

613.693:612.886.1

PROSTOROVÁ DEZORIENTACE ZA LETU NA SIMULÁTORU PŘI GALVANICKÉ VESTIBULÁRNÍ STIMULACI PILOTA

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

Úvod

Pasivní přenášení člověka v letounu se šesti stupni volnosti pohybu s působením kombinací přímočarých a kruhových zrychlení, s častou rozporností vjemů různých smyslových modalit, s přesycením informačních vstupů do CNS a s dalšími faktory nemůže zůstat bez vlivu na rovnovážné ústrojí vnitřního ucha letce. Nejzávažnějším z těchto efektů je prostorová dezorientace, které podléhají všichni piloti, neboť je důsledkem rozporu mezi fylogeneticky danými schopnostmi organismu a požadavkem na orientaci za letu.

Prostorovou dezorientaci se rozumí: "Stav charakterizovaný chybným orientačním vnímáním, tj. chybným pocitem vlastní pozice a pohybu ve vztahu k povrchu země". (Gillingham, 1990). Dělí se na:

- I. typ, kdy ji pilot nerozpozná;
- II. typ, kdy pilot rozpozná její určité známky;
- III. typ, kdy pilot, i když o ní ví, není schopen se jí ubránit.

Ke III. typu patří kromě senzoreckého zaujetí a imobilizačního reflexu i tendence zvrácení vyšších forem

chování k primitivnějším až reflexním odpovědím (často vestibulomotorickým).

Podíl prostorové dezorientace na vzniku leteckých nehod je značný, údaje autorů se pohybují mezi 5-20 % (Gillingham, Wolfe, 1985; Benson, 1988). Dezorientace často nastává po letových iluzích (Šulc, 1980), přičemž převažují klamné pocity vestibulárního původu (Lapajev, Vorob'jev, 1985). Nejčastější je iluze příčného sklonu (klonění). Údaje USAF ukazují podíl prostorové dezorientace na leteckých nehodách za předchozích 10 let přes 7 %, ale letečtí lékaři předpokládají, že řada stavů tzv. ztráty situační bdělosti není samostatně možná, ale je vyvolána prvotním působením dezorientace (Gillingham, 1990). Tím zvyšují podíl prostorové dezorientace na leteckých nehodách dvakrát až třikrát, tj. na 16-24 %, přičemž asi polovina dezorientací měla spojení s jevy vestibulárního původu.

Senzomotorické reakce jsou pohybové reflexní automatismy, které slouží k zachování života organismu, k obraně, útěku, lovu apod. Tyto primitivní, ale rychlé a účinné aktivity mají u člověka značně redukován rozsah i obsah. Přesto se objevují v běžném životě neustá-

le. Bezprostřední senzomotorické vztahy existují u motility sloužící k postoji, lokomoci, ale také k práci (Trojan, Druga, Pfeiffer, 1990). Posturální pohyby s převahou extenze alternující s flexí jsou řízeny subkortikospinálně a mozečkem, pracovní motilita s flexně-rotacním pohybem horní končetiny je již více pod vlivem kortikospinálního řízení. Základem veškerých pohybů je svalový tonus, zajišťovaný činností spinální míchy. Na jeho základě je vybudován systém postojových reakcí a vzpřimovacích reflexů. Na regulaci svalového tonu se účastní retikulární formace a statokinetické čidlo. Nadřazená složitá soustava úmyslných pohybů je řízena činností mozkové kůry, bazálních ganglií a neocerebella.

Do cílené motoriky patří i řídicí pohyby pilota. Opěrná motorika se podílí na pilotáži skrytě. Při dezintegraci letových návyků za letu může nastat situace, kdy "nižší" složka převládá nad vědomým řízením. K tomu může dojít zejména v podmínkách psychologického stresu, např. při prostorové dezorientaci (Šulc, 1990).

Galvanická vestibulární stimulace (dále GVS) je známa jako metoda dráždění rovnovážného ústrojí řadu let (Sázel, 1991a). Poměrně brzy byly specifikovány vlivy elektrotonického působení na klidovou frekvenci vzruchů vestibulárního nervu (Lowenstein, 1955). U katody bylo vyvoláváno její zvýšení, u anody snížení. GVS proudem sinusoidálního průběhu a rotační stimulace stejné frekvence vykazovaly podobné změny odpovědi ve vlákních vestibulárního nervu (Goldberg, Smith, Fernández, 1982). Byl vysloven předpoklad, že katoda depolarizuje a anoda hyperpolarizuje ve spouštových oblastech axonů vestibulárních neuronů. Náznaky otočení hlavy orientovaného ze strany s přiloženou katodou na stranu s anodou byly nalezeny již při užití proudu GVS 0,1 mA (Vito, Brusa, Arduini, 1956). Proud vyšší než 0,8 mA zesilovaly extenzorový tonus na předních končetinách na straně katody a snižovaly ho kontralaterálně. Anoda měla opačný efekt. Při sinusoidální GVS frekvencemi 0,1-0,2 Hz byla dobře pozorovatelná střídavá natáčení hlavy (Parker, 1970). U vestibulárních neuronů i ve svalových zádočných buňkách byly při sinusoidální GVS zjištěny jejímu průběhu, podobné střídavé modulační odpovědi (Wilson, 1979).

