

МЕДИЦИНСКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ



THE MEDICAL FACULTY
UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

УТИЦАЈ +Gz УБРЗАЊА НА ОРГАН ВИДА КОД ПИЛОТА РВ И ПВО НА ХУМАНОЈ ЦЕНТРИФУГИ

Аутор: др Данијела Ранђеловић

Ментор: др Сунчица Срећковић, ванредни професор

Крагујевац, 2018.

САДРЖАЈ:

| | |
|---|----|
| 1. Увод | 3 |
| 1.1. Физиологија органа вида | 5 |
| 1.2. Видне функције | 7 |
| 1.2.1. Оштрина вида | 7 |
| 1.2.2. Колорни вид..... | 9 |
| 1.2.3. Стерео вид | 14 |
| 1.3. Ширина зенице | 15 |
| 1.4. Хумана центрифуга – опис и техничке карактеристике уређаја..... | 17 |
| 1.5. Физиологија позитивног убрзања..... | 22 |
| 1.6. Утицај +Gz убрзања на орган вида | 26 |
| 1.7. Барорецепторски рефлекс..... | 29 |
| 1.8. Заштита од убрзања..... | 29 |
| 1.9. Показатељ осетљивости за болест кретања | 32 |
| 2. Хипотезе, циљеви и значај истраживања..... | 33 |
| 3. Материјал и методе рада | 35 |
| 3.1. Врсте студије | 35 |
| 3.2. Испитаници | 35 |
| 3.5. Методе испитивања..... | 37 |
| 3.5.1. Испитивање оштрине вида на даљину – опотип по Ландолту..... | 37 |
| 3.5.2. Испитивање оштрине вида на близину – Jaeger таблице..... | 38 |
| 3.5.3. Испитивање колорног вида – Иссихара таблице..... | 38 |
| 3.5.4. Испитивање стерео вида – Randot тест | 39 |
| 3.5.5. Мерење ширине зенице..... | 40 |
| 3.5.6. Профил убрзања и начин извођења селективних тестова на хуманој центрифуги... | 40 |
| 3.5.7. Биомедицински параметри | 43 |
| 3.5.8. Испитивање хемодинамских параметара – крвни притисак и пулс..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 3.6. Снага студије и величина узорка | 44 |
| 3.7. Статистичка обрада података..... | 45 |
| 4. РЕЗУЛТАТИ | 46 |
| 4.1. Општи подаци испитаника | 46 |
| 4.2. Резултати хемодинамских параметара - пулс | 48 |
| 4.3. Резултати хемодинамских параметара - крвни притисак | 50 |
| 4.4. Резултати оштрине вида на даљину и близину | 52 |
| 4.5. Резултати колорног вида | 54 |
| 4.6. Резултати стерео вида | 55 |
| 4.7. Резултати ширине зенице | 56 |
| 4.8. Логистичка регресиона анализа разлике посматраних параметара између студената и пилота борбене авијације..... | 58 |
| 4.9. Вредности посматраних хемодинамских параметара и параметара оштрине вида код пилота борбене авијације током тродневног тестирања..... | 61 |
| 5. ДИСКУСИЈА | 72 |
| 5.1. Анализа пулса и крвног притиска..... | 75 |
| 5.2. Анализа промена оштрине вида на даљину и оштрине вида на близину | 77 |
| 5.3. Анализа промена у колорном виду..... | 80 |
| 5.4. Анализа промена стерео вида | 81 |
| 5.5. Анализа промене ширине зенице..... | 81 |
| 5.6. Предлози за даљи напредак..... | 83 |
| 6. ЗАКЉУЧЦИ..... | 84 |
| 7. ЛИТЕРАТУРА..... | 86 |

УТИЦАЈ +Gz УБРЗАЊА НА ОРГАН ВИДА КОД ПИЛОТА РВ И ПВО НА ХУМАНОЈ ЦЕНТРИФУГИ

1. Увод

Велике брзине приликом полетања, током летења и приликом слетања модерних летелица представљају додатни напор за систем чула вида. Од самог почетка развоја ваздухопловства, функцији вида се придаје велики значај. Због великог практичног значаја у ваздушној борби, утицај +Gz убрзања на орган вида је веома значајан за истраживање. И поред аутоматизације управљања летилицама човек добија још значајнију улогу над свим контролним и аутоматским уређајима и то пре свега преко чула вида. Проблеми са поремећајем вида и губитком свести услед убрзања уочени су већ крајем Првог светског рата (1). У авијацији се улажу велика средства и време да се направи авион који може имати што надмоћнији положај у ваздушној борби. Развој савремене авијације наметнуо је људском организму оптерећења која су десет и више пута већа од силе гравитације. Оваква оптерећења доводе до промена изазваних појавом инерционих сила, насталих услед промењеног убрзања. У авијацији се примењено убрзање најчешће назива G оптерећење, а представља количник убрзања које се односи на гравитацију (2). Са гледишта авиофизиологије, битне су инерционе силе које делују на људски организам, а којима је изложен у току убрзања (2). Код +Gz убрзања сила инерције делује паралелно уздужној оси тела на начин да је пилот пригњечен у седишту. Сви ваздушни маневри изводе се тако што оптерећења делују паралелно са уздужном осом тела (z) и називају се +Gz оптерећења. Ознака + говори да сила делује ка глави, а резултујућа сила делује од главе ка ногама, док се G, користи за поређење величине дејствујуће силе са гравитационом силом која износи 1G. Сила од +9Gz делује ка глави и девет пута је већа од гравитационе силе. Дејствујућа сила на пилота је инерцијална (центрифугална) сила, која делује од главе према ногама и настала је као резултат деловања силе која тежи да задржи авион на кружној путањи (центрипетална сила). Због великог практичног значаја у ваздушној борби, овај стрес је веома значајан за истраживање. Уочена је променљивост у толеранцији на овај стрес и код исте особе у зависности од психофизичког стања, окружења, дневних варијација васкуларног тонуса, уноса хране и других фактора (3).

Од свих чулних функција којима човек располаже вид је најважнији како у погледу безбедности летења тако и за квалитет извршавања летачких задатака. Преко

80% свих информација у току летења код пилота је визуелно. За време инструменталног летења пилот скоро у потпуности зависи од свог чула вида, које му омогућава читавање информација са инструмената (3, 4). Располагање високим степеном оштрине вида сматра се особином највећег значаја, чак и данас када постоје летелице ванредно великих брзина и на свим висинама (5). Информације које добијамо преко чула вида најважније су код одржавања оријентације на земљи и у ваздуху током летења. У условима када је спољашња видљивост ограничена може доћи до проблема у одржавању просторне оријентације (1). Централни вид је одговоран за прецизну информацију о растојању, брзини и дубини, а током инструменталног летења омогућава да пилот прима информације са инструмент табли у кабини авиона (6). Периферни вид пилоту даје ширу слику окружења и покрета у односу на околину и служи за брзу оријентацију и положај у простору како по дану тако и при смањеној видљивости ноћу. За пилоте је посебно значајан током ноћног летења јер се само правилним претраживањем неба и коришћењем периферног вида могу уочити објекти ноћу. Информације које се добијају посредством чула вида су најважније, једним погледом на хоризонт пилот разрешава дилему о положају у простору све док је видљив хоризонт. У условима лоше видљивости као што су магла, снег, облаци, дим, прашина, ноћ, хоризонт се лоше види и тада је потребно прећи на праћење информација са инструмент табли у кабини авиона и у овом случају је вид на близину такође важно да буде добар (2).

Маневарске способности савремених летелица могу да изазову знатна убрзања, која испољавају свој ефекат на орган вида. Ако убрзања пређу одређене вредности од $+3,5 \text{ Gz}$ и време трајања од 6-12s, долази до нарушавања видних функција. При дејству $+Gz$ убрзања услед прерасподеле крви у делове тела која се налазе испод срца, долази до пада крвног притиска у глави, што се непосредно одражава на оштрину вида (7, 8). Услед тога долази до периферног и централног губитка вида и губитка свести. Прво настаје замрачење вида па тек онда наступа губитак свести услед недовољне снабдевености мозга крвљу. Поремећај вида (оштрине вида, колорног вида, ширине зенице) у овом случају је веома корисна опомена због прекорачења могућности организма, које може да се продуби до најкритичније фазе, а то је губитак свести. Просторна дезоријентација и губитак свести при летењу који настају услед $+Gz$ убрзања, представљају највећу опасност за безбедност летења и налази се на првом месту по броју удеса (9). То је и разлог испитивања оштрине вида у хуманој

центрифуге пре и после излагања +Gz убрзању, са циљем да допринесемо повећању индивидуалне способности подношења +Gz убрзања пилота Ратног ваздухопловства и противваздухопловне одбране (РВиПВО) Војске Србије.

Нове генерације авиона са изузетно великим порастом убрзања и изузетним маневарским способностима у кратком периоду поставиле су пред авиофизиологију, која се бави одабраном здравом популацијом и истраживањем утицаја екофизиолошких фактора летења (висина, динамички фактори летења, бука, вибрације, нагле температурне промене и др), задатак да одреди крајње физиолошке границе издржљивости за сваког пилота, за одређену врсту летачког стреса и одреди пилоте са најбољим физиолошким механизмом одбране од летачког стреса (10). Летачки позив као веома захтеван и одговоран посао захтева најбољу могућу селекција пилота. Задатак лекара који обављају прегледе пилота у Ваздухопловномедицинском институту јесте да направе добар избор кандидата у току прве селекције и само најбољи могу да започну летачку обуку

Примарна селекција је најбитнија и од ње касније зависи квалитет летачке обуке, тренажа пилота, дужина и успешност летачке каријере као и дужина животног века пилота. Наравно да је и генетска предиспозиција појединаца за летење посебно на борбеним авионима јако важна. Ваздухопловна медицина има за основни циљ да адекватном селекцијом кандидата за летачки позив обезбеди безбедно, дуго и ефикасно вршење веома сложене, опасне и одговорне дужности пилота посебно у војном ваздухопловству. Разлог неопходне селекције су значајне индивидуалне разлике у подношљивости специфичног стреса који се јавља при летењу, могућности на адаптације и капацитета физиолошких резерви којима располаже организам у одговору на наведени стрес (11).

1.1. Физиологија органа вида

Основна функција органа вида је перцепција светлости. Све остале функције централна оштрина вида, периферни вид, колорни вид, ноћни вид, стерео вид имају своју основу у перцепцији светлости. Испитивање видних функција захтева одлично познавање физиологије вида, односно анатомије и физиологије ока и видног пута. Око представља сложени оптички систем са низом површина где се светлост прелама. Светлосни зраци након преламања у оку секу се у централној јамици (фовеи) на

мрежњачи, где се добија реалан лик предмета који се посматра. Очна јабучица је приближно сферног облика, тежине 7g, и дијаметра око 24mm, при чему је уздужни дијаметар мало већи од вертикалног. Око ствара слику околине на свом фоторецептивном слоју ретине и преноси информације о слици кроз видни живац у мозак. Булбус се покреће помоћу 6 пари екстраокуларних мишића, што дозвољава да се предмет прати у покрету и да се истовремено одржава координација једног са другим оком. Практично се делови ока могу поделити на следећи начин и то на протективна ткива (капци, вежњача, сузни апарат са сузном жлездом, одводним каналима и сузном кесом), ткива која дају облик и ригидитет оку (корнео-склерални омотач), ткива која исхрањују и одбијају светлост (судовна опна коју чине хороида, цилијарно тело и дужица), фоторецептивно и неурално ткиво (ретина и видни пут), оптичка и рефрактивна ткива (рожњача, предња очна комора, сочиво, стакласто тело и мрежњача), моторни систем ока (шест екстраокуларних мишића покретача очне јабучице) и диоптријски систем ока (рожњача, очна водица, пупила, сочиво и стакласто тело), који је представљен потпуно прозачним медијима ока, који имају способност преламања светла како би се на ретини формирао лик предмета који се посматра (12). Поред провидних оптичких медија и оптичких услова у њима за високу оштрину вида од пресудног је значаја и анатомска грађа и функционална организација саме фовеоле. Фовеола је састављена искључиво од чепића, са промером спољашњег чланка од 2 μ m. Спољашњи чланци су тако збијени да изгледају хексагонални попут саћа. У самој фовеоли која се исхрањује из хориокаполариса, нема капиларне мреже артерије централис ретине. Ретина је у фовеоли сведена само на слој сензорних ћелија, јер су биполарне и ганглијске ћелије постављене нешто латерално од самог центра жуте мрље. Високу моћ резолуције саме фовеоле ствара то што је један чепић повезан са једном биполарном ћелијом, а она са једном ганглијском ћелијом и једним влакном у видном путу.

Главне чулне функције, нарочито чуло вида, могу бити поремећене под утицајем високог +Gz убрзања. Чуло вида је несумљиво најосетљивије на недостатак кисеоника. Штетно дејство се одражава на основне функције вида и то оштрина вида на даљину и близину, колорни вид, ноћни вид, стерео вид, периферни вид, акомодацију и конвергенцију (6).

1.2. Видне функције

1.2.1. Оштрина вида

Оштрина вида је способност ока да у спољњем свету разликује одвојене објекте посматрања и дефинише се као способност ока да две тачке види одвојено под најмањим углом. Оштрина вида је боља уколико су посматрани углови ближи и уколико је видни угао сваког од њих мањи. Зависи од диоптријског апарата ока, провидности медија, стања мрежњаче и то посебно централног дела жуте мрље, видног пута и централног нервног система. Хистолошки и физиолошки за оштрину вида је одговорна фовеола, централна јамица у макули, која својом хистолошком грађом омогућава да се две тачке виде одвојене на најмањем растојању. Сензорни слој у фовеоли састављен је искључиво од чепића, хексогеналних ћелија чија је карактеристика да свака има посебан ганглион и нервно влакно у видном путу (12). Да би се две тачке виделе као одвојене, услов је да се њихови ликови формирају у два чепића који су раздвојени једним који није ексцитиран. Минимум сепарабиле представља најмањи угао под којим око може да види две тачке као одвојене. Да би посматрана тачка била уочена потребно је да осим величине има и минимални одређени праг светлости, а најмањи ниво светлости који може да стимулише сензорну ћелију представља апсолутни праг осетљивости. Величина видног угла зависи од величине посматраног предмета и његовог растојања од ока. На одређеном растојању величина лика на мрежњачи биће већа за већи, а мања за мањи предмет. Исти предмет даје на мрежњачи мањи лик када се налази на већем растојању од ока, а већи када је ближи оку. Видни угао је тако све мањи уколико је предмет даље од ока, а све већи уколико је исти предмет ближи оку. Минимум сепарабиле треба разликовати од минимум висибиле (минимална величина да би предмет био уопште опажен), који је мањи од 1 минута, и минимум когносцибиле (угао под којим се препознаје облик) који је већи и износи 5 минута. Овом углу једнак је минимум легибиле, који се користи приликом читања бројева и слова на тестовима. Да би се две тачке промера 0.1mm виделе као две одвојене (под углом од 1') неопходно их је посматрати са растојања од само 16cm. Величина лика виђеног под углом од 1' износи у макули 3.8 μ m, што је приближно једнако пресеку чепића. Физиолошки механизми за перцепцију предмета су сложени и ту спадају величина ретиналне слике објекта, степен потребне акомодације и конвергенције, ретинална диспарација, као и пропорције и перспектива објекта. Оштрина вида 1,0 може бити само у центру фовеоле. Способност диференцијације

одвојених тачака постоји у читавом видном пољу, али значајно опада са удаљавањем од фовеоле. Ако се слика формира ван фовеоле оштрина вида нагло опада и то у хоризонталном меридијану већ на 20 степени и износи 0,1. Испитивање оштрине вида врши се уз употребу оптотипа. Већина их је дизајнирана тако да је знак који је потребно препознати формиран од сегмената чији је видни угао 1', а читава фигура је сачињена од пет сегмената. Сви оптотипи базирају на податку да је величина слике на ретини од 0,004 mm, односно видног угла 1' нормална оштрина централног вида, јер хистолошка грађа макуле и посебно њеног централног дела – фовеоле, омогућава брзо уочавање објеката посматрања и средњи дијаметар чепића је у макуларном делу 0,004 mm, а то је уједно и размак између два чепића одвојених трећим. Овај угао је уједно и најмањи угао који раздваја две посматране тачке, непроменљив је и износи 1' видног угла (13).

Пилоти су посматрали симболе одређене величине и на њима су уочавали карактеристичан детаљ под углом од 1'. Оптотип је морао бити стандардизован да би добијени резултати били упоредиви. Контраст црних знакова оптотипа на светлој подлози треба да буде 80 - 90%, а осветљеност позадине 85cd/m^2 . Знаци на оптотипу морају имати минимум растојања од 3cm. Оптотип по Ландолту сматра се физиолошки најисправнијим и представља заправо круг уцртан унутар квадрата од 5', дебљине кружне линије 1'. На једном месту тога круга постоји прекид дужине од 1', тако да формира отвор облика квадрата димензије 1'x1', усмерен на разне стране. Однос величине теста према величини унутрашњег круга и према дебљини кружне линије и димензијама отвора је као 5:3:1. Тако конструисан је црне боје према белој подлози. Једино се помоћу Ландолтовог прстена испитује прави минимум сепарабиле. Задатак пилота који су испитивани је био да покажу у ком правцу је окренут отвор на приказаном прстену слово Ц латинично-С). Величина отвора и теста у целини подешена је тако да уколико пилот има нормалну оштрину вида онда треба прецизно да види са одређене удаљености све симболе од највећих које треба да види са 60m до најмањих које уочава на даљини од 6m. Оптотип је био постављен на удаљености од 6m што је и довољно да се елиминише акомодација. У европским земљама се оштрина вида најчешће изражава у линеарним децималним вредностима од 0,05 до 1,0. Ако је оштрина вида нормална, пилот види десети ред на оптотипу и то се изражава као 1,0. Испитивање оштрине вида треба да буде написано јасно, разумљиво и увек на исти начин и да садржи следеће елементе, ознаку за испитивано око VOD или VOS, затим

оштрину вида без корекције (sc), изражену у децималама (0.50) или разломцима (30/60).

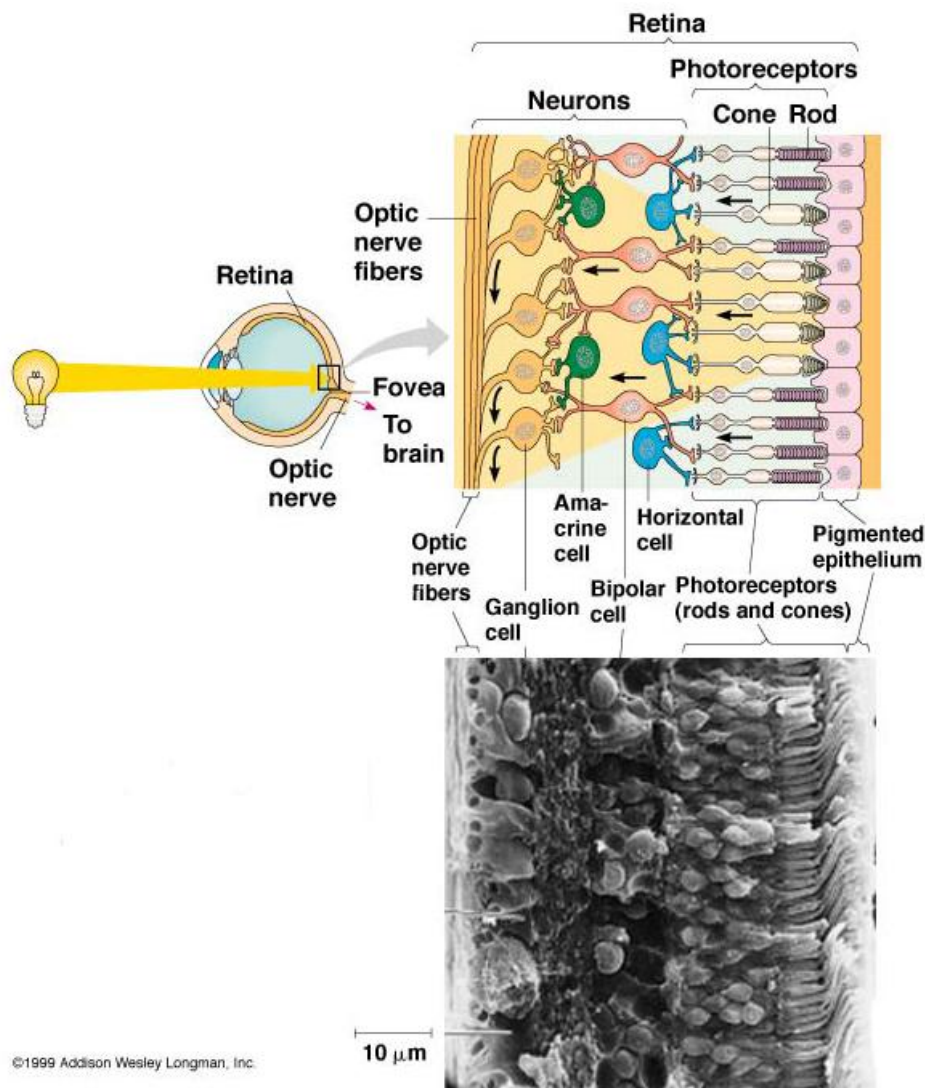
Централна оштрина вида је од великог значаја за рад на близину. Одређивање оштрине вида на близину врши се углавном у циљу одређивања корективних наочара за рад на одређеној блиској дистанци код дефицита акомодације. При испитивању оштрине вида на близину треба имати у виду да миоза код гледања на близину омогућава код младих или миопних особа да приближавање текста на растојању мањем од 30cm увеличава слику. Знаци на оптотипима су слични или идентични онима за испитивање оштрине вида на даљину, умањени за потребе одређивања оштрине вида на близину.

Испитивање оштрине вида на близину врши се оптотипима за близину на којима постоје ознаке које одговарају оштрини вида. Знаци на оптотипима су слични или идентични оним за испитивање оштрине вида на даљину умањени за потребе одређивања оштрине вида на близу приближно 1/17 део (13). Иако је тест од 1867. године претрпео неколико измена углавном ради стандардизације типова и величине слова који се користе у тексту за читање и тако је добио називе Jaeger 1, Jaeger 2. итд, и даље је најзаступљенији у пракси, и ми смо користили Jaeger 3 тест. Знаци на оптотипу су слични или идентични са онима за испитивање оштрине вида на даљину (слова или бројеви) умањени за потребе одређивања оштрине вида на близину (приближно 1/17 део).

1.2.2. Колорни вид

Колорни вид или распознавање боја је способност реаговања на светлост различитог спектралног састава независно од њеног интензитета. У авијацији је распознавање боја значајно због праћења сигнала на инструмент таблама као и знакова околине (14). Нормални колорни вид се објашњава трихроматском теоријом која се заснива на чињеници да се све видљиве боје могу формирати дозираним мешањем три основне боје: црвене (630 - 700nm), зелене (510 - 520nm) и плаве (400 - 450nm) Колорни вид постоји ако су три одговарајуће врсте чепића стимулисане дневним или одговарајућим вештачким светлом у условима фотопског стања (15). Боја је перцепција условљена таласном дужином. При промени таласне дужине стимулуса, његова боја се

мења. Оптички до мрежњаче састоји се из пет слојева: фоторецептора (штапићи и чепићи), хоризонталне ћелије које преносе сигнале хоризонтално са штапића и чепића на биполарне ћелије, биполарне ћелије преносе вертикално сигнале са штапића, чепића и хоризонталних ћелија до ганглијских и амакриних ћелија, амакрине ћелије преносе сигнале аутоматски са биполарних ћелија на ганглијске ћелије, ганглијске ћелије преносе излазне сигнале од ретине кроз оптички нерв до мозга (16).



Слика 1. -

По Young–Helmholtz-овој теорији за све три боје постоје три типа фоторецептора који су у ретини заступљени у различитим односима по броју и распореду. Нове теорије потврђују да постоје три система са различитим пигментним материјама које су осетљиве на три основне боје (12). Ове материје су смештене у чепићима, а сваки видни пигмент садржи интегрални мембрански апопротеин уграђен у хромофор, 11 цис

ретинал. Родопсин или видни пурпур је спој протеина скотопсина и каротидног пигмента ретинала названа 11-цис ретинал. Цис-облик је веома битан јер се само тај облик може спојити са скотопсином и дати родопсин. Када дође до апсорпције светлосне енергије од стране родопсина, почиње његова разградња која траје мање од 2 секунде. Цис-облик ретинала се претвара у all-trans облик, који још увек има исту хемијску грађу као и цис-облик. All-trans-ретинал почиње да се одваја од скотопсина и непосредни производ је батородопсин који се разграђује за неколико секунди и прелази у лумиродопсин, он у метеродопсин и на крају настају завршни производи скотопсин и all-trans-retinal. Први стадијум поновног стварања родопсина је претварање all-trans-retinala у 11 цис-ретинал. Када се 11-цис ретинал створи, он се аутоматски поново спаја са скотопсином и тако се обнавља родопсин. Створени родопсин је стабилан све док поново под утицајем светлости не започне његова разградња (16). Осетљивост три различите врсте чепића на спектралне боје у основи одговара апсорпцији светлости три врсте пигмента који се налазе у чепићима и показује максимум апсорпције светлости таласних дужина које су осетљиве за сваки тип чепића, што објашњава механизам којим мрежњача разликује боје (445, 535 и 570nm). Једнобојна црвена светлост таласне дужине 610 nm надражује црвене чепиће до вредности надражаја од приближно 75%, зелене 25%, а плаве уопште не надражује. Тако да се у овом случају добија само осетљивост на црвену боју. Основна плава боја таласне дужине 450 милимикрона надражује црвене чепиће до вредности 0, зелене 14%, а плаве 86%, тако да се овде добија само осећај за плаву боју. Осећај запажања беле светлости се добија подједнаким подражавањем свих чепића и црвених и зелених и плавих. Не постоји таласна дужина светла која би одговарала белом светлу. Бело је комбинација свих таласних дужина спектра. Ген за црвени и зелени пигмент локализован је на X хромозому, док је ген за плаву локализован на хромозому 7. Поремећај у распознавању боја се за боје наслеђује се рецесивно што значи да неће нестати док други X – хромозом има гене потребне да се развију чепићи осетљиви на боје (17, 18, 19, 20, 21,22). И то је разлог зашто је овај проблем чешћи код мушкараца (чак 8% мушке популације има овај проблем) (12). Распознавање боја интерпретира делом мрежњача, а делом кора мозга. Нормалан осећај за боје назива се трихромазија. Особе које не разликују једну од три основне боје су дихромати, а обољење је дисхроматопсија. Уколико у оку недостаје одређени број чепића осетљивих за неку боју не може се разликовати онда једна боја од друге. Уколико на пример недостају црвени чепићи, светлост таласне дужине од 525nm- 625nm може надражити само чепиће осетљиве на

зелену боју. Нераспознавање црвене и зелене боје су чешћи за разлику од нераспознавања за плаву боју, јер су чешћи за плаву боју осетљиви на потпуно другачији распон спектра за боје од онога за црвену и зелену боју. Испитивање боја са ергофталмолошког значаја је веома важно код особа које раде на радним местима које захтевају одлично распознавање боја (14). Пилоте којима посао захтева одлично распознавање боја треба контролисати на сваком следећем систематском прегледу из предострожности од настанка неких патолошких стања која могу умањити њихову способност у распознавању боја (23). Поремећај у перцепцији боја може бити опасан за даљи рад и може смањити и успешност обављања летења код пилота. За испитивање колорног вида постоји много тестова. Избор зависи од познавања могућности и процедура, неки су дизајнирани за конгениталне, а неки за стечене дефиците у распознавању боја. У току испитивања треба се придржавати неких принципа и стандарда. Због варијација дневне светлости најбоље је користити у току испитивања вештачку светлост која је најприближнија дневној светлости. Овакву светлост може обезбедити апарат “Macbeth Spectra light”. Просторија за испитивање треба да буде звучно изолована због концентрације испитаника. Тестирање се врши монокуларно и са потребном корекцијом уколико постоји рефракциона аномалија. Особа која врши испитивање мора да познаје одлично методу коју користи, да буде стрпљива и да има нормалан колорни вид. Испитивање треба да нам да одговоре на питање да ли постоји дисхроматопсија, која је врста, колики је степен испада и да ли је евентуални испад у распознавању боја компатибилан са професијом коју испитаник обавља. Тестови се деле у зависности од боја које се користе на пигментне и спектралне, а према методи испитивања на оне који користе метод компарације (упоређивања), метод дискриминације (разликовања), метод деноминације (именовања) и метод егализације (изједначавања) (24). Узимајући у обзир значај испитивања колорног вида са три аспекта: дијагностичког, ергофталмолошког и судско-медицинског, индикација за примену једног одређеног теста треба да буде заснована на тачно дефинисаној потреби. У првом реду примењени тест треба да омогући да се одвоје наследни од активираних испада у распознавању боја, затим да буде од користи у постављању дијагнозе када је у питању активирани дефицит и најзад да се користи у професионалној оријентацији, односно у доношењу одлуке о способности испитаника за вршење послова на специфичном радном месту. Испитивање је комплексно и најбоље је испитивање започети применом псеудоизохроматских таблица, помоћу којих је могуће одвојити нормалне од оних са дефицитарним колорним видом. За прецизније испитивање

способности распознавања боја и мањих дефицита, треба да се користи Нагелов аномалоскоп којим се одређује и аномални коефицијент на основу кога се поставља дијагноза и одређује тежина дефицита уколико постоји. Способност распознавања боја опада и са смањењем осветљености (25, 26). Прво се губи способност распознавања црвене боје, онда зелене а затим иде постепено преко целог спектра све до љубичасто-плавог дела спектра. Љубичаста боја има најдужи фотохроматски интервал тј. најдуже се види од свих спектралних боја при све слабијем интензитету светлости. Због тога се на модерним аеродромима употребљавају љубичасте светиљке за обележавање писте за полетање и слетање (27). Око осећа разне величине сјајности као нијансе сивог тј. при слабој осветљености око види све објекте само у нијансама сивог.

