

613.693:612-087.1:612.766.1:355.546.1

## VLIV SIMULOVANÉ LETOVÉ ZÁTĚŽE NA FYZIOLOGICKÉ REAKCE PILOTNÍCH ŽÁKŮ

Pplk. Ing. Jaromír CMÍRAL, CSc., pplk. MUDr. Jiří ŠULC, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

(náčelník: plk. MUDr. Miroslav Haňka)

### Metodika

S rozvojem letecké techniky stále stoupají nároky na výkonnost pilotů. Se zvyšujícími se rychlostmi a současně se zvětšující se manévrovatelností letounů rostou požadavky na přenosové vlastnosti, rychlost adaptace i rychlost učení pilotů. Tyto skutečnosti vyžadují přejít od subjektivního hodnocení vycvičenosti pilota k objektivizovanému hodnocení, jehož součástí je i objektivní hodnocení vycvičenosti pilota z hlediska letecké fyziologie a psychofyziologie. Uvedenou problematiku je možno v prvním přiblížení demonstrovat na příkladě, kdy dva žáci provedli předepsané letové úkoly se stejnou přesností. Jeden přitom zvládl situaci bez jakýchkoliv problémů, druhý s výpětím sil. V takovémto případě byl stejný letový režim z fyziologického hlediska pro každého žáka jinou zátěží. Jednomu zbývala jistá fyziologická rezerva pro řešení dalších možných stressových situací, druhý tuto rezervu již neměl. To ovšem znamená, že stupeň vycvičenosti byl u každého jiný, i když předepsané letové úkoly splnili se stejnou přesností. Československé letecké zdravotnictví bylo postaveno před problém řešit právě otázku objektivního hodnocení řekněme tzv. „fyziologické vycvičenosti“.

Vzhledem k tomu, že výcvik probíhá jednak v trenažérech a jednak v letounech, je nutno tuto otázku řešit jak v simulované, tak v reálné letové zátěži. Vycházíme přitom ze skutečnosti, že na trenažéru můžeme simulovat i takové letové režimy, které nelze realizovat v reálné letové zátěži — např. řešení zvláštních případů za letu. Na druhé straně v reálné letové zátěži přibývá faktor nebezpečí, který na trenažéru není. Tím však, že řadu shodných letových režimů lze provést jak v trenažéru, tak v letounu, máme splněn jeden ze základních předpokladů pro sledování rozdílu ve fyziologických reakcích na simulovanou a reálnou zátěž a tím pro vytváření hypotéz o reakcích v takových zátěžích, které nelze v reálném letu navozovat. K vyřešení uvedené problematiky je samozřejmě nutno sledovat i změny vlivu letové zátěže na fyziologické reakce pilotů v průběhu výcviku.

V první etapě výzkumu jsme se zaměřili na sledování vlivu různého stupně simulované letové zátěže na různé fyziologické parametry. Jinými slovy sledovali jsme, které fyziologické parametry se u pilotních žáků na určitém stupni vycvičenosti (nalétáno cca 100 letových hodin) mění s měnícím se stupněm simulované letové zátěže.

Sledovali jsme dvě skupiny pilotních žáků na pilotním trenažéru TL-39. Jedna skupina byla v době měření přecvičována z letounu L-29 (nalétaného cca 100 h) na letoun L-39 a byla seznámena s trenažérem TL-39. Druhá skupina, také s nalétaností cca 100 h na letounu L-29 pokračovala ve výcviku na tomto letounu a s trenažérem TL-39 se seznamovala teprve před vyšetřováním v našem ústavu.

U obou skupin jsme simulovali let, kdy pilot po odstartování byl řízen velitelským stanovištěm pro plnění úkolu přepadu vzdušného cíle. Pro zabezpečení stejných podmínek experimentu byly pokyny namalovány na magnetofonovém pásku, kde byla zároveň nahrána radiokorespondence s dalšími devíti letouny. Tento manévr přepadu trval 35 min, poté byl vydán pokyn k ukončení úkolu a návratu na letiště. V daném okamžiku byl pilotní žák 70 km od mateřského letiště. Během návratu bylo nasimulováno visení otáček. Před navozením této závady byl žák naveden do strmého stoupavého letu rychlostí 20 m/s, čímž se mu začala snižovat rychlost. Při poklesu rychlosti pod 300 km/h mu byla navozena uvedená závada, čímž bylo docíleno, že po stáhnutí plynové páky klesly otáčky pod 18 %, takže bylo nutno nahazovat motor s přitáčením. Po vyřešení tohoto úkolu, tj. po nahození motoru, žák pokračoval v návratu na letiště po systému s rozpočtovým úhlem. Po zatáčce na přistávací mu byl vydán pokyn k sestupu podle radionavigačního přístroje Jiskra. Posléze provedl přistání na letiště. Celý simulovaný let trval cca 45–50 min.