Významnější vyšetřovací metodou se stala GVS po zavedení stabilometrie (Babskij, Gurfinkel, Romef, 1952). Podrobnější analýza pohybu těžiště těla při binaurální bipolární GVS ukázala převažující vychýlení ve frontální rovině směrem na stranu stimulační anody (Njiokiktjen, Folkerts, 1971). Při sinusoidální GVS byla při frekvenci 0,3 Hz zjištěna maximální odpověď (Bizzo, Baron, 1972; Křížková, 1985; Hlavačka, Njiokiktjen, 1985). Pohyby těžiště těla v sagitální rovině bylo možno vyvolat binaurální monopolární GVS vysokými stimulačními proudy (Gorgiladze, Samarin, Rusanov, 1983).

Vytváření iluzí pohybu při GVS vedlo k myšlence využít tohoto jevu ve výcviku letců (Jemeljanov, Kuznecov, 1962) a k aplikaci GVS v pilotním trenažeru (Malčík, 1966). Bylo pak možno navičít "odolnost vůči galvanicky navozené iluzi" (Malčík, 1968). Nevýhodou byla krátkodobost indukovaných pocitů klonění (Derevjanko, Kuznecov, 1967). Definovatelný vliv GVS na osobu s řídicí

pákou byl změřen jen pro vyrovnávání výchylek Bárányho křesla, které se náhodně pootáčelo ve tmě (Weiss, Tole, 1973).

Cílem práce bylo experimentálně ověřit, zda galvanická vestibulární stimulace ovlivní pilota v řízení letového simulátoru, a výsledky interpretovat ve vztahu k fyziologickým mechanismům prostorové orientace pilota za letu (Sázel, 1992). Dílčí výsledky byly publikovány (Sázel, 1991a; Sázel, Cmíral, 1986; Sázel, Hanousek, 1989).

Metoda

Experimentální lety byly prováděny na pilotním trenažeru TL-39. Měření byla členěna do několika experimentů, které se odlišovaly typy užívaných GVS, programem letu, technikou snímání a zpracování signálů. Vyšetřeno bylo celkově 170 zdravých pilotních posluchačů VVLŠ.

Jako zdroj stimulačního proudu byly užity speciálně zkonstruované přístroje (Hanousek, Sázel, 1989). Při binaurální bipolární GVS byly stimulační elektrody ($\varnothing$ 3 cm) umísťovány na kůži nad bradavčítým výběžkem kosti skalní ve výši zevního zvukovodu. Při binaurální monopolární GVS se třetí elektroda přikládala ve střední části nad oblastí výše trnu obratle Th 7. Byl užíván stimulační stejnosměrný proud 3 mA a 1,5 mA po dobu 30 s (+ 5 s lineární nárůst a 5 s pokles). Při sinusoidálním průběhu GVS střídavým proudem amplitudy 1 mA byly postupně užívány frekvence mezi 0,05-1 Hz (trvání 40 s).

Sledovaly se 40 s úseky letu střídavě bez a s GVS při podélné rychlosti 400 km.h⁻¹ ve vodorovném přímočarém ustáleném (dále horizontálním) letu a v horizontální zatáčce s příčným sklonem 30° (dále zatáčce). Měření byly vybrané hodnoty u změny polohového úhlu letadlové souřadnicové soustavy vůči zemské souřadnicové soustavě nesené letadlem v podélném a příčném sklonu letadla (dále klopení a klonění) a odchýlení řídicího orgánu klopivého momentu (dále výškovky) a klonivého momentu (dále křidélek) letadla ze střední polohy. (Odpovídající pohyby řídicí páky byly odvozeny výpočtem.) Tyto čtyři analogové signály byly registrovány magnetofonem a poté po digitalizaci strojově zpracovány minipočítačem ADT 4100. Ve vybraných měřeních byla použita spektrální výkonová analýza pomocí rychlé Fourierovy transformace (Sázel a spol., 1987).

Po základním popisu statistických souborů byly testovány statistické hypotézy na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Byly komplexně srovnávány soubory dat ze situací bez GVS a s jednotlivými GVS. Podle závěru Bartlettova testu o rozdílnosti rozptylů se prováděla buď analýza rozptylu při jednoduchém třídění, nebo Brown-Forsythův test. Navazovalo simultánní testování odlišností dvojic souborů Scheffeho, příp. Tamhanovou metodou. V případě srovnávání souborů ze dvou těsně na sebe navazujících úseků letu bez GVS a s GVS byl užíván párový t-test. Při posuzování dvou souborů z různých experimentů byl použit F-test s příslušným t-testem.

