



**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ**  
**ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА**

**Данијела Ранђеловић**

**УТИЦАЈ  $G_z+$  УБРЗАЊА НА ОРГАН ВИДА КОД ПИЛОТА**  
**ВИШВО НА ХУМАНОЈ ЦЕНТРИФУГИ**

**ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА**

**Ментор: др сци. мед. Сунчица Срећковић, ванредни професор**

**Крагујевац, 2019. године**

---

---

## ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b><i>I Аутор</i></b>
Име и презиме: Данијела Ранђеловић
Датум и место рођења: 23.02.1968. године, Пирот, Република Србија
Садашње запослење: Ваздухопловномедицински институт, Београд
<b><i>II Докторска дисертација</i></b>
Наслов: Утицај Gz+ убрзања на орган вида код пилота ВиПВО на хуманој центрифуги
Број страница: 98
Број слика: 6 слика, 18 графикана, 18 табела
Број библиографских података: 141
Установа и место где је рад израђен: Ваздухопловномедицински институт, Београд
Научна област (УДК): Медицина
Ментор: др сци. мед. Сунчица Срећковић, ванредни професор
<b><i>III Оцена и одбрана</i></b>
Датум пријаве теме: 15.08.2014. године
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: IV-03-643/7 од 03.12.2014.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата: <ol style="list-style-type: none"><li>1. проф. др Владимир Јаковљевић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Физиологија, председник;</li><li>2. проф. др Мирјана Јанићијевић Петровић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Офталмологија, члан;</li><li>3. проф. др Марина Јовановић, редовни професор Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Клиничка физиологија, члан.</li></ol>
Комисија за оцену и одбрану докторске/уметничке дисертације: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Доц. др Татјана Шаренац-Вуловић, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Офталмологија, председник;</li><li>2. Доц. др Ненад Петровић, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Офталмологија, члан;</li><li>3. Доц. др Мирко Ресан, доцент Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Офталмологија, члан;</li></ol>
Датум одбране дисертације:

---

---

## **САЖЕТАК**

**Увод:** Преко 80% свих информација током летења код пилота је визуелно. У авијацији су видне функције значајне због праћења сигнала на инструмент таблама као и знакова околине. Велике брзине приликом полетања, током летења и приликом слетања модерних летилица представљају додатни напор за орган вида. Од самог почетка развоја ваздухопловства, функцији вида се придаје изузетан значај. Због велике практичне примене у ваздушној борби, утицај +Gz убрзања на орган вида је веома важно за истраживање. Од свих чулних функција којима човек располаже вид је најважнији како у погледу безбедности летења тако и за квалитет извршавања летачких задатака. Код високог почетног степена убрзања могу се јавити значајне промене у видним функцијама. Међутим, важно је одржати оштрину вида услед примене нових функционалних дисплеја за брзу оријентацију пилота, визуелне конфигурације рељефа терена, приказа оружаних система, противничких авиона и додатно усложњене оријентације у простору. Неопходно је наставити испитивања која ће обезбедити прецизне показатеље оштрине вида у стању реалног +Gz убрзања и просторне дезоријентације.

**Циљ:** Циљ истраживања био је да се утврди да ли постој утицај на орган вида код пилота борбене авијације и студената пилота услед излагања +Gz убрзању у хуманој центрифуги.

**Материјал и методе:** Ово испитивање рађено је као студија пресека. Испитивање се вршило на дефинисаној популацији, 95 испитаника старости од 21 до 45 година подељених у две групе. Посматрали смо преваленцу изложености на позитивно убрзање, испитивали смо утицај убрзања на видне функције ове две групе испитаника. Прва група су били пилоти борбене авијације, у којој је било 65 пилота и који су излагани убрзању од +5,5Gz до +7Gz, а друга студенти пилоти, у којој је било 30 студената и који су излагани убрзању од +5,5Gz. Испитивање је вршено у Одељењу за биодинамику Ваздухопловномедицинског института где се налази хумана центрифуга и вршено је 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. Такође, 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.

**Резултати:** У групи пилота борбене авијације после теста сви испитаници су имали оштрину вида на даљину 1.0. а у групи студената уочена је статистички значајна разлика у оштрини вида на даљину након излагања +Gz убрзању. У оштрини вида на близину после теста код студената и пилота борбене авијације није уочена статистички значајна разлика. Код пилота борбене авијације није уочена статистички значајна промена у колорном виду пре и после теста, док је у групи студената забележено статистички значајно погоршање у колорном виду. Статистички значајне промене у стерео виду уочене су код обе групе испитаника. Значајна промена дијаметра зенице током посматрана четири времена мерења статистички је значајна код обе групе испитаника.

**Закључак:** 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). 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. Индивидуална физиолошка тренажа пилота у хуманој центрифуги где су присутни услови реалног G убрзања, побољшава толеранцију на убрзања што је важно за безбедност летења у мирнодопским условима као и у борбеним маневрима.

**Кључне речи:** ваздухопловна медицина, пилоти, +Gz убрзање, видне функције, хумана центрифуга

---

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Over 80 % of all information a pilot receives during the flight is visual. In aviation due to the importance of visual stimulus and environment sings. The high speeds achieved during the take-off, flight, and landing of modern aircraft present limitations for the visual system. The importance of maintaining visual function during these intervals has been recognized since the earliest stages of aviation development. Because of the great practical importance of air combat, research on visual stress during flight is of great importance receives much attention. Vision is the most important sensory function in terms of both flight safety and the quality performance of flight duties. At high initial rates of acceleration, significant changes in visual function can occur. However, the importance of maintaining visual acuity is increasing due to the application of novel functional displays for rapid orientation of the pilot in space, the configuration of the area field, aircraft opponents, and weapon systems. Therefore, it is necessary to continue studies that will provide accurate indicators of visual acuity in the context of real Gz acceleration and spatial disorientation.

**Aim:** The aim of this study was to demonstrate impact on the visual acuity on aircraft pilots and pilot students during exposure to +Gz acceleration in human centrifuge.

**Material and methods:** This test was done as a cross section study. The study was conducted on a defined population, 95 examinees aged 21 to 45 years divided into two groups. We examined the prevalence of exposure to positive acceleration, examined the impact of acceleration on the visual functions of these two groups of subjects. The first group were aircraft pilots, which contained 65 pilots and were exposed to acceleration from +5,5Gz to +7Gz, while other students pilots, where there were 30 students and who were exposed to an acceleration of +5,5Gz. The study was carried out at the Department of Biodynamic of the Aeromedical Institute where human centrifuge was located and was conducted in accordance with the instructions given for each test. We examined the obtained differences in the acuity of vision at a distance and proximity, stereoscopic vision, color vision and pupil diameter on acceleration rate. The hemodynamic parameters of diastolic and systolic pressure and pulse were measured. Aircraft pilots were tested for a period of three consecutive days because they were exposed to different acceleration values, while pilot students were tested in one day due to exposure to lower acceleration values. We also observed differences between these two groups of respondents, which is our important indicator of the status of visible functions at the beginning of a professional career and after many years of flight hours.

---

**Results:** In the group of aircraft pilots after the test, all subjects had visual acuity at a distance of 1.0. and in the group of pilot students a statistically significant difference in visual acuity was observed after exposure + Gz acceleration. A statistically significant difference was noticed in the sharpness of sight near the test after the pilot students and aircraft pilots. There were no statistically significant changes in colored sight before and after the test, while in the group of pilot students there was statistically significant worsening in color vision. Statistically significant changes in stereo vision were observed in both groups of subjects. A significant change in pupil diameter during the observed four measurement times is statistically significant in both groups of subjects.

**Conclusion:** Transient changes in visual acuity at a distance, color vision, stereo vision and pupil diameter in pilot students are higher in relation to changes in the same visual functions in aircraft pilots when exposed to acceleration of the same values (+ 5Gz acceleration). The most sensitive physiological indicators are changes in the stereo vision, then the sharpness of vision at a distance, the color vision, the pupil diameter, and at the last place the sharpness of the sight nearby. Individual physiological training of pilots in a human centrifuge where real G acceleration conditions are present improves tolerance to acceleration, which is important for flight safety in peacetime and in combat maneuvers.

**Key words:** aviation medicine, pilots, + Gz acceleration, visual acuity, human centrifuge.

---

---

---

*Посвећујем својој породици*

*Теодори и Рељи,*

*мојим анђелима због којих мој живот и све што радим има смисла*

*Драгану,*

*свом супругу за велико разумевање и несебичну помоћ и подршку, како у животу тако и током израде овог рада*

*Мојим родитељима*

*Мами,*

*зато што је увек ту за мене*

*Тати,*

*мом анђелу чувару зато што је веровао у мене и због кога је овај рад написан*

*Поседна захвалност ментору проф. др Сунчици Срећковић на великој помоћи, стрпљењу и увек искреним и добронамерним саветима током израде овог рада*

*Захваљујем се проф. др Владимиру Јакољевићу на стручним саветима током реализације овог рада*

*Хвала члановима комисије на конструктивним сугестијама*

---

---

## 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 .....	16
1.5. Физиологија позитивног убрзања.....	21
1.6. Утицај +Gz убрзања на орган вида .....	25
1.7. Барорецепторски рефлекс .....	28
1.8. Заштита од убрзања .....	28
1.9. Показатељ осетљивости за болест кретања .....	31
2. Хипотезе, циљеви и значај истраживања .....	32
3. Материјал и методе рада.....	34
3.1. Врсте студије .....	34
3.2. Испитаници.....	34
3.5. Методе испитивања.....	36
3.5.1. Испитивање оштрине вида на даљину – оптитип по Landolt-у.....	36
3.5.2. Испитивање оштрине вида на близину – Jaeger таблице .....	37
3.5.3. Испитивање колорног вида – Ishihara таблице .....	37
3.5.4. Испитивање стерео вида – Randot мест .....	38
3.5.5. Мерење ширине зенице.....	39
3.5.6. Профил убрзања и начин извођења селективних тестова на хуманој центрифуги ..	39
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.....	44
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 $G_z+$ УБРЗАЊА НА ОРГАН ВИДА КОД ПИЛОТА ВиПВО 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  $+G_z$  убрзања на орган вида је веома значајан за истраживање. И поред аутоматизације управљања летелицама 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  $+G_z$  убрзања сила инерције делује паралелно уздужној осци 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  $+G_z$  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  $+9G_z$  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 тонууса, 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 +3,5Gz и време трајања од 6-12 s, 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 центрифуги 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 селекцију 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 24 mm, 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 чепаћа, са промером спољашњег чланка од 2 $\mu$ m. Спољашњи чланци су тако збијени да изгледају хексагонални попут саћа. У самој фовеоли која се исхрањује из хориокаполариса, нема капиларне мреже централне ретиналне артерије. 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 чепаћ 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. *Minimum separabile* треба разликовати од *minimum visible* (минимална величина да би предмет био уопште опажен), који је мањи од 1 минута, и *minimum cognoscibile* (угао под којим се препознаје облик) који је већи и износи 5 минута. Овом углу једнак је *minimum legibile*, који се користи приликом читања бројева и слова на тестовима. Да би се две тачке промера 0.1 mm виделе као две одвојене (под углом од 1') неопходно их је посматрати са растојања од само 16 cm. Величина лика виђеног под углом од 1' износи у макули 3.8µm, 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 диспација, 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).

Оптотипи морају бити стандардизовани да би добијени резултати били упоредиви. Контраст црних знакова оптотипа на светлој подлози треба да буде 80-90%, а осветљеност позадине 85 cd/m<sup>2</sup>. Знаци на оптотипу морају имати минимум растојања од 3 cm. Оптотип по *Landolt* 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 *Landolt*-овог прстена испитује прави *minimum separabile*. У европским земљама се оштрина вида најчешће изражава у линеарним децималним вредностима од 0,05 до 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).

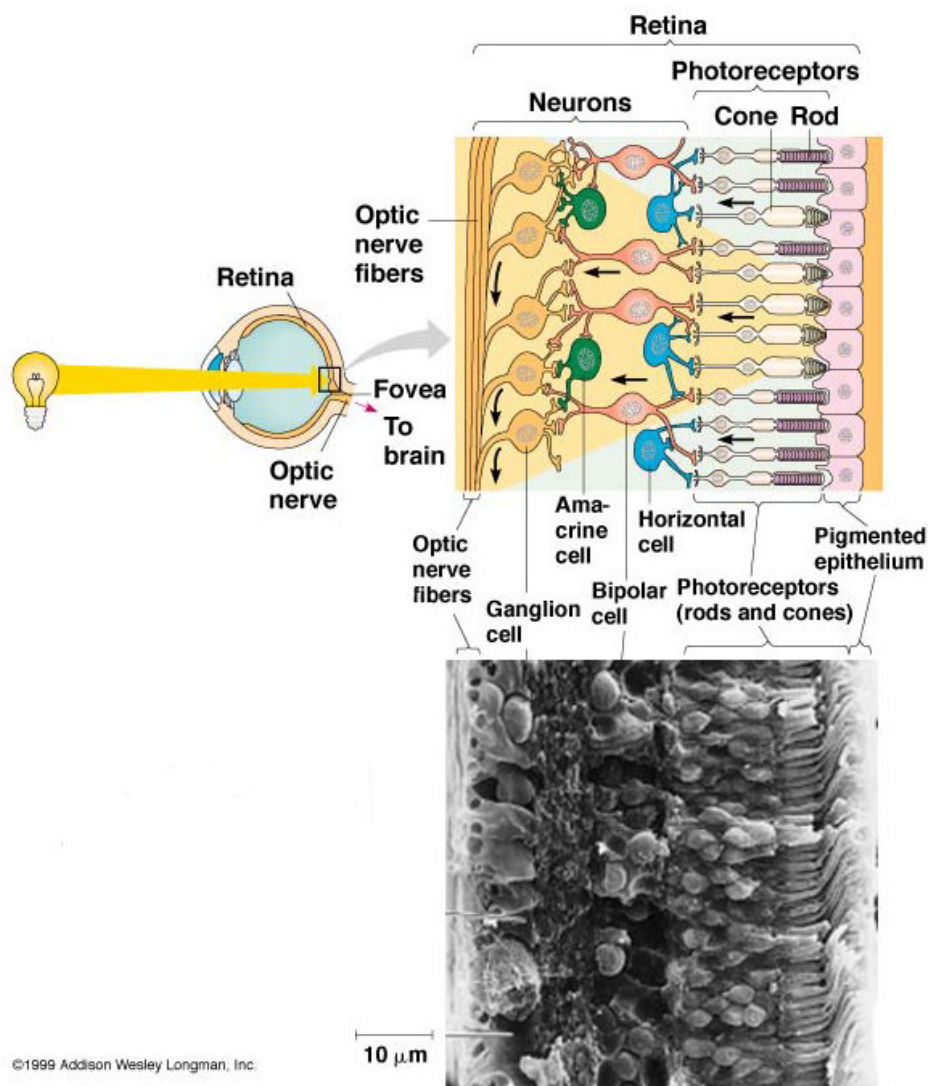
Централна оштрина вида је од великог значаја за рад на близину. Одређивање оштрине вида на близину врши се углавном у циљу одређивања корективних наочара за рад на одређеној блиској дистанци код дефицита акомодације. При испитивању оштрине вида на близину треба имати у виду да миоза код гледања на близину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

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.

### **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 (630-700 nm), зелене (510-520 nm) и плаве (400-450 nm). 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 део 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 (слика 1.)(16).





Слика 1. Слојеви ретине

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 чепаћима, а сваки видни пигмент садржи интегрални мембрански апопротеин уграђен у хромофор, *11-cis* ретинал. Родопсин или видни пурпур је спој протеина скотопсина и каротидног пигмента ретинала названа *11-cis* ретинал. *Cis*-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. *Cis* облик ретинала се претвара у *all-trans* облик, који још увек има исту хемијску грађу као и *cis* 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-a*. Први стадијум поновног стварања родопсина је претварање *all-trans-retinala* у *11-cis*-ретинал. Када се *11-cis* 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 570 nm). 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 nm 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 наслеђује 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 онда се не може разликовати једна боја од друге. Уколико на пример недостају црвени чепићи, светлост таласне дужине од 525 nm-625 nm може надражити само чепиће осетљиве на зелену боју. Нераспознавање црвене и зелене боје су чешћи за разлику од нераспознавања за плаву боју, јер су чепићи 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 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, ергоофталмолошког 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 *Nagel*-ов 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. *Ishihara* 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). У употреби је *Ishihara* тест који 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. 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).

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 *Веуне*-овој лантерни ради боље имитације набројаних природних услова. Тест је поуздан за издвајање трихомата од особа са тежим поремећајем у распознавању боја, али није поуздан у дијагностици врсте испада и процени његове тежине. Тест егализације

користи спектралне боје. Овим тестом добија се квантитативна и квалитативна анализа 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 то су пилоти који су способни за летачки позив. Испитаници 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).

*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*). *M. 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 4 mm и више, средње широка и уска (миотична) када је дијаметар до 2 mm. Просечна ширина пупиле је око 3 до 5 mm. 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 – *Bumke*. 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 тонууса *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. oculomotorius* 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 и хумани 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 центрфугама 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 (+Gz оптерећење) и симулира услове висинских летова (снижен атмосферски притисак) са постепеном или изненадном променом кабинске висине (експлозивна компресија). Конструкција уређаја омогућава максимално убрзање до +30Gz али при раду са људима убрзање које се задаје је до +9Gz, а са техничким материјалом до +25Gz. Кабина (гондола) се може ротирати око сопствене осе у циљу испитивања физиолошког ефекта убрзања. 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° у кабини се налази и камера као и светлосни сигнали (лампице) за праћење ширине видног поља.

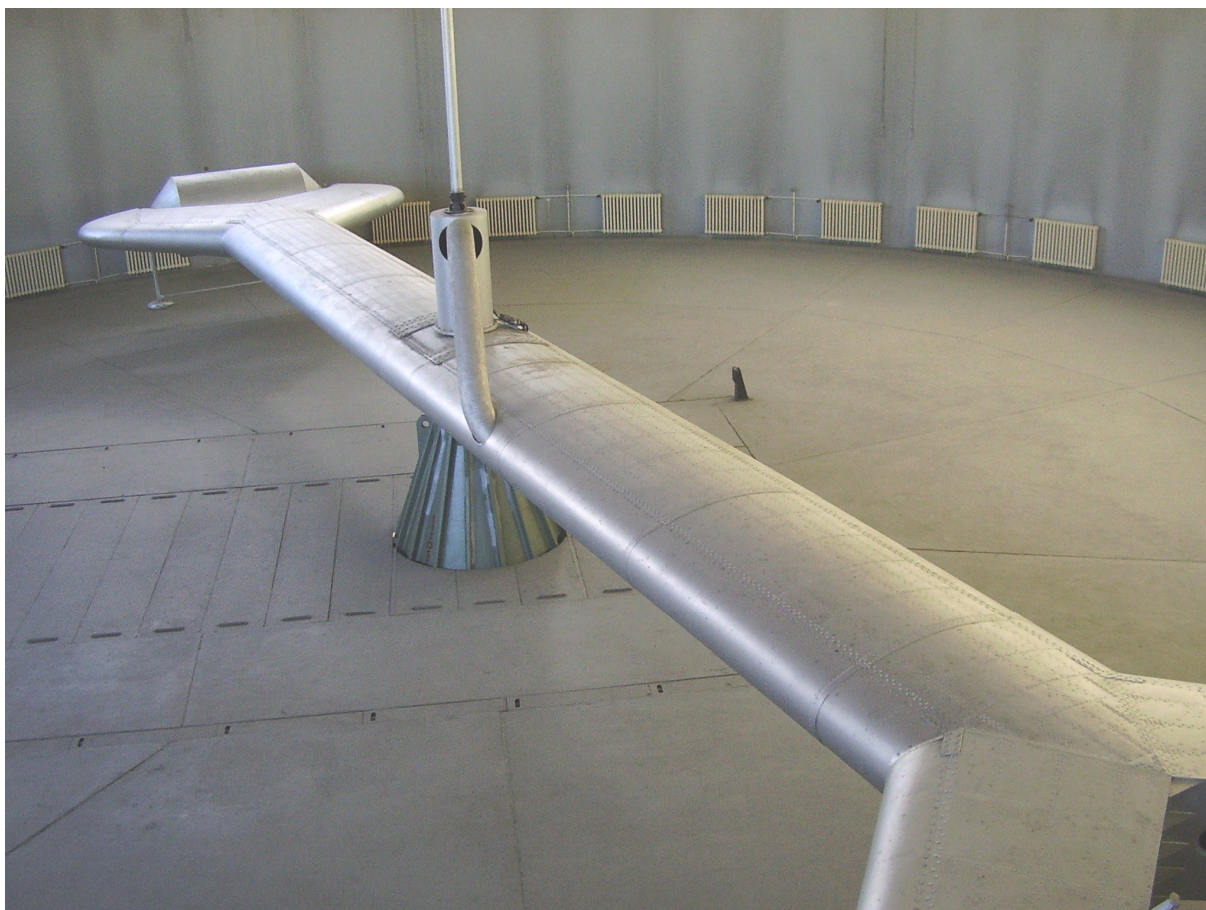
Намена хумане центрифуге је следећа:

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 (слика 2.). Величина кракова је 9 m 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 35 G (z, x, y) са максималним прирастом убрзања од 1 G/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 захваљујућу томе можемо да одаберемо кандидате који ће уз максималну борбену ефикасност моћи да лете на одређеним типовима ваздухоплова (47).



Слика 2. – Хумана центрифуга

У кабини се такође налази ручица коју испитаник држи током испитивања. Уколико дође до испуштања ручице укључује се аларм за прекид рада. Овај аларм сигнализира да се нешто дешава ван стандардних процедура или да нешто није у реду са испитаником. На врху ручице је прекидач за сигнализацију реакције испитаника на светлосни подражај које дају лампице. 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 показују 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 се читава на командном пулту на дигиталном дисплеју програматора где се може испрограмирати дужина 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). Један од тестова који се могу изводити је **тест линеарног нарастања убрзања**. 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 (Слика 3.).

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 +4Gz 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 +5,5Gz убрзању без одела.

