

VOJENSKÉ ZDRAVOTNICKÉ LISTY

ROČNÍK LXIII

ŘÍJEN 1994

ČÍSLO 3 - 4

613.693:612.766.2-072

VESTIBULÁRNÍ STIMULACE PŘI STABILOMETRII A PŘI LETU NA SIMULÁTORU

Pplk. MUDr. Miloš SÁZEL, CSc.
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha
(reditel: plk. doc. MUDr. Jiří Šulc, CSc.)

Úvod

Stabilometrie se stává jedním z běžných vyšetřovacích postupů řady lékařských oborů. Je součástí posturografie, která zkoumá charakteristiky vzpřímeného stoje člověka. Dnes je uznávanou metodou zejména v otoneurologii (Gierke aj., 1992; Pichanič, 1992). Klinická aplikace posturografie je rozpracována (Goebel, Paige, 1990; Mirka, Black, 1990; Nasher, Peters, 1990; Vyšata, Přerovský, Vršecká, 1993). Nejedná se však o jednoduchý test, ale celkové vyšetření balančních schopností jedince dynamickou posturografií v celé sérii různých podnětových podmínek.

V leteckém lékařství se posturografie dosud standardně neprováděla (Hart, 1985). Pouze balance byla v některých zemích vyšetřována jednoduchými testy (Nielsen, 1991). Teprve některé nové jevy, jako simulátorová nemoc, naznačily možnost výhodného užití posturografie pro vyšetřování letců. Ukázalo se totiž, že diagnostika řadou klasických rovnovážných testů neprokáže přesně postižení touto formou kinetózy (Hamilton, Kantor, Magee, 1989). Proto je vyvíjena posturografická metoda, která by odhalila tento jev, nepříznivý i pro bezpečnost letu (Laliberté aj., 1991; Kennedy aj., 1993).

Myšlenka užít stabilometrické vyšetření k hledání dispozic pilotů k jednomu z typů prostorové dezorientace (s významnou úlohou vestibulospinálních reflexů) se nabízela po experimentech s galvanickou vestibulární stimulací (dále GVS) za letu na simulátoru

(Sázel, 1992ab, 1993). Hlavním cílem nyní předkládané práce bylo ověřit možnost nahrazení složitějšího vyšetřování za letu na simulátoru jednoduchým měřením na stabilometrické plošině (Sázel, 1992c).

Metoda

1. Stabilometrické vyšetření

Vyšetření byla prováděna na "Stabilometrickém zariadení pre hodnotenie oporno pohybového aparátu človeka" (Hlavačka, Mihalik, 1986). Snímané signály byly po digitalizaci zpracovány programem "Stabilometrický test na počítači PMD 85", včetně FFT (Kundrát, Hlavačka, 1989; Hlavačka aj., 1990). Ke GVS se užíval v ÚLZ vyvinutý programovatelný stimulátor "Progstim" (Hanousek, Sázel, 1989).

Vyšetřeno bylo 59 pilotních posluchačů VVLŠ (21-22 let) s náletem několika desítek hodin. Stabilita postoje na deseticentimetrové vrstvě molitanu byla testována při zakrytých očích po dobu 50 sekund ve třech situacích. Poprvé bez stimulace, podruhé s monoaurální monopolární GVS sinusoidální frekvencí 0,2 Hz proudem 1 mA anodou vpravo po dobu 40 sekund a potřetí se stejným typem GVS anodou vlevo (Sázel, 1991). Dvě elektrody typu hodinového sklička o průměru 3 cm plněného EKG gelem byly přiloženy na bradavčité výběžky obou kostí skalních a třetí ve střední zadní čáře krku. Přestávky mezi jednotlivými měřeními byly 10 minut.

2. Vyšetření na letovém simulátoru

Tabulka 1

Hodinové experimentální lety v mracích byly prováděny na pilotním trenažeru TL-39 umístěném v ULZ. Zapojena byla vizuální a pohybová simulace. Při vodorovném přímočarém ustáleném letu ($400 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) byly sledovány odchylky výškovky a křidélek letadla (přímo úměrné odchýlení řídicí páky sagitálně a frontálně). Měřený parametr byl snímán jako změna elektrického napětí na vstupu analogového počítače trenažeru. Signály byly dále zpracovávány stejnou metodou jako signály ze stabilometru (stabilometrický test na počítači PMD-85).

