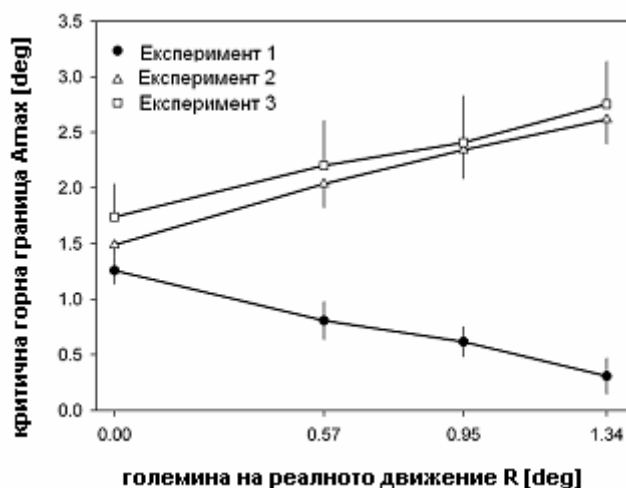
Фигура 3. Резултати от експеримент 2. Процентът правилни отговори в зависимост от големината A на мнимото отместване. Горната граница A_{max} за всяка стойност на R , може да се изчисли като 75% стойност за всяка крива на големината на реалното движение.

4.3. Експеримент 3. Изследване на глобалното движение на смес от реално и мнимо движение в различни посоки с двуалтернативен принудителен избор.

За да потвърдим оценката за A_{\max} от експеримент 2 ние проведехме опит, в който реалното и мнимо движение отново бяха в противоположни посоки, но A_{\max} беше получено чрез двуалтернативен принудителен избор на трансформирания up-and-down метод. Използвахме същите големини за реалното и мнимо движение. Посоката на векторната сума беше представена рандомизирано наляво или надясно. Лицата трябваше да определят глобалната посока на трансляцията на конфигурацията от точки с помощта само на два отговора: “движение наляво” или “движение надясно”. Други отговори не се разрешаваха. Измерванията се провеждаха с блокове от 60 проби. От тях се получаваха около 10 -12 обръщания, като стойностите на A , при които са получени, подлежаха на осредняване. Средната стойност беше оценка на този размер A , при който правилните отговори са 79.4%. Тази стойност бе приета за A_{\max} .

4.3.1. Резултати:

Резултатите от този опит, заедно с другите два опита са показани на фигура 4. Този експеримент потвърди, че A_{\max} силно нараства, с нарастване стойността на R ($F = 74.7$; $df = 3,12$; $p < .0001$).



Фигура 4. Осреднените резултати за трите опита. На фигурата е изобразена зависимостта на критичната горна граница A_{\max} (ординатата) от големината на реалното движение R (абсцисата).

Вече можем да *обобщим*: данните получени от опит 1, (условие на две движения в една посока) се различават съществено от данните получени от опит 2 и 3 (две движения в различни посоки). Докато в първия опит, критичната горна граница за мнимо движение A_{\max} намалява с увеличение големината на реалното движение, в следващите два опита, критичната горна граница A_{\max} се увеличава с увеличение на R .

4.4. Дискусия на Експерименти 1 – 3

Измерените стойности на A_{\max} силно се влияят както от размера на реалното движение, така и от посоката му спрямо дискретното движение. От фигура 4 се вижда, че при $R = 0$, получената чрез задача за дискриминация на скорости големина на A_{\max} , е с около 0.4 deg по-малка от стойността на A_{\max} при задача за дискриминация на посока. За определен набор от размери на мнимото движение A , е възможно различаване на посока, но не и различаване на скорости. Разликата от 0.4 deg при $R = 0$ при различни задачи за различаване обаче, изглежда незначителна в сравнение с разликата от 2.5 deg между двете условия при високи стойности на R . Именно този резултат хвърля съмнение върху нашата нулева хипотеза за възприятие на глобално движение чрез интеграция на две *независими* движения.

За да разгледаме потенциалните взаимодействия между двата типа движение, които представяме в нашите експерименти, ще се спрем на една хипотеза, по отношение на която има съгласие между авторите в литературата. Смята се, че детекторите за движение *не работят независимо* един от друг. Когато точка се движи със скорост V в определена посока, детекторите, които са възбудени, изпращат *усилващ* сигнал към следващите детектори по посока на движението, които също са настроени към такава скорост (Snowden & Braddick, 1989). Разглеждането на хипотезата за облекчаващи взаимодействия между детекторите на движение в еднакви посоки води до предсказания на ефекти, които силно противоречат на експерименталните данни. Възможно е, реалното движение да облекчава регистрацията на последващото мнимо движение, с което да се подобрява изпълнението на задачата. Но подобряване на изпълнението би се отразило на размерите на A_{\max} ; „по-силно“ реално движение преди мнимото следва да доведе до по-висока стойност на A_{\max} . В Експеримент 1 се получава точно обратното. При по-големи размери на реалното движение, стойността на A_{\max} намалява, вместо да се увеличава, въпреки че посоките на двете движения са еднакви. Вместо облекчаване, получава се *затрудняване*. В Експерименти 2 и 3 мнимото и реалното движение са в противоположни посоки. За процес, при който реалното движение „облекчава“ регистрацията на последващото мнимо движение, тук е трудно да се говори. При това положение, A_{\max} би следвало поне да не се променя като функция на дължината на мнимото движение. Детекторната теория не ни помогна при обяснението на резултатите. Данните следва да се обяснят с друг вид процес.

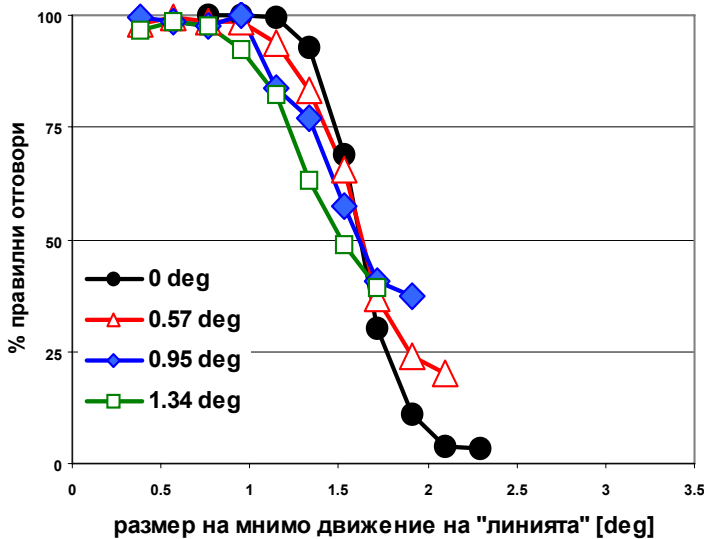
Изхождайки от идеите на Johansson (1994) ние разгледахме движението на една точка по време на реалното движение (R) като *цялостно перцептивно събитие*, или „*motion event*”, независимо от размера и посоката на движение. Така нашият стимул се състои от такива събития, които се представят последователно в поредица от различни позиции. Предположихме, че глобалната посока на конфигурацията се определя от short-range процес, който регистрира именно мнимото отместване на перцептивно събитие, а не преместването на самите точки.