Убрзање се у центрифуги математички дефинише на основу формуле

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

$a_c$  - убрзање +Gz,

$v$  - кружна брзина (m/s),

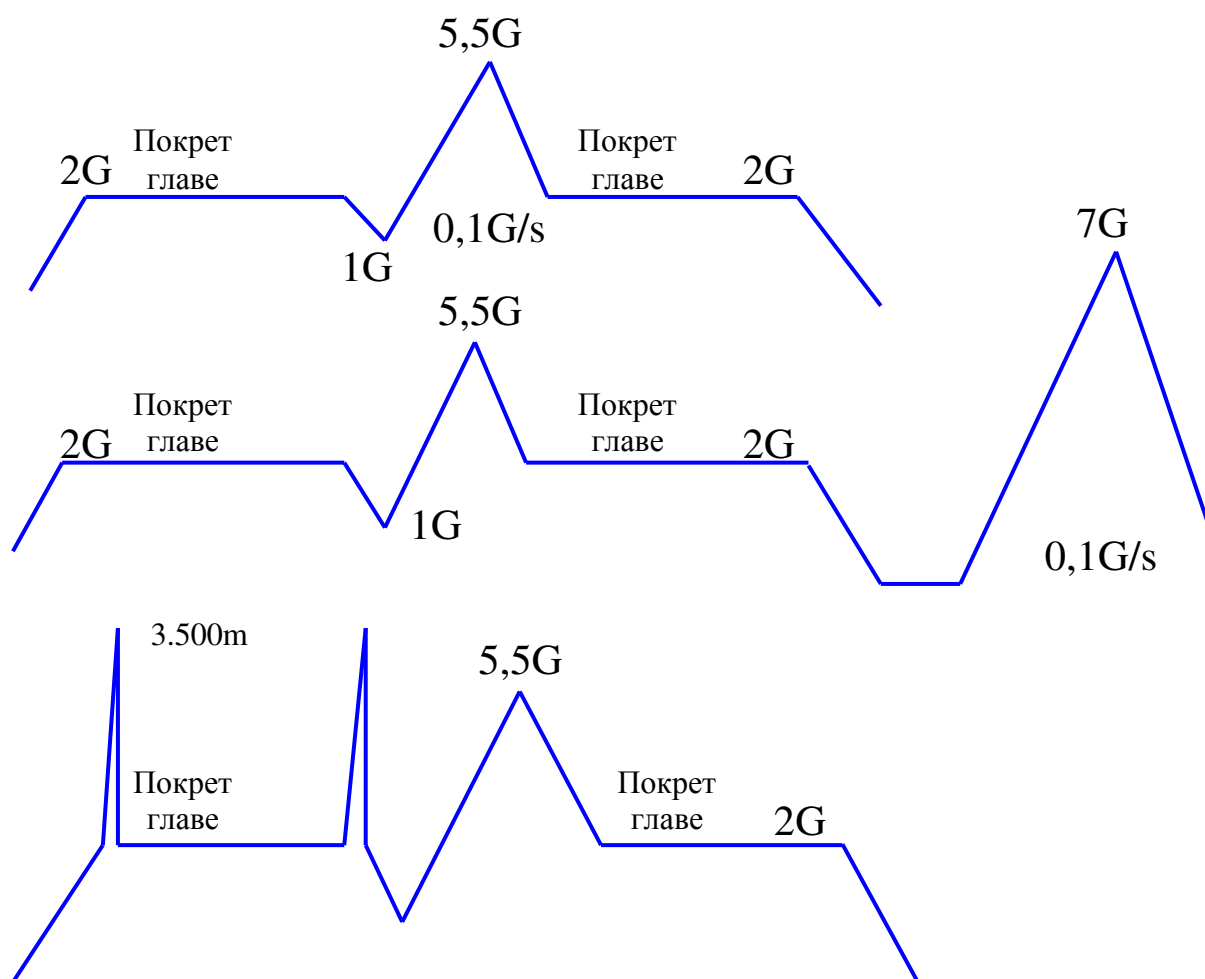
$g$  - гравитациона константа  $9,81\text{m/s}^2$  на квадрат и

$r$  - 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 +5,5Gz, израчунава се на следећи начин:

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



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 (пораст 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

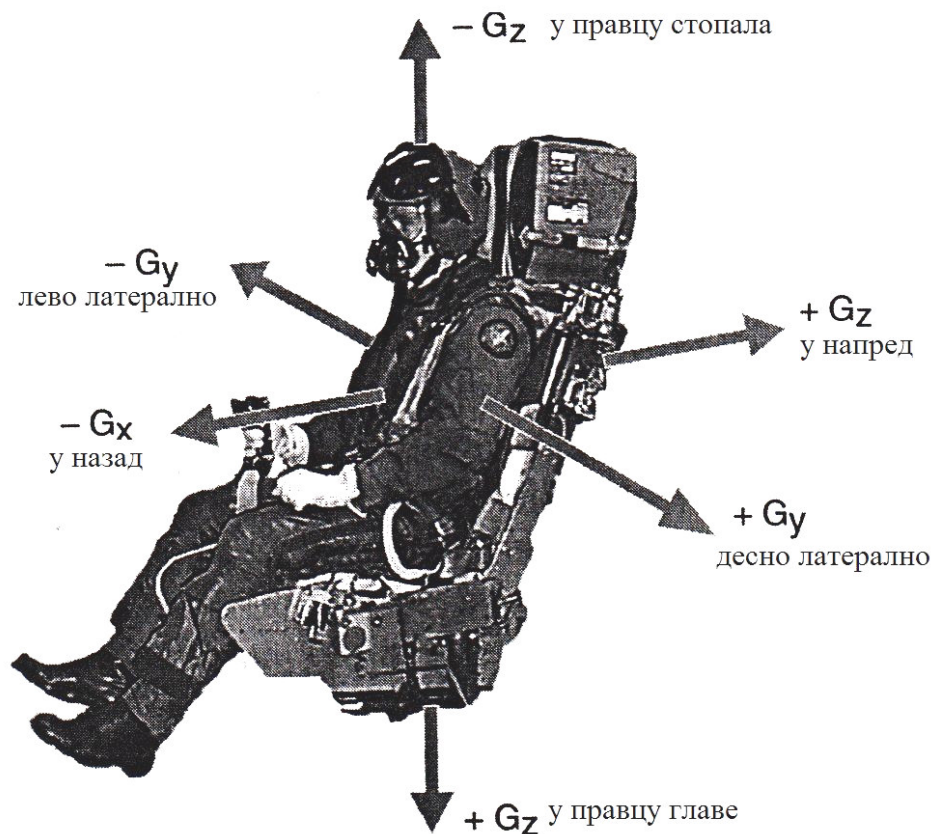
Када је степен пораста убрзања велики организам нема времена да укључи компензаторне механизме, па поремећаји могу да настану нагло без претходних знакова које организам сигнализира.

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. 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.)



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 30 cm хидростатског стуба између срца и мозга који је одговоран за 22-25 mmHg разлике у крвном притиску између срца и мозга за сваких +1 Gz 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 ВиПВО који лете на надзвучним авионима треће, четврте и пете генерације, могу бити изложени високим вредностима +Gz оптерећења и током својих редовних летачких задатака. Најосетљивији део организма на позитивно убрзање је кардиоваскуларни систем. Крв као течност се премешта и 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 централне ретиналне артерије (*arteria centralis retinae*). Интраокуларни притисак нормално износи 22 mmHg и да би крв циркулисала у ретини притисак у ретиналној артерији мора бити изнад 20 mmHg како би се одржао проток крви. При излагању позитивном убрзању притисак на нивоу ока се смањује за око 22 mmHg 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 централној 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 *a. centralis retine* 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 22 mmHg. 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 4-6 s 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 попуне и порасте притисак у ретиналној артерији изнад 20 mmHg. "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 чепића и штапића), као и стратум ганглионаре ретине (65). Највећа убрзања која човек може да

---

издржи су трансверзална  $+G_z$  и  $-G_z$  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 надолазећи 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 60 mmHg до 180 mmHg. 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. Хипервентиација 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 (78). 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 +9Gz, 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  $30^{\circ}$  као и подизање ногу што помаже смањењу повлачења крви у вене ногу и показало се корисно у кабини авиона. Нагиб од  $65^{\circ}$  може значајно да побољша толеранцију на +Gz убрзање, али је због знатног смањења видног поља неприхватљиво за борбене авиона. Повећањем нагиба седишта преко  $65^{\circ}$  у односу на вертикалну осу +Gz оптерећење се знатно лакше подноси (79).

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.

Интраторакални 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 30 mmHg. 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 60-70 mmHg (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 ексиријумом и снижењем фреквенције, знаци су који иду у прилог болести кретања. Барорецепторски рефлекс и његова осетљивост или неосетљивост која се процењује посредно преко P-P интервала у ms, пресудан је параметар у процени успешности одбрамбеног механизма на +Gz убрзање и прати се све време током извођења теста EM. Фреквенција срчаног рада у односу на P-P интервал која ће се сматрати повољном, током извођења теста није испод 80 у минути ни већа од 150 у минути (73). 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 (77). 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 систолног крвног 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 преваленцу 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 +7Gz
2. Група студената пилота, у којој је било 30 студената и који су излагани убрзању од +5,5Gz

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 температуре, инфекција горњих респираторних путева 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 95 mmHg, систолни ТА 150 mmHg,
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 165 mmHg
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.

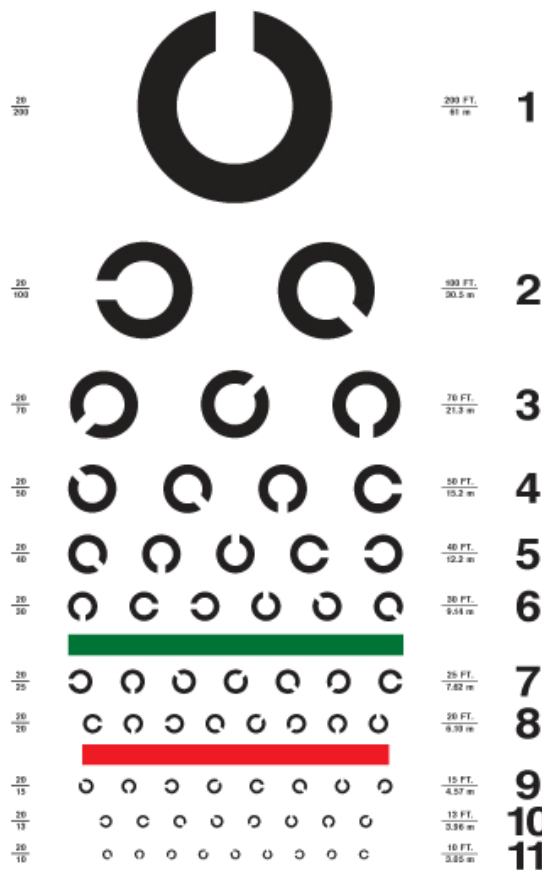
11. Испитаници који су били подвргнути индивидуалним дијагностичким третманима зависно од налаза специјалисте.
12. Испитаници који се жале на осећај било каквог бола у телу.

### 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 бисмо валидне показатеље за квалитетнију селекцију кандидата, будућих пилота.

#### 3.5.1. Испитивање оштрине вида на даљину – оптотип по *Landolt-y*

Испитивање оштрине вида одређивали смо субјективном методом оптотипом по *Landolt-y* (слика 5.). Испитивање је вршено монокуларно, прво десно, а затим лево око на удаљености 6 m од оптотипа (директна метода провере видне оштрине). Задатак пилота који су испитивани је био да покажу у ком правцу је окренут отвор на приказаном прстену (латинично слово Ц – "C"), почев од највећег ка најмањем. 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 60 m, до најмањих које уочава на даљини од 6 m. Оштрина вида је изражавана као децималан број. Ако је оштрина вида нормална, пилот види десети ред на оптотипу и то се изражава као 1,0.



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 *Jaeger 3*. 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 30 cm 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 30 cm (*Jaeger* таблице)

### 3.5.3. Испитивање колорног вида – *Ishihara* таблице

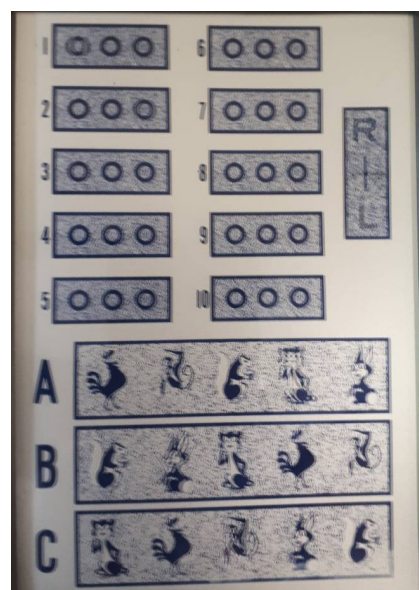
У нашем истраживању користили смо псеудоизохроматске таблице *Ishihara* са 38 страница што представља најновији тест из 1994. године и чији је принцип и методологија исти као код теста са 24 страна, само је распоред фигура другачији и убачене су и нове фигуре. Имали смо у виду да су сви пилоти прошли 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 3-5 s, 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 (слика 6.). Испитивање се вршило тако што се тест поставља на растојање од око 40 cm од пилота. Испитивање се 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 стерео-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. *Randot* тест

### 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 центрифугу и одмах након изласка. 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).

Пре испитивања на центрифуги 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 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.

Температура у кабини центрифуге (гондоли) у којој се вршило испитивање било је 20°-22° С, а влажност ваздуха око 55%. У кабини се налази и палица са прекидачима—једна мала полуга 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 “*Ampex*” 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 сметњи. 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 извођење ЕКГ-а, бистернално за праћење рада срца у биодинамичком кретању. 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**. Испитивање је вршено по групама од по 5 до 7 испитаника по дану.

**Тест линеарног нарастања убрзања** код обе групе испитаника изводи се линеарним нарастањем убрзања до +5,5Gz без анти-G заштите са прирастом убрзања од 0,1G/s. Прво се ради испитивање са излагањем од +2Gz до +5,5Gz 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 +2Gz 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 +5,5Gz на +2Gz. Током нарастања убрзања од +2Gz до +5,5Gz 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 +5.5Gz. 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  $-24^\circ$ . 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  $45^\circ$  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  $45^\circ$ , неутрални положај, глава на лево раме под  $45^\circ$ , 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  $0,1G/s$ , до достизања максималног убрзања од +5.5Gz. 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 достизања платоа од +2Gz, где одмах по достизању +2Gz 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 +7Gz 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 +5,5Gz убрзању пилоти излажу убрзању од +7Gz 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. Електроде су лепљене на коштаном делу, стернуму и ребрима, због треперења мишића које у условима оптерећења +Gz може дати сметње, које онемогућавају читавање сигнала. За сваки сет коришћен је један "Coupler 9857-A". Добијени сигнали су одговарали стандардном одводу Д2. За снимање фреквенције и амплитуде дисања коришћен је *sensormedics thermistor* серије 400, који се поставља испод испитаника. Фреквенција пулса је регистрована помоћу "Coupler 9857-A" који је примао сигнал спојницом из ЕКГ "Coupler 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-u 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 *Hornig* 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 *Pirson*-ов  $\chi^2$  тест (таблице контингенције).

Избор тестова за анализу нумеричких обележја посматрања зависио је од природе њихове расподеле која је испитивана коришћењем *Koglomorov-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 *Fridman*-ов тест код расподеле података различите од нормалне. Код поређења између два времена мерења, коришћен је *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

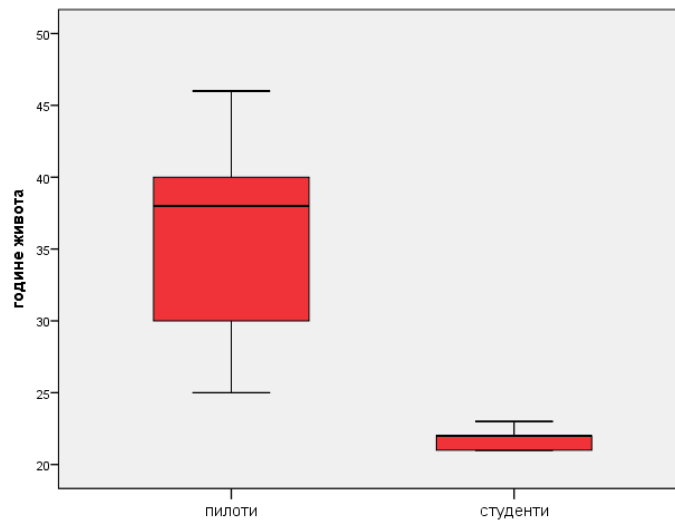
У истраживању је учествовало укупно 95 испитаника. Сви испитаници су мушког пола. Подељени су у две групе. Прву групу чине студенти пилоти, а другу пилоти борбене авијације. У првој групи било је 30, а у другој 65 испитаника. Анализирали смо: старост, телесну тежину, висину, БМИ, сате налета и дужину 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 <sup>†</sup>
	Студенти	Пилоти БА**	
Старост	21,70±0,70 (22; 21-23)	35,63±7,02 (38; 25-46)	<sup>a</sup> $p=0,000^*$
Тежина (kg)	68,23±1,61 (69; 65-70)	79,00±5,45 (80; 70-88)	<sup>a</sup> $p=0,000^*$
Висина (cm)	172,43±3,67 (175; 167-176)	173,57±3,07 (173; 169-186)	<sup>a</sup> $p=0,461$
БМИ	22,96±0,55 (22,60; 22,53-24,02)	26,19±1,12 (26,12; 24,22-28,09)	<sup>a</sup> $p=0,000^*$
Сати налета	26,83±6,50 (25; 20-400)	469,86±372,49 (380; 130-2260)	<sup>a</sup> $p=0,000^*$
Дужина летачког стажа	2,13±0,0,73 (2;1-3)	15,74±7,05 (18; 5-26)	<sup>a</sup> $p=0,000^*$

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>Mann Whitney U тест, \*\* БА (борбена авијација)

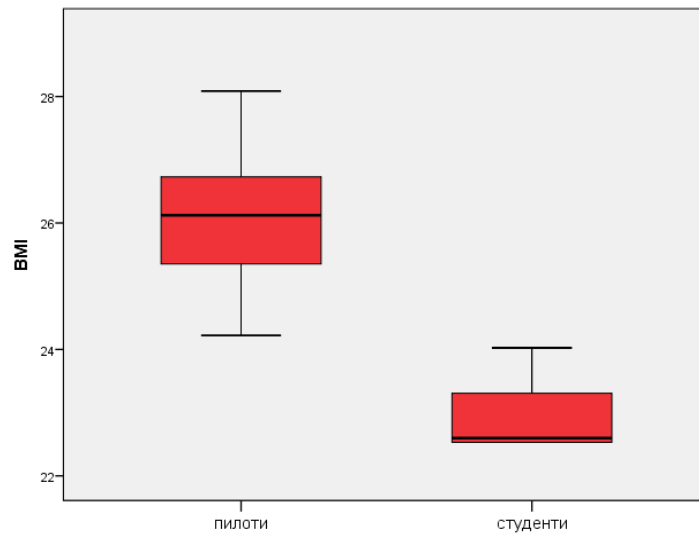
Студенти су били статистички значајно млађи од пилота (Графикон 1). Просечна старост пилота била је  $35,63 \pm 7,02$  година са медијаном од 38 година и распоном броја година од 25 до 46. У групи студената, просечна старост испитаника била је  $21,70 \pm 0,70$  година, са медијаном 22 године, најмлађи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

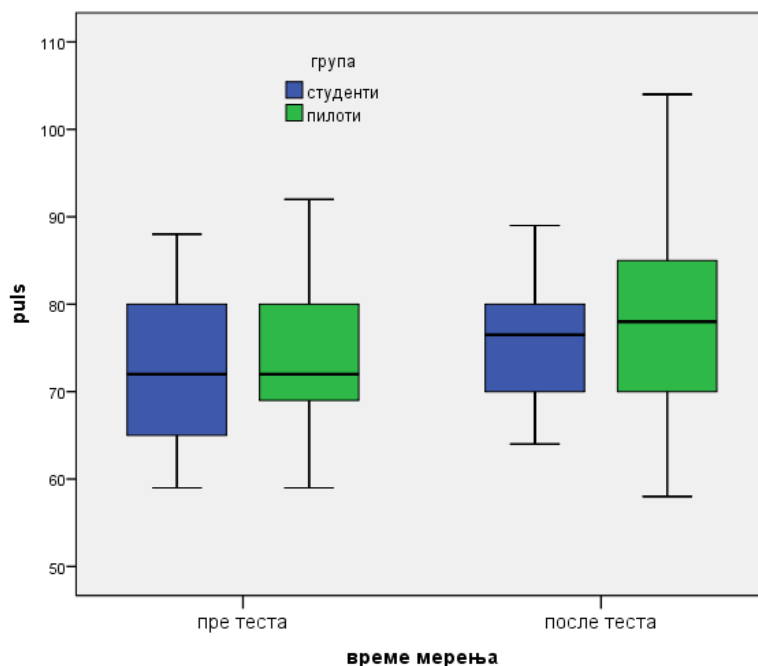
Према мереним вредностима пулса није уочена статистички значајна разлика у вредностима пулса, између студената и пилота борбене авијације, ни пре ( $p=0,579$ ), ни после урађеног Теста линеарног нарастања убрзања ( $p=0,51$ ) (Табела 2).