За испитивање колорног вида постоје многи тестови. Избор теста којим ће се извршити испитивање перцепције за боје мора да се заснива на познавању могућности и процедуре. Неки тестови су дизајнирани првенствено за конгениталне, а други за стечене дефиците у распознавању боја. Ове таблице су иначе познате још из деветнаестог века и постоји велики број ових таблица различитих аутора или произвођача. Исхихара таблице су засноване на методи дискриминације тј. разликовања. Основни принцип је базиран на кружићима различите величине, светлине и тоналитета. Кружићи су постављени у тачно одређене положаје тако да формирају различите знакове у виду бројева и линија, које нормални трихомати лако запажају (24, 28,29). Исхихара тест који смо користили има 38 страна. Фигуре од 1 до 18 фигуре врше селекцију особа са нормалним колорним видом од оних са дефицитом у распознавању боја. Главни недостатак овог теста је што није квантитативан. Њиме се не могу са сигурношћу утврдити аномали од анопа (30). Стечене аномалије се могу дијагностиковати, али је резултата несигуран. За наше истраживање ово није било од значаја јер су сви испитаници већ тестирани на селективним прегледима и утврђено је да распознају боје. Прву таблицу читају сви испитаници, нормални трихомати и дисхромати, од друге до девете таблице особе које имају поремећај за распознавање црвене и зелене боје погрешно читају, од десете до седамнаесте читају само нормални трихомати, од осамнаесте до двадесет прве таблице нормални трихомати не виде бројеве док особе са поремећајем распознавања боја виде бројеве. Читање од двадесет друге до тридесет осме таблице може нам тачније показати да ли се ради о поремећајем за црвену или зелену боју. Таблице имају два броја различите боје, црвену и љубичасту

на сивој подлози. Особе које не разликују црвену боју читају само други број, а први број читају само особе које не распознају зелену боју (31, 32, 33, 34).

Пилотима који су укључени у наше истраживање испитивано је на очном кабинету Ваздухопловномедицинског института распознавање боја методом деноминације и егализације. Метод деноминације је индикован код професије пилота и служи за проверу осећаја за боје у посебним условима и приликама, зато што они раде и са сигналним уређајима у различитим условима осветљења и временским приликама (скотопски, мезопски, фотопски услови, магла, киша, итд). Тестирање се врши на Бајнеовој лантерни ради боље имитације набројаних природних услова. Тест је поуздан за издвајање трихромата од особа са тежим поремећајем у распознавању боја, али није поуздан у дијагностици врсте испода и процени његове тежине. Тест егализације који смо користили код наших испитаника на очном кабинету Ваздухопловномедицинског Института, Oculus НМС аномалоскоп, користи спектралне боје. Овим тестом смо имали увид у квантитативну и квалитативну анализу евентуалних поремећаја у распознавању боја и аномални коефицијент(AQ) на основу кога се поставља дијагноза. Аномални коефицијент нормалних трихромата мора бити 0,75–1,73 и могу бити пилоти који су способни за летачки позив. Пилоти са $AQ=0,65-0,50$ спадају у протаномале, а од $AQ=1,3-5,0$ спадају у деутераномале, као и они са AQ мањим од 0,5 и AQ вишим од 5,0 сматрају се неспособним за обављање летачке професије.

1.2.3. Стерео вид

Стерео вид је гарант доброг вида и један је од три основна елемената бинокуларног вида поред симултане перцепције и фузије. Представља трећи степен бинокуларног вида и омогућава процену растојања, дубине и размака између појединих предмета тј. омогућава виђење слике са три димензије што је у професији пилота јако важно (13). Настаје када објекти испред и иза тачке фиксације стимулишу истовремено хоризонтално диспаратне ретиналне тачке. Цео предмет се види тродимензионално тако што на оба ока падају незнатно различите тачке. Да би се то постигло, слике посматраног предмета морају пасти на идентична места на ретини, првенствено у фовеолу. Сви елементи бинокуларног вида произилазе један из другог и не могу постојати појединачно, осим симултане перцепције. Услови за развој и постојање бинокуларног вида су одговарајућа оштрина вида. Уколико је оштрина вида једног ока

нормална (1,0), да би се развио бинокуларан вид оштрина вида другог ока треба да буде најмање 0,3, затим да видни центри у мозгу фузионишу две слике са ретине и да постоји прецизна координација покрета оба ока у свим правцима погледа. Од изузетног значаја за бинокуларни вид је и конвергенција која може бити вољна и рефлексна. Бинокуларним видом управљају оптомоторички рефлекси веома сложене природе, који се развијају до пете године живота, а учвршћују се до седме године (рефлекс фиксације, фузија, покрети, акомодација, конвергенција). Трећи највиши степен бинокуларног вида тј. стерео вид је способност осећаја тродимензионалности. Тродимензионалност се испитује квантитативним и квалитативним методама. Најједноставније квалитативно испитивање тродимензионалности може се извршити помоћу синоптофора са сличицама за овај тест. За квалитативно тестирање стерео вида користе се многи тестови: Stereo Fly Test, Randot Stereo Test with polarized specs, Lang Stereo Test Mark 1 and Mark 2, TNO Stereo Test (21, 35, 36).

Стерео вид или тродимензионалност, трећи степен бинокуларног вида испитује се квалитативним и квантитативним методама. Најједноставније квалитативно испитивање тродимензионалности може се извршити помоћу синоптофора са сличицама за овај тест. Randot тест садржи тест поларизационих кружића (stereo-circle test) и представља најдиференцијанији тест који омогућава прецизно степеновање тродимензионалног вида. У десет поља је представљено по четири кружића од којих је само један поларизован. Поларизован кружић се састоји од два суперпонирана прстена, од којих је сваки формиран под другим углом. Што је већи угао поларизације, трећа димензија је уочљивија. Највећи угао је од 400 угаоних секунди, а најмањи од 20 угаоних секунди. Randot тест је тест у виду књижице (14, 37).

1.3. Ширина зенице

Под зеницом или пупилом подразумева се округли отвор који се налази у центру дужице. Кроз овај отвор светлосни зраци улазе у унутрашњост ока и трансформишу се у мрежњачи у видну енергију. Количина светла која улази у око регулише сама пупила својим ширењем и скупљањем. Рефлекс зенице на светлост је под дејством парасимпатикуса када долази до скупљања зенице и симпатикуса када долази до ширења зенице. Измене у дијаметру пупиле су условљене радом два мишића, оног који сужава пупилу (*m. sphincter pupillae*) и оног који је шири (*m. dilatator pupillae*). М.

sphincter pupillae је кружни мишић који се налази у пупиларном делу дужице и инервисан је од n. oculomotorius и он поред парасимпатичке има и своју симпатичку инервацију. Као одговор на симпатикусни надражај он се одмах опушта. M. dilatator pupillae налази се претежно у цилијарном делу дужице и инервисан је симпатикусом. Периферни делови симпатичког и парасимпатичког дела пупиломоторног пута се налазе под утицајем виших делова коре мозга и хипоталамуса. Величина пупиле се разликује од особе до особе. Код исте особе дијаметар пупиле зависи од различитих услова. По дијаметру се разликује широка пупила (мидријатична) чији је дијаметар 4mm и више, средње широка и уска (миотична) када је дијаметар до 2mm. Просечна ширина пупиле је око 3 до 5mm. Када имамо потпуно одсуство спољашњих и унутрашњих утицаја на организам пупила никада није у апсолутном миру већ стално мења свој дијаметар за 0,5 mm при сталним контракцијама којих има од 30 до 120 у минути (38). Нормалне пупиларне реакције се могу поделити у реакцију сужења која је брза и интензивнија и реакцију ширења зенице која је мањег интензитета и спорија од претходне. У реакције ширења зенице спадају: реакција пупиле на светло, тригеминални пупиларни рефлекс, реакција на акомодацију и конвергенцију, реакција на затварање очију и галвански рефлекс – Бумке. Реакцију ширења зенице чине следећи рефлекси: реакција ширења на сензорне надражаје (бол, додир, физички напор), акустична и отогена реакција, вестибуларна реакција пупиле, реакција ширења пупиле услед пренапрегнутости у психичкој сфери и реакцију при покрету очију у страну. Реакција ширења зенице може се десити под утицајем два фактора, снижење тонуса m. sphincter pupillae где је ширење пупиле пасивни феномен или активна контракција m. dilatator pupillae где је активни. Ово значи да је реакција ширења пупиле у основи или инхибиција једара n. oculomotoriusа или надражај симпатикуса на свом путу од вратне мождине до ока (12). На распознавање детаља осим контраста и оштрине ивице предмета који се посматра, утиче и адаптација ока на различите величине сјајности које су обухваћене видним пољем. У вези са тим утиче и величина отвора зенице на оштрину вида (39). Већи интензитет светлости смањује промер зенице и повећава оштрину вида и на тај начин смањује и рефракциону грешку ока уколико она постоји (40). На величину отвора зенице много више утиче део мрежњаче који је одговоран за централну оштрину вида него периферија мрежњаче (41). Повезаност између интензитета светлости и величине отвора зенице је значајна за оштрину вида само при мањим интензитетима светлости (42, 43, 44).

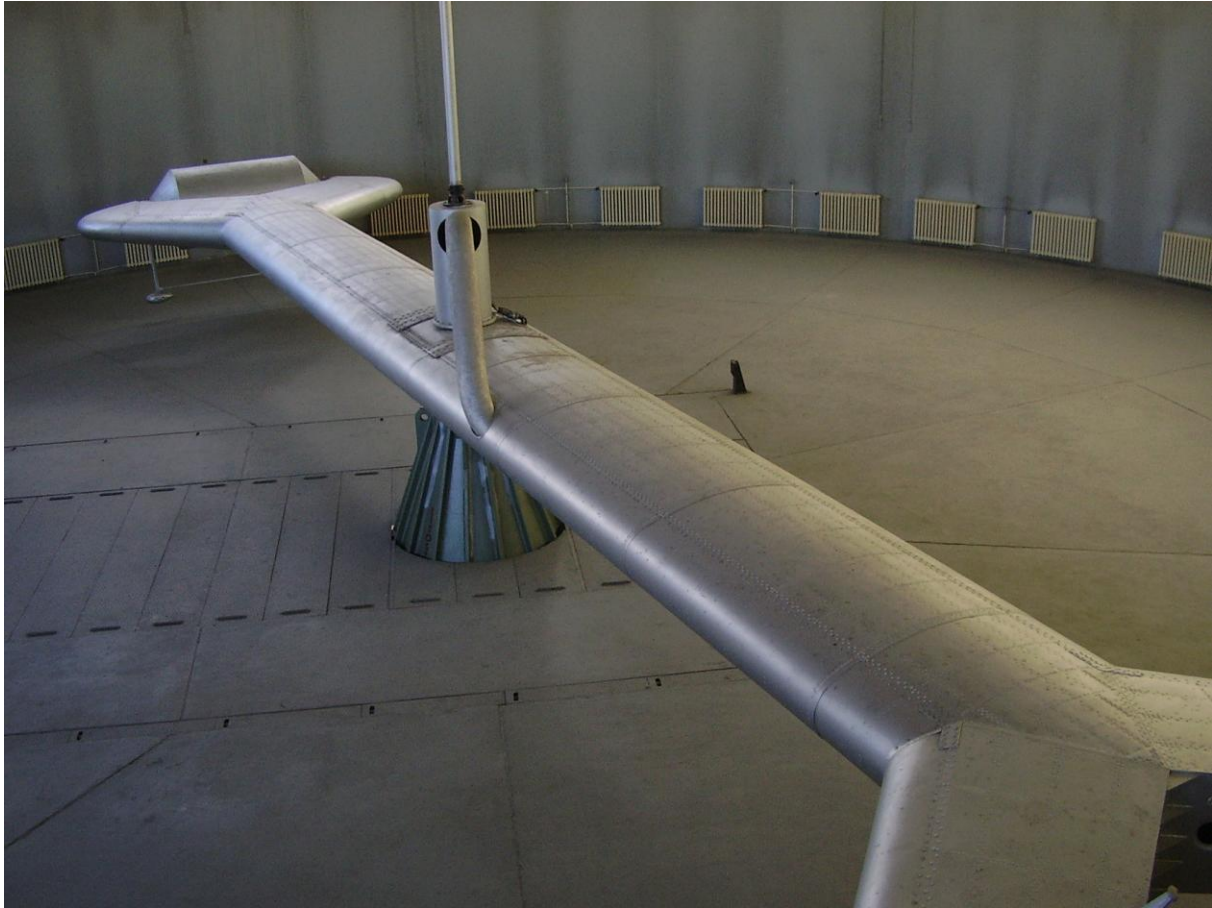
1.4. Хумана центрифуга – опис и техничке карактеристике уређаја

Просторна дезоријентација се у авиофизиологији може савладати најуспешније физиолошком тренажом (45). Огромни материјални губици навели су 20-тих година прошлог века научнике у области авиофизиологије да свој рад усмере на истраживања физиолошких механизма који могу бити узрок удеса и да покушају да нађу коначна решења или бар да ублаже ове проблем. Пилот борбене авијације увек мора бити спреман за обављање борбених задатака, тако да спровођење квалитетне и свеобухватне физиолошке тренаже јесте један од главних задатака авиофизиологије. Она се заснива на теоријском познавању физиолошких утицаја брзине и убрзања као и фактора који повећавају или смањују толеранцију организма на деловање динамичких фактора летења (46). Тренажа се обавља на хуманој центрифуги где је циљ да пилот у условима реалног G оптерећења побољша своју толеранцију на убрзање, као и да се упозна са могућим одговорима организма на прекомерни G стрес (47). Од 1980. године у многим земљама уводе се тренинзи за побољшање подношљивости убрзања на хуманој центрифуги. Код нас је хумана центрифуга пуштена у рад 1978. године и наша земља је једна од првих која је почела 1985. године да ради селекцију пилота. Урађена је надоградња 1998. године у смислу аутоматизације рада и дигитализације сигнала, као и уградња савремене медицинске опреме за мониторинг пилота у току оптерећења. Ово се показало као врло делотворно тако да се на најсавременијим центрифугама уз контролу пилота из кабине, обавља симулација летења, ваздушне борбе и реалног G оптерећења што је велики домет у остваривању обуке и реалне симулације (48). Уређај је практично комбинована гравитационо-висинска лабораторија која симулира различите услове лета ($+G_z$ оптерећење) и симулира услове висинских летова (снижен атмосферски притисак) са постепеном или изненадном променом кабинске висине (експлозивна компресија). Конструкција уређаја омогућава максимално убрзање до $+30 G_z$ али при раду са људима убрзање које се задаје је до $+9G_z$, а са техничким материјалом до $+25G_z$. Гондола се може ротирати око сопствене осе у циљу испитивања физиолошког ефекта убрзања. Кабина (гондола) је херметична, и вакумски систем омогућава симулирање услова висинских летова и максимални притисак који се може постићи једнак је атмосферском притиску на висини од 30.000 метара. Положај кабинског седишта је као и у авиону са нагибом од 21^0 у кабини се налази и камера као и светлосни сигнали (лампице) за праћење ширине видног поља.

Намена хумане центрифуге је следећа:

1. Селекција кандидата за Војну академију – студијски програм Војно ваздухопловство и кадета треће године Војне академије – студијски програм Војно ваздухопловство при одабиру кандидата за тип ваздухоплова
2. Селекција пилота за други тип ваздухоплова
3. Физиолошка тренажа пилота
4. Експертиза пилота у случају појаве нежељених психофизичких поремећаја у току летења, у доношењу оцене способности за летење
5. Испитивање заштитне летачке опреме
6. У научноистраживачком раду

Центрифуга је двокрака са по једном кабином на оба крака. Величина кракова је $9m$ и они су везани на стожер око којег се врши ротација, а положајем тегова који су учвршћени на доњем крају вертикалне осе кабина (испод) производи се $+G$ убрзање. Уколико се тегови учврсте изнад кабине, ротација ће производити $-Gz$ убрзање, а ако се учврсте бочно од кабине у правцу латералне осе, ротацијом ће се добити $+Gz$ убрзање за пилота који се испитује. Кабина центрифуге је слична кабини авиона са прикључцима за кисеоничку и анти- G опрему која одговара заштитној летачкој опреми коју користе пилоти на борбеним авионима. Кабина се може херметички затворити. Центрифуга има могућности максималног убрзања од $35G$ (z , x , y) са максималним прирастом убрзања од $1G/s$. У кабини центрифуге се налази пилотско седиште из авиона са стандардним нагибом од 21° са могућношћу промене нагиба до 90° у односу на вертикалну осу деловања оптерећења. Поред анти- G и кисеоничке опреме у центрифуги постоји и аудио-визуелна опрема (камера, микрофон, звучник) која омогућава сталну аудио-визуелну комуникацију са испитаником. Поред гравитационог стреса овај уређај може да симулира и одређен степен барометарске депресије, са могућношћу извођења и рапидне декомпресије (1, 49). Захваљујући уређају као што је хумана центрифуга и критеријумима који су везани за познавања критичних тачака, израђени су селективни тестови који су прилагођени потребама борбеног ваздухопловства и захваљујући томе можемо да одаберемо кандидате који ће уз максималну борбену ефикасност моћи да лете на одређеним типовима ваздухоплова (47).



Слика 2. – Хумана центрифуга

Испитаници су држали ручицу у кабини, а испуштањем ручице укључивао се аларм за прекид рада што је сигнализирало да се нешто дешава ван стандардних процедура или да нешто није било у реду са испитаником. На врху ручице је прекидач за сигнализацију реакције испитаника на светлосни подражај које дају лампиче. Командни сигнали за управљање уређајима у кабини центрифуге, слика испитаника са камере до монитора и аудио комуникација, биомедицински сигнали из кабине центрифуге до регистратора и технички параметри који се региструју из кабине преносе се преко клизних прстенова монтираних на стожеру центрифуге. Такође, у кабини центрифуге налазе се и инструменти који су показивали висину, брзину промене висине, акцелерометар, сат, авиохоризонт и још неколико инструмената који имају за циљ да омогуће бољу адаптацију пилота – испитаника са кабином. Време реакције на светлосни надражај смо читавали на командном пулту на дигиталном дисплеју програматора где смо програмирали величина дозвољеног времена за одговор: до 0,5s, 0,8s и 1,0s. Звучни и светлосни аларм програматора се активира уколико дође до прекорачења задатог времена за одговор (1, 2, 5,47).

Пре испитивања на центрифуге сви су прегледани стандардним методама које се примењују у оквиру медицинско-психолошке експертизе, урађени су контролни прегледи да би се утврдило да ли постоје патолошка стања која би утицала на подношљивост убрзања (повишена телесна температуре, инфекција горњих респираторних обољења као и субјективни осећај самог пилота). Два сата пре почетка тестирања испитаници су морали да узму лаки оброк. Увек треба узети у обзир адреналинску реакцију на страх од успеха тестирања, излагања тестирању као и пратеће вегетативне сметње. Безбедност испитаника и комфор у кабини не сме бити нарушен.

Испитаници су били изложени дејству дуготрајног убрзања у центрифуги пре подне од 9:00 – 11:00 часова, два сата након узимања доручка. У циљу релаксације и упознавања са тестовима на почетку испитивања је вршена припрема испитаника поред кабине и у њој, са детаљним описом разлога испитивања, начина понашања и могућих догађаја у току теста. Ову припрему је изводио лекара за сваког испитаника и трајала је око 30 минута. Након тога је следила припрема за регистрацију биомедицинских параметара које је изводио медицински техничар (лепљење електрода, смештање у кабину, повезивање каблова, успостављање комуникације и пробна реакција и провера снимка на регистратору). Медицински техничар проверава исправност дефибрилатора, комплетност анти-шок терапије и кисеоничке опреме. Екипу која је вршила тестирање сачињавали су лекар специјалиста ваздухопловне медицине, лекар специјалиста офталмологије, медицински техничар и два оператера који су за време трајања тестирања били у оперативној соби. Резултати испитивања са подацима о испитанику уносе се у протокол рада центрифуге. Лекар потписује Књигу техничке исправности центрифуге после провере уређаја пре почетка испитивања од стране инжењера центрифуге.

На почетку истраживања испитаници су подељени у две групе, групу студената пилота и групу пилота борбене авијације Првог дана су сви предвиђени параметри праћени у истом временском интервалу и при истим вредностима +Gz убрзања и код студената пилота и код пилота борбене авијације. Код обе групе рађен је Тест линеарног нарастања убрзања. Испитивање је вршено по групама од по 5 до 7 испитаника по дану.

Тест се иначе примењује у селекцији кандидата за ВА ССВВ, у трећој години кадетима пилотима ВА ЦЦВВ ради усмерења по типу авијације и у физиолошкој тренажи.

Тест се углавном спроводи као један од тестова у физиолошкој тренажи пилота. Овај тест је најсличнији условима летења пилота. Карактерише се брзим прирастом убрзања (0,75 – 0,85Gz/s) до постизања задатог нивоа Gz убрзања. На овој вредности убрзања испитаник остаје 10s, па се затим тест наставља низом скоковитих убрзања од +4 Gz до +7Gz. Током извођења теста испитаници су у обавези да носе заштитно анти - G одело. Ношење анти-G одела је иначе обавезно током летења борбених пилота јер је излагање високим убрзањима лакше поднети, чак боље него излагање +5,5 Gz убрзању без одела. На овај начин смо могли код друге групе испитаника да пратимо видне функције при различитим вредностима +Gz убрзања.

Убрзање се у центрифуги математички дефинише на основу формуле

$$a_c = \frac{v^2}{g \cdot r} \text{ где је:}$$

a_c - убрзање +Gz,

v - кружна брзина (m/s),

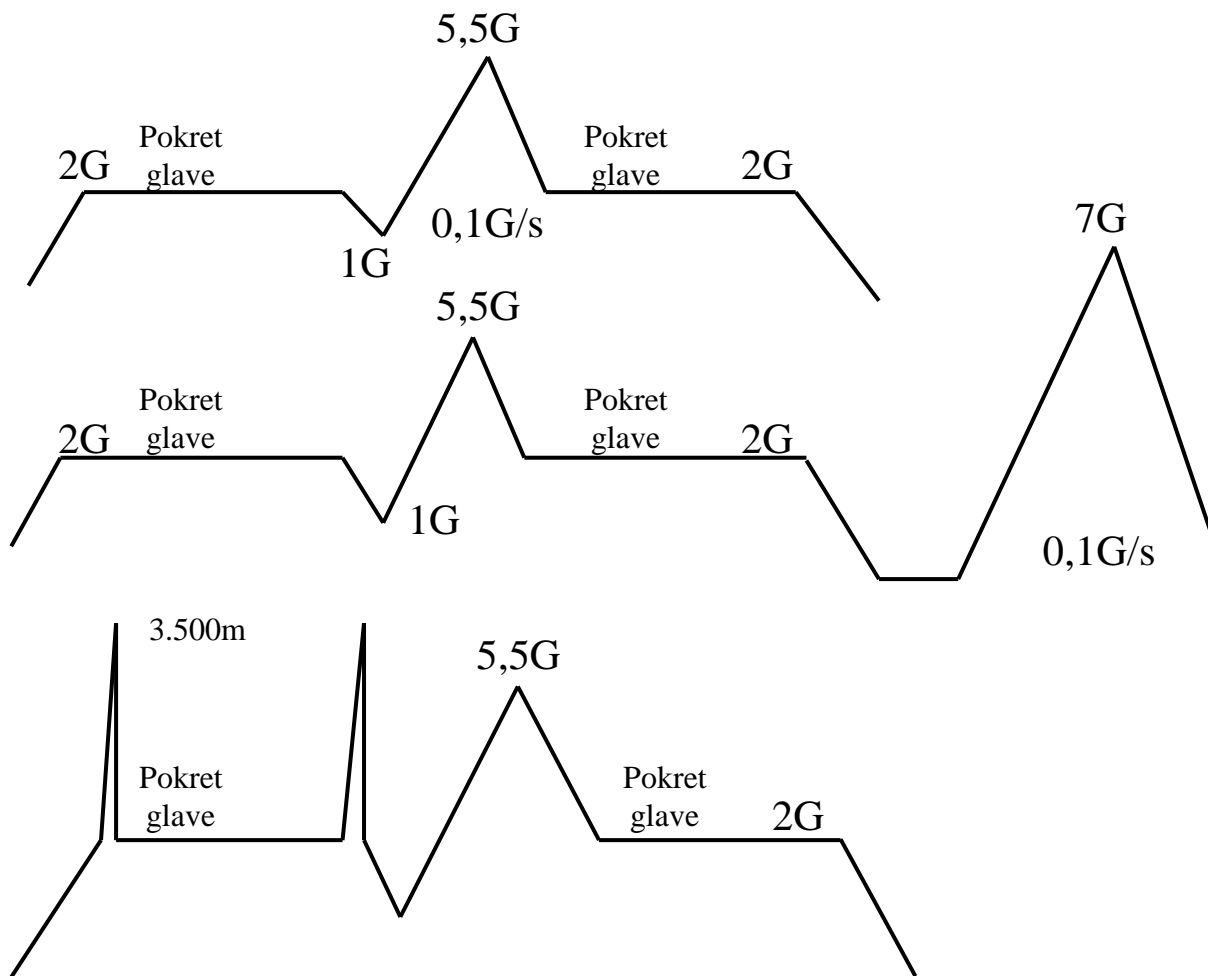
g - гравитациона константа 9,81m/s² на квадрат и

r - радијус центрифуге (9m).

Именилац за центрифугу која се користи у Ваздухопловномедицинском институту је константан и износи 88,29, тако да се лако може израчунати кружна брзина потребна да се произведу задата оптерећења, од +2Gz, +5,5Gz и +7Gz.

Пример: брзина за +5,5 Gz, израчунава се на следећи начин:

$$v = \sqrt{a_c \cdot g \cdot r} = \sqrt{5,5 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 9m} = 22,03 \frac{m}{s}$$



Слика 3. – Профил убрзања

1.5. Физиологија позитивног убрзања

Савремени авиони високих перформанси лете у великом распону брзина, што доводи до високих вредности убрзања, а самим тим и до високих вредности инерционих сила које оптерећују људске органе и системе и доводе до функционалних или патофизиолошких поремећаја. Јачина деловања убрзања на организам зависи од више фактора:

- величине примењеног убрзања (G)
- трајања дејства убрзања
- правца и смера деловања убрзања
- степена промене убрзања (порастан убрзања - G/s)
- величине површине тела на коју делује убрзање

- истовременог деловања неких других фактора, као што су хипоксија, околна температура, унос хране, присуство инфекције
- индивидуална подношљивост убрзања

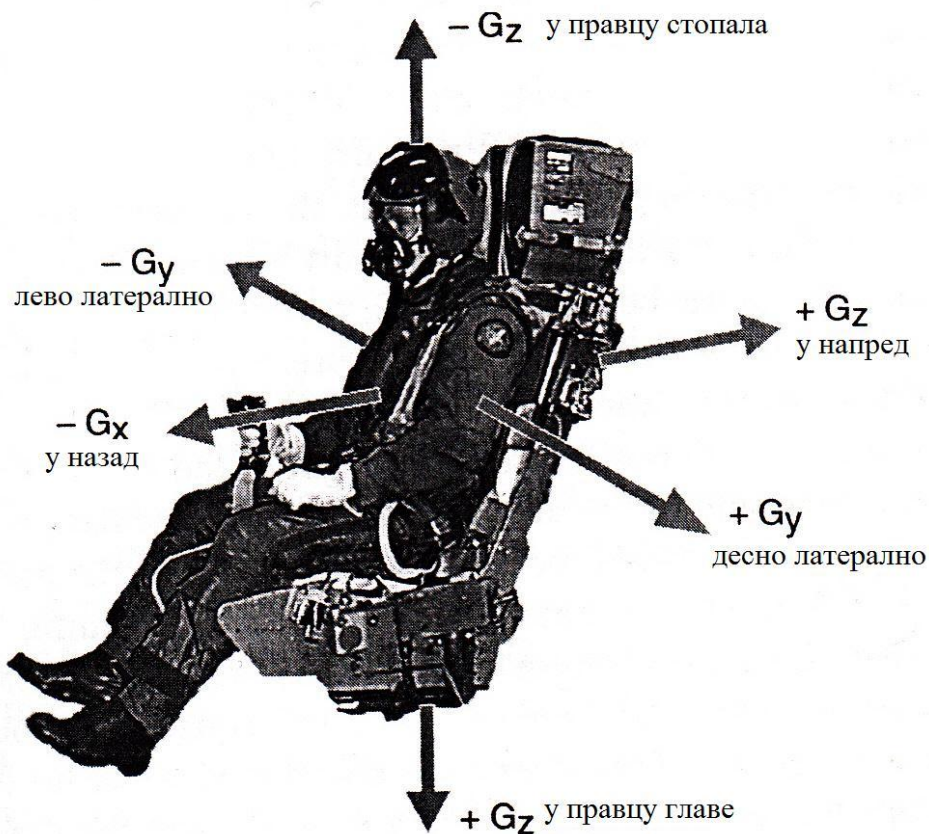
Када је степен пораста убрзања велики организам нема времена да укључи компензаторне механизме, па поремећаји могу да настану нагло без претходних знакова које организам сигнализира.

