



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО НЕВРОБИОЛОГИЯ

Директор: Проф. д-р Рени Калфин

Милена Емилова Станева

МЕХАНИЗМИ НА АДАПТАЦИЯ НА ПОСОКАТА НА
РЕАКТИВНИТЕ САКАДИ КЪМ ОТМЕСТВАНЕ НА
ЗРИТЕЛЕН СТИМУЛ И ВРЪЗКАТА ИМ С
МЕХАНИЗМИТЕ
НА АДАПТАЦИЯ НА ДВИЖЕНИЯТА НА РЪКАТА
И КОГНИТИВНИТЕ ПРОЦЕСИ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна
степен „ДОКТОР“

Направление: 4.3. Биологични науки

Научна специалност: Физиология на животните и човека

Научен ръководител: Доц. д-р Валентина Григорова

2019 г.

Съдържание

1. Въведение.....	4
2. Цел и задачи на изследванията.....	5
2.1. ЦЕЛ.....	5
2.2. Задачи:.....	5
3. Материал и методика.....	6
3.1. Изследвани лица.....	6
3.2. Експериментална постановка и процедура.....	7
3.3. Регистриране на очните движения и движенията на ръката.....	8
3.3.1. Условие “Пред-адаптация”.....	8
3.3.2. Условие “Адаптация”.....	8
3.3.3. Условие “След-адаптация”.....	9
3.4. Регистрация на движенията на очите.....	9
3.5. Регистрация на движението на ръката.....	10
3.6. Първична обработка на записите на сакадичните очни движения и движенията на ръката и статистически анализ.....	10
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	11
4.1. Адаптация на движенията на очите и ръката към една и съща посока, но различни по големина стъпки на стимула.....	12
4.1.1 Резултати.....	12
Резюме на получените резултати:.....	18
4.2. Адаптация на реактивните сакади и движенията на ръката към еднакво по големина, но противоположно по посока (по часовниковата стрелка/обратно на часовниковата стрелка) отместване на таргета.....	19
4.2.1 Резултати.....	20
4.3. Влияние на индуцирани позитивни и негативни възрастови стереотипи върху сакадичната адаптация.....	26
4.3.1 Резултати.....	27
Резюме на получените резултати:.....	29
4.4. Влияние на семантичния прайминг, свързан с пространствения фокус на внимание, върху посочната сакадична адаптация при различни възрастови групи.....	29
4.4.1. Резултати от сакадичната адаптация.....	31
4.4.2. Резултати от анализа на реакционните времена на движението на ръката в трафик-теста.....	35
Резюме на получените резултати.....	37
5. ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ.....	37

6. ИЗВОДИ:.....	43
7. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:.....	44
8. ПРИЛОЖЕНИЯ.....	45
8.1. Публикации, свързани с дисертационния труд	45
8.2. Научни съобщения по темата на дисертационния труд	45
8.3. Забелязани цитирания на публикации, свързани с дисертационния труд (до 12.04.2019 г.).....	46

1. Въведение

Повечето от действията в живота ни са неразривно свързани със зрителни задачи. Ние постоянно трябва да локализираме предмети на наблюдение или да проследяваме тяхното движение, което изисква бързо преместване на погледа, за да запазим образа на предмета стабилен върху фовеята.

В естествения ход на живота, в процеса на израстване, остаряване или патологични състояния (мозъчни лезии или болестно засягане на очедвигателен нерв) сетивно-двигателната система на очите се пренастройва, т.е. адаптира се, за да отговори адекватно на промените. Изследването на сакадичната адаптация е свързано с въвеждане на зрителни деформации в експериментални условия чрез видоизменение на взаимодействието между сетивните входове и двигателните изходи като най-често се използват различни модификации на двойно-стъпкова парадигма, въведена от McLaughlin (1967),

В ежедневната си дейност освен очните движения, ние обикновено извършваме действия, които изискват манипулации с ръцете ни, когато шофираме, четем и движим мишката върху екран или използваме джой-стик във видео игри. За точното извършване на тези действия е необходимо съответствие между двете сетивно-двигателни системи, а повторението на тези на пръв поглед рутинни действия довеждат до създаването на нови връзки между сетивния вход и двигателния изход, което позволява на хората да се адаптират към промените свързани със все по-бързото развитие на техниката като мобилните телефони, iPad и управлението на електронни уреди и пособия.

В този аспект проблемът за общото и различното в механизмите на сетивно-двигателната адаптация на очите и движенията на ръката е от съществен интерес, но в литературата са известни малко изследвания, посветени на този въпрос.

В защитен дисертационен труд (Стелиана Борисова, 2013), както и публикации, свързани с него, беше показано, че в адаптацията на реактивните сакади, които човек най-често извършва в ежедневния живот, и в адаптацията на посочващите движения на ръката, съществуват общи механизми. Тези изследвания бяха извършени в различни експериментални условия, но при *едновременна* адаптация на двете системи, т.е. намерените връзки се обуславят и от тяхното

взаимно влияние, което не може да даде еднозначен отговор доколко реактивните сакади и ръката ползват поне отчасти общи мозъчни механизми.

От друга страна, изследванията върху сакадите и движенията на ръката показват съществено участие на вниманието и други аспекти на когнитивната функция при тяхното генериране. Логично е да се очаква влиянието им да се проявява и по отношение на тяхната адаптация. Този проблем е от съществено значение както във връзка с по-горе изброените операторски функции на човека, които са свързани с вниманието, така и с процеса на остаряването на човека, когато когнитивните функции започват да намаляват. Тази връзка е по-обстойно изследвана от редица автори (Mohnkopf 1933; Grigorova et al. 2006; Fernandez-Ruiz et al., 2000, Bock & Girgenrath, 2006; Craik & Jennings, 1992; Bock, 2005) по отношение на адаптацията на движенията на ръката. По отношение на адаптацията на сакадите, литературните данни показват, че тези изследвания са доста оскъдни.

В последните години, един нов метод - семантичният прайминг - се използва за активиране на когнитивните процеси и несъзнателното им индуциране преди изпълнението на различни задачи, в това число и сетивно-двигателни (Hausdorff, Levy, & Wei, 1999; Levy & Leifheit-Limson, 2009). Подобни изследвания по отношение на адаптацията на реактивните сакади, биха могли да разкрият участва ли вниманието в адаптационния процес и доколко участието му би могло да повлияе успеха на адаптацията.

2. Цел и задачи на изследванията

2.1. Цел

Целта на това изследване е да покаже сходството в адаптивните механизмите на *посоката* на реактивните сакади и на движенията на ръката посредством разделната им адаптация към едни и същи характеристики на таргетни отмествания, както и влиянието на когнитивните процеси, свързани с внимание, възраст, преднастройка, върху адаптацията.

2.2. Задачи:

1. Да изследваме адаптацията на посоката на реактивните сакади и движенията на ръката към еднакви по посока, но различни

по големина стъпки на стимула в определен диапазон, приложени разделно при непрекъснато действие или със стъпаловидно нарастване в хода на адаптацията.

2. Да изследваме адаптация на посоката на реактивните сакади и движенията на ръката към еднакво по големина, но противоположно по посока (по часовниковата стрелка/обратно на часовниковата стрелка) отместване на таргета.

3. Да изследваме влиянието върху сакадичната адаптация на когнитивната преднастройка посредством семантична индукция на:

а) възрастови стереотипи; б) пространствено внимание.

4. Да изследваме влиянието на когнитивната преднастройката върху сакадичната адаптация, когато последната се предхожда от друга сетивно-двигателна задача.

3. Материал и методика

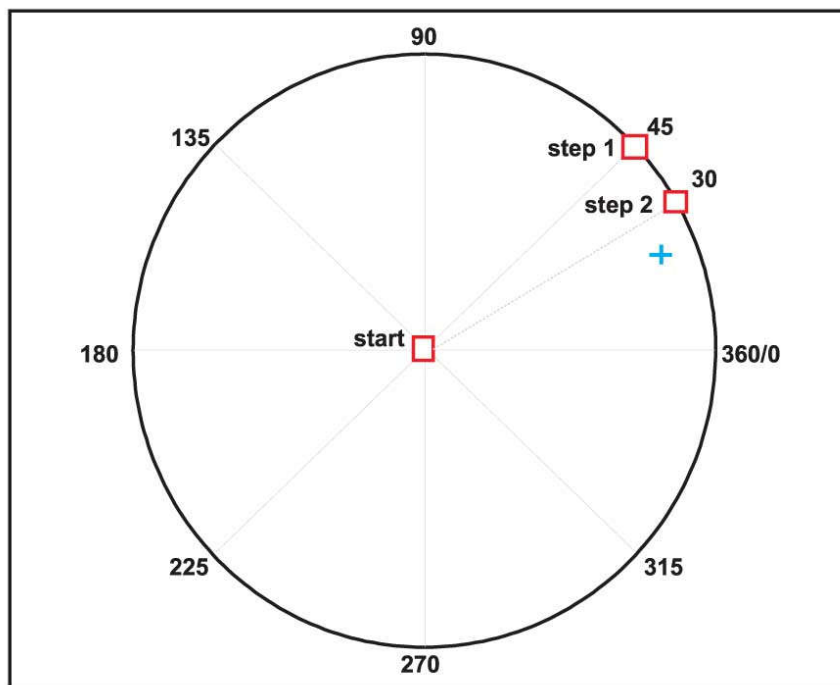
3.1. Изследвани лица

Изследвани са 156 здрави лица на възраст от 20 до 65 години, разделени в групи, съобразено задачите на изследването. Лицата бяха десноръки, с нормално ли коригирано с очила късогледство или далекогледство (без астигматизъм) и нямаха участие до сега в подобни изследвания. По-голяма част от изследванията са проведени на базата на Института по невробиология - БАН, а само малка част - в Института по физиология и анатомия на Спортния университет в Кьолн, Германия.

Всеки участник беше информиран за целта на експериментите и използваните методики и подписваше информирано съгласие за участие в това проучване, което беше одобрено от Етичната комисия на Института по невробиология при БАН в София в съответствие с Декларацията от Хелзинки от 1975 г.

3.2. Експериментална постановка и процедура

Изследванията провеждахме в полутъмна стая. Лицата седяха на удобен стол на разстояние 40 см. от екрана на 17 инчов екран на компютърен монитор. Главата беше фиксирана посредством подбрадник.



Фиг.1. Графично представяне на движението на таргета върху окръжността

На екрана се появяваше окръжност с радиус 11 см. Тя беше разделена на 8 точки, намиращи се на 45° една от друга. Мишената (таргетът), която подопитното лице трябваше да следи беше квадратче с размер на страната 7 мм, което в началото на експеримента е неподвижно в центъра на окръжността (Фиг.1).

Съобразно задачата, подопитните лица следяха мишената с очи или с дясната си ръка чрез компютърна мишка, с която управляваха курсора (кръстчето на фиг. 1). Местоположението на курсора определяше координатите на ръката на подопитното лице във всеки един момент, като по този начин се осъществяваше обратната връзка. Лицата бяха инструктирани да следят мишената възможно най-бързо и точно с очи или ръка в зависимост от зададеното условие в експеримента.

В условието, в което те следяха мишената с очи, държаха ръцете си неподвижни, а когато следяха мишената с ръка, те фиксираха с очи точка, намираща се в центъра на окръжността.

За да не може подопитното лице да наблюдава движението на ръката си с периферно зрение, беше поставена непрозрачна преграда, която играеше ролята на параван.

Един експериментален епизод представляваше двадесет движения на таргета. Всеки епизод беше отделен от другия чрез кратка почивка (3-4 секунди), за да се избегне умората (Bock et al., 2005).

Провеждането на експерименталните изследвания се извършваше с помощта на компютърна програма **Fiswin** (разработена от инж. П. Гроздев от Института по невробиология). Чрез програмата се осъществяваше on-line регистрация на данните в диалогов режим и запазването им във файлове за последваща off-line обработка.

3.3. Регистриране на очните движения и движенията на ръката

3.3.1. Условие “Пред-адаптация”

При това условие мишената извършваше едностъпково движение. В началната точка на движение (центъра на окръжността) мишената се задържаеше от 760 до 1500 мсек, след което се преместваше в случаен ред в една от 8 точки на окръжността за около 760 мсек.

В зависимост от целите на експеримента, в първите 2 епизода, изследваното лице беше инструктурано да следи зрителната мишена само с очи или само с ръка, или с редуване на 2 епизода с очи и 2 с ръка, като в зависимост от условията на експеримента тази последователност можеше да бъде в обратен ред. Тези епизоди се наричат *фонови* (базови) епизоди.

3.3.2. Условие “Адаптация”

При това условие движението на мишената беше двустъпково. Тя се преместваше от центъра върху една от осемте точки на окръжността (в случаен ред), като след след 200 мсек от началото на движението следваше отместване (втората стъпка) по посока/обратно на часовниковата стрелка на определен градус от първата точка (в зависимост от целите на експеримента), задържаеше се там за 640 мсек и се връщаше в центъра.

Броят на епизодите в условие адаптация варираше от 25 до 30 епизода. Изследваните лица извършваха движение само с очи или само с ръка.

3.3.3. Условие “След-адаптация”

Това условие се изпълняваше непосредствено след адаптационната фаза чрез два едностъпкови епизода (повторение на условие “Пред-адаптация”), само с очи или само с ръка. Целта беше да се оценят ефекта на адаптацията посредством промените, които се наблюдават в посоката на сакадите (или движенията на ръката) при едностъпковото движение на мишената.

3.4. Регистрация на движенията на очите

В лабораторията на Института по Невробиология, регистрацията на движението на очите ставаше посредством записване на сигнала чрез специализирано устройство EYE-MER. То беше разработено от български специалисти и финансирано по проект на DFG. Апаратурата работи на принципа на електро-окулографията (ЕОГ) и има аналогов-цифров преобразувател (АЦП), чрез който аналоговите сигнали от движението на очите се трансформираха в цифров вид, и се запамятаха на персонален компютър (ПК) за последваща обработка.

Електро-окулографският метод се основава на възникването на електрически потенциал при очните движения в резултат на постоянно съществуваща разлика между роговицата (която е положително заредена) и ретината (фовеата), която е отрицателно заредена, т.н. корнеоретинен потенциал (CRP), който се регистрира с помощта на две двойки електроди (за хоризонтални и вертикални движения) и един неутрален електрод.

За всяко лице извършвахме регистриране и отчитане на промяната на CRP (в хода на експеримента) и сравнявахме с тази на другите лица посредством калибриране на очните движения, тъй като този потенциал е различен за всяко лице.

При провеждането на експериментални изследвания реакциите на очите се записваха с широчина на честотната лента 0.08-100 Хц., с резолюция 0.01 °/bit през 10 мсек (100 Хц).

Устройството, което се използваше в германската лаборатория на Института по физиология и анатомия на Спортния университет в Кьолн за регистрация на очните движения е **окулометър ISCAN Inc.**

с **RK-426PC**, който използва инфрачервената част на спектъра. Лъчът минава през зеницата, достига до ретината, отразява се от нея и се връща обратно, като посредством подходяща оптична система се насочва към телевизионна камера (чувствителна в инфрачервената област на спектъра). При движение на очната ябълка, проекцията на отразеният от роговицата инфрачервен лъч се улавя от камерата. Движенията на очите бяха регистрирани с резолюция от 1° и сигнала беше обработен с честота 50 Хц .