При така направените предположения, анализът на short-range процеса следва да се проведе по по-различен начин. Нека с D отбележим вектора на отместване на всяко перцептивно събитие. Тогава размерът на D ще се определя като разстояние от начало-до-начало или от край-до-край на вектора на всяко реално движение R в две последователни премествания. Самото пресмятане на D е просто:

- при еднакви посоки (Експеримент 1) на двата вектора R и A , имаме $D = R + A$, т.е. D е сума от двата размера.

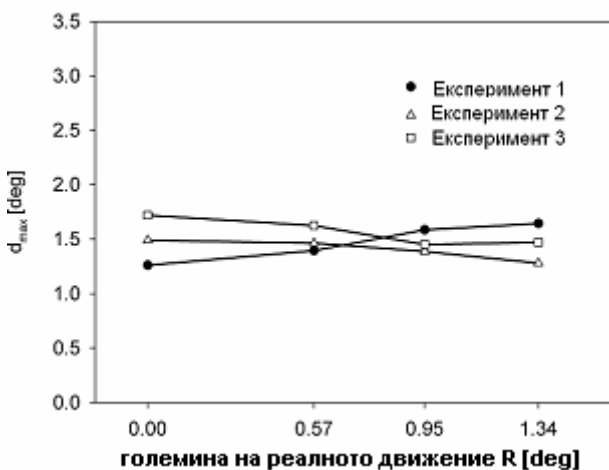
- когато R и A са в противоположни посоки, то $D = A - R$ се явява тяхната разлика.

Данните за A_{max} от фигура 3 бяха преизчислени за D_{max} на фигура 5. Вижда се че, когато резултатите се представят като критични горни граници на мнимо преместване на „събитията“, дисперсията, причинена от размера и посоката на реалното движение R се елиминира в значителна степен.



Фигура 5. Обединени „правилни“ отговори във функция от големината на „ивиците“ (абцисата). Преизчислени резултати от фигура 3.

Този факт силно подкрепя нашите предположения: *зрителната система третира реалните движения като едни и същи обекти, като „ивици“, които се преместват с мнимо движение.*



Фигура 6. Преизчислени данни от фигура 4. Критичната горна граница D_{max} е изчислена като разстоянието от-начало-до –начало(или от-край-до-край) на „ивицата“ във видимата фаза.

Когато данните се представят с D_{\max} странния, значителен ефект за големината и посоката на \mathbf{R} върху A_{\max} , изчезва. Резултатите от фигура 4 също бяха преизчислени и са показани на фигура 6. Вижда се че, когато резултатите се представят като големина на “ивици” от движение D , отговорите на лицата са много по-компактни и систематични, отколкото ако са представени като отместване на точките A . Стойностите за критичната горна граница на “ивиците” D_{\max} , са около 1.5 deg (или 8 mm при разстояние на гледане 30 cm), независимо от условието на опита.

„Целта” на „ивиците” от движение е да подпомогнат определянето на посоката на движение. Когато зрителната система интегрира движение във времеви прозорец от 100 ms, движещите се обекти оставят след себе си следи, „ивици или линии”, които разкриват посоката на тяхното движение. Ивиците могат да се открият чрез ориентационно чувствителни механизми, като се комбинират с информация от детектори за движение и по този начин се подпомага анализа за вектора на движение. Предимството на тази схема е, че двата начина за оценка на посока се допълват - когато скоростта се увеличи, детекторите за движение стават по-малко активни, но това се компенсират от по-надеждното регистриране на ивици от движение. Ние предполагаме още една функция на линиите от движение - *те могат да се включат в други зрителни функции, като възприятие на глобално движение от смесен тип.* „Ивиците” от движение, могат да са в помощ при идентификация на видимата фаза като едно цяло събитие. Смятаме, че short-range процесът регистрира преместване на отделни „ивици” по време на невидимата фаза на движение, а не на самите точки от конфигурацията. Така, критичната горна граница на точките (A_{\max}) се определя като разстояние от-начало-до-край на видимата фаза, докато критичната горна граница на ивиците от движение (D_{\max}) се определя като разстояние от-начало-до-начало или от-край-до-край на видимата фаза. Може да е разумно да се спекулира, че “ивиците” и “перцептивното събитие” са идентични понятия. При условие, че отместването им е по-малко от критичната горна граница на ивиците D_{\max} , линиите могат винаги да бъдат в мнимо движение във физическата посока, независимо от големината и посоката на реалното движение.

Приемането на тази хипотеза има важно последствие. В нея *не* става въпрос за интеграция на сигналите, получавани от реалното и мнимо движение. *Интеграция просто не е необходима.* Наличие на “ивици” и short-range процес, който регистрира преместване във времето, са достатъчни, за да може да се определи, че конфигурацията се движи като цяло във физическата посока. Ако отместването на ивиците или линиите от движение стане твърде голямо, зрителната система няма да може да реши проблема със съответствието в последователни представяния, като в зависимост от условията, ще доминира или възприятие на некохерентност, или глобалната посока ще се определи от движение на самата „ивица”.

В заключение, ние предполагаме, че линиите от движение, които се извличат от видимата и невидимата фаза на смесен тип стимули, може въобще да не изисква интеграция на информацията. Два ранни зрителни процеса може би са достатъчни за възприятие на конфигурацията от точки като цяло и движението ѝ във физическата посока:

1. образуване на “ивици” от движение във видимата фаза и
2. short-range процес, който анализира преместването на “ивиците” от движение във времето.

Когато отместването на “ивиците” е по-късо от горната граница на short-range процеса (D_{max}), наблюдателите виждат трептящи точки, които се движат заедно в посока на глобалното движение. Размерът на D_{max} остава приблизително същия независимо от посоката и големината на реалното движение. Когато отместването на ивиците е по-голямо от D_{max} , няма да може да се оцени мнимо движение. В зависимост от големината на реалното движение във видимата фаза се възприема, или несвързано движение, или глобалната посока се определя на базата на реалното движение.

Следващите експерименти са посветени на по-нататъшна проверка на тези предположения.

