

613.693:629.13:578.087.9(100.1):621.396

RADIOBIOTELEMETRIE V ČS. VOJENSKÉM LETECTVU

Plk. MUDr. Jan HOSPODÁŘ, CSc., ing. Jan HANOUSEK, CSc., pplk. Petr HRON
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

25. výročí vzniku Ústavu leteckého zdravotnictví je i malým jubileem soustavné práce několikačlenného kolektivu zdravotnických a technických pracovníků ústavu v oblasti letecké lékařské radiotelemetrie. Po prvních experimentálních krůčcích v roce 1948 (8) se na konci padesátých let již v rámci ŮLZ konkrétně formulovala myšlenka objektivizovat letové reakce pilotů prostřednictvím radiotelemetrie. Principiálně platí tato myšlenka v rozšířené formě a podstatně důrazněji i dnes.

Objektivizace fyziologických reakcí pilotů při řízení nadzvukových letounů s vysokým dostupem zůstává neustále předmětem intenzivní výzkumné a expertizní činnosti v oblasti leteckého lékařství. Při dnešní úrovni výkonnosti medicíny je plně na místě využívat k posuzování zdravotního stavu a pracovní schopnosti létajícího personálu maximálně všech možností zátěžového vyšetřování. V zájmových sférách leteckého lékařství existuje řada různorodých modifikací profesionálních zátěžových systémů od čistě modelových až k reálným. V tomto směru stoupá rovněž specifická zátěž. V klinických oborech se využívá většinou modelové nespecifické zátěže (vyšetřování vegetativní dráždivosti, spiroergometrického testování, EEG vyšetření s různými aktivačními prvky aj.). Letečtí fyziologové využívají modelových zátěží s různým stupněm specifčnosti (podtlakové komory, dýchání chudých směsí, nácvik přetlakového dýchání, lidská centrifuga, pilotní trenažéry aj.).

Jedinou reálnou a specifickou profesionální zátěž reprezentuje řízení letounu. Proto jsme se již před léty rozhodli pro metodu objektivní kontroly reakcí letce v pracovní zátěži radiotelemetrickým sledováním vybraných parametrů bezprostředně za letu.

Připomeňme, že v roce 1958 uplynulo pouhých 10 let od objevu prvního hrotového germaniového tranzistoru se skromnými zesilovacími účinky a představy o budoucím využití polovodičů byly velmi nejasné. K praktické aplikaci polovodičových prvků došlo až na sklonku padesátých let v přístrojích pro nedoslýchavé. V té době se začíná pracovat na realizaci naší dnes tzv. první generace biotelemetrické soustavy. Již tehdy byla přijata koncepce, že telemetrické zařízení nemá být stabilní částí vybavení speciálně přizpůsobeného letounu (letounové laboratoře), ale musí tvořit miniaturní kompaktní celek jednoduše a rychle umístitelný v kabině libovolného jednomístného stíhacího letounu. Tato v našich podmínkách progresivní úvaha, která má kromě jiného i metodické přednosti, se ukázala jako mimořádně konstrukčně i technologicky náročná. Brzy bylo jasné, že pomocí elektronik, byť subminiaturních, není realizace možná.

Situace se výrazně změnila nástupem mikroelektroniky počátkem šedesátých let. Již v letech 1961 až 1962 byla provedena řada zkoušek radiotelemetrického přenosu srdeční frekvence pilotů z letounů řady MiG-15 a L-29

prvním vyvinutým zařízením (1) a první výsledky publikovány (3).

Tříkanálová souprava s dvojitou kmitočtovou modulací sloužila k prověření radiotelemetrického systému v náročném leteckém provozu.

Kvalitativně vyšší technické požadavky byly kladeny na zařízení vyvinuté a realizované v letech 1969–1970. Výsledkem byla čtyřkanálová souprava dodnes používaná (2), která umožňuje přenos signálu srdeční frekvence (s malou časovou konstantou), EKG, dechové frekvence a hodnot přetížení ve vertikální ose. S tímto zařízením byly sledovány tepové reakce pilotů při startu a přistání na letounech MiG-21 (13) a působení letové zátěže na piloty nových verzí letounu MiG-21. Tato plně tranzistorovaná souprava (II. generace) byla doplněna retranslačním systémem pro dálkový přenos signálu z letových prostorů do přijímacího centra v ÚLZ v areálu ÚVN. Řešení přispělo k minimalizaci počtu vyjíždějících pracovníků a k podstatnému zvýšení kvality telemetrického záznamu i při letech s působením gravitačního stressu.