Vyšetřeno bylo 27 pilotních posluchačů (z výše uváděných 59). Prováděli tři okruhy nad letištěm vždy s 50sekundovým měřeným úsekem. V prvním okruhu šlo o let bez GVS, v dalších dvou byla postupně užitá 40sekundová GVS zcela stejně jako při stabilometrii. Na úseky letu s měřením nebyl pilot upozorňován.

3. Statistické zpracování

Ke statistickému zpracování na osobním počítači byl použit programový balík CSS firmy StatSoft - programy pro základní statistiku (Basic Statistics), analýzu rozptylu (Quick ANOVA) a regresní metody (Multiple Regression).

[Značení v tabulkách: n = počet osob; x = aritm. průměr; s = směrodat. odchylka; pravděpodobnost zamítnutí H_0 : $p < 0,05 = *$; $p < 0,0005 = ***$.]

Výsledky

1. Posturografie

Počet vyšetřených, aritmetický průměr a směrodatná odchylka stabilometrických a statokinetických veličin a testovací kritérium F z analýzy rozptylu srovnávající hodnoty při třech situacích, tj. bez GVS, s anodou vpravo a s anodou vlevo jsou uvedeny v tabulce (tab. 1).

Analýza rozptylu a následně simultánní testování ukázalo vysoce statisticky významné rozdíly mezi hodnotami při GVS a bez ní. Mezi GVS oběma směry nebyly rozdíly.

Mezi posturografickými veličinami bez GVS byly nalezeny regresní analýzou statisticky významné vztahy mezi:

amplitudami stabilogramů $t = -12,48$ ($p < 0,00001$)

ind. rychl. stabilogramů $t = -2,04$ ($p < 0,04426$)

délkou a plochou statokin. $t = 4,73$ ($p < 0,00009$)

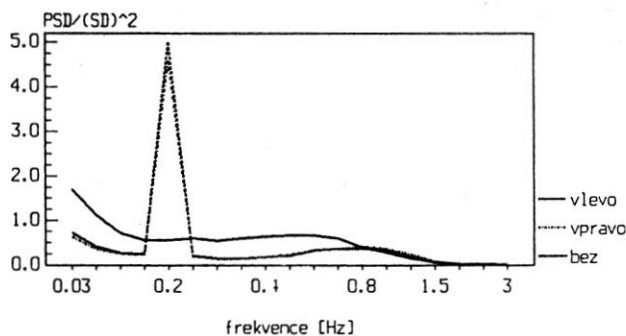
délkou statokinezimetru a ind. rychl. frontálně $t = 3,83$ ($p < 0,00060$)

délkou statokinezimetru a ind. rychl. sagitálně $t = 10,07$ ($p < 0,00001$)

U stimulací tomu bylo podobně.

Stabilometrický test

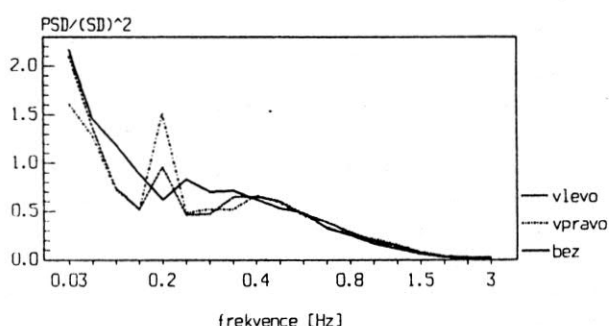
Posturogr. veličina		GVS (anoda)			Test. kr. F	Pravděp. zam. Ho
		bez	vpravo	vlevo		
amplituda stabilogramu frontál. (mm)	n	59	59	59	65,5	0,0000 ***
	x	44,8	96,1	99,7		
	s	9,4	28,2	40,8		
amplituda stabilogramu sagitál. (mm)	n	59	59	59	19,9	0,0000 ***
	x	46,9	57,9	57,1		
	s	9,3	13,7	14,7		
index rychl. stab. front. ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	n	59	59	59	48,8	0,0000 ***
	x	34,6	84,5	84,3		
	s	12,1	34,7	40,6		
index rychl. stab. sagit. ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	n	59	59	59	24,7	0,0000 ***
	x	37,3	58,2	58,9		
	s	11,7	21,8	23,2		
délka křivky statokinez. (mm)	n	59	59	59	24,7	0,0000 ***
	x	2988,3	5544,6	5574,4		
	s	877,5	2702,8	2777,1		
celk. plocha statokinez. (mm^2)	n	59	59	59	30,9	0,0000 ***
	x	13975,1	44951,0	49693,0		
	s	6193,7	27452,5	36986,7		
stř. kvadrat. odch. statokinez. (mm)	n	59	59	59	55,2	0,0000 ***
	x	16,27	28,10	29,23		
	s	3,10	7,53	9,95		



