

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE DIN CRAIOVA
ȘCOALA DOCTORALĂ**



**REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT**

**STUDIUL CLINIC ȘI PARACLINIC AL
FENOMENELOR APĂRUTE LA STIMULAREA
ROTAȚIONALĂ CONTROLATĂ A CANALELOR
SEMICIRCULARE**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
PROF. UNIV. DR. IANCĂU MARIA**

**DOCTORAND
MACOVEI ADRIAN**

INTRODUCERE

Încă de la începuturile aviației, lipsa aferențelor vizuale s-a constituit într-un semn de pericol, iar lipsa instrumentarului de suplinire adecvat făcea ca un zbor în condiții de vizibilitate alterată (de obicei plafon de nori) să reprezinte un risc major pentru viața pilotului. Dintre sistemele senzoriale umane, cel mai implicat în zbor a fost sistemul vestibular. Din 1990, Gillingham lansează în lumea științifică conceptul de dezorientare spațială, subliniind rolul integrativ al sistemelor vizual, vestibular și proprioceptiv (Gillingham, 1996)

Țin să mulțumesc tuturor celor m-au sprijin în realizarea acestei lucrări, în special doamnei Profesor Universitar Doctor Maria Iancău și domnului Profesor Universitar Doctor Marian Macri pentru neprețuitul ajutor dat atât la partea de concepție experimentală, cât și la lămurirea unor aspecte teoretice mai dificile și, nu în ultimul rând, pentru răbdarea de care au dat dovadă.

STADIUL CUNOAȘTERII

CAPITOLUL I redă caracteristicile morfofuncționale ale aparatului vestibular. Se relevă cele cinci organe terminale distincte: trei canale semicirculare, care sunt sensibile la accelerațiile unghiulare și două organe otolitice, sensibile la accelerații liniare. Canalele semicirculare sunt dispuse ortograd, astfel încât pot acoperi toate cele trei axe. De asemenea, ele formează perechi funcționale, astfel încât fiecare pereche este dispusă în același plan. (Smith, 2012). Conexiunile cu hipocampusul nu au fost clar evidențiate, dar există, hipocampusul fiind integratorul orientării spațiale. Cercetări recente (Smith, 1997; Brandt, 2005), bazate pe studii de electrofiziologie au arătat că stimularea vestibulară interesează nucleii anteriori talamici și hipocampusul. Diferite arii corticale au fost puse în legătură cu integrarea vestibulară. Guldin și Gurusser (1998) au identificat, pe trei serii distincte de primate, existența unui sistem vestibular cortical. Studii de imagistică la om confirmă o parte din aceste localizări (De Waele, 2001; Lopez 2011).

CAPITOLUL II prezintă datele actuale cu privire la manifestările apărute la stimularea canalelor semicirculare, dezorientarea spațială și răul de mișcare. Manifestările clinice apărute la stimularea canalelor semicirculare au la bază două mecanisme importante: variația sensibilității prag a aparatului vestibular și suprasolicitarea mecanismelor de integrare vestibulară normale. Este structurat în două părți, prezentarea iluziilor vestibulare, din care reținem iluzia somatogirală și iluzia înclinărilor, ca și fenomenul Coriolis și nistagmusul incapacitant. Cu privire la răul de mișcare reținem că este un fenomen clinic declanșat de contradicția între aferențele senzoriale (predominat este rolul sistemului vestibular, animalele labirintectomizate nefăcând rău de mișcare). Răul de mișcare apare a fi un răspuns evolutiv ca reacție la o toxină ingerată, care produce perturbarea activității vestibulare normale (Money, 1983). A fost studiat pe mai multe tipuri: răul de mare - 90% (Lawther, 1988), răul de avion - 20-30%, răul de autobuz - 10% (Classen, 2011), răul de montagne russe, răul de simulator (Kennedy, 1992), răul de cinema (IMAX) (Flannagan, 2004), răul de spațiu (Lackner, 2006).

CAPITOLUL III etalează considerațiile asupra participării sistemului nervos autonom în răul de mișcare, din care reținem modalitățile de explorare fiziologică ale acestuia, multiple: studiul palorii (Holmes, 2012), gastrografia (Andre, 1996), evaluarea endocrină (Kohl, 1978; Eversmann, 1985), variabilitatea RR (Doweck, 1997; Mullen, 1998). A doua parte este dedicată confirmărilor integrării vestibulo-autonome: Wilson (2006) identifică modificări vegetative congruente la stimularea vestibulară, la pisici conștiente. Shortt (1997) semnalează reacții simpatice la flexia capului, rezultate confirmate de Hume (1999). Ray (2002) atribuie unui reflex vestibulo-simpatic rol în hipotensiunea ortostatică la vârstnici. Murakami (2002) demonstrează efectele integrării vestibulo-autonome la cobai. Kaufmann (2002) evidențiază prin înregistrări polifiziografice integrarea anatomo-vestibulară. Ca un ultim argument, Cowings (1982) arată eficacitatea tehnicilor de control autonom pentru prevenirea răului de mișcare.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Partea a doua a lucrării cuprinde contribuțiile personale.

În **CAPITOLUL IV** am stabilit următoarele **obiective**:

- studierea răspunsului la percepția iluziei de înclinare la simularea cu ajutorul aparatului GAT II
- studierea variației și pragului de discriminare al mișcării de rotație (experiența anterioară ne-a îndreptățit să credem că această sensibilitate diferită are un impact asupra percepției corecte a unui profil de dezorientare spațială în cadrul antrenamentului)
- studierea impactului rotației sub și peste prag (în funcție de parametrii determinați la punctul precedent) în menținerea unui traseu
- studierea impactului mișcării de rotație asupra controlului unei aeronave telecomandate (modelul dezorientării spațiale la aeronavele controlate de la distanță).
- evidențierea unor conexiuni vestibulo-autonome, în scopul de a furniza noi elemente în înțelegerea fenomenologiei răului de mișcare.

