

ODRAZ FYZIKÁLNÍCH LETECKÝCH STRESSORŮ V HLASE A ŘEČI

Pplk. MUDr. Jiří ŠULC, CSc.,
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

Změny fyzikální kvality řečového signálu, prokazatelné elektroakustickým rozбором magnetofonových nahrávek letecké radiokorespondence, mohou být pro psychofyziology důležitým zdrojem informace o aktuálním stavu pilota za letu (Šulc 1974, 1975). Prozatím nejdůležitěji byly prozkoumány frekvenční, časové a intenzitní charakteristiky, provázející akutní extrémní psychickou zátěž. Letec je ovšem vystaven celému komplexu dalších stressujících faktorů, ať již mají ve srovnání s pozemními podmínkami povahu výrazně narušeného zevního prostředí (změna barometrického tlaku, složení plynů a teplotních poměrů v kabině) nebo vystupňovaných fyzikálních sil, působících na organismus pilota (přetížení, beztlíž, vibrace, přetlakové dýchání).

Při sníženém barometrickém tlaku, počínaje výškou 3,5 km, je účinnost všech zvukových generátorů (mluvidel, ale i sluchátek a reproduktorů) zmenšena a také mikrofony jsou k určitým frekvencím méně citlivé. Dochází k zeslabení akustického signálu, které je relativně větší ve frekvencích nad 2 kHz proti pásnu nižších kmitočtů. Pokles intenzity řeči ve výšce 14 km proti výšce nulové může dosáhnout až 25 dB (Borščevskij 1958, Kryter a Licklider 1963). V letadlech se tyto negativní důsledky výšky, interferující s optimálním průběhem komunikace, odstraňují instalací automatického vyrovnávače citlivosti do zesilovače. Zato při hovoru tváří v tvář, jak tomu bylo třeba na orbitální stanici Skylab, snížený tlak vzduchu astronautům značně znesnadňoval dorozumívání. Musili na sebe křičet tak, že všichni ochraptěli. Hlas měl navíc v téměř čisté kyslíkové atmosféře nosový nádech. Za normálního tlaku změněný obsah kyslíku ve vdechovaném vzduchu, pokud je zachováno obvyklé složení dýchacích plynů, akustickou strukturu řeči neovlivňuje. Dlouhodobé dýchání čistého kyslíku však způsobuje chrapot z vysušení sliznic dutiny ústní a nosohltanu.

V prostředí zvyšujícího se tlaku vzduchu bývá naproti tomu řeč porušena vždy. Při vývoji přetlakové kabiny pro nadzvukový dopravní letoun Concorde již při stoupnutí tlaku o pouhých 20 torr Ernsting a spolupracovníci (1970) pozorovali oslabení intenzity prvního slova (tzv. „break-out force phenomenon“) a sluchem poznatelnou změnu barvy řeči. V přetlaku 26 torr měla řeč nádech staccata.

K nejvýraznějšímu rozrušení normální struktury řečového signálu dochází během hovoru

při intrapulmonálním přetlaku, a to i u jedinců na tuto zátěž navyklých (Borščevskij 1958, Babčinskij 1963, Kurašvili 1972). Stoupá frekvence základního tónu hlasu a intenzita 1. formantu, zatímco 2. formant slábne. Někdy bývají zesíleny frekvence nad 3 kHz. Reorganizuje se časová struktura mluvy. Srozumitelnost izolovaných slov klesá až o 50 %.

Rovněž přetížení zasahuje do mechanismů tvorby řeči a tím i do fyzikálního složení řečového signálu. Kuzněcov a Kurašvili (1973) zjišťovali srozumitelnost řeči a změny v jejím spektru při jízdách na odstředivce v rozmezí hodnot od +1 do +5 G_z . Až do +3 G_z byly změny nevýrazné. Od +4 G_z se prudce snížila srozumitelnost testovaných slov a vět, hlavně na úkor nesprávně vyslovovaných souhlásek. Samohlásky byly do +4 až +5 G_z relativně rezistentní. Od +6 G_z docházelo také k segmentaci souvislých vět do kratších celků a zvyšovalo se tempo řeči. Základní frekvence hlasu (F_0) stoupala v přímé závislosti na hodnotě přetížení. Pro dynamiku změn 1. formantu nebyla naproti tomu nalezena žádná korelace ani s hodnotami zrychlení, ani s hodnotou srdeční frekvence.