Убрзања се на основу дужине трајања деле на:

1. дуготрајна која трају више од 2 секунде
2. средња која трају од 0,5 до 2 секунде
3. краткотрајна која трају део секунде

У ваздушним маневрима дуготрајна убрзања доводе до физиолошких промена и она су разматрана у нашем даљем истраживању. Можемо само да напоменемо да се средња и краткотрајна убрзања јављају приликом катапултирања, или при удару о тло и приликом њиховог деловања не долази до промена у крвотоку.

Најзначајније и најчешће убрзање у ваздухопловству и у ваздухопловно-медицинској пракси које се проучава је позитивно убрзање где сила убрзања делује од ногу ка глави, а инерциона сила је супротног смера и обележава се са $+G_z$ у ваздухопловно-медицинској терминологији и оно представља једини екофизиолошки фактор летења који узрокује специфичне одговоре организма на физичке силе које делују на организам летача у ваздухопловству. У Ваздухопловној медицини највећи значај има ефекат убрзања на чланове посаде, и зато су правци убрзања описани помоћу три осе координатног система (x, y и z) (1). Убрзање у ваздухопловству делимо на ЛИНЕАРНО (када се мења брзина, а правац остаје исти), РАДИЈАЛНО (када је брзина стална, а мења се правац) и УГАОНО (када се мења и брзина и правац). У односу на деловање убрзања на тело разликујемо: ПОЗИТИВНО $+G_z$ (сила убрзања делује од ногу ка глави, а инерциона сила је супротног смера), НЕГАТИВНО $-G_z$ (сила убрзања делује од главе ка ногама), ПРЕДЊЕ ТРАНСВЕРЗАЛНО $+G_z$ (сила иде од леђа ка грудима, а инерциона сила има супротан смер), ЗАДЊЕ ТРАНСВЕРЗАЛНО $-G_z$ (сила убрзања иде од груди ка леђима), ДЕСНО БОЧНО $+G_z$ (сила иде слева у десно) и ЛЕВО БОЧНО УБРЗАЊЕ $-G_z$ (сила иде с десна у лево).



Слика 4. - Осе убрзања

Убрзање је мера промене брзине у јединици времена. Као векторска вредност поседује величину и правац и обично се изражава у m/s^2 . У авијацији се примењено убрзање најчешће назива G и представља производ убрзања које се односи на гравитацију. Људски организам је адаптиран на силу Земљине гравитације и може да издржи и оптерећења која су девет, десет, дванаест, а и више пута већа од гравитације. G је мера убрзања и представља доживљај особе настао као резултат силе.

$$G = \frac{a}{g} \text{ где је:}$$

a - примењено убрзање,

g - гравитационо убрзање (физичка константа $9,81 \frac{m}{s^2}$).

Када се говори о убрзању, у ваздухопловству се чешће говори о G оптерећењу него о сили јер она зависи од масе пилота, за разлику од убрзања. Укупна сила која делује на пилота у авиону је резултат центрифугалне инерционе силе и силе гравитације. Већина ваздушних маневара током уобичајеног летења подразумева

деловање $+Gz$ убрзања на посаду авиона, тако да она заслужује посебну пажњу. Убрзање које се односи на гравитацију је физичка константа и представљена је симболом g са вредношћу од $9,81\text{m/s}^2$. Ако је тело на пример изложено убрзању од $5G$, биће убрзано 5 пута у односу на гравитацију, а то је убрзање од $49,05\text{m/s}^2$. Убрзање које је резултат промене брзине дуж праве линије назива се линеарно убрзање и при овом убрзању долази до промене брзине без промене правца и јавља се при полетању и слетању авиона. Код позитивног G убрзања ($+Gz$) убрзања, сила инерције делује паралелно уздужној оси тела тако да је пилот пригњечен у седишту (10). Ово убрзање има велики практични значај у ваздушној борби и уочено је да постоји променљивост у толеранцији од особе до особе. Високи $+Gz$ стрес има два примарна ефекта. Тренутни ефекат је пад притиска на нивоу главе који је пропорционалан G оптерећењу, и у крвном притиску се овај пад односи на приближно 30cm хидростатског стуба између срца и мозга који је одговоран за 22 - 25mmHg разлике у крвном притиску између срца и мозга за сваких $+1Gz$ оптерећења коме је тело изложено. Други примарни, али нешто одложени ефекат јесте повлачење крви у зависне делове тела, ноге и абдомен. Акутна прерасподела крви доводи до смањеног повратка венске крви у срце, смањењу минутног волумена, смањеном крвном притиску на нивоу срца што доприноси снижењу крвног притиска на нивоу главе. Крајњи физиолошки ефекат је периферни и централни губитак вида и губитак свести. Оно што се дешава са крвним притиском на нивоу главе и са протоком крви након излагања $+Gz$ убрзању јасно је објашњено у радовима Armstrong-a, Wood-a, Leverett-a и Gillingham-a (50, 51, 52). Прво долази до пада притиска који је обрнуто пропорционалан G оптерећењу, као резултат ефекта хидростатског стуба, затим настаје смањење притиска када повлачење крви компромитује минутни волумен, након тога евентуално долази до делимичног враћања на нормалне вредности, као резултат кардиоваскуларног барорецепторског рефлекса мобилисаног да регулише притисак на нивоу главе на нормалне вредности и коначно следи скок изнад нормалних вредност када је G стрес обустављен, а барорецепторски рефлекс је и даље активан (53, 54, 55). Губитак ретиналног крвног протока који прати пад притиска на нивоу главе, узрокованог G оптерећењем, одговоран је за визуелне симптоме тунелског вида, сиве и црне завесе које се јављају након високог G стреса (56).

1.6. Утицај +Gz убрзања на орган вида

Пилоти РВ и ПВО који лете на надзвучним авионима треће, четврте и пете генерације, могу бити изложени високим вредностима +Gz оптерећења и током своји редовних летачких задатака. Најосетљивији део организма на позитивно убрзање је кардиоваскуларни систем. Крв као течност ткиво се премештани повлачи у доње делове тела, а као резултат тога настају симптоми и испади различитих органских система, као што су визуелни ефекти или губитак свести (57).

Приликом летења, убрзања која се јављају при промени смера летења на авионима великих брзина, превазилази нормалну гравитациону силу и доводи до различитих промена како у функцији организма тако и у функцији органа вида. Излагање +Gz убрзању доводи до погоршања вида пре било каквог поремећаја свести (58). Излагањем убрзању од +4,5Gz обично доводи до комплетног губитка вида - "црне завесе". На мањим вредностима убрзања долази до периферног губитка вида са одржавањем централног вида "сива завеса". Велике су разлике у нивоима убрзања на којима долази до губитка периферног вида и варирају од особе до особе, зависе од јачине осветљености како видног поља тако и објекта посматрања и степена замора. Поремећаји вида који се јављају при деловању позитивног убрзања узроковани су исхемијом ретине (59). Око се снабдева крвљу путем ретиналне артерије (*arteria centralis retinae*). Интраокуларни притисак нормално износи 22mmHg и да би крв циркулисала у ретини притисак у ретиналној артерији мора бити изнад 20mmHg како би се одржао проток крви. При излагању позитивном убрзању притисак на нивоу ока се смањује за око 22mmHg за 1G, тако да ће пораст убрзања довести до прекида у снабдевању ретине кисеоником, узрокујући видне поремећаје познатије као „сива и црна завеса“. „Сива завеса“ је резултат прогресивног смањења протока крви у крвним судовима ретине, док је „црна завеса“ изазвана комплетним застојем циркулације у крвним судовима. Кардиоваскуларне промене настале услед променљивог +Gz убрзања резултат су промена хидростатског притиска у артеријском и венском васкуларном систему (59, 60). Хидростатски притисак је последица деловања гравитационе силе на све молекуле течности. При убрзању од +3Gz до +4Gz, смањује се ретинални проток крви, односно притисак у ретиналној артерији постаје једнак интраокуларном притиску и промене прво настају на периферији ретине у ситним артеријама које су најудаљеније од *a. centralis retinae*. Због недовољног снабдевања кисеоником долази до губитка периферног вида и појаве „сиве завесе“. Губитак периферног вида манифестује се као

„тунелски вид“ и у видном пољу се могу појавити светлуцања и дефекти у виду црних тачака. „Сива завеса“ представља први знак некомпензованог G стреса и чест је симптом који је познат скоро сваком војном пилоту. У једној од студија постоји податак да је 98% испитаних пилота Краљевског ратног ваздухопловства Аустралије доживело овај феномен (61). Повећањем убрзања до нивоа +4Gz и +5Gz, притисак у а. centralis retinae пада испод нивоа интраокуларног притиска тако да долази до потпуног губитка вида и "црна завеса" се јавља када артеријски притисак на нивоу ока падне испод 22mmHg. Пилоту је свест још увек очувана и он је способан да контролише маневре авионом и да користи радио везу и комуницира са контролом летења. Интервал од 4 - 6s је потребан од прекида ретиналног крвотока до потпуног губитка вида што је условљено резервом кисеоника у крви у ретиналној артерији. Опоравак вида настаје чим се резерве кисеоника поуне и порасте притисак у ретиналној артерији изнад 20mmHg. "Црна завеса" је уочена код 29% испитаних пилота Краљевског ратног ваздухопловства (61). Док студија Бразилског ратног ваздухопловства наводи 20% пилота који су имали потпуни губитак вида (62). Прегледом очног дна офталмоскопом виде се артерије и артериоле ретине како су бледе, потпуно празне. Интервал између наглог пада притиска и губитка вида је 4 - 6s због мале резерве кисеоника која се налази растворена у екстраваскуларној течности ретине. Вид се враћа тек када дође до потпуног обнављања резерве кисеоника у ретини и кад притисак кисеоника раствореног у екстраваскуларној течности пређе минимум потребан за нормално функционисање вида. Приликом излагања убрзању може се уочити и губитак покрета очију што се у неким студијама истиче као поузданији показатељ да је дошло до делимичног или потпуног губитка вида (63). "Сива" и "црна завеса" се сматрају субјективним доживљајем пилота.

Убрзање делује и на структуру ткива ока, које је састављено од еластичног ткива, али то убрзање ипак не доводи до иреверзибилних промена у молекуларној структури ока, чак и експериментално излагање убрзању +8Gz и -8Gz које је довело до тешке деформације рожњаче није довело до битног нарушавања вида (64). Хронично и дуготрајно излагање малим вредностима убрзања може довести до патоанатомских промена у мрежњачи. Експерименталним излагањем пилића убрзању од 2G у трајању од 8 дана уочено је истањење фоторецепторног дела мрежњаче (слој чепа и штапића), као и стратум ганглионаре ретине (65). Највећа убрзања која човек може да издржи су трансверзална +Gz и -Gz која се јављају при лансирању космичких летилица

у свемир и приликом њиховог враћања на земљу. Вид је једна од најзначајнија функција у ваздухопловној професији. Убрзање представља и један од највећих проблема од свих екофизиолошких фактора летења. Физиолошки ефекти убрзања су многобројни, а однос између убрзања и видних функција је без сумње од огромног значаја. При селекцији пилота за борбену авијацију симптоматологија која се јавља од стране органа вида при излагању позитивном $+G_z$ убрзању је веома значајна, они пилоти који најбоље подносе ово убрзање имају ефикасније летење на авионима великих перформанси. За одређивање крајњих тачки подношљивости користе се у испитивањима на центрифуге “критичне тачке” које се дефинишу као “предвиђени физиолошки дисбаланс при којем се обавезно прекида даље оптерећење у центрифуги” (5). Класичне критичне визуелне тачке које се користе су: губитак периферног вида (сива завеса) и губитак вида (црна завеса). Губитак периферног вида настаје као последица редукције протока крви у артеријама ретине услед смањеног крвног притиска на нивоу ока као последица деловања убрзања (47). Пад перфузије настаје прво на периферији обзиром на анатомски распоред артерија ретине, што узрокује сужавање периферног вида. Ниво убрзања на коме долази до појаве “сиве копрене” битно се мења у зависности од јачине светла, таласне дужине и положаја светла у видном пољу, а на њену појаву такође утичу и брзина адаптације на таму, оштрина вида испитаника, мотивација и разумевање испитаника шта се од њега тражи. Губитак централног вида који може наступити и без претходне појаве губитка периферног вида је резултат престанка циркулације у артеријама ретине услед смањења крвног притиска на нивоу ока (испод вредности очног притиска) и последица је деловања убрзања. Ограничавање покретљивости очију - LOMA (*Limitation of Ocular Mobility under Acceleration*) се манифестује услед деловања убрзања фиксацијом очију у централној видној оси, успоравањем или престанком трептања, дилатацијом зеница и карактеристичним изразом заслепљености испитаника. Ова критична тачка се заснива на одређивању највиших вредности $+G_z$ убрзања на којима је испитаник још у стању да вољно помера очне јабучице лево и десно од централне видне осе. Велики је напор потребан да се очне јабучице покрећу при великом убрзању. Тада се на лицу испитаника види укочен поглед, дилатиране зенице, одсутан је рефлекс трептања и након овога долази до губитка вида. Међутим, поремећај свести се може јавити на већим вредностима убрзања и без претходне појаве других критичних тачака, праћен је конфузијом, ретроградном амнезијом, конвулзијама или комбинацијом свих ових симптома, при чему у већини случајева пилот то негира (66, 67, 68, 69, 70). Видни

поремећаји представљају физиолошку границу G толеранције и упозорење пилоту на брзо надолazeћи губитак свести. У Ваздухопловномедицинском институту се још од 1978. године у лабораторији за убрзање користи тест линеарног нарастања убрзања са прирастом убрзања од 0,1 G/s, при којем је “критична тачка” губитак периферног вида. На 60° од централне видне осе испитаника налазе се лампице жуте боје које се асинхроно пале, а испитаник притиском на прекидач одговара на свако паљење. Око 90% наших испитаника има очуван периферни вид до 60°, изнад +5,3Gz оптерећења, што је и гранична вредност за доношење позитивне оцене при селекцији. Резултати из праксе показују да је оваквим тестирањем повећана безбедност летења на борбеним авионима (47).

1.7. Барорецепторски рефлекс

Барорецепторски рефлекс представља најзначајнији механизам краткорочне контроле крвног притиска и делује у распону од 60mmHg до 180mmHg. Промене крвног притиска и прерасподела крви приликом излагања +Gz убрзању активирају низ рефлексних механизма, који имају за циљ да ограниче промене у мозгу и срцу. Највећи број барорецептора (нервних завршетака) ја смештен у каротидном синусу (који се налази у зиду каротидне артерије) и у зиду лука аорте. Када барорецептори региструју пад крвног притиска долази до активације симпатичког нервног система (вазоконстрикторни одговор), док се при повећању крвног притиска активира парасимпатички нервни систем (вазодилатациони одговор) (71, 72, 73, 74, 75, 76). Барорецепторски рефлекс представља компензаторни механизам, који треба да одржи притисак на нивоу главе приликом излагања +Gz убрзању. Овај рефлекс се активира 6 - 12s од почетка деловања +Gz убрзања, док је потребно 15s да врати вредности крвног притиска као пре почетка деловања убрзања (77, 78, 79).

1.8. Заштита од убрзања

Фактори који могу смањити способност подношења убрзања су замор, недостатак сна, мамурлук или болест, као и топлотни стрес и дехидратација који повећавају периферну вазодилатацију и смањују запремину плазме. Хипервентилација изазвана хипоксијом, менталним стресом, страхом или дисањем под повишеним притиском, снижени ниво шећера у крви, празан као и препуњен желудац, претерана

употреба никотина, алкохола и лоша физичка кондиција такође смањује подношљивост G оптерећења. Пилоти морају бити свесни ових ризика и у овим условима треба да избегавају летове са G оптерећењем. Такође, дуже одсуство од летења са G маневрима смањује њихову способност подношења убрзања. Потребно је елиминисати све штетне ефекте позитивних убрзања као што су пад крвног притиска у глави и горњим партијама тела. Заштиту од дуготрајног убрзања можемо поделити на физичке и физиолошке методе (80, 81).

Физичке методе су ношење анти-G одела и положај тела летача. Анти-G одело има улогу да спречи или смањи величину почетних и накнадних ефеката +Gz убрзања на кардиоваскуларни систем, и мора се брзо надувати, за 2 до 3 секунде, од достигнутог максимума примењеног убрзања. Анти-G одело конструисано је још 1943. године и до сада је доживело више модификација. Оно данас покрива цело тело пилота, а његов саставни део је и прслук за контрапритисак (1). У склопу дисања под повишеним вредностима притиска примењује се вољно дисање и асистирано дисање при којем у плућа и компензаторни прслук, преко вентила долазе једнаке вредности надпритиска. Овом методом се у грудној шупљини у нивоима изнад срца одржава ниво притиска који омогућава одржавање перфузије у глави при убрзањима и од +9 Gz, а у зависности од утренираности пилота, то може да траје и до једног минута. Принцип његовог деловања је механички притисак у доњим екстремитетима и абдомену чиме се смањује венско повлачење и смањује периферни васкуларни отпор. Подношљивост убрзања ће се повећати уколико се смањи вертикално растојање између срца и ока, што се постиже коришћењем седишта са већим нагибом у односу на вертикалну осу. У неким савременим авионима нагиб седишта је од 30° као и подизање ногу што помаже смањењу повлачења крви у вене ногу и показало се корисно у кабини авиона. Нагиб од 65° може значајно да побољша толеранцију на +Gz убрзање, али је због знатног смањења видног поља неприхватљиво за борбене авиона. Повећањем нагиба седишта преко 65° у односу на вертикалну осу +Gz оптерећење се знатно лакше подноси.

Физиолошке методе заштите од убрзања односе се на то да генерализована контракција скелетне мускулатуре може да повећа толеранцију на G убрзање за 2 и више G. Овде спадају Valsalvi-ијев маневар, анти-G маневар затезања, G тренинг на хуманој центрифуги и дисање под повишеним притиском и анти-G заштита. Код Valsalvi-јевог маневра долази до форсираног издисаја наспрам затвореног глотиса. Интраабдоминални и интраабдоминални притисак су подигнути, а овај притисак се

директно преноси на срце и велике крвне судове, подижући системски артеријски притисак. При порасту $+Gz$ убрзања овај маневар помаже у одржавању мождане циркулације, смањењем пада крвног притиска на нивоу главе. Због тога што након неколико срчаних циклуса, након првобитног пораста крвног притиска, пулс и систолни притисак почињу да опадају, овај маневар након 3 до 4 секунде губи свој ефекат и његова корисност и заштита су кратког трајања. Анти-G маневри затезања су комбинација мишићног затезања и Valsalvi-јевог маневра изведене ритмички на сваке 3 до 4 секунде. Затезање мишића почиње пред очекивани пораст убрзања и одржава се током дисања. Састоји се од што бржег удаха и након тога форсираног издаха, кроз делимично затворен или потпуно затворен глотис уз затезање абдоминалне мускулатуре. Ова метода може некада довести и до контраефекта и губитка свести јер је врло напорна и исцрпљујућа.

Програм тренинга на хуманој центрифуги постао је неопходан за пилоте који лете на авионима високих перформанси и великог G оптерећења као једна од физиолошких метода заштите од убрзања (82, 83, 84). Основни тренинг обухвата теоријска предавања о физиологији убрзања и индивидуалне тренинге на центрифуги којима утврђујемо тренутне индивидуалне способности пилота. Током једне недеље примењује се ниво тренинга који доводи до побољшања способности $+Gz$ убрзања. Профили убрзања у току тренинга могу бити једноставни са излагањем само једном нивоу убрзања и сложени од интермитентних убрзања што симулира ваздушне борбене маневре. Савремене центрифуге које су данас у употреби су уједно и симулатори летења са авионским кабинама са дисплејима и са могућношћу контроле центрифуге од стране пилота. Овакав вид тренинга смањује могућност губитка свести услед убрзања. Дисање под повишеним притиском као мера заштите у подношењу великих G убрзања показао се као врло значајан. Пораст интраторакалног притиска делује директно на срце и велике крвне судове и на пораст крвног притиска, а негативна последица је пораст централног венског притиска и смањење венског прилива у торакс и мања количина крви за рад срца при порасту убрзања. Повратак венске крви се решава потпуним заштитним анти-G панталонама и анти-G јакном за горњи део тела. Притисак који се може толерисати је 30mmHg. Притисци изнад ових вредности доводе до превеликог растезања грудног коша и не могу се толерисати без адекватног контрапритиска на грудни кош што се остварује посебним анти-G јакнама, а то су убрзања од $+9Gz$ и $+12Gz$ и максимални притисци од 60 - 70mmHg (85, 86).

Потребна су нова решења за летелице новије генерације јер је досадашњим системима постигнут физиолошки максимум издржљивости који ипак не може адекватно да испрати све пропратне перформансе и могућности савремених летелица.

1.9. Показатељ осетљивости за болест кретања

Измене у фази респирације са продуженим експиријумом и снижењем фреквенције, знаци су који иду у прилог болести кретања. Барорецепторски рефлекс и његова осетљивост или неосетљивост која се процењује посредно преко Р-Р интервала у ms, пресудан је параметар у процени успешности одбрамбеног механизма на +Gz убрзање и прати се све време током извођења теста ЕМ. Фреквенција срчаног рада у односу на Р-Р интервал која ће се сматрати повољном, током извођења теста није испод 80 у минути ни већа од 150 у минути. Реакција на светлосни надражај региструје се само у сврху праћења функционалне способности органа вида. У условима +Gz убрзања проток крви у крвним судовима ретине може бити редукован до те мере да угрози функционалну способност органа вида, што је једна од критичних тачака у селекцији пилота. Реакција на светлосну драж не сме да буде већа од 1s. Кориолис реакција је осећај изазван необичном стимулацијом семициркуларних канала и конфликта између семициркуларних канала и отолита, тако снажног да поред просторне дезоријентације поновљени ефекат изазива и болест кретања (2). Кориолис убрзање је линеарно убрзање, а семициркуларни канали су стимулирани инерцијалним увијањем које се развија када глава ротира око друге осе у односу на ротацију тела. При сваком покрету главе и враћању у неутралан положај долази до кориолис реакције и неправилног осећаја тумбања и ваљања. У току изазивања кориолис реакције пилоти пролазе кроз осећај да се кретање зауставља, а да авион иде на леђа, врхом трупа авиона доле лево, а репом одозго са десне стране. Последица свега је изазивање болести кретања услед просторне дезоријентације.

2. Хипотезе, циљеви и значај истраживања

Главни циљ овог истраживања је испитивање утицаја +Gz убрзања на видне функције, крвни притисак и пулс, као и квалитет барорецепторског рефлекса код пилота борбене авијације и студената пилота. Селекција пилота за борбено ваздухопловство прихваћена је као обавезна у свим савременим армијама. У циљу повећања безбедности летења, поред квалитетне примарне селекције увели смо и секундарну селекцију на центрифуги где пилоте излажемо +7Gz убрзању.

Резултати истраживања могу бити од значаја приликом селекције пилота. У складу са овим циљем поставили смо следеће специфичне циљеве:

1. Испитати утицај +Gz убрзања на оштрину вида на даљину и близину, стерео вид, колорни вид и ширину зенице, код пилота борбене авијације са и без изазивања кориолис реакције.
2. Испитати утицај +Gz убрзања на оштрину вида на даљину и близину, стерео вид, колорни вид и ширину зенице, код студената пилота са и без изазивања кориолис реакције.
3. Испитати утицај +Gz убрзања на крвни притисак и пулс код пилота борбене авијације и студената пилота.
4. Утврдити код које од две групе испитаника долази до већих промена у видним функцијама током излагања +Gz убрзању.

Хипотезе студије

Ова сазнања и запажања била су основа за постављање следећих хипотеза:

- Код пилота и студената пилота доћи ће до пролазног губитка оштрине вида у корелацији са степеном и трајањем +Gz убрзању и падом артеријског крвног притиска, да ће степен пролазног губитка оштрине вида бити завистан од квалитета реакције барорецепторског рефлекса
- Код пилота и студената пилота доћи ће и до погоршања стереоскопског вида и колорног вида, као и промера ширине зенице након кориолис реакције (изазивање болести кретања) и +Gz убрзања

- Степен промена видних функција зависиће од степена подношљивости истих величина $+Gz$ убрзања и биће већи код студена пилота у односу на пилоте са дужим летачким стажом који могу поднети и убрзања од $+7Gz$

За проверу хипотезе постављени су следећи циљеви истраживања:

1. Испитати корелација између хемодинамских параметара, дијастолног и систолногкрвног притиска и пулса, пре и после излагања $+Gz$ убрзању.
2. Тестовима који се користе за испитивање утврдити да ли постоји разлика у подношљивости $+Gz$ убрзања истих величина код студената пилота и пилота са дужим летачким стажом.
3. У којој мери тренажа и излагање $+Gz$ убрзању у гравитационо-висинској лабораторији (хуманој центрифуги) доприноси повећању индивидуалне способности подношења $+Gz$ убрзања пилота Ратног ваздухопловства и против ваздухопловне одбране Војске Србије.
4. Како удружено дејство убрзања и просторне дезоријентације (кориолис реакције) у исто време утиче на промене у видним функцијама што је најприближније реалној ситуацији у борбеном летењу.

3. Материјал и методе рада

3.1. Врсте студије

Ово испитивање рађено је као студија пресека. Испитивање се вршило на дефинисаној популацији, 95 испитаника подељено је у две групе. У првој групи било је 65, а у другој 30 испитаника. Посматрали смо превленцу изложености на позитивно убрзање, испитивали смо утицај убрзања на видне функције ове две групе испитаника. Истраживање је рађено на Одељењу авиофизиологије Ваздухопловномедицинског института (ВМИ), на аеродрому Батајница, у гравитационо - висинској лабораторији (хуманој центрифуги), у периоду од 13.12.2013. године до 28.6.2016. године. Студија је одобрена од стране етичког комитета Факултета медицинских наука у Крагујевцу.

3.2. Испитаници

Истраживањем је обухваћено 95 пилота старости од 21 до 45 година, подељених у две групе. Сви испитаници били су високо селектовани, без икакве историје очних болести или системских обољења били су информисани о научном истраживању и сваки је појединачно попунио формулар и потписао пристанак да учествује у истраживању. У зависности од дужине летачког стажа и сати летења пилоти су подељени у две групе:

1. Група пилота борбене авијације, у којој је било 65 пилота и који су излагани убрзању од +5,5Gz до +7 Gz
2. Група студената пилота, у којој је било 30 студената и који су излагани убрзању од +5,5 Gz

Пре испитивања на центрифуге сви испитаници су прегледани стандардним методама које се примењују у оквиру медицинско-психолошке експертизе, урађени су контролни прегледи да би се утврдило да ли постоје патолошка стања која би утицала на подношљивост убрзања (повишена телесна температура, инфекција горњих респираторних обољења као и субјективни осећај самог пилота).

Критеријуми за укључивање у студију су:

1. Добра оштрина вида на даљину и близину, добар стерео и колорни вид
2. Нормална ширина зенице

3. Одсуство било каквих промена на очном дну
4. Одсуство хипертензије или неког поремећаја срчаног ритма
5. Одсуство очних обољења као што су глауком, катаракта, увеитис.
6. Горње граничне вредности за крвни притисак су: дијастолни ТА 95mmHg, систолни ТА 150mmHg,
7. Граничне вредности за срчану фреквенцу су: испод 50/min и изнад 120/min.

Критеријуми за искључивање из студије:

1. Испитаници са лошом толеранцијом на +Gz убрзање
2. Испитаници код којих је дошло до прекида континуитета свести током излагања убрзању
3. Испитаници код којих је током тестирања дошло до два узастопна кашњења у одговору на фотостимулацију периферног вида.
4. Испитаници код којих је ЕКГ налаз указивао на хипоксију миокарда, односно коронарну инсуфицијенцију
5. Испитаници који су имали повишене вредности ТА (дијастолни притисак преко 95 mmHg, систолни преко 165mmHg
6. Испитаници који су имали срчану фреквенцију преко 180 у минути, или неке значајне срчане дисритмије или бол током извођења теста
7. Испитаници који су сами одустали од тестирања које су започели.
8. Испитаници који имају медицинске контраиндикације, као што су реконвалесценти после прележаних акутних обољења и чији лабораторијски налази указују на неко акутно обољење, као и они са налазом лекара ВМИ да се не дозвољава излагање убрзању.
9. Испитаници који имају субјективне тегобе (неспавање, поремећен режим исхране, високу телесну температуру.
10. Испитаници који су добровољно дали крв у последња четири дана пре испитивања.