CAPITOLUL V descrie loturile, materialele utilizate și metodele de lucru pentru obținerea rezultatelor.

Loturile de voluntari, implicate în studierea aspectelor clinice și paraclinice în stimularea rotațională controlată a canalelor semicirculare orizontale, au fost selecționate din cadrul piloților și parașutiștilor care au efectuat vizita medicală anuală. Acest lucru ne-a permis excluderea afecțiunilor ORL sau neurologice, precum și de altă natură, în cadrul vizitei medicale fiind efectuate de rutină electrocardiogramă, electroencefalogramă, posturografie. Am încercat pe cât posibil să nu includem aceiași subiecți în etape diferite.

Primul lot a constat într-un număr de 51 de piloți și studenți-piloți, care au participat la antrenamentul cu simulatorul GAT II.

Al doilea lot a cuprins 60 de subiecți, 50 fiind selecționați în condiții similare primului lot, iar 10 dintre "entuziaștii" simulatorului GAT II, care au trecut prin același etape de screening. În funcție de tipul de aeronavă pe care zboară, subiecții au fost categorisiți ca HEL (pentru piloții de elicoptere), MIG (pentru piloții de avioane supersonice de luptă), TRA (pentru piloții de transport), PAR (pentru parașutiști), SUB (pentru piloții pe avioane subsonice, 7 studenți și 3 instructori) și ZER (pentru nenaviganți, dar totuși subiecți familiarizați cu GAT II).

Al treilea lot a constat din 20 de subiecți, dintre care 10 piloți și 10 nenaviganți.

Pentru al patrulea lot am selecționat unui grup de 10 ofițeri piloți, care să participe la studiu.

Pentru studiul variabilității ritmului cardiac am selecționat un lot de studiu compus din 20 de piloți și 30 de candidați piloți și studenți ai primilor ani ai Academiei Forțelor Aeriene.

Materialele folosite au constat, în principal, din simulatorul GAT II, capabil de rotație în toate celei trei axe (nelimitat pentru rotație). Parametrii sunt redați în tabelul I:

Tabelul I Parametrii Simulatorului GAT II

Tangaj +/- 12° Viteză: 0 la 8°/s Accelerație: 0.5°/s ² la 8°/s ²	Ruliu +/- 20° Viteză: 0 la 10°/s Accelerație: 0.5°/s ² la 10°/s ²	Girație (continuă) +/- 360° Viteză: 0 la 25 RPM Accelerație: 0.5°/s ² la 15°/s ²
---	--	---

Pentru colectarea datelor de electrocardiografie am folosit un electrocardiograf portabil tip BTL-08 SD1, selecționând pentru tipărire canalul cu unda R cea mai proeminentă.

Măsurarea intervalelor R-R s-a făcut manual, cu ajutorul unei rigle speciale care indica frecvența.

Prelucrarea datelor de variabilitate R-R s-a făcut cu software-ul Kubios HRV ver 2.0.

Metodele de lucru sunt redade separat pentru fiecare etapă a studiului:

1. Studiul iluziei de înclinare

Evaluarea performanței s-a făcut cu 3 indicatori: FB-foarte bine, B-bine, S-satisfăcător

În funcție de percepția iluziei demonstrate, am clasificat trei categorii: DA - cei care au recunoscut că au perceput iluzia, NU - cei care nu au perceput-o ca pe o iluzie (deși au reacționat la ea), CONFUZ - cei care nu au perceput exact ceea ce s-a întâmplat.

Reacția pilotului a fost categorisită astfel: ADECVATA - descrisă ca reacția tipică în urma iluziei, în care pilotul a înclinat aparatul în sensul virajului inițial, urmată de redresarea la orizontală înainte sau după restaurarea afișajului, INADECVATA - descrisă ca reacția paradoxală, de înclinare a aparatului în sens opus celui virajului inițial, INCERTA - restul reacțiilor care nu s-au încadrat în tiparul celorlalte categorii anterioare. Piloții care nu au perceput iluzia sau au perceput-o în mod confuz au fost clasificați la reacție incertă.

2. Explorarea sensibilității prag la mișcarea de rotație

Am folosit simulatorul GAT II din dotarea I.N.M.A.S. pentru a genera o accelerație unghiulară progresivă cu pași de 0.2 grade pe secundă la pătrat, fiecare pas având o durată de 5 secunde, pentru a minimiza efectul legii Mulder.

Subiecții au fost legați la ochi și cabina iluminată la minimum, pentru a elimina pe cât posibil stimulii vizuali.

3. Mișcarea de rotație și deviația de la un traseu impus

Scopul acestei părți a lucrării este de a evidenția efectele acestei adaptări specific vestibulare asupra capacității de control a aeronavei. Pentru a minimiza consecințele cuplării simultane a mai multor canale semicirculare, trunchiul a fost imobilizat în scaunul pilotului cu ajutorul centurii de siguranță, iar capul a fost stabilizat pe trunchi cu ajutorul unui guler cervical. Piloții au trebuit să efectueze trei tururi de pistă, odată static, apoi cu o rotație sub pragul de percepție al canalelor semicirculare (am ales valoarea prag de accelerație de $0.4 \text{ } ^\circ/\text{s}^2$ și viteză de $4 \text{ } ^\circ/\text{s}$), iar ultimul cu o rotație puternică (accelerație de $2 \text{ } ^\circ/\text{s}^2$ și viteză de $80 \text{ } ^\circ/\text{s}$). Pe înregistrarea zborului am urmărit tendințe evidente de deviație de la traseu, comparativ cu turul static. Am cuantificat deviația laterală (dev. lat), mărirea razei virajului (dev. viraj) și un parametru numit timp de apariție a deviației (TAD), pe care l-am definit ca fiind timpul scurs între inițierea rotației și apariția evidentă a deviației laterale.