Nikonov se spolupracovníky (1973) referoval o výsledcích pokusů provedených rovněž na lidské centrifúze. Pokusné osoby absolvovaly celkem 18 jízd s přetížením od +1 do +6 G_z . Řečový signál (standardní věta) byl snímán akcelerometrem, upevněným na krku ve výši hlasivek. Maximum změn v intenzitě, frekvenci základního tónu, formantové i časové struktury řeči bylo pozorováno v úseku narůstajícího přetížení. Při brzdění odstředivky byly přesuny ve struktuře akustických signálů při stejných velikostech G menší. Intenzita řeči, průměrná výška F_0 a diapazon hlasu s rostoucím přetížením stoupaly, charakter intonace však zůstal nezměněn. Při +5 G_z dosáhl přírůstek F_0 v průměru 32 Hz.

Z dalších prací z tohoto okruhu jen heslovitě upozorňuji na studie ovlivnění řeči účinkem transverzálního přetížení (Borščevskij a spol. 1962, Borščevskij 1970), vibracemi (Nixon a Sommer 1963), hlukem (Dreher a O'Neill 1957), Coriolisovým přídatným zrychlením (Nikonov a Solodovnik 1972) a některými patologickými stavy za letu (Simson 1971).

Sami jsme se pokusili o srovnávací rozbor změn řeči ve čtyřech, z hlediska expertizní praxe nejdůležitějších zátěžových situacích, typických pro leteckou profesi.

Materiál a metodika

Sledovali jsme následující zátěže:

1. přetížení ve směru hlava — pánev, dosahované na proudovém letounu při akrobacii v rozsahu +2 až +6 G_z (6 osob);

2. akutní výškovou hypoxii, navozenou v barokomoře odnětím kyslíku ve výšce 7500 m (7 osob);

3. přetlakové dýchání, spojené s výstupem do 25 km v barokomoře (20 osob);

4. dvouhodinový pobyt v termobarokomoře při teplotě +50 °C, relativní vlhkosti vzduchu pod 20 % a proudění vzduchu z různého směru 0,3—0,4 m/s; probandi byli oblečeni do úplné výškové výstroje a měli otevřený štítek utěsněné prilby (10 osob).

Provedli jsme podrobnou elektroakustickou analýzu 296 vzorků standardní věty, jež zněla „ROZUMÍM JÁ 310 PROVÁDÍM“. Metodika rozboru byla stejná jako v předchozí práci (Šulc 1975); navíc byla rozšířena o měření průměrné maximální intenzity řečového signálu na přístroji Pegelschreiber PDG-101 způsobem navrženým Heckerem a spol. (1968). Všechny nahrávky jsme posoudili také subjektivně, poslechem.

U 37 osob 2.—4. skupiny byly současně s pořizováním zvukových nahrávek registrovány základní fyziologické charakteristiky, umožňující posoudit aktuální stav organismu (puls, dech, TK, teplota, oximetrická křivka).

Výsledky

Hodnoty průměrné frekvence základního tónu hlasu $\bar{F}_0$ (v Hz), hlasového diapazonu D (v Hz), průměrné maximální intenzity řečového signálu $\bar{L}_{\max}$ (v dB) a expirační rychlosti řeči ER, jakož i základních fyziologických parametrů pro jednotlivé stressové situace jsou uvedeny v tabulkách 1 až 6. Proto se omezím jenom na stručný komentář.

Při účinku kladného radiálního zrychlení se hlas jednotným směrem začal měnit až od +4 G_z . Nejnápadnější byl přírůstek $\bar{F}_0$, přičemž statisticky signifikantní rozdíl proti horizontálnímu letu ($t=3,481$) byl vyjádřen teprve u +6 G_z . Rozšiřoval se i diapazon hlasu, ale nikoli statisticky průkazně. Při vyšších hodnotách přetížení byla zvýrazněna diskrétní skladba řeči, aniž tato skutečnost nápadněji ovlivnila index ER. Intenzitu řeči přetížení prakticky neměnilo, avšak hlasitost řeči se ve vyšších hodnotách přetížení snižovala.

