

VLIVY GALVANICKÉ VESTIBULÁRNÍ STIMULACE A PARAMETRY LETU V PILOTNÍM SIMULÁTORU

Mjr. MUDr. M. SÁZEL, plk. Ing. J. CMÍRAL, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

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

Úvod

Výcvik na letových simulátorech (trenažérech) se stává stále významnější složkou přípravy pilotů v celém světě. Přes značnou dokonalost simulačních procesů jsou některé letové situace na trenažérech nerealizovatelné. K nim se řadí i prostorová dezorientace v důsledku klamných pocitů — iluzí. Pro jejich závažnost, ohrožující letovou bezpečnost, je snaha nalézt možnosti imitace iluzí i pro pozemní výcvik.

Nadějnou cestu v uměle navozených iluzích ukázal Malčík [10]. Ve své metodě užil galvanické stimulace statokinetického čidla. Úspěšné výsledky vedly k začlenění nácviku v odolnosti k takto navozeným iluzím do leteckého výcviku na dřívějších typech trenažérů.

Dráždění vestibulárního aparátu stejnosměrným elektrickým proudem je známo přes 160 let. Za objevitele je považován J. E. Purkyně. Od té doby se tento způsob stimulace užíval pro řadu účelů v různé míře a modifikacích. V klinice se jej užívalo především k upřesnění vestibulárních poškození [11]. Po rozpracování stabilografických metod se galvanická stimulace užívá hlavně v tomto spojení [1, 3]. Tato metodika byla rozpracována i v ČSSR ve výzkumu regulací vzpřímeného postoje [5, 8]. Zajímavé jsou též pokusy využít této neadekvátní stimulace k imitaci beztláči [18].

Vlastní mechanismus působení elektrického proudu na statokinetické ústrojí není ještě do všech detailů objasněn. V první polovině našeho století ukázaly pokusy s destrukcí orgánů labyrintu a jeho ganglia, že proud nepůsobí ve vlastním labyrintu, ale může ovlivňovat činnost ganglia a vestibulárního nervu. Přínosem byla práce Lowensteina [9], která prokázala excitální vliv katody a inhibiční vliv anody na klidovou frekvenci vestibulárních nervových vzruchů. Byly publikovány i výsledky stereotaktických sledování ve vestibulárních jádrech o změnách klidových potenciálů většiny neuronů při periferní galvanické stimulaci a opačné reakci při vypnutí proudu [12]. Vliv na vyvolávané jevy je přisuzován i komisurálním spojmům mezi vestibulárními jádry [4, 18].

Zevní projevy dráždění elektrickým proudem jsou obdobné dráždění reálným pohybem. U nystagmu byla prokázána i sumace podnětů galvanických, tepelných i pohybových [16]. Tonické úchyly končetin a trupu s následnými změnami tělesného těžiště jsou zájmem postu-

rografie. Vyvolávání subjektivních pocitů (závrat, náklon, pohyb apod.) nebylo dlouho předmětem objektivního sledování [4]. Na podobnost takto vyvolávaných iluzí s klamnými pocity letců upozornil Jemeljanov [6].

Naším cílem bylo posoudit vliv subjektivních pocitů (iluzí) vyvolaných galvanickým proudem na porušení zadaných parametrů letu na na soudobém simulátoru.

Metodika

Reakce na galvanické dráždění vestibulárního aparátu byla sledována u 20 posluchačů VVLŠ ve věku 21—25 let (průměr 22), kteří měli nalétáno na letounu okolo 140 hodin i příslušný počet hodin na simulátoru. Všichni vyšetřovaní byli schopni létání. Subjektivně pocíťované iluze klonění byly navozeny binaurální bipolární stimulací a jejich objektivní projevy byly sledovány na odchylkách v režimech letu trenažéru TL — 39 (vyroben r. 1976 v n. p. Rudý Letov) v ÚLZ.

Ke galvanické stimulaci byl užíván přístroj vyvinutý na základě experimentů Malčíka [10] a vyrobený LO Kbely v roce 1967. Elektrody tvaru hodinového sklíčka průměru 3 cm (výrobce n. p. Ergon Praha) s náplní vodivého žele (Ergon) jsme umísťovali na kůži odmaštěnou éterem (Synthesia n. p.) nad processus mastoideus kosti skalní ve výši zevního zvukovodu. Fixace elektrod byla zajištěna lepicím molitanovým kotoučem (f. Hellige) a nasazením pilotní kukly. Režim stimulace byl nastavován ručně lékařem z pracoviště instruktora. Během 5 s bylo lineárně dosaženo úrovně stimulačního proudu 3 mA, který působil 30 s. Během uvedených 35 s byla z příslušných částí analogového počítače TL — 39 snímána napětí odpovídající změnám v klonění a klopení, resp. vertikální rychlosti „letounu“. Registrovala se maximální odchylka a střední absolutní odchylka od předepsaného režimu jednotlivých sledovaných veličin. (Období 5 s snižování proudu nebylo sledováno.) První stimulace začala po 10 minutách od přiložení elektrod, minimální přestávky mezi měřeními trvaly 1 minutu.