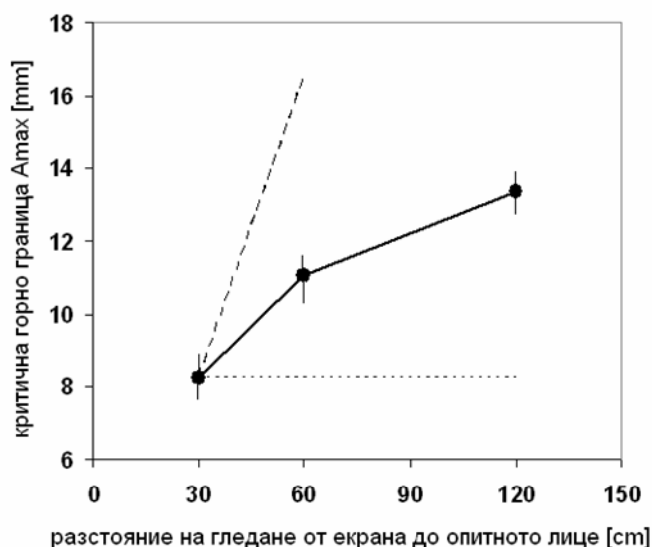
4.5. Експеримент 4. Изследване ефекта на разстоянието на гледане върху горната критична граница на мнимо движение

Измерванията се проведеха с три разстояния на гледане, 30, 60 и 120 cm, като редът им бе рандомизиран спрямо участниците. Стимулите, методът и процедурата бяха същите като описаните в опит 3, условие R = 0. Патернът се появяваше на екрана неподвижен за 50 ms, изчезваше за 50 ms, след което се появяваше отместен хоризонтално на разстояние A за нови 50 ms, пак изчезваше, и т.н. 16 пъти. Проби с премествания наляво и надясно се представяха рандомизирано. Задачата на наблюдателя бе да определи посоката на преместване в пробата, с натискане на един от двата бутона на специална клавиатура.

4.5.1. Резултати

Данните за A_{max} се измерваха в милиметри. Получихме следното: при разстояние до екрана от 30 cm се получават стойности за A_{max} от 8 mm (1.5 deg), при отстояние от 60 cm - стойността на критичната горна граница се увеличава на 11 mm, а при най-голямото разстояние 120 cm, A_{max} нараства до 13 mm.

Зависимостта на A_{max} от разстоянието на гледане е показана на фигура 7. Ако предположим, че тази величина съответства на фиксиран размер върху ретината, който не зависи от разстоянието на гледане, то нейният ъглов размер ще остава постоянен, а нейната величина в милиметри ще нараства линейно с разстоянието на гледане. Това нарастване е илюстрирано с наклонената прекъсната линия на фигура 7.



Фигура 7. Осреднени резултати от Експеримент 4. Показана е горната критичната граница A_{max} , измерена в mm (ордината) като функция на разстоянието на гледане (абсциса). Наклонената прекъсната линия показва, как трябва да се изменя A_{max} в случай, че тя е с постоянен ъглов размер. Горизонталната прекъсната линия показва стойностите на A_{max} , ако тя е с постоянен линеен размер.

Данните показаха, че A_{max} наистина значително нараства с увеличение на разстоянието на гледане ($F = 696.3$; $df = 2,6$; $p < .0001$). Но ходът на тази зависимост не съвпада с теоретичната (наклонената) линия, която би се получила, ако горната граница е постоянна като зрителен ъгъл, т.е. ако ставаше въпрос за фиксирано разстояние върху ретината на окото. Данните са изместени по посока на линията, която би се получила, ако A_{max} е с постоянен линеен размер на екрана.

Този експеримент показва, че линейният размер на A_{max} наистина нараства с нарастване на разстоянието на гледане, но не така, че да направим заключението, че тя отразява ретиналният размер на някакъв вид фиксирани рецептивни полета.

4.6. Експеримент 5. Изследване на критичната горна граница A_{max} при мнимо движение по различни меридиани на зрителното поле

Експерименти 5, 6 и 7 са проведени, като случайният патерн се генерираше на екрана на CRT монитор. Един въпрос, който може да възникне, е дали стойността на A_{max} зависи от меридиана на зрителното поле, по който се извършва движението. Ако меридианът наистина оказва ефект, то този ефект следва да се отчете по някакъв начин при измервания на A_{max} , при който същото мнимо движение се представя заедно с вектори на реалното движение. Така, целта на този експеримент бе да се провери дали меридианът, по който се представя „чисто“ мнимо движение (т.е. при $R = 0$) ще повлияе стойността на горната граница A_{max} .

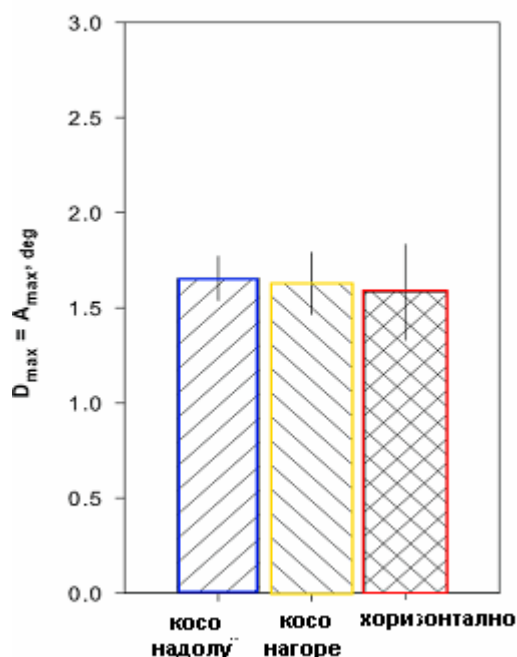
Избрахме да изследваме движения, които бяха по меридиани, условно наречени „косо-нагоре“, „косо-надолу“ и „хоризонтално“. Техните посоки, се променяха случайно наляво или надясно спрямо субективна вертикала.

Измерването започваше с големи размери на вектора на мнимото движение A . Тези условия затрудняваха лицата при идентификацията на

посоката на движението наляво или надясно спрямо вертикалата. С намаляване на размера на A , броят правилните отговори нарастваше и определянето на горната граница A_{\max} , се извършваше по описания вече начин, чрез осредняване на получените стойности за мнимото движение. Така се натрупваха по 10 – 12 обръщания на отговорите във всеки опит. В опита участваха 6 лица - 3 жени и 3 мъже с нормално или коригирано до нормално зрение на възраст от 28 до 60 години.