V pokusech s výškovou hypoxií, jak je patrné z tabulek 2 a 3, nejlépe signalizovala zhoršující se stav organismu mezi všemi sledovanými parametry srdeční frekvence. Fyzikální charakteristiky řečového signálu naproti tomu postupující degradaci psychických funkcí vůbec neodrazily.

Postižení řeči při přetlakovém dýchání bylo závislé nejen na absolutní výšce přetlaku kyslíku v plicích, ale také na stupni ochrany povrchu těla. Při podávání kyslíku maskou a částečné kompenzaci povrchu těla výškovým oděvem se frekvence $\bar{F}_0$ signifikantně zvýšila již od přetlaku 300 mm H_2O , tedy ve 14 km. Úsilí spojené s překonáváním vzduchového sloupce vnikajícího do dýchacích cest ve výškách 16 a 18 km, za stavu plně rozvinutých známek žilního městnání na nekrytých částech těla, bylo

Tabulka 1

Průměrné (zaokrouhlené) hodnoty základních akustických charakteristik při přetížení

Velikost + G_z	1	2	3	4	5	6
Parametr						
$\bar{F}_0$	137	138	150	155	161	174
D	57	55	63	64	61	79
ER	0,37	0,40	0,43	0,44	0,44	0,42
$\bar{L}_{\max}$	74	73	72	72	74	74

Tabulka 2

Průměrné (zaokrouhlené) hodnoty základních akustických charakteristik při výškové hypoxii

Fáze	Kontrola	7500m+O ₂	1. min.	2. min.	Před bezvědomím
Parametr					
$\bar{F}_0$	156	169	163	160	162
D	68	77	72	56	55
ER	0,55	0,54	0,62	0,59	0,57
$\bar{L}_{\max}$	77	74	72	73	73

Tabulka 3

Změny srdeční a dechové frekvence, syčení krve kyslíkem a psychické vlastnosti při rozvoji výškové hypoxie

Fáze	Kontrola	7500m+O ₂	1. min.	2. min.	Před bezvědomím
Parametr					
Puls	72	94	101	110	119
Dech	11	11	15	18	16
Oximetr	96	96	74	61	53
Lottig	96	100	251	220	108

Tabulka 4

Průměrné (zaokrouhlené) hodnoty základních akustických charakteristik při přetlakovém dýchání

Parametr \ Výška km	Částečná kompenzace					Úplná kompenzace		
	0	12	14	16	18	0	12	25
$\bar{F}_0$	159	165	183	200	221	163	173	183
D	82	84	97	119	127	89	83	83
ER	0,52	0,52	0,46	0,41	0,43	0,54	0,57	0,50
$\bar{L}_{\max}$	69	67	67	69	71	72	70	68

Tabulka 5

Změny srdeční a dechové frekvence při přetlakovém dýchání

Parametr \ Výška km	Částečná kompenzace					Úplná kompenzace		
	0	12	14	16	18	0	12	25
Puls	81	88	88	93	98	84	89	119
Dech	14	16	16	16	16	14	15	16

Tabulka 6

Průměrné (zaokrouhlené) hodnoty základních akustických charakteristik a pulsu v horku

Parametr \ Čas v min.	0	30	60	90	120
	0	30	60	90	120
$\bar{F}_0$	166	171	172	174	178
D	62	64	66	75	77
ER	0,47	0,50	0,53	0,50	0,51
$\bar{L}_{\max}$	71	66	62	63	62
Puls	74	80	90	97	104

doprovázeno v prvním případě 26% a na maximální výšce 38% přírůstkem $\bar{F}_0$. Vzestup frekvence $\bar{F}_0$ byl od přetlaku 600 mm H₂O spojen se statisticky signifikantním rozšířením diapazonu hlasu a zpomalením řeči. V $\bar{L}_{\max}$ se růst nitroplicního tlaku neprojevil. Při úplné kompenzaci povrchu těla byly změny měřených parametrů daleko méně nápadné. Řeč byla ovšem zřetelně porušena ve všech případech. Hlas byl tvořen s námahou, byl přiškrcečný, temný a v extrémních výškách měl nosový, huhňavý tón.