Graf 1 Spektrální výkonová hustota frontálně při stabilometrii bez a s GVS

Stejně jako posturografické veličiny byly srovnávány i "normalizované" $[\text{PSD}/(\text{SD})^2]$ hodnoty ze spektrální analýzy pohybu těžiště těla ve frontální rovině (graf 1 - aritm. průměry). Při situacích s GVS se vysoce statisticky významně zvýšila spektrální výkonová hustota v oblasti 0,2 Hz (v obou případech LSD test: $p < 0,000001$). V ostatních sledovaných frekvencích, kromě 1,0 Hz (LSD test: vpravo $p < 0,00053$, vlevo $p < 0,10056$), došlo naopak při stimulaci ke snížení spektrální výkonové hustoty, a to velmi významně. Ve vyšších frekvencích nebyly změny významné.

Obdobně byly porovnávány hodnoty pro sagitální rovinu pohybu (graf 2 - aritm. průměry). Ke statisticky významným změnám ve spektrální výkonové hustotě docházelo ve dvou oblastech: v pásmu 0,1-0,3 Hz ke snížení při GVS, kromě frekvence 0,2 Hz se zvýšením pro obě GVS (LSD test: $p < 0,000001$), a v pásmu 0,9-2,5 Hz k všeobecnému zvýšení (např. pro 0,25 Hz LSD test: doprava $p < 0,02325$, doleva $p < 0,00078$ oproti situaci bez GVS).



Graf 2 Spektrální výkonová hustota sagitálně při stabilometrii bez a s GVS

2. Letový simulátor

Výsledky z trenažéru jsou uvedeny v hodnotách přímo ze "stabilometrického testu", tzn. jde o relativní hodnoty (tab. 2 - pro odchýlení řídicí páky ve stupních: násobit uvedené číslo koeficientem: pro křídélka $\times 0,034$; pro výškovku $\times 0,06$ [pro vychýlení řídicí páky ve stupních přibližně: frontálně $\times 0,07$, sagitálně $\times 0,15$]). Obecně se vždy při GVS hodnoty snižovaly, statistická významnost rozdílů byla však nízká. Při simultánním testování pro amplitudu vychýlení křidélek se prokázal rozdíl mezi situací bez GVS vůči situaci s anodou vpravo (LSD: $p < 0,007$) i s anodou vlevo ($p < 0,039$). Pro index rychlosti pohybu výškovky byl statisticky významný rozdíl mezi situacemi bez anody vpravo a s anodou vpravo (LSD: $p < 0,012$). U celkové plochy vychýlení řídicí páky se situace bez GVS lišila oproti stavu s anodou vpravo (LSD: $p < 0,007$) a s anodou vlevo ($p < 0,020$). Střední kvadratická odchylka pohybu řídicí páky se rovněž lišila při stimulaci vpravo (LSD: $p < 0,010$) a vlevo ($p < 0,026$).