11. Испитаници који су били подвргнути индивидуалним дијагностичким третманима зависно од налаза специјалисте.

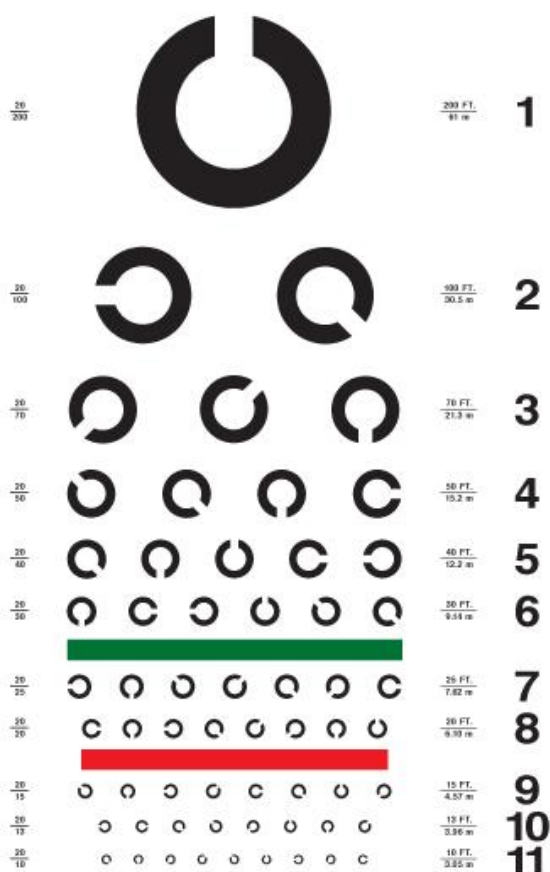
12. Испитаници који се жале на осећај било каквог бола у телу.

3.5. Методе испитивања

Испитивање је вршено у Одељењу за биодинамику Ваздухопловномедицинског института где се налази хумана центрифуга. Испитивање је вршено у складу са упутствима која су дата за сваки тест. Посматрали смо добијене разлике у оштрини вида на даљину и близину, стереоскопског вида, колорног вида и ширине зенице на основу степена убрзања. Мерени су и хемодинамски параметри дијастолни и систолни притисак и пулс. Пилоти борбене авијације су тестирани у периоду од три узастопна дана, јер су излагани различитим вредностима убрзања, док су студенти пилоти тестирани у једном дану због изложености нижим вредностима убрзања. Посматрали смо и разлике између ове две групе испитаника, што је наш важни показатељ какво је стање видних функција на почетку професионалне каријере и након вишегодишњих сати летења и који је квалитет реакције барорецепторског рефлекса неопходан на почетку каријере. На овај начин имали би валидне показатеље за квалитетнију селекцију кандидата, будућих пилота.

3.5.1. Испитивање оштрине вида на даљину – оптотип по Ландолту

Испитивање оштрине вида одређивали смо субјективном методом оптотипом по Ландолту (слика 5.). Испитивање је вршено монокуларно, прво десно, а затим лево око на удаљености 6m од оптотипа (директна метода провере видне оштрине). Оштрина вида је изражавана као децималан број. Од испитаника се захтева да именује показане знаке на оптотипу, почев од највећег ка најмањем.



Слика 5. – Оптотип по Ландоту

3.5.2. Испитивање оштрине вида на близину – Jaeger таблице

Испитивање оштрине вида код пилота пре и после излагања +Gz убрзању вршено је помоћу оптотипа на близину и то оптотипом по Jaeger-у. Пилот који је испитиван седео је на столици и имао је добро осветљење које му је долазило преко левог рамена. Тест је постављен на удаљености од 30cm и захтевано је да чита текст са најмањим словима који може да прочита. Резултати се бележе са свим неопходним подацима као што су VOD (N.V. near vision) J.1 на 30cm (Jaeger таблице)

3.5.3. Испитивање колорног вида – Исхихара таблице

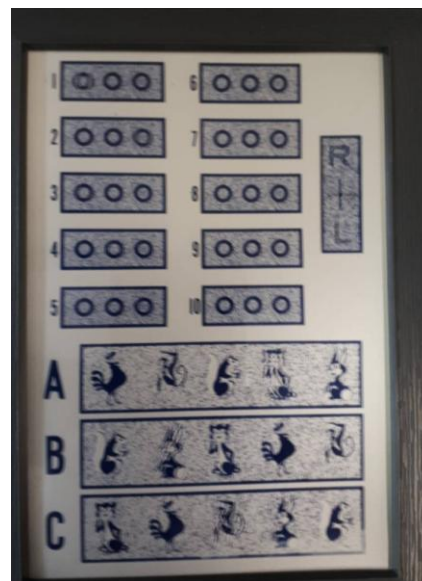
У нашем истраживању користили смо псеудоизохроматске таблице Исхихара са 38 страница што представља најновији тест из 1994. године и чији је принцип и методологија исти као код теста са 24 страна, само је распоред фигура другачији и убачене су и нове фигуре. Имали смо у виду да су сви пилоти прошли тестове

испитивања колорног вида приликом свог селективног прегледа и методом деноминације и егализације. Таблице су постављене на 60 – 75 cm од очију испитаника, а свака страна у књизи је презентирана 3 - 5s, у нашем случају на вештачкој светлости у просторији која је била изолована од буке. Руководили смо се тиме да је пилот морао да чита више од 18 бројева, а не мање од 9, да бисмо сматрали да није дошло до промена у распознавању боја након излагања +Gz убрзању.

3.5.4. Испитивање стерео вида – Randot тест

У току нашег истраживања користили смо Randot тест помоћу кога смо могли да степенујемо тродимензионалности вида. Испитивање се вршило тако што се тест поставља на растојање од око 40 cm од пилота. Испитивање је врши бинокуларно тако што су испитанику стављане поларизационе наочаре. Поставља се питање испитанику који од три кружића у првом пољу посматрања изгледа да је испред осталих кружића који се посматрају. Резултат се чита у посебном додатку уз тест. Тест има десет поља, у сваком следећем пољу је теже уочити разлику између кружића, а тиме је теже уочити трећу димензију. Стереопсија се мери у секундама угла и тест може измерити стереоскопску оштрину до 20" угла. Нормална стеро-оштрина вида износи 60". Уколико испитаник не направи ни једну грешку до десетог поља оцењује се резултатом 20", уколико направи једну грешку оцењује се са 25", две грешке 30", а 3 грешке 40" .

| No | SCORING KEY | Seconds of arc at 16 in. |
|----|-------------|--------------------------|
| 1 | L | 400 |
| 2 | R | 200 |
| 3 | L | 140 |
| 4 | M | 100 |
| 5 | R | 70 |
| 6 | M | 50 |
| 7 | L | 40 |
| 8 | R | 30 |
| 9 | M | 25 |
| 10 | R | 20 |



Слика 6.

3.5.5. Мерење ширине зенице

Величину, промер, облик и једнакост зенице пре и после излагања +Gz убрзању мерили смо пупилометром, лењиром којим се мери промер зенице и вредности су изражаване у милиметрима. Мерење је вршено непосредно пре уласка у хуману центрифуге и одмах након изласка, а праћена је ширина пупиле и у току излагања +Gz убрзању на екрану јер је постојала могућност да се снима реакција пилота преко камере која се налазила у кабини центрифуге.

3.5.6. Профил убрзања и начин извођења селективних тестова на хуманој центрифуги

У нашем истраживању пилоти су испитивани на дејство +Gz убрзања у хуманој центрифуги (модел CF-G-0-38G). Температура у кабини центрифуге (гондоли) у којој се вршило испитивање било је 20° - 22° C, а влажност ваздуха око 55%. У кабини се налази и палица са прекидачима, једна мала полука која се држи све време испитивања и користи се као сигнализатор субјективног неподношења испитивања, што се приказује укључивањем звучног и светлосног аларма у оперативној соби. Такође се налази и тастер којим се реагује да је уочено паљење сигналних лампица које су постављене на кружној конзоли испред главе испитаника распоређене под угловима од 15°, 30°, 45° и 60° у односу на централну видну осу испитаника. Центрифугом се управљало ручно у току нашег испитивања. Прираст убрзања у јединици времена и достигнута вредност убрзања су се пратили на инструментима командног пулта и истовремено су се графички приказивали на “Амрех” монитору и бележили на једном од канала регистратора медицинских параметара “Beckman”.

Пре почетка тестирања испитаници су упознати са начином како се спроводи испитивање, радњама које ће извршавати у току тестирања, типу оптерећења којем ће бити изложени као и радњама које морају предузети уколико дође до субјективних или објективних сметњи у току испитивања. Испитаници пре почетка излагања убрзању попуњавају упитник образац СнСл-ПВ-22.0. Из података које добијемо у обрасцу можемо имати увид у факторе који могу утицати на подношљивост убрзања (сати налета, да ли су конзумирали алкохол, да ли користе неке лекове, да ли су током

претходних излагања убрзању имали болест кретања...). У току извођења теста је постојао визуелни контакт командне собе са испитаником преко монитора, собом за припрему испитаника и директно са уређајем. Испитаник мора имати удобан седећи положај и могућност померања главом, рукама и ногама. Након 10 минута мировања радили смо ЕКГ у миру, у лежећем положају. Након тога лепили смо електроде за мерење ЕКГ-а, бистернално за праћење рада срца у биодинамичком кретању. Важно је да буду прилепљене на коштаном делу, стернуму и ребрима, због треперења мишића које у условима оптерећења +Gz може дати сметње, које онемогућавају читавање сигнала. Непосредно пре уласка у кабину мерили смо пулс и артеријски притисак. Пре уласка као и након изласка из кабине мерили смо, ширину зенице, оштрину вида на даљину и близину, стерео и колорни вид и прегледано је очно дно. Сви пилоти који су испитивани праћени су визуелно и снимани на видео траци током целог извођења теста, и све време је постојала звучна комуникација. Испитаници су упућени да гледају право испред себе, и да не померају главу из неутралног положаја и не чине нагле покрете главом осим на команду у току извођења активног кориолиса. Код студента пилота испитивање је рађено у једном дану и то само Тестом линеарног нарастања убрзања. Код пилота борбене авијације испитивање је рађено три дана. Првог дана испитивања Тестом линеарног нарастања убрзања, другог дана рађен је Тест толеранције на убрзање и трећег дана Тест интермитентног нарастања убрзања.

Тест линеарног нарастања убрзања код обе групе испитаника изводи се линеарним нарастањем убрзања до +5,5 Gz без анти-G заштите са прирастом убрзања од 0,1 G/s. Прво се ради испитивање са излагањем од +2Gz до +5,5 Gz убрзању, и са спуштањем на +2Gz без изазивања кориолис реакције. Након паузе од 5 минута понавља се тест са изазивањем кориолис реакције.

При достизању убрзања од +2 Gz испитаници су дужни да при оптерећењу од +2Gz одраде серију од три покрета главом – напред, лево и десно под углом од 45° сваки у трајању од 30 секунди са покретима исправљања у неутралну позицију по 30 секунди. Исто раде после спуштања (децелерације) са +5,5 Gz на +2 Gz. Током нарастања убрзања од +2 Gz до +5,5 Gz испитаници су дужни да реагују на светлосне сигнале у кабини притиском на прекидач палице. На изостанак у реакцији на светлосне сигнале смањује се убрзање којем је изложен. Након паузе од 1 минута следи излазак из кабине центрифуге. У току тестирања на екрану смо пратили само реакцију зенице, а након изласка из кабине поново смо мерили оштрину вида на даљину и близину,

колорни вид, стерео вид, дијаметар зенице и прегледали смо очно дно. Мерени су артеријски притисак, пулс и ЕКГ у мировању сваком испитанику.

Испитивање код пилота борбене авијације настављено је још у следећа два дана. Другог дана је коришћен Тест толеранције на убрзање тако што се испитаници излажу дејству убрзања које линеарно нараста од 0,1 G/s до +7Gz убрзања без ношења анти-G одела. И брзина спуштања (децелерације) је такође 0,1 G/s. Током теста који је рађен другог дана пилоти борбене авијације излагани су убрзању које је било праћено покретима главе на 30s сваки покрет изазива кориолис реакцију и тумбање у глави. Тест је извођен на следећи начин. Пилоти се излажу +2Gz убрзању са покретима главом на доле ка врату 30s, затим пауза исправљање главе 30s, покрет у десну страну ка десном рамену 30s, пауза исправи се глава 30s, покрет главе у лево ка левом рамену 30s и пауза исправи се глава 30s. Палица за команде се тек сада поново узима и прати се лампица која светли и креће се ка убрзању од +5.5 Gz. Када се достигне ово убрзање, пилот се поново спушта на +2Gz уз пуштање палице и извођење покрета главом као на почетку тестирања (глава доле 30s, исправи пауза 30s, десно 30s, исправи пауза 30s, покрет лево 30s, исправи пауза 30s). ЕМ-1 тест је програмиран тако да постигне, у смеру обрнутом од казаљке на сату, константно радијално убрзање +2Gz, а затим се након 30s изводе покрети главом (активни кориолис). Активни кориолис се изводи убрзањем од $10^\circ/s^2$ по G оси уређај достиже брзину $80^\circ/s$, а истовремено x оса убрзањем $0,3^\circ/s^2$ долази до позиције -24° . Када постигне константну брзину уређај се окреће још 240s. При постизању константног убрзања пилот следи задате инструкције за промену положаја главе. Прва команда је глава на груди, тако да се врхом браде додирне грудна кост. Тај положај се задржи 30s, а онда се по истеку времена на команду инструктора враћа у неутрални положај у коме остаје 30s. Затим следи команда "глава на десно раме", што практично значи положај главе 45° од вертикале, и тај положај се задржава 30s. Након неутралног положаја следи положај главе на лево раме у трајању 30s и поновно враћање у неутрални положај 30s. Задњи покрет главе је уназад од 30s и повратак у неутрални положај 30s. При сваком покрету главе и при сваком повратку у неутралну позицију долази до кориолис реакције, односно неправилног осећаја тумбања и ваљања. Сваки покрет главом се изводи у трајању од 1s, а сваки положај се након извођења задржава 30s. Покрети су глава на доле и врх браде додирује грудну кост, глава исправљена у неутралан положај, глава на десно раме под 45° , неутрални положај, глава на лево раме под 45° , исправљање у неутрални положај. Након тога,

убрзање се спушта на +1Gz, укључене су сигналне лампице за контролу периферног вида и почиње убрзање, умереног степена од 0,1 G/s, до достигања максималног убрзања од +5.5 Gz. Испитаник има задатак да у времену 0,9s, одговори на светлосни сигнал са конзоле који се наизменично појављује, као показатељ очуваног периферног вида. Следи успорење истог степена до достигања платоа од +2 Gz, где одмах по достигању +2 Gz убрзања, следе поново сви наведени покрети главом. Трајање овог теста је 9 минута након паузе од 2 минута пилоти се излажу постепеном убрзању 0,1 G/s до нивоа +7 Gz убрзања.

Након изласка из кабине мерени су сви напред наведени параметри видних функција као и првог дана, као артеријски притисак, пулс и ЕКГ у мировању сваком испитанику.

Трећег дана код пилота борбене авијације користили смо Тест интермитентног нарастања убрзања. Тест је исти као другог дана само што се након одмора од 2 минута након излагања +5,5 Gz убрзању пилоти излажу убрзању од +7 Gz 10s и одговарају палицом на сигнале са лампице, истовремено укључују и анти-G одело. Након тога следи спуштање и излазак из кабине и мерење свих видних функција које су мерене и прва два дана. Такође, мерен је артеријски притисак и пулс.

3.5.7. Биомедицински параметри

Биомедицински параметри који су регистровани пре, у току и после теста су следећи: електрокардиограм, фреквенција срчаног рада, фреквенција и амплитуда дисања, реакција на светлосну надражај. За снимање ЕКГ-а коришћена су два сета од по три електроде, лепљене по типу бистернално. За сваки сет коришћен је један Каплер типа 9853А. Добијени сигнали су одговарали стандардном одводу Д2. За снимање фреквенције и амплитуде дисања коришћен је сенсормедицис термистор серије 400, који се поставља испод испитаника. Фреквенција пулса је регистрована помоћу “Coupler-а 9857-А“ који је примао сигнал спојницом из ЕКГ каплера 9806 и обрађивао податке и преносио отклон на писаљку регистратора. Претходно је извршена калибрација где су одређени положаји 60, 120 и 180 откуцаја и где је пет милиметара представљало 20 откуцаја. Реакција на светлосни надражај је један од најзначајнијих биомедицинских параметара с обзиром да је губитак периферног вида први симптом

неподношења +Gz убрзања. При томе се користи податак да ли испитаник види или не види сигналну лампицу која се налази на палети налик на периметар под задатим углом у односу на централну видну осу и централно светло где је испитаник фиксирао свој поглед. Светлосни сигнал је даван асинхроно, а од испитаника се тражило да оног тренутка кад угледа светло, тренутним притиском прекидача на палици да знак који се бележио на регистратору помоћу претходне обраде у "Input Coupler-у 9853-A". Време реакције је регистровано и на дисплеју програматора паљења лампица и приказивано у хиљадитим деловима секунде (1).

3.5.8. Испитивање хемодинамских параметара – крвни притисак и пулс

Хемодинамски параметри крвни притисак (дијастолни и систолни) и пулс посматрани су и бележени све време на кардиоехограму у току извођења експеримента. Посебно су значајни периоди са кориолис реакцијом.

3.6. Снага студије и величина узорка

На почетку истраживања, испитаници су подељени у две групе. Сви предвиђени параметри праћени су у истом временском интервалу и при истим вредностима Gz убрзања. За процену величине обе групе користили смо две временске тачке, пре и после излагања Gz убрзању. Према прелиминарним истраживањима и подацима из литературе које су објавили Horg и сарадници очекују се промене у видним функцијама након излагања +Gz убрзању код пилота борбене авијације (пилоти БА) и студената пилота (студенти) (8). Очекује се висок степен корелације између пада артеријског притиска и погоршања видних функција. За прорачун величине узорка у овој студији коришћен је т-тест за везани узорак, уз претпоставку алфа грешке од 0,05 и снаге студије 0,8 (бета грешка 0,2). Прорачунато је да минималан број испитаника у студији треба бити 95, у једној групи 30, а у другој 65. Процена величине узорка извршена је применом SPS-а комерцијалног Softvera Grower. Ово би била јединствена студија код нас и у свету, зато што према доступној литератури нико није испитивао видне функције након удруженог дејства убрзања и просторне дезоријентације (кориолис реакције) у исто време, а што је најприближније реалној ситуацији у летењу пилота РВиПВО.

3.7. Статистичка обрада података

У циљу извођења неопходних статистичких тестирања, коришћен је статистички програмски пакет SPSS for Windows (24.0).

На почетку истраживања све варијабле описане су класичним дескриптивним методама статистике. Овде посматране нумеричке варијабле описане су класичним мерама централне тенденције и мерама варијабилитета: аритметичком средином, стандардном девијацијом и медијаном. Приказ добијених резултата дат је табеларно и графички.

За поређење атрибутивних обележја посматрања између анализираних група испитаника, коришћен је Pearson-ов χ^2 тест (таблице контингенције).

Избор тестова за анализу нумеричких обележја посматрања зависио је од природе њихове расподеле која је испитивана коришћењем Kolmogorov–Smirnov-ог теста. У случају расподеле различите од нормалне и код поређења између две групе испитаника коришћен је Mann-Whitney U-тест, а у случају нормалне расподеле података t-тест.

За унутаргрупно поређење, код вишеструких мерења коришћена је RM ANOVA (Једнофакторска анализа варијансе са поновљеним мерењима) у случају нормалне расподеле података, односно Friedman-ов тест код расподеле података различите од нормалне. Код поређења између два времена мерења, коришћен је тe t-тест за везане узорке за параметарске податке односно Wilcoxon-ов тест код непараметарских података.

Применом логистичке регресије, одређивани су предиктори разлике између анализираних група испитаника: пилота борбене авијације и студената.

Гранична вредност за прихватање хипотезе о постојању разлике између тестираних група у анализираним варијаблама постављена је на $p < 0,05$.

4. РЕЗУЛТАТИ

4.1. Општи подаци испитаника

Демографске карактеристике испитаника у посматраним групама

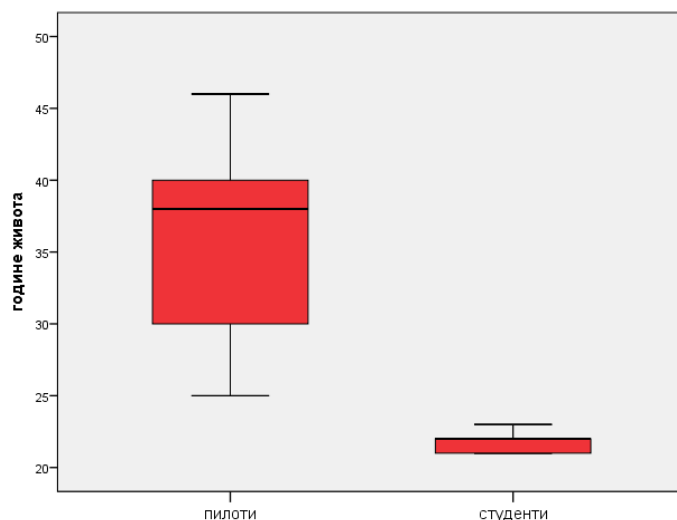
У истраживању је учествовало укупно 95 испитаника. Сви испитаници су мушког пола. Подељени су у две групе. Прву групу чине студенти пилоти, а другу пилоти борбене авијације. У првој групи било је 30, а у другој 65 испитаника. Анализирали смо: старост, телесну тежину, висину, БМИ, сате налета и дужину летачког стажа. Статистички значајна разлика уочена је у старости између студената и пилота борбене авијације ($p=0,000$) (Табела 1).

Табела 1. Демографске карактеристике испитаника

| Посматрани параметри | Посматране групе испитаника X±SD (Med, min-max) | | Значајност [†] |
|-----------------------|--|------------------------------------|--------------------------|
| | Студенти | Пилоти БА** | |
| Старост | 21,70±0,70 (22; 21-23) | 35,63±7,02 (38; 25-46) | ^a $p=0,000^*$ |
| Тежина (kg) | 68,23±1,61 (69; 65-70) | 79,00±5,45 (80; 70-88) | ^a $p=0,000^*$ |
| Висина (cm) | 172,43±3,67 (175; 167-176) | 173,57±3,07 (173; 169-186) | ^a $p=0,461$ |
| БМИ | 22,96±0,55 (22,60; 22,53-24,02) | 26,19±1,12 (26,12; 24,22-28,09) | ^a $p=0,000^*$ |
| Сати налета | 26,83±6,50 (25; 20-400) | 469,86±372,49 (380; 130-2260) | ^a $p=0,000^*$ |
| Дужина летачког стажа | 2,13±0,0,73 (2;1-3) | 15,74±7,05 (18; 5-26) | ^a $p=0,000^*$ |

*статистички значајна разлика; [†]Mann Whitney U тест, ** Пилоти борбене авијације

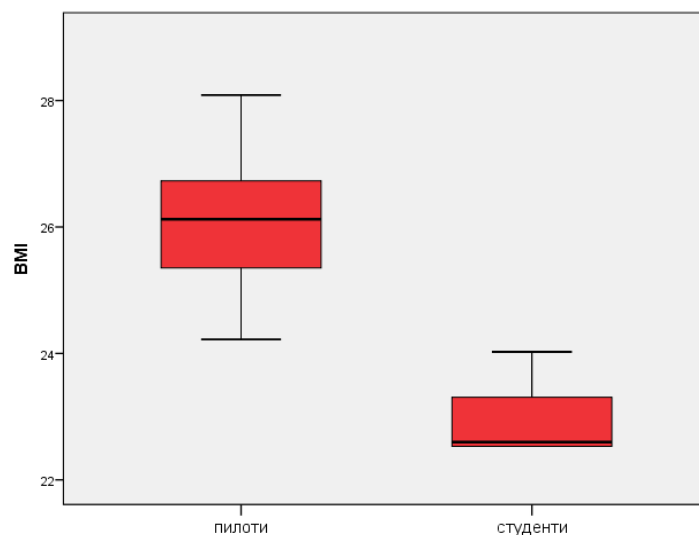
Студенти су били статистички значајно млађи од пилота (Графикон 1). Просечна старост пилота била је $35,63 \pm 7,02$ година са медијаном од 38 година и распоном броја година од 25 до 46. У групи студената, просечна старост испитаника била је $21,70 \pm 0,70$ година, са медијаном 22 године, најмлађи испитаник имао је 21 годину, а најстарији 23 године.



Графикон 1. Старост испитаника у посматраним групама

Између посматраних група, пилота борбене авијације и студената, уочена је статистички значајна разлика у телесној тежини испитаника ($p=0,000$) (Табела 1). Пилоти борбене авијације су били са већом телесном тежином. Просечна телесна тежина у групи пилота борбене авијације износила је $79,00 \pm 5,45$ kg, са медијаном 80 kg и распоном вредности од 70 до 88 kg. У групи студената просечна телесна тежина испитаника износила је $68,23 \pm 1,61$ kg са медијаном 69 kg и вредностима које су се кретала од 65 до 70 kg. Није уочена статистички значајна разлика у телесној висини испитаника ($p=0,461$) (Табела 1).

Статистички значајна разлика уочена је у БМИ између студената и пилота борбене авијације ($p=0,000$) (Табела 1). Студенти су били са мањим БМИ (Графикон 2). У групи студената просечан БМИ износи је $22,96 \pm 0,55$, са медијаном 22,60 и распоном вредности од 22,53 до 24,02 док су у групи пилота борбене авијације вредности БМИ у просеку износиле $26,19 \pm 1,12$ са медијаном 26,12 и кретале су се од 24,22 до 28,09.



Графикон 2. BMI испитаника у посматраним групама

Број сати налета, статистички значајно се разликовао између пилота борбене авијације и студената и то тако да је број сати налета вишеструко био већи у групи пилота борбене авијације ($p=0,000$) (Табела 1). Просечан број сати налета код студената био је $26,83 \pm 6,50$ сати са медијаном 25 сати, најмањим бројем сати налета 20 и највећим 400 сати, док је у групи пилота борбене авијације просечан број сати налета био $469,86 \pm 372,49$ сати, са медијаном 380 сати и распоном вредности од 130 до 2260 сати.

Статистички значајна разлика уочена је и у дужини летачког стажа ($p=0,000$) (Табела 1). И овде је дужина летачког стажа била више пута мања код студената него код пилота борбене авијације. Најкраћа дужина летачког стажа у групи студената износила је годину дана, најдужа три године, у просеку је износила $2,13 \pm 0,73$ година са медијаном од 2 године, док је код пилота борбене авијације просечна дужина летачког стажа била $15,74 \pm 7,05$ година са медијаном од 18 година и распоном вредности од 5 до 26 година.

4.2. Резултати хемодинамских параметара - пулс

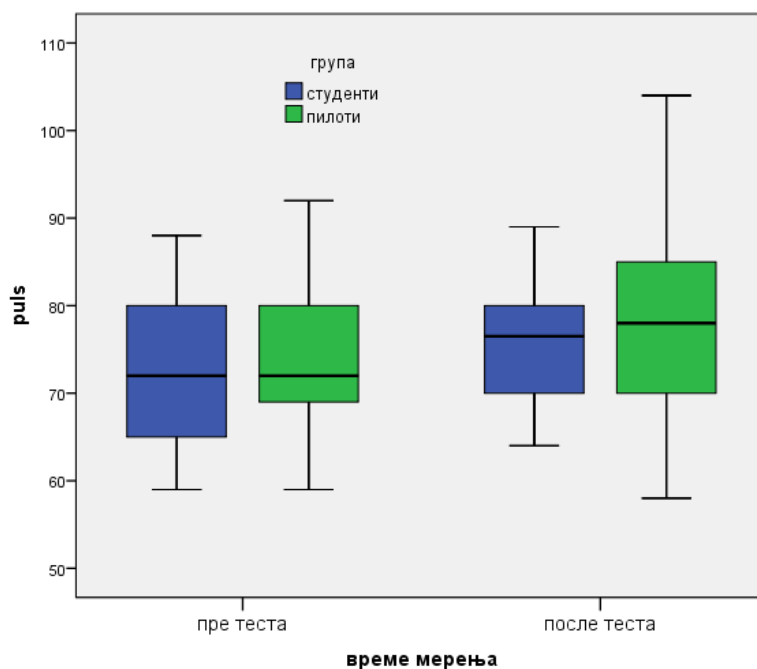
Према мереним вредностима пулса није уочена статистички значајна разлика у вредностима пулса, између студената и пилота борбене авијације, ни пре ($p=0,579$), ни после урађеног Теста линеарног нарастања убрзања ($p=0,51$) (Табела 2).