4.6.1. Резултати

Данните са представени на фигура 8. От фигурата се вижда, че критичната горна граница A_{\max} , не зависи от меридиана на зрителното поле. Получените стойности за A_{\max} за двете коси движения, са почти равни на A_{\max} за хоризонтална посока. Данните показват, че големината на A_{\max} варира около 1.7 deg, стойност, която приблизително се получи и в първите три експеримента. Този резултат е успокояващ, доколкото той облекчава интерпретацията на данните от следващите експерименти. Имаме основание да вярваме, че промените на A_{\max} се дължат само на манипулациите на реалното движение, а не на меридиана на зрителното поле, по който се извършва мнимото движение.



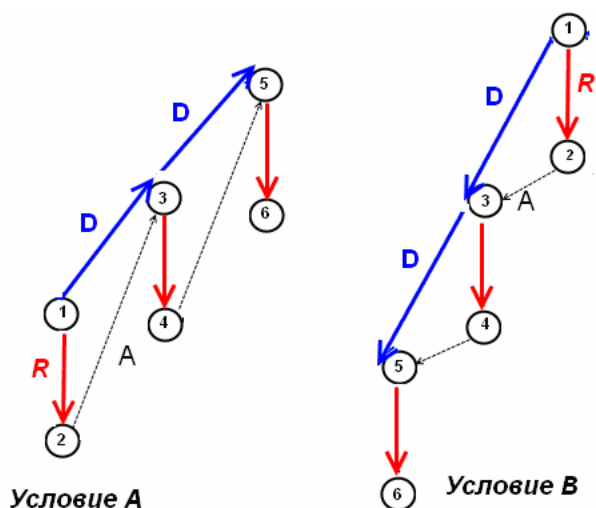
Фигура 8 Осреднени данни от експеримент 5. По ординатата $D_{\max} = A_{\max}$ в зрителни градуси. По абцисата – трите условия „косо надолу“; „косо-нагоре“ и „хоризонтално“ движение. Представени са стандартните отклонения.

4.7. Експеримент 6. Паралелно определяне на A_{\max} и D_{\max} в рамките на една и съща перцептивна задача при възприятие на зиг-заговидно движение

Със следващата серия от експерименти се помъчихме да отговорим на въпроса: дали зрителната система определя *само* съответствието между

ивиците, или *само* съответствието между точките в краищата на ивиците, или имаме работа с процес от смесен тип?

За да се отговори на този въпрос, необходимо е провеждането на експеримент, в който двете величини, A_{\max} и D_{\max} се определят в рамките на една и съща перцептивна задача и с един и същ психофизичен метод. Експеримент 6., в който случайният патерн се движи по зигзаговидна траектория, отговаря на тези условия. Движението на патерна е илюстрирано на фигура 9.



Фигура 9. Схематично описание на движенията, изследвани в Експеримент 6. *Условие А* – видимо движение - вертикално надолу (R), мнимо - косо нагоре (A), като движението се променя случайно наляво или надясно спрямо субективната вертикала. *Условие В* – видимо движение вертикално R , мнимо – косо A , отново рандомизирано наляво или надясно.

От фигурата се вижда, че траекторията на движение на патерна е зигзаговидна, всеки негов елемент заема последователно позициите 1-2-3-4-5-6, като отклонението на движението в косо направление можеше да бъде както наляво, така и надясно в последователните проби. Видимото движение R е винаги с един и същи размер (6 px или 1.04 deg) и е във вертикално направление-надолу или нагоре по вертикалата. Мнимото преместване A на всеки елемент е от позиция 2 в позиция 3, след това от позиция 4 в позиция 5, и т.н. Преместването D на ивицата от движение, е от позиция 1 към 3, след това от 3 към 5, и т.н. Именно векторът D определя и физическата глобална посока $R + A$ на движението на целия патерн, $D = R + A$. При фиксиран размер на R и фиксирана посока на D , от D може да се пресметне A и обратно по косинусовата теорема.

При движението, означено с *условие А*, вертикалната компонента на глобалното движение, $D_{\text{верт}}$, е в посока *противоположна* на видимия вектор R . С други думи, това условие повтаря условията на Експерименти 2 и 3, при които посоките на видимото и невидимото движение също бяха противоположни.

При движението, означено с *условие В*, вертикалната компонента на глобалното движение, $D_{\text{верт}}$, е в *същата посока*, както и посоката на видимия вектор R . Това условие повтаря условията на Експеримент 1, в който посоките на видимото и невидимото движения бяха еднакви.

A_{\max} и D_{\max} бяха измервани в четири различни условия:

- вертикално движение - надолу, мнимо - косо нагоре;
- вертикално движение - нагоре, мнимо - косо надолу;
- вертикално движение - надолу, мнимо - косо надолу;
- вертикално движение - нагоре, мнимо - косо нагоре.

Посоките с коси движения бяха рандомизирани в последователните проби, наляво или надясно спрямо субективната вертикала, като задачата на лицата беше да различат тези посоки.

4.7.1. Резултати

Данните от Експеримент 6. са представени на фигура 10 като резултатите от измерванията на D_{max} и A_{max} са изобразени отделно.

От данните се вижда, че посоката на вертикалното движение **R** нагоре или надолу по вертикалата, което съответства на обръщането на глобалното движение на патерна на 180° , не оказва съществен ефект върху зависимата променлива. Стойностите на двете горни критични граници при движение нагоре са малко по-ниски от тези при движение надолу. Този ефект обаче, е един и същ за D_{max} и A_{max} и не представлява интерес за нашето изследване.

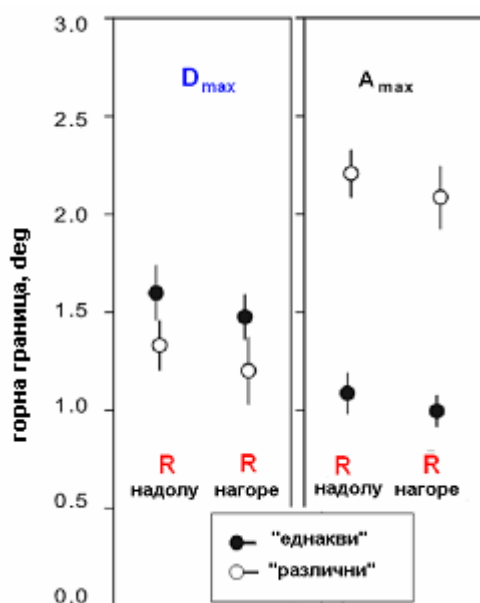
Много по-интересно е разглеждането на разликите между стойностите на A_{max} при условията „еднакви“ и „различни“ посоки на видимото и невидимото, мнимо движение и същите разлики между D_{max} при „еднакви“ и „различни“ посоки.