3.5. Регистрация на движението на ръката

Програмата **Fiswin** позволяваше и регистрация на движенията на ръката. Като датчик използвахме компютърна мишка, която регистрираше сигналите при движение на ръката и ги записваше в цифров вид, в персонален компютър. Позицията на курсора, с помощта на който се следеше мишената, отразяваше позицията на мишката без забавяне и осигуряваше обратната връзка. Използвани бяха характеристиките на драйвера на мишката и данните се обновяваха след всяко обновяване на екрана, което се извършва за 16.6 мсек.

При изследваните в германската лаборатория в експеримент 4.1. регистрирането на движенията на ръката ставаше чрез дигитален таблет (**CalComp Drawing Board III**) с резолюция 0.25 мм., сигналите са регистрирани със 50 Хц.

Таблетът отразяваше движението на писалката и преобразуваше движенията на ръката в дигитални сигнали, които се препращаха към РК.

3.6. Първична обработка на записите на сакадичните очни движения и движенията на ръката и статистически анализ.

Обработката на записите на движенията на очните сакади осъществявахме посредством специализирана компютърна програма. Траекторията на сакадите и мишената визуализирахме като по абцисата отчитахме времето, а по ординатата – амплитудата на движението.

Адаптацията на сакадичните очни движения и ръката, определяхме по промените на два параметъра:

1. **Сакадична посока** - ъгловата разлика между първичната сакада и първата стъпка на движение на мишената в равнината на екрана.

2. **Време на реакция на очите** – времето от поява на мишената в първата стъпка до началото на първичната сакада.

3. **Посоката на ръката** - ъгловата разлика между между първата стъпка на мишената и позицията на курсора, отчетена 100 мсек. след началото на движението, за да се елиминира ефекта на обратната връзка.

4. **Време на реакция на ръката** – определя се от времето на появата на мишената в първата стъпка на окръжността до началото на движението на ръката

Тези параметри се изчисляваха от програмата и се записваха последователно във файл за всеки епизод в директорията на всяко лице. Анализа на данните в адаптационната фаза извършвахме като изчислявахме средната стойност на първите два епизода и разликата между позицията на очите и мишената за всяко отместване на мишената, което изваждахме от базовата стойност, за да получим нормирана стойност за всяко измерване на всяко едно изследвано лице.

Сакадите с реакционно време над 270 мсек. и движения на ръката с реакционно време над 400 мсек бяха изключени, защото високите реакционни времена най-вероятно са поради влиянието на втората стъпка, която удължава реакционното време (Becker & Jurgens, 1979; van Sonderen et al, 1988).

За статистически анализ на получените данни използвахме дисперсионен анализ (ANOVA) и последващ Post-hoc тест.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В тази глава са представени главно резултатите получени от експерименталните изследвания, свързани с поставените задачи, като накратко са описани специфичните методични допълнения към общата методика.

4.1. Адаптация на движенията на очите и ръката към една и съща посока, но различни по големина стъпки на стимула.

Това изследване беше насочено да даде отговор на следните въпроси:

- влияе ли се ефектът на адаптация и как - от големината на стъпката ?

- дали адаптацията на сакадите и движенията на ръката е подобно ефективна при различните по големина таргетни стъпки ?

- нараства ли ефектът на адаптацията при постепенно увеличаване на големината на стъпката в хода на адаптацията (“натрупване на ползи” от предишна адаптация с по-малка стъпка) ?

В експеримента са участвали 64 здрави лица (44 жени и 20 мъже) на възраст 20-46 години (33 ± 12) г.

Специфичното за методиката, която по същество не се различаваше от общата методика, беше, че втората стъпка на таргета (по посока на часовниковата стрелка) беше с постоянна големина: -10° , -30° или -60° , или със стъпаловидно нарастване през 10 епизода от -10 , до -30 и до -60° .

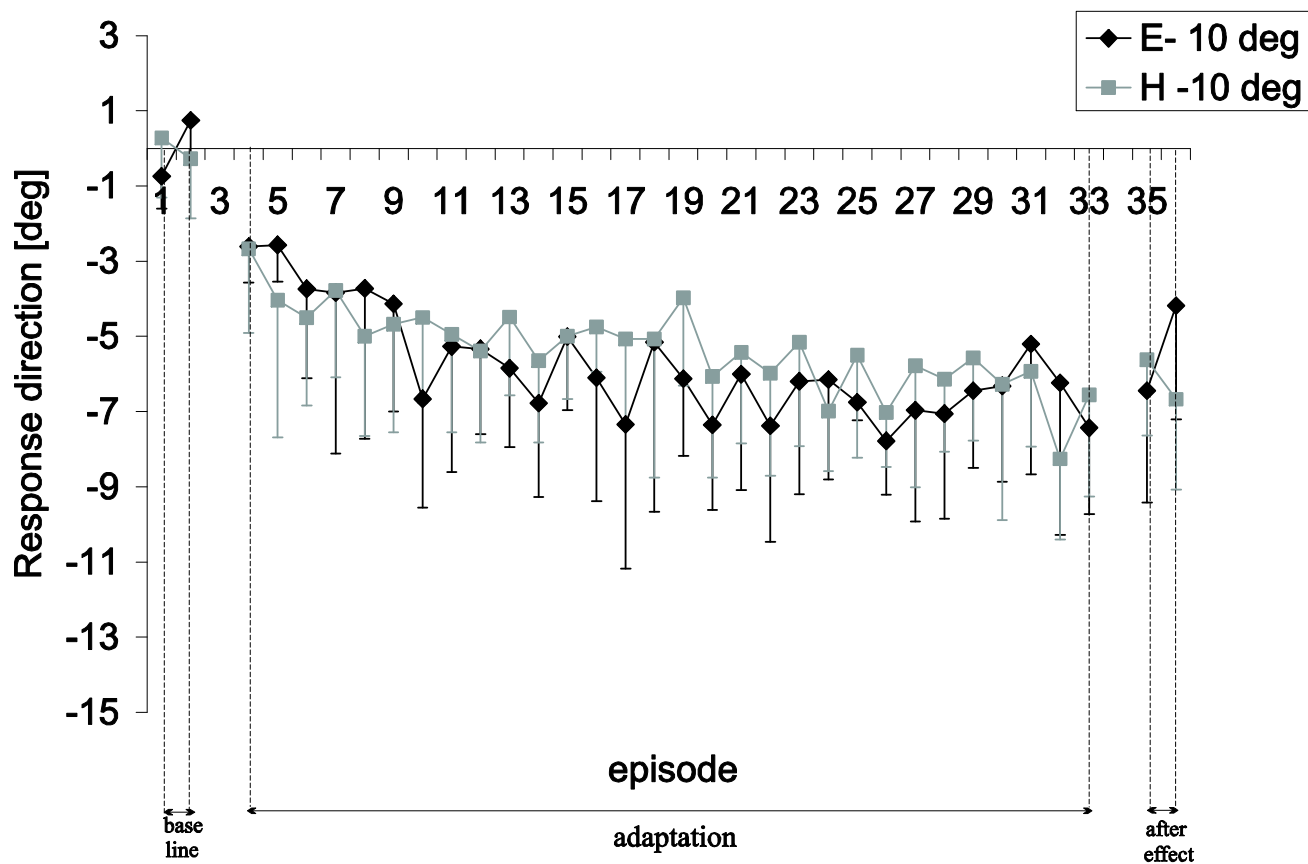
Така, според това дали адаптацията се извършваше само с очи или само с ръка, лицата бяха разпределени по равно в следните 8 групи: E-10; E-30, E-60 и E-10-30-60 и съответно H-10; H-30, H-60 и H-10-30-60. Експерименталното изследване започваше с два едностъпкови базови епизода (с очи или с ръка), следвани от адаптационна фаза с 30 двойно-стъпкови епизода и завършваше със същите два (като фоните) едностъпкови епизода.

За оценка на промените при различните условия използвахме ANOVA за повтарящи се измервания с фактори „Епизод”, “Система” (очи/ръка) и “Стъпка” с поднива (-10 , -30 и -60° или $-10-30-60$), както и Post-hoc Fisher’s LSD-тест, за да определим различията между поднивата.

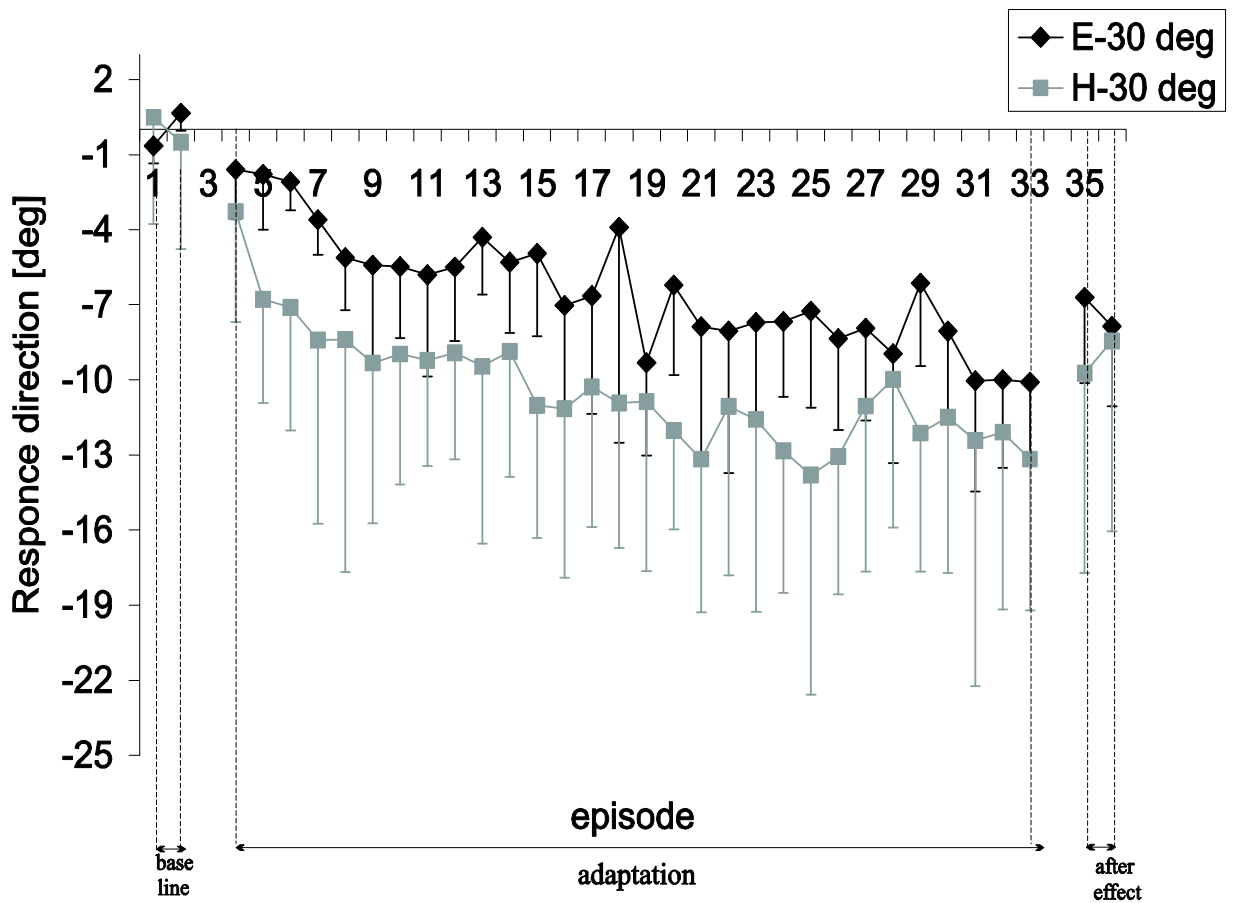
4.1.1 Резултати

Резултатите, които получихме по отношение на посоката на адаптацията на отделните групи, отговарящи с очи или ръка към различните по големина отмествания на стимула са представени на

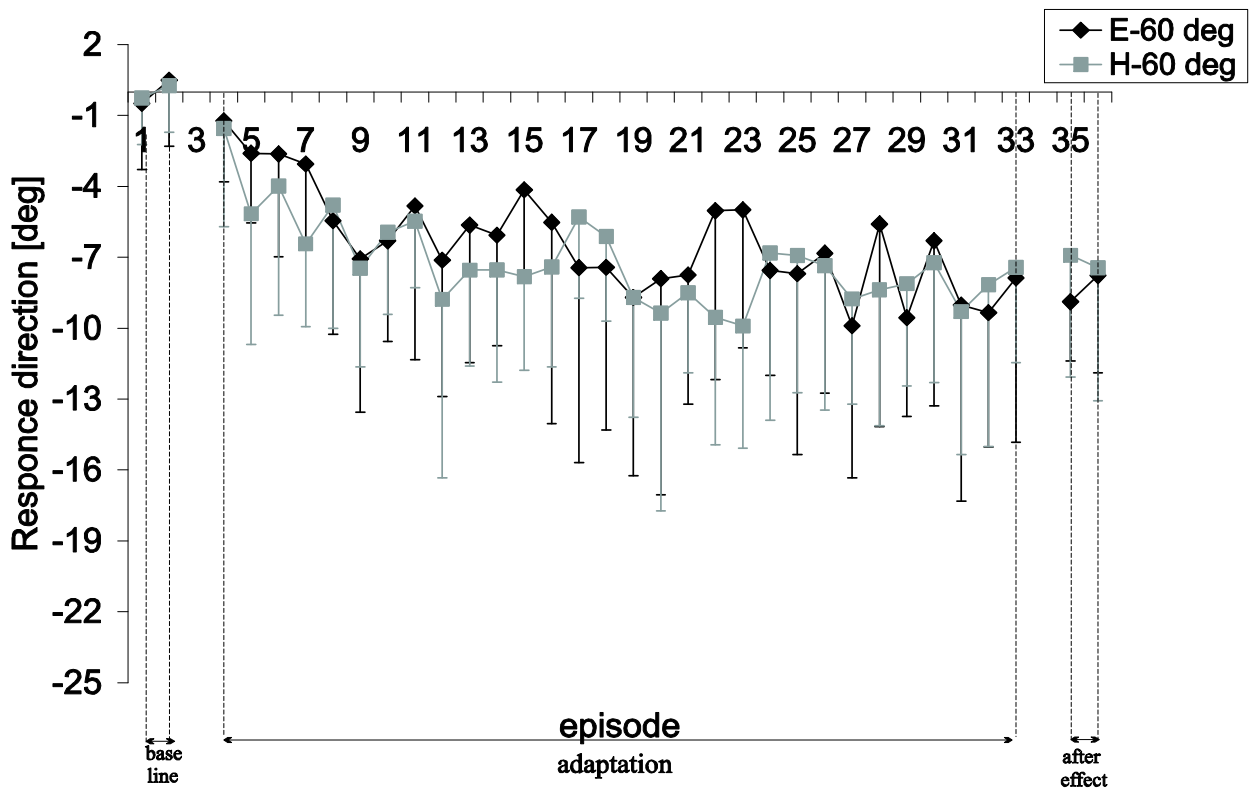
фиг. 4.а,б,в. Всички групи постепенно променят отговора по време на адаптационната фаза по посока на втората стъпка.