Jediným pozitivním a signifikantně změněným nálezem v hlase osob v horkém prostředí bylo oslabení maximální intenzity řeči ve druhé polovině pokusu. Spektrum ve frekvencích

nad 4800 Hz bylo při tom u 7 pokusných osob nápadně „prořídle“.

Diskuse

Stejně jako u psychogenních vlivů i v případě působení fyzikálních stressorů v řečovém signálu nejcitlivěji odráží reakci organismu na noxu průměrná frekvence základního tónu hlasu a do jisté míry také tvar intonační křivky (jejímu hodnocení jsem se v tomto příspěvku záměrně vyhnul). Hlasový diapazon, výdechová rychlost a průměrná maximální intenzita řeči mají informační hodnotu podstatně nižší. Vcelku nepřekvapuje, že maximální změny nacházíme tam, kde na organismus účinkuje hrubá, nefyziologická síla, která již svými mechanickými důsledky rozrušuje jemně koordinovaný akt fonace a artikulace.

U přetlakového dýchání hlas vcelku věrně odráží stupeň celkové zátěže organismu tímto stressorem. Rozsah a intenzita změn základních charakteristik řečového signálu nezávisí ani tolik na absolutní hodnotě tlaku vzduchu vhaňeného do plic, jako na stupni aktivního úsilí, kterým letec „platí“ za dosažení optimální souhry s autematem. I když u nácviku přetlakového dýchání nesmíme zapomínat na to, že část změn v akustických charakteristikách připadá na vrub zvýšené emoční aktivity, vedoucím etiologickým faktorem jsou přece jenom vlivy mechanické. Vdech se stává pasivní, výdech je aktivní, proti silnému odporu. Po překročení přetlaku 10 torr při dýchání maskou zvětšuje krk svůj objem. Hlavní příčina nespo-

čívá, jak se ještě donedávna předpokládalo, v otoku z venózního městnání, ale v rozšíření horních dýchacích cest vzduchem. Dolní čelist je tlačena dolů, čímž se zvětší objem ústní dutiny. Nejvíce se roztáhne orofarynx a také horní část jícnu. Jeho stěny jsou za normálních okolností přiloženy k sobě, ale při přetlakovém dýchání se od sebe široce oddalují. Vzestup objemu těchto partií se dá vyjádřit velikostí mrtvého prostoru. Bylo zjištěno, že distenzibilita je největší při 60 torr (Ernsting 1965).

Při přetížení ve směru hlava—pánev jsou všechny pohyblivé partie mluvidel energicky taženy směrem dolů. Klesá měkké patro, spodina ústní i chrupavčitá kostra hrtanu. Dalo by se očekávat, že se hlas prohloubí. Ve skutečnosti ale dochází k situaci opačné. Tento paradox lze vysvětlit jednak volným zvýšením tlaku vydechovaného vzduchu, což je manévry, který reflexně provádí v přetížení každý zkušený pilot, a dále působením tzv. akusticko-fonačního reflexu, s jehož pomocí mluvčí vyrovnává výšku a intenzitu pro něj nezvykle znějícího hlasu.

Prakticky velmi významná je naše zkušenost, že rozvrat psychických funkcí, provázející akutní aerogenní hypoxii, se nemusí projíkat do extralingvistické složky řeči. Teoreticky lze předpokládat, že snad jen protrahovaná hypoxie (s níž se ostatně dnes můžeme setkat pouze výjimečně), by mohla alterovat některou z vyšších rovin generování řeči, jmenovitě rovinu pragmatickou. Rozbor této problematiky by však překročil rámec diskutovaného tématu.