Идеална подкрепа на хипотезата за включване на „ивици“ от движение, щеше да е резултат от вида, показан с равенства (1), именно:

$$D_{max}(\text{„еднакви“}) = D_{max}(\text{„различни“}) \text{ и}$$

$$A_{max}(\text{„различни“}) \gg A_{max}(\text{„еднакви“})$$

За съжаление, пълно равенство между двете стойности на D_{max} не се получи. Но все пак разликите за D_{max} са значително по-малки от разликите между стойности за A_{max} .



Фигура 10. Осреднени данни от Експеримент 6. По ординатата са нанесени D_{max} и A_{max} в зрителни градуси. По абсцисата – условия „**R** надолу“ и „**R** нагоре“. Запълнени символи – условие „еднакви“, незапълнени символи – условие „различни“ посоки на вертикалните компоненти на **R** и **A**. Error bars са \pm едно стандартно отклонение.

Нека означим с ΔA_{\max} следната разлика:

$$\Delta A_{\max} = A_{\max}(\text{“различни”}) - A_{\max}(\text{“еднакви”})$$

По същият начин, нека означим с ΔD_{\max} следната разлика:

$$\Delta D_{\max} = D_{\max}(\text{“еднакви”}) - D_{\max}(\text{“различни”})$$

Пълна подкрепа на хипотезата за определяща роля на „ивиците“ от движение бихме имали при $\Delta D_{\max} = 0$. Тези разлики, както и ΔA_{\max} , бяха пресметнати за всяко изследвано лице и осреднени. Емпиричните данни са:

$$\Delta D_{\max} = 0.27 \text{ deg (SD = 0.08 deg) и}$$

$$\Delta A_{\max} \text{ е } 1.11 \text{ deg (SD = 0.06 deg).}$$

Големината на ΔD_{\max} не е нула, но тя е повече от пет пъти по-малка от ΔA_{\max} . Ние интерпретираме този резултат като подкрепа, макар и не идеална, за хипотезата, че „ивиците от движение“ участват при възприятието на глобално движение на патерните.

Така ефектът, получен при едномерните движения в Експерименти 1. – 3., изглежда стабилен, той може да се наблюдава, поне донякъде и при зиг-заговидно движение на конфигурацията от точки.

4.8. Експеримент 7. Изследване на глобално зиг-заговидно движение при манипулиране на скоростта (времетраенето) на видимото движение.

Целта на този експеримент беше да се провери, дали „качеството“ на генерираните „ивици“ от движение ще повлияе баланса на процесите за решаване на проблема със съответствието при възприятието на глобалната посока на смес от мнимо и видимо движение. Основното допускане е, че при ниски скорости на движение, „ивици“ няма да се образуват и проблемът за анализа на техните премествания ще отпадне. Тогава мнимото движение в сместа ще се възприема само въз основа на зрителните сигнали, породени от преместванията на отделните пиксели. При прогресивно нарастване на скоростта на видимото движение, „ивици“ ще започнат да се образуват и техният анализ ще започне да доминира. В настоящия експеримент, видимото, вертикално движение **R** беше насочено само надолу, както е илюстрирано на фигура 9. Скоростта му варираше с промени на времетраенето на движението. Четири големина на скоростта- 0.25, 0.5, 1 и 2 px/frame (или 3.1, 6.25, 12.1, 24.1 deg/sec), бяха представени в отделни условия. Косото, мнимо движение, траеше винаги четири кадъра, колкото бе и времетраенето му в Експеримент 6.

Така дизайнът на експеримента беше с условия 2 x 4, две условия „еднакви“ и „различни“ посоки по четири скорости. Експерименталната постановка беше същата като в предишния Експеримент 6.

Участваха седем изследвани лица (четирима мъже). Пет от тях участваха в експерименти 5 и 6. Използвахме същата процедура- адаптивната TUD стълбица за измерване на D_{\max} и A_{\max} в осемте условия.

4.8.1. Резултати

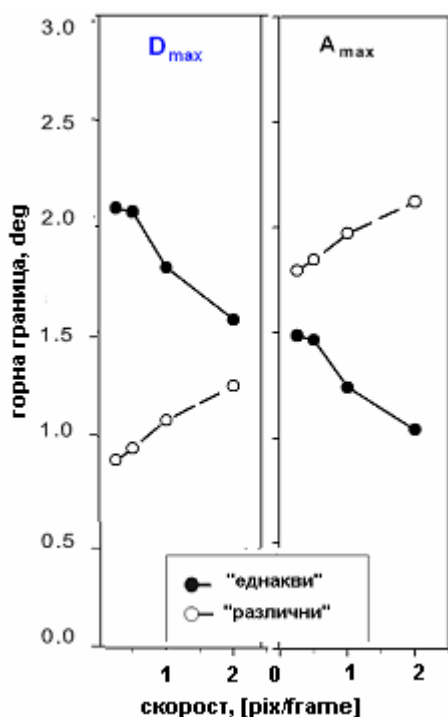
На фигура 11 в отделни графики са представени D_{\max} и A_{\max} .

Получиха се следните значими фактори:

- фактор *условие* „еднакви” - „различни” $F(1,18) = 553$, $p < 0.001$;
- взаимодействието между факторите *скорост* и *условие* $F(3,18) = 24.9$, $p < 0.001$.

Вижда се, че докато разликата ΔD_{\max} намалява с увеличаване на скоростта на видимото движение, ΔA_{\max} се увеличава. При високите скорости, разликата ΔD_{\max} е значително по-малка от ΔA_{\max} , както се получи и в предишния експеримент. При ниски скорости неравенството се обръща, т.е. $\Delta D_{\max} > \Delta A_{\max}$.

Хипотезата за участие на „ивиците“ във възприятието на глобално движение се подкрепя. Образуване на ивици наистина се улеснява от високи скорости на вертикалното движение.



Фигура 11. Осреднени резултати от Експеримент 7 за двете условия- „еднакви” (запълнени символи) и „различни” (празни символи) посоки на вертикално и мнимо движение. Ордината: критичната горна граница в зрителни градуси. Стойностите за A_{\max} и D_{\max} са представени в различни графики. Абцисата: скоростта на видимото движение в пиксели за фрейм (pixels per frame)

5. ОБСЪЖДАНЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ. ОБЩА ДИСКУСИЯ

5.1. Обсъждане на Експерименти 6 и 7

Експерименти 6 и 7 бяха проведени в условията на двумерно глобално движение на конфигурация от случайни точки, като траекторията на всяка отделна точка беше зиг-заговидна. Въпреки сложната траектория, наблюдателите правилно оценяваха посоката на движение в косо направление, косо наляво или косо надясно. Тя съвпадаше с физическата глобална посока на движението, определена от векторната сума $\mathbf{D} = \mathbf{R} + \mathbf{A}$.