Фиг. 4. а. Усреднени стойности на посоката на адаптация на групите E-10 и H-10 към -10° на втората стъпка на стимула



Фиг.4. б. Усреднени стойности на посоката на адаптация на групите Е-30 и Н-30 към -30° на втората стъпка на стимула

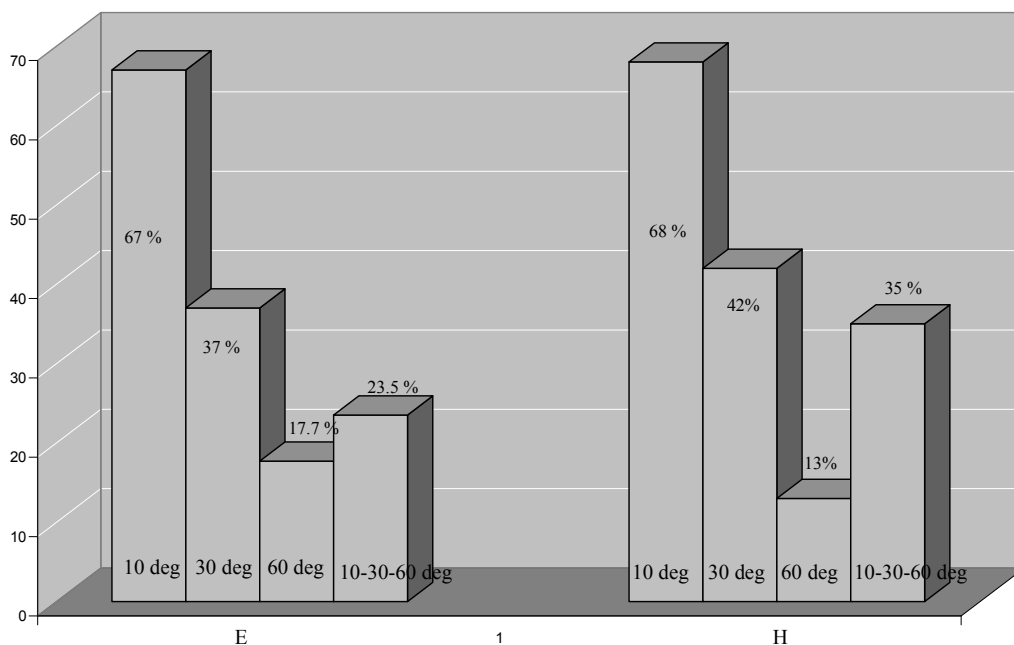


Фиг.4. в. Усреднени стойности на посоката на адаптация на групите Е-60 и Н-60 към -60° на втората стъпка на стимула.

ANOVA с повтарящи се измервания на адаптационната фаза с фактори «Епизод», «Група» и «Система» на групите, адаптиращи към различни по големина отмествания на стимула само с очи или ръка (Фиг. 4.а,б,в) показва значимост само на фактора «Епизод» ($F(29, 42) = 12.95$ $P < 0.01$), но не и на другите два фактора ($p > 0.05$).

ANOVA на послеадаптационната фаза също не показва значимост, нито по отношение на фактора «Група», нито на фактора «Система». Следователно, адаптацията към различните по големина стъпки в изследвания стимулен диапазон, не се различават значимо помежду си нито в рамките на една система (очи/ръка), нито между двете системи.

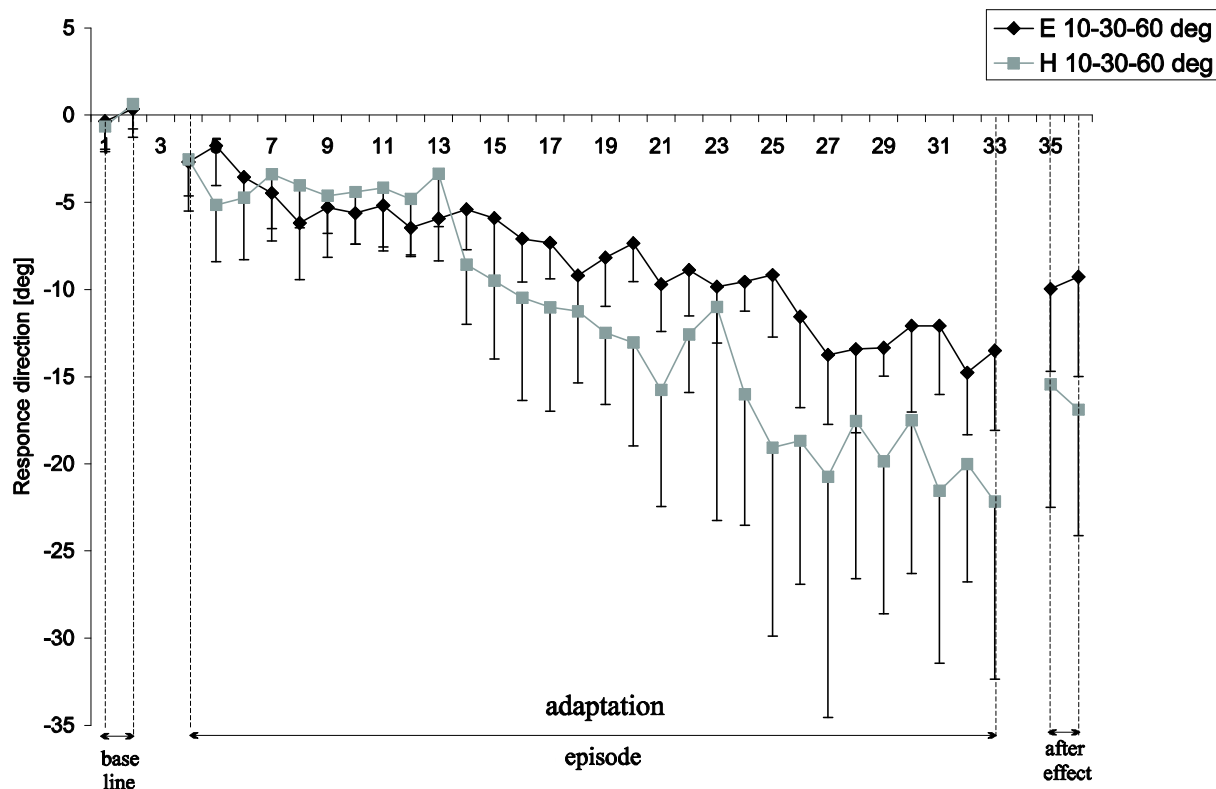
Относителната величина на успеха на адаптацията (краен ефект), определен като съотношение: усреднената стойност на ъгъла на отклонение на последните два адаптационни епизода/големина на стъпката $\times 100$, обаче показва съществена обратно пропорционална зависимост от големината на стъпката и при двете системи - очи и ръка, т.е. ефектът е толкова по-голям, колкото по-малко е стимулното отместване (Фиг. 5).



Фиг. 5. Относителна величина на ефекта на адаптацията (%) за очите и ръката в различните групи.

Адаптацията на очите и ръката към постепенно нарастваща по големина стъпка на стимула през константен интервал в рамките на

една адаптационна фаза, е представена на фигура 6. От графиката се вижда, че в този случай, адаптацията на ръката при отместване на таргета с -30° и -60° е по-успешната от тази на очите.



Фиг. 6. Усреднени стойности на посоката на адаптацията на очите и ръката при постепенно нарастваща по големина стъпката на стимула.

ANOVA на групите $E-10-30-60^\circ$ и $H-10-30-60^\circ$ с фактор «Система» показва статистически значима разлика за стъпката с -30° ($F(1, 14) = 4.88$; $p < 0.05$) и стъпката с -60° ($F(1, 14) = 4.64$ $p < 0.05$), но не и за -10° ($p > 0.05$). Относителният ефект на адаптацията на ръката на група $H-10-30-60^\circ$ също е съществено по-голям от този на сакадите (Фиг.5).

Следователно, за разлика от адаптацията с постоянна големина на стъпката при която не се установява разлика между очите и ръката към еднакво по големина отместване на стимула, при адаптация с постепенно нарастваща по големина стъпка, ръката показва по-успешна адаптация отколкото очите при втората и третата величина на стъпката.

При сравнение на успеха на адаптацията към -30° таргетна стъпка на групите $E-30^\circ$, $H-30^\circ$ (първите 10 епизода), $E-10-30-60^\circ$ и $H-10-30-60^\circ$ посредством ANOVA с фактори «Група» и «Епизод», се установява значимост само на фактора «Епизод» $F(9, 252) = 4.35$,

$p < 0.001$), докато факторът „Група“ не показва статистическа значимост ($p > 0.05$).

При сравнение на успеха на адаптацията на групите $E-60^\circ$, $H-60^\circ$ (първите 10 епизода), $E-10-30-60^\circ$ и $H-10-30-60^\circ$ посредством ANOVA с фактори «Група» и «Епизод», се установява значимост на фактора “Група” $F(3,28) = 5.73$, $p < 0.001$), фактора «Епизод» ($F(9,27) = 4.61$), но не и взаимодействието между факторите «Група * Епизод» ($p > 0.05$).

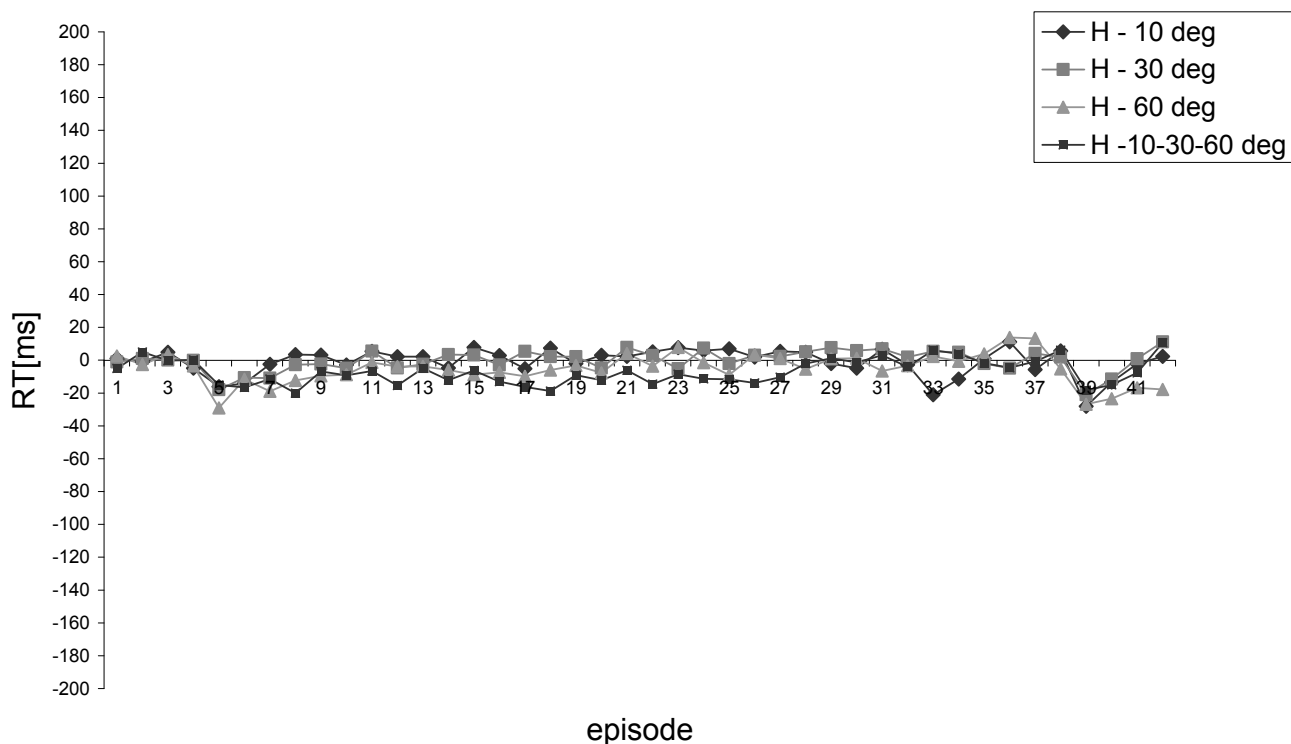
Post-hoc тестът показва, че адаптацията на посоката е по-голяма в група $E-10-30-60^\circ$, отколкото в група $E-60^\circ$ (- 11.96 vs -7.68) и по-голям при група $H-10-30-60^\circ$ отколкото в група $H - 60^\circ$ (- 18.19 vs - 8.9).

ANOVA на послеефектите на горните групи не показва статистическа значимост на фактора «Група» ($p > 0.05$).

Реакционното време по време на базовата фаза има стойности 205.20 ± 16.90 msec. за сакадите и 283.94 ± 25.02 msec. за движенията на ръката. (фиг.7,8).



Фиг.7. Нормирано реакционно време на посоката на ъгловото отклонение на движенията на очите при 30 епизода адаптация в групите с отклонение на втората стъпка на мишената при постоянен $-10, -30, -60^\circ$ и постепенен режим $-10-30-60^\circ$



Фиг.8. Нормирано реакционно време на посоката на отклонението на движенията на ръката при 30 епизода адаптация в групите с отклонение на втората стъпка на мишената на $-10, -30, -60^\circ$ при постоянен и постепенен режим $-10-30-60^\circ$

То намалява във всички групи в началото на адаптацията с (11.38 ± 19.11 msec), след което нараства отново до нивото на базовата стойност. Тази динамика се потвърждава от ANOVA, която показва значим ефект само на фактора "Епизод" ($F(29,1595) = 4,58$, $P < 0.001$).

Резюме на получените резултати:

1) Адаптационните фази към различните по големина стъпки на таргета, приложени поотделно в изследвания диапазон ($-10, -30$ и -60°) не се различават значимо помежду си, нито в рамките на една система (очи/ръка), нито между двете системи, т.е. адаптацията на очите и ръката е подобна.

2) Крайният ефект на адаптацията в този режим показва съществена обратно пропорционална зависимост от големината на стъпката и при двете системи - очи и ръка.

3) Адаптацията в режим на *постепенно нарастваща* по големина таргетна стъпка през константен интервал, е по-успешна отколкото тази в режим на *постоянна* по големина стъпка като успехът ѝ нараства с нарастването на големината на стъпката. Това различие се отнася и за двете системи, но е съществено по-изразено за адаптацията на движението на ръката.

4) Послеефектите и при двата режима на адаптация не се различават, т.е. разликата между двата режима на адаптация се дължи на разлика в сетивно-двигателната пренастройка.

4.2. Адаптация на реактивните сакади и движенията на ръката към еднакво по големина, но противоположно по посока (по часовниковата стрелка/обратно на часовниковата стрелка) отместване на таргета.

Това експериментално изследване целеше да отговори на следните въпроси:

- сходен ли е ефектът на адаптация на сакадите и движенията на ръката към една и съща по големина таргетна стъпка, но променена по посока - по часовниковата стрелка vs. обратно на часовниковата стрелка?

– влияе ли се последващата адаптация на сакадите/движенията на ръката от предхождащата адаптация на другата сетивно-двигателна система, когато двете се извършват непосредствено една след друга, но към различни полярности на таргетната стъпка?

Изследвани са 24 здрави доброволци (13 жени и 11 мъже) като средната им възраст беше (28.4 ± 8.6).