Табела 2. Хемодинамски параметри-пулс

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

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup>пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U test; <sup>b</sup>t-тест за везане узорке; <sup>c</sup>Wilcoxon-ов тест

Статистички значајан пораст пулса забележен је 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 +5,5Gz 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

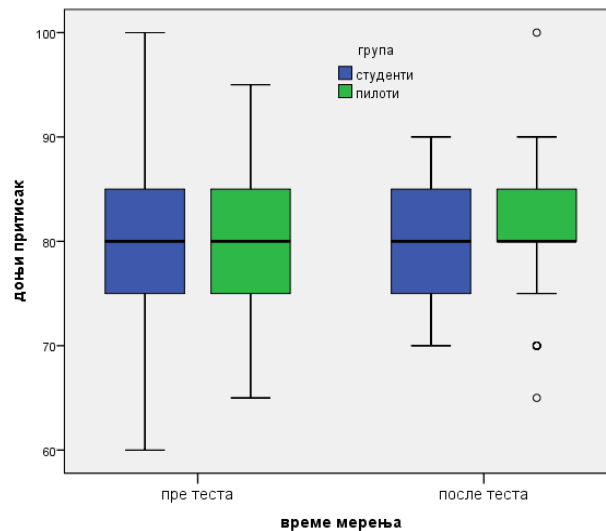
Вредности дијастолног притиска измерене пре и после теста линеарног нарастања убрзања нису се статистички значајно разликовале између пилота борбене авијације и студената (Табела 3).

Табела 2. Хемодинамски параметри - систолни и дијастолни притисак

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

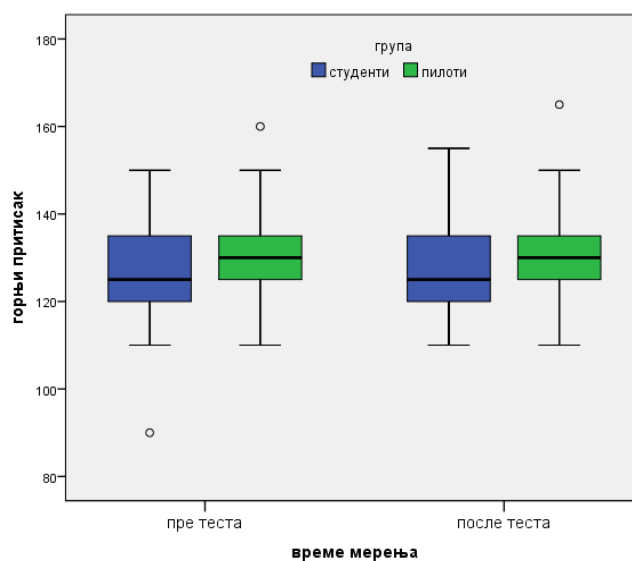
\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup> пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U test; <sup>b</sup>t-тест за везане узорке; <sup>c</sup>Wilcoxon-ов тест

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 теста 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

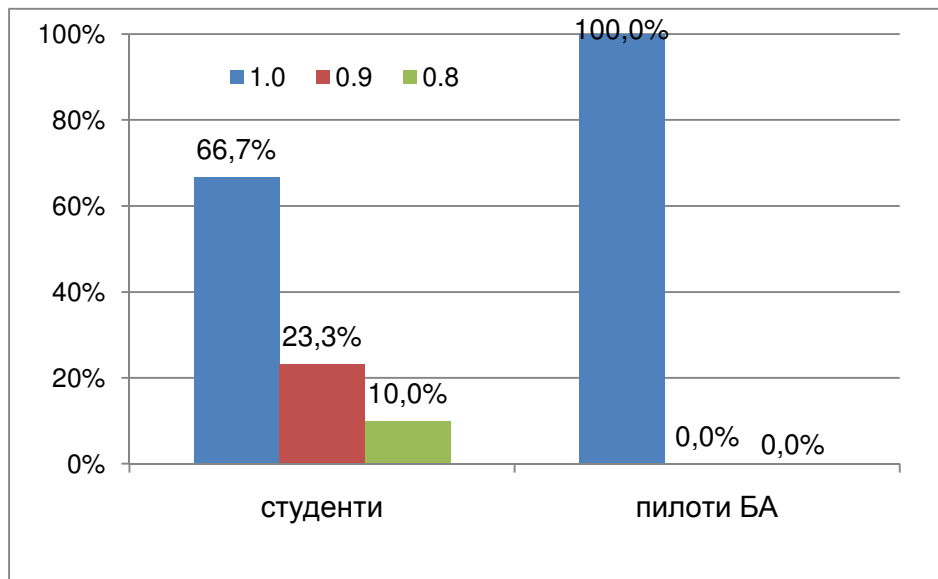
Оштрина вида на даљину 1.0 забележена је код свих испитаника и у групи студената и у групи пилота борбене авијације пре теста, табела 4. Између посматраних група испитаника после теста линеарног нарастања убрзања уочена је статистички значајна разлика у оштрини вида ( $p=0,000$ ) (Табела 4).

Табела 4. Параметри вида

Посматрани параметри вида	Посматране групе испитаника		Значајност <sup>†</sup>	
	$X \pm SD$ (Med, min-max) / n (%)			
	Студенти	Пилоти БА		
пре теста	1.0	30 (100%)	65 (100%)	/
Оштрина вида на даљину	0.8	3 (10,0%)	0 (0%)	<sup>c</sup> $p=0,000^*$
после теста	0.9	7 (23,3%)	0 (0%)	
	1.0	20 (66,7%)	65 (100%)	
Значајност <sup>#</sup>		<sup>c</sup> $p=0,002^*$	/	
пре теста	1.0	30 (100%)	65 (100%)	/
Оштрина вида на близину	0.5	0 (0%)	2 (3,1%)	<sup>c</sup> $p=0,332$
после теста	1.0	30 (100%)	63 (96,9%)	
Значајност <sup>#</sup>		/	<sup>c</sup> $p=0,154$	

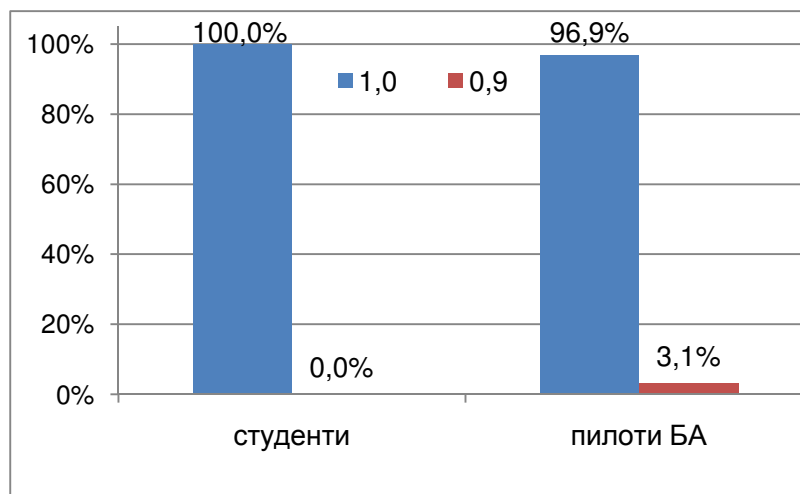
\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup> пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U тест; <sup>b</sup>Fridman-ов тест; <sup>c</sup> $\chi^2$ -тест

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 преостали 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).

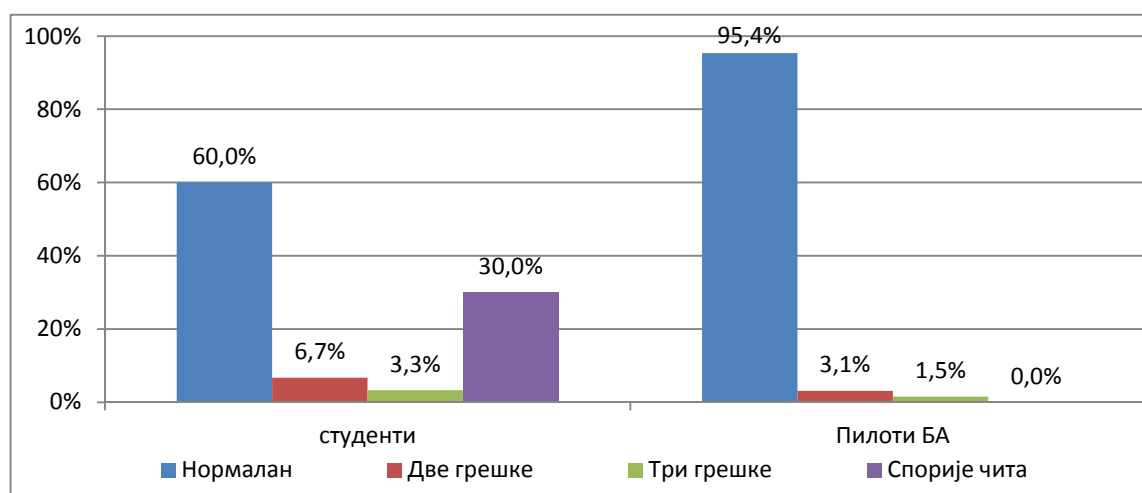
Табела 5. Параметри вида - колорни вид

Посматрани параметри вида		Посматране групе испитаника		Значајност <sup>†</sup>	
		$\bar{X} \pm SD$ (Med, min-max) / n (%)			
		Студенти	Пилоти БА		
Колорни вид	Пре теста	Нормалан	30 (100%)	65 (100%)	<sup>c</sup> $p=0,000^*$
		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 <sup>#</sup>		<sup>c</sup> $p=0,001^*$	<sup>c</sup> $p=0,102$		

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup> пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U тест; <sup>b</sup>Fridman-ов тест; <sup>c</sup> $\chi^2$ -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

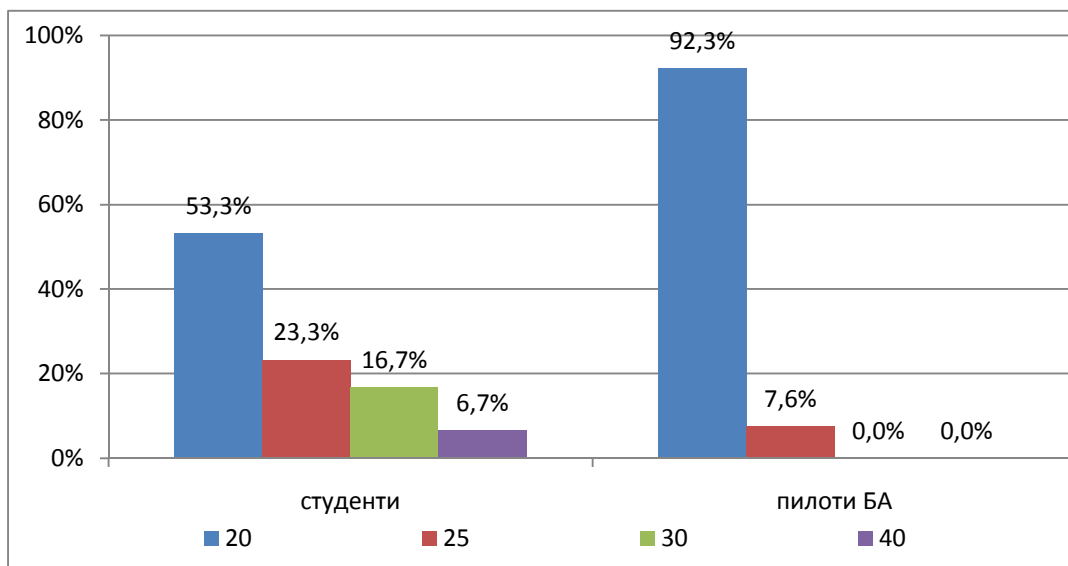
Пре теста сви испитаници из обе анализирание групе студената и пилота борбене авијације су имали нормалан (20) стерео вид. После теста линеарног нарастања убрзања уочена је статистички значајна разлика у стерео виду између посматраних група испитаника ( $p=0,000$ ) (Табела 6).

Табела 6. Параметри вида - стерео вид

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

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup>пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U тест; <sup>b</sup>Fridman-ов тест; <sup>c</sup> $\chi^2$ -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  $25^\circ$ . У групи студената нормалан стерео вид после теста имало је нешто више од половине испитаника, њих 53,3%, 23,3% имало је стерео вид  $25^\circ$ , 16,7% испитаника имало је после теста промењен стерео вид на  $30^\circ$ , а 6,7% на  $40^\circ$  (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

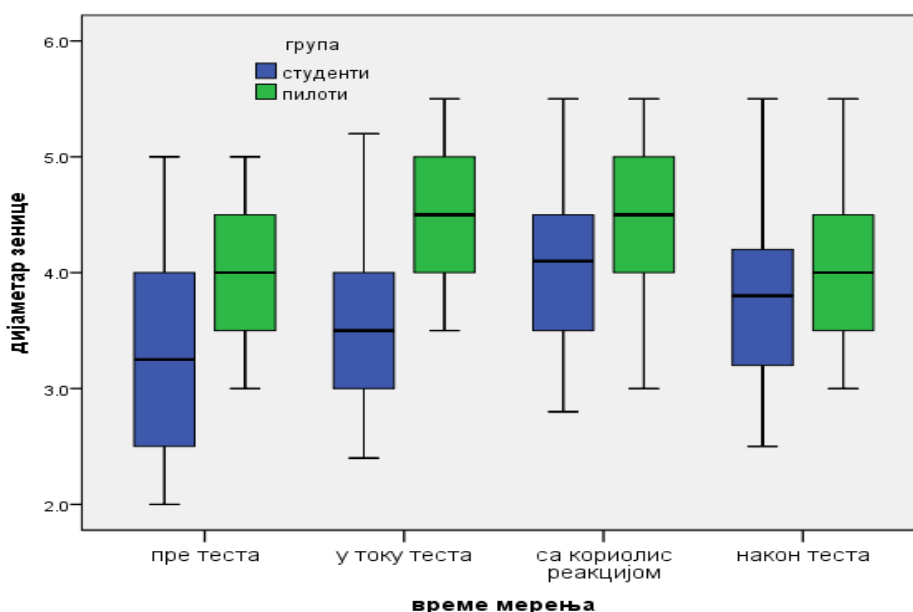
Између студената и пилота борбене авијације уочена је статистички значајна разлика у дијаметру зеница у свим посматраним временима мерења: пре теста линеарног нарастања убрзања, током теста, са кориолис реакцијом и након теста ( $p=0,000$ ) (Табела 7).

Табела 7. Параметри вида - дијаметар зенице

Посматрани параметри	Посматране групе испитаника X±SD (Med, min-max) /n (%)		Значајност <sup>†</sup>
	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) <sup>a</sup> 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) <sup>a</sup> 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) <sup>a</sup> 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) <sup>a</sup> p=0,022*
Значајност <sup>#</sup>		<sup>b</sup> p=0,000*	<sup>b</sup> p=0,000*

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између студената и пилота борбене авијације; <sup>#</sup> пре vs после теста унутар посматраних група испитаника; <sup>a</sup>Mann Whitney U тест; <sup>b</sup>Fridman-ов тест; <sup>c</sup>χ<sup>2</sup>-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	
	ЕхрВ (95% CI ЕхрВ)	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, (утрунености 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% CI, 2,217-10,136) ( $p=0,000$ ), дијаметар зеница у току теста (ЕхрВ 5,689, 95% CI, 2,559-12,647) ( $p=0,000$ ), дијаметар зеница са кориолис реакцијом (ЕхрВ 2,889 95% CI, 1,457-5,726) ( $p=0,002$ ), дијаметар зеница после теста (ЕхрВ 2,371, 95% CI, 1,180-4,763) ( $p=0,015$ ), и стерео вид после теста (ЕхрВ 0,677 95% CI, 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% CI, 2,659-50,684) ( $p=0,001$ ), дијаметар зеница са кориолис реакцијом (ЕхрВ 0,00, 95% CI, 0,000-0,075) ( $p=0,010$ ), дијаметар зеница после теста (ЕхрВ 0,00, 95% CI, 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% CI 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

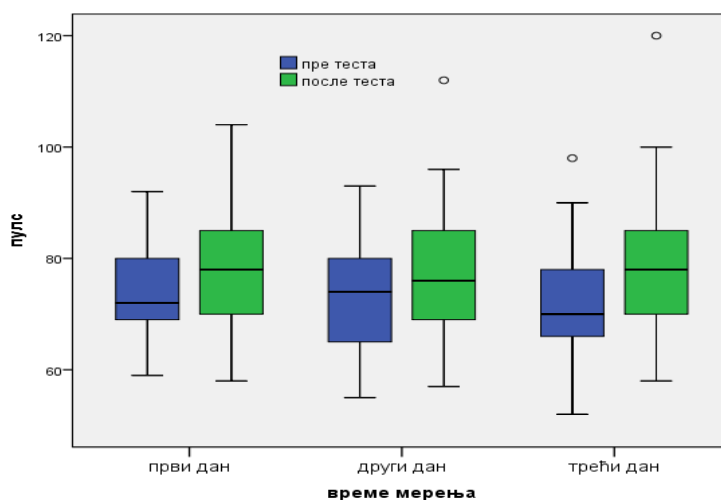
Пилоти борбене авијације тестирани су првог дана тестом линеарног нарастања убрзања, другог тестом толеранције на убрзање и трећег тестом интермитентног нарастања убрзања. Није уочена статистички значајна разлика у вредностима пулса мереним пре извођења теста, током тродневног периода тестирања ( $p=0,633$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

Табела 11. Хемодинамски параметри - пулс

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

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup> између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>RM ANOVA; <sup>b</sup>t-тест за везане узорке; <sup>c</sup>Wilcoxon-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

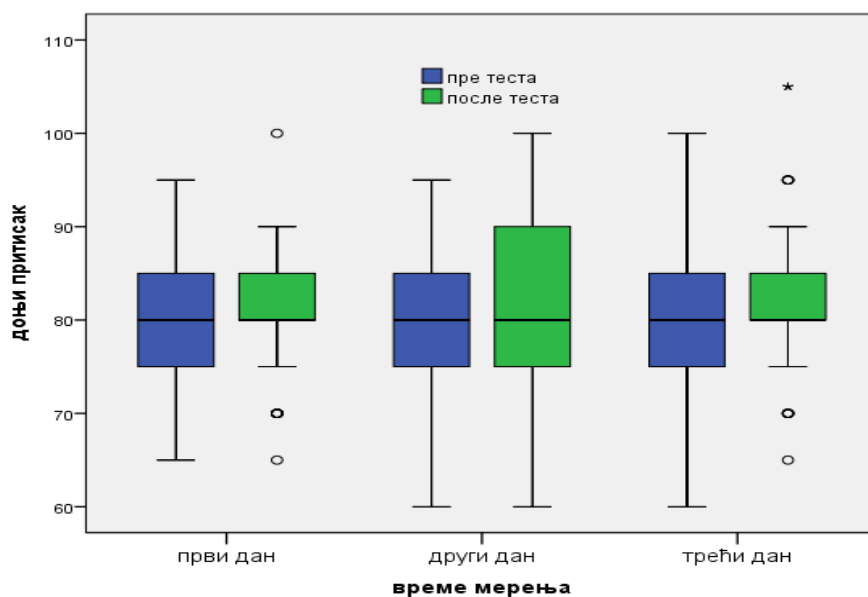
Током три дана праћења, није уочена статистички значајна разлика у вредностима дијастолног притиска измереним пре теста ( $p=0,185$ ) (Табела 12). Статистички значајна разлика у вредностима дијастолног притиска није уочене ни после теста а мереним првог, другог и трећег дана ( $p=0,365$ ) (Табела 12). 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 $\bar{X} \pm SD$ (Med, min-max)		први дан	други дан	трећи дан	Значајност <sup>†</sup>
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)	<sup>b</sup> $p=0,185$
	После теста	81,69±6,86 (80; 65-100)	80,23±9,41 (80; 60-100)	82,23±7,86 (80; 65-105)	<sup>b</sup> $p=0,365$
	Значајност <sup>#</sup>	<sup>c</sup> $p=0,027^*$	<sup>c</sup> $p=0,291$	<sup>c</sup> $p=0,428$	
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)	<sup>b</sup> $p=0,027^*$
	После теста	130,31±9,96 (130; 110-165)	127,08±8,52 (125; 105-155)	128,69±8,26 (130; 110-155)	<sup>b</sup> $p=0,026^*$
	Значајност <sup>#</sup>	<sup>c</sup> $p=0,793$	<sup>c</sup> $p=0,288$	<sup>c</sup> $p=0,031^*$	

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup> између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>RM ANOVA; <sup>b</sup>t-тест за везане узорке; <sup>c</sup>Wilcoxon-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).

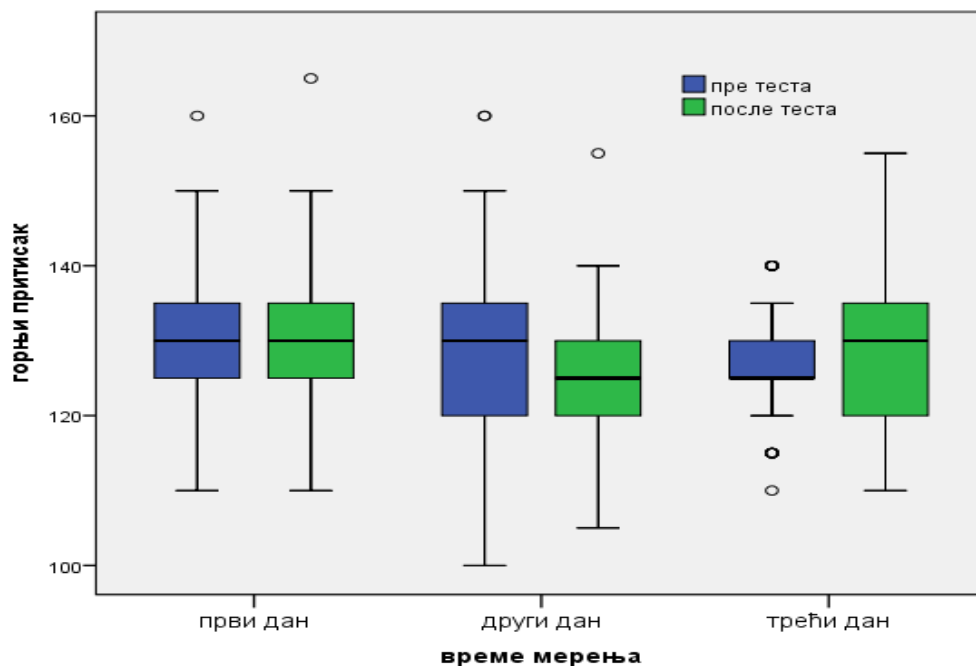
Међугрупним поређењем статистички значајна разлика уочена је између вредности систолног притиска измереним пре теста, првог и трећег дана и то тако да су вредности систолног притиска пре теста измерене првог дана биле статистички значајно веће од вредности систолног притиска измерене трећег дана ( $p=0,018$ ) (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	$p=0,125$
	трећи дан	$p=0,163$

\*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 <sup>†</sup>	
	X±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)	<sup>a</sup> 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)	<sup>a</sup> 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)	<sup>a</sup> 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)	<sup>a</sup> p=0,412
Значајност <sup>#</sup>		<sup>a</sup> p=0,000*	<sup>a</sup> p=0,000*	<sup>a</sup> p=0,000*	

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup>између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>Fridman-ов тест; <sup>b</sup>χ<sup>2</sup>-тест; <sup>c</sup>Mc 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).