Ако размерите на D_{\max} съвпадат при еднакви и противоположни посоки на видимото и на мнимото движение, то този резултат ще бъде в подкрепа на хипотезата, че зрителната система анализира само преместването на „ивиците“ от движение при възприятието на глобалната посока. В този случай се очакват различни стойности за A_{\max} при двата вида движения на патерна с еднакви и противоположни посоки на видимото и на мнимото движения. Ако „ивици“ от движение въобще не се образуват, или не участват в анализа на глобалното движение, то следва да очакваме еднакви стойности за A_{\max} при двете условия на опита и различни стойности за D_{\max} .

В процес на разсъждения стигнахме до формулиране на индекса K , който определя относителното участие на „ивиците“ по формулата:

$$K = (\Delta A_{\max} - \Delta D_{\max}) / (\Delta A_{\max} + \Delta D_{\max}),$$

където

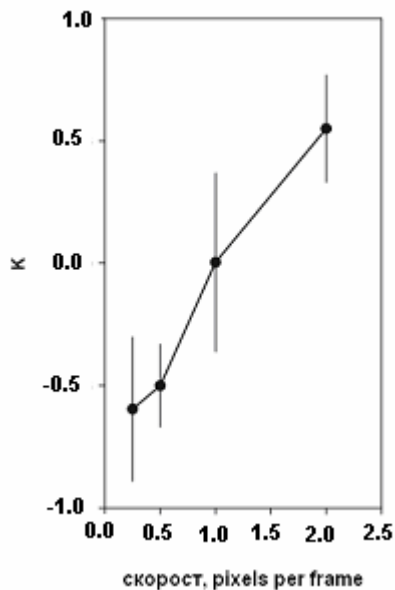
$$\Delta A_{\max} = A_{\max}(\text{“различни посоки”}) - A_{\max}(\text{“еднакви посоки”});$$

$$\Delta D_{\max} = D_{\max}(\text{“еднакви посоки”}) - D_{\max}(\text{“различни посоки”}).$$

Експеримент 6 демонстрира „междинен“ резултат. Ако зрителната система анализира само преместванията на ивиците, трябва да получим $K = 1$. Индексът наистина се получи с положителен знак, но по-малък от единица, $K = 0.6$. Ние интерпретираме този резултат като индикация за „смесен“ тип процес за анализ на мнимото движение. Вероятно, в зрителната система съществуват две отделни невронни мрежи за анализ на мнимо движение. Едната „проследява“ мнимото движение на „ивиците“, другата проследява мнимото движение на всеки отделен елемент. Положителната стойност на K показва, че мрежата, която проследява „ивиците“ доминира, но не изключва участието и на другата мрежа. От Експеримент 6 не може да се прецени, по какъв начин се комбинират изходите на двете мрежи и дали тази представа въобще е вярна. За тази цел е необходим експеримент, при който да се манипулира входа на една от мрежите. Това беше Експеримент 7.

Теоретичните основания за провеждането на Експеримент 7 се крият в особеностите на процеса за възникване на „ивиците“ от движение. Geisler (1999) показва, че „ивица“ може да се образува при достатъчно висока скорост на реалното движение на отделния елемент от патерна. Това становище съответства на здравия разум – ако движението на елемента е твърде бавно, той няма да остави следа, която да се регистрира от зрителната система и „ивица“ няма да възникне. Тогава единственият начин да се регистрира мнимото движение, остава „проследяването“ на отделния елемент от патерна по целия му път.

Резултатите от експеримента потвърдиха очакванията. Оказа се, че индексът K променя знака си, от отрицателен при ниски скорости на видимото движение, до положителен при високи скорости. Индексът променяше стойността си от около минус 0.4 до плюс 0.55. Отново не получихме екстремалните стойности от ± 1 , но успяхме да покажем, как можем да променяме стойността му по един смислен и предсказуем начин.



Фигура 12. Отношението K пресметнато за данните от Експеримент 7 спрямо скоростта на видимото движение. Error bars са \pm едно стандартно отклонение.

Положителна стойност от $K = 0.55$ съответства добре на стойността от 0.6, която се получи със същата скорост на видимото движение в Експеримент 6 и при подобни условия. Идеята на Експеримент 7 беше да затрудним максимално образуването на „ивици“, което да доведе до $K = -1$. Това обаче, не успяхме да постигнем напълно. Според Geisler (1999), за да се образува ивица, скоростта на елемента трябва да е “1 feature per 100 ms”. Ако единичният пиксел се приеме за “one feature”, то най-ниската скорост на видимо движение в Експеримент 7 беше 0.25 пиксела/фрейм, т.е. един пиксел за 4 фрейма или за 57 ms. Тази скорост е все още твърде висока, за да се елиминира напълно образуването на „ивици“. За съжаление, ограничения на компютърната памет не ни позволиха да програмираме движения с по-ниска скорост.

Редно е да се разгледат и възможни алтернативи за интерпретация на характеристиките на зиг-заговидното глобално движение въз основа на участието на „ивици“ от движение. В обсъждането на Експерименти 1. – 3. се спряхме на възможността, данните да се обяснят с взаимодействие между детекторите за движение. Става въпрос за улесняващото въздействие, което активните в момента детектори за движение оказват на детекторите, разположени по бъдещата траектория на движение. При това обсъждане показахме, че предположението за „улесняващи сигнали“ по посоката на движение водят до предсказания, които противоречат на получените резултати от Експерименти 1. – 3. При постановката на Експерименти 6. и 7., смятаме, че въпросът за възможно улесняване или потискане въобще не може да се поставя, тъй като видимата и мнимата фази на зиг-заговидното движение са в коренно различни посоки. Съществуващите знания за взаимодействията между детекторите за движение не позволяват смислено обяснение на резултатите.

Нашето *заклучение е*, че възприятието на глобалното зигзаговидно движение се определя от short-range процес, който анализира мнимите

премествания на цялостни перцептивни събития-обекти в пространството. Според нас, образуването на ивици от движение е процес, който *спомага* за създаването на цялостните обекти. Засега той е най-вероятният, но едва ли е единствен процес. Ние не изключваме възможността перцептът за цялостен зрителен обект да се подпомага и от процес на групиране на елементи, които се представят близо един до друг и в достатъчно кратък интервал от време. Така предположението за включване на “линии от движение” може да се замени от предположение за групиране, в едно цяло, на последователно представените пиксели във фазата на видимото движение. Принципът на групиране на елементи е известен като групиране по близост в Гещалт-психологията. Групирането може да се подпомага и от факта, че всички елементи, от които е съставено видимото движение, имат *обща съдба*. Те се преместват в пространството заедно, с една и съща скорост и посока. Отделният пиксел е само материала, от който е съставено събитието-група. Така зрителната система регистрира преместванията *на събитията*, а не на самите елементи.