Výsledky

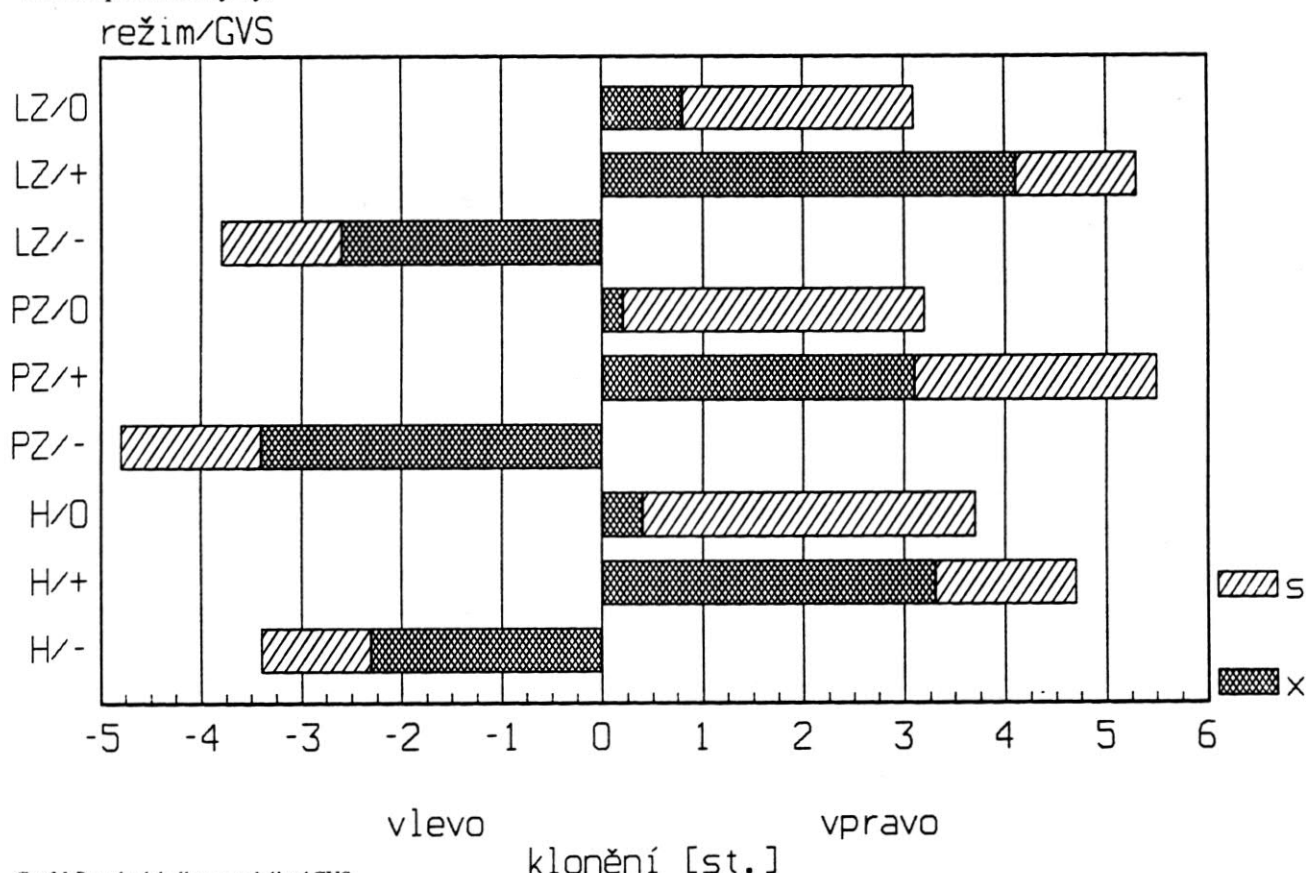
a) Vliv polarity GVS na odchýlení řídicí páky a letounu ve frontální a sagitální rovině

Zřetelné vlivy binaurální bipolární GVS proudem 3 mA se výrazně projeví u klonění. V reakcích byly značné rozdíly nejen mezi jednotlivými piloty, ale i u stejných jedinců v průběhu letu. U první odchylky klonění ($>1^\circ$) při GVS byla výrazně vyšší hodnota oproti situaci bez GVS nejvíce v levé zatáčce ($p<0005$; graf 1). Odchylky směřovaly ze strany s přiloženou katodou na stranu s anodou. Dříve vznikaly první odchylky při GVS než bez ní pouze za horizontálního letu ($p<05$). Pro velikost maximální odchylky klonění byly stejné trendy vlivu GVS jako pro velikost první odchylky.