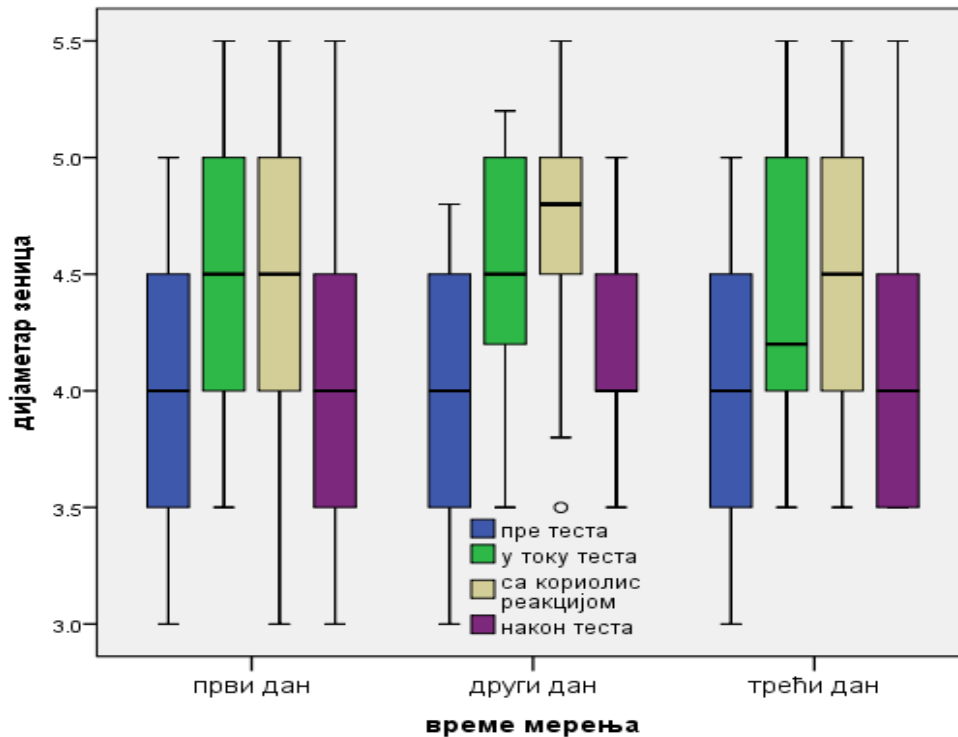
Табела 15. Међугрупна поређења дијаметра зенице пре и после теста, током тродневног периода праћења

Дијаметар зеница		Време мерења		
		Пре теста	У току теста	Са кориолис реакцијом
Први дан	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*
Други дан	У току теста	p=0,000*		
	Са кориолис реакцијом	p=0,000*	p=0,000*	
	Након теста	p=0,000*	p=0,000*	p=0,000*
Трећи дан	У току теста	p=0,000*		
	Са кориолис реакцијом	p=0,000*	p=0,000*	
	Након теста	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

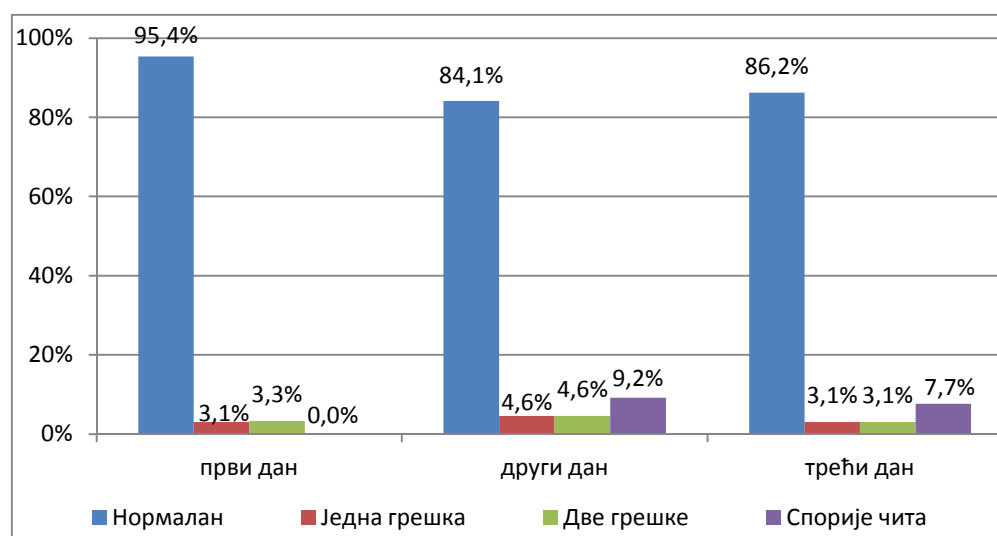
Пре теста и током посматрана три дана мерења, сви испитаници имали су нормалан колорни вид (Табела 16). Статистички значајна разлика у колорном виду после теста, није уочена између посматрана три дана мерења (Табела 16). Првог дана мерења није уочена статистички значајна разлика у колорном виду пре и 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 <sup>†</sup>	
		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%)	<sup>b</sup> 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 <sup>#</sup>	<sup>b</sup> p=0,215	<sup>b</sup> p=0,004*	<sup>b</sup> p=0,022*	

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup>између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>Fridman-ов тест; <sup>b</sup>χ<sup>2</sup>-тест; <sup>c</sup>Mc 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).



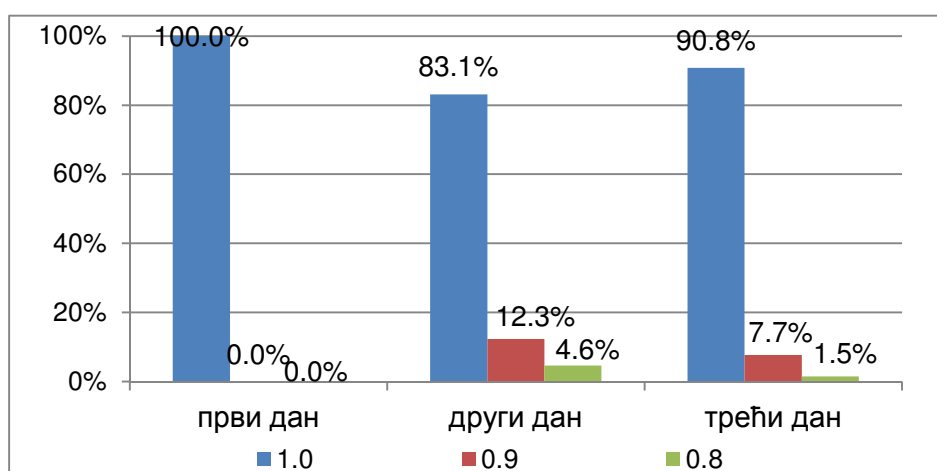
Графикон 15. Колорни вид пре и после теста, током посматраних времена мерења

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 <sup>†</sup>			
	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%)		
		0.9	0 (0%)	8 (12,3%)	5 (7,7%)		<sup>b</sup> p=0,017*
		1.0	65 (100%)	54 (83,1%)	59 (90,8%)		
Значајност <sup>#</sup>		/	<sup>b</sup> p=0,002*	<sup>b</sup> p=0,043*			
Оштрина вида на близину	Пре теста	1.0	65 (100%)	65 (100%)	65 (100%)	<sup>c</sup> p=0,332	
	После теста	0.5	2 (3,1%)	3 (4,6%)	1 (1,5%)		
		1.0	63 (96,9%)	62 (95,4%)	64 (98,5%)		
		Значајност <sup>#</sup>		<sup>b</sup> p=0,154	<sup>c</sup> p=0,080		<sup>c</sup> p=0,315

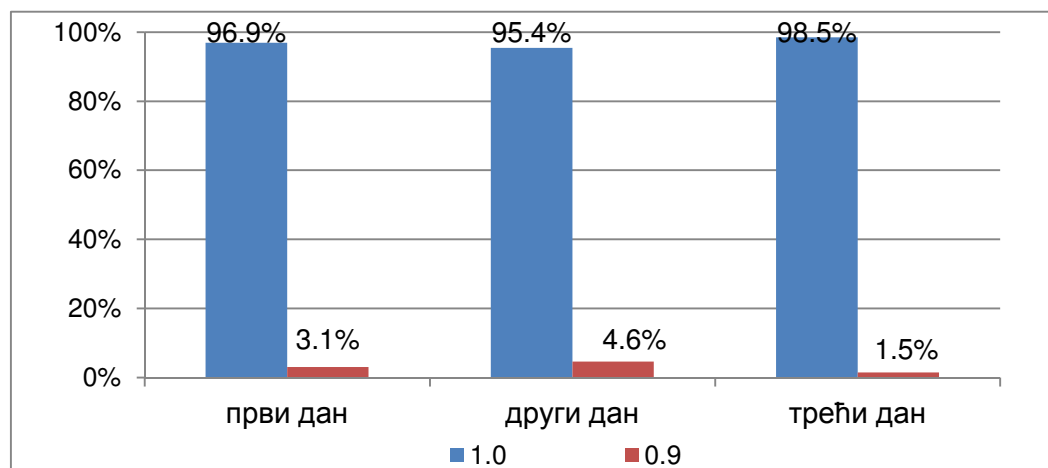
\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup>између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup>између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>Fridman-ов тест; <sup>b</sup>χ<sup>2</sup>-тест; <sup>c</sup>Mc Nemar-ов тест



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

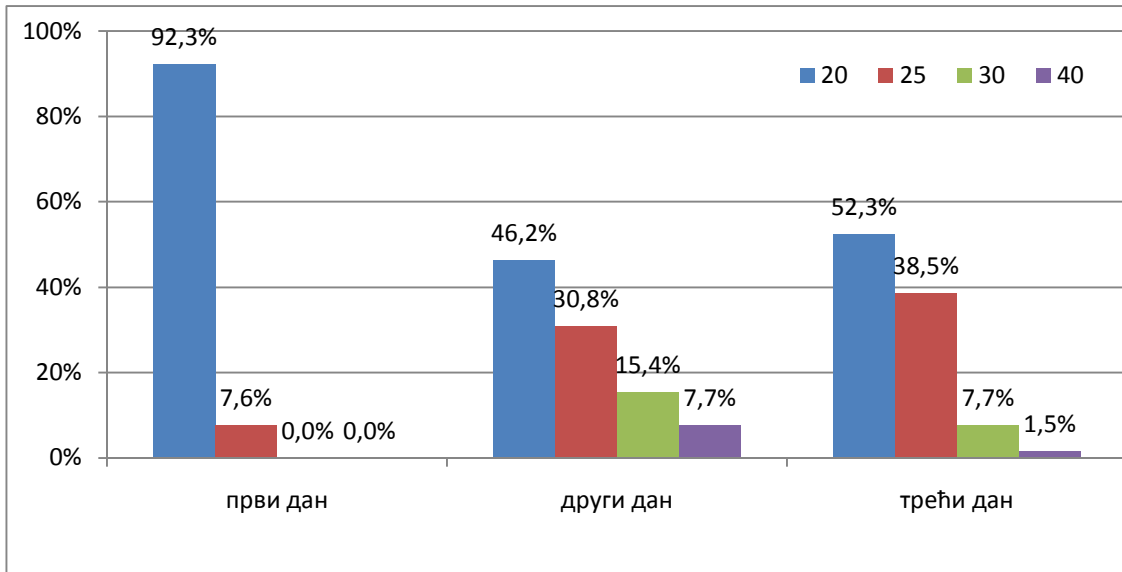
Пре теста, током посматрана три дана мерења, сви испитаници имали су нормалан стерео вид (Табела 8). И првог, другог и трећег дана, запажена је статистички значајна промена стерео вида после теста (Табела 18).

Табела 18. Параметри вида - стерео вид

Посматрани параметри	Време тестирање			Значајност <sup>†</sup>		
	X±SD (Med, min-max)/n (%)					
	први дан	други дан	трећи дан			
Стерео вид	Пре теста	20	65 (100%)	65 (100%)	65 (100%)	<sup>c</sup> 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 <sup>#</sup>	<sup>c</sup> p=0,0235*	<sup>b</sup> p=0,0000*	<sup>b</sup> p=0,000*	

\*статистички значајна разлика; <sup>†</sup> између вредности пре током посматраних времена мерења, исто и за вредности после; <sup>#</sup> између вредности пре и после током посматраних времена мерења; <sup>a</sup>Fridman-ов тест; <sup>b</sup>χ<sup>2</sup>-тест; <sup>c</sup>Mc 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. Стереo 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 подвргнута 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 +7Gz 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  $+5,5Gz$ , са изазивањем кориолис реакције, док је код само 4 пилота борбене авијације услед излагања  $+7Gz$  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 нарушене 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 +5,5Gz 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 +5,5Gz 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 срчаног ритма 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 12 s 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 (101,102,103). Због повећања крвног притиска опоравак видних функција је одложен за неколико секунди након успостављања ретиналне циркулације која је због мање оксигенације била смањена. 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 најiskusнијих 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 најсавременијим борбеним авионом. 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 15 s 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 +5,5Gz 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 оријентацију пилота у простору, визуелне конфигурације рељефа терена, приказа оружаних система, противничких авиона и додатно усложњене оријентације 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 убрзању од +5,5Gz код студената пилота, а код пилота борбене авијације при убрзању +7Gz без ношења анти-Г одећа), 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 - 15 s 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 120 mmHg, 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 15 s, 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 одела, 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 одело. 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 +5,5Gz. 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 спорније 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 +7Gz убрзању, без анти-G одеа, а код студената пилота након +5,5Gz убрзању. Упоређивањем обе групе испитаника услед излагања истом убрзању од +5,5Gz 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 *Johnston, Ben J.* 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 +5,5Gz 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  $3.56\pm 0,72$  mm до  $5.65\pm 0,56$  mm (3). Излагање +9Gz убрзању довело је до ширења зенице од промера  $3,54\pm 0,73$  mm до  $5,56\pm 0,67$  mm 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 +5.5Gz дошло је до статистички значајне већих промена у ширини 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 одела 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 тренажа 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: 14-8.
2. Pavlović M. Osnovi vazduhoplovne medicine; Beograd 2014: 71-9.
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. *Acta 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 letača. 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 Sci.* 2009; 50: 4836-9.
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: 666-9.
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. Yu, Chung-san; Wang, Eric Min-yang; Li, Wen-Chin; Braithwaite, Graham, Pilot's Visual Scan Patterns and Situation Awareness in Flight Operations, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jul; 85(7): 708-14.
12. Arthur C. Guyton, M. D. *Medicinska Fiziologija*; III izdanje: 712-4.

13. Čolić J. Određivanje oštine vida pomoću različitih vrsta optotipa, Stručni rad, Prirodno matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, 2016.
14. Savić S., Profesionalna oftalmologija- Ergooftalmologija; Beograd 1995.
15. Mihajlović E. Kolorni vid, Stručni rad, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad; 2015.
16. Ana Lazarević, Kolorni vid i njegove anomalije, stručni rad, Univerzitet u Novom sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, 2014. 15-27.
17. Cole, Barry L.; Lian, Ka-Yee; Lakkis, Carol, Color Vision Assessment by Farnsworth Lantern: Results Using Alternative Pass-Fail Criteria, Aviat Space Environ Med. 2008 May; 79(5): 509-13.
18. Rogosic V, Bojic 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. Liggins, Eric P.; Serle, William P., Color Vision in Color Display Night Vision Goggles, Aviat Space Environ Med. 2017 May; 88(5): 448-56.
20. Neitz J, Neitz m. The genetics of normal and defective color vision. Vision Res. 2011 Apr; 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. Randjelovic D., Pavlovic M. The effect of acceleration on color vision. Vojnosanit Pregl 2018; 75(6): 624-8.
24. Smiljanić N. Ispitivanje vidnih funkcija; Beograd 2001. 77-98.
25. Almustanyir, Ali; Hovis, Jeffery K., Military Research ColorDx and Printed Color Vision Tests, Aviat Space Environ Med. 2015 Oct, 86(10): 852-9.
26. Chacon, Alicia; Rabin, Jeff; Yu, Dennis; Johnston, Shawn; Bradshaw, Timothy, Quantification of Color Vision Using a Tablet Display, Aviat Space Environ Med. 2015 Jan; 86(1): 56-8.

- 
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. Cvetković D. Evolucija i genetika kolornog vida, CD monografija, Kolorni vid Izd. CIBID Med fak. Beograd, 2006.
  29. Watson, Dougal B., Lack of International Uniformity in Assessing Color Vision Deficiency in Professional Pilots, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Feb; 85(2): 148-59.
  30. Walter T. Delpero, Hugh O Neill, Evanne Casson, and Jeff Hovis. Aviation-Relevant Epidemiology of Color Vision Deficiency, *Aviat Space Environ Med.* 2005 Feb; 76(2): 127-33.
  31. Rogosic V, et al. Defective Colour vision, *Arh Hig Rada Toksikol* 2003; 54: 141-4.
  32. Jeffery K. Hovis and Nicolas Pilecki, Simulated Night Vision Goggle Wear and Colored Aftereffects: *Aviat Space Environ Med.* 2013 Mar; 84(3); 206-11.
  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 Nov; 71(11): 1081-92.
  35. S. Nedeveschi, 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, 2004 Oct: 292-7.
  36. S. Nedeveschi, 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 Intelligent Engineering Systems (INES). Cluj Napoca, Romania, 2004 Sep; 211-6.
  37. Čanadanović V., Poremećaji motiliteta, razrokost i slabovidost. In.: Pajic VP ed. *Hirurgija - odabrana poglavlja*, Novi Sad: Symbol: 2009: 3015-8.
  38. Kanski JJ, *Klinička oftalmologija*, Data status, Beograd 2002.
  39. Rehnberg, Lucas; Ashcroft, Alexandra; Baers, Justin H.; Campos, Fabio; Cardoso, Ricardo B.; Velho, Rochelle; Gehrke, Rodrigo D.; Dias, Mariana K. P.; Baptista,

- 
- Rafael R.; Three Methods of Manual External Chest Compressions During Microgravity Simulation, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jul; 85(7): 687-93.
40. Kornilova, Ludmila N.; Naumov, Ivan A.; Azarov, Konstantin A.; Sagalovitch, Victor N., Gaze Control and Vestibular-Cervical-Ocular Responses After Prolonged Exposure to Microgravity, *Aviat Space Environ Med.* 2012 Dec, 83(12): 1123-34.
41. Taibbi, Giovanni; Kaplowitz, Kevin; Cromwell, Ronita L.; Godley, Bernard F.; Zanello, Susana B.; Vizzeri, Gianmarco, Effects of 30-Day Head-Down Bed Rest on Ocular Structures and Visual Function in a Healthy Subject, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Feb; 84(2): 148-54.
42. Wang, Yanyan; Guo, Xiaochao; Liu, Qingfeng; Xiao, Huajun; Bai, Yu, Three-Dimensional Measurement Applied in Design Eye Point of Aircraft Cockpits, *Aviat Space Environ Med.* 2018 Apr; 89(4): 371-6.
43. Lange, Britt; Nielsen, René Tyranski; Skejød, Pernille Bro; Toft, Palle, Centrifuge-Induced Neck and Back Pain in F-16 Pilots: A Report of Four Cases, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Jul; 84(7): 734-8.
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.; *Fundamentals of Aerospace Medicine; Fourth Edition, 2008.* 349-54.
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, 93: 371-6.*
48. Albery WB. Acceleration in other axes affects +Gz tolerance: dynamic centrifuge Simulation of agile flight. *Aviat Space Environ Med.* 2004 Jan; 75(1): 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 Jan; 80(1): 20-3.
-



50. Dumser, Thomas; Borsch, Mathias; Wonhas, Christoph, Coronary Artery Disease in Aircrew Fatalities: Morphology, Risk Factors, and Possible Predictors, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Feb; 84(2): 142-7.
51. Scott, Jonathan P. R.; Jungius, James; Connolly, Desmond; Stevenson, Alec T., Subjective and Objective Measures of Relaxed +G<sub>z</sub> Tolerance Following Repeated +G<sub>z</sub> Exposure, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Jul; 84(7): 684-91.
52. Stepanek, Jan; Pradhan, Gaurav N.; Cocco, Daniela; Smith, Benn E.; Bartlett, Jennifer; Studer, Marc; Kuhn, Fabian; Cevette, Michael J., Acute Hypoxic Hypoxia and Isocapnic Hypoxia Effects on Oculometric Features, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jul; 85(7): 700-7.
53. Dart, Todd; Gallo, Megan; Beer, Jeremy; Fischer, Joseph; Morgan, Thomas; Pilmanis, Andrew, Hyperoxia and Hypoxic Hypoxia Effects on Simple and Choice Reaction Times, *Aviat Space Environ Med.* 2017 Dec; 88(12): 1073-80.
54. Stevenson, Alec T.; Scott, Jonathan P. R., +G<sub>z</sub> Tolerance, With and Without Muscle Tensing, Following Loss of Anti-G Trouser Pressure, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Apr; 85(4): 426-2.
55. Xie, Su-Jiang; Xu, Yan; Bi, Hong-Zhe; Jia, Hong-Bo; Zheng, Ying-Juan; Zhang, Yan-Ge, Ocular Vestibular-Evoked Myogenic Potentials in Healthy Pilots and Student Pilots, *Aviat Space Environ Med.* 2011 Jul; 82(7): 729-33.
56. Kanazir D., Pajović S., Radojčić M., Molekularni mehanizmi stresom indukovanih oboljenja kardiovaskularnog sistema. *Srpska akademija nauka i umetnosti, knjiga 3, 2004.*
57. Harrison, Michael F.; Coffey, Brendan; Albert, Wayne J.; Fischer, Steven L, Night Vision Goggle-Induced Neck Pain in Military Helicopter Aircrew: A Literature Review, *Aviat Space Environ Med.* 2015 Jan; 86(1): 46-55.
58. A. Agarwal, Paul M Werchan, C. Lessard; Neurovestibular effects of +G<sub>z</sub>, *Ind. J Aerospace Med*, 2002, 46(1): 34-41.
59. Peter Norsk; Cardiovascular and Fluid Control in Humans in Space; *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 2005 Aug; 6(4): 325-30.
60. Conkin, Johnny; Wessel, James H.; Norcross, Jason R.; Bekdash, Omar S.; Abercromby, Andrew F. J.; Koslovsky, Matthew D.; Gernhardt, Michael L.,