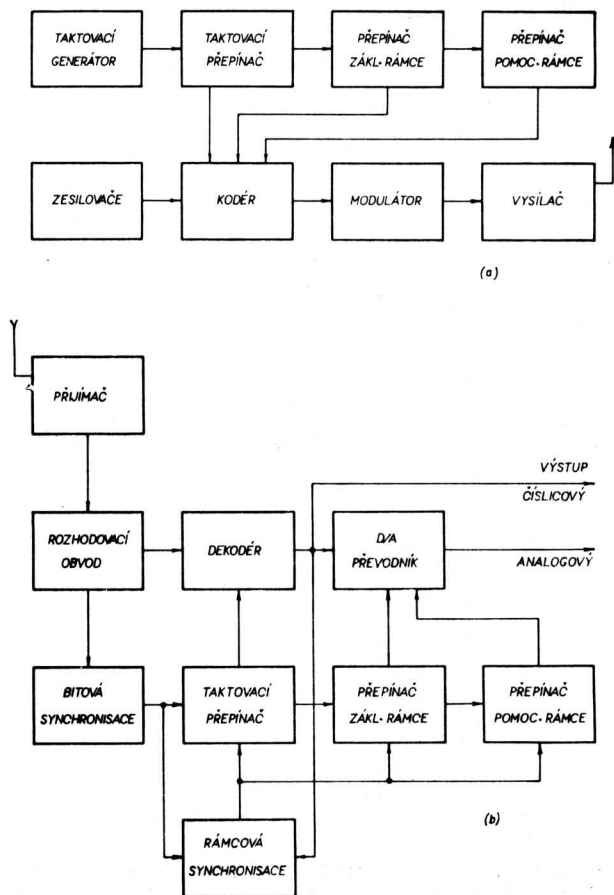
Problém snímání, přenosu, registrace a vyhodnocování informace o změnách fyziologických hodnot pilota za letu je složitý. Zahrnuje poznatky různých oborů, musí být respektovány otázky bezpečnosti letu, spolehlivosti zařízení i otázky jeho miniaturizace.

Elektrody a ostatní snímače fyziologických funkcí nesmí v žádném případě ovlivnit výkon a schopnosti pilota. Zápis fyziologických údajů pilota za letu musí být pokud možno stejné kvality jako v laboratoři za klidových podmínek. Kvalitní a spolehlivý radiotelemetrický přenos signálu se zatím daří zajistit pouze pro omezený rozsah lékařské informace. V mnoha případech je nutno vhodně omezit přenášené kmitočtové pásmo zesilovačů biologických signálů tak, aby byla zajištěna vysoká kvalita přenosu. Měření některých lékařských údajů se může uskutečnit pouze pomocí složitějšího regulačního systému, jehož využití se při radiotelemetrickém měření v letounu stává komplikovaným a snižuje spolehlivost. K problematice tohoto druhu patří např. sledování krevního tlaku nekrvavou cestou v průběhu letu aj. Při návrhu telemetrické soustavy je nutno se proto omezit pouze na nejdůležitější požadované fyziologické údaje, u kterých lze zajistit spolehlivé elektronické zpracování. V současné době připadají v úvahu elektrokardiogram, srdeční frekvence, některé hodnoty plicní ventilace (dechová frekvence, dechový volum, minutová ventilace), fotopletyzmogram, teplota a s určitým omezením elektroencefalogram a elektromyogram.