GVS na stranu anody bylo ve všech režimech letu zhruba o třetinu delší a na stranu katody asi třetinové, než tomu bylo bez GVS. Změny vlivem GVS byly také dobře vyjádřeny hodnotou střední odchylky klonění ($p<001$).

Odchylky klonění jsou důsledkem pohybů křidélek působených vychylováním řídicí páky ve frontální rovině. Ve shodě s tím byly u velikosti první odchylky páky při GVS nalezeny vyšší hodnoty ve směru k anodě, i když ne ve všech režimech letu, a tato odchylka nastávala dříve než bez GVS. Pro velikosti maximální odchylky řídicí páky byly rozdíly podobné. Hodnoty střední odchylky řídicí páky potvrdily vlivy GVS především v levé zatáčce ($p<01$).

Stejnoseměrná GVS (oběma směry proudu) zvyšovala nepatrně i klopení letounu předtím nahoru v obou zatáčkách.



Graf 1 První odchylka po zahájení GVS

x...aritmetický průměr, s...směrodatná odchylka (pouze v jednom směru); režim - LZ...levá zatáčka, PZ...pravá zatáčka, H...horizontální let; GVS - 0...žádná, +...anoda vpravo, -...anoda vlevo

První odchylka klonění po zahájení snižování proudu GVS vykazovala směrově zrcadlový obraz k první odchylce při GVS. Docházelo k odchýlování ve směru ke straně, kde byla při GVS katoda ($p<001$). Párové srovnání absolutních velikostí i časů vrcholů první odchylky při a po GVS mezi nimi neukázalo statisticky významné rozdíly.

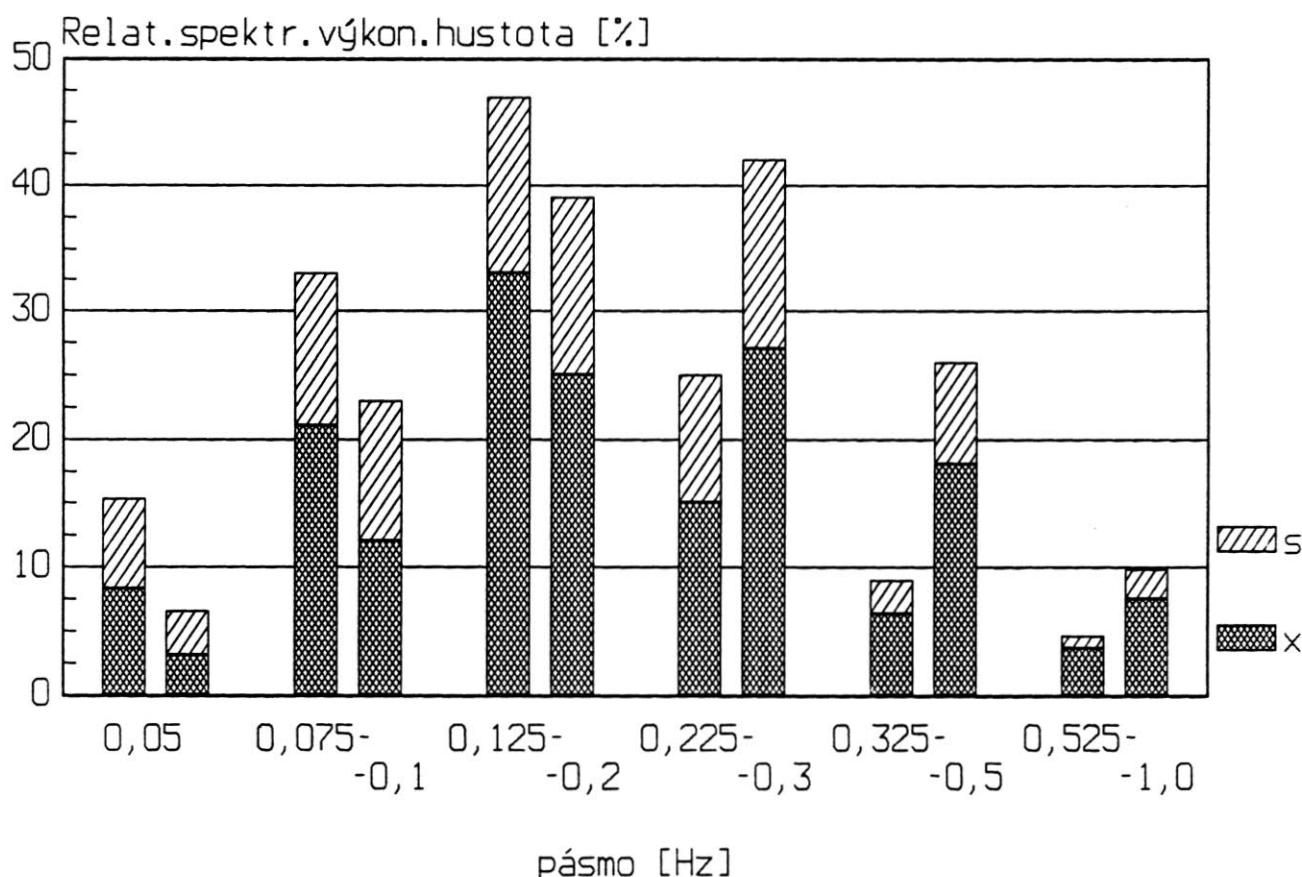
Po snížení stimulačního proudu na polovinu (tj. 1,5 mA) měly obecně odchylky klonění podobný charakter jako dříve, ale menší velikost, opožděný nástup a docházelo i k menšímu narušení letového režimu. Nejvýraznější byly vyjádřeny vlivy GVS opět v levé zatáčce.