- Hemoglobin Oxygen Saturation with Mild Hypoxia and Microgravity, *Aviat Space Environ Med.* 2017 Jun; 88(6): 527-34.
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 May; 76(5): 496-500.
62. Hovis, Jeffery K.; Pilecki, Nicolas, Simulated Night Vision Goggle Wear and Colored Aftereffects, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Mar; 84(3): 206-11.
63. Pattarini, James M.; Blue, Rebecca S.; Castleberry, Tarah L.; Vanderploeg, James M., Preflight Screening Techniques for Centrifuge-Simulated Suborbital Spaceflight, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Dec; 85(12): 1217-21.
64. Hansen, Tor Are S.; Kåsin, Jan Ivar; Edvardsen, Anne; Christensen, Carl Christian; Wagstaff, Anthony S., Arterial Oxygen Pressure Following Whole-Body Vibration at Altitude, *Aviat Space Environ Med.* 2012 Apr; 83(4): 431-5.
65. Rajguru, Renu, Military Aircrew and Noise-Induced Hearing Loss: Prevention and Management, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Dec; 84(12): 1268-76.
66. Steinman, Yuval; van den Oord, Marieke H. A. H.; Frings-Dresen, Monique H. W.; Sluiter, Judith K., Flight Performance During Exposure to Acute Hypobaric Hypoxia, *Aviat Space Environ Med.* 2017 Aug; 88(8): 760-7.
67. Harrington, Lawrence K.; McIntire, John P.; Hopper, Darrel G., Assessing the Binocular Advantage in Aided Vision, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Sep; 85(9): 930-9.
68. Rajguru, Renu, Military Aircrew and Noise-Induced Hearing Loss: Prevention and Management, *Aviat Space Environ Med.* 2013 Dec; 84(12): 1268-76.
69. Previc FH, Ercoline WR. Trends in spatial disorientation research. *Aviat Space Environ Med.* 2001 Nov; 72(11): 1048-50.
70. Shender, B.S., Forster, E.M., Hrebien, L., Ryoo, H.C., and Cammarota, J.P., Jr. Acceleration-induced near-loss of consciousness: the "A-LOC" syndrome. *Space Environ Med.* 2003 Oct; 74(10): 1021-8.
71. Powell, Marion R.; Hurley, Leo D.; Richardson, Tighe C., An Unusual Complication of Barotrauma at Altitude, *Aviat Space Environ Med.* 2015 Nov; 86(11): 994-8.

72. Macias, Brandon R.; Liu, John H. K.; Grande-Gutierrez, Noelia; Hargens, Alan R. Intraocular and Intracranial Pressures During Head-Down Tilt with Lower Body Negative Pressure, *Aerosp Med Hum Perform. Aviat Space Environ Med.* 2015 Jan; 86(1): 3-7.
73. Eckberg DL, Convertino VA, Fritisch JM, Doerr D. Reproducibility of human vagal carotid baroreceptor - cardiac reflex responses. *Am J Physiol*, 1992 Jul; 263: 215-20.
74. Kowalczyk, Krzysztof P.; Gazdzinski, Stefan P.; Janewicz, Michał; Gąsik, Marek; Lewkowicz, Rafał; Wyleżoł, Mariusz, Hypoxia and Coriolis Illusion in Pilots During Simulated Flight, *Aviat Space Environ Med.* 2016 Feb; 87(2): 108-13.
75. Cooke, William H., Head Rotation During Upright Tilt Increases Cardiovascular Baroreflex Sensitivity, *Aviat Space Environ Med.* 2007 May; 78(5): 463-9.
76. Stevenson, Alec T.; Scott, Jonathan P. R.; Chiesa, Scott; Sin, Debbie; Coates, Gabriella; Bagshaw, Michael; Harridge, Stephen, Blood Pressure, Vascular Resistance, and +G<sub>z</sub> Tolerance During Repeated +G<sub>z</sub> Exposures, *Aviat Space Environ Med.* 2014 May; 85(5): 536-42.
77. Kim, Young Jun; Chung, Jae Seung; Jang, Tae Young; Kim, Young Hyo; Chin, Hee Seung, Hypergravity Effects on the Retina and Intraocular Pressure in Mice, *Aviat Space Environ Med.* 2016 Jan; 87(1): 13-7.
78. Games, Kenneth E.; Lakin, Joni M.; Quindry, John C.; Weimar, Wendi H.; Sefton, JoEllen M , Local Pressure Application Effects on Discomfort, Temperature, and Limb Oxygenation, *Aviat Space Environ Med.* 2016 Aug; 87(8): 697-703.
79. Nenad Bačević, Fiziološki efekti radijalnog G<sub>z</sub> ubrzanja, specijalistički rad, Vazduhoplovnomedicinski institut, 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 Sep; 74(9): 957-65.
81. Lyons TJ, Kraft NO, Copley GB, Davenport C, Grayson K, Binder H. Analysis of mission and aircraft factors in G-induced loss of consciousness in the USAF: 1982-2002. *Aviation Space Environ Med.* 2004 Jun; 75(6): 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 May; 380: 181-6.
84. Rainford D. J, Gradwell D. P. Ernsting's Aviation Medicine, Fourth edition, 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 Aug; 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 Feb; 72(2): 115-9.
87. Claus Curat – Christiansen Jorg Drageger, Jurgen Kriebel: Principles and Practice of Aviation Medicine, 2009: 398-410.
88. Roy L. DeHart. Fundamentals of Aerospace Medicine. Lea & Febiger 2003.
89. Dalecki, Marc; Bock, Otmar; Guardiera, Simon, Simulated Flight Path Control of Fighter Pilots and Novice Subjects at +3 G<sub>z</sub> in a Human Centrifuge, *Aviat Space Environ Med*. 2010 May; 81(5): 484-8.
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 Mar; 72(3): 193-201.
91. Cheung B, Bateman WA. G-transition effects and their implications. *Aviat Space Environ Med*, 2001 Aug; 72(8): 758-62.
92. Feigl B, Stewart IB & Brown B,: Experimental hypoxia in human eyes: implications for ischaemic disease. *Clinical neurophysiology*, 2013 Apr; 118(4): 887-95.
93. Tribukait, Arne; Bergsten, Eddie; Eiken, Ola, Visual Sensations of Roll Rotation During Complex Vestibular Stimulation, *Aviat Space Environ Med*. 2008 May; 79(5): 479-87.

- 
94. Zhang, Qingguang; Knapp, Charles F.; Stenger, Michael B.; Patwardhan, Abhijit R.; Elayi, Samy C.; Wang, Siqi; Kostas, Vladimir I.; Evans, Joyce M., Simulations of Gravitational Stress on Normovolemic and Hypovolemic Men and Women, 2014 Apr; 85(4): 407-13.
  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: 1628-34.
  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 Aug; 75(8): 688-91.
  97. Szivak, Tunde K.; Lee, Elaine C.; Saenz, Catherine; Flanagan, Shawn D.; Focht, Brian C.; Volek, Jeff S.; Maresh, Carl M.; Kraemer, William J. Adrenal Stress and Physical Performance During Military Survival Training, *Aviat Space Environ Med.* 2018 Feb; 89(2): 99-107.
  98. Schleger TT, Wood SJ, Brown TE, Harm DL, Rupert AH. Effect of 30-min +3Gz centrifugation on vestibular and autonomic cardiovascular function. *Aviat Space Environ Med* 2003; 2003 Jul; 74(7): 717-24.
  99. Rice, G. Merrill; Snider, Dallas; Moore, Jeffrey L.; Lavan, J. Timothy; Folga, Rich; VanBrunt, Thomas B., Evidence for  $-G_z$  Adaptation Observed with Wearable Biosensors During High Performance Jet Flight, *Aviat Space Environ Med.* 2016 Dec; 87(12): 996-1003.
  100. Suresh, Rahul; Blue, Rebecca S.; Mathers, Charles; Castleberry, Tarah L.; Vanderploeg, James M., Sustained Accelerated Idioventricular Rhythm in a Centrifuge-Simulated Suborbital Spaceflight, *Aviat Space Environ Med.* 2017 Aug; 88(8): 789-93.
  101. Kergoat H, Herard M-E & Lemay M (2006): RCG sensitivity to mild systemic hypoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006 Dec; 47(12): 5423-7.
  102. Wangsa-Wirawan ND & Linsenmeier RA. Retinal oxygen: fundamental and clinical aspects. *Arch Ophthalmol*, 2003 Apr; 121(4): 547-57.

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 Mar; 24(2): 183-215.
104. Feigl B, Stewart IB, Brown B& Zele AJ. Local neuroretinal function during acute hypoxia in healthy older people. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2008 Feb; 49: 807-13.
105. Connolly DM & Hosking SL. Oxygenation and gender effects on photopic frequency-doubled contrast sensitivity. *Vision Res*, 2008 Jan; 48(2): 281-8.
106. Taibbi, Giovanni; Cromwell, Ronita L.; Zanello, Susana B.; Yarbough, Patrice O.; Ploutz-Snyder, Robert J.; Godley, Bernard F.; Vizzeri, Gianmarco, *Ophthalmological Evaluation of Integrated Resistance and Aerobic Training During 70-Day Bed Rest*, *Aviat Space Environ Med*. 2017 Jul; 88(7): 633-40.
107. Al-horani, Ramzi A.; Wingo, Jonathan E.; Ng, Jason; Bishop, Phillip; Richardson, Mark, *Precooling and Warm-Up Effects on Time Trial Cycling During Heat Stress*, *Aviat Space Environ Med*. 2018 Feb; 89(2): 87-93.
108. Rebok, George W.; Qiang, Yandong; Baker, Susan P.; Li, Guohua, *Pilot Age and Error in Air Taxi Crashes*, *Aviat Space Environ Med*. 2009 Jul; 80(7): 647-51.
109. Mekjavic, Igor B.; Debevec, Tadej; Amon, Mojca; Keramidas, Michail E.; Kounalakis, Stylianos N., *Intermittent Normobaric Hypoxic Exposures at Rest: Effects on Performance in Normoxia and Hypoxia*, *Aviat Space Environ Med*. 2012 Oct; 83(10): 942-50.
110. Liu, Yang; Zhang, Li-Fan; Zhang, Kang-Li; Lu, Hong-Bing, *Role of Carotid Baroreflex and Sympathetic Responses in the Push-Pull Effect: A Simulation Study*, *Aviat Space Environ Med*. 2012 Sep; 83(9): 841-9.
111. Liu, Xiaopeng; Xiao, Huajun; Shi, Weiru; Wen, Dongqing; Yu, Lihua; Chen, Jianzhang, *Physiological Effects of Positive Pressure Breathing with Pure Oxygen and a Low Oxygen Gas Mixture*, *Aviat Space Environ Med*. 2015 Jan; 86(1): 15-20.
112. Wan, Li; Ogrinz, Barbara; Vigo, Daniel; Bersenev, Evgeny; Tuerlinckx, Francis; Van den Bergh, Omer; Aubert, André E. *Cardiovascular Autonomic Adaptation to Long-Term Confinement During a 105-Day Simulated Mars Mission*, *Aviat Space Environ Med*. 2011 Jul; 82(7): 711-6.

113. Eynan, Mirit; Ertracht, Offir; Yehezkel, Shiran; Svidovsky, Paulina; Ne'eman, Frida; Arieli, Ran, Energetic Efficiency in Trained and Sedentary Rats After Exposure to Normobaric and Hyperbaric Oxygen, *Aviat Space Environ Med.* 2010 Jan; 81(1): 8-14.
114. Whinnery, T., and Forster, E.M. The +Gz-induced loss of consciousness curve. *Extrem Physiol Med*, 2013 Jun; 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 Feb; 49(2): 807-13.
116. Kergoat H, Herard ME, Lemay m. RGC sensitivity to mild systemic hypoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006 Dec; 47(12): 5423-7.
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 Dec; 51(6): 775-84.
118. Feigl B, Zele AJ, Stewart IB. Mily systemic hypoxia and photopic visual field sensitivity. *Acta Ophthalmol.* 2011 Mar; 89(2): 199-204.
119. Connolly DM, Hosking SL. Oxygenation state and mesopic sensitivity to dynamic contrast stimuli. *Optom Vis Sci.* 2009 Dec; 86(12): 1368-75.
120. Vecchi, Diego; Morgagni, Fabio; Guadagno, Anton G.; Lucertini, Marco, Visual Function at Altitude Under Night Vision Assisted Conditions, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jan; 85(1): 60-5.
121. Antony N. Nicholson: *The Neurosciences and the practice of Aviation medicine*, 2011: 378-93.
122. Randelović D., Pavlović M. Živković Vladimir, Srežović Ivan, Međedović Svetlana, Oštrina vida kod pilota ViPVO nakon izlaganja +Gz ubrzanju u humanoj centrifugi. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 2013, 14(3): 121-4;
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. Blue, Rebecca S.; Pattarini, James M.; Reyes, David P.; Mulcahy, Robert A.; Garbino, Alejandro; Mathers, Charles H.; Vardiman, Johnen  L.; Castleberry, Tarah L.; Vanderploeg, Tolerance of Centrifuge-Simulated Suborbital Spaceflight by Medical Condition, *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jul; 85(7): 721-9.
127. Masato Sakurai, Takayuki Koseki, Hirofumi Hayashi and Miyoshi Ayama, Color Appearance in Peripheral Vision: Effects of Test Stimuli and Surround Luminance; *Journal of Light & Visual Environment*, 2002; 26(3): 9-18.
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 Jan; 74(1): 29-36.
129. Abramov I, Gordon J, Chan H. Color appearance in the peripheral retina: effects of stimulus size. *Journal of the Optical Society of America*, 1991; 8(2): 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, 2004 Oct; 292-7.
132. S. Nedevschi, R. Schmidt, T.Graf, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C.Pocol, “High Accuracy Stereo Vision System for Far Distance Obstacic Detection,” in Proc. of IEEE Inteligent Vehicles Symposium. Parma, Italy, 2004 Jun; 161-6.
133. S.Nedevschi, R. Danescu, D.Frentiu,, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, Thorsten Graf, Rolf Schmidt, “High Accuracy Sterovision Approach forObstacic Detection on Non-Planar Roads,” in Proc. of IEEE Inteligent Engineering Systems (INES). ClujNapoca, Romania, 2004 Sep; 211-6.
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*, July 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 Inteligent Vehicles Symposium, Parma, Italy, 2004 Jun; 161-6.



136. M. Bertozzi, a. Broggi, A. Fascioli, and S. Nichele. "Stereo Vision-based Vehicle Deection", in Proces IEEE Inteligent Vehicles symposium 2000. Detroit, USA. 2000 Oct; 39-44.
137. Bob Cheung and Kevin Hofer: Acceleration Effects on Pupil Size with Control of Mental and Environmental factors; Aviat Space Environ Med. 2003 Jun; 74(6): 669-74.
138. Guyton, A.C, and Han, J.E., Textbook of medical physiology, Philadelphia, W.B. Saunders 1996.
139. Johnston, Ben J.; Iremonger, Gareth S.; Hunt, Sheena; Beattie, Elizabeth, Hypoxia Training: Symptom Replication in Experienced Military Aircrew, Aviat Space Environ Med. 2012 Oct; 83(10): 962-7.
140. Cheung B, Hotter K. Acceleration effect on pupil size with control of mental and environmental factors. Aviat Space Environ Med. 2003 Jun; 74(6): 669-74.
141. Y. Yao, Q. Wang., Q. Liu, M.Li, S. Liu; Changes of eye movement and pupil diameter of pilots during final approach (abstract), 63<sup>rd</sup> Internnational Congress of Aviation and Space Medicine, 2015 Sep; Oxford, UK

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

### ЛИЧНИ ПОДАЦИ

Име и презиме: Данијела Ранђеловић

Датум и место рођења: 23. фебруар 1968. године у Пироту

### ОБРАЗОВАЊЕ

Основну школу и гимназију завршила са одличним успехом у Пироту.

Медицински факултет завршила 1992. године у Нишу.

Специјалистички испит из офталмологије положила 2000. године на Војномедицинској академији у Београду са одличном оценом.

### ПОЗНАВАЊЕ СТРАНИХ ЈЕЗИКА

Енглески (напредни ниво)

### РАДНО ИСКУСТВО

Од 1. јуна 2000. године стално запослена у Ваздухопловномедицинском институту.

Од 2003. године начелник очног кабинета Ваздухопловномедицинског института.

Активно учествује са научним радовима на стручним састанцима, националним конгресима, као и на европским и светским конгресима.

Члан Секције за Ваздухопловну медицину, Секције за офталмологију и Удружења контактолога офталмолога Србије, као и Европског удружења контактолога.

Од 2011. до 2015. године председник Извршног одбора Удружења контактолога офталмолога Србије, а од 2015. године председник Удружења контактолога офталмолога Србије.

Објавила велики број радова од 1998. до 2018. године.

---

## БИБЛИОГРАФИЈА

1. **Randjelovic D**, Pavlovic M. The effect of acceleration on color vision. *Vojnosanit Pregl* 2018; 75(6): 623-627. **M23**
  2. **Randjelovic D**, Pavlovic M, Zivkovic V, Srejovic I, Medjedovic S. Sharpness of vision of pilots in air force of Serbia after +Gz acceleration in human centrifuge. *Ser J Exp Clin Res* 2013; 14(3): 121-124. **M52**
  3. Pavlovic M, Pejovic J, Mladenovic J, Cekanac R, Jovanovic D, Karakalic R, **Randjelovic D**, Djurdjevic S. Ejection experience in Serbian Air Force, 1990 - 2010. *Vojnosanit Pregl* 2014; 71(6): 531-534. **M23**
  4. S. Medjedovic, V. Jakovljevic, D Djurdjevic, **D Randjelovic**, Z. Koprivica, N. Petronijevic, N. Tasic, M. Pavlovic, Z. Vucinic, Z. Sundic, D. Djuric. Prognostic value of N-terminal pro-B-type natriuretic peptide in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndromes *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* vol. 6(5), pp; 283-293, 8. February 2012.
  5. S. Medjedovic, V. Jakovljevic, S. Vujanic, M. Pavlovic, D. **Randjelovic**, M. Komadina-Vukovic. The importance of NT-pro-BNP in evaluation of left ventricular function in patients suffering from coronary heart disease. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 2009; 10(1): 11-15
  6. **Danijela Randelović**, Miroslav Pavlović, Svetlana Međedović  
Validity of vision test in candidate for air traffic control  
Congress of the European Society of Ophthalmology, 2013, Copenhagen, Denmark, pg. 199
  7. **Danijela Randelović**, Miroslav Pavlović, Slaviša Đurđević  
Effects of extended hypoxia to the organ of vision in flying military pilots  
18. Congress of Balkan military medical committee - Turkey 2013. Pg 292
  8. **Danijela Randelović**, Miroslav Pavlović, Svetlana Međedović  
Faktori koji utiču na vid u uslovima letenja danju  
XIV Kongres oftalmologa Srbije, Zlatibor 2013. str. 84
-

9. **Danijela Randelović**, Međedović Svetlana  
Application of progressive soft contact lenses at civilian aircraft pilots  
World Ophthalmology Congress Abu Dhabi, 2012, pg. 482
  10. **Danijela Randelović**, Svetlana Međedović  
Effects of X radiation on eye  
World Ophthalmology Congress Abu Dhabi, 2012, pg. 483
  11. **Danijela Randelović**  
The possibility of correcting of refractive anomalies contact lenses for pilots  
42. European contact lens and ocular surface congress - Nice, France 2012, Pg. 24
  12. **Danijela Randelović**, Miroslav Pavlović, Bratislav Kostić, Svetlana Međedović  
Importance of the regular ophthalmological systematic review of military air force pilots  
17. Congress of the Balkan Military Medical Committee. Belgrade 2012. pg. 69-70
  13. **Danijela Randelović**, Svetlana Međedović, Bratislav Kostić Miroslav Pavlović  
Uticaj jonizujućeg zračenja na organ vida  
Kongres oftalmologa Srbije. Beograd 2012. str. 60
  14. **Danijela Randelović**  
Komplikacije u toku nošenja kontaktnih sočiva  
Kongres oftalmologa Srbije, Beograd 2012. str. 20
  15. **Danijela Randelović**, Svetlana Međedović, Miroslav Pavlović  
Contusion injury of eye in flight personal and level of hifeme.  
Congress of European Society of Ophthalmology in Geneva 2011. pg. 92
  16. **Danijela Randelović**, Miroslav Pavlović, Svetlana Međedović  
Refractive anomalies in candidate for air traffic controllers.  
Congress of European Society of Ophthalmology in Geneva 2011. pg. 93
  17. **Danijela Randelović**, Tatjana Golijanin-Zaklan  
Primena i moguće komplikacije u toku nošenja kontaktnih sočiva kod pilota civilnog vazduhoplovstva  
IX Kongres oftalmologa Srbije, Zlatibor 2008. str. 45
-

