

612.886.1:537.3:356.33.001.5

VLIV GALVANICKÉ VESTIBULÁRNÍ STIMULACE NA KLONĚNÍ PŘI SIMULOVANÉM LETU

Mjr. MUDr. Miloš SÁZEL, ing. Jan HANOUSEK, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

(náčelník: plk. doc. MUDr. Jiří Šulc, CSc.)

Úvod

Podráždění statokinetického ústrojí elektrickým proudem vyvolává obdobné příznaky jako dráždění pohybem hlavy – tonické úchyly očí (nystagmus), končetin a trupu i subjektivně pociťované iluze pohybu (vertigo). Od klinického užití je dnes prakticky upuštěno. Slouží výhradně výzkumným účelům, zejména neurofyzilogickým, a při zkoumání regulačních mechanismů postoje člověka (1, 2, 5, 7, 8). Některé experimentální práce naznačily výhodné užití metody galvanické stimulace vestibulárního aparátu v oblasti leteckého lékařství a při výcviku pilotů (4, 6, 9, 10). Na pilotním trenažéru v ÚLZ provádíme postupně řadu měření k prověření různých stránek to-

hoto neadekvátního dráždění rovnovážného ústrojí v podmínkách simulovaného letu. Předložená práce měla ověřit vliv snížení hodnoty stimulačního proudu na sledované parametry letu.

Metodika

Vyšetřování se zúčastnilo 23 posluchačů Vysoké vojenské letecké školy SNP ve věku od 21 do 28 let (průměr 22) se 115 až 138 nalétanými hodinami na letounech L-29 a L-39 (průměr 127). Subjektivně byli bez obtíží, zjištěný zdravotní stav odpovídal schopnosti k létání na nadzvukových letounech. Po seznámení s trenažérem TL-39 prováděli piloti letové

Tabulka 1

Výchytky klonění v zatáčce vlevo

Sledovaný parametr	Stimulace						Bez stimulace			Testovací kritérium (F)
	anoda vpravo			anoda vlevo						
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	
Po zapnutí proudu:										
První výchylka	17	2,4°	1,12	18	−2,1°	2,51	21	0,1°	2,09	20,66 **
Čas vrcholu	20	13,1 s	7,65	18	13,6 s	7,78	21	10,6 s	10,30	0,62
Maximální výchylka	17	2,2°	1,74	18	−1,6°	3,05	21	0,26°	2,73	8,86 **
Počet výchylek	20	2,7	0,91	18	3,0	1,37	21	2,8	1,77	0,29
Špičková výchylka	19	5,8°	1,69	21	4,2°	1,26	19	4,3°	0,80	9,20 **
Celková plocha výchylek	20	69,2	32,44	21	36,2	17,13	19	45,6	19,05	9,81 **
Po vypnutí proudu:										
První výchylka	13	−3,0°	1,63	8	0,6°	1,58	15	−0,2°	1,66	13,79 **
Čas vrcholu	15	9,1 s	4,38	8	6,5 s	4,92	15	4,0 s	3,97	4,67 *

** (*) – statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ (0,05)

Tabulka 2

Výchytky klonění v zatáčce vpravo

Sledovaný parametr	Stimulace						Bez stimulace			Testovací kritérium (F)
	anoda vpravo			anoda vlevo						
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	
Po zapnutí proudu:										
První výchylka	21	2,6°	3,05	20	−2,9°	2,62	19	−0,3°	3,33	16,11 **
Čas vrcholu	20	10,7 s	5,73	19	8,5 s	4,39	19	13,4 s	8,12	2,76
Maximální výchylka	21	2,5°	3,67	20	−1,1°	4,30	17	−0,4°	4,38	3,99 *
Počet výchylek	21	3,7	2,06	20	3,8	1,64	18	4,0	1,56	0,17
Špičková výchylka	21	5,3°	1,58	20	5,4°	1,36	20	4,8°	1,14	1,22
Celková plocha výchylek	21	48,4	21,90	20	53,1	16,31	20	52,8	22,16	0,32
Po vypnutí proudu:										
První výchylka	10	−2,2°	3,47	16	4,3°	4,02	9	0,3°	4,72	7,48 **
Čas vrcholu	11	6,8 s	3,08	16	8,2 s	3,34	9	8,8 s	5,71	0,64