4. Influența mișcării de rotație asupra simulării controlului aeronavelor telecomandate

Partea experimentală a încercat să identifice rolul unei baze de mișcare mobile asupra performanței pilotului unui UAV. Problema a fost pusă de Cooke (2006). Selecția a urmărit în mod special performanța bună în controlul UAV-ului simulat, care s-a făcut printr-un joystick fără fir. Prima etapă a fost decolarea și urmărirea unui prime porțiuni a traseului. Această etapă, cu o durată de 3 minute, a fost utilizată ca martor pentru evaluarea performanței. Între 3 și 5 minute a fost introdusă mișcarea de tangaj, între 5 și 7 minute mișcarea de ruluu, între 7 și 9 minute mișcarea de turbulențe și între 9 și 11 minute mișcarea de rotație. Performanța a fost cuantificată 1-3. Adicional, piloții au trebuit să răspundă unui chestionar asupra modului în care au perceput influența mișcării asupra desfășurării misiunii. De asemenea, a fost urmărită apariția unor simptome tipice asociate discongruenței mișcării.

5. Variabilitatea ritmului cardiac la mișcarea de rotație și influența asupra răului de mișcare

Profilul a avut următoarea desfășurare în timp:

- 0-30 s staționar
- 30-60 s $4^\circ/\text{s}$ o, $4^\circ/\text{s}^2$
- 60-90 s $40^\circ/\text{s}$ $2^\circ/\text{s}^2$
- 90-120s $85^\circ/\text{s}$ $4^\circ/\text{s}^2$
- 130s $20^\circ/\text{s}$ $1^\circ/\text{s}^2$
- 140s $5^\circ/\text{s}$ o, $5^\circ/\text{s}^2$
- 150s STOP

Electrocardiograma a fost înregistrată pe tot parcursul profilului, înregistrarea fiind pornită și oprită la începutul, respectiv sfârșitul rotației. Datele de frecvență au fost convertite în milisecunde, cu ajutorul unui tabel Excel și apoi prelucrate cu Kubios HRV (profilul Suunto).

CAPITOLUL VI sistematizează **rezultatele** obținute în urma prelucrării datelor, din care le menționăm pe cele notabile:

Tabelele II și III redau corelațiile percepției iluziei față de experiența de zbor și capacitatea de execuție.

Tabelul II Parametrul Perceperea iluziei față de Experiența de zbor și Capacitate de execuție (OZ = ore zbor)

Capacitate de execuție			Experiența de zbor						Total
			piloți albaștri	piloți albaștri peste 1000 OZ	piloți albaștri sub 1000 OZ	studenți I/OZ	studenți OZ albaștri		
B	Perceperea iluziei	CONFUZ	0	0	0	0	2	2	
		DA	1	1	1	4	15	22	
		NU	0	0	1	0	2	3	
		Total	1	1	2	4	19	27	
FB	Perceperea iluziei	CONFUZ	3	8	3		0	14	
		DA	0	0	0		1	1	
		NU	0	0	0		1	1	
		Total	3	8	3		1	15	
S	Perceperea iluziei	CONFUZ				1	0	1	
		DA				4	1	5	
		NU				3	0	3	
		Total				8	1	9	

Tabelul III Semnificația statistică a corelațiilor din tabelul II

Capacitate de execuție		Valoare	df	Semnificație
B	Pearson Chi-Square	4.748	8	.784
	Likelihood Ratio	4.730	8	.786
	Număr de cazuri	27		
FB	Pearson Chi-Square	15.000	3	.002
	Likelihood Ratio	7.348	3	.062
	Număr de cazuri	15		
S	Pearson Chi-Square	.900	2	.638
	Likelihood Ratio	1.275	2	.529
	Număr de cazuri	9		

Nu am găsit corelații semnificative între grupuri, ceea ce arată că perceperea iluziei este o funcție de percepție individuală a pilotului și nu de experiența de zbor. Totuși am găsit o corelație semnificativă în grupul cu performanțe foarte bune, ceea ce arată că, de la un anumit nivel, diferențele în percepția iluziei țin mai mult de antrenament decât de particularitățile individuale.

Ca o confirmare, tabelele IV și V redau analiza capacității de execuție față de răspunsul la iluzia demonstrată.

Tabelul IV Parametrul Răspunsul la iluzia față de Capacitate de execuție

Răspunsul la iluzie		Capacitate de execuție			Total
		B	FB	S	
Răspunsul la iluzie	ADECVAT	16	14	0	30
	INCERT	9	1	5	15
	INADECVAT	2	0	4	6
	Total	27	15	9	51

Tabelul V Semnificația statistică a corelațiilor din tabelul IV

	Valoare	df	Semnificație
Pearson Chi-Square	23.573	4	.001
Likelihood Ratio	27.589	4	.001
Număr de cazuri	51		

Figurile 1 și 2 redau distribuția pe grupuri a variabilelor *aprimar* și *areal*

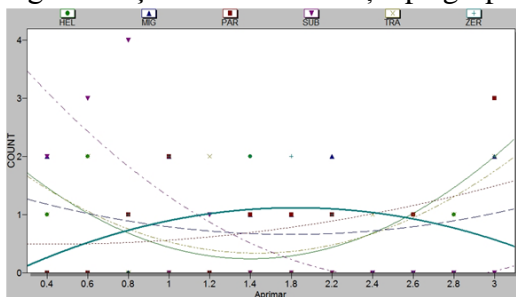


Figura 1 Tendințele primar

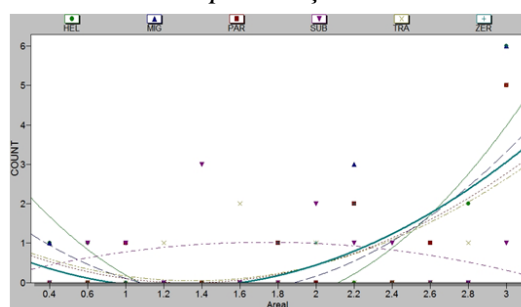


Figura 2 Tendințele areal

Testul ANOVA pentru distribuția primar indică o valoare "p" de 0,03, semnificativă statistic în condițiile testului Bartlett de 0,32. Testul Mann-Whitney pentru testare multiparametrică indică un "p" de 0,02.