18. **Danijela Randelović**  
Indikacije i kontraindikacije za primenu kontaktnih sočiva  
IX Kongres oftalmologa Srbije. Zlatibor 2013. str. 25
  19. **Randelović D**, Pavlović M, Đurđević S, Međedović S, Komadina-Vuković M, et al.  
Importance of visible functions in military aviation  
13th Congress Balkan Military Medical Committee, Kusadasi, Turkey, 2008.
  20. **Randelović D**, Pavlović M, Đurđević S, Međedović S, Komadina-Vuković M. et al.  
The most frequent disease of eye in military pilots and flying ability  
13th Congress Balkan Military Medical Committee, Kusadasi, Turkey, 2008.
  21. **Danijela Randelović**, Snežana Stanković  
Tumour of hypofisae – a case report  
European Society Congress of ophthalmology. Vienna 2007. pg. 354
  22. **Danijela Randelović**, Tatjana Golijanin-Zaklan, Mile Preboč  
The most frequent disease of eye in civil pilots and flying ability  
XXX International congress of Ophthalmology. Brasil 2006.
  23. **Danijela Randelović**, Mile Preboč  
Najčešća oboljenja oka kod pilota u poslednjih deset godina i letačka sposobnost  
Kongres oftalmologa Srbije - Vrnjačka Banja 2006. str. 356
  24. **Danijela Randelović**, Mile Preboč, Tatjana Golijanin-Zaklan  
The most frequent disease of eye in air traffic controllers who work with terminals  
European Society of Ophthalmology, Berlin 2005. str 256
  25. **Danijela Randelović**, Mile Preboč  
Ispitivanje sekrecije suza kod kontrolora letenja za vreme rada na radarskim terminalima  
Kongres oftalmologa Srbije. Beograd 2004. str. 45
  26. **Danijela Randelović**, Tanja Golijanin –Zaklan, Mile Preboč  
Visual's fatigue in air traffic controllers during work with screens  
14<sup>th</sup> Congress of the European society of Ophthalmology, June 2003, Madrid, P 447,  
pg 310
  27. **D. Randjelovic**, T. Golijanin - Zaklan, M. Preboc  
Application of Progressive Soft Contact Lenses At Civilian Aircraft Pilots
-

XXIX International Congress of Ophthalmology, April 2002, Sydney, Australia, Pg. A215 (P253)

28. **Danijela Randelović**, Mile Preboč

Vidne funkcije u kontrolora leta

XV Kongres oftalmologa Jugoslavije, oktobar 2002, Zlatibor, P56 str. 62

29. **D. Randjelovic**, T. Golijanin - Zaklan, B. Raščanin

Contact Lens Correction of Refractive Errors In Children

Korekcija refrakcionih anomalija kontaktnim sočivima kod dece

XII Congress of the European society of ophthalmology, June 2001, Istanbul, pg. 262

30. **D. Randjelovic**, M. Preboc, T. Golijanin - Zaklan

Moguće komplikacije u toku nošenja kontaktnih sočiva kod letača

X Simpozijum iz vazduhoplovna medicine i psihologije, novembar 2000, VMA

Beograd, str 16

---

## ПРИЛОГ

### 8.1. КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАТИКА

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

Редни број:

РБ

Идентификациони број:

ИБР

Тип документације:

Монографска публикација

ТД

Тип записа:

Текстуални штампани материјал

ТЗ

Врста рада:

Докторска дисертација

ВР

Аутор:

Данијела Ранђеловић

АУ

Ментор/коментор:

др сци. мед. Сунчица Срећковић, ванредни професор

МН

Наслов рада:

Утицај Gz+ убрзања на орган вида код пилота ВиПВО  
на хуманој центрифуги

НР

Језик публикације:

српски / ћирилица

ЈП

Језик извода:

српски / енглески

ЈИ

Земља публикавања:

Република Србија

ЗП

---

**Уже географско подручје: Централна Србија**  
**УГП**

**Година:** 2019. година  
**ГО**

**Издавач:** Ауторски репринт  
**ИЗ**

**Место и адреса:** 34000 Крагујевац, Светозара Марковића 69, Р. Србија  
**МС**

**Физички опис рада:** 98 страна, 6 слика, 18 графикона, 18 табела  
**ФО**

**Научна област:** Медицина

**Научна дисциплина:** Примењена физиологија  
**ДИ**

**Предметна одредница/ кључне речи** ваздухопловна медицина, пилоти, +Gz  
убрзање, видне функције, хумана  
центрифуга

**ПО**

**УДК**

**Чува се:** У библиотеци Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу  
**ЧУ**

**Важна напомена:**  
**МН**

**Извод:**

**Увод:** Преко 80% свих информација током летења код пилота је визуелно. У авијацији су видне функције значајне због праћења сигнала на инструмент таблама као и знакова околине. Велике брзине приликом полетања, током летења и приликом слетања модерних летилица представљају додатни напор за орган вида. Од самог почетка развоја ваздухопловства, функцији вида се придаје изузетан значај. Због велике практичне примене у ваздушној борби, утицај +Gz убрзања на орган вида је веома важно за истраживање. Од свих чулних функција којима човек располаже вид је најважнији како у погледу безбедности летења тако и за квалитет извршавања летачких задатака. Код високог почетног степена убрзања могу се јавити значајне промене у видним функцијама. Међутим, важно је одржати оштрину вида услед примене нових функционалних дисплеја за брзу оријентацију пилота, визуелне конфигурације рељефа

---



терена, приказа оружаних система, противничких авиона и додатно усложњене оријентације у простору. Неопходно је наставити испитивања која ће обезбедити прецизне показатеље оштрине вида у стању реалног +Gz убрзања и просторне дезоријентације.

**Циљ:** Циљ истраживања био је да се утврди да ли постој утицај на орган вида код пилота борбене авијације и студената пилота услед излагања +Gz убрзању у хуманој центрифуги.

**Материјал и методе:** Ово испитивање рађено је као студија пресека. Испитивање се вршило на дефинисаној популацији, 95 испитаника старости од 21 до 45 година подељених у две групе. Посматрали смо преваленцу изложености на позитивно убрзање, испитивали смо утицај убрзања на видне функције ове две групе испитаника. Прва група су били пилоти борбене авијације, у којој је било 65 пилота и који су излагани убрзању од +5,5Gz до +7Gz, а друга студенти пилоти, у којој је било 30 студената и који су излагани убрзању од +5,5Gz. Испитивање је вршено у Одељењу за биодинамику Ваздухопловномедицинског института где се налази хумана центрифуга и вршено је 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. Такође, 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.

**Резултати:** У групи пилота борбене авијације после теста сви испитаници су имали оштрину вида на даљину 1.0. а у групи студената уочена је статистички значајна разлика у оштрини вида на даљину након излагања +Gz убрзању. У оштрини вида на близину после теста код студената и пилота борбене авијације није уочена статистички значајна разлика. Код пилота борбене авијације није уочена статистички значајна промена у колорном виду пре и после теста, док је у групи студената забележено статистички значајно погоршање у колорном виду. Статистички значајне промене у стерео виду уочене су код обе групе испитаника. Значајна промена дијаметра зенице током посматрана четири времена мерења статистички је значајна код обе групе испитаника.

**Закључак:** 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). 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. Индивидуална физиолошка тренажа пилота у хуманој центрифуги где су присутни услови реалног G убрзања, побољшава толеранцију на убрзања што је важно за безбедност летења у мирнодопским условима као и у борбеним маневрима.

**ИД**

**Датум прихватања теме од стране ННВ: 26.11.2014.**

**ДП**

---

**Датум одбране:**

**ДО**

**Чланови комисије:**

**Доц. др Татјана Шаренац-Вуловић, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Офталмологија, председник;**

**Доц. др Ненад Петровић, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Офталмологија, члан;**

**Доц. др Мирко Ресан, доцент Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Офталмологија, члан.**

**КО**

---

## 8.2. KEY WORDS DOCUMENTATION

UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC  
FACULTY OF MEDICAL SCIENCES KRAGUJEVAC

**Accession number:**

ANO

**Identification number:**

INO

**Documentation type:** Monographic publication

DT

**Type of record:** Textual printed material

TR

**Contents code:** Ph. D. Thesis

CC

**Author:** Danijela Randjelovic

AU

**Menthor/co-mentor** professor Suncica Sreckovic, M.D. Ph.D.

MN

**Title:** The effect of Gz+ acceleration on the organ of vision in pilots of AF and AFD on a human centrifuge

TI

**Language of text:** Serbian / Cyrillic

LT

**Language of abstract:** Serbian / English

LA

**Country of publication:** Republic of Serbia

CP

**Locality of publication:** Central Serbia

LP

---

**Publication year:** 2019  
**PY**

**Publisher:** Author reprint  
**PU**

**Publication place:** 34 000 Kragujevac, Svetozara Markovica 69, Republic of Serbia  
**PP**

**Physical description** 98 pages, 6 pictures, 18 charts, 18 tables  
**PD**

**Scientific field:** Medicine  
**SF**

**Scientific discipline:** Applied Physiology  
**SD**

**Subject/key words:** aviation medicine, pilots, + Gz acceleration, visual acuity, human centrifuge.

**SKW**

**UDC**

**Holding data:** Library of Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, Republic of Serbia

**Note:**  
**N**

**Abstract:**

**Introduction:** Over 80 % of all information a pilot receives during the flight is visual. In aviation due to the importance of visual stimulus and environment sings. The high speeds achieved during the take-off, flight, and landing of modern aircraft present limitations for the visual system. The importance of maintaining visual function during these intervals has been recognized since the earliest stages of aviation development. Because of the great practical importance of air combat, research on visual stress during flight is of great importance receives much attention. Vision is the most important sensory function in terms of both flight safety and the quality performance of flight duties. At high initial rates of acceleration, significant changes in visual function can occur. However, the importance of maintaining visual acuity is increasing due to the application of novel functional displays for rapid orientation of the pilot in space, the configuration of the area field, aircraft opponents, and weapon systems. Therefore, it is necessary to continue studies that will provide accurate indicators of visual acuity in the context of real Gz acceleration and spatial disorientation.

---

**Aim:** The aim of this study was to demonstrate impact on the visual acuity on aircraft pilots and pilot students during exposure to +Gz acceleration in human centrifuge.

**Material and methods:** This test was done as a cross section study. The study was conducted on a defined population, 95 examinees aged 21 to 45 years divided into two groups. We examined the prevalence of exposure to positive acceleration, examined the impact of acceleration on the visual functions of these two groups of subjects. The first group were aircraft pilots, which contained 65 pilots and were exposed to acceleration from +5,5Gz to +7Gz, while other students pilots, where there were 30 students and who were exposed to an acceleration of +5,5Gz. The study was carried out at the Department of Biodynamic of the Aeromedical Institute where human centrifuge was located and was conducted in accordance with the instructions given for each test. We examined the obtained differences in the acuity of vision at a distance and proximity, stereoscopic vision, color vision and pupil diameter on acceleration rate. The hemodynamic parameters of diastolic and systolic pressure and pulse were measured. Aircraft pilots were tested for a period of three consecutive days because they were exposed to different acceleration values, while pilot students were tested in one day due to exposure to lower acceleration values. We also observed differences between these two groups of respondents, which is our important indicator of the status of visible functions at the beginning of a professional career and after many years of flight hours.

**Results:** In the group of aircraft pilots after the test, all subjects had visual acuity at a distance of 1.0. and in the group of pilot students a statistically significant difference in visual acuity was observed after exposure + Gz acceleration. A statistically significant difference was noticed in the sharpness of sight near the test after the pilot students and aircraft pilots. There were no statistically significant changes in colored sight before and after the test, while in the group of pilot students there was statistically significant worsening in color vision. Statistically significant changes in stereo vision were observed in both groups of subjects. A significant change in pupil diameter during the observed four measurement times is statistically significant in both groups of subjects.

**Conclusion:** Transient changes in visual acuity at a distance, color vision, stereo vision and pupil diameter in pilot students are higher in relation to changes in the same visual functions in aircraft pilots when exposed to acceleration of the same values (+ 5Gz acceleration). The most sensitive physiological indicators are changes in the stereo vision, then the sharpness of vision at a distance, the color vision, the pupil diameter, and at the last place the sharpness of the sight nearby. Individual physiological training of pilots in a human centrifuge where real G acceleration conditions are present improves tolerance to acceleration, which is important for flight safety in peacetime and in combat maneuvers.

**AB**

**Accepted by the Scientific Board on: 26.11.2014.**

**ASB**

**Defended on:**

**DE**

---

**Thesis defended board:**

**Assistant Professor Татјана Шаренац-Вуловић, M.D, Ph.D, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, scientific field Ophthalmology, chairman**

**Assistant Professor Ненад Петровић, M.D, Ph.D, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, scientific field Ophthalmology, member;**

**Assistant Professor Мирко Ресан, M.D, Ph.D, Faculty of Medical Sciences, Military Medical Academy, Belgrade, scientific field Ophthalmology, member.**

**DB**

---

**ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Ја, \_\_\_\_\_, изјављујем да докторска дисертација под насловом:

---

---

---

која је одбрањена на \_\_\_\_\_  
Универзитета у Крагујевцу представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

*Овом Изјавом такође потврђујем:*

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,
- да умножени примерак докторске дисертације у штампаној и електронској форми у чијем се прилогу налази ова Изјава садржи докторску дисертацију истоветну одбрањеној докторској дисертацији.

У \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ године,

\_\_\_\_\_  
потпис аутора

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Ја, \_\_\_\_\_,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

---

---

---

која је одбрањена на \_\_\_\_\_

Универзитета у Крагујевцу, и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.



припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада<sup>2</sup>

У \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ године,

---

потпис аутора

---

<sup>2</sup> Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>

---

Радови који су били услов за пријаву завршене докторске дисертације

1. **Randjelovic D**, Pavlovic M, Zivkovic V, Srejovic I, Medjedovic S. Sharpness of vision of pilots in air force of Serbia after +Gz acceleration in human centrifuge. Ser J Exp Clin Res 2013; 14(3): 121-124. **M52**
2. **Randjelovic D**, Pavlovic M. The effect of acceleration on color vision. Vojnosanit Pregl 2016; doi:10.2298/VSP160622288R. **M23**
3. Pavlovic M, Pejovic J, Mladenovic J, Cekanac R, Jovanovic D, Karakalic R, **Randjelovic D**, Djurdjevic S. Ejection experience in Serbian Air Force, 1990 - 2010. Vojnosanit Pregl 2014; 71(6): 531-534. **M23**



# SHARPNESS OF VISION OF PILOTS IN AIR FORCE OF SERBIA AFTER +Gz ACCELERATION IN HUMAN CENTRIFUGE

Danijela Randjelovic<sup>1</sup>, Miroslav Pavlovic<sup>1</sup>, Vladimir Živkovic<sup>2</sup>, Ivan Srejavic<sup>2</sup>, Svetlana Medjedovic<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Aviation Medicine, Serbian Armed Forces, Serbia

<sup>2</sup>Department of Physiology, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, Serbia

## OŠTRINA VIDA KOD PILOTA ViPVO NAKON IZLAGANJA +Gz UBRZANJU U HUMANOJ CENTRIFUGI

Danijela Randelović<sup>1</sup>, Miroslav Pavlović<sup>1</sup>, Vladimir Živković<sup>2</sup>, Ivan Srejavic<sup>2</sup>, Svetlana Mededović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vazduhoplovnomedicinski institut, Vojska Srbije, R. Srbija

<sup>2</sup>Katedra za fiziologiju, Fakultet medicinskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, R. Srbija

Received / Priljen: 09.09.2013.

Accepted / Prihvaćen: 11.09.2013.

### ABSTRACT

The high speeds achieved during the take-off, flight, and landing of modern aircraft present limitations for the visual system. The importance of maintaining visual function during these intervals has been recognised since the earliest stages of aviation development. Because of the great practical importance of air combat, research on visual stress during flight is of great importance receives much attention. Vision is the most important sensory function in terms of both flight safety and the quality performance of flight duties.

Visual acuity of 12 Air Force pilots was investigated before and after exposure to +Gz acceleration in a human centrifuge. This centrifuge is a combination gravity and altitude apparatus, capable of reaching accelerations of up to 20 G and simulating altitudes of up to 30,000 m. Each pilot had individual centrifuge training, and individual skills were first stated measured at the first time of exposure to G acceleration, and again in a one week. The training level that corresponded to the improvement of individual skills during submission to Gz acceleration was applied.

Exposure to +Gz acceleration provokes significant reactions and fluctuations in the eye. Immediately after exposure to +Gz acceleration, there was a transient decrease in visual acuity at a distance of  $0.02 \pm 0.04$  degrees of visual angle. Pupil diameter increased from  $3.5 \pm 0.6$  to  $5.6 \pm 0.5$  mm. This dilation continued for 15 min following exposure to acceleration. Changes on the eye bottom were not noted.

Previous work has shown that exposure to +Gz acceleration results in an increase in the depth of the eye chamber. Energy reserves in retinal tissue and the central nervous system allow continued operation of brain and visual systems to continue for a few seconds following interruption of blood supply to the head. This enables rapid tolerance to high G loads for a short period of time, usually approximately 5 seconds.

At high initial rates of acceleration, significant changes in visual function can occur. However, the importance of maintaining visual acuity is increasing due to the applica-

### SAŽETAK

Velike brzine prilikom poletanja, tokom letenja i prilikom sletanja modernih letilica predstavljaju dodatni napor za vizuelni sistem. Od samog pocetka razvoja vazduhoplovstva, funkciji vida se pridaje izuzetan znacaj. Zbog velikog praktičnog značaja u vazdušnoj borbi, uticaj +Gz ubrzanja na organ vida je veoma značajno za istraživanje. Od svih čulnih funkcija kojima čovek raspolaže vid je najvažniji kako u pogledu bezbednosti letenja tako i za kvalitet izvršavanja letачkih zadataka.

Ispitivana je oštrina vida kod 12 pilota ViPVO pre i nakon izlaganja +Gz ubrzanju u humanoj centrifugi. Centrifuga koja je korišćena predstavlja kombinaciju gravitacione i visinske laboratorije, jer pored ubrzanja od 20 G, može simulirati i visinu do 30.000 m. Svaki od pilota ima individualni trening na centrifugi, pri čemu se konstatuju individualne sposobnosti u trenutku izlaganja G ubrzanju, a zatim se u toku jedne nedelje primenjuje nivo treninga koji odgovara poboljšanju individualnih sposobnosti podnošenja +Gz ubrzanja.

Izlaganje +Gz ubrzanju izaziva značajne reakcije i fluktuacije oka. Prvo što je uočeno odmah nakon izlaganju +Gz ubrzanju bilo je prolazno smanjenje oštine vida na daljinu za  $0,02 \pm 0,04$  stepena vidnog ugla. Promer pupile je povećan od  $3,5 \pm 0,6$  na  $5,6 \pm 0,5$  mm i dilatacija pupile trajala je 15 min nakon izlaganja ubrzanju. Promene na očnom dnu nisu uočene.

U radovima drugih autora je pokazano da nakon izlaganja +Gz ubrzanju dolazi do povećanja dubine očne komore. Energetske rezerve u retini i centralnom nervnom sistemu, omogućavaju funkcionisanje mozga i vidnog aparata nekoliko sekundi od prekida dotoka krvi u glavu. Time je omogućena tolerancija naglo nastalih visokih G opterećenja u kratkom vremenskom periodu, uobičajeno oko 5 s.

Kod visokog početnog stepena ubrzanja mogu se javiti značajne promene u vidnim funkcijama. Međutim, značajno je održati oštrinu vida usled primene novih funkcionalnih displeja za brzu orijentaciju pilota u prostoru, vizuelne kon-

UDK: 617.751:358.43 / Ser J Exp Clin Res 2013; 14 (3): 121-124

DOI: 10.5937/SJECR14-4433

Correspondence: Danijela Randelovic, Vazduhoplovnomedicinski institut, Vojska Srbije, R. Srbija  
danijela\_randjelovic@yahoo.com



tion of novel functional displays for rapid orientation of the pilot in space, the configuration of the area field, aircraft opponents, and weapon systems. Therefore, it is necessary to continue studies that will provide accurate indicators of visual acuity in the context of real Gz acceleration and spatial disorientation.

**Key words:** Visual acuity, + Gz acceleration, pilot, human centrifuge, G loads

figuracije reljefa terena, prikaza oružanih sistema, protivničkih aviona, i dodatno usložnjene orijentacije u prostoru. Neophodno je nastaviti ispitivanja koja će obezbediti precizne pokazatelje oštine vida u stanju realnog +Gz ubrzanja i prostorne dezorijentacije.

**Ključne reči:** oština vida, +Gz ubrzanje, pilot, humana centrifuga, G stres

## INTRODUCTION

The high speeds achieved during the take-off, flight, and landing of modern aircraft can compromise the visual system. Since the beginning of the development of aviation, great importance has been attributed to visual function. In the age of aircraft automation pilots have significant control over all manual and automatic devices, primarily through the sense of vision. The human body has adapted to the force of gravity, and many activities can be performed in this environment. However, the development of modern aviation has imposed loading at ten or more times the force of gravity. Such loading can cause changes in appearance caused by the inertia force, in turn as a result of the applied acceleration. Applied acceleration when flying, commonly called G loading, represents the ratio of acceleration due to gravity. Acceleration due to gravity is a physical constant represented by the symbol  $g$  with a value of  $9.81 \text{ m/s}^2$ . The G value of the applied acceleration is given by the formula:

$$G = \frac{\text{applied acceleration}}{g}$$

If the body is exposed to an acceleration of 5 G, its acceleration will be 5 times that of gravity ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) or  $49.05 \text{ m/s}^2$ . The rate of change of acceleration, or acceleration gain (G), is important because of the physiological response to the forces generated during flight. In aviation, inertial forces acting on the human body are substantial during acceleration (1).