Изследването започваше с базова фаза от четири едностъпкови епизода – два с движение на очите (без движение на ръката) и два с движение на ръката (с фиксиране с очи в центъра на екрана), като редът им съответстваше на системата, която започва адаптацията от епизоди в първи блок.

В адаптационната фаза, която се състоеше от 30 епизода, мишената се отместваше на -15° (по часовниковата стрелка) или на $+15^\circ$ (обратно на часовниковата стрелка), 200 msec след първата стъпка като се връщаше в центъра 640 msec. по-късно.

След адаптационната фаза следваха 4 едностъпкови епизода, съответстващи на базовите епизоди.

Изследваните лица бяха разделени по равно в 4 групи в зависимост от два фактора: дали адаптацията започваше с движение на очите и след това продължаваше с движение на ръката или в обратен ред; Група ЕН₁₅ започваше адаптация на сакадите към -15° таргетна стъпка (15 епизода), следвана от адаптация на движенията на ръката към +15° таргетна стъпка (15 епизода). При група НЕ₁₅ подредбата на блоковете беше обърната: първите 15 епизода бяха с адаптация на движенията на ръката към -15° таргетна стъпка, след което следваха 15 епизода адаптация на сакадите към +15° таргетна стъпка. Групите ЕН₂₅ и НЕ₂₅ се различават от предишните две групи само по броя на епизодите във втория блок, т.е. 25 вместо 15.

За оценка на промените при различните условия използвахме четири факторна ANOVA с фактори “Система” (“Очи”/ “Ръка”), “Блок” с две поднива “1” и “2” и “Експеримент” (първи и втори), както и фактора “Епизод”. Бе използван Post-hoc Fisher’s LSD-тест, за да определим вътрегруповите различия.

4.2.1 Резултати

Първоначално изследването беше проведено с участието само на групите ЕН₁₅ и НЕ₁₅. Резултатите от него са представени на Фиг.9.а.

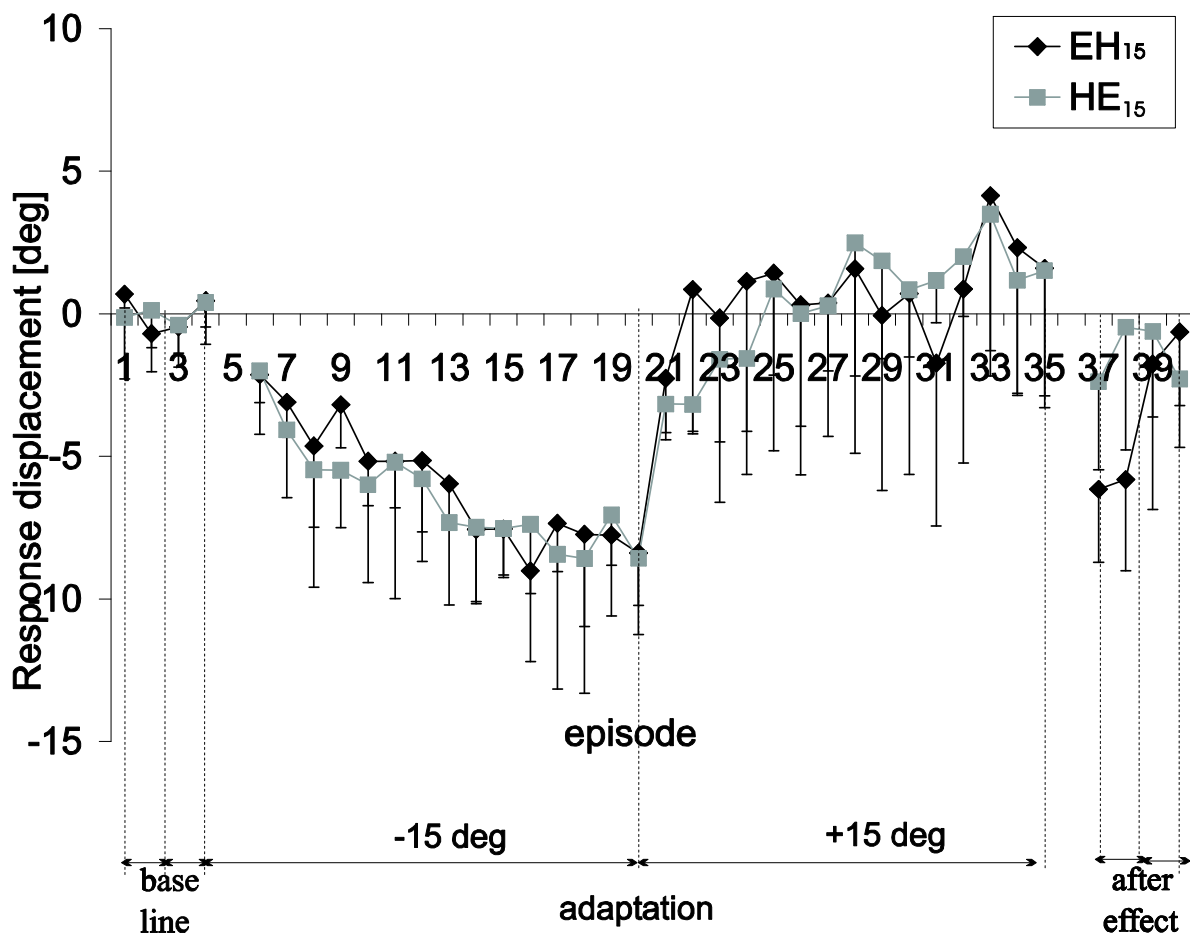
В първия блок (с -15° таргетна стъпка) е налице постепенна промяна на посоката на отговора към посоката на втората стъпка и при двете групи, като двете криви вървят много близко една до друга. Във втория блок (+ 15°), отговорът на очите и ръката е първоначално към негативни стойности, т.е. към посоката на таргетната стъпка в първия блок, след което постепенно преминава към позитивни стойности, т.е. към реалната посока на таргетната стъпка в този блок, но има по-ниски стойности от тези в първия блок до края на адаптационната фаза. ANOVA на адаптационната фаза с фактори “Епизод”, “Блок” и “Система” показаха статистическа значимост на фактора “Епизод” ($F(14,280) = 7.54, P < 0.001$), “Блок” ($F(1,20) = 10.97$

Post-hoc тестът показва значимо по-високи стойности в първия блок (- 6.2 vs - 3.7, $P < 0.01$) и взаимодействието “Епизод*Блок” ($F(14,280) = 4.48, P < 0.001$), но не и на фактора “Система” ($p > 0.05$).

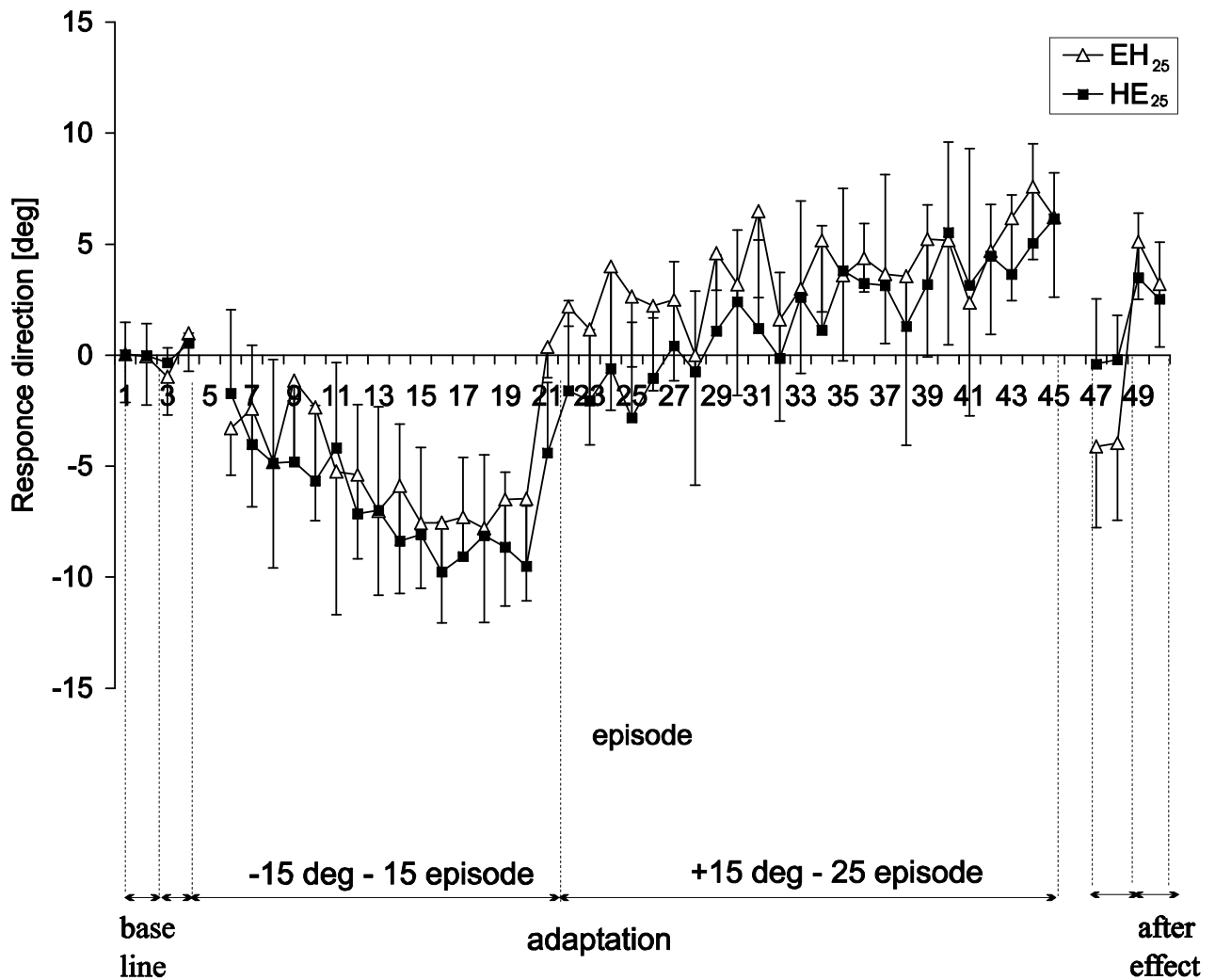
Послеэффектите в група ЕН₁₅ и НЕ₁₅ бяха с негативни стойности за двете системи, независимо дали те са се адаптирали в първия или

втория блок (фиг.9.а.) което показва, че те са отражение на сетивно-двигателната пренастройка на адаптацията им в първия блок.

Предвид получените резултати, решихме да направим второ експериментално изследване с други 2 групи здрави доброволци, разделени по същия начин като предишните групи, но броя на епизодите във втория блок бяха увеличени на 25.



Фиг.9.а. Усреднени стойности на ъгловото отклонение на посоката на сакадите и ръката на групите ЕН и НЕ по време на 15 епизода адаптация с -15° таргетна стъпка и по време на 15 епизода адаптация след смяна на полярността на стъпката с $+15^{\circ}$.



Фиг. 9. б. Усреднени стойности на ъгловото отклонение на посоката на сакадите и ръката на групите ЕН и НЕ по време на 15 епизода адаптация с -15° таргетна стъпка и по време на 25 епизода адаптация след смяна на полярността на стъпката с $+15^\circ$.

Получените резултатите от втория експеримент са представени на фиг.9. б.

Както се вижда от нея, адаптацията на рективните сакади и ръката в последните епизоди на втория блок се приближават по стойност до тези на последните епизоди от първия блок.

За да определим дали допълнителните епизоди са достатъчни за достигане успеха на адаптацията в първия блок, приложихме ANOVA с фактори “Блок”, “Система” и “Експеримент”, и “Епизод” на последните 5 епизода (11-15) на втория блок на групите HE_{15} и EH_{15} и последните 5 епизода (21-25) на групите EH_{25} и HE_{25} , установихме статистически значим ефект на “Експеримент” ($F(1,20)=5.03$, $p < 0.05$)

и “Епизод” ($F(4,80) = 4.86, p < 0.01$), но не за “Система”. Тези резултати показват, че въпреки по-добрата адаптацията във втория блок на групите EH_{25} и HE_{25} в сравнение с тази на групите EH_{15} и HE_{15} (значимост на фактора Експеримент), тя отново не е достатъчно успешна, тъй като няма доказателство за плато (значимост на взаимодействието Експеримент*Епизод).

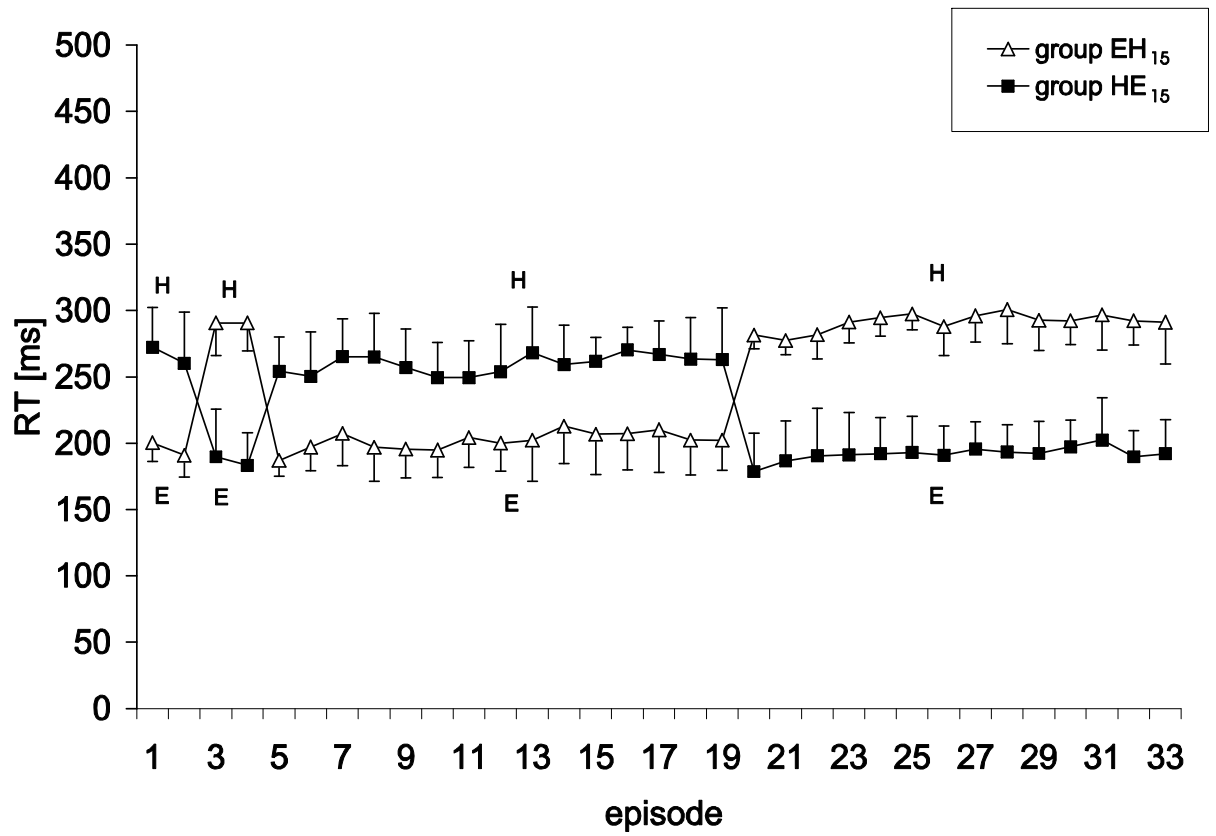
В подкрепа на това допускане са резултатите от още един анализ - ANOVA с фактори “Блок”, “Система” и “Епизод”, приложен към последните 5 епизода на двата блока в група EH_{25} и HE_{25} . Установена е значимост на факторите “Блок” ($F(1,20) = 112.40, p < .001$), и “Епизод”, ($F(4,80) = 2.65, p < 0.05$), което е показател, че адаптацията във втория блок, въпреки 10-те епизода в повече, все още не може да достигне успеха на адаптацията в първия блок.