Z fyziologických parametrů jsme se zaměřili na sledování srdeční frekvence, W-indexu EKG, dechové frekvence, minutového dechového objemu, systolického tlaku krve a diastolického tlaku krve. Pokud se týká zmíněného W-indexu, byl počítán ve vztahu

$$W = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{RR_n}{RR_k}\right)^2 + \left(\frac{\bar{T}_n}{\bar{T}_k}\right)^2}}$$

kde  $\overline{RR}_k$  je průměrná hodnota intervalů RR ve vzorkovaném úseku kontrolní etapy (ms)

$\overline{RR}_n$  je průměrná hodnota intervalů RR ve vzorkovaném úseku sledované etapy (ms)

$\overline{T}_k$  je průměrná hodnota amplitudy vektoru vlny  $T$  ve vzorkovaném úseku kontrolní etapy (mV)

$\overline{T}_n$  je průměrná hodnota amplitudy vektoru vlny  $T$  ve vzorkovaném úseku sledované etapy (mV)

Jelikož W-index není zatím příliš známou fyziologickou charakteristikou, považujeme za vhodné zmínit se podrobněji o jeho podstatě. Uvedený vztah pro jeho výpočet je výsledkem relativně dlouhého hledání vhodného způsobu vyjádření skutečnosti, že repolarizační doba srdečních komor si uchovává vzhledem k depolarizační době relativní autonomii. Tato autonomie se promítá i do vztahů mezi délkou intervalů  $RR$  a amplitudou vlny  $T$ . Fyzická zátěž je běžně provázána zkrácením intervalu  $RR$  a  $RT$  (9), přičemž se amplituda vlny  $T$  může, ale také nemusí měnit. Naproti tomu běžné emociogenní podněty ovlivňují relativně málo a nejednotně srdeční frekvenci, avšak výrazně modifikují úsek repolarizace srdečních komor (1, 3, 4, 7, 9, 11). O fyziologickou interpretaci těchto rozdílů se pokusili Punch s Kingem (8). Tvrdí, že na regulaci srdeční frekvence se podílí jak adrenergní, tak cholinergní vzruchová aktivita vegetativního nervstva, kdežto do repolarizace komor zasahuje pouze aktivita sympatiku. Tento názor však byl experimentálně vyvrácen (5, 13).

Je známo, že podáním adrenalinu nebo izoproterenolu lze u většiny zdravých lidí navodit depresi až inverzi vlny  $T$  (1, 7). O první ze jmenovaných látek Mitchell a Shapiro soudí, že má přímý účinek na elektrickou aktivitu svaloviny srdečních komor. Kromě toho předpokládají, že myokard úzkostných jedinců je hypersenzitivní na endogenní adrenalin, a proto již malé dávky tohoto hormonu vyvolávají na vlně  $T$  nápadné změny.

V dosud citovaných pracích se „změnou vlny  $T$ “ rozumělo pravidelné snížení její amplitudy. Nemusí tomu ale tak být za všech okolností. Například Fjodorovova monografie (3) obsahuje podrobné údaje ze 12 studií, při kterých se sledovalo „chování“ vlny  $T$  v emočně nestejně náročných situacích. Zhruba v polovině případů (synchronní překlad, řešení havarijních situací železničními dispečery, podstoupení stomatologického zákroku, dlouhodobá hypokineze s navozenou úzkostí, administrace testu pozornosti a operativního myšlení) vlna  $T$  skutečně klesala, zatímco u druhé poloviny (řešení havarijních situací na metru, prožívání negativních emocí navozených Stanislavského metodou, očekávání rány elektrickým proudem, odběr krve, úzkost při dlouhodobém pobytu v nemocnici) tomu bylo právě naopak. Jindy byly pozorovány změny jak v kladném, tak záporném směru (zkoušky, obhajoba kandidátských disertací apod.).

W-index na rozdíl od izolovaně interpreto-

vaných částí EKG křivky představuje kvalitativně novou charakteristiku, která zabezpečuje synchronní i diachronní postup při získávání fyziologicky významné informace. Jeho hodnotu při indikování stupně emoční aktivity operátora si skupina prof. Simonova ověřovala jak v laboratoři, tak v terénních pokusech s výsadkáři (9, 10, 11), přičemž se W-index plně osvědčil.