** (*) – statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ (0,05)

Tabulka 3

Výchytky klonění v horizontálním letu

Sledovaný parametr	Stimulace						Bez stimulace			Testovací kritérium (F)
	anoda vpravo			anoda vlevo						
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	
Po zapnutí proudu:										
První výchylka	20	1,1°	2,48	19	−2,2°	1,62	18	0,0°	2,09	11,74 **
Čas vrcholu	21	10,9 s	10,02	20	11,1 s	9,04	18	11,9 s	9,07	0,05
Maximální výchylka	19	0,3°	2,74	20	−0,3°	3,71	17	−0,3°	4,35	0,17
Počet výchylek	20	2,5	1,91	20	2,7	1,87	18	3,2	2,12	0,64
Špičková výchylka	20	3,5°	1,16	21	4,9°	1,72	20	5,5°	2,22	6,62 **
Celková plocha výchylek	20	27,2	16,20	21	46,6	26,29	21	47,2	29,88	4,05 *
Po vypnutí proudu:										
První výchylka	15	−1,1°	2,82	15	3,8°	2,02	14	−0,1°	3,92	10,48 **
Čas vrcholu	15	6,6 s	5,80	16	8,3 s	4,51	14	8,3 s	4,77	0,55

** (*) – statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ (0,05)

prvky, jejichž pořadí předem neznali. Řídili se pokyny instruktora přímo za letu. Sledované prvky jednoduché pilotáže byly: zatáčka vlevo (anoda stimulační elektrody vpravo); zatáčka vpravo (a. vlevo); horizontální let (a. vpravo); zatáčka vlevo (a. vlevo); zatáčka vpravo (a. vpravo); horizontální let (a. vlevo); zatáčka vpravo; horizontální let; zatáčka vlevo. Úseky mezi měřeními byly delší než 3 minuty. Měření začínalo vždy až po návratu kabiny trenažéru do základní polohy (simulace zatáčky vizuálně). Let probíhal nad mraky v 1000 m s rychlostí 400 km/h a s kloněním 30°.

Na zapisovači BAK 4T bylo registrováno klonění letounu v úsecích letu trvajících 45 s. Z grafického zápisu byly ručně odečítány v prvních 35sekundových úsecích velikost a čas první výchylky a velikost maximální výchylky od stanoveného režimu. Byl sledován celkový počet výchylek. Ve většině případů byly měřeny i velikost a čas první výchylky po ukončení stimulace (do 10 s). Současně se z počítače trenažéru zaznamenala hodnota absolutní špičkové výchylky a celková relativní plocha výchylek v sledovaných 35 s.

Plovoucí elektrody průměru 3 cm byly bipolárně binaurálně umístěny na kůži bradavčitých výběžků kostí skalních (9, 10). Stimulační proud 1,5 mA s lineárním nárůstem 5 s, trváním 30 s a lineárním poklesem 5 s byl vytvářen přístrojem Progstim (3). Přístroj obsahuje dvě základní funkční jednotky, jednoúčelový mikropočítač a stimulační obvody. Mikropočítač umožňuje jednoduchou volbu řídicích programů stimulace a nastavení požadovaných časových a proudových parametrů. K přenosu řídicího signálu od mikropočítače do dvoukanálové stimulační jednotky slouží dva optoelektrické členy a je použito pulsní šířkové modulace. Řešení zvyšuje elektrickou bezpečnost stimulace. Nastavené maximální hodnoty stimulačního proudu jsou zároveň jistěny dalšími kontrolními obvody. Jednoúčelový mikropočítač umožňuje případné změny řídicích programů nebo jejich další doplnění.

Změřené hodnoty byly ošetřeny Grubbsovým testem extrémních odchylek na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Normální rozložení hodnot bylo ověřováno pomocí třetího a čtvrtého momentu. Statistická významnost rozdílů průměrů byla testována analýzou rozptylu při jednoduchém třídění, případně dále Scheffeho metodou. Srovnání získaných hodnot s výsledky dřívějšího měření bylo prováděno F-testem a nepárovým t-testem. Statistické vyhodnocování se provádělo na počítači ADT 4100.