In Gz acceleration, inertia acts parallel to the longitudinal axis of the body to drive the pilot into the pilot seat. Because of the great practical importance of air combat, research on this stress remains an critical area of study. Tolerance to this stress can vary in individuals depending on food intake, environment, vascular tone, mental and physical condition, and other factors. Vision is the most important sensory function in terms of flight safety and quality performance of flight duties. It is the primary sense for the pilot and provides information on the status of his plane in space. During flight, the pilot is almost entirely dependent on their sense of sight, which allows him to read information from the instruments. Maintaining a high level of visual acuity is considered a paramount necessity for pilots, especially with the current use of extremely

high-speed aircraft at all altitudes. The need for safe and successful flights has led to the generation of very strict criteria for the medical selection of candidate pilots. It is important that the pilots are knowledgeable in how to best utilize their visual capacity, in addition to possessing excellent visual acuity.

For pilots, the concentration of visual acuity to a very small area of the retina is a major disadvantage. To ensure that the retinal areas that provide the clearest vision are utilized, it is imperative that pilots continually move their eyes while observing objects in the visual field. The maneuverability of modern aircraft can cause significant acceleration, with strong effects on the eye. When acceleration exceeds + 3.5 Gz and a duration of 6-12 seconds, there is a disturbance in visual function. This vision loss is caused by a redistribution of the blood to body parts below the heart, causing a decrease in the blood pressure in the head. This decreased blood pressure directly affects the sharpness of vision (4,5). This could further lead to the loss of peripheral and central vision and loss of consciousness, as; the initial dimming of vision proceeds to loss of consciousness due to insufficient blood supply to the brain. In this situation, visual disturbance is a useful reminder against exceeding our physiological capabilities, as this can advance result in to loss of consciousness. Thus, our motivation for testing the visual acuity of pilots in the human centrifuge before and after exposure to + Gz acceleration is to increase the individual tolerance capacity to +Gz acceleration of Air Force pilots.

The purpose of this study is to assess visual function after exposure to + Gz acceleration in pilots.

## MATERIALS AND METHODS

The visual acuity of 12 Air Force pilots was investigated before and after exposure to + Gz acceleration in a human centrifuge, a device necessary for training pilots flying high-performance aircraft at high G loads. This centrifuge is a combination gravity and altitude laboratory apparatus, capable of reaching acceleration of up to 20 G and simulating altitudes of up to 30,000 m. Each pilot had individual centrifuge training, and individual skills were first measured at



the first time of exposure to G acceleration and then again in one week. The training level that corresponds to the improvement of individual skills during submission to Gz acceleration was applied. Before the start of testing, pilots underwent an emergency eye examination that included testing of distance and near vision, intraocular pressure, and colour vision in addition to as well as biomicroscopic examination of the fundus and the transparent media of the eye. Distance and near visual acuity was tested for each pilot using Landolt's optotype and amounted to 1.0 G before exposure to stress. Intraocular pressure intraocular pressure of the subjects was within normal limits with normal colour vision, and all subjects were in good general health with no previous eye diseases. After exposure to + Gz acceleration, visual acuity was tested immediately, then and 15 min and 30 min following acceleration. To test visual acuity at distance, we used Landolt's rings at a distance of 6 m. The fundus was examined 2 hours after exposure to acceleration.

For the statistical analysis of the data, a t-test was applied (Student distribution).

## RESULTS

Exposure to +Gz acceleration provokes significant reactions and fluctuations of the eye. Observation immediately after exposure to + Gz acceleration, there was a transient decrease in visual acuity at a distance of  $0.02 \pm 0.04$  degrees of visual angle. The pupil diameter increased from  $3.5 \pm 0.6$  to  $5.6 \pm 0.5$  mm, and pupil dilation lasted for 15 min after exposure to acceleration. Changes to the eye bottom were not noted.

## DISCUSSION

Previous work (2,3) has shown that exposure to + Gz acceleration will result in an increase in eye chamber depth. Energy reserves in retinal tissue and the central nervous system will allow continued operation of the brain and visual systems to continue for a few seconds after interruption of the blood supply to the head. This enables rapid tolerance to high G loads over a short period of time, usually approximately 5 seconds. The baroreceptor reflex significantly increases G tolerance, starting 10 s following after exposure, and may improve tolerance to

more than 1G until for about 1 approximately 15 seconds if there is enough time for development. Intraocular pressure results in the cessation of blood flow to the retina at a higher pressure than that at which blood flow to the brain stops. This phenomenon is responsible for visual symptoms at approximately 1 G below the level at which G-induced loss of consciousness occurs. When the initial rate of acceleration exceeds the capacity of the baroreceptor reflex, relaxed tolerance averages + 3.5 Gz for the grey veil and +4.5 Gz for loss of consciousness. At this initial stage of acceleration, the pilot has a few seconds between the beginning of visual symptoms and loss of consciousness. When the initial rate of acceleration is very high (10 G/s), the lack of blood flow to the head causes a depletion of the energy reserves of the eyes and brain. This leads to loss of consciousness without noticeable visual symptoms. The energy reserves of the eyes and the brain are depleted after approximately 5 seconds, and the baroreceptor reflex is not activated in this time frame. This feature of high Gz acceleration that causes a complete loss of consciousness with little or no visual symptoms and is potentially dangerous for pilots because of its insidious nature.

We can clearly observe the alterations in visual acuity in response to + Gz stress as well as changes in blood pressure at the level of the head and body blood flow. High + Gz stress has two primary effects; the immediate effect is a drop in blood pressure at head level that is proportional to the +Gz load. This drop in blood pressure is responsible for a 22-25 mmHg difference in blood pressure between the heart and brain for every +1 Gz (6). Additionally, high + Gz stress causes blood to accumulate in other parts of the body, such as the legs and abdomen. Acute redistribution of blood results in the reduced venous return of blood, reducing cardiac output and blood pressure at the level of the heart. This further contributes to the loss of blood pressure in the brain. The loss of retinal blood pressure, which mirrors the blood pressure drop in the brain, is the mechanism responsible for the tunnel vision, grey veil, and black veil that occur during high-G stress.

## CONCLUSION

At high initial rates of acceleration, significant changes in visual function can occur. However, the importance of maintaining visual acuity is increasing due

<b>before</b>	1.00	1.10	1.00	1.00	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.00
<b>after</b>	0.90	1.00	0.90	0.90	1.00	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00

**Table 1:** Visual acuity at distance before and after exposure to + Gz acceleration

<b>before</b>	3.30	3.50	3.60	3.30	3.50	3.60	3.30	3.20	3.60	3.40	3.50	3.40
<b>after</b>	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60

**Table 2:** Pupil diameter before and after exposure to + Gz acceleration





to novel functional displays for rapid orientation of the pilot in space, the configuration of the area field, weapon systems, and aircraft opponents. These displays require visual verification of color images and emphasise the need for precise assessments of position in space at high speeds and dynamic loads. The protection and safety systems that are used must monitor the performance and capabilities of modern aircraft and they must conform to the maximum physiological tolerance. New generation aircraft will be more demanding and must include new applicable solutions.

Therefore, it is necessary to continue studies that will provide accurate indicators of visual acuity during Gz acceleration and spatial disorientation.

## REFERENCES

1. Pavlović M.: Osnovi vazduhoplovne medicine, 2012. god
2. Feigl B, Zeie AJ, Stewart IB.: Mild systemic hypoksija and photopic visual field sensitivity. *Ada ophthalmol.* 2011; 89: 199-200.
3. Ming-Ling Tsai: Ocular Responses and visual performance after emergent acceleration stress, 2011. god
4. David J. Rainford, David P. Gradwell: *Ernsting's Aviation Medicine*, 2006.
5. Antony N. Nicholson: *The Neurosciences and the practice of Aviation Medicine*, 378-393, 2011. god
6. Claus Curat – Christiansen Jorg Drageger, Jurgen Kriebel: *Principles and Practice of Aviation Medicine*, 398- 410, 2009.
7. Cheung B, Hotter K. Acceleration effects on pupil size with control of mental and environmental factors. *Aviat Space Environ Meet.* 2003;74:669-674.
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. Chou PI, Wen TS, Wu YC Horng CT, Liu CC. Contrast sensitivity after Gz acceleration. *Aviat Space Environ Meet* 2003;74:1048-1 OS 1.
10. 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.
11. Cosar CB, Senar AB. Orbscan corneal topography system in evaluating the anterior structures of the human eye. *Cornea.* 2003;22: 118-121.
12. Norsk P. Cardiovascular and fluid volume control in humans in space. *Curr Pharm Biotechnol*2005;6:325-330.
13. Amini K, Barocas VH. Anterior chamber angle opening during corneoscleral indentation: the mechanism of whole eye globe deformation and the importance of the limbus. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50:5288-5294.
14. Cirovic S, Bhola RM, Hose DR, Howard IC, Lawford PV, Parsons MA. A computational study of the passive mechanisms of eye restraint during head impact trauma. *Comput Methods Biomech Biomed Engin,* 2005;8:1-6.



## The effect of acceleration on color vision

## Uticaj ubrzanja na kolorni vid

Danijela Randjelović, Miroslav Pavlović

Institute of Aviation Medicine, Belgrade, Serbia

### Abstract

**Background/Aim.** Over 80% of all information a pilot receives during the flight is visual with color perception being one of the most important visual functions for managing an aircraft. The reception of color is of high significance in aviation due to the importance of signal tracking on instrument panels as well as the importance of visual stimulus and environment signs. There is no sufficient number of papers and studies that deal with this issue, although recent studies have shown that the connection between acceleration and color perception exists. The aim of this study was to demonstrate the correlation between pilot exposure to +Gz acceleration in human centrifuge and color perception before and after acceleration exposure. **Methods.** Subjects of the study were 40 military pilots, aged 35–45, with 10 and 20 years of flying experience. Pilots were exposed to +Gz acceleration (inertial force acts from head to feet) in the human centrifuge for pilot training with accelerations of +2Gz, +5.5Gz up to +7Gz. The tests focused on color perception before and after the exposure to the acceleration. **Results.** Out of 40 pilots examined for color vision, in 35 (87.50%) had normal results in color identification before and after +Gz; 5.00% (2 subjects) had two mistakes – reading number 5 instead of number 3, which falls within the normal trichomes, and reading number 16 instead of number 26. Three subjects (7.50%) gave their answers slower than the accepted response time. After the +7Gz exposure, 34 (85%) persons had normal results in color identification, 2 (5%) subjects made three mistakes – at numbers 5, 74 and 26; one (2.50%) pilot made four mistakes on numbers 5, 7, 74 and 26; 7.50% (3 pilots) of the subjects identified colors slower. **Conclusion.** Color perception in pilots is unstable on high +Gz accelerations. Exposure to +5.5Gz acceleration does not lead to significant changes in color perception, while exposure to +7Gz acceleration showed a significant percentage of reversible disturbance in color perception which lasted for 10 minutes.

### Key words:

pilots; aerospace medicine; space simulation; acceleration; color vision.

### Apstrakt

**Uvod/Cilj.** Preko 80% svih informacija u toku letenja kod pilota je vizuelno, a raspoznavanje boja je jedna od vidnih funkcija koja je veoma značajna za upravljanje avionom. U avijaciji je raspoznavanje boja značajno zbog praćenja signala na instrument tablama kao i obojenih vizuelnih stimulusa i znakova okoline. Za sada ne postoji dovoljan broj radova i istraživanja koja se bave ovim pitanjem, premda novije studije pokazuju da veza između ubrzanja i raspoznavanja boja postoji. Cilj našeg istraživanja bio je da se utvrdi da li postoji veza između izlaganja pilota +Gz ubrzanju (sila inercije deluje od glave do stopala) u humanoj centrifugi i promena u raspoznavanju boja pre i nakon izlaganja ubrzanju. **Metode.** Analizirano je 40 pilota vojnog vazduhoplovstva starosti od 35–45 godina, sa letačkim stažom između 10 i 20 godina. Piloti su izlagani +Gz ubrzanju i to +2Gz, +5.5Gz do +7Gz u humanoj centrifugi koja služi za trenazu pilota. Ispitivano je raspoznavanje boja pre i posle izlaganja ubrzanju. **Rezultati.** Od 40 pilota kod kojih je ispitivan kolorni vid, kod 35 (87,50%) pilota raspoznavanje boja pre i posle izlaganja +Gz ubrzanju bilo je normalno, dva (5,00%) pilota su imala dve greške, jedan je broj 5 čitao kao broj 3, što spada u normalne trihomate, a drugi je broj 16 čitao kao 26, a tri (7,50%) pilota su samo sporije davala odgovore. Nakon izlaganja +7Gz ubrzanju 34 (85,00%) pilota normalno je raspoznavalo boje, dva (5,00%) pilota je napravilo tri greške na brojevima 5, 74 i 26 i jedan (2,50%) pilot je imao četiri greške na brojevima 5, 7, 74 i 26, dok su tri (7,50%) pilota samo sporije raspoznavala boje. **Zaključak.** Raspoznavanje boja nije stabilno na visokim + Gz ubrzanjima. Izlaganje +5.5Gz ubrzanju ne dovodi do značajnih promena u raspoznavanju boja, dok je izlaganje +7Gz ubrzanju pokazalo značajan procenat u poremećaju raspoznavanja boja, koji je bio reverzibilan, jer je nakon 10 min raspoznavanje boja bilo u celosti normalno.

### Ključne reči:

piloti; medicina, vazduhoplovna; pilotiranje, simulirano; ubrzanje; vid, kolorni.

## Introduction

Over 80% of all information a pilot receives during a flight is of visual character and color recognition is one of the most important functions for managing an aircraft. Color vision or color recognition is the ability to react to different spectral light regardless of its intensity.

Color recognition in aviation is of extreme importance due to monitoring the signals on the dashboard as well as monitoring the plane's surroundings while in flight. Normal color recognition is explained in trichromatic theory based on the fact that all visible colors can be formed by combination of 3 basic colors – red, green and blue. The development of modern aviation forces pilots into situation where they are exposed to loads that are nine, ten, twelve and more times greater than the gravity force on Earth<sup>1-10</sup>. Testing the color vision is one of the obligatory visual functions tested when selecting candidates for aviation services and is regularly controlled in every medical examination. Long lasting acceleration mostly occurs in air maneuvers of fighting airplanes. Such acceleration leads to effects on internal organs and tissues (effects such as torsion and retrievals), mostly in changes of liquid tissues, causing significant redistribution in the body. Physiologically, blood redistribution and increased blood pressure leading the blood from head to toes are the most important effects that +Gz acceleration has on human body, which lead to the poor perfusion in CNS and eye as its most sensitive part causing disturbances such as grey veil, tunnel sight, black veil. Poor perfusion causes hypoxia that negatively affects the cells of the eye<sup>11</sup>.

Bad color perception can be caused by atmospheric conditions such as bright sun with blinding light phenomena, night, cloudy weather and especially misty weather. The fog makes the position signal difficult to see and the colors get reddish hue. From the avio-physiological point of view, forces of inertia are important due to their effect on the human body, and to which organism are exposed during acceleration.

Newer and modern aircrafts use colored displays, some of which are mounted onto the pilot's helmet, making color vision and correct interpretation of data even more important for safety and flight efficiency, especially in military air force and during combat. +Gz acceleration leads to decreased blood float in the brain, therefore causing a reduction of blood in the blood vessels of retina, leading to temporary changes in visual functions such as loss of central and peripheral vision, thus increasing the probability of losing the function of color recognition. We still do not have the possibility to follow the blood flow through the retina during +Gz exposure as well as its influence on color recognition.

This research is based on a survey of pilots in conditions of exposure to +Gz acceleration in human centrifuge used for pilot training for the high performance flying and strong G load aircrafts. The centrifuge is a combination of gravity and altitude laboratory, reaching accelerations up to 20Gz and simulating heights up to 30,000 meters. Training in the centrifuge aims to increase individual's abilities to ignore +Gz acceleration.

The research was done with simple exposure to only +2Gz acceleration and composite intermittent exposure to acceleration from +2Gz to +5Gz on the first day and +7Gz on the second day.

Aim of this research was determining if there was a connection between pilot exposure to +Gz acceleration in human centrifuge and the changes in color identification, measured before and after the exposure. This question was not a subject of a greater number of articles and studies, although newer studies<sup>1</sup> show that the connection between acceleration and color perception exists.

## Methods

Subjects for this research were 40 military pilots age 35–45 with flying experience from 10 to 20 years. All the participants gave written consent for inclusion in the research. The pilots were exposed to +Gz accelerations of +2Gz, +5.5Gz and higher, up to acceleration of +7Gz in human centrifuge of the Institute of Aviation Medicine in Belgrade.

Color perception was examined before and after the +Gz exposure. Participants were exposed to the effects of long-term acceleration in the centrifuge and to coriolis effect in the time between 9 am and 11 am, two hours after meal. Model used was the experimental model EM-1, programmed to achieve constant radial acceleration of +2Gz, counter-clockwise, and to perform head motion (active coriolis) after 30 seconds. Every head motion was made in one second, and the position was kept for 30 seconds after the change. The movements of the head were downwards (chin touching sternum), neutral head position, head on right shoulder forming 45 degrees angle and movement back to neutral position. After that movement, the device is slowed down to +1Gz, signal lamps for controlling the peripheral vision turn on and the acceleration starts in moderate grade of 0.1 G/sec up to the acceleration of +5.5Gz.

Pilot-subject was given a task to respond to light signals from the console within 0.9 seconds as an indicator of preserved peripheral vision. Console lights lighted up alternately on the dashboard. Afterwards, a warning of the same grade followed up to plateau of +2Gz, where immediately after reaching the acceleration of +2Gz, the before mentioned head movements were made.

On the second day of testing, the pilots were exposed to +5.5Gz acceleration and the effects of +7Gz acceleration while wearing Anti G suit. Pseudochromatic table Ishihara with 39 pages was used for testing color vision. Research was done in accordance with the instructions given for the test and carried out in the laboratory for altitude research.

All pilots tested for this research passed tests of color vision during their selective examination, by method of denomination and equalization. There are several tests for color vision research. Some tests are designed primarily for congenital i.e. inborn and some for acquired color perception deficits.

Tests were chosen based on its possibilities and procedures. Person performing the testing should be patient and have perfect knowledge of the method used, as well as normal color vision. These tests were based on decimation



method. The based principle was usage of small circles different in size, light and tonality. Circles were placed in specific positions to form various signs such as numbers and lines, easily noticed by normal trichomes. Ishihara test is placed 60 to 75 cm from eyes of the participant, and each page in the book is presented in 3 to 5 seconds with artificial light in a noise isolated room. Every subject had to read over 18 numbers to be considered as a person with normal color vision. Reading less than 9 pages would mean that there is a deficit in color perception.

Pilots have read Ishihara tables just before entering the centrifuge, immediately after exposure to +Gz acceleration and 10 minutes after leaving the centrifuge.

## Results

Color identification tests showed that, out of 40 pilots tested for color vision, 35 (87.50%) pilots had normal color identification before and after +Gz exposure. Two (5.00%) pilots made 2 mistakes each, where one pilot read number 3 instead of 4 – which falls within normal trichomates, and the

other pilot read 26 instead of 16. Three (7.50%) pilots gave slow answers after being exposed to +5.5Gz acceleration. On the second day, when the pilots were exposed to +7Gz acceleration, 34 (85%) out of 40 tested pilots had no changes in color recognition, two (5.00%) subjects made three mistakes reading numbers 5, 74 and 26. One (2.50%) subject made four mistakes while reading numbers 5, 7, 74 and 26. Three (7.50%) pilots gave slow answers.

Exposure to the +5.5Gz acceleration during the first day of testing did not show significant changes in color recognition before and after the exposure to +Gz acceleration. Exposing the subject to +7Gz acceleration caused a greater percent of mistakes and worse color recognition. Totally 85% of the tested pilots had normal color recognition. Even though the tested pilots were experienced and had good previous training, the results show that greater accelerations contribute to defects in color vision. The defects were reversible – ten minutes after the tests were done, color recognition in pilots was back to normal and no mistake was made when reading numbers on the Ishihara tables (Table 1).

**Table 1**

**Number (%) of pilots making errors in color perception**

Acceleration	Errors made, n (%)					
	0	1	2	3	4	slow reading
Before exposure to the acceleration +Gz	40 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Immediately after exposure +5.5 Gz	35 (87.50)	2 (5)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (7.50)
Immediately after exposure +7 Gz	34 (85)	0 (0)	0 (0)	2 (5)	1 (2.5)	3 (7.50)
10 minutes after exposure to + Gz	40	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

## Discussion

In our study, when exposed to +5.5Gz acceleration, color vision was normal in 87.50% of cases; 12.50% of cases showed a change either in slower reading of Ishihara tables or in reading the numbers wrong. After the exposure to +7Gz acceleration, 85% of subject showed normal color vision; 7.50% of tested pilots read the numbers slower, and 7.50% of them showed a defect in color perception. Recent studies<sup>2-4</sup> showed that the acceleration has effects on color perception, which mostly occurs at high +G acceleration, particularly on +9Gz, where wrong answers were given in 7.7% of the cases. Retinal blood flow decreases during accelerations that high, but thanks to the good training, it returns to normal level. This ability is very important for military maneuvers where everything happens fast and under additional stress.

Expectations for the results of this research were that the effects of acceleration are mostly noticeable on +7Gz acceleration, due to cessation of blood flow through retinal blood vessels. Further researches are made to test the effects of blood flow and changes in the blood stream of retina on color vision<sup>12</sup>.

Differences in the results of this and other researches can be explained as the consequence of using different methodologies. This research tested color vision using a method of discrimination with pseudoisochromatic Ishihara tables

and the pilots were exposed to acceleration in human centrifuge which is used at the Institute of Aviation Medicine.