Послефектите след края на адаптацията с -15° и $+15^\circ$ са с негативни стойности за двата ефектора - очи и ръка, т.е. те отразяват сетивно-двигателната пренастройка в първия блок (Фиг.9.а). Послефектите на групите EH_{25} и HE_{25} са с негативни стойности, когато очите или ръката започват адаптацията си в първия блок, докато, когато се адаптират във втория блок (след обръщане на полярността) са с позитивни стойности (Фиг. 9. б).

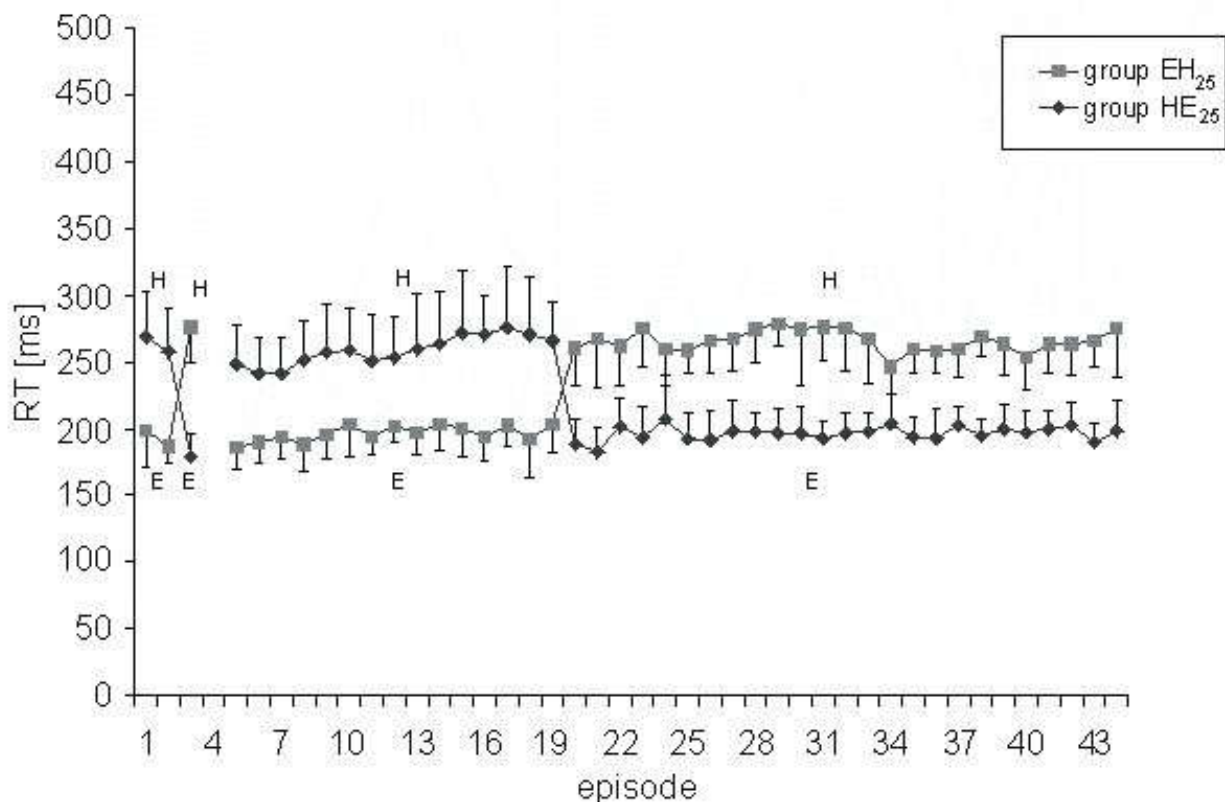
Това наблюдение се потвърждава от двуфакторната ANOVA на послефектите с факторите „Експеримент” и „Система”, която показва значимост на “Експеримент” ($F(1,44) = 28.1, p < 0.001$).

На фиг. 10 а,б, са представени резултатите от анализа на реакционните времена на всички групи във фоновите и адаптационни епизоди. Вижда се, че РВ на сакадите винаги е по-късо от това на движенията на ръката. Усреднените базови стойности за всички групи са (190.70 ± 3.23 ms) за сакадите и (275.01 ± 4.50) ms за движенията на ръката.

ANOVA на нормализираните към фоновите стойности латентни времена по време на адаптационната фаза с фактори “Експеримент” “Система” и “Епизод” установяват значимост за “Епизод” ($F(14,560) = 3.2, p < 0.001$) и “Система” ($F(1,40) = 4.2, p < 0.05$), като реакционното време на очите е с 4.1 ms по-голямо по време на адаптацията, докато реакционното време на ръката е с 8.7 ms по-кратко. Тези промени са достатъчно малки, за да се предполага, че са свързани със забавяне на отговора или изчакване на втората стъпка на таргета.



фиг. 10.а. Реакционно време на посоката на движенията на очите и ръката в групите EH₁₅ и HE₁₅.



Фиг. 10.6. Реакционно време на посоката на движенията на очите и ръката в групите EH₂₅ и HE₂₅.

Резюме на получените резултати:

1. Реактивните сакади и движенията на ръката показват сходен успех на адаптация към една и съща по големина стъпка, когато тя е по посока на часовниковата стрелка/обратно на часовниковата стрелка в приложените експериментални условия.

2. Когато очите или ръката се адаптират към еднаква по големина, но противоположна по посока таргетна стъпка на тази, приложена в предхождащата адаптация на другата система, тяхната адаптация е подобна, но съществено по-неефективна от тази на предхождащата система.

2. След обръщане на полярността на таргетната стъпка, увеличението на броя на адаптационни епизоди с 2/3 спрямо този на предхождащата адаптация, подобрява адаптацията, но не достига първоначалния успех на адаптация (в рамките на използваните стимулни характеристики).

3. Промените в полярността на послеефектите след втората адаптация и на двете сетивно-двигателни системи, сакадичната и на ръката, показват, че различията между успеха на първата и втората адаптация, са най-вероятно следствие на интерференция между процесите на сетивно-двигателна пренастройка на двете системи.

4.3. Влияние на индуцирани позитивни и негативни възрастови стереотипи върху сакадичната адаптация.

Тъй като литературата показва, че позитивните стереотипи подобряват, а негативните влошават изпълнението на задачи като локомоция (Hausdorff, Levy, & Wei, 1999) или ръкописен текст (Levy & Leifheit-Limson, 2009) при по-възрастни хора, когато те са приложени като семантичен тест преди изпълнението на двигателната задачата, нашето изследване беше насочено да отговори на въпроса:

– дали индуцирането на негативни и позитивни стереотипи, свързани с остаряването, биха могли да повлияят сакадичната адаптация, доколкото тя, макар и главно субкорово обусловена, има и корово участие?

В експеримента участваха 32 лица (17 жени и 15 мъже) на средна възраст (58.7 ± 4.4) години, българи, живеещи в България с различни нива на образование, които не са участвали в подобен експеримент.

Изследването започваше с модифициран от нас вариант на теста на Bargh et al (1996), който представлява по своята същност задача, свързана със семантична подредба на набор от разбъркани думи в изречения. На всеки участник беше даден списък с 20 изречения от 5 разбъркани думи, като трябваше да се изберат 4 думи, с които да се състави смислено изречение, а петата (излишната) дума трябваше да бъде зачеркната. Тъй като участниците нямаха представа за целта на тази ментална манипулация, те не можеха да изградят когнитивна защита, която би намалила стойността на предизвикания ефект.

Бяха формирани 2 групи от еднакъв брой изследвани, като едната група получаваше лист с 20 изречения, в които една от 4 думи отразяваше положително отношение към остаряването, а другата група – лист с 20 изречения, в които кодовата дума отразяваше отрицателно отношение към остаряването, например: „мъдрост” срещу „слабост” (психическа). Кодовите думи бяха подбрани без знанието на подопитните лица

Думите, които използвахме в проучването бяха предварително избрани чрез проучване в което участваха 16 души на възраст 50-65 години, ранжираха 15 подбрани думи чрез 2 теста като единият, съдържаеше думи, утвърждаващ позитивни, а другият - негативни стереотипи, които бяха оценени с 10 точковата скала на Ликерт, като едната скала оценяваше думите по отношение на думата „зрялост”, а другата по отношение на думата „слабост” (психическа). Осем думи, получиха най-висока оценка по отношение на “зрялост” (от 5.0 до 8.0: опитен, умен, балансиран, мъдър, уравновесен, разбиращ, пълноценен, спокоен, а думите с най-висока оценка за „слабост” (от 6.3 до 8.3) бяха: крехък, нестабилен, деликатен, плашлив, слабохарактерен, несигурен, лабилен, неустойчив.

Непосредствено след семантичната задача, следваше адаптация на реактивните сакади, която по същество повтаря основната методика за тази адаптация и се състоеше от фонова фаза с два едностъпкови епизода, последваща адаптационна фаза от 25 двустъпкови епизода, при която мишената се отклоняваше на -15° и завършваше с фаза на послеефект, състояща се от два едностъпкови епизода.

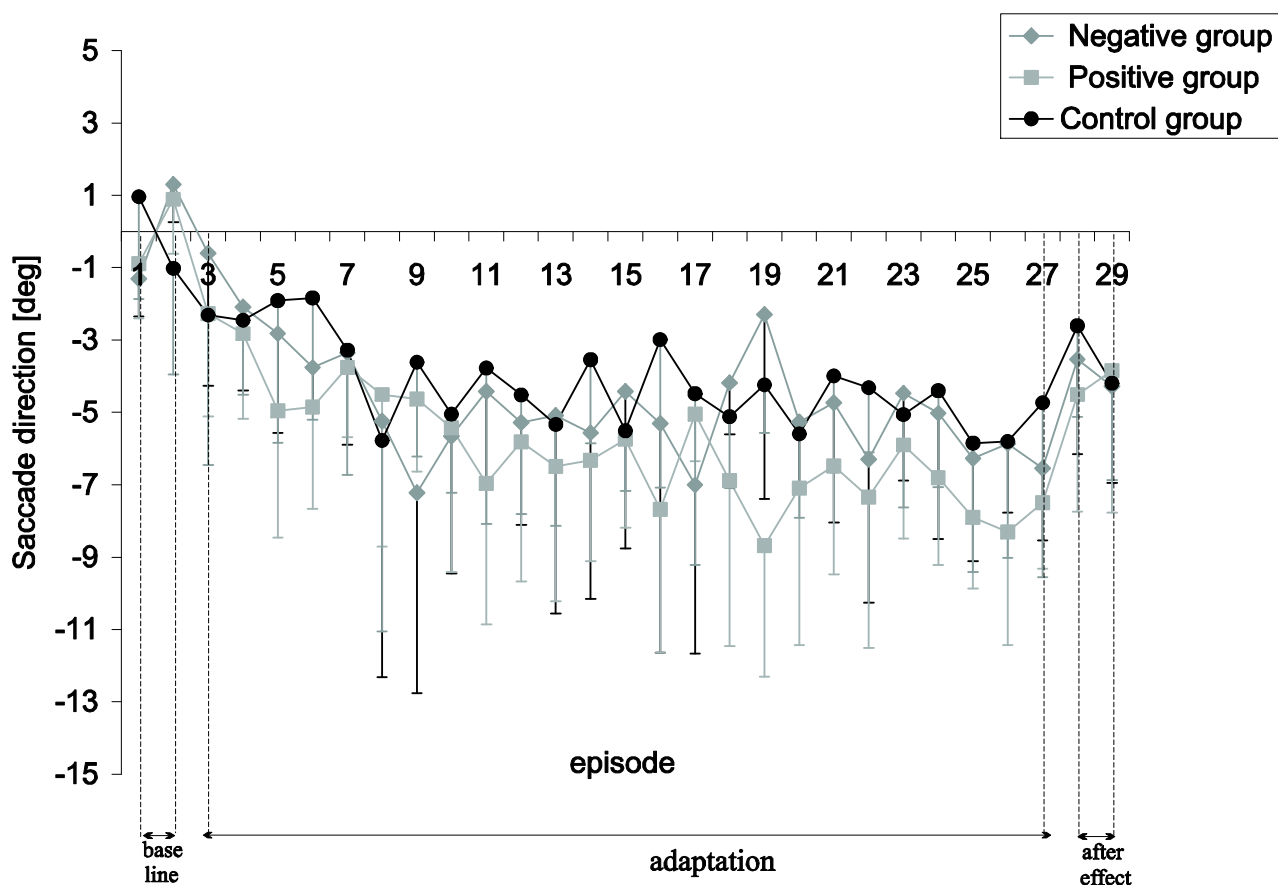
В експеримента участваше и 1 контролна група от здрави лица, на възраст 58.7 ± 4.4 , които бяха изложени само на сакадичната адаптация, без предварителната семантична задача с възрастови стереотипи.

За оценка на промените при различните условия използвахме еднофакторна ANOVA с фактор “група” с две поднива (позитивна/негативна) и Fisher’s LSD post-hoc за да определим вътрегруповите различия.

4.3.1 Резултати

Фиг.11. показва, че по време на адаптационната фаза, посоката на сакадите във всички групи, постепенно се отклонява по посока на втората стъпка, както се очаква при нормалния ход на адаптацията. Ефективността на адаптацията е оценена в последните 5 епизода, като то е най-голямо (средно -8.1°) за групата, която изпълняваше преди адаптацията семантична задача с изречения с позитивни възрастови стереотипи. Средната стойност на последните 5 епизода е -4.7° на контролната група възрастни и -4.4° на негативната група. Когато един участник беше изключен от общия брой лица поради липса на сакадична адаптация (84% от получените отговори са с положителен вместо с отрицателен знак), средната стойност за последните 5

епизода на „негативната” група се промени на -5.6° (тази стойност е представена на графиката и статистическия анализ е извършен също без това лице).



Фиг.11. Ъглово отклонение на посоката на сакадите в различните фази на експеримента по групи изследвани.

Средната стойност на посоката на сакадите за последните 5 епизода от адаптацията на всички подопитни лица бе подложена на еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA) с фактора “Група”, който показва статистическа значимост ($F(2,20) = 9.38; p < 0.01$).

Fisher’s LSD post-hoc тестът показва значими различия между позитивната и негативната групи ($p < 0.01$), и между позитивната и контролна групи ($p < 0.001$), но не и между негативната и контролната група ($p > 0.05$).

Фиг. 11. показва още, че посоката на сакадите при двата после-ефекта в двата епизода са сходни при всички групи. Това сходство беше подкрепено от еднофакторната ANOVA с фактор „Група”, установяваща незначимост на този фактор ($F(2,20) = 0.014; p > 0.05$).