Табела 2. Хемодинамски параметри-пулс

| Посматрани хемодинамски параметри | | Посматране групе испитаника | | Значајност [†] |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | | X±SD (Med, min-max) | | |
| | | Студенти | Пилоти БА | |
| Пулс | пре теста | 72,20±8,28 (72; 59-88) | 73,35±8,27 (72; 59-92) | ^a p=0,579 |
| | после теста | 76,17±6,72 (76,5; 64-89) | 77,68±9,95 (78; 58-104) | ^a p=0,510 |
| Значајност [#] | | ^b p=0,004* | ^b p=0,000* | |

*статистички значајна разлика; [†]између студената и пилота борбене авијације; [#]пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U test; ^bt-тест за везане узорке; ^cWilcoxon-ов тест

Статистички значајан пораст пулса забележен је и у групи студената ($p=0,004$) и у групи пилота борбене авијације после урађеног теста ($p=0,000$) (Графикон 3). Пулс је дао најбољи одговор на +Gz убрзање и повећавао се пропорционално са порастом вредности убрзања. При убрзању од +5,5 Gz дошло је до максималне вредности пулса од 90 – 105 откуцаја у минути. Код студената пилота вредности су после теста ишле до 90 откуцаја у минути, а код пилота борбене авијације до 104. Вредности пулса пратили смо током теста линеарног нарастања убрзања на кардиоехограму.



Графикон 3. Пулс код студената и пилота борбене авијације пре и после теста линеарног нарастања убрзања

4.3. Резултати хемодинамских параметара - крвни притисак

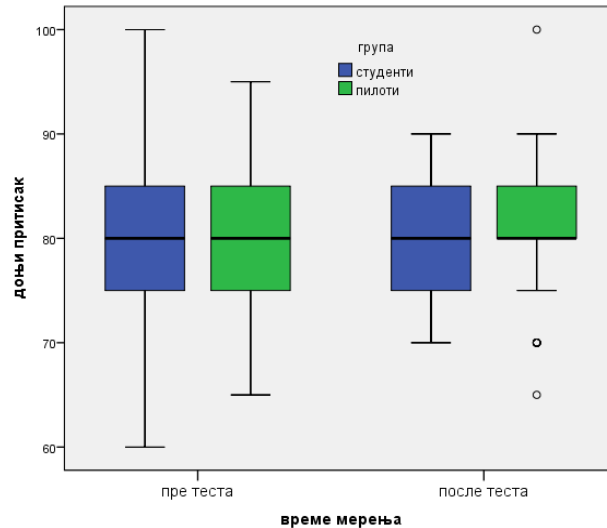
Вредности дијастолног притиска измерене пре и после теста линеарног нарастања убрзања нису се статистички значајно разликовале између пилота борбене авијације и студената (Табела 3).

Табела 2. Хемодинамски параметри - систолни и дијастолни притисак

| Посматрани параметри | Посматране групе испитаника X±SD (Med, min-max) | | Значајност [†] | |
|-------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | Студенти | Пилоти БА | | |
| Дијастолни притисак | пре теста | 79,67±7,87 (80; 60-100) | 79,77±6,70 (80; 65-95) | ^a p=0,878 |
| | после теста | 80,17±6,36 (80; 70-90) | 81,69±6,86 (80; 65-100) | ^a p=0,259 |
| Значајност [#] | | ^c p=0,689 | ^c p=0,027* | |
| Систолни притисак | пре теста | 125,67±12,37 (125; 90-150) | 130,31±9,76 (130; 110-160) | ^a p=0,066 |
| | после теста | 127,00±11,72 (125; 110-155) | 130,31±9,96 (130; 110-165) | ^a p=0,087 |
| Значајност [#] | | ^c p=0,533 | ^c p=0,793 | |

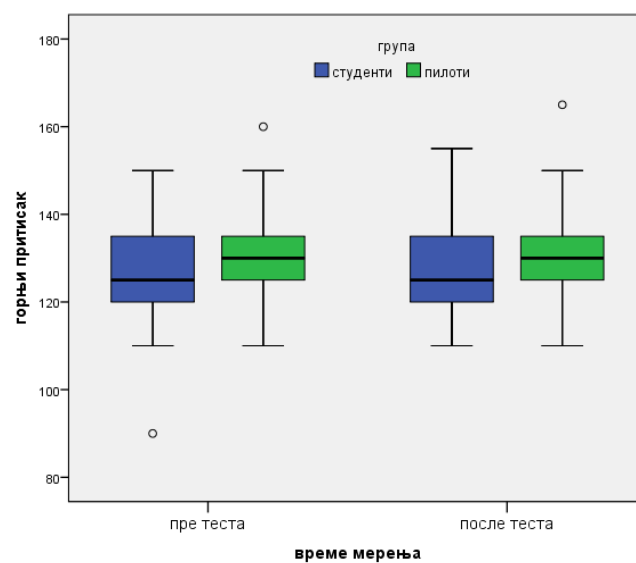
*статистички значајна разлика; [†]између студената и пилота борбене авијације; [#]пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U test; ^bt-тест за везане узорке; ^cWilcoxon-ов тест

Унутар групе студената, није забележена статистички значајна промена дијастолног притиска после теста посматрано у односу на вредности пре теста (p=0,689) (Графикон 4). У групи пилота борбене авијације забележена је статистички значајна промена дијастолног притиска после теста (p=0,027) (Табела 3). Вредности притиска после теста измерене у овој групи испитаника, биле су статистички значајно веће него вредности притиска измерене пре теста (p=0,027) (Графикон 4).



Графикон 4. Дијастолни притисак код студената и пилота борбене авијације пре и после тест линеарног нарастања убрзања

Вредности систолног притиска измерене пре и после теста линеарног нарастања убрзања, нису се статистички значајно разликовале између студената и пилота борбене авијације, ни у једном од напред наведених времена мерења (Табела 3). Статистички значајна разлика између вредности систолног притиска измерене пре и после теста, није уочена ни у групи студената ($p=0,533$), ни у групи пилота борбене авијације ($p=0,793$) (Графикон 4). Вредности крвног притиска такође смо пратили на кардиоехограму током теста линеарног нарастања убрзања.



Графикон 5. Систолни притисак код студената и пилота борбене авијације пре и после теста линеарног нарастања убрзања

4.4. Резултати оштрине вида на даљину и близину

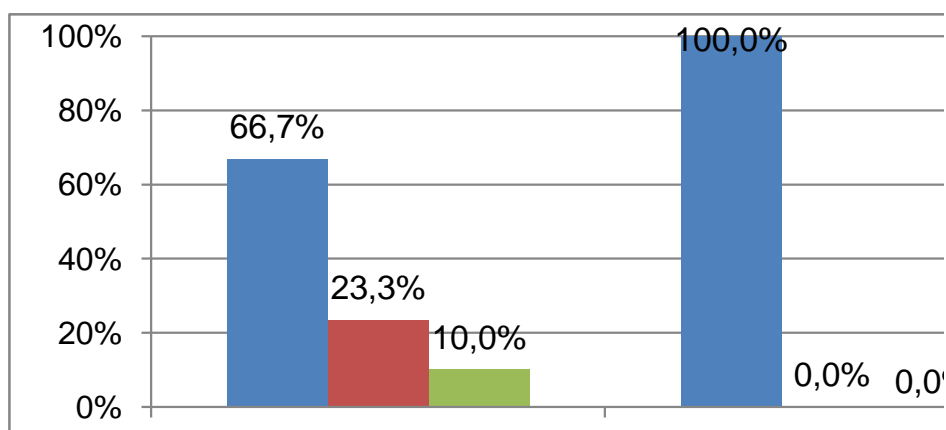
Оштрина вида на даљину 1.0 забележена је код свих испитаника и у групи студената и у групи пилота борбене авијације пре теста, табела 4. Између посматраних група испитаника после теста линеарног нарастања убрзања уочена је статистички значајна разлика у оштрини вида ($p=0,000$) (Табела 4).

Табела 4. Параметри вида

| Посматрани параметри вида | | | Посматране групе испитаника | | Значајност [†] |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| | | | $\bar{X} \pm SD$ (Med, min-max) / n (%) | | |
| | | | Студенти | Пилоти БА | |
| Оштрина вида на даљину | пре теста | 1.0 | 30 (100%) | 65 (100%) | / |
| | после теста | 0.8 | 3 (10,0%) | 0 (0%) | ^c $p=0,000^*$ |
| | | 0.9 | 7 (23,3%) | 0 (0%) | |
| | | 1.0 | 20 (66,7%) | 65 (100%) | |
| | Значајност [#] | | | ^c $p=0,002^*$ | / |
| Оштрина вида на близину | пре теста | 1.0 | 30 (100%) | 65 (100%) | / |
| | после теста | 0.5 | 0 (0%) | 2 (3,1%) | ^c $p=0,332$ |
| | | 1.0 | 30 (100%) | 63 (96,9%) | |
| | | Значајност [#] | | / | |

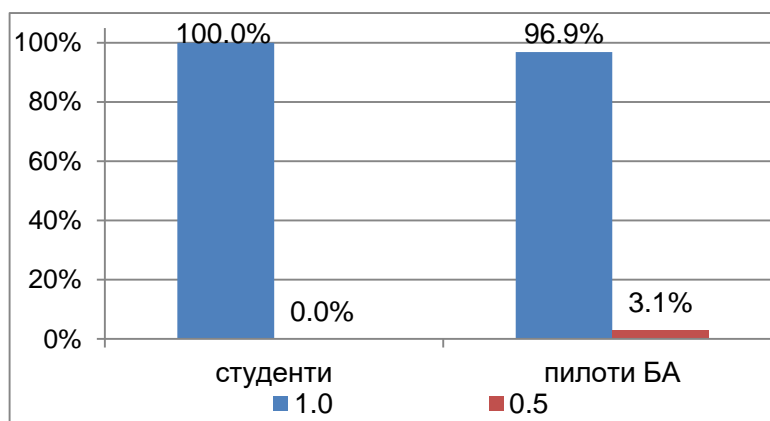
*статистички значајна разлика; [†]између студената и пилота борбене авијације; [#]пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U тест; ^bFridman-ов тест; ^c χ^2 -тест

У групи пилота борбене авијације и после теста сви испитаници су имали оштрину вида на даљину 1.0 (Графикон 6). Код студената, у 66,7% случајева оштрина вида на даљину била је 1.0 после теста, код 23,3% студената забележена је оштрина вида 0.9 и код преосталих 10% 0.8 (Графикон 6). Анализом учесталости испитаника са различитом оштрином вида на даљину, пре и после теста, у групи студената уочена је статистички значајна разлика ($p=0,002$) (Табела 4).



Графикон 6. Оштрина вида на даљину код студената и пилота борбене авијације после теста

Пре теста сви студенти и сви пилоти борбене авијације имали су оштрину вида на близину 1,0 (Табела 4). Није уочена статистички значајна разлика у оштрини вида на близину после теста између студената и пилота борбене авијације ($p=0,332$) (Табела 4). После теста сви студенти имали су оштрину вида на близину 1,0, док је у групи пилота борбене авијације код 3,1% испитаника после теста забележена оштрина вида на даљину 0,9 (Графикон 7). Унутар групе пилота борбене авијације није забележена статистички значајна разлика у оштрини вида на близину пре и после теста ($p=0,154$) (Графикон 7).



Графикон 7. Оштрина вида на близину код студената и пилота БА после теста

4.5. Резултати колорног вида

Није уочена статистички значајна разлика у колорном виду између студената и пилота борбене авијације пре теста линеарног нарастања убрзања (Табела 5). Сви испитаници су имали нормалан колорни вид. После теста уочена је статистички значајна разлика у колорном виду између посматраних група испитаника ($p=0,000$) (Табела 5).

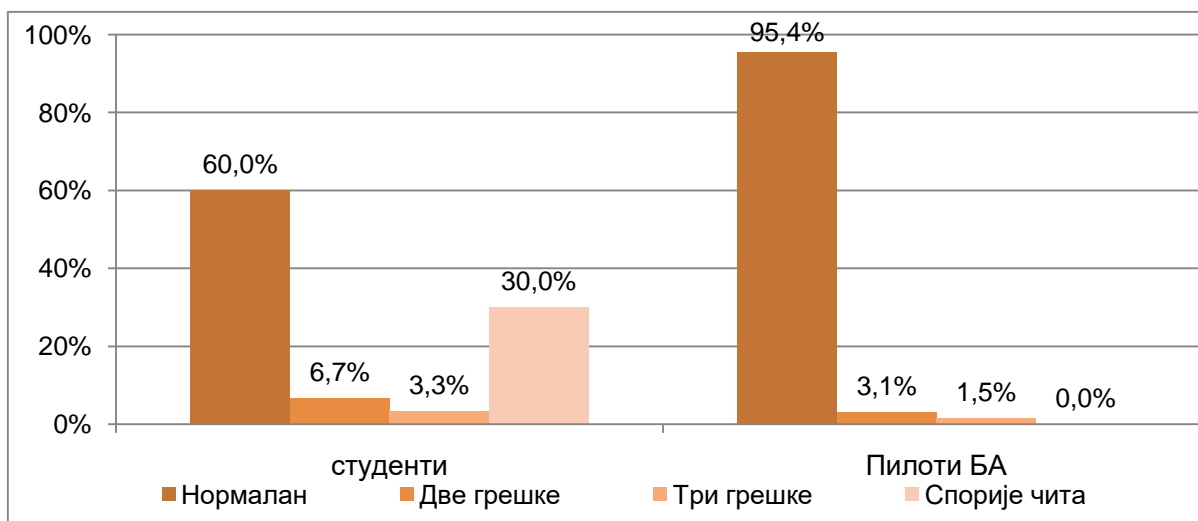
Табела 5. Параметри вида - колорни вид

| Посматрани параметри вида | | Посматране групе испитаника | | Значајност [†] | |
|---------------------------|-------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|---|
| | | $X \pm SD$ (Med, min-max) /n (%) | | | |
| | | Студенти | Пилоти БА | | |
| Колорни вид | Пре теста | Нормалан | 30 (100%) | 65 (100%) | / |
| | | Нормалан | 18 (60%) | 62 (95,4%) | |
| | После теста | Две грешке | 2 (6,7%) | 2 (3,1%) | |
| | | Три грешке | 1 (3,3%) | 1 (1,5%) | |
| | | Спорије чита | 9 (30,0%) | 0 (0%) | |
| Значајност [#] | | ^c $p=0,001^*$ | ^c $p=0,102$ | | |

*статистички значајна разлика; [†]између студената и пилота борбене авијације; [#]пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U тест; ^bFridman-ов тест; ^c χ^2 -тест

Унутар групе пилота борбене авијације није уочена статистички значајна промена у колорном виду пре и после теста ($p=0,102$), док је у групи студената забележено статистички значајно погоршање у колорном виду ($p=0,001$) (Табела 5).

Анализом добијен разлике запажамо статистички значајно веће промене у колорном виду код студената посматрано у односу на пилота борбене авијације, (Графикон 8). Наиме после теста у групи пилота борбене авијације 95,4% испитаника имало је нормалан колорни вид, 3,1% имало је две грешку и 1,5% три грешке (Графикон 8). У групи студената, нормалан колорни вид забележен је код 60% испитаника, 6,7% студената имало је једну грешку, 3,3% две грешке, док је 30% студената спорије читало (Графикон 8).



Графикон 8. Колорни вид код студената и пилота борбене авијације после теста линеарног нарастања убрзања

4.6. Резултати стерео вида

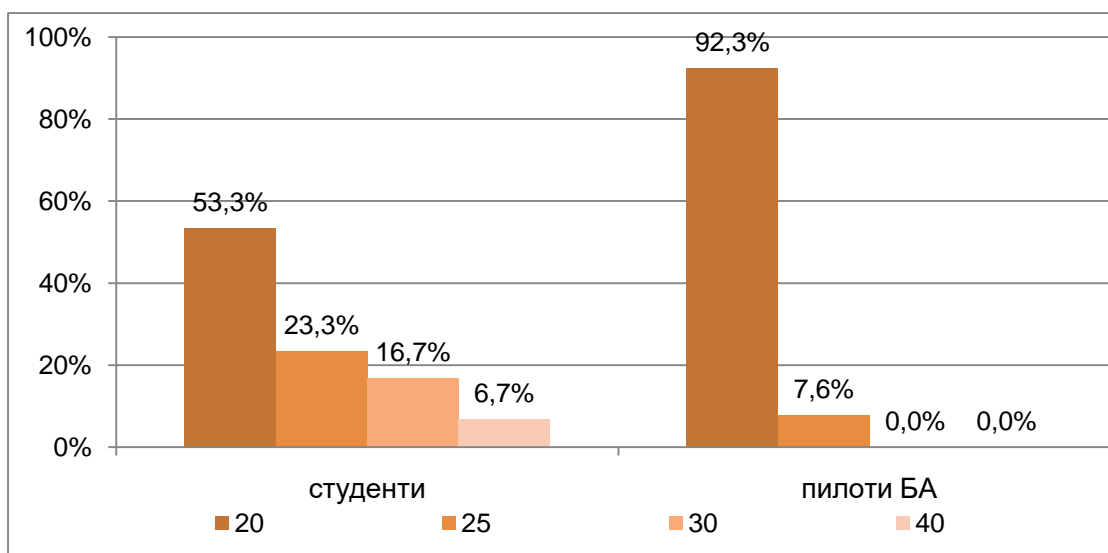
Пре теста сви испитаници из обе анализирание групе студената и пилота борбене авијације су имали нормалан (20) стерео вид. После теста линеарног нарастања убрзања уочена је статистички значајна разлика у стерео виду између посматраних група испитаника ($p=0,000$) (Табела 6).

Табела 6. Параметри вида - стерео вид

| Посматрани параметри | Посматране групе испитаника | | Значајност [†] | | |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------------------|
| | X+SD (Med, min-max) /n (%) | | | | |
| | Студенти | Пилоти БА | | | |
| Стерео вид | Пре теста | 20 (100%) | 65 (100%) | / | |
| | После теста | 20 | 16 (53,3%) | 60 (92,3%) | ^c p=0,000* |
| | | 25 | 7 (23,3%) | 5 (7,6%) | |
| | | 30 | 5 (16,7%) | 0 (0%) | |
| | | 40 | 2 (6,7%) | 0 (0%) | |
| Значајност [#] | ^c p=0,000* | ^c p=0,025* | | | |

*статистички значајна разлика; [†]између студената и пилота борбене авијације; [#]пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U тест; ^bFridman-ов тест; ^c χ^2 -тест

У групи студената забележена је статистички значајно већа учесталост испитаника са промењеним стерео видом ($p=0,000$) (Графикон 9). Код пилота борбене авијације 92,3% испитаника имало је непромењен стерео вид, док је 7,7% имало стерео вид 25° . У групи студената нормалан стерео вид после теста имало је нешто више од половине испитаника, њих 53,3%, 23,3% имало је стерео вид 25° , 16,7% испитаника имало је после теста промењен стерео вид на 30° , а 6,7% на 40° (Графикон 9). До статистички значајне промене у стерео виду дошло је и у групи студената ($p=0,000$) и у групи пилота борбене авијације ($p=0,025$) (Табела 6).



Графикон 9. Стерео вид код студената и пилота борбене авијације после теста линеарног нарастања убрзања

4.7. Резултати ширине зенице

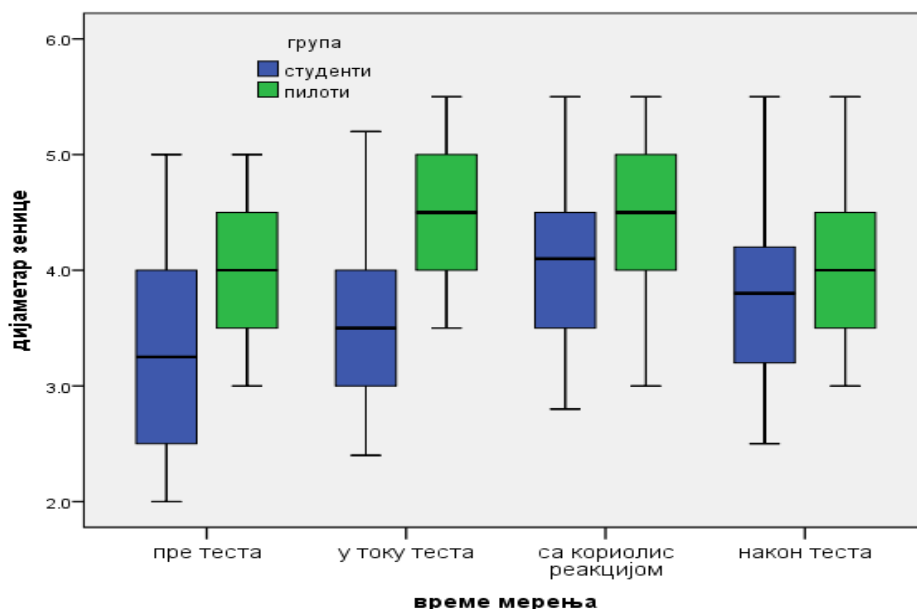
Између студената и пилота борбене авијације уочена је статистички значајна разлика у дијаметру зеница у свим посматраним временима мерења: пре теста линеарног нарастања убрзања, током теста, са кориолис реакцијом и након теста ($p=0,000$) (Табела 7).

Табела 7. Параметри вида - дијаметар зенице

| Посматрани параметри | Посматране групе испитаника | | Значајност [†] | |
|-------------------------|--|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | $\bar{X} \pm SD$ (Med, min-max) /n (%) | | | |
| | Студенти | Пилоти БА | | |
| Дијаметар зеница | Пре теста | 3,25±0,77 (3,25; 2,0-5,0) | 4,02±0,65 (4,0; 3,0-5,0) | ^a p=0,000* |
| | У току теста | 3,61±0,79 (3,5; 2,4-5,2) | 4,46±0,64 (4,5; 3,5-5,5) | ^a p=0,000* |
| | Са кориолис реакцијом | 4,04±0,76 (4,5; 3,0-5,5) | 4,54±0,64 (4,5; 3,0-5,5) | ^a p=0,005* |
| | Након теста | 3,76±0,77 (3,8; 2,5-5,5) | 4,14±0,61 (4,0; 3,0-5,5) | ^a p=0,022* |
| Значајност [#] | ^b p=0,000* | ^b p=0,000* | | |

*статистички значајна разлика; [†] између студената и пилота борбене авијације; [#] пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; ^aMann Whitney U тест; ^bFridman-ов тест; ^c χ^2 -тест

У свим напред наведеним временима мерења, дијаметар зеница измерен код студената био је статистички значајно мањи него код пилота борбене авијације ($p=0,000$). Најмање вредности дијаметра зеница измерене су пре теста, а највеће с кориолис реакцијом. И код пилота борбене авијације, најмањи дијаметар зеница био је пре теста, а највећи са кориолис реакцијом, графикон 10.



Графикон 10. Дијаметар зеница код студената и пилота борбене авијације током посматраних времена мерења

Унутар групе студената запажа се статистички значајна промена дијаметра зеница током посматрана четири времена мерења. Између свих времена мерења, у групи студената, дијаметар зеница статистички значајно се разликовао ($p=0,000$) (Табела 8).

Табела 8. Међугрупна поређења дијаметра зеница

| Дијаметар зеница | Време мерења | | | |
|------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| | | Пре теста | У току теста | Са кориолис реакцијом |
| Студенти | У току теста | $p=0,000^*$ | | |
| | Са кориолис реакцијом | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | |
| | Након теста | $p=0,000^*$ | $p=0,001^*$ | $p=0,000^*$ |
| Пилоти БА | У току теста | $p=0,000^*$ | | |
| | Са кориолис реакцијом | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | |
| | Након теста | $p=0,002^*$ | $p=0,002^*$ | $p=0,000^*$ |

*статистички значајна разлика; Wilcoxon-ов тест

Статистички значајна промена дијаметра зеница током посматраних времена мерења запажа се и у групи пилота борбене авијације (Табела 8). И у овој групи испитаника, анализом добијене разлике, статистички значајна промена у дијаметру зеница забележена је између свих времена мерења ($p=0,000$) (Табела 8).

4.8. Логистичка регресиона анализа разлике посматраних параметара између студената и пилота борбене авијације

Логистичком регресионом анализом издвајани су предиктори разлике између студената и пилота борбене авијације, у посматраним хемодинамским и параметрима вида. Циљ ове анализе је био да се дефинишу параметри разлика између пилота борбене авијације и студената, односно да се дефинишу параметри разлике између анализираних група који би показали утицај примењеног теста линеарног нарастања убрзања на хемодинамику и вид, код пилота борбене авијације и испитаника без претходног искуства са том врстом теста.

Први део логистичке регресионе анализе јесте униваријантна логистичка регресија којом се испитује могућа разлика између студената и пилота борбене авијације, у сваком од посматраних параметара.

Табела 9. Униваријантна логистичка регресиона анализа разлике између студената и пилота борбене авијације

| Посматрани параметри | Студенти vs Пилоти борбене авијације | |
|--|--------------------------------------|------------|
| | ExpB (95% CI ExpB) | Значајност |
| Пулс пре теста | 1,017 (0,965-1,073) | p=0,525 |
| Пулс после теста | 1,019 (0,970-1,070) | p=0,448 |
| Дијастолни притисак пре теста | 1,002 (0,942-1,066) | p=0,947 |
| Дијастолни притисак после теста | 1,035 (0,969-1,105) | p=0,303 |
| Систолни притисак пре теста | 1,043 (0,999-1,089) | p=0,057 |
| Систолни притисак после теста | 1,032 (0,988-1,079) | p=0,160 |
| Дијаметар зеница пре теста | 4,741 (2,217-10,136) | p=0,000* |
| Дијаметар зеница у току теста | 5,689 (2,559-12,647) | p=0,000* |
| Дијаметар зеница са кориолис реакцијом | 2,889 (1,457-5,726) | p=0,002* |
| Дијаметар зеница након теста | 2,371 (1,180-4,763) | p=0,015* |
| Колорни вид после теста | 0,955 (0,889-1,026) | p=0,206 |
| Оштрина вида на даљину после теста | 0,000 (0,000-0,001) | p=0,998 |
| Оштрина вида на близину после теста | 0,000 (0,000-0,001) | p=0,999 |
| Стерео вид после теста | 0,677 (0,547-0,838) | p=0,000* |

*статистички значајно

Фактори који су се униваријантном анализом показали као значајни улазили су у мултиваријантни регресиони модел, где је испитивана независност утицаја сваког фактора који се показао као значајан, у претходном моделу. Статистички значајан утицај фактора добијен униваријантном анализом објашњава утицај тог фактора на појаву разлике између посматраних група, али у присуству свих осталих фактора.

Мултиваријантном (вишеструком) логистичком регресионом анализом издвајају се фактори који су били независни фактори разлике између студената и пилота борбене авијације, односно који би показали утицај претходног искуства, (утренираности организма) на напор предвиђен тестом.

Униваријантном и мултиваријантном регресионом анализом израчунава се и релативни ризик који има највиши значај као “мера повезаности могућег узрока и очекиване последице” Ехр В и он нам показује колико пута су испитаници у једној од посматраних група под мањим односно већим ризиком за развој од неких поремећаја приликом извођења теста

Униваријантном регресионом анализом као статистички значајни фактор разлике између студената и пилота борбене авијације издвојили су се дијаметар зеница пре теста (ЕхрВ 4,741, 95% СI, 2,217-10,136) ($p=0,000$), дијаметар зеница у току теста (ЕхрВ 5,689, 95% СI, 2,559-12,647) ($p=0,000$), дијаметар зеница са кориолис реакцијом (ЕхрВ 2,889 95% СI, 1,457-5,726) ($p=0,002$), дијаметар зеница после теста (ЕхрВ 2,371, 95% СI, 1,180-4,763) ($p=0,015$), и стерео вид после теста (ЕхрВ 0,677 95% СI, 0,547-0,838) ($p=0,000$) (Табела 9). Сви ови фактори ушли су у мултиваријантни модел. У мултиваријантном моделу као статистички значајни предиктори разлике између пилота борбене авијације и студената, издвојили су се: дијаметар зеница у току теста (ЕхрВ 25,859, 95% СI, 2,659-50,684) ($p=0,001$), дијаметар зеница са кориолис реакцијом (ЕхрВ 0,00, 95% СI, 0,000 -0,075) ($p=0,010$), дијаметар зеница после теста (ЕхрВ 0,00, 95% СI, 0,000 -0,044) ($p=0,002$) (Табела 10). Добијени резултати показују да код пилота борбене авијације можемо увек очекивати већи дијаметар зеница при излагању испитаника условима који су присутни у рађеном тесту.