Tabulka 2

Test na trenažéru

Veličina		GVS (anoda)			Test. kr. F	Pravděp. zam. Ho
		bez	vpravo	vlevo		
amplituda	n	27	27	27	4,1	0,0193
odchýlení	x	75,2	59,0	56,2		
křidélek	s	45,7	24,3	26,7		
amplituda	n	26	27	27	2,4	0,0963
odchýlení	x	43,9	35,5	34,2		
výškovky	s	21,8	16,2	13,5		
index rychl.	n	27	27	27	1,68	0,1985
odchýlení	x	35,0	29,4	30,1		
křidélek	s	17,4	9,0	8,7		
index rychl.	n	26	27	27	3,5	0,0355
odchýlení	x	20,5	16,4	17,6		
výškovky	s	8,6	3,4	4,3		
délka křivky	n	26	27	27	2,2	0,1206
pohybu	x	2410,9	2010,0	2077,3		
řididly	s	1100,0	482,2	521,7		
celk. plocha	n	26	27	27	4,4	0,0156
pohybu	x	13745,9	7196,0	8132,2		
řididly	s	13845,0	3956,3	4880,1		
stř. kvadrat.	n	26	27	27	4,0	0,0221
odch. pohybu	x	22,07	15,66	16,61		
řididly	s	12,16	6,49	7,06		

Stejným způsobem byly srovnávány "normalizované" hodnoty ze spektrální analýzy pohybů křidélek. Statisticky významné změny mezi situacemi nebyly zjištěny.

"Normalizované" hodnoty spektrální výkonové hustoty pohybu výškovky a výsledky analýzy rozptylu ze tří situací byly rovněž srovnávány. Simultánní testování prokázalo statisticky významné změny při GVS vůči situaci bez ní pouze při anodě vpravo pro frekvence 0,1 Hz (LSD: $p < 0,015$); 0,25 Hz ($p < 0,029$); 0,40 Hz ($p < 0,019$) a 0,6 Hz ($p < 0,025$); při anodě vlevo jen pro frekvenci 0,6 Hz ($p < 0,027$).

Diskuse

1. Posturografie bez galvanické vestibulární stimulace

Posturografické hodnoty bez GVS bylo možno přímo srovnávat (u-test) s hodnotami zjištěnými v Ústavu normální a patologické fyziologie SAV u mužů a žen od 20 do 51 let (Hlavačka aj., 1990). Velikosti byly u souboru pilotů poněkud odlišné. Stabilometrické ukazatele ve frontální rovině pohybu se statisticky významně nelišily. V sagitální rovině byla amplituda významně nižší ($p < 0,01$) a index rychlosti vyšší ($p < 0,0005$). Délka křivky statokineziogramu a jeho plocha byly výrazně větší ($p < 0,0005$, resp. 0,001). Menší amplituda při vyšším indexu rychlosti odpovídala většímu svalovému úsilí k zachování střední polohy, s čímž úzce souvisely i hodnoty statokineziogramu.

Tyto rozdíly mohly být dány stářím a profesí. S věkem se stabilita postoje snižuje (Norré, Forrez, Beckers, 1987; Manchester aj., 1989). Jsou-li navíc mladí jedinci trénováni v chování v nezvyklých situacích (speciální tělesná příprava a létání), lze u nich lepší stabilitu předpokládat.

Fyziologické základy posturální stabilizace vycházejí ze dvou složek (Diener, Dichgans, 1988). První mechanismus působící přes reflexům podobné odpovědi je minimálně ovlivňovaný senzoryckými systémy, které jsou jen jeho spouští. Vliv má předchozí zkušenost. Řeší jen rychlé korekce na rychlé změny. Druhý mechanismus, dlouhodobě působící, je vysoce závislý na vizuální, vestibulární a proprioceptivní zpětné vazbě. Zabezpečuje kompenzace při pomalejších změnách a více podléhá adaptaci. V podmínkách stoje na molitanu se zavřenými očima se u vyšetřovaných musel výrazně zvýšit podíl vestibulární aferentace na udržování postoje na úkor informací z kožních a kloubních receptorů. Tím se snížil význam kompenzačních pohybů v kotníku a kolenu a uplatnily se více mechanismy pohybu v kyčlích a výše, kde podle hypotézy funguje jako zdroj informací především vestibulární aferentace (Horak, Nasher, Diener, 1990). Uplatňoval se tedy více druhý, výše uváděný, mechanismus a lepší parametry stability lze přičíst intenzivnějšímu vestibulárnímu tréninku. Protože neza-