5.2. Обсъждане на Експеримент 5. Ефект на “косо движение”

Този експеримент бе проведен с цел да демонстрира факта, установен при предварителни наблюдения, че A_{max} не се влияе от направлението на движение на случайния патерн в зрителното поле. Тази находка облекчи както постановката, така и анализа на следващите експерименти, при които мнимото движение на случайния патерн се извършваше в различни коси направления. Известно е, че наблюдатели с нормално зрение по-лесно откриват и различават стимули, съставени от вертикални и хоризонтални линии, от стимули, които са наклонени (Appelle, 1972). Тази анизотропия на зрителното поле е известна в литературата като „*кос*” *ефект* („*oblique effect*”). Когато стимулите са ориентирани паралелно на т.н. кардинални оси (вертикална и хоризонтална), наблюдателите дават много по-точни оценки за тяхната ориентация, отколкото ако стимулите са наклонени косо - полегато или по диагонал.

От тези данни се вижда, че „косият“ ефект може да бъде полезен инструмент при решаването на един важен въпрос: дали една и съща невронна мрежа отговаря за зрителната регистрация на посоката и на скоростта на движението, или става въпрос за два, относително независими невронални механизма? Всяка находка, показваща отклонение от косия ефект, е полезен принос при решаване на въпроса. Именно такава находка представляват резултатите от Експеримент 5. Оказва се, че критичната горна граница A_{max} , не зависи от меридиана на зрителното поле. Нейният размер е около 1.7 deg както при двете коси, така и в хоризонталното направление. При измерване на A_{max} отсъства влошаването на изпълнението на задачата, когато движението е в косо направление. Изглежда, че зрителната система разрешава по един и същи начин проблема със съответствието в кардиналния и в косия меридиан от зрителното поле.

5.3. Обсъждане на Експеримент 4 и на някои перцептивни явления, които възникват при проследяване на глобалното движение с поглед

Повечето автори определят A_{\max} в единици зрителен ъгъл при фиксирано разстояние на гледане. Промяната на разстоянието на гледане обаче, играеше съществена роля при наблюденията на движенията, които изследвахме в нашите експерименти. Влиянието бе особено изявено при наблюдение на глобално движение, което се състоеше от видимо и мнимо движение в противоположни посоки. Промяна на разстоянието на гледане, например с просто преместване на стола назад от екрана, можеше да доведе до убедителен перцепт на обръщане на посоката на движение. Както показахме в описанието на експеримент 4, обръщането в посоката на движение може лесно да се обясни, ако се предположи, че A_{\max} е фиксиран размер върху ретината, т.е. размер, който не се променя с разстоянието на гледане. Това предположение е обосновано, доколкото този размер се определя най-вероятно от пространствените свойства на детекторите за движение и даже от размерите на техните рецептивни полета. Има обаче данни, които хвърлят сянка на съмнение върху това разсъждение.

В Експеримент 4 ние определяхме A_{\max} в милиметри. Ако се бяха получили резултати, подобни на тези на Burt & Sperling (1981), то данните при различни разстояния на гледане трябваше да се получат по прекъснатата хоризонтална линия на фигура 7, т.е. A_{\max} , измерена в милиметри, трябваше да остане постоянна при манипулиране на разстоянието на гледане. Същите резултати се очакват, ако A_{\max} представлява относителен размер на преместване на патерна. Патернът остава един и същ на екрана при промяна на разстоянието на гледане, следователно и A_{\max} като относително преместване трябва да остане същата. Такива резултати не се получиха.

Но в Експеримент 4 не се получи и резултат, който да демонстрира, че A_{\max} представлява фиксирано разстояние върху ретината. Това най-малкото показва, че A_{\max} не отразява размерите на рецептивни полета върху ретината. Явно, процесът на решаване на проблема със съответствието при short-range мнимо движение изисква допълнителни изследвания.

Перцептът, възникващ при проследяване с поглед бе особено интересен, когато двете движения, видимото и мнимото, бяха в противоположни посоки. Както споменахме, при непрекъснато представяне на патерна с $A > A_{\max}$, глобално движение, макар и примесено с некохерентен шум, се оценява в посока на R, т.е. обратно на физическата глобална посока. Това движение обаче, *не може* да се проследи гладко. Опитният наблюдател усеща, че проследяването му всъщност се извършва чрез сакади. Опит за плавно проследяване в посока на физическото движение обаче, водеше до незабавно обръщане на субективната глобална посока. Следователно, при фиксиран стимул с подходящи параметри, обръщане на субективната глобална посока на движение можеше да се получи по два начина, чрез

увеличаване на разстоянието на гледане или при опит за проследяване на патерна с поглед.

Всички автори, които изследват процесите свързани със short-range процеса, грижливо осигуряват неподвижна фиксация при провеждане на измерванията. Тези наши неформални наблюдения показват, че въвеждането на задача за проследяване с поглед на патерна може да доведе до нови интересни находки и изводи, не само в областта на възприятието на мнимо движение, но и в областта на контрола на проследяващите движения на очите.

5.4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените изследвания и тяхното обсъждане, могат да се направят следните заключения:

1. Установихме, че критичната горна граница на отместване при мнимо движение (A_{max}) практически не се влияе от меридиана, по който се извършва мнимото движение. Данните за A_{max} при движение на точките от конфигурацията по хоризонтала и в двете коси направления, са почти еднакви.

2. Потвърдихме (с опит б), че при условие на еднакви посоки на двете движения - реално и мнимо, критичната горна граница на отместване при мнимо движение е значително по-ниска от критичната горна граница на отместване при мнимо движение за различни посоки на тези две движения, но не се влияе от посоката на вертикалното движение. Този факт е в съгласие с резултатите от първите опити за движение на точките само по хоризонтала.

3. Разгледахме епизодите с реално движение като *цялостни обекти*. Оказа се, че при еднакви и различни посоки на мнимото и реалното движение на *цялостните обекти*, стойностите на горната граница на отместване на ивиците (D_{max}) за възприятие на мнимо движение не са съвсем еднакви. Тяхната разлика обаче, е значително по-малка от разликите между критичната горна граница на мнимо движение на *отделните точки* от стимула (A_{max}). Изложените резултати подкрепят хипотезата, че при определяне на глобалната посока на смес от реално и мнимо движение се включва и процес на образуване на “ивици от движение” или “линиите от движение”.