Výsledky

Příklad záznamu průběhů výchylek klonění je na obrázku 1. V tabulce 1 jsou zachyceny četnosti (n), aritmetické průměry ($\bar{x}$) a směrodatné odchylky (s) sledovaných výchylek klonění včetně testovacího kritéria analýzy rozptylu (F), pro zatáčku vlevo při sti-

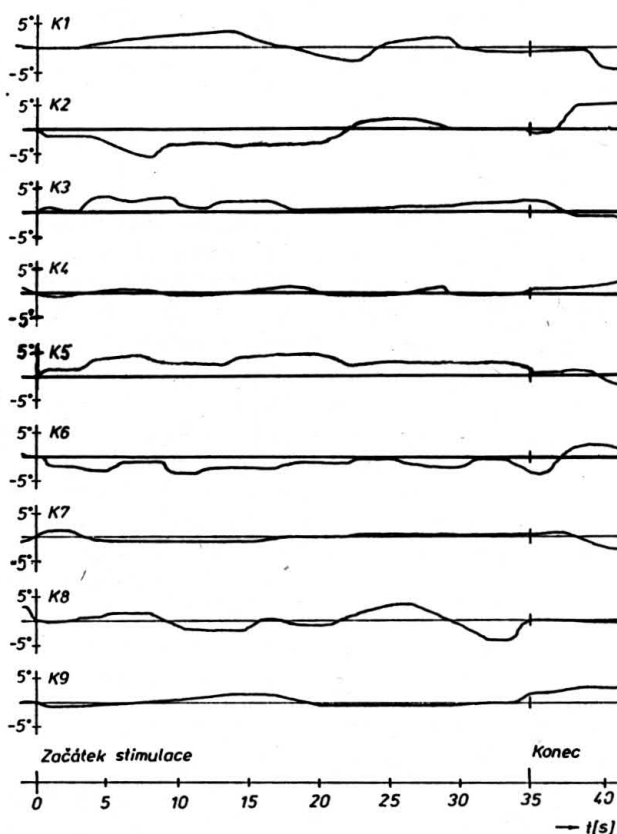
mulaci a bez ní. Podobně jsou v tabulce 2 vypsány údaje pro zatáčku vpravo a v tabulce 3 pro horizontální let.

Porovnáváním dvojic souborů hodnot v levé zatáčce byly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zjištěny statisticky významné rozdíly mezi:

- stimulací s anodou vpravo a bez stimulace pro velikosti první výchylky po zapnutí proudu, první výchylky po vypnutí proudu, její doby, špičkové výchylky a celkové plochy výchylek;
- stimulací s anodou vlevo a bez stimulace pro velikost první výchylky po zapnutí proudu;
- stimulací s anodou vpravo a s anodou vlevo pro velikosti první výchylky po vypnutí proudu, špičkové výchylky a celkové plochy výchylek.

Porovnáním dvojic souborů hodnot v horizontálním letu byly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zjištěny statisticky významné rozdíly mezi:

- stimulací s anodou vpravo a bez stimulace pro velikost špičkové výchylky;
- stimulací s anodou vlevo a bez stimulace pro velikosti první výchylky po zapnutí a první výchylky po vypnutí proudu.



Graf 1 Záznam průběhu výchylek klonění na trenažéru TL-39

- K 1 – let v zatáčce vlevo; anoda vpravo
 K 2 – let v zatáčce vpravo; anoda vlevo
 K 3 – horizontální let; anoda vpravo
 K 4 – let v zatáčce vlevo; anoda vlevo
 K 5 – let v zatáčce vpravo; anoda vpravo
 K 6 – horizontální let; anoda vlevo
 K 7 – let v zatáčce vpravo; bez stimulace
 K 8 – horizontální let; bez stimulace
 K 9 – let v zatáčce vlevo; bez stimulace

Tabulka 4

Změny výchylek klonění při snížení stimulačního proudu (ze 3 mA na 1,5 mA)