stupitelnou úlohu při stabilizaci postoje, a to nejen při nižších frekvencích, hrají vestibulospinální reflexy (Dichgans, Diener, 1989; Kleiber, Horstmann, Dietz, 1990), lze je považovat za možný základ rozdílů. Neexistence rozdílů v laterálním oproti předozadnímu směru mohla spočívat v zapojení jiných opěrných a svalových struktur do pohybu těžiště těla. Mezi reakcemi svalů odpovídajícími na výkyvy v sagitální rovině jsou poměrně stabilní vztahy oproti značné variabilitě v ostatních rovinách pohybů (Moore, aj. 1988). To by mohlo vysvětlovat lepší vycvičenost pilotů v předozadní stabilitě.

Výsledky spektrální analýzy stabilogramů u vyšetřovaných pilotů lze rámcově považovat za podobné uváděným v literatuře (Černáček, 1978; Hlavačka, Njiokiktjen, 1985, 1986).

2. Vlivy galvanické vestibulární stimulace na posturální stabilitu

GVS měla výrazný vliv na všechny sledované posturografické veličiny. Tyto změny jsou plně v souladu s publikovanými údaji (Křížková, Hlavačka, Duda 1985; Křížková, Hlavačka, Mihalik, 1986) a odpovídají vlivu vestibulárního dráždění, které v daném uspořádání působí na laterální vychylování těla (Hlavačka, Njiokiktjen, 1985; Hlavačka, Njiokiktjen, 1986).

Mezi stabilometrickými hodnotami bez a s GVS byly u jedinců velice významné vztahy. Regresní analýza ukázala, že byla statisticky významná závislost mezi stavem bez stimulace a s ní pro:

G V S		vpravo		vlevo
amplitudy front.	t = 6,56	(p<0,000001)	4,74	(p<0,00009)
amplitudy sagit.	t = 4,32	(p<0,00021)	3,29	(p<0,00217)
ind. rychl. front.	t = 4,27	(p<0,00023)	4,79	(p<0,00008)
ind. rychl. sagit.	t = 7,90	(p<0,000001)	7,05	(p<0,000001)
délku stabilogr.	t = 4,54	(p<0,00013)	5,47	(p<0,00002)
plochu stabilogr.	t = 7,01	(p<0,000001)	6,32	(p<0,00001)
stř. kvadr. odch.	t = 6,94	(p<0,000001)	4,76	(p<0,00008)

Vztahy mezi oběma GVS byly samozřejmě ještě těsnější. Korelace jsou zcela nepochybné. Výsledky jsou v souladu s názorem, že při postoji na molitanu se snižuje efektivnost účasti somatosenzorického systému a vestibulární systém se stává dominantním v řízení postoje (Křížková, Hlavačka, 1990). Přídavná GVS pak naruší stabilitu zásahem do centrálních kompenzačních mechanismů v činnosti vestibuloposturálního okruhu.

Spektrální analýza stabilogramu ve frontální rovině jasně prokázala vliv GVS frekvence 0,2 Hz, neboť došlo ke zvýšení spektrální výkonové hustoty vpravo na 833 % a vlevo na 911 %! Naopak v ostatních sledovaných frekvencích mezi 0,03 Hz až 0,7 Hz docházelo při GVS ke snižování spektrální výkonové hustoty zhruba na 1/4-1/2. Odrazy sinusoidální GVS

frekvencí 0,2 Hz na stabilitu postoje jsou známy poměrně dlouho (Kapteyn, Wit, 1972). Podrobnější analýza byla prováděna při binaurální bipolární GVS frekvencí 0,3 Hz bez stoje na molitanové podložce (Hlavačka, Njiokiktjen, 1985; Hlavačka, Njiokiktjen, 1986). Při této frekvenci bylo pozorováno zvýšení spektrální výkonové hustoty zhruba pětinasobně a v ostatních frekvencích snížení.