Persons with color perception deficiency either do not perceive the numbers or see completely different numbers which is typical for the anomaly. These different perceptions occur due to apparent pseudoisochromasia (false color equality). Ishihara tables are constructed in such a way to easily detect red and green color defects, and major disadvantage of this test is that it is not quantitative and cannot separate anomals from anops with certainty, cannot distinguish protanops (lack of noticing red colors) from deuteranops (lack of noticing green colors) and cannot separate people with defect in blue (tritanops) and yellow color from people with normal color recognition. All of the participants were tested with color recognition and denomination method during the first selective tests. Denomination method is used for determining whether the subject recognizes basic colors on Baynes lantern method of exaltation on Oculus HMC anomaloscope, because of its quantitative as well as qualitative analysis of eventual deficits in color perception. Method of denomination is indicated in certain professions and in this case the pilot profession serves to verify the sense of color in special conditions and circumstances. These are mostly persons working with signal utilities in a variety of light and weather conditions (scotopic, mesotopic, photopic conditions, fog, rain, etc.) Testing is done with special utili-

ties (lamps, lanterns) for better imitation of the before mentioned natural conditions. This test is reliable for extracting trichomates from persons with severe defect in color perception, but is not reliable for diagnosing the type of disorder and estimating its severity. The equalization test is also applied with selective examination which uses spectral colors and provides quantitative as well as qualitative analyses of eventual deficits in color vision. At the Institute of Aviation Medicine in Belgrade where one testing was done, Oculus HMC anomaloscope was used and the diagnosis with severity of the deficit was tested by determining AQ (anomaly coefficient) in subjects. All pilots exposed to +Gz acceleration in human centrifuge were determined AQ which was within normal limits (from 1,00 to 1,31). This research started with the assumption that all pilots have normal color perceptions and do not have a quantitative lack of color recognition. It is necessary to emphasize that color perception declines with decreasing brightness; first comes the loss of ability to distinguish red color, then green and at last, blue. The effect of reducing the lighting was not examined due to the tests being done under the same lighting conditions. High +Gz stress has two primary effects. The instantaneous effect is pressure drop at head level and it is proportional to G load; second primary, but somewhat postponed effect, is withdrawal of blood in legs and abdomen. Acute redistribution leads to a decrease in the inflow of venous blood to heart, reduced cardiac output and reduction of the blood pressure at the level of the heart that can further lead to blood pressure reduction in the head level. Physiologically, the ultimate effect on the level of visual function is loss of peripheral and central vision and loss of consciousness. It should be pointed out that energy reserves of the eyes and brain get exhausted in about 5 seconds since the start of lack of blood in the head of the pilot exposed to +Gz acceleration, and in that time the baroreceptor reflex has not yet activated. In this case, the initial visual symptoms can be absent and could cause a current loss of consciousness which is the most dangerous for pilots. According to some authors<sup>1, 5</sup>, in the conditions of greater +Gz acceleration, pilots see red colors as orange or

yellow. Studies that dealt with comparative lighting relation, contrasts and color shades noted that changes in perceptions of greater +Gz acceleration, such as +9Gz, the pilots couldn't distinguish the color blue on the display, for they have seen it as white, and the color yellow as green. The ability to recognize colors decreases with decreasing lighting, first the ability to identify red color fails with light reduction, then the color green and at the lowest light, the color blue. Violet color has the longest photochromatical effect, i.e. it is also the longest seen color in low intensity lighting, therefore the modern airports use violet lamps for marking the runway for takeoffs and landings<sup>13-20</sup>.

To improve the tolerance on +Gz in human centrifuge used for training and exercise of pilots, it is necessary to emphasize that lighting and contrast sensitivity in cabin are important for color perception, as described in some studies<sup>6</sup>.

### Conclusion

Color identification is not stable at high +Gz accelerations. Before any definitive conclusions on the perception of color can be reached, further researches should be made, testing the cockpit of the airplane where central and peripheral vision may have an impact. Testing on the Oculus HMC anomaloscope, that is, using the equalization method after leaving the centrifuge and immediately after the +Gz acceleration exposure could be applied in some of the researches to follow. At positive +Gz accelerations the force of inertia acts parallel to longitudinal axis of the body, in such a way that the pilot is pinched in the seat. Due to the great practical significance, especially in air battle, this acceleration attracts great attention and its effect on visual functions is constantly tested. Training in human centrifuge is also of great importance, because with increasing the individual exercise, the pilots are trained to tolerate high +Gz accelerations, which is of great importance in combat maneuvers and every form of training reduces the possibility of color blindness due primarily to loss of retinal blood stream for visual symptoms of tunnel sight, grey and black veil, and finally loss of consciousness.

### R E F E R E N C E S

1. *Balldin UI, Derefeldt G, Eriksson L, Werchan PM, Andersson P, Yates JT.* Color vision with rapid-onset acceleration. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74(1): 29-36.
2. *Allnutt RA, Chelete TL, Post DL, Tripp LD.* Disappearing colors at G and luminance. *Aviat Space Environ Med* 1999; 70: 85.
3. *Allnutt RA, Tripp LD.* Color hue shift during gradual onset Gz acceleration. (abstract) Proceedings SAFE, 36 th Annual Symposium; Phoenix, AZ. SAFE Associatio; 1998: 446-453
4. *Cbelette TL, Allnutt RD, Tripp LD, Post DL.* Do some colors disappear at high G? (abstract). *Aviat Space Environ Med* 1999; 70: 85.
5. *Howard P.* The physiology of positive acceleration. In: *Gillies JA*, editor. A textbook of aviation physiology. Oxford: Pergamon Press; 1965. p. 559-60.
6. *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.
7. *Abramov I, Gordon J, Chan H.* Color appearance in the peripheral retina: Effects of stimulus size. *J Opt Soc Am* 1991; 8(2): 404-14.
8. *Rainford DJ, Gradwell DP.* *Ernsting's Aviation Medicine.* 4 th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group; 2006.
9. *Pavlović M.* *Fundamentals of Aviation Medicine.* Belgrade; Media centar; 2014. (Serbian)
10. *Delpero WT, O'Neill H, Casson E, Hovis J.* Aviation-relevant epidemiology of color vision deficiency. *Aviat Space Environ Med* 2005; 76(2): 127-33.
11. *Smiljanić N.* Testing of visual function. Beograd; Zavod za udžbenike i nastavna sredstva; 2001. (Serbian)
12. *Gordon J, Abramov I.* Color vision in the peripheral retina. II Hue and saturation. *J Opt Soc Am* 1977; 67(2): 202-7.
13. *Davis JR, Jonson R, Stepanek J, Fogarty JA.* *Fundamental of Aerospace Medicine.* 4th ed. Philadelphia, PA: Lipincott, Williams and Wilkins; 2008.

14. *Gibb R, Gray R, Scharff L.* Aviation Visual Perception: Research, Misperception and Mishaps. Burlington, VA: Ashgate; 2010.
15. *Carter R, Hinojosa-Laborde C, Convertino VA.* Sex comparisons in muscle sympathetic nerve activity and arterial pressure oscillations during progressive central hypovolemia. *Physiol Rep* 2015; 3(6): pii: e12420.
16. *Winterbottom M, Williams L, Gaska JP, Hadley S, Rings M, Smith A.* Operational based vision assessment collaborative research. *Aerospace Med Human Perform* 2016; 87: 3.
17. *Xu Y, Li BH, Zhang LH, Jin Z, Wei XY, Wang H, et al.* A centrifuge simulated push-pull manoeuvre with subsequent reduced +Gz tolerance. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(7): 2625–30.
18. *Jia H, Cui G, Xie S, Tian D, Bi H, Guo S.* Vestibular function in military pilots before and after 10 s at +9 Gz on a centrifuge. *Aviat Space Environ Med* 2009; 80(1): 20–3.
19. *Tsai ML, Horng CT, Liu CC, Shieh P, Hung CL, Lu DW, et al.* Ocular responses and visual performance after emergent acceleration stress. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52(12): 8680–5.
20. *Feigl B, Zele AJ, Stewart IB.* Mild systematic hypoxia and photopic visual field sensitivity. *Acta Ophthalmol* 2011; 89: 199–200.

Received on June 22, 2016.  
Accepted on October 3, 2013.  
Online First October, 2016.



## Ejection experience in Serbian Air Force, 1990–2010

Napuštanje aviona izbacivim sedištem: analiza katapultiranja pilota Vojske Srbije u periodu od 1990. do 2010. godine

Miroslav Pavlović<sup>\*†</sup>, Janko Pejović<sup>†‡</sup>, Jovan Mladenović<sup>§</sup>, Radovan Čekanac<sup>†§</sup>,  
Dalibor Jovanović<sup>¶</sup>, Radovan Karkalić<sup>||</sup>, Danijela Randjelović<sup>\*</sup>, Slaviša Djurdjević<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Institut of Aviation Medicine, Serbian Air Force, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia; <sup>†</sup>Faculty of Medicine of the Military Medical Academy, University of Defence, Belgrade, Serbia; <sup>‡</sup>Institute of Medical Biochemistry, <sup>§</sup>Institute of Epidemiology, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia; <sup>¶</sup>Military Technical Testing Center, Belgrade, Serbia; <sup>||</sup>Military Academy, University of Defence, Belgrade, Serbia

### Abstract

**Background/Aim.** Ejection injuries are the problem for air forces. The present risk for injuries is still too high, approximately 30–50%. The aim of this study was to determine factors responsible for and contributing to injuries in the Serbian Air Force (SAF) in the last two decades. **Methods.** All ejection cases in the SAF between 1990 and 2010 were analyzed. The collected data were: aircraft type, ejection seat generation, pilots' age and experience, causes of ejection, aeronautical parameters, the condition of aircraft control and types of injuries. For ease of comparison the US Air Force Safety Regulations were used to define major injuries: hospitalization for 5 days or more, loss of consciousness for over 5 min, bone fracture, joint dislocation, injury to any internal organ, any third-degree burn, or second-degree burn over 5% of the body surface area. **Results.** There were 52 ejections (51 pilots

and 1 mechanic) on 44 airplanes. The ejected persons were from 22 to 46 years, average 32 years. Major injuries were present in 25.49% cases. Of all the ejected pilots 9.61% had fractures of the thoracic spine, 11.53% fractures of the legs, 3.48% fractures of the arms. Of all major injuries, fractures of the thoracic spine were 38.46%. None of the pilots had experienced ejection previously. **Conclusion.** Our results suggest that taking preventive measures is obligatory. Namely, magnetic resonance imaging (MRI) scan must be included in the standard pilot selection procedure and procedure after ejection, physical conditioning of pilots has to be improved, training on ejection trainer has to be accomplished, too.

### Key words:

aerospace medicine; military personnel; occupational exposure; accidents aviation; wounds and injuries; serbia.

### Apstrakt

**Uvod/Cilj.** Povrede nastale katapultiranjem predstavljaju problem za ratno vazduhoplovstvo. Rizik od nastajanja povreda još uvek je visok i kreće se od 30% do 50%. Cilj ove studije bio je da se odrede faktori koji doprinose povredama u vazduhoplovstvu (V) i protivvazdušnoj odbrani (PVO) Vojske Srbije u poslednje dve dekade. **Metode.** Analizirani su svi slučajevi katapultiranja u V i PVO Vojske Srbije u periodu 1990–2010. Prikupljeni podaci odnosili su se na: tip vazduhoplova, generaciju (tip) izbacivog sedišta, starost pilota, iskustvo sa katapultiranjem, uzrok katapultiranja, aerodinamičke parametre koji prethode katapultiranju (vazдушna brzina, visina, položaj vazduhoplova), stanje upravljivosti aviona, vreme iskakanja, težina povreda (teške telesne povrede – TTP; lake telesne povrede – LTP; bez povreda). Zbog mogućnosti lakšeg poređenja sa drugim zemljama, korišćena je klasifikacija Američkog ratnog vazduhoplovstva za teške telesne povrede koja podrazumeva: bolničko lečenje preko pet dana, gubitak svesti preko 5 minuta, prelome kostiju, iščašenje zglobova,

povrede unutrašnjih organa, sve opekotine III stepena, sve opekotine II stepena koje zahvataju preko 5% površine tela. **Rezultati.** U navedenom periodu bilo je 52 katapultiranja (51 pilot i jedan mehaničar letać), na ukupno 44 aviona. Starost pilota bila je u rasponu od 22 do 46 godina, prosečno 32 godine. Teške telesne povrede bile su zastupljene kod 25,49% pilota. Od svih katapultiranih pilota 9,61% imalo je prelome torakalne kičme, 11,53% prelome nogu, 3,48% prelome ruku. Od svih TTP prelom torakalne kičme bio je zastupljen kod 38,46% katapultiranih pilota. Niko od pilota nije imao prethodno iskustvo sa katapultiranjem. **Zaključak.** Naši rezultati ukazuju da je neophodno sprovođenje mera prevencije. Magnetna rezonanca mora biti uključena u standardnu proceduru selekcije pilota, kao i u proceduru nakon katapultiranja. Potrebno je podići nivo fizičke kondicije. Takođe, potrebno je vršiti obuku na trenazu izbacivog sedišta.

### Ključne reči:

medicina, vazduhoplovna; kadar, vojni; profesionalna izloženost; udesi, vazduhoplovni; rane i povrede; serbija.

**Introduction**

Emergency escape from aircraft has been of utmost importance to air force since its inception. Safety and survival of crewmembers have been a major thrust of the entire safety program.

Although survival rates, nature of injuries, and reasons for ejection have been investigated for various air forces and show different characteristics, ejection injuries are still the problem for air forces.

The present risk of injuries is too high, approximately 30–50%. The aim of this study was to determine factors responsible for and contributing to injuries in the Serbian Air Force (SAF) in the last two decades.

**Methods**

All ejection cases in the SAF between 1990 and 2010 were analyzed. The collected data were: type of aircraft, generation of ejection seat, pilots' age, pilots' experience, causes of ejection, aeronautical parameters, the condition of aircraft control types of injuries (major, minor, non-injury). For ease of comparison, the US Air Force Safety Regulations were used to define major injuries: hospitalization for 5 days or more, loss of consciousness for over 5 min, fracture of bone, dislocation of joint, injury to any internal organ, any third-degree burn, or second-degree burn over 5% of body surface area.

**Results**

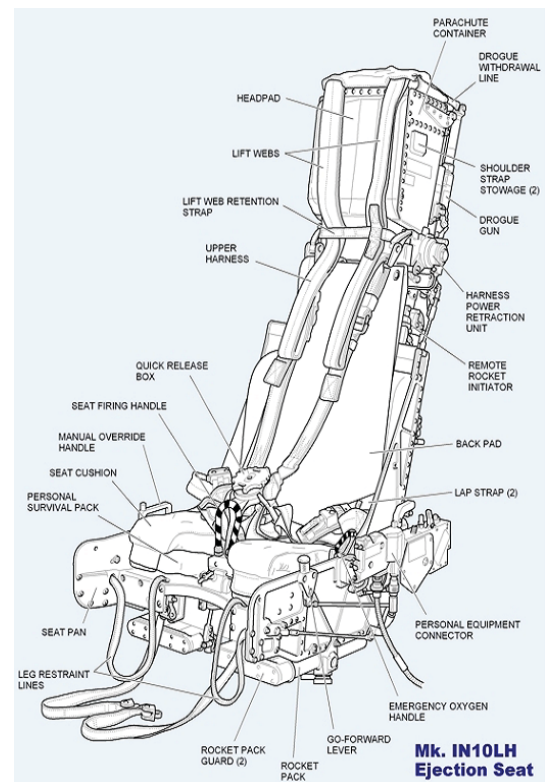
There were 52 ejections (51 pilots and 1 mechanic) on 44 airplanes. The ejected pilots were 22 to 46 years old, average 32 years. The pilots with major injuries had 32.8 years on the average. Emergencies that required ejection were: engine failure (3), control system failure (6), gear failure (5) mid-air collision (1) bird collision (2), and war action (23).

Seven different types of planes were used with five types different-generation ejection seat. Plane and ejection seat types with the major injuries were J/22 (Figure 1) and Martin Baker (MK/Y10) (Figure 2), respectively.

Involvement of Martin-Baker (MK-10) ejection seat in relation to all ejection seats was 53.8%, and involvement of MK-10 in the major injuries was 69.2%.



**Fig. 1 – The plain type J-22 (Orao in Serbian)**



**Fig. 2 – The ejection seat – Martin Baker 10**

Involvement of KM-1 seat in a total number of ejections was 13.46%, and in major injuries 22.22% (Table 1).

**Table 1**

Aircraft, ejection seat and injuries types in the Serbian Air Force ejection experiences during 1990–2010					
Plane type	Pilots (n)	Ejection seat type	Major injuries (n)	Minor injuries (n)	No injuries (n)
H- 62 (9)	11	Martin-Baker (MK-YU 10)	2	3	6
J - 22, HJ-22 (12)	17	MK-YU 10	7	2	8
Jl-17 (7)	7	KM-1	3	1	3
J – 21 (7)	7	Foland 1B	1	2	4
Jl –14 (2)	2	KM			2
Jl –18 (5)	5	K–36 ДМ		1	4
H– 60 (2)	2	Foland 1B			2
<b>Total: 44</b>	<b>51</b>		<b>13 (25.49%)</b>	<b>9 (17.64%)</b>	<b>29 (56.86%)</b>

It is obvious that major injuries were present in 25.49% cases suggesting that every fourth pilot had experienced major injury. Major injuries in war action were only 2, namely 15.3% of all major injuries. It should be noted that there was no major injuries with K-36DM, in spite of ejections in war actions.

A list of injuries included: *fractura fibulae l.sin.*; *frac. mal. lat. cruris. sin.*; *fractura oss nasale*; *fractura Th – IV*; *frac. subcapitis ossis methacarp. II manus dex. aperta*; *frac. Th – VIII*; *frac. tibiae*; *frac. costae X l. sin.*; *frac. compressiva Th – VIII*; *frac. Th - X – XII, cum fractura cruris sin. gr. I aperta*; *frac. Th - IX*, *spondilodesis Th -VII –XI*.

Of all the ejected pilots, 5 (9.61%) had fractures of the thoracic spine, 6 (11.53%) fractures of the legs, and 2 (3.48%) fractures of the arms. Two of them had united fractures.

Of all the major injuries, 38.46%, were related to fractures of thoracic spine, and 60% of them were inflicted on the plain J-22 (MK-10).

Minor injuries that should be mentioned were laceration of the face and burns of the arms.

Obesity (adipositas) was presented in 23.07% of the pilots with major injuries.

None of the pilots had previously experienced ejection.

### Discussion

Analysis done by foreign air forces for long periods of time, with different types of planes and generations of seats, revealed different degrees of fatal injuries during ejection. The highest degree of fatal injuries was recorded in the Japanese Air Force, 22.9% of mortal outcomes in a study for a period 1956–2004<sup>1</sup>. The main reason was the delay in making decision for ejection.

In the study on accidents from 1973 to 1985 US Air Force (USAF) presented a survival rate of 86%<sup>2</sup>. Swedes, in their study for a period 1967–1987 claimed 83 successful ejections and 9 fatal outcomes<sup>3</sup>. Finns, in the study from 1958 to 1991 quoted survival rate higher than 80%<sup>4</sup>. English, in the study of 232 cases of ejection, for a period 1973–2002, quoted the survival rate of 89.2%<sup>5</sup>. In our study there was no case of ejection with fatal outcome.

Compression a fracture of the spine is a common consequence of ejection. Finns quoted 18% of such cases in the total number of all major injuries, Swedes 25%, Italians 15%, USAF 6%, Japanese 63% and English 29.4% of all aircrew. Germans quoted 17.6% of spine fractures in their Air

Force, for a period from 1981 to 1997<sup>6</sup>. Americans quoted 6 spine fractures from 18 ejections in the “Desert Storm”<sup>6</sup>.

In our survey spine fractures were presented in 9.61% of all ejections. The incidence of spine injuries was 38.46% of the major injuries and 60% of all spine fractures was on plane J-22(MK-10).

In their study, English quoted that 44% of minor spinal compression fractures and injuries of spinal ligaments could not be diagnosed with classic Roentgen recording, but only with magnetic resonance<sup>5</sup>. This emphasizes the importance of examination with magnetic resonance of all aircrews after ejections.

Irregular seating position during ejection was accused to be the main reason for spinal fractures and a combination of accomplished highest acceleration and rate of onset. The injuries appeared in the moment of discharge, and acceleration upward. It was established that every reduction of acceleration in the moment of discharge reduces forces acting on the spine and the degree of spine injuries. It was concluded that acceleration reduction from 24 m/s to 18 m/s reduces rate of injuries<sup>5</sup>. The highest rate of injuries was on a plane Tornado, with Martin-Baker seats Mk-10A, with the speed of 20.7 m/s, compared with 19.5 m/s for other types of planes<sup>5</sup>.

In our case, the estimated speed for MK-YU10(MK-10) was 19.8 m/s.

It should be pointed out that a connection between spine fractures and anthropometric measures of pilots could not be established<sup>5</sup>.

In war action the rate of major injuries during ejection was lower than it could be expected. A possible reason was the participation of most experienced aircrews.

In their study Swedes quoted that two third of successfully ejected pilots returned to job after 1 week, others were absent for one year, and only 3.5% finished their flying career<sup>3</sup>.

### Conclusion

Risk of injuries during ejection still remains too high, approximately 30–50%, in our survey 25.49%. There were no ejections with fatal outcome in our study. The main reason for spine injuries was irregular position of the spine in the seat and a combination of the peak of acceleration and the rate of onset. Preventive measures must be promoted: MRI scan should be included in the standard selection procedure and procedure after ejection physical conditioning has to be improved, training on ejection trainer has to be accomplished, too.

### R E F E R E N C E S

1. Nakamura A. Ejection experience 1956-2004 in Japan: an epidemiological study. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78(1): 54–8.
2. McCarthy GW. USAF take-off and landing ejections, 1973-85. *Aviat Space Environ Med* 1988; 59(4): 359–62.
3. Sandstedt P. Experiences of rocket seat ejections in the Swedish Air Force: 1967-1987. *Aviat Space Environ Med* 1989; 60(4): 367–73.
4. Visuri T, Aho J. Injuries associated with the use of ejection seats in Finnish pilots. *Aviat Space Environ Med*. 1992; 63(8): 727–30.
5. Lewis ME. Survivability and injuries from use of rocket-assisted ejection seats: analysis of 232 cases. *Aviat Space Environ Med* 2006; 77(9): 936–43.
6. Damon AM, Lessley DJ, Salzar RS, Bass CR, Shen FH, Paskoff GR, et al. Kinematic response of the spine during simulated aircraft ejections. *Aviat Space Environ Med* 2010; 81(5): 453–9.

Received on May 17, 2013.

Revised on July 2, 2013.

Accepted on August 2, 2013.

OnLine-First October, 2013.