Vliv GVS byl také výrazně vidět na celkovém trvání odchýlení na jednotlivé strany ($p<0005$). Odchýlení při

Statisticky významné byly při GVS i vyšší hodnoty odchýlení řídicí páky v sagitální rovině ve směru k pilotovi (přitažení).

b) Efekty sinusoidální binaurální GVS

Při hodnocení středních a maximálních odchylek i dominantních frekvencí byly nalezeny jen nepatrné rozdíly mezi vlivy různých frekvencí GVS. Proto bylo provedeno párové srovnávání procentuálního rozložení spektrálních výkonových hustot v jednotlivých frekvenčních pásmech v úsecích letu těsně před a při GVS. Při GVS frekvencí 0,1 Hz bylo zřetelné zvýšení podílu spektrální výkonové hustoty klonění v pásmu 0,125-0,2 Hz ($p<01$).



Graf 2 Relativní spektrální výkonová hustota pohybu křídél před a při GVS 0,2 Hz
x...aritmický průměr, s...směrodatná odchylka (klad. směr) (První sloupec ve dvojici ukazuje stav před GVS, druhý při GVS.)

Při GVS frekvenci 0,2 Hz byl u klonění nárůst v pásmech výše od frekvence 0,225 Hz, zvláště významný mezi 0,325-1 Hz ($p < 0,01$). U pohybu křídél nastával v pásmech 0,05-0,1 Hz pokles, od 0,225 Hz výše nárůst, zejména v pásmech 0,325-1 Hz ($p < 0,001$; graf 2). Při GVS frekvenci 0,3 Hz bylo u klonění významné pouze zvýšení v pásmu 0,325-0,5 Hz ($p < 0,05$). Při GVS frekvenci 0,4 Hz byl nárůst podílu spektrální výkonové hustoty v pásmech 0,225-1 Hz ($p < 0,05$). Při GVS frekvenci 0,5 Hz nastal jen ojedinělý nárůst u klonění v pásmu 0,075-0,1 Hz a u pohybu křídél v pásmu 0,325-0,5 Hz ($p < 0,05$). Při GVS frekvenci 1 Hz docházelo u pohybu křídél ke zvýšení v pásmech 0,325-1 Hz ($p < 0,05$).

Na malé skupině pilotů byl ověřen vliv binaurální monopolární GVS na řízení simulátoru. Bylo nalezeno zvýšení střední absolutní odchylky u pohybu výškovky při GVS zejména frekvencí 0,2 Hz ($p < 0,01$). Při párovém srovnávání spektrální výkonové hustoty (%) v pásmech se projevoval především vliv GVS frekvencí 0,2 Hz v sagitální rovině pohybů. Nastalo zvýšení v pásmu 0,125-0,2 Hz u klopení ($p < 0,001$) i u pohybu výškovky ($p < 0,01$), kde bylo provázené snížením v pásmu 0,05 Hz ($p < 0,05$).

Diskuse

Již počáteční měření potvrdila ovlivnění letu na simulátoru při GVS. Zhruba kolem 7. sekundy od zahájení

stimulace docházelo k vrcholu první výrazné odchylky klonění velikosti přibližně 3° orientované směrem k přiložené anodě. První odchylka po ukončení stimulace byla stejně velká, opačně orientovaná.

Stejnoseměrná binaurální bipolarní GVS pilota vyvolávala pohyby řídicí páky v obou navzájem kolmých rovinách jejího pohybu. Ve frontální rovině byl směr závislý na polaritě, odchýlení směřovalo na stranu umístění anody. V sagitální rovině docházelo k přitahování řídicí páky. Vyvolávané klonění simulátoru na stranu anody bylo odrazem pohybu řídicí páky v tomto směru především v první polovině trvání GVS. Později se již uplatnily kompenzační pohyby řídicí pákou ve snaze vyrovnat odchylku klonění. Výraznější byl vliv GVS v méně stabilních režimech náročnějších na pilotáž, tj. v zatáčkách. Snížením proudu GVS ze 3 mA na 1,5 mA došlo ke snížení jejich efektů.