Snaha nalézt korelace mezi výsledky spektrální analýzy nebyla příliš úspěšná. Ve frontální rovině pohybů byl nalezen přímo úměrný vztah mezi spektrální výkonovou hustotou mezi oběma GVS v rozmezí 0,15-0,35 Hz ($p<0,0005$). Oproti situaci bez stimulace byl vztah k hodnotám při stimulaci vlevo ve frekvencích přibližně 0,7-1,5 Hz (většinou $p<0,05$). To by mohlo podporovat představu o dominanci levého vestibulárního systému v populaci. Narušení stability stimulací vlevo, které bylo výraznější, se odráželo v kompenzačních pohybech podobných regulaci postoje při práci obou stran.

V sagitální rovině pohybů byly naznačeny vztahy mezi hodnotami v rozmezí zhruba 0,7-2 Hz mezi všemi třemi situacemi ($p<0,05-0,01$). Ostatní nalezené spojitosti se zdály nahodilé.

3. Vlivy galvanické vestibulární stimulace na řízení letového simulátoru

Výsledky bez stimulace nebylo možno detailně srovnávat s dosud publikovanými, neboť byla použita zcela jiná metodika. Byl však očekáván zřetelný vliv stimulace 0,2 Hz na změny rozložení spektrálních výkonových hustot pohybů křidélek (Sázel, 1992ab, 1993).

Efekt stimulace byla tendence ke snižování velikosti všech snímaných parametrů. Zdá se tedy, že GVS pouze aktivizovala řídicí činnost pilota, což se projevilo ve zlepšení parametrů pilotáže, přičemž se styl řízení (užívané frekvence) neměnil.

Co je možnou příčinou toho, že nebyl registrován efekt GVS na řízení simulátoru?

- 1) Bylo použito jiného typu stimulace. Tzn. monaurální monopolární oproti binaurální bipolární (Sázel, 1992a). Tím, že byl drážděn pouze jeden vestibulární aparát, byl vliv stimulace na rovnováhu samozřejmě menší (Gorgiladze, Samarin, Rusanov, 1983). Stimulační proud mohl mít tedy prostě jen malou velikost.
- 2) Sledované veličiny nebyly zcela totožné s dříve měřeními a výpočty byly prováděny jiným postupem, který nemusel být dostatečně jemný, aby změny zachytil (Sázel, 1992a).

Nalezené regresní vztahy naznačují pouze, že individuální přístup k řízení letounu je zachován i při stimulaci. Pro amplitudy i indexy rychlosti existovaly lineární závislosti mezi velikostí před a při stimulaci v obou osách ($p<0,01$). Pro spektrální výkonové hustoty byla jediná významnější regrese mezi hodnotami při frekvenci 0,25 Hz bez a se stimulací vpravo ($p<0,01$).

4. Srovnání výsledků při posturografii a na letovém simulátoru

Toto srovnání mělo podle dřívějších nálezů ukázat významné vztahy (Sázel, 1992ab, 1993). Byly předpokládány obdobné vestibulospinální reflexní mechanismy indukované sinusoidální galvanickou vestibulární stimulací při působení na vzpřímený postoj a na řízení simulátoru. Ale již nezjištěný efekt stimulace v trenažeru naznačoval, že tímto způsobem měření nebude možno předpoklady potvrdit.

Korelační analýza skutečně neprokázala žádné statisticky významné vztahy mezi hodnotami na stabilometru a v trenažeru.

Závěr

1. Stabilometrie danou metodou umožňuje stanovit posturální stabilitu se zvýrazněným podílem vestibulární složky. Výsledky jsou srovnatelné s publikovanými.
2. Užití monoaurální monopolární galvanické vestibulární stimulace se sinusoidálním průběhem frekvence 0,2 Hz má prokazatelný vliv na posturální parametry. Tímto způsobem je možno testovat odděleně oba vestibulární systémy. Za fyziologického stavu je mezi nálezy bez stimulace a se stimulací úzká korelace. Z toho vyplývá, že k orientačnímu vyšetření stačí měření postoje na molitanu bez GVS.
3. Použitou metodiku nelze aplikovat na zjišťování vestibulární dráždivosti v letovém simulátoru.
4. Bude vhodné stanovit na větším souboru létajících vlastní stabilometrické standardy. Pak by bylo možné tuto metodu začlenit jako orientační otoneurologické vyšetření pro posuzování výkonných letců.