Резюме на получените резултати:

1. Индуцирането на позитивен възрастов стереотип посредством семантична задача предизвиква по-голям успеха на последващата сакадична адаптация, докато индукцията на негативен възрастов стереотип не се отразява на последващата сакадична адаптация.

2. Послеефектите на сакадична адаптация не се различават съществено между отделните групи, което предполага, че индукцията на позитивен възрастов стереотип не води до подобряване на сетивно-двигателната пренастройка на сакадичната адаптация, а активира подходяща стратегия, която увеличава ефективността ѝ.

4.4. Влияние на семантичния прайминг, свързан с пространствения фокус на внимание, върху посочната сакадична адаптация при различни възрастови групи.

Целта на това експериментално изследване беше да отговори на въпросите:

1. Какво е влиянието, което оказва семантичният прайминг за широк и тесен фокус на внимание върху успеха на сакадичната адаптация, когато тя е приложена: а) непосредствено след прайминга и; б) след друга зрително-двигателна задача?

2. Влияе ли възрастта върху успеха на двете сетивно-двигателни задачи?

В изследването участваха 80 лица на възраст (20-65) години. Всички бяха българи, живеещи в България с различни нива на образование, които не са участвали в подобен експеримент или в такъв, свързан само със сакадична адаптация. Тридесет лица формираха групата от млади участници, а другите тридесет – групата от възрастни участници.

Изследването беше проведено в 2 отделни сесии, състоящи се от следващи една след друга стъпки като между тях на участниците се даваше почивка от около пет минути.

В *първата* сесия взеха участие 20 млади и 20 възрастни, които бяха разделени по 10 в 4 групи в зависимост какъв прайминг им бе приложен – с широк фокус (YW и OW) или тесен фокус (YN и ON).

Експерименталната процедура се извършваше в следния ред:

Първа стъпка: прилагане на *семантичен прайминг*, свързан с пространствен фокус на внимание. Използвахме отново теста на

Bargh et al., (1996) за семантична подредба на 5 разбъркани думи за съставяне на смислено изречение от 4 думи и задраскване на излишната дума. Половината от участниците в този тест получиха списък с 20 разбъркани изречения като кодовата дума в тях (без знанието на участниците) означаваше широк фокус на внимание (глобален, многоброен, задоволителен, приблизителен, широк, отворен, общ, просторен, далечен, дълъг, открит, голям, цялостен, универсален, разпределен, общодостъпен, изчерпателен, обширен, необхватен). Другата половина от участниците в този тест получиха списък с 20 изречения, съдържащи кодова дума, означаваща тесен фокус на внимание (затворен, сгъстен, ограничен, прецизен, конкретен, точен, единствен, едва, тънък, краен, кратък, малък, детайлен, слаб, определен, къс, стриктен, директен, тесен, стеснен). Всички тези думи бяха взети от работата на Hüttermann et al., (2014) за изследване на влиянието на широкия и тесен фокус на внимание върху сетивно-двигателна задача за движение на ръката и бяха преведени от немски на български език.

Втора стъпка: прилагане на сакадична адаптация, когато експерименталното изследване трябваше да даде отговор на въпрос 1а. Адаптацията на посоката на реактивните сакади се извършваше по начина описан в основната методика със съответните 3 фази: фонова, адаптация и послеефект. Адаптацията се извършваше към -15° (по часовниковата стрелка) стъпка на таргета в 25 епизода. Оценявана е посоката на сакадичната адаптация спрямо фоните данни на всеки изследван и реакционното му време.

Трета стъпка: изпълнение на сетивно-двигателна задача за движение на ръката към определен обект в сценарии на трафик тест (Vock et al., 2017; Hüttermann et al., 2014).

Двадесет сценария за трафик-тест, подобни на тези, използвани в лицензираните тестове на шофьори, бяха представени на 17" компютърен монитор: десет от тях заемаха целия екран на монитора, а десет заемаха централните 25% от екранната област. Появата на малки и големи трафик-изображения беше в случаен ред, но един и същ за всички участници. Разстоянието от подопитното лице до монитора беше 40 см. Повечето сценарии се състояха от две превозни средства (автомобил, камион или трамвай) и само няколко - от три превозни средства. Участниците бяха инструктирани да посочат възможно най-бързо в какъв ред превозните средства трябва да

преминат улицата съгласно правилника за безопасно движение. За тази цел те трябваше да реагират с левия бутон на мишката.

Всеки следващ сценарий на трафика беше заменен от следващия без прекъсване. Тази сесия беше с продължителност около 8 - 12 минути.

Времето за реакция (RT) към първото превозно средство се определяше от забавянето между появата на картината и кликването с мишката като реакционното време към второто превозно средство се отчиташе с интервала от времето между първата и втората реакция на ръката. RT на правилните отговори бяха усреднени поотделно за всеки участник и размер на картината.

Втората сесия се проведе с цел да даде отговор на въпрос 1б. В тази сесия бяха изследвани 20 лица, 10 млади (Y) и 10 възрастни (O), които не са участвали в първата сесия. Семантичният прайминг се състоеше от списъка с думи за широк фокус на внимание, т.е. изследваните лица не бяха разделени в групи по отношение на прайминга. Освен това, във *втора* стъпка се прилагаше трафик теста за двигателната задача за ръката, а в *трета* стъпка – сакадичната адаптация.

Двадесет млади и двадесет възрастни лица участваха като контроли в двете сесии: десет млади и десет възрастни участваха само в сакадичната адаптация (групи YAC и OAC), а други десет млади и десет възрастни – само в трафик теста (групи YTC и OTC).

С изключение на участниците от групи YAC и OAC, всички останали имаха лиценз за непрофесионални шофьори и активно са карали кола през последните три години.

Резултатите, получени от анализа на данните от отделните групи бяха подложени на ANOVA, поотделно за сакадичната адаптация и движенията на ръката в трафик сценария, с груповите фактори “Възраст” (млади vs. възрастни) и “Прайминг” (с vs. без) и “Размер” (на трафик сценария върху екрана - голям/малък). Броят грешки при посочващите движения на ръката в трафик сценария също бе оценен чрез ANOVA.

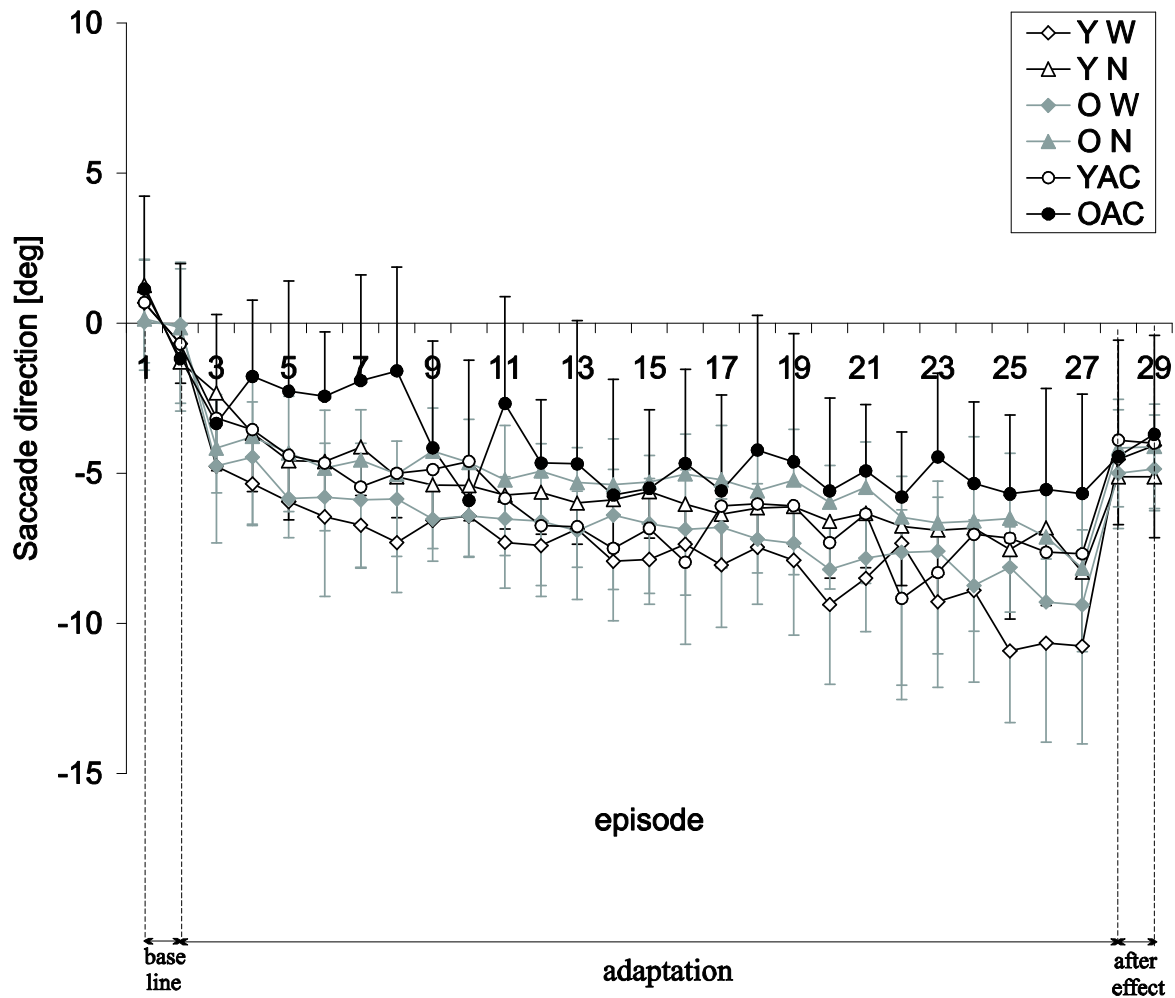
4.4.1. Резултати от сакадичната адаптация

Резултатите, получени в първата експериментална сесия са представени на фигура 12.

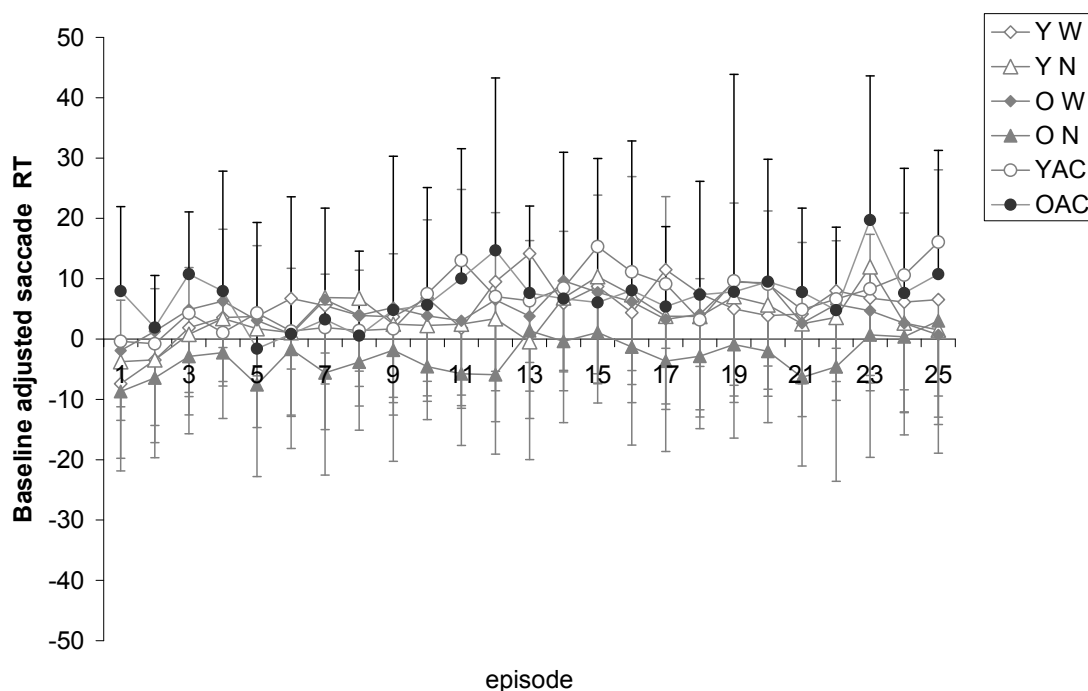
На нея се вижда, че посоката на сакадите постепенно се променя към втората стъпка на мишената по време на адаптационната фаза за всички групи и промяната е най-силно изразена в група YW и OW. Адаптацията е по-силно изразена при младите отколкото при възрастните участници. Според направения дисперсионен анализ се наблюдава статистическа значимост за фактора “Епизод” ($F(24,1296)=24.18$, $p<0.0001$), “Прайминг” ($F(2,54)=15.8$, $p<0.001$) и “Възраст” ($F(1,54)=10.2$, $p<0.01$), но нито едно взаимодействие не беше значимо (всички $p>0.05$). Post-hoc тестът на фактора “Прайминг” показва различия между групата с широк фокус и контролната група (-7.4° vs. -5.3° , $p<0.001$), между групата с широк фокус и тесен фокус на внимание (-7.4° vs. -5.6° , $p<0.001$), но не между тесен фокус на внимание и контролната група ($p>0.05$). Post-hoc тестът на фактора „Възраст” показва разлика между групите на младите и възрастните (-6.6° vs -5.6° , $p<0.01$),

Както се вижда от същата фигура, стойностите на пост-ефектите са сходни за всички групи като ANOVA потвърждава това наблюдение – не се установява значимост на фактора “Група” ($p>0.05$).

Фигура 13 показва, че реакционното време за всички групи бавно нараства по време на адаптационната фаза ANOVA достига значимост само за “Епизод” ($F(24,1296)=3.7$, $p<0.001$), но не за “Възраст” и “Прайминг” или взаимодействия между отделните фактори (за всички $p>0.05$). Отсъствието на нарастване на реакционното време показва, че участниците не забавят сакадите при извършване на втората стъпка на мишената.



Фиг.12. Усреднена посока на сакадите за всеки епизод във всяка група изследвани по време на: предадаптацията фаза (1-2),адаптация (3-27) и пост-адаптация (28-29) в I-ва сесия.



Фиг.13 Нормирани към фоновите стойности РВ по време на адаптация, усреднени за всеки епизод във всяка от изследваните групи в I-ва сесия.

Тъй като статистическият анализ на резултатите от *първата* сесия на експерименталното изследване показва, че прилагането на прайминг за широк фокус на внимание увеличава успеха на сакадичната адаптация, а този за тесен фокус на внимание не оказва влияние, във *втората* сесия, на изследваните лица беше приложен само прайминга за широк фокус на внимание.

За да дадем отговор на въпрос 1б, както беше указано в предхождащата методика, непосредствено след прайминга, приложихме *трафик-теста*, а след него *сакадичната адаптация*.

За да можем да отговорим на въпрос 1б, получените резултати по отношение на сакадичната адаптация, са сравнени с тези на групата индуцирана с широк фокус на внимание в първата сесия (когато адаптацията е приложена непосредствено след прайминга).