Табела 10. Мултиваријантна логистичка регресиона анализа разлике између студената и пилота борбене авијације

| Посматрани параметри | Студенти vs Пилоти борбене авијације | |
|--|--------------------------------------|-------------|
| | ЕхрВ (95% СI ЕхрВ) | Значајност |
| Дијаметар зеница пре теста | 22,423 (0,052-9680,212) | $p=0,315$ |
| Дијаметар зеница у току теста | 25,859 (2,659-50,684) | $p=0,001^*$ |
| Дијаметар зеница са кориолис реакцијом | 0,000 (0,000 -0,075) | $p=0,010^*$ |

| | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|
| Дијаметар зеница након теста | 0,000 (0,000 -0,044) | p=0,002* |
|------------------------------|-------------------------|----------|

*статистички значајно

4.9. Вредности посматраних хемодинамских параметара и параметара оштрине вида код пилота борбене авијације током тродневног тестирања

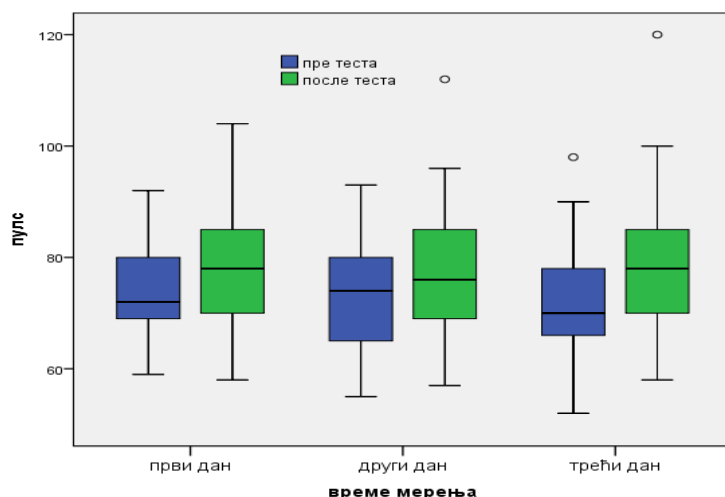
Пилоти борбене авијације тестирани су првог дана тестом линеарног нарастања убрзања, другог тестом толеранције на убрзање и трећег тестом интермитентног нарастања убрзања. Није уочена статистички значајна разлика у вредностима пулса мереним пре извођења теста, током тродневног периода тестирања (p=0,633) (Табела 11).

Табела 11. Хемодинамски параметри - пулс

| Хемодинамски параметри X±SD (Med, min-max) | | први дан | други дан | трећи дан | Значајност [†] |
|---|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Пулс | Пре теста | 73,35±8,27 (72; 59-92) | 73,26±9,20 (74; 55-93) | 72,37±8,50 (70; 52-98) | ^a p=0,633 |
| | После теста | 77,68±9,95 (78; 58-104) | 76,71±10,74 (76; 57-112) | 78,85±11,80 (78; 58-120) | ^a p=0,239 |
| Значајност [#] | | ^b p=0,000* | ^b p=0,003* | ^b p=0,000* | |

*статистички значајна разлика; [†]између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; [#]између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aRM ANOVA; ^bt-тест за везане узорке; ^cWilcoxon-ов тест

Статистички значајна разлика није уочена ни у вредностима овог параметра мереним после извођења теста, током напред наведеног периода тестирања (p=0,239) (Графикон 11). Током сва три дана тестирања вредности пулса пре теста статистички значајно су се разликовале у односу на вредности после тестирања (Табела 11). Вредности пулса мерене после теста, биле су статистички значајно веће у односу на вредности мерене пре теста (Графикон 11).



Графикон 11. Пулс, пре и после теста, током посматраних времена мерења

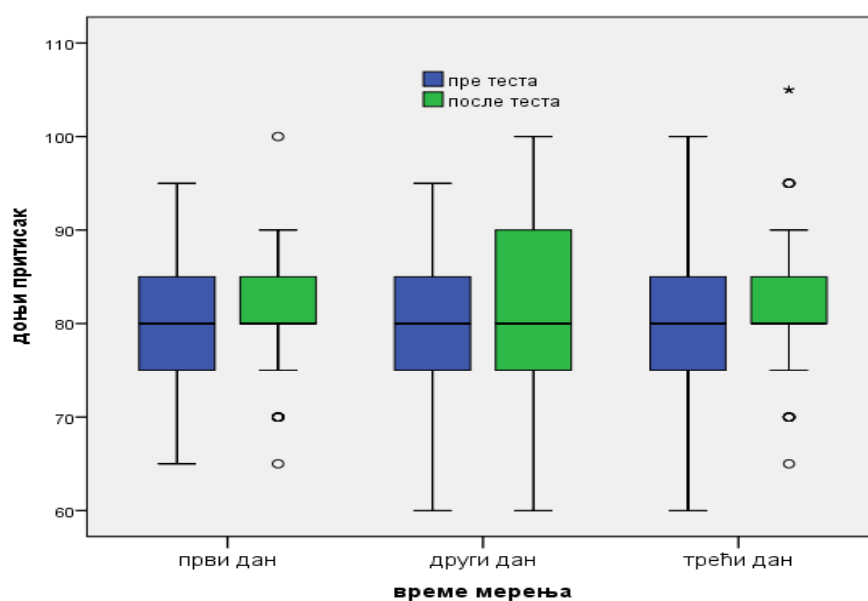
Током три дана праћења, није уочена статистички значајна разлика у вредностима дијастолног притиска измереним пре теста ($p=0,185$) (Табела 12). Статистички значајна разлика у вредностима дијастолног притиска није уочене ни после теста а мереним првог, другог и трећег дана ($p=0,365$) (Табела 12). Статистички значајна разлика у вредностима дијастолног притиска, измереним пре и после теста уочена је само првог дана тестирања ($p=0,027$), док ова разлика у вредностима дијастолног притиска измереним пре и после теста, није уочене другог ($p=0,291$) и трећег дана тестирања ($p=0,428$) (табела 12).

Табела 12. Хемодинамски параметри - систолни и дијастолни притисак

| Хемодинамски параметри $X \pm SD$ (Med, min-max)) | | први дан | други дан | трећи дан | Значајност [†] |
|---|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Дијастолни притисак | Пре теста | 79,77±6,70 (80; 65-95) | 78,92±7,58 (80; 60-95) | 81,54±6,96 (80; 60-100) | ^b $p=0,185$ |
| | После теста | 81,69±6,86 (80; 65-100) | 80,23±9,41 (80; 60-100) | 82,23±7,86 (80; 65-105) | ^b $p=0,365$ |
| | Значајност [#] | ^c $p=0,027^*$ | ^c $p=0,291$ | ^c $p=0,428$ | |
| Систолни притисак | Пре теста | 130,31±9,76 (130; 110-160) | 129,00±10,72 (130; 100-160) | 126,85±7,27 (125; 110-140) | ^b $p=0,027^*$ |
| | После теста | 130,31±9,96 (130; 110-165) | 127,08±8,52 (125; 105-155) | 128,69±8,26 (130; 110-155) | ^b $p=0,026^*$ |
| | Значајност [#] | ^c $p=0,793$ | ^c $p=0,288$ | ^c $p=0,031^*$ | |

*статистички значајна разлика; †између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; # између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aRM ANOVA; ^bt-тест за везане узорке; ^cWilcoxon-ов тест

Првог дана тестирања, вредности дијастолног притиска измерене пре теста биле су статистички значајно мање него вредности овог параметра измерене после теста ($p=0,027$) (Графикон 12).



Графикон 12. Дијастолни притисак, пре и после теста, током посматраних времена мерења

Статистички значајна разлика уочена је између вредности систолног притиска измереним пре теста, првог, другог и трећег дана ($p=0,027$) (Табела 12).

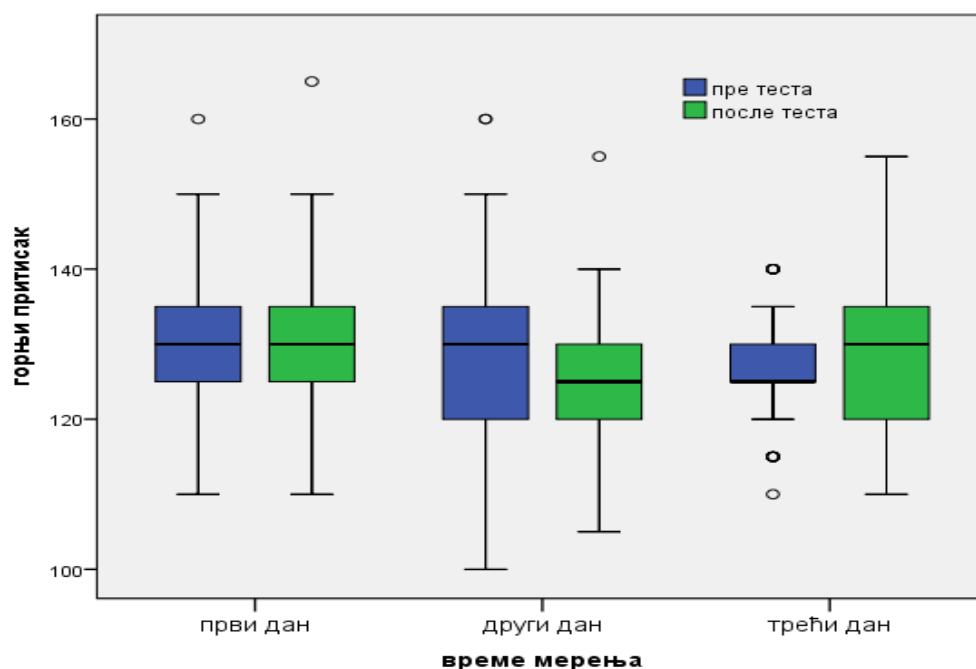
Међугрупним поређењем статистички значајна разлика уочена је између вредности систолног притиска измереним пре теста, првог и трећег дана и то тако да су вредности систолног притиска пре теста измерене првог дана биле статистички значајно веће од вредности систолног притиска измерене трећег дана ($p=0,018$) (Табела 13). Између вредности систолног притиска измерених после теста првог, другог и трећег дана такође је уочена статистички значајна разлика ($p=0,026$) (Табела 12). Анализом добијене разлике, статистичка значајност у разлици вредности систолног притиска уочена је између првог и другог дана ($p=0,019$) (Табела 13).

Табела 13. Међугрупна поређења систолног притиска пре и после теста, током тродневног периода праћења

| Систолни притисак | Време мерења | |
|-------------------|--------------|-----------|
| | Први дан | Други дан |
| Пре теста | други дан | p=0,305 |
| | трећи дан | p=0,018* |
| После теста | други дан | p=0,019* |
| | трећи дан | p=0,402 |

*статистички значајна разлика; Wilcoxon-ov test

Вредности систолног притиска измерене после теста другог дана биле су статистички значајно мање од вредности систолног притиска измерених после теста првог дана (Графикон 13). Анализом вредности систолног притиска измереним пре и после теста, првог (p=0,793) и другог дана тестирања (p=0,288), није уочена статистички значајна разлика, док је трећег дана разлика била статистички значајна (p=0,031) (Табела 12). Трећег дана вредности систолног притиска после теста биле су статистички значајно веће од вредности пре теста (p=0,031) (Графикон 13).



Графикон 13. Систолни притисак, пре и после теста, током посматраних времена мерења

Није уочена статистички значајна разлика у вредностима дијаметра зеница, измерених пре теста првог, другог и трећег дана ($p=0,559$) (Табела 14). Између посматраних времена мерења статистички значајна разлика није уочена ни у вредностима дијаметра зеница измерених у току теста ($p=0,262$), са кориолис реакцијом ($p=0,880$) и након теста ($p=0,412$). Током сва три дана мерења статистички значајна разлика уочена је у дијаметру зеница измерених пре теста ($p=0,000$), у току теста ($p=0,000$), са кориолис реакцијом ($p=0,000$) и након теста ($p=0,000$) (Табела 14).

Табела 14. Параметри вида - дијаметар зенице

| Посматрани параметри | Време тестирања | | | Значајност [†] | |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | $\bar{X} \pm SD$ (Med, min-max)/n (%) | | | | |
| | први дан | други дан | трећи дан | | |
| Дијаметар зенице | Пре теста | 4,02±0,65 (4,0; 3,0-5,0) | 4,01±0,51 (4,0; 3,0-4,8) | 3,97±0,57 (4,0; 3,0-5,0) | ^a $p=0,559$ |
| | У току теста | 4,46±0,64 (4,5; 3,5-5,5) | 4,49±0,48 (4,5; 3,5-5,2) | 4,37±0,57 (4,2; 3,5-5,5) | ^a $p=0,262$ |
| | Са кориолис реакцијом | 4,54±0,64 (4,5; 3,0-5,5) | 4,65±0,46 (4,8; 3,5-5,5) | 4,56±0,56 (4,5; 3,5-5,5) | ^a $p=0,880$ |
| | Након теста | 4,14±0,61 (4,0; 3,0-5,5) | 4,21±0,45 (4,0; 3,5-5,0) | 4,12±0,54 (4,0; 3,5-5,5) | ^a $p=0,412$ |
| Значајност [#] | | ^a $p=0,000^*$ | ^a $p=0,000^*$ | ^a $p=0,000^*$ | |

*статистички значајна разлика; [†]између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; [#]између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aFridman-ов тест; ^b χ^2 -тест; ^cMc Nemar-ов тест

Међугрупним поређењем, статистички значајна разлика у дијаметру зеница уочена је између свих посматраних мерења: пре теста, током теста, са кориолис реакцијом и након теста (Табела 15).

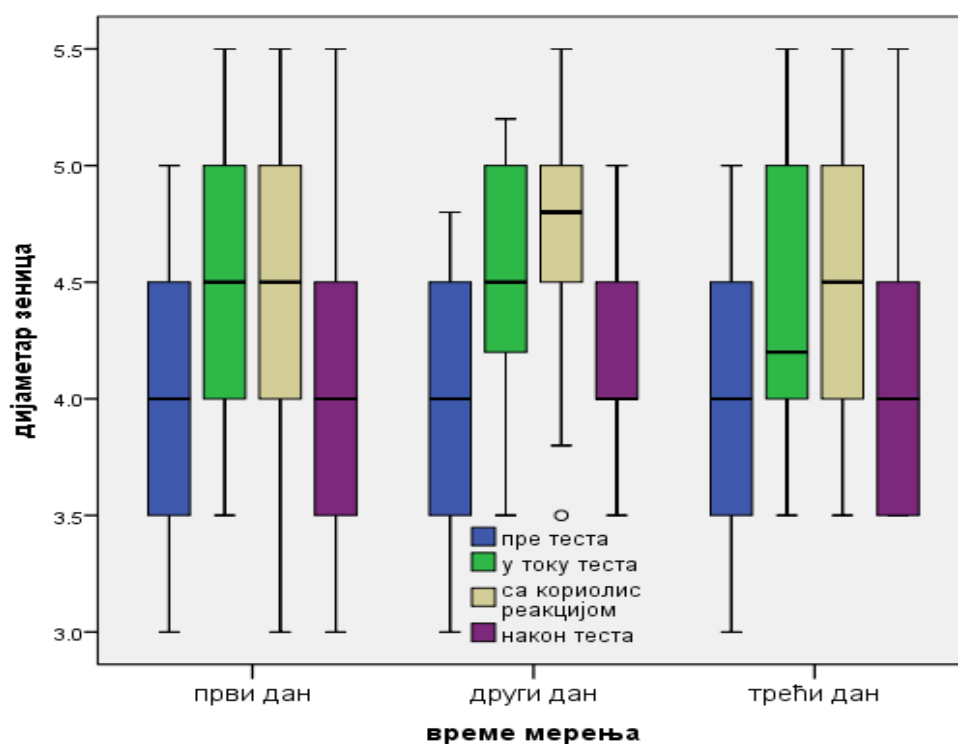
Табела 15. Међугрупна поређења систолног притиска пре и после теста, током тродневног периода праћења

| Дијаметар зеница | Време мерења | | | |
|------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| | | Пре теста | У току теста | Са кориолис реакцијом |
| | У току теста | $p=0,000^*$ | | |
| Први дан | Са кориолис реакцијом | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | |
| | Након теста | $p=0,002^*$ | $p=0,002^*$ | $p=0,000^*$ |

| | | | | |
|------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>У току теста</i> | $p=0,000^*$ | | |
| <i>Други дан</i> | <i>Са кориолис реакцијом</i> | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | |
| | <i>Након теста</i> | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ |
| | <i>У току теста</i> | $p=0,000^*$ | | |
| <i>Трећи дан</i> | <i>Са кориолис реакцијом</i> | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | |
| | <i>Након теста</i> | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ | $p=0,000^*$ |

*статистички значајна разлика; Wilcoxon-ов тест

У току теста, дијаметар зеница био је статистички значајно веће него пре теста, док је код кориолис реакције дијаметар зеница имао статистички значајно највеће вредности, које су статистички значајно пале у периоду после теста (Графикон 14). И поред смањења дијаметра зеница након теста оне су и даље биле статистички значајно веће него пре теста (Графикон 14).



Графикон 14. Дијаметар зеница, пре, у току, са кориолис реакцијом и после теста, током три дана мерења

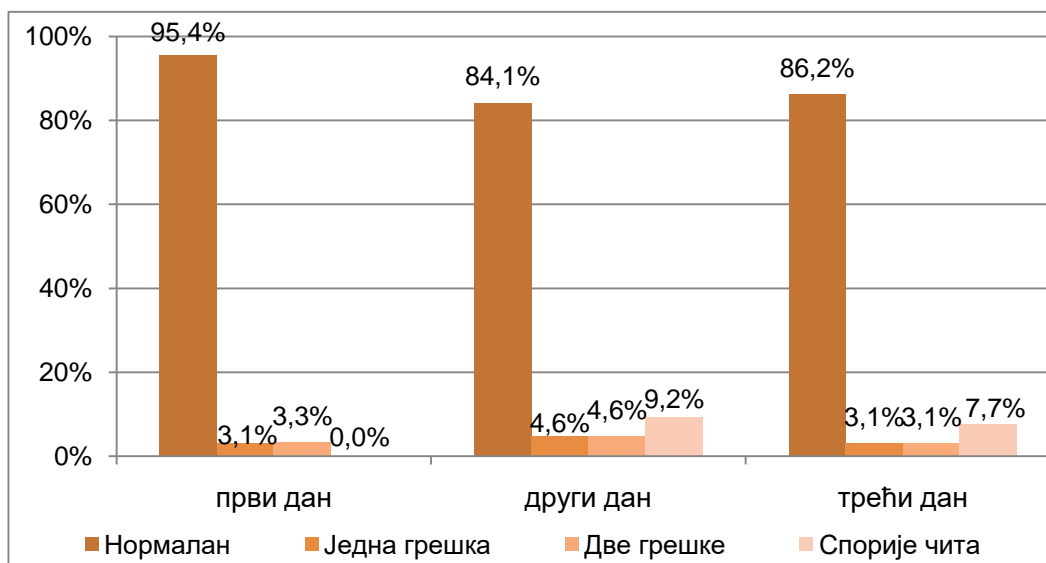
Пре теста и током посматрана три дана мерења, сви испитаници имали су нормалан колорни вид (Табела 16). Статистички значајна разлика у колорном виду после теста, није уочена између посматрана три дана мерења (Табела 16). Првог дана мерења није уочена статистички значајна разлика у колорном виду пре и после теста ($p=0,215$), док су другог ($p=0,004$) и трећег дана мерења ($p=0,022$) те разлике биле статистички значајно различите (Табела 16).

Табела 16. Параметри вида - колорни вид

| Посматрани параметри | | Време тестирања | | | Значајност [†] | |
|----------------------|-------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| | | X+SD (Med, min-max)/n (%) | | | | |
| | | први дан | други дан | трећи дан | | |
| Колорни вид | Пре теста | Нормалан | 65 (100%) | 65 (100%) | 65 (100%) | / |
| | После теста | Нормалан | 62 (95,4%) | 53 (84,1%) | 56 (86,2%) | ^b p=0,177 |
| | | Једна грешка | 2 (3,1%) | 3 (4,6%) | 2 (3,1%) | |
| | | Две грешке | 1 (1,5%) | 3 (4,6%) | 2 (3,1%) | |
| | | Спорије чита | 0 (0%) | 6 (9,2%) | 5 (7,7%) | |
| | | Значајност [#] | ^b p=0,215 | ^b p=0,004* | ^b p=0,022* | |

*статистички значајна разлика; [†] између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; [#] између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aFridman-ов тест; ^b χ^2 -тест; ^cMc Nemar-ов тест

Наиме и другог и трећег дана долази до погоршања колорног вида после теста. Другог дана после теста 84,1% испитаника имало је нормалан колорни вид, по 4,6% испитаника имало је по једну или две грешке, а преосталих 9,2% испитаника имало је колорни вид описан као спорије чита. Трећег дана после теста 86,2% испитаника имало је нормалан колорни вид, по 3,1% испитаника имало је једну или две грешке, а 7,7% испитаника је спорије читало (Графикон 15).



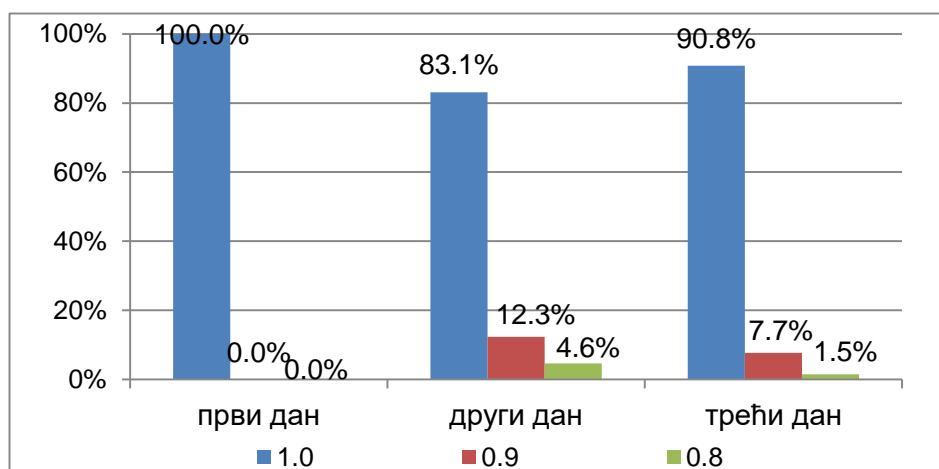
Графикон 15. Колорни вид пре и после теста, током посматраних времена мерења

Сви испитаници имали су пре тестова, током сва три дана тестирања оштрину вида 1.0 (Графикон 16). Првог дана тестирања ни код једног испитаника није забележена промена у оштрини вида на даљину (Табела 17).

Табела 17. Параметри вида - Оштрина вида на даљину

| Посматрани параметри | | Време тестирања | | | Значајност [†] | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | X+SD (Med, min-max)/n (%) | | | | |
| | | први дан | други дан | трећи дан | | |
| Оштрина вида на даљину | Пре теста | 1.0 | 65 (100%) | 65 (100%) | 65 (100%) | / |
| | После теста | 0.8 | 0 (0%) | 3 (4,6%) | 1 (1,5%) | ^b p=0,017* |
| | | 0.9 | 0 (0%) | 8 (12,3%) | 5 (7,7%) | |
| | | 1.0 | 65 (100%) | 54 (83,1%) | 59 (90,8%) | |
| | Значајност [#] | | / | ^b p=0,002* | ^b p=0,043* | |
| Оштрина вида на близину | Пре теста | 1.0 | 65 (100%) | 65 (100%) | 65 (100%) | / |
| | После теста | 0.5 | 2 (3,1%) | 3 (4,6%) | 1 (1,5%) | ^c p=0,332 |
| | | 1.0 | 63 (96,9%) | 62 (95,4%) | 64 (98,5%) | |
| | | Значајност [#] | | ^b p=0,154 | ^c p=0,080 | |

*статистички значајна разлика; †између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; # између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aFridman-ов тест; ^b χ^2 -тест; ^cMc Nemar-ов тест

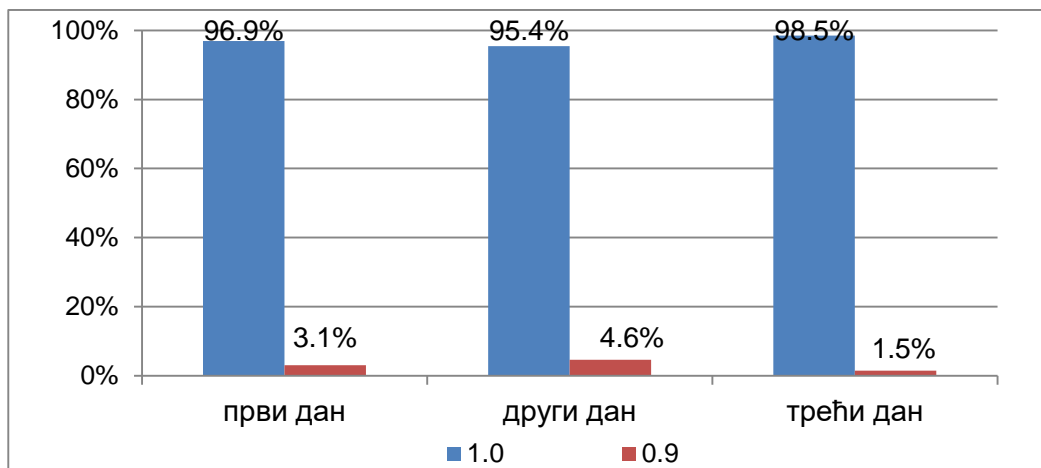


Графикон 16. Оштрина вида на даљину пре и после теста, током посматраних времена мерења

Другог и трећег дана тестирања бележи се статистички значајна промена у оштрини вида на даљину после тестирања ($p=0,002$) ($p=0,043$) (Табела 17). Другог дана тестирања, до промене оштрине вида на даљину није дошло код 83,1% испитаника, код 12,3% испитаника забележена је оштрина вида 0,9, а код преосталих 4.6% оштрина вида на даљину била је 0.8. Трећег дана тестирања после завршеног теста, оштрину вида 1.0 имало је 90,8% испитаника, оштрину вида 0,9 имало је 7,7% испитаника а оштрину вида на даљину 0,8 имало је 1,5% тестираних испитаника. Статистички значајна разлика у оштрини вида после тестирања уочена је током тродневног периода тестирања ($p=0,017$), најбољи резултати забележени су првог дана кад ни код једног испитаника није дошло до промене док је највећи број испитаника имао промену у оштрини вида током тестирања другог дана (Графикон 16).

Пре теста, сви испитаници имали су нормалну оштрину вида на близину, током тродневног тестирања. Оштрина вида на близину после тестирања није се статистички значајно разликовала између првог, другог и трећег дана тестирања ($p=0,332$) (Табела 17). Статистички значајна разлика у вредностима овог параметра није уочена, пре и после тестирања током посматраног периода праћења (Табела 17). Током три дана

тестирања промена оштрине вида на близину, после тестирања нађена је код мање од 5% испитаника (Графикон 17).



Графикон 17. Оштрина вида на близину пре и после теста, током посматраних времена мерења

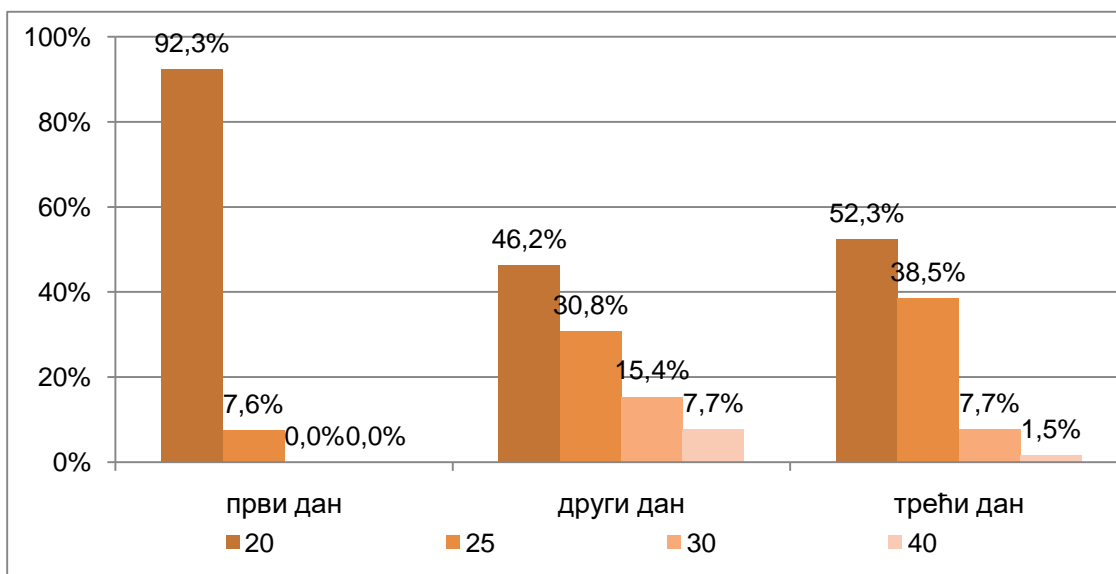
Пре теста, током посматрана три дана мерења, сви испитаници имали су нормалан стерео вид (Табела 8). И првог, другог и трећег дана, запажена је статистички значајна промена стерео вида после теста (Табела 18).