Před dnem letu s iluzemi měli vyšetřovaní půlhodinový seznamovací let na TL — 39. V poučení před letem byli probandi upozorněni na to, že bude sledována přesnost dodržování parametrů horizontálního letu, stoupání a klesání (10 m/s), zatáčky (klonění 30°), vše při rychlosti 400 km/h. Průběh letu řídil instruk-

Průběh letu

Minuta zahájení měření	Režim	Přítomnost iluze
3.	stoupání	—
7.	levá zatáčka	—
11.	horizont	levá
13.	horizont	—
15.	horizont	pravá
18.	levá zatáčka	levá
20.	klesání	levá
23.	klesání	—
25.	klesání	pravá
27.	stoupání	levá
31.	stoupání	pravá
33.	levá zatáčka	pravá

tor podle jednotného postupu (tab. 1), který pilot předem neznal. Celková doba letu nepřesáhla 45 minut. Měření probíhalo za letu v mracích ve výšce 1000—2500 m.

Ze statistického šetření byly vyloučeny hodnoty zjevně ovlivněné nedodržením stanovených režimů jinými faktory (např. dotáčení pilota do kursu, viditelný horizont). Všechny soubory byly ošetřeny Grubsovým testem extrémních odchylek na hladině významnosti $p = 0,05$ a normální rozložení pravděpodobnosti bylo testováno pomocí třetího a čtvrtého momentu na hladině významnosti $p = 0,05$.

Tab. 1

Statistická významnost rozdílů průměrů byla testována analýzou rozptylu a v případě pozitivního výsledku byla použita Scheffeho metoda pro testování jednotlivých dvojic. K výpočtům byl užít počítač ADT 4100.

Výsledky

Průměrné hodnoty odchylek kabiny trenažéru od zadaného úkolu jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3. Současně je zde uvedena část výsledků analýzy rozptylu.

Statisticky významné rozdíly v maximálních odchylkách klonění jsou pouze při provádění zatáčky (tab. 2). Analýza rozptylu ukazuje významné rozdíly ve srovnání zatáčky s levou iluzí vůči zatáčkám s pravou iluzí i bez ní. Ve středních absolutních odchylkách klonění jsou poměry obdobné (tab. 3). Maximální odchylky klopení a vertikální rychlosti nevykazují významné rozdíly, stejně jako střední absolutní odchylky.

Při srovnání souborů se stejným typem iluze či bez ní jsou statisticky významné rozdíly v levých iluzích v hodnotách středních absolutních odchylek klonění (hladina významnosti $p = 0,01$). Z nich jsou významné lety v zatáčce vůči horizontálnímu a stoupavému letu (hladina významnosti $p = 0,05$).

Diskuse

Experimenty nám ukázaly významnost galvanicky vyvolané iluze pouze pro let v zatáčce. To bylo překvapivé. Na základě prací Malčíka

Srovnání maximálních odchylek klonění

Tab. 2

Režim	$\bar{x} \pm s$			Statistická významnost rozdílů průměrů
	bez iluze	levá iluze	pravá iluze	
zatáčka	$(4,2 \pm 1,0)^\circ$	$(5,9 \pm 1,8)^\circ$	$(3,8 \pm 1,0)^\circ$	+
horizont	$5,3 \pm 2,4$	$5,4 \pm 2,0$	$4,0 \pm 1,0$	—
stoupání	$5,1 \pm 1,4$	$5,2 \pm 2,1$	$4,4 \pm 1,3$	—
klesání	$5,5 \pm 2,8$	$6,0 \pm 2,3$	$4,4 \pm 1,7$	—

Statisticky významné rozdíly byly signifikantní na hladině významnosti $p = 0,01$

Srovnání střední absolutní odchylky klonění

Tab. 3

Režim	$\bar{x} \pm s$			Statistická významnost rozdílů průměrů
	bez iluze	levá iluze	pravá iluze	
zatáčka	40 ± 21	69 ± 22	35 ± 12	+
horizont	44 ± 22	44 ± 22	36 ± 21	—
stoupání	47 ± 18	42 ± 18	43 ± 19	—
klesání	53 ± 31	34 ± 24	31 ± 18	—