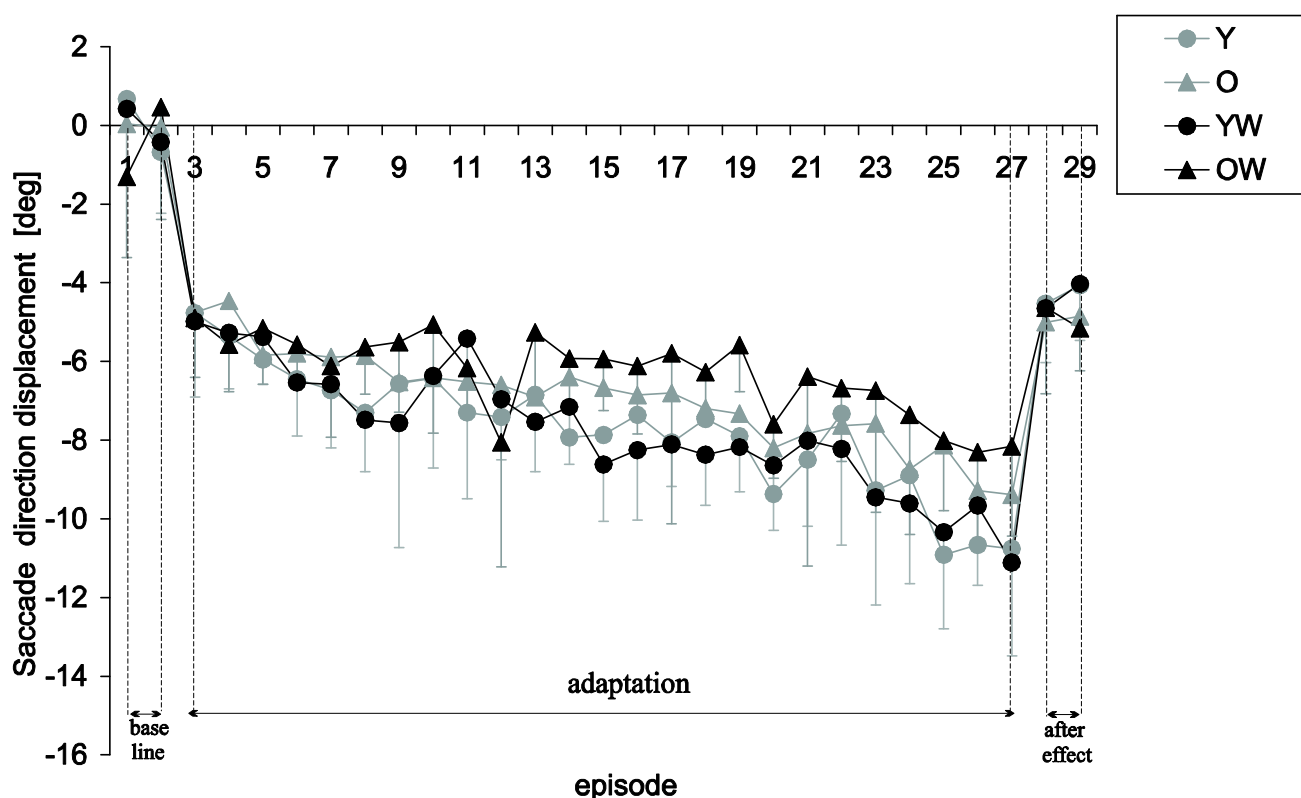
Фигура 14 показва, че по време на адаптация, посоката на сакадите постепенно нараства по посока на втората стъпка на мишената. Тази промяна се наблюдава при всички групи, но е по-изразена е в групите на младите (Y и YW), отколкото на възрастните (O и OW).

ANOVA с фактори „Епизод”, „Възраст” и „Ред” (след трафик теста vs. след прайминга) установи значимост за „Епизод” ($F(1,36) = 11,13, p < 0,001$) и „Възраст” ($F(1,36) = 6.49; p < 0.05.$), но не и за Ред

($p > 0.05$). Post-hoc тестът на фактора Възраст установява по-успешна адаптация на младите отколкото на възрастните (10.62 vs. 8.01)

Фигура 14. също така показва, че стойностите в пост-адаптационните епизоди са подобни във всички групи. ANOVA не установява значим ефект на горните фактори в тях (всички $p > 0.05$).

Реакционните времена в базовите епизоди за Y и YW е (299.193 ± 30.15) ms, а тези за O и OW са (269.90 ± 27.57) ms. При прилагане на еднофакторна ANOVA не се установи статистическа значимост на фактора Възраст за базовите епизоди ($p > 0.05$). Базово усреднените стойности на РВ по време на адаптацията не показват статистически значима разлика нито за младите, нито за възрастните (всички $p > 0.05$).

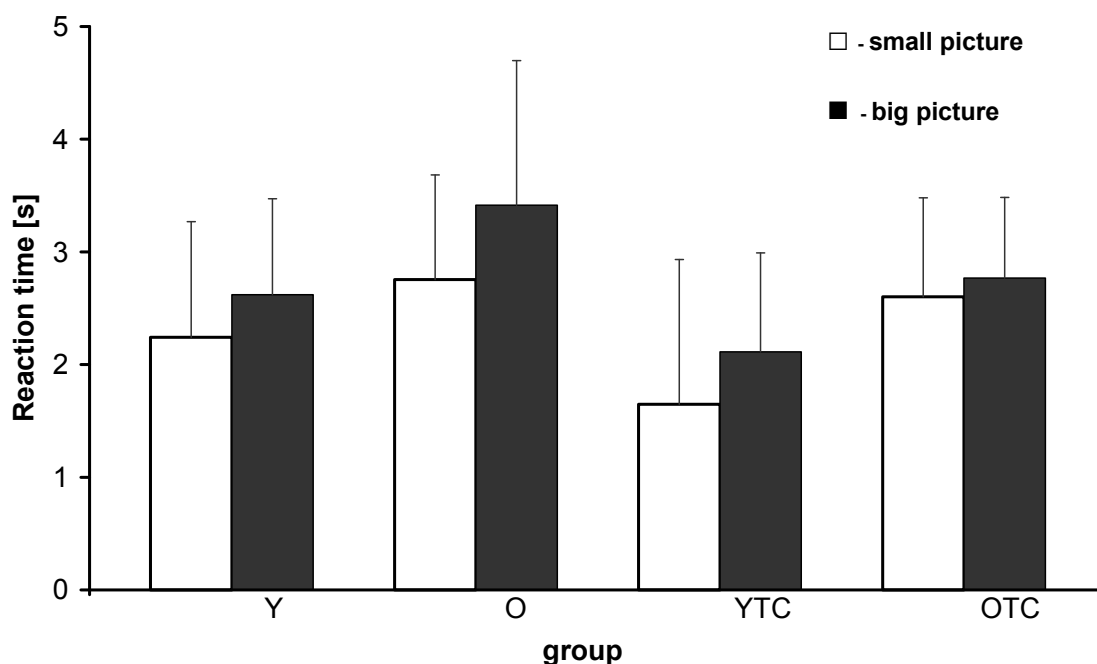


Фиг.14. Усреднена посока на сакадите за всеки епизод във всяка група изследвани по време на: предадаптационната фаза (1-2), адаптация (3-27) и пост-адаптация (28-29) във I и II сесия.

4.4.2. Резултати от анализа на реакционните времена на движението на ръката в трафик-теста

Анализирахме само резултатите от РВ на движенията на ръката в задачата с трафик-теста, приложен след прайминга във II сесия, за да оценим неговия непосредствен ефект върху изпълнението на тази

задача. Тъй като анализът на резултатите не установи разлики между РВ на отделните групи за второто превозно средство, на фигура 15, са представените резултатите само за първото превозно средство.



Фиг.15. Усреднени реакционни времена на движението на ръката към първото превозно средство на изследваните млади и възрастни (Y и O) във II сесия и контролните групи (YTC и OTC).

От фигурата се вижда, че за всички групи RT на ръката е по-голямо за: големите, отколкото за малките изображения; възрастните, отколкото за млади изследвани. Противно на очакваното, тези, които са подложени на прайминга, показват по-големи РВ, отколкото контролните групи и това е особено изразено при възрастните.

Съответно, ANOVA установява, статистическа значимост на “Размера на картината” ($F(1, 72) = 4.71, p < 0.05$), “Възраст” ($F(1, 108) = 10.41, p < 0.001$) и “Прайминг” ($F(1, 72) = 6.09, p < 0.05$). Post-hoc за теста за фактора «Възраст» показва - млади vs възрастни (2.15 vs 2.89) “Прайминг” (с прайминг- 2.76 vs контрола- 2.28) “Размера на картината”- (малки -2.31 vs големи -2.73)

При дисперсионен анализ за броя на грешките, само размерът на изображението дава статистически значима разлика ($F(1, 72) = 12.34, p < 0.01$). Средният брой грешки е 2.52 за големите и 1.47 за малките изображения.

Резюме на получените резултати

1. Успехът на сакадичната адаптация нараства след прилагането на семантичен

прайминг за широк фокус на внимание, докато този за тесен фокус на внимание не я повлиява.

2. По-големият успех на адаптацията след прилагането на прайминг за широк фокус

на внимание при младите изследвани в сравнение с възрастните, не се установява в пост-ефекта на адаптацията (няма разлика в сетивно-двигателната пренастройка на двете възрастови групи).

3. Успехът на сакадичната адаптация, приложена непосредствено след семантичния

прайминг за широк фокус на внимание, не се различава от този, приложен след следваща прайминга друг вид зрително-двигателна задача, като този резултат не се влияе от възрастта.

4. Семантичният прайминг за пространствения фокус на внимание оказва негативен

ефект върху реакционното време на движение на ръката в трафик-теста (нараства в сравнение с реакционното време на изследваните без прайминг).

5. ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Проблемът за общото и различното в механизмите на сетивно-двигателната адаптация на сакадичните очни движения и движенията на ръката е от съществен интерес, предвид фундаменталното му и практическо значение, но в литературата са известни малко изследвания, посветени на този въпрос, особено по отношение на адаптацията на посоката им.

При *едновременна* адаптация на двете системи не може да даде еднозначен отговор на този въпрос, тъй като не може да сме сигурни доколко ползваните мозъчни механизми са присъщи на адаптацията на всяка от двете системи или се включват вследствие на симулантната им адаптация. Поради тази причина, този дисертационен труд изследва сходството между адаптацията на посоката на реактивните сакади и движение на ръката към двойностъпково отместване на зрителен таргет, в едни и същи условия, но при разделната им адаптация.

Първите две изследвания бяха посветени главно на развитието и успеха на адаптацията при промяна на двете основни характеристики на стимула (зрителен таргет) – големина и посока – в изследвания стимулен диапазон. По отношение на адаптацията на сакадите, такива изследвания не бяха известни в литературата, а по отношение на адаптацията на ръката, подобни изследвания са правени към изкривена зрителна обратна връзка (Abeelee & Vock 2001; Vock et al., 2003), но не и с двойно-стъпкова парадигма.

С нашето изследване, на първо място беше показано, че и двете сетивно-двигателни системи се адаптират не само към малка по големина стъпка - -10° (което се равнява на около 5° зрителен ъгъл), но и към съществено по голям зрителен ъгъл, а именно 28° , който се равнява приблизително на -60° таргетна стъпка на екрана на нашия монитор. Сравнителният анализ между получените резултати от адаптацията на всяка от двете системи показва, че те реагират по сходен начин на промените на големината и посоката на таргета. Установихме, че адаптацията на посоката на сакадите и движенията на ръката не се различава значимо по отношение на различните по големина стимули в изследвания стимулен диапазон, но ефективността им е по-голяма, когато стъпката на таргета е по-малка.

Обратната пропорционална зависимост между релативния ефект на адаптацията и големината на стъпката предполагаме, че се обуславя от по-успешната сетивно-двигателна пренастройка и на двете системи, което се потвърждава и от резултата по отношение на относителната величина на послеефектите от адаптацията, а именно, те са по-големи при по-малка таргетна стъпка. Този резултат ние свързахме с посочното настройване на дълбоко-разположените коликуларни неврони, които участват, съгласно литературните данни, както в сакадичните движения (Ottes et al., 1986; Lee et al., 1988), така и в тези на ръката (Stuphorn et al., 2000, Lunenburger et al., 2001) като предположихме, че оптималната сетивно-двигателна пренастройка вероятно се случва в определени граници, поради което относителната величина на адаптацията намалява, когато стъпките на таргета прехвърлят тези граници.

Различни са, обаче, резултатите от анализа на адаптацията в изследвания стимулен диапазон, когато той е приложен в режим на стъпаловидно нарастване на таргетната стъпка през константен времеви интервал. В този случай, адаптацията към -60° таргетна стъпка, е значимо по-голяма от тази при същата стъпка в постоянен

режим. Релативната ефективност на адаптацията също е по-голяма, особено по отношение на ръката (13% спрямо 35%). Тези различия, обаче, не се наблюдават по отношение на послеефектите. Намерените находки биха могли да се дискутират и да бъдат хипотетично обяснени със следните аргументи. Тъй като в адаптацията на очните сакади и движенията на ръката участват както сетивно-двигателната пренастройка, така и определена стратегия, а послеефектите отразяват само сетивно-двигателната пренастройка (Redding & Wallace 1996; McNay & Willingham, 1998; Vock 2005), вероятно инкременталният режим на адаптация улеснява участието на стратегията, но не и сетивно-двигателната пренастройка.

Нарастването на адаптационния ефект и на двете системи при адаптация с постепенно нарастваща по големина таргетна стъпка, потвърждава генералната концепция за адаптивността на различни системи, която намира практическо приложение в спорта и рехабилитацията: крайният успех е по-голям, когато системата започне да се манипулира с по-малки, но постепенно увеличаващи се натоварвания, отколкото при първоначално по-големи такива, при което участието на коровите механизми очевидно е съществено.

Сходството на адаптационните механизми на двете системи се потвърждава и от изследването, което показва, че адаптацията на всяка от тях, подтиска, макар и не напълно, последващата адаптация на другата към еднаква по големина, но противоположна по посока стъпка на таргета. Следователно, налице е интерференция между двете системи, тъй като адаптацията на всяка от тях, повлиява адаптацията на другата към противоположно по посока отместване на таргета, но без да я подтиска напълно. На базата на този резултат, ние изказахме предположението, че адаптивните механизми на двете системи нито са напълно независими, нито имат напълно общи механизми. По-скоро би могло да се каже, че част от адаптивните механизми на сакадите и движението на ръката са общи, а друга част са различни. Това предположение се подкрепя от казаното по-горе, че двойно-стъпковата адаптация на сакадите и ръката се медира на субкорово ниво, ако не от едни и същи, то поне от невронални области в горните коленчати тела, разположени в непосредствена близост, чиито сигнали се преплитат. Както показват и двете изследвания, във всички експериментални условия, когато се наблюдава нарастване на успеха на сакадичната адаптация, то се обуславя от увеличението принос на стратегическата компонента, т.е.

от по-активното участие на коровото представителство, което очевидно е по-голямо за адаптацията на движенията на ръката.