Табела 18. Параметри вида - стерео вид

| Посматрани параметри | | Време тестирање | | | Значајност [†] | |
|-------------------------|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | X±SD (Med, min-max)/n (%) | | | | |
| | | први дан | други дан | трећи дан | | |
| Стерео вид | Пре теста | 20 | 65 (100%) | 65 (100%) | 65 (100%) | ^c p=0,000* |
| | После теста | 20 | 60 (92,3%) | 30 (46,2%) | 34 (52,3%) | |
| | | 25 | 5 (7,7%) | 20 (30,8%) | 25 (38,5%) | |
| | | 30 | 0 (0%) | 10 (15,4%) | 5 (7,7%) | |
| | | 40 | 0 (0%) | 5 (7,7%) | 1 (1,5%) | |
| Значајност [#] | | ^c p=0,0235* | ^b p=0,0000* | ^b p=0,000* | | |

*статистички значајна разлика; †између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; # између вредности пре и после током посматраних времена мерења; ^aFridman-ов тест; ^b χ^2 -тест; ^cMc Nemar-ов тест

Првог дана после теста само је код 7,7% испитаника стерео вид описан као 25. Другог дана, после теста, мање од половине испитаника (46,2%) имало је нормалан стерео вид, 30,8% испитаника имало је стерео вид 25, код 15,4% испитаника забележен је стерео вид 30 а стерео вид 40, имало је 7,7% испитаника. Трећег дана, после тестирања нормални стерео вид забележен је код 52,3% испитаника, 38,5% испитаника имало је стерео вид 25, 7,7% имало је стерео вид 30 и 1,5% стерео вид 40. Статистички значајна разлика у стерео виду испитаника уочена је и између првог, другог и трећег дана тестирања ($p=0,000$) (Табела 18). У сва три дана мерења запажена је статистички значајна промена у стерео виду, тако да је првог дана код испитаника забележена најмања промена у стерео виду, другог дана је била највећа. Трећег дана промене у стерео виду после тестирања биле су статистички значајно мање него другог дана али и значајно веће него после тестирања првог дана (Графикон 18).



Графикон 18. Стерео вид пре и после теста, током посматраних времена мерења

5. ДИСКУСИЈА

Ваздухопловна медицина има широк дијапазон задатака, а сви воде ка крајњем циљу који представља стално проналажење мера и поступака који ће пилота припремити за летење на најбољи могући начин и извршавање задатака који су му поверени, са најмањим ризиком по живот, здравље и очување материјалних ресурса. У ваздухопловној медицини пут од теорије до праксе је нешто дужи, јер свако истраживање захтева сложене техничке иновације и висок ниво безбедности за њихове провере (87).

Велика оптерећења како за пилоте тако и за саме авионе наметнута су тежњом да се направи авион који ће бити све надмоћнији у ваздушној борби и који ће изводити маневре по мањој кружној путањи за што краће време.

Пилотски позив је радна активност која захтева оптималну психофизичку активност, потпун интегритет личности и одлично здравствено стање. То је једна од ретких професија код које је радна способност под перманентном контролом. Досадашња искуства показују да се највећи проценат пилота који нису прошли селекцију на првом прегледу, на прегледима током школовања, а и касније на редовним систематским прегледима у току летачке службе односио на проблем у функцији вида. Пилоти су високо селекционисана популација која је подигнута сталним контролама током читавог летачког стажа јер би сваки функционални недостатак могао угрозити безбедност летења (88).

На пољу физиологије убрзања запажено је да постоје велике варијације у подношењу G убрзања. Већина пилота почиње своје летачко искуство са сивом завесом на $+3Gz$ до $+3,5Gz$ и приближава се губитку свести на $+4,5Gz$ до $+5,0Gz$, док има и оних који губе свест одмах изнад $+3,0Gz$ као и оних који толеришу $+7,0Gz$ и $+7,5Gz$ убрзање (4). Велика осетљивост на G убрзање поред медицинског значаја има велики оперативни значај за војно ваздухопловство јер кад пилот преузме команду авиона, постоји потенцијални ризик за његов живот, живот чланова посаде и авион. Актуелни одговор организма на убрзање се разликује од оног који се може предвидети на теоретској основи. Циркулација крви у организму је највише угрожена позитивним G убрзањем у односу на друге системе. Прогресија симптома, од минималног смањења вида, преко црне завесе, до губитка свести, логична је због смањења крвног тока у

горњим партијама тела. Већина циркулаторних промена, директно је прописана варијацијама крвног притиска, изазваних убрзањем (58). Почетни одговор системског крвног притиска на убрзање зависи и од брзине којом је сила примењена. David J Rainford са својим сарадницима указује да пораст гравитационе силе узрокује пад у притиску вентрикуларног пуњења и ударног волумена, крвни притисак у артеријама изнад нивоа срца пада, а испод нивоа срца расте. Убрзање узрокује повлачење крви у доње делове тела зависно од хидростатског притиска и растегљивости крвних судова. Садржај крви у периферним судовима узрокује пад венског повратка крви, а колапс крвних судова изнад нивоа срца ће се јавити при убрзању, условљен тонусом зидова крвних судова. Тренутни пад у каротидном крвном притиску достиже свој највећи обим после периода између 6 и 12 секунди и праћен је фазом у којој још једном расте у правцу вредности током одмора (84). У времену од 20 секунди од почетка убрзања, долази до пораста пулса, што се уочава и код пилота борбене авијације који су излагани убрзању од +7 Gz без коришћења анти-G одела, док је са анти-G оделом при том убрзању пораст вредности пулса био незнатно мањи. Ако је убрзање довољно велико да узрокује црну завесу или друге визуелне симптоме, јавиће се неколико секунди након што је артеријски притисак достигао своју најнижу вредност (87). Како се системски притисак даље подиже, вид се може повратити, али је опоравак одложен за неколико секунди после повратка ретиналне циркулације, као последица оксигеног дуга који је ретина имала у периоду анемије. У радовима других аутора Tsai ML и Feigl B (3, 4) показано је да након излагања +Gz убрзању долази до повећања дубине очне коморе и енергетске резерве у ретини и централном нервном систему омогућавају функционисање мозга и видног апарата неколико секунди од прекида дотока крви у главу. Тиме је омогућена толеранција нагло насталих високих G убрзања у кратком временском периоду, уобичајено око 5 секунди (89).

У нашем истраживању мерењем вредности пулса уочен је статистички значајни пораст пулса након излагања убрзању и код студената пилота и код пилота борбене авијације. Вредности дијастолног притиска током излагања убрзању биле су значајно повећане само код пилота борбене авијације. Мерењем вредности систолног притиска у обе групе нисмо уочили разлике које би биле статистички значајне. Наше истраживање је показало да убрзање више утиче на вредности пулса, него на вредности дијастолног и

систоличног притиска. У литератури која нам је била доступна нисмо пронашли да је рађено слично испитивање.

Кориолис реакција, која је изазвана током теста, довела је до болести кретања код пилота који су осетљиви, а посебно код студената пилота који имају мањи летачки стаж и сате налета. Кориолис реакција има додатни утицај на барорецепторски рефлекс који се активира приликом излагања $+Gz$ убрзању, појачава се ефекат парасимпатикуса, а наглашена је активност вагуса што доводи до успорења срчане фреквенце, појаве синусне аритмије и екстрасистола. Студенти пилоти и пилоти борбене авијације постепено су излагани $+Gz$ убрзању од $0,1G/s$ до $+5Gz$ и назад, као и до $+7Gz$ само пилоти борбене авијације, како би могли да имамо увид у то колико се развила барорецепторска реакција и омогућила адекватну физиолошку реакцију на Gz убрзање. Кардиоваскуларни систем и циркулација као и видне функције су најугроженији током излагања $+Gz$ убрзању (90). Симптоми од минималног смањење вида преко сиве и црне завесе до потпуног губитка свести су последица смањеног протока крви у горњим деловима тела (91). Пилоти са ниском толеранцијом на кориолис реакцију имају мању толеранцију на G -убрзање (11). Код 5 студената пилота дошло је до појаве сиве завесе, у току излагања убрзању од $+5,5 Gz$, са изазивањем кориолис реакције, док је код само 4 пилота борбене авијације услед излагања $+7 Gz$ убрзању, са изазивањем кориолис реакције дошло до појаве сиве завесе. Појаву сиве завесе регистровали смо на екрану током излагања убрзању, испитаници нису одговорили на светлосне сигнале у трајању од 50 секунди.

Код високог почетног степена убрзања могу се јавити значајне промене у видним функцијама. Међутим, значајно је одржати оштрину вида, колорног вида и стерео вида услед примене нових функционалних дисплеја за брзу оријентацију пилота у простору, визуелне конфигурације рељефа терена, приказа оружаних система, противничких авиона и додатно усложњене оријентације у простору (3). Најочигледнији ефекат излагања убрзању је везан за пораст тежине меких ткива главе, удова и трупа. Мека ткива лица постају отромбољена и спуштена и долази до невољног затварања очију, чак и при $+2Gz$ убрзању уколико пилот није утрениран. Подношљивост $+Gz$ убрзања, а самим тим и промене у видним функцијама могу бити нарушени уколико пилоти у дужем временском периоду не лете у условима већих $+Gz$ убрзања (92). Зато се поставља питање колико обуке у маневрима ваздушне борбе је неопходно да би се добра подношљивост одржала. Познато је да пилот који бар једном

недељно лети у условима ваздушне борбе боље подноси +Gz убрзање од пилота који то чини једном у две недеље или једном месечно (79). Током излагања убрзању од +5,5 Gz пилоти борбене авијације показали су бољу подношљивости убрзања у односу на студенте пилоте, кроз статистички значајне разлике у оштрини вида на даљину, стерео вида и промера ширине зенице. Сличних података у доступној литератури нисмо пронашли.

5.1. Анализа пулса и крвног притиска

Високи +Gz стрес има два примарна ефекта. Тренутни ефекат је пад притиска на нивоу главе и пропорционалан је са G оптерећењем, други је примаран, али нешто одложен је повлачење крви у ноге и абдомен. Акутна прерасподела крви доводи до смањења венске крви у срце, смањења минутног волумена крвног притиска на нивоу срца што даље доводи до снижења крвног притиска на нивоу главе (93). Физиолошки крајњи ефекат на видне функције је губитак периферног и централног вида и губитак свести. Треба знати да енергетске резерве очију и мозга бивају заједно исцрпљене за око 5s од почетка недостатка крви у глави пилота који је изложен +Gz убрзању, а барорецепторски рефлекс није стигао да се активира (94). У овом случају могу почетни визуелни симптоми да буду одсутни и да дође до тренутног губитка свести што је за пилоте и најопасније (95). Код студената пилота вредности дијастолног притиска, када су излагани +5,5 Gz убрзању, нису се статистички значајно разликовале у односу на вредности пре излагања убрзању. Код пилота борбене авијације било је статистички значајне разлике након убрзања, али то није довело до појаве сиве завесе и губитка свести, што је истраживањима других аутора уочено (95). Срчане аритмије као физиолошки одговор на +Gz стрес се често дешавају током или непосредно након излагања дуготрајном +Gz убрзању, како приликом летења тако и у току тренинга на хуманој центрифуги (96). Оне су повезане са изненадним и великим променама срчане фреквенције, условљене активацијом аутономног нервног система, као и повећаним ослобађањем катехоламина и деформацијом срца под утицајем убрзања. Срчана фреквенција расте током излагања убрзању, са израженим падом одмах након престанка убрзања, иако је катехоламин у порасту (97). У нашем истраживању уочили смо значајан пораст пулса у обе групе испитаника. Поремећај срчаног ритма током тренинга на хуманој центрифуги најчешће су синусне аритмије, појединачне коморске екстрасистоле и појединачне предкоморне екстрасистоле (98). У обе групе испитаника није дошло до поремећаја срчаног ритма током излагања убрзању. У неким студијама

су рађена кардиолошка испитивања и утврђено је да су у знатном проценту ове аритмије биле удружене са озбиљним срчаним аномалијама и дефинисане су као критеријум за прекид Gz тренинга на хуманој центрифуги (99). Поремећај срчане аритмије јавља се и код младих и здравих студената пилота приликом тренинга на центрифуги (100). Позитивно G убрзање највише утиче на кардиоваскуларни систем. Промене у циркулацији зависе од варијација крвног притиска изазваног убрзањем. Почетни одговор крвног притиска на убрзање зависи од брзине којом је сила примењена. Пад у крвном притиску достиже свој највећи обим након 6 до 12s након излагања Gz убрзању. Код наших испитаника крвни притисак је мерен све време док су били изложени убрзању и праћен је на ехокардиограму. Наши резултати су у сагласности са подацима који су објављени у литератури која нам је била доступна. Због повећања крвног притиска опоравак видних функција је одложен за неколико секунди након успостављања ретиналне циркулације која је због мање оксигенације била смањена (101, 102, 103). Ако убрзање расте артеријски крвни притисак може нагло да падне, пулс који је до тада растао сада пада на ниске вредности и последица свега настаје колапс и губитак свести код пилота (104, 105). Када се убрзање смањује до 1G крвни притисак расте изнад својих почетних вредности пре него што се врати у нормалу (106). Главни одговор организма на излагање Gz убрзању је промена пулса и крвног притиска (107). Многи аутори у својим радовима доказују да је барорецепторски рефлекс од великог значаја у одговору кардиоваскуларног система на ефекат позитивног Gz убрзања (108, 109, 110, 111). Излагање високом Gz убрзању увек је праћено променама у кардиоваскуларном систему (112). Пораст пулса испитаника јавља се и непосредно пре старта центрифуге и код најискуснијих пилота као нормална реакција на излагање убрзању зато што знају какво их динамичко оптерећење очекује и колико је важно да се издржи. Сваки од пилота борбене авијације тежи да лети најсавременије борбене авионе. Код студената пилота пораст пулса се региструје пре почетка деловања убрзања из разлога повећаног стреса због мотивације да буду добри пилоти и тежње да издрже убрзање којем се излажу. Са почетком убрзања долази до пораста пулса. Ниво од 150 откуцаја срца у минути уочен је при излагању од +4Gz убрзању и већем. Уколико наставимо са повећањем убрзања и када пулс достигне свој максимум, долази до успорења рада срца што може увести испитаника у потпуни колапс (1). Убрзање од +3Gz и мање доводи до већег пораста пулса код студената пилота. Максималан пулс је уочен 12 до 15s након почетка убрзања односно 5 до 10s након што се постигне максимално убрзање (113, 114). У нашем истраживању дошло је

до статистички значајног пораста пулса у обе групе испитаника. Пулс је при убрзању од +5,5 Gz достигао максимум вредности од 90 откуцаја у минути код студената пилота, док је код пилота борбене авијације достигао вредност од 104 откуцаја у минути. Пулс се повећавао пропорционално са порастом вредности +Gz убрзању. Пулс као биомедицински показатељ поуздан нам је у процени индивидуалне реакције кардиоваскуларног система и рефлексних компензаторних механизма као и реакције на организма на стрес приликом излагања убрзању Пулс меримо зато што сматрамо да се степен подношљивости + Gz убрзања може поуздано процењивати преко фреквенце срчаног рада. Пилоти морају своју професију обављати са што мањим оптерећењем кардиоваскуларног система, тако да ниже вредности пулса током излагања убрзању указују који ће пилоти са мањим оптерећењем обављати своје летачке задатке.

Позитивно убрзање доводи до пада артеријског притиска на нивоу ока и артерије и артериоле могу бити потпуно бледе и испражњене услед мале резерве кисеоника који је растворен у екстраваскуларној течности ретине. Када се потпуно обнове резерве кисеоника ретине долази до потпуног опоравка крвних судове ретине (115, 116, 117, 118, 119).

5.2. Анализа промена оштрине вида на даљину и оштрине вида на близину

Код високог почетног степена убрзања могу се јавити значајне промене у видним функцијама. Оштрина вида добија на значају услед примене нових функционалних дисплеја за брзу орјентацију пилота у простору, визуелне конфигурације рељефа терена, приказа оружаних система, противничких авиона и додатно усложњене орјентације у простору. Сви ови визуелни захтеви имају колорну компоненту, а наглашавају значај и потребу за прецизним доношењем закључака о положају у простору при великим брзинама и динамичким оптерећењима. Убрзање повећава висину стуба крви изнад и испод срца, па се крвни притисак изнад нивоа срца смањује, а испод нивоа срца повећава.

Позитивно убрзање доводи до изражених видних симптома, као што су губитак периферног вида до чак краткотрајног потпуног губитка вида. Ови симптоми су последица смањеног крвног притиска у оку, смањене концентрације кисеоника у крви, механичког притиска на око, или комбинације ових фактора (120). Губитак свести који је узрокован +Gz убрзањем представља једну од најозбиљнијих претњи летачкој посади

борбених авиона високих перформанси. Као функционалне крајње тачке користимо критеријуме: губитак периферног вида, појаву сиве и црне завесе. Након овога долази до губитка свести (121). У току нашег истраживања студенти пилоти и пилоти борбене авијације нису губили свест. Код 5 студената пилота и 4 пилота борбене авијације дошло до краткотрајне појаве сиве завесе (при ком убрзању), нису успели да одговоре на два светлосне сигнале. Тест није прекидан јер су на следећи трећи сигнал одговорили и није постојала опасност од колапса. Енергетске резерве у ретиналном ткиву централног нервног система омогућавају функционисање вида и свести неколико секунди од прекида дотока крви у главу, чиме је омогућена толеранција нагло насталих високих +Gz убрзања у кратком временском периоду.

Барорецепторски рефлекс након 10 - 15s подиже толеранцију на G стрес за више од 1G ако има времена да се довољно развије. Након излагања +Gz убрзању долази до промена у повећању дубине очне коморе (3, 4). Интраокуларни притисак који узрокује престанак протока крви кроз ретину на вишем притиску на нивоу главе, него што је онај на коме крвни проток у мозгу престаје, одговоран је за разлику у визуелним симптомима који се јављају на приближно 1G. Када је почетни степен убрзања такав да превазилази барорецепторски рефлекс, просечна релаксирана толеранција је 3,5G за сиву завесу и 4,5G за губитак свести. При овом почетном степену убрзања има неколико секунди између почетка визуелних симптома и губитка свести. Када је почетни степен убрзања веома висок, на пример 10G, недостатак дотока крви у главу узрокује пад енергетских резерва крви у очима и мозгу и долази до губитка свести без приметних претходних визуелних симптома (9, 121, 122). Визуелни симптоми се дешавају и на нижим вредностима Gz убрзања у току тренинга на центрифуги и приликом поновљених излагања као и при првом уколико пилоти нису утренирани. Енергетске резерве очију и мозга се исцрпљују за око 5s, а барорецепторски рефлекс није стигао да се активира. Ова карактеристика брзог почетка високог Gz убрзања, са минималним или одсутним визуелним симптомима када долази до потпуног губитка свести, потенцијално је најопаснија за пилоте због свог изненадног појављивања. Оштрина вида се мења као одговор на +Gz убрзање због разлике у крвном притиску између срца и мозга за 22-25 mmHg за сваких +1Gz убрзања којем је тело изложено (87, 96). На пример ако применимо убрзање од +5Gz то ће довести до пада притиска на нивоу главе од 110 mmHg, под условом да је систолни крвни притисак на нивоу срца око 120mmHg, видимо да би у одсуству кардиоваскуларних рефлекса, већина имала

немерљив крвни притисак у можданим артеријама при излагању убрзању (123). Прерасподела крвног волумена приликом излагања +Gz убрзању односи се пре свега на венски капацитет система доњих екстремитета, са мањим повећањем волумена и у абдоминалним венама. Приликом излагања +5Gz убрзању током 15s, 100 mmHg крви се повлачи у доње екстремитете, и за толеранцију +Gz убрзања много је значајнија разлика у притиску између главе и срца него прерасподела крвног волумена (124). Губитак ретиналног крвног притиска, који прати пад притиска на нивоу главе, узрокованог G оптерећењем је механизам одговоран за визуелне симптоме тунелског вида, сиве и црне завесе које се јављају током високог G убрзања.

Испитивањем оштрине вида пре и после излагања +Gz убрзању уочена је статистички значајна промена код студената пилота у току излагања +5,5Gz убрзању, са и без кориолис реакције ($p=0,002$). Код пилота борбене авијације статистички значајне промене су уочене тек приликом излагања +7Gz убрзању, са и без кориолис реакције ($p=0,043$). Промене у оштрини вида на даљину као одговор на +Gz убрзање су последица промене крвног притиска на нивоу главе и крвног протока (53, 125). Губитак ретиналног крвног притиска, који прати пад притиска на нивоу главе, узрокованог +Gz убрзањем, је механизам одговоран за визуелне симптоме тунелског вида, сиве и црне завесе и дају нам најбољу процену колика је толеранција на +Gz убрзање (126). Употреба анти-G одела током излагања убрзању повећала је толеранцију на убрзање и показала је статистички значајно мање промене у оштрини вида пре и након излагања +7Gz убрзању ($p=0,017$) код пилота борбене авијације током нашег испитивања у хуманој центрифуги. У радовима објављеним 2009. и 2011. године пилоти су излагани +6Gz и +9Gz убрзању у оба случаја дошло је до пролазног губитка оштрине вида на даљину. У току излагања +6Gz убрзању пролазно смањење вида било је статистички значајно $0,02 \pm 0,05$, а услед излагања +9Gz убрзању $0,02 \pm 0,04$ (3, 7). У нашем истраживању код студената пилота услед излагања убрзању дошло је до статистички значајног пролазног губитка вида на даљину ($p=0,002$), док код пилота борбене авијације није дошло до статистички значајног смањења оштрине вида на даљину.

Анализом промене оштрине вида на близину нисмо уочили статистички значајне промене након излагања +Gz убрзању ни код студената пилота, ни код пилота борбене авијације. Сличних истраживања у доступној литератури нисмо пронашли.

5.3. Анализа промена у колорном виду

Утицај изложеност високим Gz убрзањима на распознавање боја се још увек истражује. Не постоји пуно информација о уоченим променама. Поједини аутори су у својим студијама уочили да у условима високог +Gz убрзања пилот црвену боју види као наранџасту или жуту (126). Студије које су се бавиле упоредним односом осветљења, контраста и самих нијанси боја, уочили су да промене у распознавању боја на већем +Gz убрзању као што је +9Gz, код пилота доводи до поремећаја у распознавању плаве и жуте боје, плаву су видели као белу, а жуту као зелену боју (127). Сви наши испитаници су нормално распознавали боје под истим условима осветљења. У току нашег испитивања колорног вида при излагању +Gz убрзању, уочили смо да је код студената пилота након излагања +5Gz убрзању дошло до статистички значајног погоршања у распознавању боја. Код пилота борбене авијације дошло је до статистички значајног ($p=0,177$) значајност погоршања у распознавању боја у току излагања +7Gz убрзању, без употребе анти-G одеда, када смо изазвали и кориолис реакцију (изазивање болести кретања са покретима главе). У студији објављеној 2003. године, аутори су испитивали утицај +Gz убрзања са изазивањем кориолис реакције у хуманој центрифуги код пилота који су носили анти-G одеда. Од испитаника је захтевано да тачно означе жуту, црвену, плаву, зелену и сиву боју. Истраживање је показало да је при излагању +3Gz, +5Gz, +7Gz и +9Gz током три различита дана дошло до промена у распознавању боја и то највише код жуте боје. У 96,6% случајева пилоти су одговарали тачно означивши боје услед излагања +3Gz и +5Gz убрзању. Промене у нијанси појавиле су се код 11% испитаника на +7Gz и код 16% испитаника услед излагања +9Gz убрзању (128). У радовима Howard и сарадника је уочено је да се на високим +Gz убрзањима црвена види као наранџаста и жута (126). Наша очекивања су била да ће ефекти убрзања на распознавање боја бити уочљиви на +7Gz убрзању, коме су излагани само пилоти борбене авијације, због престанка протока крви кроз ретиналне крвне судове јер се ретинални проток смањује током овако високих убрзања (129, 130). Код ове групе испитаника наша очекивања су потврђена, уочена је статистички значајна разлика у распознавању боја након излагања убрзању. Анализом добијен разлике запажамо статистички значајно веће промене у колорном виду код студената посматрано у односу на пилота борбене авијације, током излагања истим вредностима убрзања +5,5 Gz. Наиме после теста у групи пилота борбене авијације 95,4% испитаника имало је нормалан колорни вид, 3,1% имало је две грешке и 1,5% три грешке (Графикон 8). У групи студената, нормалан колорни вид забележен је код 60%

испитаника, 6,7% студената имало је једну грешку, 3,3% две грешке, док је 30% студената спорије читало. Захваљујући доброј тренажи пилота, ретинални проток се може брзо вратити на нормалан ниво што је у војним маневрима када се све дешава брзо и под додатним стресом јако важно. Како би побољшали толеранцију на +Gz убрзање у хуманој центрифуги која се користи за обуку и тренажу пилота треба истаћи да су за распознавање боја битни и осветљеност и контрастна сензитивност у кабини центрифуге (27, 130).

5.4. Анализа промена стерео вида

Просечне вредности стероскопског вида код студената пилота и пилота борбене авијације, након излагања позитивном G убрзању показале су да постоји статистички значајно одступање у односу на вредности стерео вида пре излагања убрзању. Од свих видних функција чије смо параметре пратили током истраживања највеће промене су уочене у стерео виду. Интересантно је да овакве промене нисмо успели да нађемо код других аутора. Испитивање стерео вида углавном је рађено за испитивање његовог утицаја код возача моторних возила (131, 132, 133, 134, 135, 136). Промене у стерео виду уочене у нашем истраживању могу утицати на безбедност летења и добро обављање борбених задатака.

Добар стерео вид као највиши степен бинокуларног вида пилотској популацији омогућава да се околина и сви уочени предмети у околини уоче какви јесу (нагиб терена, висина, дубина, заравњеност терена). Постојање стерео вида је зато битна видна функција која је под утицајем позитивног убрзања веома промењена. Стерео вид је у нашем истраживању 30 минута након излагања убрзању био нормалан.

5.5. Анализа промене ширине зенице

Утицај позитивног убрзања на промер зенице показује да се зенице шире током читавог излагања пилота убрзању (137). У студији Cheung и сар. из 2003. године уочено је да се зенице аутоматски шире током излагања убрзању, као одговор симпатичког нервног система на почетак снажног стимулуса високих вредности +Gz убрзања (137). Повећање ширине зенице представља одговор симпатикуса на појаву повећања убрзања (138). Временски ток реаговања зенице на промене +Gz убрзања је различит. У нашем

истраживању студенти пилоти су показали статистички значајне промене у ширини зенице ($p=0,005$), већ при излагању од $+2Gz$ па све до $+5Gz$ убрзању. Промене смо могли да пратимо на монитору јер је су испитаници праћени током излагања убрзању преко камере која је снимала шта се дешава унутар кабине центрифуге. Код пилота борбене авијације дошло је статистички значајне промене ($p=0,022$) ширине зенице тек на $+5Gz$ до $+7Gz$ убрзању. Промене су биле у обе групе испитаника статистички значајне након изазивања кориолис реакције и то код пилота борбене авијације, након излагања $+7 Gz$ убрзању, без анти-G одеда, а код студената пилота након $+5,5 Gz$ убрзању. Упоређивањем обе групе испитаника услед излагања истом убрзању од $+5,5 Gz$ постоји статистички значајна разлика. Затамњење вида или губитак вида услед ширења зеница приликом излагања убрзању које пилоти могу да доживе током окретања или извлачења из понирања може бити опасно током војних борбених активности. У најранијим радовима аутора Duana T.D који су се бавили овим проблемом уочено је да су пилоти изложени позитивном убрзању у хуманој центрифуги имали субјективно губитак периферног вида и да је ширина зенице достигла максимум (139). У нашем испитивању пилоти борбене авијације који су излагани $+5,5 Gz$ убрзању нису имали статистички значајно смањење вида јер и уочена разлика у ширини зенице није биле статистички значајна. Студенти пилоти при истом убрзању су имали само краткотрајно замућење вида, што се може објаснити у разлици промера зенице пре, у току и након излагања убрзању која је била статистички значајна. Величина зенице зависи од многих спољашњих, физиолошких и психолошких фактора као што су осветљење, умор, покрети очију, очни притисак, слух, мирис (140). Код наших испитаника нисмо уочили утицај спољашњих фактора на ширину зенице. Такође страх, бол и степен тежине борбеног задатка код пилота може имати утицај на ширину зенице. Аутор Tsai ML у својим радовима наводи да је повећање ширине зенице при излагању $+6Gz$ убрзању трајало 15 минута након излагања и промер зенице је од $3.56 \pm 0,72mm$ до $5.65 \pm 0,56mm$ (3). Излагање $+9Gz$ убрзању довело је до ширења зенице од промера $3,54 \pm 0,73mm$ до $5,56 \pm 0,67mm$ и трајала је 30 минута након престанка деловања убрзања (7). Ширење зеница доводи и до смањење оштрине вида на даљину током излагања позитивном убрзању и представља користан квантитативан знак за процену одговора на позитивно убрзање (141). Услед излагања убрзању од $+5.5 Gz$ дошло је до статистички значајне већих промена у ширине зенице код студената пилота у односу на пилоте борбене авијације, а посебно након изазивања кориолис реакције.