Již při prvním užití GVS k imitaci letových iluzí v tzv. nestabilním křesle bylo zjištěno po vypnutí proudu GVS vychýlení těžiště na stranu katody i subjektivní pocit tohoto náklonu (Jemeljanov, Kuznecov, 1962). Na trenažéru byl však očekáván podle Malčkových prací výraznější vliv. Bohužel jeho práce nebyly metodicky srovnatelné s naší a nebyl v nich ani uváděn směr vychýlení (Malčík, 1966, 1968). Při užití stejnosměrného proudu pěti reobází (stanovených stabilometricky) byl později zjištěn pilotem pocívaný příčný sklon velikosti $15-20^\circ$ na stranu anody (Derevjanko, Kuznecov, 1967). Ke klonění trenažéru však údajně docházelo výjimečně. Tendence odchýlování na

stranu anody, závislá přímo úměrně na velikosti proudu GVS, byla přesně zjištěna jen pro regulaci vychýlení Bárányho křesla řídicí pákou (Weiss, Tole, 1973). Vztah úměrnosti mezi velikostí proudu GVS a výsledným projevem byl potvrzen také stabilometricky (Galle, Gavrilova, 1971; Křížková, 1985). Naše nálezy jsou tedy relativně v souladu s literárními údaji.

Effekt sinusoidální binaurální bipolární GVS byl zřejmý u frontálních pohybů prakticky při všech stimulačních frekvencích. Největší vliv na pilota měla GVS frekvence 0,2 Hz především z hlediska pohybu řídicí páky ve frontální rovině. Projevy všech GVS se výrazně objevily i u příslušného pohybu letounu - klonění. U pohybů v sagitální rovině nebyly vlivy GVS tak zřetelné. Ty se naopak projevovaly při binaurální monopolární GVS. Jen v posturografii, pomineme-li pokusy na zvířatech, bylo potvrzeno, že při užití sinusoidální GVS se navozují ve vzpřímeném postoji výchylky těla převážně ve frontální rovině a jako nejúčinnější frekvence GVS byly označeny 0,2-0,4 Hz (Hlavačka, Njiokiktjien, 1985). S tím jsou předkládané výsledky ve shodě.

Při zvažování mechanismů působení GVS na řízení letounu pilotem se předchůdci domnívali, že původ odchýlení je v uměle navozené iluzi podobné klamným pocitům za letu. Měla vyvolávat subjektivní pocit určité změny polohy letounu, podle kterého se pilot přechodně řídil, i když měl možnost získat objektivní informaci o poloze z palubních přístrojů. Srovnávání literárních s předkládanými výsledky posílilo naše přesvědčení o převažujícím významu vestibulospinálních reflexů vyvolávaných GVS na řízení simulátoru v experimentálním letu. Pokud by bylo bráno v úvahu časové zpoždění, pak by námi nacházená první odchylka korespondovala s maximální, zjišťovanou při stabilometrii. Malčkovu představu o reakci pilota jako odpovědi na iluzi pohybu letounu při GVS nelze považovat za správnou. V případě pouhé korekce pocitu klonění by musela mít odchylka řídicí páky i výsledný pohyb simulátoru opačný směr. Byl pozorován přesně opak! Jako pravděpodobně se proto jeví zapojení vestibulospinálních reflexů, které podvědomě působí odchýlení v první fázi reakce pilota. Teprve až po kognitivní vědomé analýze faktické situace a vyhodnocení přístrojové informace nastává náprava.

Na základě našich pozorování a závěrů jiných autorů se nabízí následující představa. GVS působí na vestibulární systém pilota stejnosměrnou složkou. Katoda zvyšuje a anoda snižuje klidovou frekvenci vzruchů neuronů dlouhodoběji převážně v otolitové součásti rovnovážného ústrojí. Cestou laterálního i retikulospinálního traktu se to projeví ovlivněním svalového tonu. U sedícího pilota dochází k tonickému působení na svalstvo trupu a horních končetin. Souhrou flexorů a extenzorů nastává odchýlení zhruba frontálním směrem s orientací ze strany s přiloženou katodou na stranu s přiloženou anodou. K největšímu ovlivnění dochází při binaurální bipolární GVS, kdy je působení na párové vestibulární orgány protikladné, podobné přirozené stimulaci. Tato fáze probíhá reflexně, přestože pilot má současně pocit pohybu letounu (iluzi klonění) v tomto směru. Konečný výsledek se odrazí v odchýlení řídicí páky na příslušnou stranu.