4. Зрителната система регистрира позициите на всяка точка от стимула в края на всеки период на модулация и „конструира” линия. Тази линия определя глобалната посока на движение. Тази хипотеза се основава на способността на зрителната система да локализира обекти и събития в пространството. Глобалната посока се определя на базата на информация за позиции в зрителното поле, а не на интеграция на локални движения.

5. Високите скорости на вертикалното движение, „улесняват” процеса на образуване и оценка на „ивици”. Ниските скорости обратно „улесняват” процеса на оценка на отместване на точките.

6. Линейният размер на критичната горна граница нараства при нарастване на разстоянието на гледане. Това може да доведе до обръщане на възприетата посока на движение.

6. ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ

Нека първо накратко припомним основните цели на настоящите изследвания. Те са:

1. Да се проучи способността на наблюдателя да възприема глобално движение, когато се представя смес от реално и мнимо движение;
2. Да се установят механизмите на интеграция между двата типа движение;
3. Да се установят възможните взаимодействия между двата типа движение.

Изследването доведе до следните изводи:

I. Данните от експериментите не показват наличие на процес на интеграция на информацията за реално и мнимо движение. Не се установява и взаимодействие между движенията. Оказва се, че два ранни зрителни процеса са достатъчни, за да се определи правилно глобалното движение на патерн от случайно разпределени точки:

- образуване на “ивици” от движение във фазата на реално движение и
- short-range процес, който анализира преместването на “ивиците” от движение във времето.

II. Ивици от движение възникват поради времевите свойства на зрителната система. Хипотезата, която развихме, е че сместа от мнимо и реално движение следва да се разглежда като чисто мнимо движение на самите ивици. Тя се потвърждава от находката, че измерените стойности на горната критична граница на мнимо движение на ивиците (D_{max}) са еднакви, или съвсем близки, при различни физически движения на патерна. Този факт бе установен както при едномерни движения (в хоризонтално направление) на патерна, така и при двумерни (зиг-заговидни) движения.

III. Когато размерът на реалното движение се сведе до нула, т.е. при наблюдение на „чисто“ мнимо движение на точките от патерна, беше установено че:

- горната критична граница на short-range процеса не зависи от меридиана на движение в зрителното поле. Този факт представлява интересно изключение от данните за наличие на „кос“ ефект в зрителната система

- линейният размер на горната критична граница, D_{max} нараства при нарастване на разстоянието на гледане, макар и да не съответства на постоянен зрителен ъгъл. При промяна на разстоянието на гледане, тази

особеност на горната граница води до субективно обръщане на посоката на движение на смес от реално и мнимо движение.

IV. Скоростта на реалното движение съществено влияе върху стойностите на горната граница на ивиците (D_{max}). Обяснението на тази находка е, че високите скорости на движение подпомагат образуването на ивици от движение, и това се отразява на стойността на горната граница на short-range процеса. При ниски скорости, ивици от движение почти не се образуват и глобалното движение се възприема главно въз основа на сигналите за преместване на отделните елементи на патерна.

7. ПРИНОСИ

1. За първи път се изследва възприятие на глобална посока на движение, което е смес от реално и мнимо движения. Показано е, че:

- зрителната информация за двата типа движение не се интегрира;
- няма данни за взаимодействие между двата типа движения.

2. Показано е, че два ранни зрителни процеса са достатъчни, за да се определи правилно глобалното движение на патерн от случайно разпределени точки:

- образуване на “ивици” от движение във фазата на реално движение и
- short-range процес, който анализира преместването на “ивиците” от движение.

3. Разработена е хипотезата, че смес от мнимо и реално движение следва да се разглежда като чисто мнимо движение на самите ивици. Потвърждава се находката, че стойностите на критичната горна граница на мнимо движение на ивиците (D_{max}) са еднакви или съвсем близки при различни условия на физическо движение на патерна - едномерно и двумерно (зигзаговидно).

4. Установено е, че скоростта на реалното движение съществено влияе върху стойностите на критичната горна граница на ивиците. Високите скорости подпомагат образуването на ивици от движение, и това се отразява на стойността на горната граница на short-range процеса. При ниски скорости, ивици от движение почти не се образуват и глобалното движение се възприема главно въз основа на сигналите за преместване на отделните елементи на патерна.

5. При липса на реалното движение, беше установено, че:

- критичната граница на short-range процеса ($D_{max} = A_{max}$) не зависи от посоката на движение (по меридиана).

- линейният размер на критичната горна границата нараства при нарастване на разстоянието на гледане, но без да съответства на постоянен зрителен ъгъл.

8. ПРИЛОЖЕНИЕ

Публикувани статии във връзка с темата:

- Mateeff S., Stefanova M., Hohnsbein J.,(2007). Perceived global direction of a compound of real and apparent motion. *Vision Research* 47, 1455-1463. (Impact factor: 2.055)
- Stefanova M., Mateeff S., Hohnsbein J.,(2008). Perception of combined real and apparent motions in opposite directions. *Scientific research journal of South- West University* , volume 1, number 1,117-120
- Стефанова М., Матеев С., Хонсбайн Й.,(2008) Субективна глобална посока на смес от реално и мнимо движение в еднакви и различни посоки. *Българско списание по психология*. Сборник научни доклади. бр.1-4, стр.686-691
- Stefanova M., Mateeff S., Hohnsbein J.,(2009). The upper spatial limit for perception of displacement is affected by preceding motion. *Vision Research* 49, 499-504. (Impact factor: 2.29)

Доклад или участие пред научно мероприятие в чужбина или пред международно научно мероприятие у нас

- Stefanova M., Mateeff S., Hohnsbein J.,(2007). Perceiving a compound of real and apparent motion. Balkan Regional Scientific Workshop on Visual Perception.
- Stefanova M., Mateeff S., Hohnsbein J.,(2008). The perception of global direction of visual zig-zag motion. 2nd Balkan Vision Science Meeting , Ljubljana, Slovenia.
- Mateeff S., Stefanova M., Hohnsbein J.,(2008). Effects of the preceding “history” of apparent motion on Dmax . Perception, 37 ECVF Abstract Supplement, p. 103

Доклад пред научно мероприятие в страната

- Стефанова М., Матеев С., Хонсбайн Й. „Възприятие на реално и мнимо движение в противоположни посоки”, IX Национален конгрес на Българското дружество по физиологични науки- 9-10 ноември 2007, Благоевград
- Стефанова М., Матеев С., Хонсбайн Й. „Субективна глобална посока на смес от реално и мнимо движение в еднакви и различни посоки”, V-ти Национален конгрес по психология – СУ „Климент Охридски”, София, 31октомври-2 ноември 2008