Pro tři ze čtyř sledovaných stressů byla nalezena určitá charakteristická kombinace změn frekvenčních, časových a intenzitních parametrů akustického signálu. Tyto vzorce ale nejsou natolik stabilní, aby se z „anonymní“ a blíže nespecifikované nahrávky radiokorespondence dal příslušný stressor zpětně poznat.

Souhrn

Z primárně nepsychoenních leteckých stressorů nejvíce mění akustické charakteristiky řeči přetlakové dýchání a dále vyšší hodnoty přetížení, které působí ve směru hlava—pánev. Rozpad psychických funkcí při akutní výškové hypoxii se v extralingvistických charakteristikách vůbec nemusí projevit. Rovněž termální stress nemá výrazný akustický korelát.

Literatura

1. Borščevskij, I. Ja.: Nekotoryje osobennosti slucha i reči pri bolšich razreženijach atmosfernogo davlenija. Vest. Otorinolar., 20, 1958, č. 2, s. 9—14.
2. Borščevskij, I. Ja.: Nekotoryje voprosy fiziologičeskoj akustiki v aviacionnoj medicene. Voj. med. Žur., 147, 1970, č. 4, s. 78—80.
3. Borščevskij, I. Ja. a spol.: Opyt izučeniya prijema i peredači reči v uslovijach nevesomosti. In: Problemy kosmičeskoj biologii, díl 2. Moskva, Nauka 1962, s. 215—219.
4. Dreher, J. J., O'Neill, J. J.: Effects of ambient noise on speaker's intelligibility for words and phrases. J. acoust. Soc. Amer., 29, 1957, č. 12, s. 1320—1323.
5. Ernsting, J.: The physiology of pressure breathing. In Gillies, J. A. (Ed.): A textbook of aviation physiology. Oxford etc., Pergamon Press 1965, s. 343 až 373.
6. Ernsting, J. a spol.: Oxygen requirement for Concorde. IATA Med. Comm. 20th Meeting. Teheran 1970, s. 174—175.
7. Hecker, M. H. L. a spol.: Manifestations of task-induced stress in the acoustic speech signal. J. acoust. Soc. Amer., 44, 1968, č. 4, s. 993—1001.
8. Kryter, K. D., Licklider, J. C. R.: Speech communication. In: Morgan, C. T. et al.: Human engineering guide to equipment design. New York-Toronto-London, McGraw-Hill 1963, s. 161—216.
9. Kurašvili, V. A.: Issledovanije osobennostej rečevogo signala pri dychanii pod povyšennym davlenijem. In: Voprosy fiziologii sluchovogo i vestibuljarnogo analizatorov i reči v aviacionnoj medicene. Moskva, VVS 1972, s. 43—47.
10. Kuzněcov, V. S., Kurašvili, V. A.: Osobní sdělení 1973.
11. Nikonov, A. V., Solodovnik, F. A.: Osobennosti rečevogo signala pri kumuljativnom vozdejstvii uskorenij Koriolisa. Voj. med. Žur., 149, 1972, č. 7, s. 78—81.
12. Nikonov, A. V. a spol.: Vlijanie dlitelnyh uskorenij na intonacionnuju strukturu rečevykh signalov. Voj. med. Žur., 150, 1973, č. 9, s. 50—53.
13. Nixon, Ch. W., Sommer, H. C.: Influence of selected vibrations upon speech. Aerospace Med., 34, 1963, s. 1012—1017.
14. Simson, L. R. Jr.: Investigation of fatal aircraft accidents: „physiological incidents“. Aerospace Med., 42, 1971, č. 9, s. 1002—1006.
15. Šulc, J.: Problematika radiokomunikace z hlediska leteckého lékařství. Voj. zdrav. Listy, 43, 1974, č. 2, s. 41—44.
16. Šulc, J.: Expertizní hodnota psychogenních změn hlasu a řeči. Voj. zdrav. Listy, 44, 1975 (v tisku).

Poděkování

Za obětavou pomoc při provádění pokusů srdečně děkuji plk. MUDr. M. Zemanovi, CSc., plk. MUDr. J. Štveřákov, CSc. a pplk. MUDr. J. Svačinkovi, CSc.