Третото и четвъртото експериментално изследване са базирани на предположението, че тъй като адаптивните процеси изискват участие на вниманието (Eversheim & Bock, 2001; Beurskens & Bock, 2012), целенасоченото му използване, би спомогнало за по-успешна сетивно-двигателна адаптация. В този аспект, създаването на подходяща преднастройка на системата преди самата сетивно-двигателна задача, вероятно би улеснило самата адаптация. Методът на несъзнателния прайминг все по-широко се използва за тази цел в последните години като се разглежда като несъзнателна, но целенасочена индукция на когнитивен ресурс. В направените от нас изследвания, този метод е изследван за първи път по отношение на сакадичната адаптация изобщо (в литературата не открихме такива изследвания, независимо от вида на сакадите). Получените резултати са обещаващи и показваха положително повлияване на сакадичната адаптация (нарастване на успеха ѝ) от два вида семантичен прайминг: с думи, изразяващи положително отношение към остаряването и с широк фокус на пространствено внимание.

Първият вид прайминг беше приложен само върху възрастни хора, тъй като беше свързан с емоционалната преднастройка във връзка с остаряването. По литературни данни, свързаните с възрастта дефицити на адаптивна промяна се отразяват съществено на стратегическата компонента поради когнитивния спад (Bock, 2005; Bock & Girgenrath, 2006). Нещо повече, нашето изследване показва, че вероятно повече от възрастните хора имат и емоционален спад, който в случая се изразява в негативна настройка към остаряването, тъй като положително влияние върху сакадичната адаптация установихме само по отношение на позитивния възрастов прайминг, а тези, на които беше приложен негативен възрастов прайминг, не се различаваха от групата без прайминг. Този резултат потвърждава резултати от изследвания в други области, които са показали, че положителните стимули подобряват емоционалните или сетивно-двигателни реакции за разлика от негативните, т.е. тези стимули мотивират за по-добро изпълнение на последващата задача. Следователно, семантичният прайминг за индукция на положително отношение към остаряването, би могъл да се прилага за подобряване на изпълнението на някои зрително-двигателни задачи в ежедневието от по-възрастни хора.

Липсата на ефект върху сакадичната адаптация от негативните стереотипи би могла да се обясни по два начина: 1) по-слаба ефективност на негативните стереотипи или; 2) социална особеност, а именно: по-възрастните хора у нас имат негативна нагласа към остаряването, което намира отражение и в контролната група (двете групи имат близки крайни стойности на адаптация), поради което негативните стереотипи не повлияват съществено изпълнението на задачата (сакадичната адаптация). Тези обяснения имат нужда от доизясняване и допълнителни експериментални изследвания в тази насока, предвид важноста на позитивната нагласа за изпълнението на различни задачи, включително сакадичната адаптация, при по-възрастни хора.

Вторият вид семантичен прайминг е приложен, за да изследва участието на пространственото внимание в сакадичната адаптация, от гледна точка на възможността за повишаване на нейния успех. Тъй като бяха индуцирани семантично два вида пространствено внимание, за широк и тесен фокус, ние си поставихме за задача да отговорим на въпроса дали и двата, или кой от тях, ще има позитивен/негативен ефект върху сакадичната адаптация. Полученият положителен резултат само по отношение на прайминга за широк фокус на внимание (и липсата на ефект при тесен фокус на внимание) ни позволиха да надникнем по-дълбоко и в самия механизъм на сакадичната адаптация и по-конкретно в използваната работна стратегия. Едно хипотетично обяснение на находката е, че таргетите в адаптационната задача не се появяват на едно единствено място на екрана а са разпръснати по целия екран като покриват една област с около 30° зрителен ъгъл. Прамингът, който индуцира широк фокус на пространствено внимание, подготвя изследваните за изграждане на генерализирана работна стратегия, свързана с разпространението на тяхното внимание върху цялата повърхност на дисплея и така дава възможност за паралелна обработка на сакадичните грешки в това работно пространство. Тази стратегия вероятно е по-ефективна от предполагаемата локална стратегия, която се изгражда следствие на прайминга с тесен фокус на внимание или липса на прайминг (контролната група), която най-вероятно се базира на последователна обработка на всяка сакадична грешка при движението на таргета в отделните локации.

Интересна находка в този аспект е намереното доста устойчиво и продължително въздействие на семантичния прайминг върху

сакадичната адаптация: то не се променя дори, когато между прайминга и сакадичната адаптация е приложена друга сетивно-двигателна задача. Въпреки че и при младите, и при възрастните изследвани се наблюдава един и същи ход на промените под въздействие на прайминга, възрастните показват по-малко нарастване на успеха на сакадична адаптация (по-слабо активиране на участието на стратегическата компонента), което отново е в подкрепа на прадигмата за когнитивен спад, свързан с остаряването.

В това изследване, ние търсехме и отговор на въпроса дали свързания с възрастта дефицит на пространствено селективно внимание, ще редуцира ефектите на прайминга върху адаптацията. В предишни наши изследвания (Bock, Grigорова, & Пиева, 2013; Bock, Пиева, & Grigорова, 2014), намерихме малки разлики в успеха на адаптацията на младите и възрастни изследвани. В това изследване, тази разлика беше съществена: ефектът на прайминга върху сакадичната адаптация бе значимо по-слаб при възрастните в сравнение с младите, но тази разлика не се наблюдаваше в пост-ефектите. Този резултат беше аналогичен на предишни резултати от изследванията на адаптацията на ръката (Bock, 2005; Buch, Young, & Contreras-Vidal, 2003; McNay & Willingham, 1998). Следователно, сетивно-двигателната система и на очите, и на ръката, вероятно имат възрастов дефицит на релативните стратегии, но не и на сетивно-двигателната пренастройка в адаптацията.

Последното изследване, на базата на резултатите, получени от анализа на времето на реакция на ръката в адаптиран трафик-тест за непрофесионални шофьори, показва още една находка: ефектът на семантичния прайминг не винаги е положителен върху различните сетивно-двигателни задачи и до голяма степен се определя от интерференцията между прайминга и последващата задача. Когато праймингът изисква определена категория когнитивен ресурс и изпълнението на последващата сетивно-двигателна задача се нуждае от същата категория когнитивен ресурс, тогава тази задача може да бъде „ощетена” и изпълнението ѝ да се влоши в сравнение с това без прайминг. Следователно, би трябвало да се подхожда предпазливо по отношение на твърденията за положителния ефект на семантичния прайминг върху различни видове задачи и да се разширят изследванията в тази област на физиологията и психофизиологията.

Все пак продължителният позитивен ефект на прайминга върху изпълнението на зрително-двигателни задачи, които не изискват

преобладаващо участие на коровите механизми или до голяма степен са автоматизирани, дава възможност за използването му с цел повишаване успеха на активности от реалния живот, които изискват широк фокус на внимание, например навигация: при подготовката на професионални и непрофесионални шофьори (особено на по-възрастни).

6. ИЗВОДИ:

1. Развитието и количествения успех на адаптацията на реактивните сакади и движението на ръката към различни по големина *постоянни* стъпки на зрителен стимул в изследвания диапазон, не се различават значимо помежду си, нито в рамките на една система (очи/ръка), нито между двете системи, т.е. механизмите на сетивно-двигателната пренастройка са подобни.

2. Крайният ефект на адаптацията и на двете сетивно-двигателни системи показва обратно пропорционална зависимост от големината на стъпката.

3. В рамките на една адаптационна фаза с *нарастващи* по големина стъпки на таргета (съответстващи на постоянните), реактивните сакади и ръката показват по-успешна адаптация, отколкото при постоянно по големина таргетно отместване, което се обуславя от увеличението принос на стратегическата компонента.

4. Установено е, че в условие на две следващи една след друга адаптации на очи-ръка или ръка-очи, към еднаква по големина, но противоположна по посока таргетна стъпка на тази, приложена в предхождащата адаптация на другата система, адаптацията и на двете системи е по-неефективна от тази на предхождащата система, което най-вероятно се обуславя от подтиснатата сетивно-двигателна пренастройка, следствие интерференция с първата.

5. Семантичният прайминг с позитивен възрастов стереотип повишава ефекта на сакадичната адаптация на възрастни хора, което *не* се дължи на промяна в сетивно-двигателната пренастройка, а на активиране на подходяща стратегия.

6. Установено е, че семантичният прайминг за широк фокус на внимание увеличава успеха на сакадичната адаптация, независимо от възрастта, което се обуславя вероятно от изграждане на генерализирана работна стратегия за паралелна по-ефективна обработка на сакадичните грешки от локациите върху цялото

зрително поле. По-успешната адаптация при младите отколкото при възрастните по всяка вероятност се дължи на когнитивния спад, свързан с остаряването.

7. Намереният негативен ефект на семантичния прайминг за широк фокус на внимание върху реакционното време на движение на ръката в условия на когнитивно-двигателна задача, най-вероятно се обуславя от интерференция между сходните когнитивни ресурси, необходими както за прайминга, така и за изпълнението на задачата.

7. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:

1. За първи път е изследвано систематично и установено сходство между механизмите на адаптация на посоката на реактивните сакади и движение на ръката към отместване на зрителен таргет при разделно прилагане на двойно-стъпкова парадигма в идентични експериментални условия.

2. Установеното сходство в адаптацията на двете системи при прилагане на различни по големина и посока таргетни стъпки, ни дава основание да предположим анатомична близост на адаптивните им механизми на подкорово ниво, най-вероятно невронални области в горните коленчати тела, чиито сигнали се преплитат (cross-talk).

3. За първи път е изследван ефекта на семантичния прайминг върху сакадичната адаптация и са получени оригинални резултати по отношение на позитивния ефект на два вида семантичен прайминг, емоционално-социален и пространствено внимание, който е свързан с повишено участие на коровите механизми в нея като демонстрира положителната роля на когнитивния фактор в адаптивните механизми и възможността за стимулирането им, особено в процеса на остаряване.

4. Получен е оригинален резултат за противоположния ефект (позитивен vs. негативен) на един и същ семантичен прайминг върху изпълнението на два вида сетивно-двигателни задачи, на базата на който е изказана хипотеза за различната интерференция, която възниква между когнитивните ресурси, необходими за прайминга и изпълнението на следващата го сетивно-двигателна задача.

8. ПРИЛОЖЕНИЯ

8.1. Публикации, свързани с дисертационния труд

1. Schmitz, G ., Bock, O., Grigorova, V., Иlieva, M (2010). Adaptation of eye and hand movements to target displacements of different size. *Exp Brain Res* 203:479–484. **IF=2,29**

2. Grigorova, V., Bock, O., Иlieva, M, Schmitz, G (2013). Directional Adaptation of Reactive Saccades and Hand Pointing Movements Is Not Independent. *Journal of Motor Behavior* 45(2): 101-106. **IF= 1,6**

3. Bock, O., Grigorova, V., Иlieva, M, (2013). Double-Step Adaptation of Saccadic Eye Movements Is Influenced by Priming with Age Stereotypies. *Psychology* 12:1014-1017. ISSN: 2152-7180.

4. Staneva, Milena, Grigorova, Valentina, Bock, Otmar (2019). Semantic priming for attention focus influences visuomotor tasks differently but the Effects are Similar in Young and Older Adults. *Journal of Motor Behavior* Jan 2:1-7. doi: 10.1080/00222895.2018.1545216. [Epub ahead of print]. **IF= 1.53**

8.2. Научни съобщения по темата на дисертационния труд

1. Grigorova V., Bock O., Ilieva M. Oculomotor saccade adaptation with and without attendant hand pointing movements. 1st Balkan Regional Scientific Workshop on Visual Perception 28-29 май 2007 година София [presentation <http://www.aso.zsi.at/attach/V.Grigorova.pdf>].

2. Grigorova V., Bock O., Ilieva M., Grozdev.P Plasticity of oculomotor saccades in double step target paradigm IX Национален конгрес на българското дружество по физиологични науки 9-11 ноември 2007 – Благоевград

3. Grigorova V., Bock O., Ilieva M., Borisova S., Schmitz. G. Some properties of of direction adaptation of targeting saccades. 2nd Balkan Vision Science Meeting. September 19-21 2008 Ljubliana Slovenia. [presentation http://psy.ff.unilj.si/balkan_vision_08/files/Grigorova.ppt]

4. Grigorova V., Ilieva M., Bock O. Transfer of sensorimotor adaptation between saccades and arm movements in the same and opposite directions. 15th ECEM, 23-27 August, 2009, Southampton, UK. (*poster*).

5. Григорова В.,Илиева М., Борисова С ”Някои свойства на посоката на адаптацията на реактивните сакади”. Колегиум на

направление “Сетивно-двигателни и когнитивни процеси” Октомври 2008

6. Grigorova V., Ilieva M., Bock O. Adaptive mechanisms for reactive saccades and hand pointing movements are not independent. *Scripta Scientifica Medica* volume 43,3, 2011 pp(216)- X Национален конгрес по физиологични науки 6-9 септември - 2011 година - Варна

7. Staneva M., Bock O Grigorova V., Нараства ли успехът на сакадичната адаптация вследствие семантична индукция на глобално или локално внимание XI Национален конгрес по физиологични науки 7-9 октомври - 2015 година - Пловдив

8. M. Ilieva, O. Bock, V. Grigorova. Does Priming with age Stereotypes influences adaptation of reactive saccades in elderly? - Научна конференция “Невронауки – от теорията до експеримента” 4 декември 2014, София

9. Staneva M., Grigorova V., Influence of Unconscious Semantic Priming for a Wide Focus on a Decision – visuomotor Task in Young and Older Non-professional Drivers – SCIENTIFIC SESSION “ Biomedicine and Quality of Life – Youth in Science” – 26-27 юни 2017 г.

8.3. Забелязани цитирания на публикации, свързани с дисертационния труд (до 12.04.2019 г.)

Schmitz, G ., Bock, O., Grigorova, V., Ilieva, M (2010). Adaptation of eye and hand movements to target displacements of different size. *Exp Brain Res* 203:479–484.

1. Werner, Susen. *Behavioral characteristics and neural localization of sensorimotor adaptation*. Diss. German Sport University Cologne, 2010.

2. Левик, Ю. С. "Нейробиология системы внутреннего представления собственного тела: введение в проблему и прикладные аспекты." *Современная зарубежная психология* 2 (2012): 97-110.

3. Kasuga, Shoko, Masaya Hirashima, and Daichi Nozaki. "Simultaneous processing of information on multiple errors in visuomotor learning." *PLoS One* 8.8 (2013): e72741.

4. Wijdenes, Leonie Oostwoud, Eli Brenner, and Jeroen BJ Smeets. "Exposing sequence learning in a double-step task." *Experimental brain research* 234.6 (2016): 1701-1712.

5. Chen, Binbin, Joanne Fielding, and Hoam Chung. "An alignment maximization method for the kinematics of the eye and eye-head fixations." *Vision research* 158 (2019): 58-71.

Grigorova, V., Bock, O., Ilieva, M., Schmitz, G (2013). Directional Adaptation of Reactive Saccades and Hand Pointing Movements Is Not Independent. *Journal of Motor Behavior* 45 (2):101-106

1. Gorbet, D. J., and L. E. Sergio. "Don't watch where you're going: The neural correlates of decoupling eye and arm movements." *Behavioural brain research* 298 (2016): 229-240.

2. Gorbet, Diana J., and Lauren E. Sergio. "Move faster, think later: Women who play action video games have quicker visually-guided responses with later onset visuomotor-related brain activity." *PloS one* 13.1 (2018): e0189110.

3. Gorbet, Diana J., and Lauren E. Sergio. "Looking up while reaching out: the neural correlates of making eye and arm movements in different spatial planes." *Experimental brain research* (2018): 1-14.