Identifikace jevů pozorovaných při GVS z pohledu letecké fyziologie je obtížná. Průběh reakcí byl složitý. Úvodní část začínala jako jeden z typů prostorové dezorientace, kdy objektivně působící vestibulospinální reflexy navodily mimovolně odchýlení řídicí páky. Později byl pilot již schopen aktivně srovnat polohu podle přístrojové informace. V průběhu tohoto objektivně pozorovatelného jevu byl ještě subjektivně vnímán pocit klonění letounu podobný letové iluzi.

Jevy navozené GVS by byly zřejmě daleko silnější a dlouhodobější v podmínkách zvýšeného psychického i fyzického zatížení pilota. Je tedy pravděpodobné, že vestibulospinální reflexy z přirozené stimulace se mohou za reálného letu soustavně podílet na mechanismech ovlivňujících řízení letadla.

Závěry

1. Galvanickou vestibulární stimulací je možné ovlivnit pilota v řízení letového simulátoru, nejvíce při binaurálním bipolárním dráždění. Intenzita ovlivnění je závislá na velikosti proudu.
2. Frekvence maximálních zásahů do řízení simulátoru při vestibulární sinusoidální stimulaci je kolem 0,2 Hz.
3. V reaktivitě na stimulaci existují výrazné individuální rozdíly.
4. Výsledky naznačují hypotézu, že galvanická vestibulární stimulace působí na pilotáž cestou vestibulospinálních reflexů.

Pro leteckou praxi z práce vyplývá, že:

1. Vestibulospinální reflexy mohou poznamenat bezpečnost letu.
2. K vyšetřování dispozic k projevům vestibulospinálních reflexů za letu by se mohly hledat korelace mezi nálezy s galvanickou vestibulární stimulací při letu v тренаžеру a při stabilometrii.
3. Do výcviku pilotů na тренаžеру by bylo vhodné začlenit seznamování s efekty galvanické vestibulární stimulace jako s modelem určitého typu prostorové dezorientace za letu.
4. Zjištěné poznatky o vestibulárních vlivech mohou přispět při řešení otázek pohybu letových simulátorů.

Souhrn

Jednou z otázek řešených leteckou fyziologií je spojitost pilotova rovnovážného ústrojí s prostorovou dezorientací. Během letu 170 pilotních posluchačů na simulátoru TL-39 při galvanické vestibulární stimulaci (GVS) byly měřeny odchylky klonění a klopení a odpovídající pohyby křídlek a výškovky. Vliv GVS na pilotovu pravou horní končetinu pohybující řídicí pákou byl zřetelný. Pilot, který zakoušel iluzi klonění, měl navíc dojem jakoby neodolatelná síla tlačila jeho ruku na řídicí páce ve směru iluze. Vestibulospinální reflexy se jeví jako převažující mechanismus. Vyvozujeme, že nalezené efekty GVS mohou být spjaté s typem III prostorové dezorientace.