Testul ANOVA pentru distribuția areal indică o valoare “p” de 0,05, semnificativă statistic în condițiile testului Bartlett de 0,44. Testul Mann-Whitney pentru testare multiparametrică indică un “p” de 0,03

La analiza deviației, remarcăm puternica deviație spre dreapta în cazul nenaviganților (figura 3), datorită probabil unei coordonări neuromotorii sub nivelul celei a piloților, aceștia având avantajul atât al selecției, cât și al antrenamentului. Simptomatologia (figura 4) apărută a fost chestionată anamnestic postexpunere, cuantificată 0-3, 0 însemnând absența oricărui simptom, 1 o simptomatologie nespecifică, 2 simptomatologie moderată specifică răului de mișcare, 3 simptomatologie puternică, ce a necesitat oprirea studiului. Bineînțeles, datorită procesului de selecție, piloții s-au încadrat în grupele 0 sau 1.

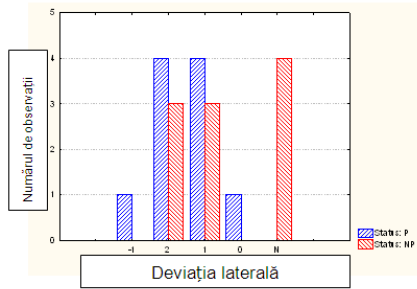


Figura 3 Histograma deviației laterale

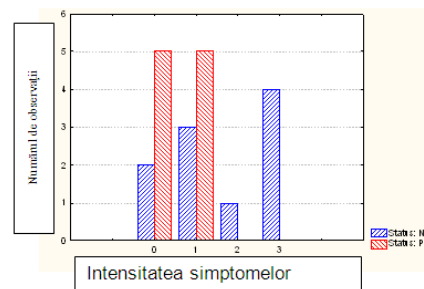


Figura 4 Scala simptomelor

Am cuantificat timpul de apariție a deviației laterale (TAD), a cărui histogramă este redată în figura 5. TAD a avut o distribuție normală și o valoare medie de 114.5 secunde, la o deviație standard de 14,82 (p de 0,05). Există o diferență semnificativă statistic („p” 0,003) între piloții și nenaviganți (figura 6), piloții având probabil un nivel de adaptare și de autocontrol superior, ca și obișnuința de a practica zborul instrumental.

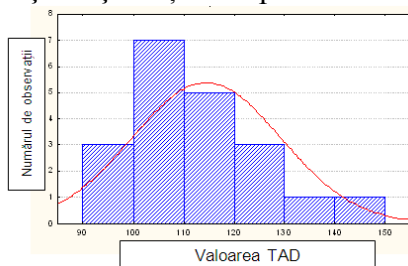


Figura 5 Histograma TAD

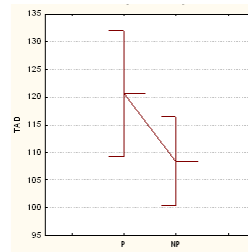


Figura 6 ANOVA TAD

În ceea ce privește controlul la distanță, performanța este sumarizată în figura 7. Analiza tip chi-square a datelor nu a evidențiat diferențe de performanță între piloții de carieră și “piloții amatori” (Chi Square Asymptomatic Significance (2-sided) între 0.549 și 1.000). (valori sub 0.100 pentru diferențe semnificative statistic). Simptomatologic (figura 8) putem afirma că 4 subiecți au avut o absență a simptomatologiei asociate, 4 o simptomatologie foarte redusă și 2 o simptomatologie redusă] (1-3 media pe scara de cuantificare). La chestionarul de la 24 ore, nici unul dintre subiecți nu a prezentat acuze post studiu.

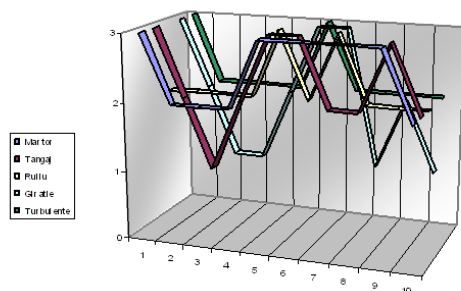


Figura 7 Cuantificarea performanței

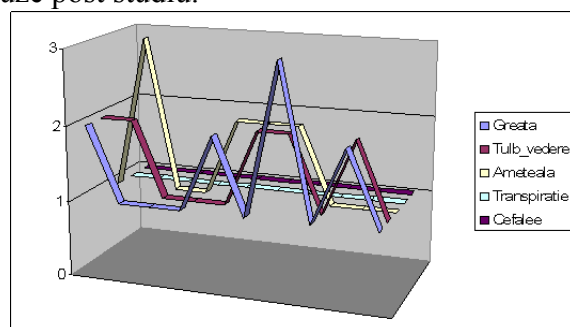


Figura 8 Cuantificarea simptomelor

Referitor la variabilitatea ritmului cardiac, testul tip ANOVA, aplicat pentru media RMSSD, indică un factor F de 15,241 și “p” minim de 0,0002 (figura 9), ceea ce demonstrează semnificația statistică a diferenței între piloți și non piloți. Variabilitatea ritmului cardiac semnificativ mai mare a piloților este un indicator al neactivării simpatice la mișcarea de rotație. Testul tip ANOVA, aplicat pentru media pNN50 (figura 10), indică valori similare în cazul pNN50, cu o valoare F de 15,359, mai mare, în special pe intervale mici