5.6. Предлози за даљи напредак

Резултати до којих смо дошли прошириће сазнања неопходна у квалитетној селекцији пилота, најскупљој популацији у свакој војсци. Важно је знати границе подношљивости позитивног убрзања и пронаћи начин како да се то убрзање на најбољи могући начин поднесе и да има што мање последице на видне функције пилота у току летења на савременим борбеним авионима високих перформанси.

Сва даља испитивања и истраживања из области авиофизиологије иду ка томе да у будућности информације добијене путем чула вида и мерних инструмената буду обједињене и помоћу рачунара разврстане, графички представљене и тродимензионално пројектоване на визир кациге пилота чиме ће управљање авионом бити сигурније, ефикасније и безбедније. Неопходно је наставити даља испитивања која ће обезбедити још прецизније показатеље видних функција у стању реалног +Gz убрзања и просторне дезоријентације.

6. ЗАКЉУЧЦИ

На основу наших истраживања дошли смо до следећих закључака:

1. Постоји значајан степен пролазног губитка оштрине вида на даљину код студената пилота и пилота борбене авијације услед излагања високом +Gz убрзању
2. У току излагања борбених пилота +7Gz убрзању трећег дана са коришћењем анти-G одећа дошло је до мањег губитка вида него другог дана када су излагани убрзању од +5Gz.
3. Код студената пилота дошло је до значајног пролазног смањења оштрине вида у току излагања +5Gz убрзању са и без кориолис реакције.
4. Постоји значајно погоршање колорног и стерео вида, као и промене у ширини зенице после излагања +Gz убрзању код студената пилота са и без изазивања кориолис реакције.
5. Код професионалних пилота до промена у колорном и стерео виду, као и промена у ширини зенице, долази при излагању +7Gz убрзању, са и без кориолис реакције. Излагање вредностима од +5Gz убрзању пилоти борбене авијације могу да поднесу без већих промена у видним функцијама.
6. Кориолис реакција доводи до већих промена у видним функцијама и теже се подноси +Gz убрзање када се изазове болест кретања, код студената пилота на +5Gz убрзању него код пилота борбене авијације.
7. Пролазне промене оштрине вида на даљину, колорног вида, стерео вида и ширине зенице код студената пилота су веће у односу на промене истих видних функција код пилота борбене авијације када су изложени убрзању истих вредности (+5Gz убрзању).
8. На основу детаљне анализе промена видних функција које смо испитивали најосетљивији физиолошки показатељи су промене у стерео виду, затим оштрини вида на даљину, колорни вид, ширина зенице, а на последњем месту оштрини вида на близину.

9. Потврдили смо да индивидуална физиолошка тренаже пилота у хуманој центрифуги где су присутни услови реалног G убрзања, побољшава толеранцију на убрзања. Пилоти се на овај начин упознају са могућим одговорима свог организма на прекомерна G убрзања што је важно за безбедност летења у мирнодопским условима као и у борбеним маневрима.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Pavlović M. Validnost eksperimentalnog modela prostorne dezorijentacije, umerene hipoksije i +Gz ubrzanja u selekciji pilota. Doktorska teza, 2006; 14-18.
2. Pavlovic M. Osnovi vazduhoplovne medicine; Beograd 2014; 71-79
3. Tsai ML, Horng CT, Liu CC, Shieh P, Hung CL, Lu DW, Chiang SY, Wu YC, Chiou WY. Ocular responses and visual performance after emergent acceleration stress. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2011; 52 (12): 8680-5.
4. Feigl B, Zeie AJ, Stewart IB. Mild systemic hypoxia and photopic visual field sensitivity. Ada ophthalmol. 2011; 89: 199-200.
5. Rudnjanin, S.: Fiziološki efekti pozitivnog +G ubrzanja i mogućnosti povećanja podnošljivosti organizma na delovanje ubrzanja. Specijalistički diplomski rad, VMA – VMI, 1985.
6. Rudnjanin S, Preboč M, Radojković V. Delovanje ubrzanja na vid letaća. Savremeno u oftalmologiji, XVIII Oftalmološki dani oftalmološke sekcije SLD, 21-23 april 1986; Beograd; 87.
7. Tsai ML, Liu CC, Wu YC, et al. Ocular responses and visual performance after high-acceleration force exposure. Invest Ophthalmol Vis Set. 2009; 50: 4836- 4839.
8. Horng CT, Liu CC, Wn DM, etai. Visual fields during acute exposure to a simulated altitude of 7620 m. Aviat Space Environ Med. 2008; 79: 666-669.
9. David J. Rainford, David P. Gradwell: Ernsting” s aviation Medicine, 2006.
10. Rudnjanin S, Stepen podnošljivosti +Gz ubrzanja u primarnoj selekciji kao prognostički znak za potrebe sekundarne selekcije pilota. Doktorska disertacija, Beograd, VMA 1997. god.
11. Hans Selye. Stress and aerospace medicine. Aerospace Med 1973; 44 (2): 190-193.
12. Arthur C. Guyton, M. D. Medicinska Fiziologija; III izdanje; 712 – 714.
13. Чолић Ј. Одређивање оштрине вида помоћу различитих врста оптописа, Стручни рад, Природно математички факултет, Департман за физику, Нови Сад, 2016.
14. Savic S. Profesionalna oftalmologija- Ergooftalmologija; Beograd 1995.

15. Михајловић Е. Колорни вид, Стручни рад, Природно математички факултет, Департман за физику, Нови Сад; 2015.
16. Ана Лазаревић, Колорни вид и његове аномалије, стручни рад, Универзитет у Новом саду, Природноматематички факултет, Департман за физику, 2014. 15-27
17. Wissinger B, Sharpe LT. Genetic basis of human color vision. *Am Soc Hum Genetics* 1998; 63:1257-62..
18. Rogosic V, Vojic I, Karaman K, et al. Frequency of congenital dyschromatopsia in male population of the Split-Dalmatian Country in Croatia. *Arh Hig Rada Toksikol* 2003; 54:1-4.
19. Pinckers A, Colour vision and age. *Ophthalmologica* 1996;181:23-30.
20. Neitz J, Neitz m. The genetics of normal and defective color vision. *Vision Res.*2011 Apr 13; 51(7):633-51. Review.
21. Gene review: Red-Green Color Vision Defects
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1301>.
22. Deeb SS Molecular genetics of color- vision deficiencies. *Vis neurosci.* 2004 May -Jun; 21 (3): 191-6. Review.
23. Ранђеловић Д., Павловић М. (2016) The effect of acceleration on color vision *Vojnosanitetski preglad. Military-medical and pharmaceutical review*, January 2016
24. Smiljanić N. Ispitivanje vidnih funkcija; Beograd 2001. 77-98.
25. Allnutt RA, Chelete TL, Post DL, Tripp LD. Disappearing colors at G and luminance (abstract). *Aviat Space Environ Med* 1999; 70; 85.
26. Allnutt RA, Tripp L. D. Color hue shift during gradual onset Gz acceleration. *Proceedings SAFE, 36 th Annual Symposium, September 14-16, Phoenix, AZ 1998;* 446-53.
27. Borchart CJ, Allnut RA, Tripp LD. Using the cyan to central (C2C) interval in training centrifuge subjects (abstract). *Aviat Space Environ Med* 2000;71:269.
28. Цветковић Д. Еволуција и генетика колорног вида, ЦД монографија, Колорни вид Изд. ЦИБИД Мед фак. Београд, 2006.
29. Tengoth Bjorn. Current concepts in ergoophthalmology; Sweden 1978.

30. Walter T. Delperio, Hugh O Neill, Evanne Casson, and Jeff Hovis. Aviation- Relevant Epidemiology of Color Vision Deficiency, *Aviation, Space and Environmental Medicine*. Vol. 76, No 2 February 2005.
31. Rogosic V, et al. Defective Colour vision, *Arh Hig Rada Toksikol* 2003; 54: 141-144.
32. Jeffery K. Hovis and Nicolas Pilecki, Simulated Night Vision Goggle Wear and Colored Aftereffects: *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 84, No. 3 March 2013; 206-211.
33. Andres Iregren, Marlene Andersson, Per Nylen, Color Vision and Occupational Chemical exposures, National Institute for Working life, SE-11279 Stockholm Sweden, 2002.
34. Young PA, Perez-Bacerra j, Ivan D. Aircrew visors and color vision performance: a comparative and preliminary pilot study analysis. *Aviat Space Environ Med* 2000; 71: 1081-92.
35. S. Nedevschi, R. Schmidt, T. Graf, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol; 3D Lane Detection System Based on Stereovision; in proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Washington, D.C. USA, October 3-6, 2004. Pp. 292-297.
36. S. Nedevschi, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, T. Graf, R. Schmidt, High Accuracy Stereovision Approach for obstacle Detection on Non-Planar Roads, in Proc. off IEEE Inteligent Engineering Systems(INES). Cluj Napoca, Romania 19-21 Spr. 2004, pp. 211-216.
37. Чанадановић В., Поремећаји моталитета, разроност и слабовидост. In.: Pajić VP ed. Хирургија - одабрана поглавља, Нови Сад: Symbol: 2009. p. 3015-18.
38. Kanski JJ, *Klinička oftalmologija*, Data status, Beograd 2002.
39. Hansmann D, Semnlow J, Stark L, A physiological basis of pupillary dynamics, In: jannis MO, ed. *Pupillary dynamics and behavior*. New York: Plenum Press; 1974.
40. Oosterveld WJ, de Jong HAA, Smit J, Kortschot HW. Pupil size and microgravity. *Adv Otorhinolaryngol* 1988; 42:9-12.
41. Jordanov J, Ruben H, Reliability of pupillary changes as a clinical sign of hypoxia. *Lancet* 1967 (Oct); 28: 915-7.

42. Semmlow J, Stark L. Pupil movements to light and accommodative stimulation: a comparative study. *Vision res* 1971;13:1087-100.
43. Wilson RC, Canfield AA. The effects of increased positive radial acceleration upon pupillary response. In: Warren MD, et al. *psychological research on the human centrifuge: final report*. Los Angeles; Department of Psychology, University of Southern California; june 1951. Tech.Rept N6-ori-77, task order 3.
44. Chou PI, Wen TS, Wu YC, Horng CT, Liu CC. Contrast sensitivity after +Gz acceleration. *Aviat Space Environ Med*. 2003. Oct; 74 (10): 1048-51.
45. Jeffrey R. Davis, Robert Johnson, Jan Stepanek, Jennifer A. Fogarty. Fourth Edition; *Fundamentals of Aerospace Medicine*; fourth edition, 2008. 349- 354.
46. Marek Wolkanowski, Olaf Truszczynski and Mieczyslaw Wojtkowlak; New method of visual disturbances assessment in pilots during tests in the Polish human centrifuge; *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*; 2007; 20(1):44-7.
47. Rudnjanin S, Arsic-Kommenovic G, Pavlovic M, Vujnovic J: Loss of consciousness as criterion of +Gz tolerance at Institute of Aviation Medicine MMA during + Gz acceleration selective test. *Acta Physiologica Hungarica*, 2006. Volume 93, 371-376.
48. Albery WB. Acceleration in other axes affects +Gz tolerance: dynamic centrifuge Simulation of agile flight. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75: 1-6.
49. Hong Bo Jia, Guang Bin Cui, Su Jiang Xie, Da Wei Tian, Hong Zhe Bi and Shi Jun Guo: Vestibular Function in Military Pilots before and after 10 sec at +9Gz on a Centrifuge: *Aviat Space Environ Med* 2009; 80: 20-3
50. Gillingham K. High – G stress and orientational stress: Physiologic effects of aerial maneuvering. *Aviat Space Environ Med* 1988; 59 (11, sup.): a10-20. Acceleration. 1965. 106.
51. Gillingham KK, Burton RR. Transver functions for arterial oxygen saturation during +Gz stress. *Aviat Space Environ Med* 1975; 46 (11): 1329-1335.
52. Burton, R. R, Leverett, and E. D. S. D., Michaelson.; Man at high sustained + Gz acceleration: a review. *Aerospace Med*. 1974, 45 (10): 1115-1136.
53. Rowell L. *Human cardiovascular control*. 1993.

54. Kasting GA, Eckberg DL, Fritsch JM, Birkett CL. Continues resstting of the human Carotid baroreceptor - cardiac reflex. *AM J Physiol*, 1987; 252: R 732 - R736
55. Thompson CA, Tatro DL, Ludwig DA, Convertino VA. Baroreflex response to acute changes in blood volume in humans. *Am J Physiol* 1990; 259: R729 - R789.
56. Kanazir D., Pajović S., Radojčić M., Molekularni mehanizmi stresom indukovanih oboljenja kardiovaskularnog sistema. *Srpska akademija nauka i umetnosti, knjiga 3*, 2004.
57. U. Yilmaz, M. D., M. Cetinguc, M. D., and A. Akin, M. D; Visual Symptoms and G-LOC in the Operational Environment and During Centrifuge Training of Tutkish jet Pilots; *aviation, Space and Envionmental Medicine*, Vol. 70, No. 7, July 1999: 709-712.
58. A. Agarval, Paul M Werchan, C. Lessard; Neurovestibular effects og +Gz, *Ind. J Aerospace Med* 46(1) 2002; 34-41.
59. Peter Norsk; Cardiovascular and Fluid Volume Control in Humans in Space; *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 2005, 6, 325-330.
60. Van Lieshout EJ, Lieshout JJ, Krol J, Simons M, Karamaker JM. Assessment of cardiovascular reflexes is of limited value in predicting maximal +Gz-tolerance. *Aviat Space Environ Med* 1992; 63: 21-6.
61. Rickards, C.A, and Newman, D.G: G-induced visual and cognitive disturbances in a survey of 65 operational fighter pilots, *Aviat Space Environ Med*, (2005): 76, 496-500.
62. Alvim, K. M. (1995) Greyout, blackout, and G-loss of consciousness in the Brazilian Air Force: a 1991-92 survey. *Aviat Space Environ Med*, 66, 675-677.
63. Coburn, K. R., Beckman, E. L., and Duane, T.D. (1963) Limitation of Ocular Motility under Acceleration an Objective Endpoint for Use with Human Centrifuge Subjects. *Aerospace Med* 34, 824-825.
64. Smedal, H. A., Rogers, T. A, Duane. T. D., Holden G. R., Smith and J. R. : The physiological limitations of performance during acceleration. *Aerospace Med*. (1963.) 34 (1): 48-55.
65. Orando, R. G., Negulesco, and J. A.: The architecture of the avian retina following exposure to chronic 2G. *Aviat Space Environ Med*, (1980.) 51 (7) ; 704-708.
66. Lyons TJ, Ercoline WR, Freeman JE. Classification problems of US Air Force spatial disorientation accidents. 1989-91. *Aviat Space Environ Med* 1994; 65: 147-52.

67. Benson AJ. Spatial Disorientation in flight - scope and limitation of training. Aero medical & Training Digest, January 1990.
68. Cheung B, Monu K, Wright H, Bateman W. Spatial disorientation-implicated accidents in Canadian Force. 1982-92. Aviat Space Environ Med 1995; 66: 579-85.
69. Ppveic FH, Ercoline WR. Trends in special disorientation research. Aviat Space Environ Med 2001; 72: 1048-50.
70. Shender, B.S., Forster, E.M., Hrebien, L., Ryoo, H.C., and Cammarota, J.P., Jr. (2003) Acceleration-induced near-loss of consciousness: the "A-LOC" syndrome. Aviat Space Environ
71. Kasting GA, Eckberg DL, Fritsch JM, Birkett CL. Continuous resetting of the human Carotid baroreceptor - cardiac reflex. Am J Physiol 1987; 252: R732 - R736.
72. Thompson CA, Tatro DL, Ludwig DA, Convertino VA. Baroreflex response to acute changes in blood volume in humans. Am J Physiol 1990; 259: R729 - R 789.
73. Eckberg DL, Convertino VA, Fritsch JM, Doerr D. Reproducibility of human vagal carotid baroreceptor - cardiac reflex responses. Am J Physiol 1992; 263: R215 - R220.
74. Thames MD, Kontons HA. Mechanisms of baroreceptor - induced changes in heart rate. Am J Physiol 1970; 218(1): 251 - 256.
75. Knudtzon J, Owe JO, Aars H. Baroreflex responsiveness during hypobaric hipoxia. Aviat Space Environ Med 1991; 62: 397 - 402.
76. Harrison MH, Rittenhouse D, Greenleaf JE. Effect of posture on arterial baroreflex control of heart rate in humans. Eur J Appl Physiol 1986; 55: 367 - 377.
77. Eckberg DL. Carotid baroreflex function in young man with borderline pressure elevation. Circulation, April 1979; Vol. 59: No 4.
78. DiCarlo Stephen E and Vernon S Bishop. Exercise trainingenhances cardiac afferent inhibition of baroreflex function. Am J Physiol 1990; 258: H212 - H220.
79. Ненад Бачевић, Физиолошки ефекти радијалног Gz убрзања, специјалистички рад, Ваздухопловномедицински институт, 2016
80. Holmes Sr, Bunting A, Brown DL, Hiatt KL, Braithwaite MG. Survey of spatial disorientation in military pilots and navigators. Aviat Space Environ Med 2003; 74: 957 - 65.

81. Lyons TJ, Kraft NO, Copley GB, Davenport C, Grayson K, Binder H. Analysis of mission aircraft factors in G-induced loss of consciousness in the USAF: 1982-2002. *Aviation Space Environ Med* 2004; 75: 479 - 82.
82. Linde L. Effects of gravitational stress on mental performance-aselective review. FOA report Linkoping, Sweden: Defence Resarch Establishment 2000; FOA-R-OO-01440-706-SE.
83. Tran CC, Berthelot M, Etienne X, et al. Cerebral oxygenation declines despite maintained orthostatic tolerance after brief exposure to gravitational stress. *Neurosci Lett* 2005; 380: 181-186.
84. Rainford D. J, Gradwell D. P. Ernsting's Aviation Medicine, United Kingdom, 2006; 696-719.
85. Cirovic S, Walsh C, Fraser WD. A mechanical model of cerebral circulation during Sustained acceleration. *Aviat Space Environ Med* 2001; 72: 704 - 12.
86. Gianaros PJ, Muth ER, Mordkoff JT, Levine ME, Stern RM. A questionnaire for the Assessment of the multiple dimensiones of motion sickness. *Aviat Space Environ Med* 2001; 72: 115-9.
87. Claus Curat – Christiansen Jorg Drageger, Jurgen Kriebel: Principles and Practice of Aviation Medicine, 398-410, 2009.
88. Roy L. DeHart. Fundamentals of Aerospace Medicine. Lea & Febiger 2003.
89. Kawai Y, Puma SC, Hargens AR, Murthy G, Warkander D, Lundgren CE. Cerebral blood flow velocity and cranial fluid volume decrease during +Gz acceleration. *J Gravit Physiol.* 1997; 4:31-34.
90. Laszlo Z, Rossler A. Hinghofer-Szalkay HG. Cardiovascular and humoral redjusment after different levels of head-up tilt in humans. *Aviat Space Environ Med* 2001; 72: 193 - 201
91. Cheung B, Bateman WA. G-transition effects and their implications. *Aviat Space Environ Med* 2001; 72: 758-62.
92. Feigl B, Stewart IB & Brown B,: Experimental hypoxia in human eyes: implications for ischaemic disease. *Clin neurophysiol* 2013; 118: 887-895.

93. Kawai Y, Puma SC, Hargens AR, murthy G, Warkander D, Lundgren CE. Cerebral blood flow velocity and cranial fluid volume decrease during +Gz acceleration. *J Gravit Physiol.* 1997; 4: 31-34.
94. Eckberg DL. Nonlinearities of human carotid baroreceptor-cardiac reflex. *Circulation Research*, Vol. 47, No2, August 1980.
95. Liu CS, Bryan RN, Miki A, Woo JH, Liu GT, Elliott MA. Magnocellular and parvocellular visual pathways have different blood oxygen level-dependent signal time courses in human primary visual cortex. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2006; 27:1628-1634.
96. Hanada, R., Hisada, T. Tsujimoto, T. and Ohashi, K.; Arrhythmias observed during high-G training: proposed training safety criterion, *Aviat Space Environ Med:* (2004): 75, 688-691.
97. Miyamoto, Y., Shimazu, H. and Nakamura, A.: Plasma catecholamine and cortisol concentrations during acceleration stress. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, (1995):70, 407-412.
98. Schleger TT, Wood SJ, Brown TE, Harm DL, Rupert AH. Effect of 30-min +Gz centrifugation on vestibular and autonomic cardiovascular function. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74: 717-24.
99. Harpaz D, Kriwisky M, Fineman R, Haim A, BS Lewis, and Shamiss A. Effects of high gravity on cardiac dimensions in trained air crew. *The American Journal of Cardiology*, 1996; Vol. 77.
100. McKenzie, I. and Gillingham, K.K: Incidence of cardiac dysrhythmias occurring during centrifuge training, *Aviat Space Environ Med* (1993): 64, 687-691.
101. Kergoat H, Herard M-E & Lemay M (2006): RCG sensitivity to mild systemic hypoxemia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 47: 5423-5427.
102. Wangasa-wirawan ND & Linsenmeier RA. Retinal oxygen: fundamental and clinical aspects. *Arch Ophthalmol*, 2003; 121: 547-557.
103. Riva CE, Logean E & Falsini B. Visually evoked hemodynamical response and assessment of neurovascular coupling in the optic nerve and retina. *Prog Retina Eye Res*, 2005; 24: 183-215.

104. Feigl B, Stewart IB, Brown B & Zele AJ. Local neuroretinal function during acute hypoxia in healthy older people. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008; 49: 807-813.
105. Connolly DM & Hosking SL. Oxygenation and gender effects on photopic frequency-doubled contrast sensitivity. *Vision Res*, 2008; 48: 281-288.
106. Victoria Voge. Findings of Working Group on Chronic Health Effects of Sustained High-G Exposure. *Military Medicine* 1995; 160, 1026.
107. Levine BD, Buckley JC, Fritsch JM, Yancy CW, Jr DE Watenpaugh, Snell OG, Lane Lane, Eckberg DL, Blomqvist G, physical fitness and cardiovascular regulation: Mechanisms of orthostatic tolerance. *J Appl Physiol*, 1991; 70(1): 112-122.
108. Fritsch JM, Charles JB, Bennett BS, Jones MM, Eckberg DL. Short-duration spaceflight impairs human carotid baroreceptor-cardiac reflex responses. *J Appl Physiol* 1992; 73(2): 664-671.
109. Eckberg DL, Rea RF, Andersson OK, Hedner T, Pernow J, Lundberg JM, Wallin BG. Baroreflex modulation of sympathetic activity and sympathetic neurotransmitters in humans. *Acta Physiol Scand* 1988; 133: 221-231.
110. Fritsch JM, Rea RF, Eckberg DL. Carotid baroreflex resetting during drug-induced arterial pressure changes in humans. *Am J Physiol* 1989; 256: R549 - R553.
111. Snippenle JM, Eckberg DL, Goble DL, Schelhorn JJ, Halliday HC. device for rapid quantification of human carotid baroreceptor-cardiac reflex responses. *J Appl Physiol* 1986; 60(2): 727-732.
112. Convertino VA, Tripp LD, Ludwig DA, Duff J, Chelette TL. Female exposure to high G: chronic adaptation of cardiovascular functions. *Aviat Space Environ Med* 1998; 69: 875-82.
113. Self DA, Ewert DL, Swope RD, Crisman RP, Ricky DL. Beat-to-beat determination of peripheral resistance and arterial compliance during +Gz centrifugation. *Aviat Space Environ Med* 1994; 65: 396-403.
114. Whinnery, T., and Forster, E.M. The +Gz-induced loss of consciousness curve. *Extrem Physiol Med*, 2013; 2: 19.
115. Feigl B, Stewart IB, Brown B, Zele AJ. Local neuroretinal function during acute hypoxia in healthy older people. *Invest Ophthalmol Vis sci*. 2008;49:807-813.

116. Kergoat H, Herard ME, Lemay m. RGC sensitivity to mild systemic hypoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47: 5423-5427.
117. Tripp LD, Warm JS, Matthews G, Chiu PY, Bracken RB. On tracking the course of cerebral oxygen saturation and pilot performance during gravity-induced loss of consciousness. *Hum Factors.* 2009; 51: 775-784.
118. Feigl B, Zele AJ, Stewart IB. Mily systemic hypoxia and photopic visual field sensitivity. *Acta Ophthalmol.* 2011; 89:199-204.
119. Connolly DM, Hosking SL. Oxygenation state and mesopic sensitivity to dynamic contrast stimuli. *Optom Vis Sci.* 2009; 86:1368-1375.
120. Myron I. Braunstein and Wiliam J. White: Effects of Acceleration on Brightness Discrimination; *Journal of the optical society of America*; Volume 52 number 8, August 1962.: 931-933.
121. Antony N. Nicholson: *The Neurosciences and the practice of Aviation medicine*, 378-393, 2011.
122. Ранђеловић Д., Павловић М. Оштрина вида код пилота ВиПВО након излагања +Gz убрзању у хуманој центрифуги. 2013;
123. Davis, J., Johnson, R., *Fundamentals of aerospace medicine*. Wolters Kluwer, 2008.
124. Rainford D., Gradwell D. P and Ernsting J. *Ernsting's aviation medicine*, London, 2006.
125. Newman, D., *High G Flight: Physiological effects and Countermeasures*. Routledge, 2015.
126. Howard P. The physiology of positive acceleration. In: Gillies JA, ed. *A textbook of aviation physiology*. Oxford: pergamon Ppess 1965; 559-560.
127. Masato Sakurai, Takayuki Koseki, Hirofumi Hayashi and Miyoshi Ayama, Color Appearance in Periphearal Vision: Effects of Test Stimuli and Surround Luminance; *J.Light & Vis.Env.* 2002; Vol.26, No.3.
128. Balldin G. Derefeldt U. I, Eriksson L, Werchan P. M, Andersson P. and Yates J. T. Color Vision with Rapid-Onset Acceleration. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74; 29-36.
129. Abramov I, Gordon J, Chan H. Color appearance in the peripheral retina: effects of stimulus size. *J. Opt Soc Am* 1991; 8; 404-14.

130. Mike Webster, Environmental Influences on Color Vision; Encyclopedia of Color Science and Technology DOI 10.1007/978-3-642-278 51-8-76-3 Springer Science + Business Media New York 2015; (1-6).
131. S.Nedevschi, R.Schmidt, T.Graf, R.Danescu, D. Frentiu, T. Marita,F.Oniga, C.Pocol, "3D Lane Detection system Based on Stereovision", in Proc. of IEEE Intelligent Transportattion Systems Conference (ITSC). Washington, USA, October 4-6, 2004; pp. 292-297.
132. S. Nedevschi, R. Schmidt, T.Graf, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C.Pocol, "High Accuracy Stereo Vision System for Far DistanceObstacic Detection," in Proc. of IEEE InteligentVehicles Symposium. Parma, Italy,June 14-17, 2004; pp.161-166.
133. S.Nedevschi, R. Danescu, D.Frentiu,, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, Thorsten Graf, Rolf Schmidt, "High Accuracy Sterovision Approach forObstacie Detection on Non-Planar Roads," in Proc. of IEEE Inteligent Engineering Systems (INES). ClujNapoca, Romania,19-21 Spr. 2004; pp. 211-216.
134. Nedevschi S., Doanescu R. Marita T. Oniga F, Pocol C, sabol S. Graf T, Schmidt R; Driving Environment Perception Using Stereovision, Intelligent Vehicles Symposium, 2005.
135. S. Nedevschi, R. Danescu,D.Frentiu,T.Marita,F.Oniga,C.Pool,R.Schmidt,T.Graf; High Accuaracy Stereo Vision System for Far Distance Obstacle Detection; in Proc.of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, parma,Italy,June 14-17,2004, pp.161-166.
136. M. Bertozzi, a. Broggi, A. Fascioli, and S. Nichele. "Stereo Vision-based Vehicle Deection", in Procs IEEE Inteligent Vehicles symposium 2000. October 2000; pages 39-44, Detroit, USA.
137. Bob Cheung and Kevin Hofer: Acceleration Effects on Pupil Size with Control of Mental and Environmental factors; Aviation, Space, and Environmental medicine Vol. 74, No 6 June 2003.669-674.
138. Guyton, A.C, and Han, J.E., Textbook of medical physiology, Philadelphia, W.B. Saunders 1996.

139. T. D. Duane, Edvard L, Beckman, and K. R. Coburn. Limitation of ocular motility and pupillary dilatation in human beings during positive acceleration. Invest ophthalmol 1962; 1: 136-41.
140. Cheung B, Hotter K. Acceleration effect on pupil size with control of mental and environmental factors. Aviat Space Environ meet. 2003; 74: 669-674.
141. Y. Yao, Q.Wang., Q.Liu, M.Li, S.Liu; Changes of eye movement and pupil diameter of pilots during final approach (abstract), 63rd Internnational Congress of Aviation and Space Medicine, 20- 24 September 2015. Oxford, UK