Souhrn

Záměrem bylo nalézt vztah mezi galvanickou vestibulární stimulací vyvolanými reakcemi v obou situacích. Bylo vyšetřeno 59 pilotů na stabilometru SAV při stoje 50 sekund na deseticentimetrové vrstvě molitanu bez stimulace a s monoaurální monopolární stimulací sinusoidálního průběhu proudem frekvence 0,2 Hz a amplitudy 1 mA postupně na obou stranách. Na letovém simulátoru TL-39 byly u 27 pilotů měřeny za letu v mracích odchylky křidélek a výškovky za obdobných stimulačních podmínek.

Při stabilometrii převažoval vliv stimulace na pohyby ve frontální rovině. Existovaly významné vztahy mezi hodnotami bez stimulace a se stimulací. Odras stimulační frekvence byl zřetelný. U letců byly nalezeny specifické rozdíly oproti běžné populaci. Při měření na simulátoru se podobné vlivy nepodařilo statisticky významně dokázat.

Po rozpracování se může stabilometrie stát otoneurologickou vyšetřovací metodou při posuzování letců.

Literatura

1. ČERNÁČEK, J.: Laterálne oscilácie trupu. Bratisl. lek. Listy, 70, 1978, č. 3, s. 275-287.
2. DIENER, H. C. - DICHGANS, J.: On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. Prog. Brain Res., 76, 1988, s. 253-262.
3. DICHGANS, J. - DIENER, H. C.: The contribution of vestibulo-spinal mechanisms to the maintenance of human upright posture. Acta otolaryngol., 107, 1989, s. 338-345.
4. GIERKE, H. E. et al.: Evaluation of tests for vestibular function. Aviat. Space environ. Med., 63, 1992, č. 2, Suppl., 34 s.
5. GOEBEL, J. A. - PAIGE, G. D.: Posturography following rotation: A model of posture control during vestibular dysfunction. Otolaryngol. Head Neck Surg., 102, 1990, č. 6, s. 722-726.
6. GORGILADZE, G. I. - SAMARIN, G. I. - RUSANOV, S. N.: Vestibuljarnyje reakcii čeloveka na gal'vaničeskoje razdraženije labirintov. Kosm. Biol. Med., 17, 1983, č. 2, s. 48-52.
7. HAMILTON, K. M. - KANTOR, L. - MAGEE, L. I.: Limitations of postural equilibrium tests for examining simulator sickness. Aviat. Space environ. Med., 60, 1989, s. 246-251.
8. HANOUSEK, J. - SÁZEL, M.: Stimulátor vestibulárního aparátu pro letecký trenažer. Lék. Techn., 20, 1989, č. 3, s. 49-52.
9. HART, R. L. (ed.): Fundamentals of aerospace medicine. 1. vyd. Philadelphia, Lea & Febiger 1972. 975 s.
10. HLAVAČKA, F. et al.: Fyziologické rozsahy hodnot parametrov stabilometrického vyšetrenia vzpriameného postoja vyhodnocovaného počítačom. Čs. Neurol. Neurochir., 53/56, 1990, č. 2, s. 107-113.
11. HLAVAČKA, F. - MIHALIK, V.: Stabilografické zariadenie pre hodnotenie vzpriameného postoja človeka. Lék. Techn., 17, 1986, č. 3, s. 45-48.
12. HLAVAČKA, F. - NJOKIKTIJEN, C.: Postural responses evoked by sinusoidal galvanic stimulation of the labyrinth. Influence of head position. Acta otolaryngol., 99, 1985, č. 1/2, s. 107-112.
13. HLAVAČKA, F. - NJOKIKTIJEN, C.: Sinusoidal galvanic stimulation of the labyrinths and postural responses. Physiol. bohemoslov., 33, 1986, č. 1, s. 63-70.
14. HORAK, F. B. - NASHER, L. M. - DIENER, H. C.: Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. Exp. Brain Res., 82, 1990, č. 1, s. 167-177.
15. KAPTEYN, T. S. - WIT, G.: Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. Acta otolaryngol., 73, 1972, č. 2/3, s. 104-111.
16. KENNEDY, R. S. et al.: Postural and performance changes following exposures to flight simulators. Aviat. Space environ. Med., 64, 1993, č. 10, s. 912-920.
17. KLEIBER, M. - HORSTMANN, G. A. - DIETZ, V.: Body sway stabilization in human posture. Acta otolaryngol., 110, 1990, s. 168-174.
18. KRIŽKOVÁ, M. - HLAVAČKA, F. - DUDA, P.: Posturálne výchylky evokované sinusoidálnou stimuláciou labirintov v rôznych podmienkach postoja. Bratisl. lek. Listy, 84, 1985, č. 1, s. 11-15.
19. KRIŽKOVÁ, M. - HLAVAČKA, F. - MIHALIK, V.: Závislosť posturálnych odpovedí evokovaných galvanickou stimuláciou labirintov od amplitúdy a frekvencie stimulačného prúdu. Bratisl. lek. Listy, 86, 1986, č. 2, s. 193-201.
20. KUNDRÁT, J. - HLAVAČKA, F.: Program pre hodnotenie stabilografických záznamov mikropočítačom. Čs. Fysiol., 38, 1989, č. 2, s. 124-129.
21. LALIBERTÉ, M. F. et al.: Postural equilibrium testing of aviators: Evaluation of the Neurocom Equitest system for moderate postural disequilibrium. (poster). 62nd ASMA ann. Conf., May 5-9, Cincinnati 1991.
22. MANCHESTER, D. et al.: Visual, vestibular and somatosensory contribution to balance control in the older adult. J. Gerontol. - Med. Sci., 44, 1989, č. 4, s. M118-127.
23. MIRKA, A. - BLACK, F. O.: Clinical application of dynamic