Literatura

1. BABSKIJ, Je. B. - GURFINKEL', V. S. - ROMEL', E. L.: Novaja metodika i nekotoryje rezul'taty issledovanija vestibulomotornogo reflexa čeloveka pri neadekvatnom razdraženii vestibuljarnogo apparata. Vest. Otolaring., 1952, č. 5, s. 19-22.
2. BENSON, A. J.: Spatial disorientation. In: Aviation medicine. Eds. J. Emsting, P. King., 2 ed., London, Butterworths, 1988, s. 277-317.
3. BIZZO, G. - BARON, J. B.: Aspect cybernétique des déplacements du centre de gravité du corps induits par stimulations labyrinthiques électriques rectangulaires ou sinusoidales. Aggressol., 13B, 1972, s. 41-50.
4. DEREVJANKO, Je. A. - KUZNECOV, V. G.: Metodiki sozdaniya u letčikov iskusstvennyh illuzij prostranstvennogo položenija pri poletach na pilotažnyh trenážerach. Voj. med. Ž., 1967, č. 4, s. 60-64.
5. GALLE, R. R. - GAVRILOVA, L. N.: Issledovanija vestibuljarnoj reaktivnosti s pomoščju gal'vaničeskogo toka. Kosm. Biol. Med., 7, č. 1, 1971, s. 79-83.
6. GILLINGHAM, K. K.: The spatial disorientation problem in the United States Air Force. In: Spatial Orientation in Unusual Force Fields. NASA workshop., Houston, 23-24 April, 1990. 22 s.
7. GILLINGHAM, K. K. - WOLFE, J. W.: Spatial orientation in flight. In: Fundamentals of aerospace medicine. Ed. R. L. de Hart, 1 ed. Philadelphia, Lea & Febiger 1985, s. 299-381.
8. GOLDBERG, J. M. - SMITH, C. E. - FERNÁNDEZ, C.: Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currents in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey. J. Neurophysiol., 51, 1984, č. 6, s. 1236-1256.
9. 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.
10. HANOUSEK, J. - SÁZEL, M.: Stimulátor vestibulárního aparátu pro letecký trenážer. Lék. Techn., 20, 1989, č. 3, s. 49-52.
11. HLAČKA, F. - NJOKIKTIEN, C.: Postural responses evoked by sinusoidal galvanic stimulation of the labyrinth. Influence of head position. Acta otolaryng., 99, 1985, č. 1/2, s. 107-112.
12. JEMELJANOV, M. D. - KUZNECOV, A. G.: O roli vzaimodejstija vestibuljarnogo, zriteľnogo i propriocetivnogo analizatorov v vznikenii nekotoryh illuzornyh oščuščenij u letčikov. Vest. Otolaring., 1962, č. 3, s. 63-69.
13. KRIŽKOVÁ, M.: Účast vestibulárního systému v regulácii vzpriameného postoja. [Kandidátská disertace]. Bratislava, 1985, 125 s., SAV, Ústav normálnej a patologickej fyziológie
14. LAPAJEV, E. V. - VOROBYEV, O. A.: Ob illuzijach prostranstvennogo položenija vestibuljarnogo geneza v aviacionnom polete. Kosm. Biol. Med., 49, 1985, č. 6, s. 11-15.
15. LOWENSTEIN, O.: The effect of galvanic polarization on the impulse discharge from sense endings in the isolated labyrinth of the thornback ray (*Raja clavata*). J. Physiol. (London), 127, 1955, s. 104-117.
16. MALČÍK, V.: Některé pocity shodné se letovými iluzemi, vyvolané experimentálně v pilotní cvičné kabině podrážděním vestibulárního ústrojí. Čs. Otolaryng., 15, 1966, č. 4, s. 228-237.
17. MALČÍK, V.: Performance decrement in a flight simulator due to galvanic stimulation of the vestibular organ and its validity for success in flight training. Aerosp. Med., 39, 1968, č. 9, s. 941-943.
18. NJOKIKTIEN, C. - FOLKERTS, J. F.: Displacement of the body's centre of gravity at galvanic stimulation of the labyrinth. Confin. Neurol., 33, 1971, č. 1, s. 46-54.
19. PARKER, D. E.: Interaction between electrical and mechanical vestibular stimulation: Observations on rabbits and man. J. exp. Psychol., 84, 1970, č. 1, s. 96-104.
20. SÁZEL, M.: Galvanická vestibulární stimulace. Čs. Fysiol., 40, 1991a, č. 1, s. 43-60.
21. SÁZEL, M.: Galvanic vestibular stimulation of a pilot in a flight simulator. (poster). In: Regional meeting IUPS, abstracts. Prague, June 30 - July 5, 1991b, abstr. s. 131.
22. PARKER, M.: Analýza vlivu rovnovážného ústrojí pilota na řízení letového simulátoru při galvanické vestibulární stimulaci. [Kandidátská disertace]. Praha, 1992, 96 s., Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta.
23. SÁZEL, M. - CMÍRAL, J.: Vlivy galvanické vestibulární stimulace a parametry letu v pilotním simulátoru. Voj. zdrav. Listy, 55, 1986, č. 6, s. 256-259.
24. SÁZEL, M. - et al.: Hodnocení reakcí pilota na trenážer TL-39 pod vlivem stimulace vestibulárního ústrojí přístrojem Progstim. [Zlepšovací návrh], Praha, ÚLZ, 1987, 157 s.
25. SÁZEL, M. - HANOUSEK, J.: Vliv galvanické vestibulární stimulace na klonění při simulovaném letu. Voj. zdrav. Listy, 58, 1989, č. 1, s. 29-33.
26. ŠULC, J.: Letecká fyziologie. 1. vyd. Praha 1980. 283 s.
27. ŠULC, J.: Sensomotorický konflikt a bezpečnost letu. In: Temat. Sbor. - Aktuální problémy leteckého lékařství. Jeseník, 15.-17. května, 1990, Praha, ÚLZ, 1990, s. 116-121.
28. VITO, R. V. - BRUSA, A. - ARDUINI, A.: Cerebellar and vestibular influences on Deitersian units. J. Neurophysiol., 19, 1956, č. 1, s. 241-253.
29. WEISS, A. D. - TOLE, J. R.: Effect of galvanic vestibular stimulation on rotation testing. Advanc. Oto-Rhino-Laryng., 19, 1973, s. 311-317.
30. WILSON, V. J. et al.: Analysis of vestibulocollic reflexes by sinusoidal polarization of vestibular afferent fibers. J. Neurophysiol., 42, 1979, č. 2, s. 331-346.

Klíčová slova: Galvanická vestibulární stimulace; Letový simulátor; Prostorová dezorientace; Vestibulospinální reflexy.

Do redakce došlo 20. 9. 1993