Statisticky významné rozdíly byly signifikantní na hladině významnosti $p = 0,01$

[10] jsme očekávali větší účinnost působení elektrického proudu. Malčík však užíval starší typ trenážeru a sledoval během iluze pouze kurzové odchylky. Za odolné vůči iluzi považoval piloty s odchylkami do 3° při galvanické stimulaci, nevyhovující přesahovali 10°. Jiné práce zabývající se užitím dráždění vestibulárního ústrojí za letu simulátoru nám nejsou známy. Pouze Jemeljanov [6] uvádí, že pozoroval výrazné utlumení navozené iluze při přechodu na let podle přístroje s ručičkou ukazující náklon. Metodické uspořádání našich pokusů a získané výsledky nám dávají otázku, proč je vliv galvanické stimulace významný pouze ve směru zatáčky? Úlohu může mít řada faktorů. Vycházíme-li z fyziologického vnímání pohybu na simulátoru a tedy především z vlivů zrakových, somatosensorických a vestibulárních, pak můžeme pro náš případ zanedbat vlivy adekvátního dráždění posledních dvou jmenovaných. Trenážer byl vždy ve sledovaných úsecích již vrácen do základní (horizontální) polohy [14]. Uplatňovala se dominantní role zraku, o jejíž důležitosti v letectví není pochyb [2, 17]. Zrakový vjem jsme omezili letem v mracích pouze na přístroje. Umělý horizont, reagující na pohyby letadla prováděné řídicí pákou, byl základem letové orientace.

Význam mohly mít smyslové interakce zraku a rovnovážného smyslu, neadekvátně drážděného. Galvanicky navozená iluze měla v případě levé zatáčky stejnou orientaci jako vizuální obraz na přístrojích a výrazně ovlivňovala pilota. To se projevilo v narušení režimu letu výchyly řídicí páky. Opačný směr působení proudu tyto efekty neměl. Zdá se tedy, že pokud vjemy zrakové a neadekvátní vestibulární mají stejnou orientaci, pak se navzájem potencují a narušují orientaci pilota. Samotné galvanické dráždění signalizující náklon pilota výrazně neovlivní. Zůstává řada otázek: jakou by mohl hrát roli tzv. retinální astigmatismus (přesnější určování vertikální a horizontální linie zrakem); zda lze plně srovnávat stabilitu letounu za letu v přímém směru a při 30° zatáčce; jak se projevují vlivy stranových převah statokinetických čidel; či působí-li na ruku držící řídicí páku ve směru do zatáčky výrazněji vestibulospinální reflexy. Uvědomujeme si, že nedostatkem naší práce byla především nepřítomnost pravé zatáčky, odečítání odchylek bez směrové orientace i krátké intervaly mezi stimulacemi.

Fyziologické práce, které se dotýkají námi zvažované smyslové interakce, se nejčastěji zabývají vestibulárně vizuálními vztahy ve vnímání vlastního pohybu. Jde o konfrontaci reálného pohybu s vizuálně indukovaným („vection“). Závěry nejsou jednoznačné, vzájemné maskování je směrově různé, mění se s frekvencí [13, 19]. Jsou známa místa vzájemných působení na úrovni vestibulárních jader, retikulární formace, mozečku, okohybných jader i spinálních interneuronů. Korové působení ne-

ní zcela ozřejmeno. Je předpoklad, že interakce by probíhaly ve zvažovaném vestibulárním centru — area 2, gyrus postcentralis [7, 13]. Uvádí se i široce působící efekt vestibulární stimulace na zrakovou kůru pod termínem gyrovizuální modulace [15]. Hodnocení galvanicky navozené iluze náklonu jako sensorické korové záležitosti s účastí smyslových interakcí a 2. signální soustavy prosazoval již Jemeljanov [6]. Z oblasti leteckých simulátorů je pro nepříjemné subjektivní pocity vznikající při nesouladu zrakového a statokinetického vjemu dokonce zaveden i samostatný název — „simulation sickness“ [2].

V naší práci jsme se jen dotkli složité problematiky vzájemného smyslového ovlivňování, která je v leteckém lékařství významná. Domníváme se, že rozpracováním vestibulární galvanické stimulace při simulovaném letu můžeme přispět k řešení otázek sensorických vlivů na pilota, což by mohlo v budoucnu prospět rozvoji trenážerového výcviku, konstrukci simulátorů, případně k posuzování pilotů.