Blokové schéma znázorňuje konkrétní uspořádání konstruovaného radiotelemetrického systému s kódovou impulsovou modulací. Elektrické signály snímaných funkcí jsou po zesílení v kodéru vzorkovány. Kódovými impulsy je modulován vysílač. Na výstupu rozhodovacího obvodu přijímače se získává původní kód, který je v dekodéru přiřazen jednotlivým kanálům. Digitálně analogový převodník převádí číselné údaje na spojitě elektrické signály, odpovídající snímaným funkcím. Poněvadž radiotelemetrické zařízení s kódovou impulsovou modulací pracuje pouze se dvěma úrovněmi binárního signálu, je zaručena vysoká odolnost vůči rušení a tím i dobrá kvalita měřených údajů při přenosu signálu na velké vzdálenosti. Zařízení obsahuje jedenáct sériových kanálů, z nichž šest je určeno pro přenos signálu v rozsahu 0–60 Hz a pět 0–10 Hz. Počítá se s výměnou vstupních zesilovačů, čímž je zajištěna vysoká univerzálnost využití.

Současná stavebnicová kompletace má dvě verze „výcvikové“ a dvě verze expertizní. Verze výcvikové umožní sledování pilota v jednomístném stíhacím letounu (A) a simultánní sledování přezkušovaného pilota a instruktora (Ba) na letounech s dvojitým řízením (L-29, L-39, MiG-21). Obě verze expertizní jsou určeny pro letouny s dvojitým řízením — Bb pro zjišťování stupně odolnosti vůči přetížení, Bc pro oběhové vyšetřování.

Jako zvláště vhodný k radiotelemetrickému přenosu elektrokardiogramu byl vybrán korigovaný ortogonální svodový systém podle Franka, který podává komplexní obraz o srdečním elektrickém poli. Tříkanálový vstup-



Obr. 1

Tab. 1

Údaj	Počet kanálů			
	A	B		
		a	b	c
1. Elektrokardiogram	1	2	1	3
2. Srdeční frekvence	1	2	1	1
3. Ušní fotopletyzogram	1	2	1	1
4. Elektroencefalogram	—	—	2	—
5. Dechové hodnoty	1	2	1	1
6. Přetížení	1	1	1	1

ní zesilovač EKG, vybavený korekční odporovou sítí, zajišťuje dokonalé zpracování signálu i při značném aktivním pohybu sledované osoby a vysoké potlačení soufázových složek šumu.

Spolehlivý signál dechových parametrů získáváme turbinkovým snímačem zařazeným do vdechové kyslíkové magistrály. Z přijatého signálu lze číslicově vyhodnocovat dechovou frekvenci, dechový objem a minutovou ventilaci.

Radiotelemetricky sledované tepové reakce pilotů při výcvikových letech s nadzvukovou technikou byly vyhodnocovány na číslicových počítačích URAL 2 (10) a MINSK 22 (11). V současné době se připravuje strojové zpracování více fyziologických parametrů na ústavním laboratorním číslicovém počítači ADT 4100 ZPA.

O perspektivnosti použité koncepce radiotelemetrického sledování některých reakcí pilotů za letu na jednomístných nadzvukových letounech svědčí značný zájem zahraničních odborníků z armád států VS. Po našich zahraničních publikacích (4, 5, 6, 7, 9, 12) byla u nás realizována v uplynulých 10 letech řada konzultací i oficiálně poskytnuty technické podklady. Pro letecký provoz je radiotelemetrický systém této koncepce velmi výhodný. Nenarušuje letecký výcvik, nevyžaduje speciální lety ani úpravu letounu a je spolehlivě zajištěn z hlediska bezpečnosti létání.

Závěr

Není pochyb o tom, že metodika lékařské radiotelemetrie je a zůstane v podstatně větší míře jednou ze základních opor lékařů v oblasti pracovního lékařství v širokém slova smyslu. Vojenský lékař ovlivní pomocí radiotelemetrických zařízení v řadě případů řešení dílčích otázek problému vztahu člověk — stroj, který v moderní armádě objektivně existuje. Lékařská vyšetření v reálné, dlouhodobé specifické pracovní zátěži budou stále více ovlivňovat strukturu činnosti člověka a budou napomáhat zavádění nové progresivní

organizace výcviku a práce. Je pravděpodobné, že další vývoj techniky povede vedle technického zdokonalování koncepce klasické radiotelemetrie k vývoji diagnostických systémů pevně zabudovaných na palubě letounu, kde vedle značného počtu letových i technických údajů budou zpracovávány i vybrané fyziologické funkce pilota. Komplex těchto údajů lze uchovat po dobu letu v paměti nebo po zakódování bezprostředně přenášet do pozemního vyhodnocovacího systému. Význam vlivu letecké medicíny v celém systému leteckého provozu vzrůstá. Letečtí lékaři budou v řadě oborů podstatněji přispívat k optimalizaci leteckého výcviku a k prevenci leteckých nehod z hlediska objektivní diferenciací selhání jednoho z prvků vztahu člověk — stroj.