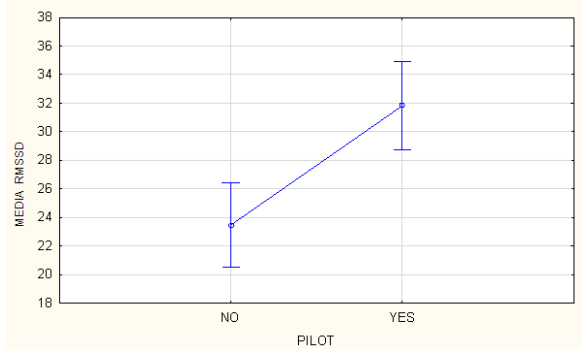


Figura 9 ANOVA RMSSD - Pilot

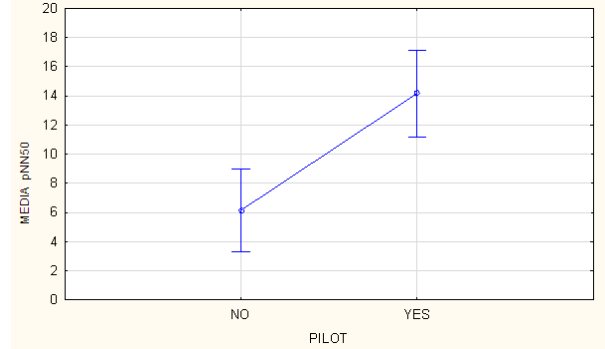


Figura 10 ANOVA pNN50 - Pilot

În ceea ce privește simptomele evocatoare de rău de mișcare (MS) asociate cu media RMSSD (figura 11), valoarea F de 6,67 este mai mică, iar “p” de 0,01, deși ar putea privit ca semnificativ, având în vedere compunerea lotului și metodologia prelucrării datelor, o considerăm ca nesemnificativă. Prin urmare, nu există o diferență clară între variabilitatea medie și evoluția simptomelor de rău de mișcare. Similar, în ceea ce privește pNN50 (figura 12), care este dovedit a fi mai specific, în condițiile studiului nostru, valoarea “p” de 0,013 este și mai mare, factorul F de 6,64, mai mic.

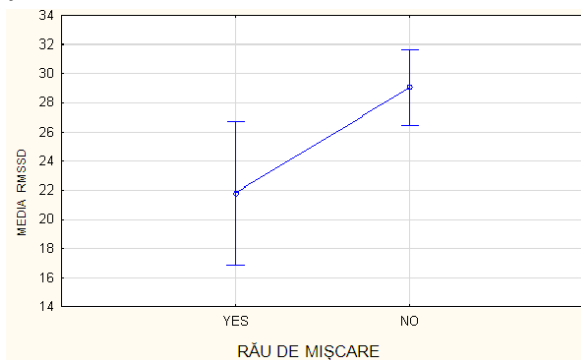


Figura 11 ANOVA RMSSD - rău de mișcare

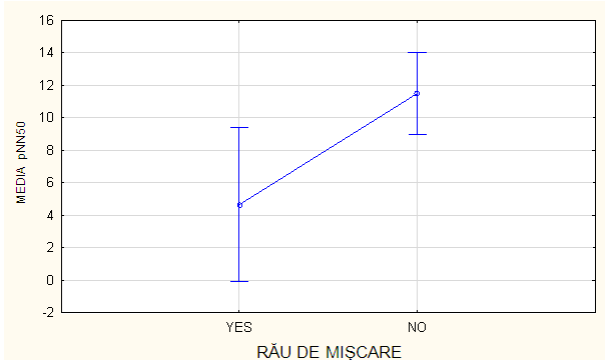


Figura 12 ANOVA pNN50 - rău de mișcare

La profilul OT (codificat 3 în grafic), corelația rău de mișcare-RMSSD are o valoare F de 54,78, cu un “p” 0,001 (figura 13). În acest profil, se poate spune că există o corelație clară între apariția simptomelor evocatoare de rău de mișcare și scăderea variabilității cardiace. După cum ne-am obișnuit, corelația dintre pNN50 și răul de mișcare este mult mai puternică, valoarea F fiind superioară, de 68,81, cu o valoare „p” de 0,001 (figura 14).

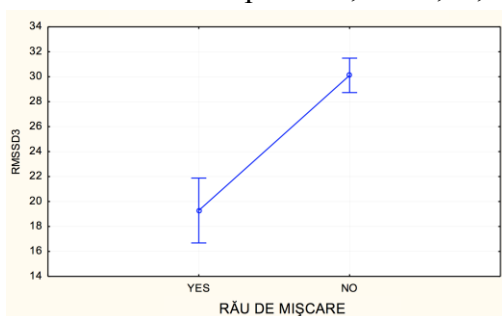


Figura 13 ANOVA RMSSD03 - rău de mișcare

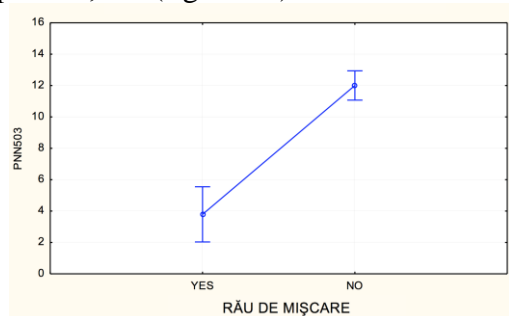


Figura 14 ANOVA pNN5003 - rău de mișcare

CAPITOLUL VII este dedicat comparării rezultatelor cu datele de literatura, din care sumarizăm:

În ceea ce privește percepția iluziei, apreciem că rezultatele sunt sugestive și conforme cu datele altor experimenatori (Ercoline, 2000; Wickens, 2006). Totuși, câteva dintre rezultate pot evoca tendințe interesante. În primul rând remarcăm că percepția iluziei nu depinde de experiența profesională și nici de performanța la zborul impus. Aici se confirmă datele teoretice, care susțin că iluzia apare indiferent de gradul de antrenament, lucru relevant și de alte studii (Wickens, 2006). Rezultatele sunt importante, deoarece arată că nu există «imuni» la perceperea iluziilor și că un antrenament de dezorientare spațială este binevenit în orice moment al carierei de pilot (Kallus, 2004). Cea de a doua parte a rezultatelor confirmă că reacțiile „non standard” înregistrate sunt ca urmare nu numai a unei diferențe de percepție, ci pur și simplu datorate unei lipse de cooperare cu simulatorul, situație întâlnită și de Ercoline (2000).

În ceea ce privește sensibilitatea la mișcarea de rotație, majoritatea valorilor obținute sunt peste limita admisă teoretic (0.6) (Young și Oman, 1969) (47 din 60 pentru aprimar și 56 din 60 pentru areal). Era de așteptat, în condițiile experimentului nostru. Oricum, nu am expus subiecții decât unui singur probe, știut fiind că repetarea probei duce la creșterea sensibilității detecției valorii prag.

Grupul HEL a fost cel mai afectat în aria conștientizării mișcării, în timp ce percepția primară a fost foarte bună. Probabil că la piloții de elicopter, componenta vizuală are un rol mai important în perceperea poziționării spațiale decât la celelalte categorii.

O altă componentă interesantă este că piloții de subsonic au avut rate de detecție foarte bune. O explicație plauzibilă este că lipsa de experiență de zbor (7 din 10 erau studenți) a dus la o deschidere mai mare și mai puține presupuneri despre ce simulatorul ar trebui să facă, în loc de ceea ce făcea de fapt.

Există o diferență între pragul percepției mișcării și conștientizarea ei (Soyka, 2012)

În ceea ce privește influența mișcării de rotație asupra orientării pe un traseu prestabilit, remarcăm puternica deviație spre dreapta în cazul nenaviganților, datorită probabil unei coordonări neuromotorii sub nivelul celei a piloților, aceștia având avantajul atât al selecției, cât și al antrenamentului.

Am cuantificat timpul de apariție a deviației laterale, care a avut o distribuție normală și o valoare medie de 114,5 secunde, cu o deviație standard de 14,82 („p” 0,05). Valoarea este cu un ordin de mărime mai mare decât valorile calculate prin urmărirea reflexului vestibulo-ocular, așa că excludem influența vestibulară directă, în concordanță cu studiul lui Merfeld (2001).

Teoretic, putem infera că deviația observată este consecința unui lipse de integrare între stimulul vestibular și cel proprioceptiv, o concluzie la care ajunge și DiZio (2003), dar în urma unui experiment diferit. Accelerația centrifugă exercitată asupra receptorilor proprioceptivi ai subiectului este mai mare în profilul cu viteză mare, ceea ce se verifică în practică cu deviația laterală mai mare în cazul din urmă. Un fenomen similar ar putea explica iluzia „mâinii gigante”.

În ceea ce privește influența dezorientării spațiale asupra controlului UAV, am remarcat că toate mișcările au afectat într-o măsură variabilă performanța, însă turbulențele au influențat cel mai mare număr de subiecți. Caracterul imprevizibil al acestora și dezvoltarea în mai multe axe de mișcare simultan explică răspunsul adaptativ mai slab la aceste mișcări. După cum era de așteptat, mișcarea de rotație a avut cel mai mare impact asupra performanței.

În ceea ce privește variabilitatea ritmului cardiac, referitor la RMSSD, se observă două grupuri, unii cu variabilitate mică și alții cu variabilitate mare. După cum am văzut, o variabilitate mică conduce spre suspiciunea de activare simpatică. Boli cum ar fi diabetul, care induc neuropatie vagală, conduc la rezultate similare (Malpas 1990). Marea majoritate a cazurilor au această

variabilitate scăzută. În condițiile în care subiecții au fost atent selecționați și indemni de orice neuropatie, putem pune acest rezultat pe seama activării simpatice.

În ceea ce privește parametrul pNN50, care este chiar mai specific în ceea ce privește studiul variabilității pe perioade scurte de timp, majoritatea cazurilor se înscriu în limita unei variabilități scăzute.

Pentru că pe baza datelor din literatură (Cowings, 1982; Doweck, 1997; Yokota, 2005), menționate la partea teoretică, ce-i drept majoritatea extensii teoretice, ne așteptam la o corelație între o variabilitate scăzută, ca o dovadă a simpaticotoniei (sau, mai puțin probabil, a inhibiției vagale) și apariția simptomelor evocatoare de rău de mișcare, am explorat diferențele pe segmentele de lucru. Diferențele nu au fost semnificative pentru nici o parte a profilului, cu excepția profilului OT.

La profilul OT, valoarea F pentru corelația RMSSD este 54,78, cu un "p" minim, pNN50 este mult mai sensibil, valoare F fiind superioară, de 68,81. Se poate spune că există o corelație clară între apariția simptomelor evocatoare de rău de mișcare și scăderea variabilității cardiace în profilul OT care declanșează simptomele evocatoare de rău de mișcare.