Sledovaný parametr	Zatáčka vlevo			Zatáčka vpravo			Horizontální let		
	anoda			anoda			anoda		
	vpravo	vlevo	bez st.	vpravo	vlevo	bez st.	vpravo	vlevo	bez st.
Po zapnutí proudu:									
První výchylka	S **	S	S	S	S	Z	S **	S	S
Čas vrcholu	Z **	Z **	Z	Z **	Z *	Z *	Z *	Z *	Z
Maximální výchylka	S **	S	S	S	S	Z	S **	S	S
Počet výchylek	S **	S **	S **	S **	S **	S *	S **	S **	S **
Špičková výchylka	S **	S	S	S	S	S	S **	S	Z
Celková plocha výchylek	S *	Z	Z	S *	Z	Z *	S *	Z	Z
Po vypnutí proudu:									
První výchylka	S	S *	S	Z	Z	Z	S *	Z	S
Čas vrcholu	Z	Z	S	Z	Z *	Z	S	Z	Z

Z (S) – zvýšení (snížení) absolutní hodnoty

** (*) – statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ (0,05)

U ostatních hodnot ani v zatáčce vpravo nebyly významné rozdíly nalezeny. Orientační srovnání všech parametrů z této práce s výsledky předchozího experimentu se stimulačním proudem velikosti 3 mA (10) je naznačeno v tabulce 4.

Diskuse

Předpoklad, že velikost stimulačního proudu 1,5 mA stačí při binaurální bipolární stimulaci vestibulárního aparátu pilota ovlivnit klonění trenažéru, se potvrdil. Snížením intenzity stimulačního proudu došlo ve většině letových manévru ke zmenšení a zpoždění vychýlení ze zadané hodnoty klonění. Výrazně klesl počet výchylek. Neprojevovaly se již tak výrazně některé směrové odlišnosti, především převaha vychýlení k anodě vpravo (10). To mohlo být dáno i jiným souborem osob. Můžeme však předpokládat, že snížení hodnoty stimulačního proudu se projevuje pouze kvantitativními změnami. Dříve užívanou hodnotu 3 mA jsme převzali od Malčíka (6), který ji považoval za vhodnou k vyvolávání iluzí na trenažéru. K snížení velikosti proudu nás vedla potřeba omezit dráždění kožních receptorů. Tvůrci myšlenky simulace letových iluzí považovali za dostačující 0,5–1,5 mA (4). Možnostmi vyvolávání iluzí pohybů se obecně zabýval Gorgiladze, který našel prahovou hodnotu $1,3 \pm 0,2$ mA (2). Metody objektivního hodnocení galvanicky navozených vestibulospinálních reflexů užívají vesměs ještě nižší hodnoty (2, 5).

Jaký je mechanismus ovlivnění letových parametrů galvanickým vestibulárním drážděním? Propagátoři uměle vytvářených iluzí v letectví předpokládali, že galvanický stimul vytvoří prvotní vestibulární vjem, na který pilot zareaguje pohybem řídicí páky v opačném směru, a tím dojde k vychýlení (4, 6). Naše představa je poněkud jiná. Předpokládáme, že hlavní úlohu hrají vestibulospinální reflexy a tzv. iluze je jen

informací o procesech v pohybovém aparátu, zprostředkovanou somatickými proprioreceptory. Teoreticky vycházíme ze srovnatelnosti galvanických efektů s vlivy přirozené stimulace statokinetického ústrojí (1, 7). Je známo, že labyrint má bilaterální vliv na horní končetiny, působí ipsilaterálně na posturální tonus, a že existují v pontu a míše četné oboustranné spoje (1, 8). Elektrické dráždění znamená změnu aktivity neuronů vestibulárních jader, což se projeví prostřednictvím vestibulo-spinální a vestibulo-retikulo-spinální dráhy ipsilaterálně jak přímo na motoneuronech, tak na interneuronech (1, 8). Iritací vliv katody zvyšuje ipsilaterálně napětí extenzorů horní končetiny a odchyluje končetinu ve směru od katody. Anoda nad vestibulárním aparátem působí opačně – potlačuje statokinetické reflexy, projevuje se převaha flexorů. Při binaurální bipolární metodě se tyto efekty zesilují druhostrannými vlivy. Praktickým dopadem je pohyb řídicí páky doprava při umístění katody vlevo a anody vpravo, a naopak pohyb doleva při záměně polarity nebo vypnutí proudu. Zdá se, že část uváděné reakce probíhá neuvědoměle. Až po dosažení určité úrovně dráždění proprioreceptorů pohybového aparátu si pilot uvědomí „iluzi pohybu“, mezitím však již vykonal reálný tlak na řídicí páku a vychýlil letadlo. Situace je modifikována zrakovou informací o náklonu letounu z přístrojů a pohybu horizontu ve smyslu útlumu vestibulárních reakcí.