- posturography for evaluating sensory integration and vestibular dysfunction. *Neurol. Clin.*, 8, 1990, č. 2, s. 351-359.
24. MOORE, S. P. et al.: Human automatic postural responses: Responses to horizontal perturbation of stance in multiple directions. *Exp. Brain. Res.*, 73, 1988, s. 648-658.
25. NASHER, L. M. - PETERS, J. F.: Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurol. Clin.*, 8, 1990, č. 2, s. 331-349.
26. NIELSEN, J. N.: A comparison of the routine medical examination of pilots in 12 Air Forces. *Aviat. Space environ. Med.*, 62, 1991, č. 11, s. 1090-1095.
27. NOORE, M. E. - FORREZ, G. H. J. - BECKERS, A. M.: Vestibular compensation evaluated by rotation tests and posturography. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 113, 1987, č. 5, s. 533-535.
28. PICHANIČ, M.: *Klinická otoneurologia*. 1. vyd. Martin, Osveta 1992. 131 s.
29. SÁZEL, M.: Galvanická vestibulární stimulace. *Čs. Fysiol.*, 40, 1991, č. 1, s. 43-60.
30. SÁZEL, M.: Analýza vlivu rovnovážného ústrojí pilota na řízení letového simulátoru při galvanické vestibulární stimulaci. [Kandidátská disertace]. Praha 1992a. 96 s. Univerzita Karlova. 1. lékařská fakulta.
31. SÁZEL, M.: Galvanic vestibular stimulation of a pilot in a flight simulator. In: *Proc. XVIIth Bárány Soc. Meet.* Eds. H. Krejčová, J. Jeřábek. Castle Dobříš, June 2-5, 1992b. s. 120-121.
32. SÁZEL, M.: Vyšetření vestibulární dráždivosti u pilotních posluhačů při posturografii a na letovém simulátoru. [Závěrečná zpráva]. Praha 1992c. 35 s. Ústav leteckého zdravotnictví.
33. SÁZEL, M.: Prostorová dezorientace za letu na simulátoru při galvanické vestibulární stimulaci pilota. *Voj. zdrav. Listy*, 62, 1993, č. 6, s. 207-212.
34. VYŠATA, O. - PŘEROVSKÝ, K. - VRŠECKÁ, M.: Počítačová posturografie v klinické praxi. *Prakt. Lék.*, 73, 1993, č. 5, s. 190-19.

Klíčová slova: Galvanická stimulace; Letový simulátor; Pilot; Posturografie; Stabilometrie; Vestibulární.

Do redakce došlo 6. 4. 1994