În urma primelor două studii din această cercetare, am decis modificarea valorilor rotației simulate față de valorile recomandate de producător, în conformitate cu tabelele prezentate la rezultate, deoarece valorile preprogramate nu erau satisfăcătoare în demonstrarea iluziei la un număr cât mai mare de subiecți.

Ultimul capitol este dedicat concluziilor, pe cele mai importante le menționăm în continuare:

1. Percepția iluziei de înclinare nu depinde de experiența profesională și nici de performanța la zborul impus. Nu există «imuni» la perceperea iluziilor și un antrenament de dezorientare spațială este binevenit la orice punct al carierei de pilot. Această iluzie este percepută similar de către toți piloții, dar modul de răspuns la ea depinde de abilitatea de a controla aparatul și de calitățile individuale.
2. În timp ce sensibilitatea prag aprimar respectă considerațiile teoretice, variabila areal, care descrie pragul conștientizării, este clar deviată. Grupul HEL a fost cel mai afectat în aria conștientizării mișcării, în timp ce percepția primară a fost foarte bună. Există o diferență între pragul percepției mișcării și conștientizarea mișcării.
3. În ceea ce privește influența mișcării de girație asupra orientării pe un traseu prestabilit, remarcăm puternica deviație spre dreapta în cazul nenaviganților. Deviația laterală de la un traseu impus, observată de noi, nu este un efect al compensării vestibulare. Deviația observată la stimuli sub și peste prag poate fi consecința unui lipse de corelare între stimulul vestibular și cel proprioceptiv.
4. În controlul aeronavei telecomandate, toate mișcările platformei au afectat performanța în controlul la distanță însă turbulențele au afectat cel mai mare număr de subiecți (4+1 față de 3+1 pentru rului și tangaj). Mișcarea de girație a avut cel mai mare impact asupra performanței controlului la distanță.
5. Cercetarea noastră a urmărit variabilitatea cardiacă de scurtă durată pe timpul mișcării de girație, constatând că marea majoritate a subiecților expuși girației au variabilitate cardiacă scăzută (38 din 50). În condițiile în care subiecții au fost atent selecționați și indemni de orice neuropatie, putem pune acest rezultat pe seama activării simpatice. În profilul OT (peste prag), se poate spune că există o corelație clară între apariția simptomelor evocatoare de rău de mișcare și scăderea variabilității cardiace.

Întreaga noastră cercetare, constând în studiul răspunsului la percepția iluziei de înclinare, variației pragului de discriminare al mișcării de girație, impactul rotației sub și peste prag în menținerea unui traseu, studierea impactului motor al mișcării de girație, identificare unor conexiuni vestibulo-autonome, pe o platformă motrice performantă, conferă studiului un puternic caracter de originalitate pe plan național, o parte din rezultate fiind comunicate și apreciate la manifestări științifice de specialitate internaționale (Congresul Internațional de

Medicină Aeronautică și Spațială (ICASM) București 2011, sesiunile de comunicări științifice ale Asociației Americane de Medicină Aeronautică (AsMA) din Boston 2008, Phoenix 2010).

Bibliografia rezumativă:

1. Andre, J. T., Muth, E. R., Stern, R. M., & Leibowitz, H. W. (1996). The effect of tilted stripes in an optokinetic drum on gastric myoelectric activity and subjective reports of motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 67(1), 30–33.
2. BRAITHWAITE, M. G., & BRAITHWAITE, B. D. (1990). Simulator Sickness in an Army Simulator. *Occupational Medicine*, 40 (3), 105–110.
3. Brandt, T., Schautzer, F., Hamilton, D. A., Brüning, R., Markowitsch, H. J., Kalla, R., Darlington, C., et al. (2005). Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans. *Brain*, 128 (11), 2732–2741.
4. Classen, S., Bewernitz, M., & Shechtman, O. (2011). Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65 (2), 179–188.
5. Cooke, N. J. (2006). Human Factors of Remotely Operated Vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50 (1), 166–169.
6. Cowings, P. S., & Toscano, W. B. (1982). The relationship of motion sickness susceptibility to learned autonomic control for symptom suppression. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.
7. De Waele, C., Baudonnière, P. M., Lepecq, J. C., Tran Ba Huy, P., & Vidal, P. P. (2001). Vestibular projections in the human cortex. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale*, 141(4), 541–551.
8. DiZio, P., & Lackner, J. R. (2003). Sensory motor adaptation at high rotation speeds. *J. Vestib. Res.*, 12, 291–299.
9. Doweck, I., Gordon, C. R., Shlitner, A., Spitzer, O., Gonen, A., Binah, O., Melamed, Y., et al. (1997). Alterations in R–R variability associated with experimental motion sickness. *Journal of the autonomic nervous system*, 67(1), 31–37.
10. Ercoline, W. R., Devilbiss, C. A., Yauch, D. W., & Brown, D. L. (2000). Post-roll effects on attitude perception: “the Gillingham Illusion”. *Aviation, space, and environmental medicine*, 71(5), 489.
11. Eversmann, T., Gottsmann, M., Uhlich, E., Ulbrecht, G., Von Werder, K., & Scriba, P. C. (1978). Increased secretion of growth hormone, prolactin, antidiuretic hormone, and cortisol induced by the stress of motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 49(1 Pt 1), 53–57.
12. Flanagan, M. B., May, J. G., & Dobie, T. G. (2004). The role ofvection, eye movements and postural instability in the etiology of motion sickness. *Journal of Vestibular Research*, 14(4), 335–346.
13. Gillingham, K. K., & Previc, F. H. (1996). Spatial orientation in flight, chapter 11. *Williams and Wilkins*.
14. Holmes, S. R., King, S., Rollin Scott, J. R., & Clemes, S. (2002). Facial skin pallor increases during motion sickness. *Journal of Psychophysiology*, 16(3), 150–157.
15. Hume, K. M., & Ray, C. A. (1999). Sympathetic responses to head-down rotations in humans. *Journal of applied physiology*, 86(6), 1971–1976.
16. Jones, D. R. (1985). Self-control of psychophysiological response to motion stress: Using biofeedback to treat airsickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine; Aviation, Space, and Environmental Medicine*.
17. Kallus, K. W., & Tropper, K. (2004). Evaluation of a spatial disorientation simulator training for jet pilots. *International journal of applied aviation studies*, 4(1), 45–55.