Zatím nezodpovězenou zůstává otázka hodnocení individuálních reakcí pilotů. „Iluzi“ podléhají bezesporu všichni, ale s různou charakteristikou. Dělení na typy podle velikosti reakce, jejího časového průběhu i korigování chyby zvažujeme.

Závěr

Ověřili jsme efekt snížené velikosti stimulačního proudu na vestibulární aparát pilota simulátoru. Nadále hodláme užívat proudy do hodnoty 2 mA. V bu-

doucnu se budeme zabývat otázkami zvýšeného významu somatické propriorecepce ve vzniku letových iluzí a možnostmi hodnocení individuálních odpovědí pilotů na galvanickou stimulaci rovnovážného ústrojí při letu na тренаžeru.

Souhrn

V práci je sledována změna klonění simulátoru TL-39 při ovlivňování pilota galvanickou vestibulární stimulací. 23 posluchačů VVLŠ bylo binaurálně bipolárně drážděno přístrojem Progstim proudem 1,5 mA po dobu 30 s v horizontálním letu a v zatáčkách 30°. Špičková výchylka a celková plocha výchylek byly odečítány z počítače simulátoru. Na grafickém záznamu klonění byly měřeny první a maximální výchylka, celkový počet výchylek i první výchylka po stimulaci. Stimulace působí významné změny klonění, oproti proudu 3 mA značně menší. Nadále bude vhodné užívat pro stimulaci proudy do 2 mA.

Literatura

1. GERNANDT, B. E.: Vestibulo-Spinal Mechanisms. In: Vestibular System, Pt. 1. Ed. H. H. Kornhuber. Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag 1974, s. 541–546.
2. GORGILADZE, G. I. – SAMARIN, G. I. – RUSANOV, S. N.: Vestibuljarnyje reakcii čeloveka na galvaničeskoje razdraženije labirintov. Kosmičes. Biol. Med., 17, 1983, č. 2, s. 48–52.
3. HANOUSEK, J.: Programovatelný stimulátor vestibulárního aparátu. (Zpráva). Praha, ÚLZ 1986. 70 s.
4. JEMELJANOV, M. D. – KUZNECOV, A. G.: O roli vzaimodejstija vestibuljarnogo, zritel'nogo i propriocetivnogo analizatorov v vozniknovenii nekotorych illuzornykh oščuščenij u letčikov. Vestn. Oto-rino-laring., 1962, č. 3, s. 63–69.
5. KRIŽKOVÁ, M. – HLAVAČKA, F. – MIHALIK, V.: Závislosť posturálnych odpovedí evokovaných galvanickou stimuláciou labyrintov od amplitúdy a frekvencie stimulačného prúdu. Bratisl. lek. Listy, 86, 1986, č. 2, s. 193–201.
6. MALČÍK, V.: Experimentální vyvolání některých pocitů shodných s letovými iluzemi z vestibulárního aparátu. Voj. zdrav. Listy, 33, 1964, č. 3, s. 132–133.
7. PEITERSEN, E.: Measurement of Vestibulo-Spinal Responses in Man. In: Vestibular System, Pt. 2. Ed. H. H. Kornhuber. Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag 1974, s. 267–280.
8. PRECHT, W.: The Physiology of the Vestibular Nuclei. In: Vestibular System, Pt. 1. Ed. H. H. Kornhuber. Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag 1974, s. 353–416.
9. SÁZEL, M. – CMÍRAL, J.: Vlivy galvanické vestibulární stimulace a parametry letu v pilotním simulátoru. Voj. zdrav. Listy, 55, 1986, č. 6, s. 256–259.
10. SÁZEL, M. – CMÍRAL, J.: Galvanic vestibular stimulation on a flight simulator. Physiol. bohemoslov., 36, 1987, č. 4, s. 377.

Klíčová slova: Vestibulární aparát; Stimulace elektrická; Iluze; Letecký simulátor.