Souhrn

Článek seznamuje s výsledky prací Ústavu leteckého zdravotnictví v oblasti letecké lékařské radiotelemetrie a s technickým řešením jedenáctikanálového systému s kódovou impulsní modulací. Uvedená soustava umožní v souladu s použitým předzesilovačem přenos signálů různých kombinací fyziologických funkcí z libovolného bojového letounu. V rámci rozboru problematiky jsou uvedeny některé základní parametry zesilovačů a přenosových kanálů, při kterých lze dosáhnout optimálních výsledků.

Literatura

1. Borovička, J. - Hospodář, J. - Hron, P. - Kauders, M.: Jednakanálová telemetrická souprava. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu ÚLZ, publikace číslo 58/1963. 17 s.
2. Hanousek, J. - Blažka, S. - Hron, P.: Radiotelemetrický systém pro přenos fyziologických údajů za letu — TLM 3. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu ÚLZ, publikace číslo 161/1971. 78 s.
3. Hospodář, J.: Prověření metodiky na telemetrické sledování fyziologických reakcí pilotů za letu na jednakanálovém zařízení. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu ÚLZ, publikace číslo 69/1964 a. 57 s.
4. Hospodář, J.: Methodische Wege zur Problematik der Luftfahrtbiotelemetrie. Konferenz „Telestimulation und Telemetrie in der medizinischen Grundlagenforschung und in der angewandten Medizin“, Berlin 1964 D.
5. Hospodář, J.: Radiotelemetrické sledování pulsových reakcí letička v chodě poleta. In: Problemy radiotelemetrie v fyziologii i medicíně. Sverdlovsk, AN SSSR 1968, s. 125—127.
6. Hospodář, J.: Komplexsystem zur Kontrolle von physiologischen Parametern der Flugzeugführer bei tatsächlicher und modellierter Belastung. 2. wissenschaftliche Tagung der Sektion Luftfahrtmedizin in der Gesellschaft für Militärmedizin der DDR, Dresden 1975 b.
7. Hospodář, J.: Objektivizacija fiziologičeskich reakcij v sisteme letčik-letnyj trenážer-učebnyj samolet-bojevoj samolet. Pracovní porada leteckých lékařů. Varna 1976.
8. Hospodář, J. - Dvořák, J.: Radiotelemetrický přenos dechové frekvence pasažéra v letounu K-65 pomocí palubního vysílače na letišti VZLÚ Letňany (nepublikováno) 1948.

9. Hospodář, J. - Kauders, M. - Růžicková, N.: La réaction du pouls des pilotes pendant le décollage et l'atterrissage des avions à réaction. Francouzsko-československé fyziologické dny, Praha 1964.
10. Hospodář, J. - Krekule, I.: Zpracování tepových reakcí univerzálním číslicovým počítačem. Voj. zdrav. Listy, 37, 1968, č. 1, s. 16—18.
11. Hospodář, J. - Krekule, I. - Hrabovský, F.: Radiotelemetrický přenos tepové frekvence pilotů za letu a její zpracování samočinným počítačem. In: IV. celostátní konference o elektronické měřicí technice — sborník přednášek sekce L. Věd. pracoviště vědeckotechnického rozvoje TESLA Brno, 1972, s. 140—143.
12. Hospodář, J. - Novotný, Z.: Ocenka reakcij pulse letčikov samoletov MiG-21 pri dejstvii korotkovremennoj psichičeskoj nagruzki v polete. XIV. konference leteckého lékařství, Varšava 1973.
13. Hospodář, J. - Novotný, Z.: Radiotelemetrické sledování tepových reakcí pilotů za letu. Voj. zdrav. Listy, 44, 1975, č. 1, s. 17—22.