18. Kaufmann, H., Biaggioni, I., Voustantiounk, A., Diedrich, A., Costa, F., Clarke, R., Gizzi, M., et al. (2002). Vestibular control of sympathetic activity. *Experimental brain research*, 143(4), 463–469.
19. Kennedy, R. S., Graybiel, A., McDonough, R. C., & Beckwith, F. D. (1968). Symptomatology under storm conditions in the North Atlantic in control subjects and in persons with bilateral labyrinthine defects. *Acta oto-laryngologica*, 66(6), 533–540.
20. Kohl, R. L. (1983). Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuroconflict. *Aviation, space, and environmental medicine*, 54(5), 464–465.
21. KOHL, R. L. (1985). Endocrine correlates of susceptibility to motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 56(12), 1158–1165.
22. Kohl, R. L. (1987). Mechanisms of selective attention and space motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 58(11), 1130.
23. Lackner, J., & DiZio, P. (2006). Space motion sickness. *Experimental Brain Research*, 175(3), 377–399 LA – English.
24. Lawther, A., & Griffin, M. J. (1988). A survey of the occurrence of motion sickness amongst passengers at sea. *Aviation, space, and environmental medicine*, 59(5), 399–406.
25. Lopez, C., & Blanke, O. (2011). The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Research Reviews*, 67(1–2), 119–146.
26. Malpas, S. C., & Maling, T. J. B. (1990). Heart-Rate Variability and Cardiac Autonomic Function in Diabetes. *Diabetes*, 39 (10), 1177–1181.
27. Money, K. E., & Cheung, B. S. (1983). Another function of the inner ear: facilitation of the emetic response to poisons. *Aviation, space, and environmental medicine*, 54(3), 208–211.
28. Mullen, T. J., Berger, R. D., Oman, C. M., & Cohen, R. J. (1998). Human heart rate variability relation is unchanged during motion sickness. *Journal of Vestibular Research*, 8(1), 95–105.
29. Murakami, D. M., Erkman, L., Hermanson, O., Rosenfeld, M. G., & Fuller, C. A. (2002). Evidence for vestibular regulation of autonomic functions in a mouse genetic model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 17078–17082.
30. Murdin, L., Golding, J., & Bronstein, A. (2011). Managing motion sickness. *BMJ*, 343.
31. Nakagawa, A., Uno, A., Horii, A., Kitahara, T., Kawamoto, M., Uno, Y., Fukushima, M., et al. (2003). Fos induction in the amygdala by vestibular information during hypergravity stimulation. *Brain Research*, 986(1–2), 114–123.
32. Ray, C. A., Hume, K. M., & Steele, S. L. (1998). Sympathetic nerve activity during natural stimulation of horizontal semicircular canals in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 275(4), R1274–R1278.
33. Ray, C. A., & Monahan, K. D. (2002). Aging attenuates the vestibulosympathetic reflex in humans. *Circulation*, 105(8), 956–961.
34. Shortt, T. L., & Ray, C. A. (1997). Sympathetic and vascular responses to head-down neck flexion in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 272(4), H1780–H1784.
35. Smith, A. T., Wall, M. B., & Thilo, K. V. (2012). Vestibular Inputs to Human Motion-Sensitive Visual Cortex. *Cerebral Cortex*, 22 (5), 1068–1077.
36. Smith, P. F. (1997). Vestibular–hippocampal interactions. *Hippocampus*, 7(5), 465–471.

37. Soyka, F., Giordano, P., Barnett-Cowan, M., & Bühlhoff, H. (2012). Modeling direction discrimination thresholds for yaw rotations around an earth-vertical axis for arbitrary motion profiles. *Experimental Brain Research*, 220(1), 89–99 LA – English.
38. Spinks, A. B., Wasiak, J., Villanueva, E. V., & Bernath, V. (2007). Scopolamine (hyoscine) for preventing and treating motion sickness. *Cochrane database of systematic reviews Online*, 1(3), CD002851.
39. Takeda, N., Morita, M., & Horii, A. (2001). Neural mechanisms of motion sickness. *The journal of medical investigation: JMI*, 48(1), 44–59.
40. Wickens, C. D., Self, B. P., Small, R. L., Williams, C. B., Burrows, C. L., Levinthal, B. R., & Keller, J. W. (2006). Rotation rate and duration effects on the somatogyral illusion. *Aviation, space, and environmental medicine*, 77(12), 1244–1251.
41. Wilson, T. D., Cotter, L. A., Draper, J. A., Misra, S. P., Rice, C. D., Cass, S. P., & Yates, B. J. (2006). Vestibular inputs elicit patterned changes in limb blood flow in conscious cats. *The Journal of physiology*, 575(2), 671–684.
42. Yokota, Y., Aoki, M., Mizuta, K., Ito, Y., & Isu, N. (2005). Motion sickness susceptibility associated with visually induced postural instability and cardiac autonomic responses in healthy subjects. *Acta Oto-laryngologica*, 125(3), 280–285.
43. Young, L. R., & Oman, C. M. (1969). Model for vestibular adaptation to horizontal rotation. *Aerospace medicine*, 40(10), 1076–1080.