Literatura

1. BABSKIJ, Je. B. - GURFINKEL', V. S. - ROMEL', E. L.: Novaja metodika i nekotoryje rezul'taty issledovaniya vestibulomotornogo refleksa čeloveka pri neadekvatnom razdraženii vestibuljarnogo apparata. Vestn. Oto-rino-laring., 1952, č. 5, s. 19—22.
2. BENSON, A. J.: Spatial Disorientation. In: Aviation Medicine. Vol. 1. Physiology and Human Factors. 1. ed. London. Tri-Med Books 1978, s. 405—493.
3. GALLE, R. R. - GAVRILOVA, L. N.: Issledovanie vestibuljarnoj reaktivnosti s pomošč'ju gal'vaničeskogo toka. Kosmičes. Biol. Med., 5, 1971, č. 1, s. 79—83.
4. GORGILADZE, G. I. - SAMARIN, G. I. - RUSANOV, S. N.: Vestibuljarnyje reakcii čeloveka na gal'vaničeskoje razdraženije labirintov. Kosmičes. Biol. Med., 17, 1983, č. 2, s. 48—52.
5. HLAVAČKA, F. - NJIOKIKTIEN, Ch.: Postural responses evoked by sinusoidal galvanic stimulation of the labyrinth. Acta oto-laryng. (Stockh.), 99, 1985, s. 107—112.
6. JEMELJANOV, M. D. - KUZNECOV, A. G.: O roli vzaimodejstija vestibuljarnogo, zritel'nogo i propriosceptivnogo analizatorov v vozniknovenii nekotorych iljuzornyh oščuščenij u letčikov. Vestn. Oto-rino-laring., 1962, č. 3, s. 63—69.
7. KORNHUBER, H. H.: The Vestibular System in Relation to Other Sensorimotor Systems. In: Handbook of Sensory Physiology. Vol. VI/1. Vestibular System. Basic Mechanisms, 1. ed., Berlin, Springer Verlag 1974, s. 4—11.
8. KRIŽKOVÁ, M.: Účast vestibulárneho systému v regulácii vzpriameného postoja. [Kandidátska dizertačná práca.] Bratislava 1985 — ÚNPF.
9. LOWENSTEIN, O.: The effect of galvanic polarization on the impulse discharge from sense endings in the isolated labyrinth of the thornback ray. J. Physiol., 127, 1955, s. 104—117.
10. MALČÍK, V.: Výběrová opatření pro lety ve složitých meteorologických podmínkách. [Závěrečná zpráva.] Praha, ÚLZ 1965.
11. PFALTZ, C. R. - KOIKE, Y.: Galvanic test in central vestibular lesions. Acta oto-laryng. (Stockh.), 65, 1968, s. 161—168.
12. POTTHOFF, P. C. - BURANDT, H. R. - RICHTER, H. P.: Neuronale reaktionen in pons und mesencephalon der katze nach galvanischer labyrinthpolarisation.

- Arch. Ohr., Nas., u. Kehlk.-Heilk., 189, 1967, s. 262 až 280.
13. PROBST, Th. - STRAUBE, A. - BLES, W.: Differential effects of ambivalent visual-vestibular-somatosensory stimulation on the perception of self-motion. *Behav. Brain Res.*, 16, 1985, s. 71—79.
14. SÁZEL, M.: Sensorická problematika simulovaného letu. Praha, ÚLZ 1985. 67 s.
15. STEWART, J. D. - CLARK, B.: Choice reaction time to visual motion during prolonged rotary motion in airline pilots. *Aviat. Space Environ. Med.*, 46, 1975, č. 6, s. 767—771.
16. SWAAK, A. J. G. - OOSTERVELD, W. J.: Galvanic vestibular stimulation. *Appl. Neurophysiol.*, 38, 1975, č. 2, s. 136—143.
17. ŠULC, J.: *Letecká fyziologie*. 1. vyd. Praha, Naše vojsko 1980, s. 184—225.
18. ŠUEŽENKO, Je. B. - GORGILADZE, G. I. - KOZLOVA, V. G.: Ispořzovanie dvuchstronnej galvanizacii labirintov dlja imitacii izmenenija vestibuljarnoj afferencii v nevesomosti. *Kosmičes. Biol. Med.*, 17, 1983, č. 3, s. 86—88.
19. YOUNG, L. R.: Visual and vestibular influences in human self-motion perception. In: *The Vestibular System: Function and Morphology*, New York, Springer-Verlag 1981, s. 393—424.
- Klíčová slova: Stimulace elektrická; Vestibulární aparát; Iluze; Letecké simulátory.