### Výsledky

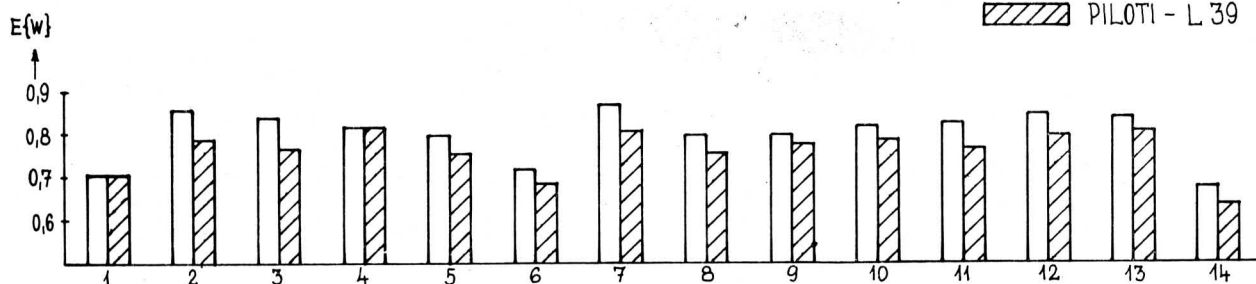
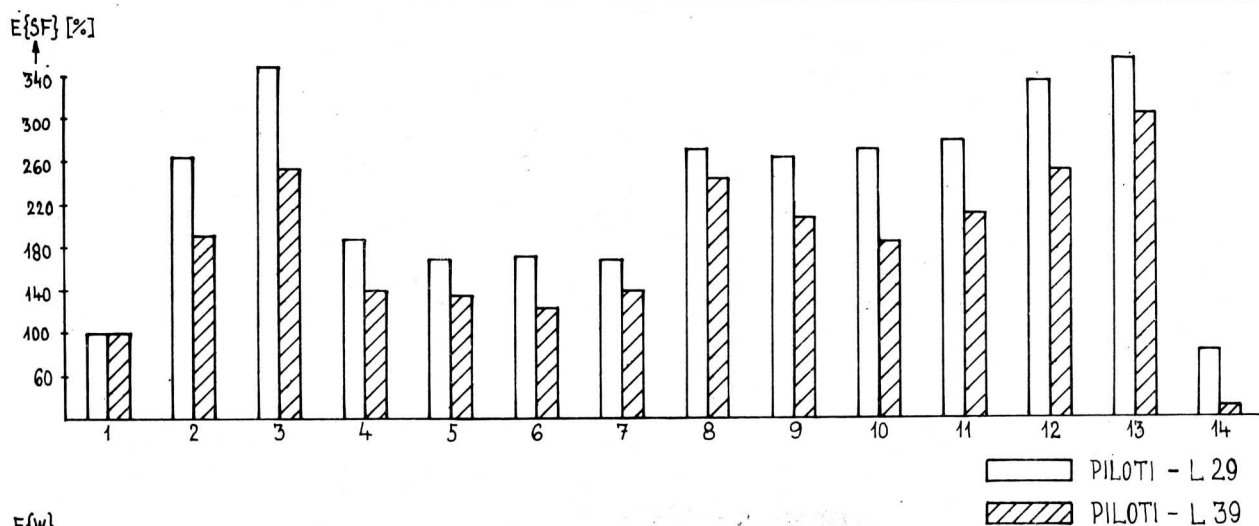
Nejprve jsme si ověřovali, zda máme skutečně homogenní soubor z hlediska tzv. fyziologické vycvičenosti. Sledovali jsme, zda existuje závislost mezi precizností v dodržování předepsaných letových režimů a změnami v jednotlivých fyziologických parametrech. Testovali jsme nulovou hypotézu, že změny ve fyziologických parametrech nejsou u jednotlivých žáků závislé na přesnosti dodržování předepsaného letového režimu. Testování jsme provedli pomocí Spermanova koeficientu pořadové korelace. U žádného vztahu mezi jednotlivými fyziologickými a letovými parametry nevyšel tento koeficient statisticky významný. Nezamítli jsme tudíž nulovou hypotézu o statistické nezávislosti, tzn. nebylo důvodu považovat změřené odchylky za různý stupeň vycvičenosti.

V obr. 1, 2, 3 jsou vyneseny střední hodnoty relativních změn srdeční frekvence, minutového dechového objemu, systolického a diastolického krevního tlaku vyjádřené v % a relativní změny W-indexu v jednotlivých fázích simulovaného letu vzhledem k referenčním hodnotám získaným v období tzv. předstartovního klidu, kdy již pilot seděl v kabině trenažéru, ale nevykonával zatím žádnou činnost. Šrafované sloupce odpovídají skupině přecvičovaných žáků na letoun L-39 a předem seznámených s trenažérem TL-39, nešrafované sloupce odpovídají skupině žáků létajících na letounu L-29, kteří byli seznamováni s trenažérem až před naším vyšetřováním.

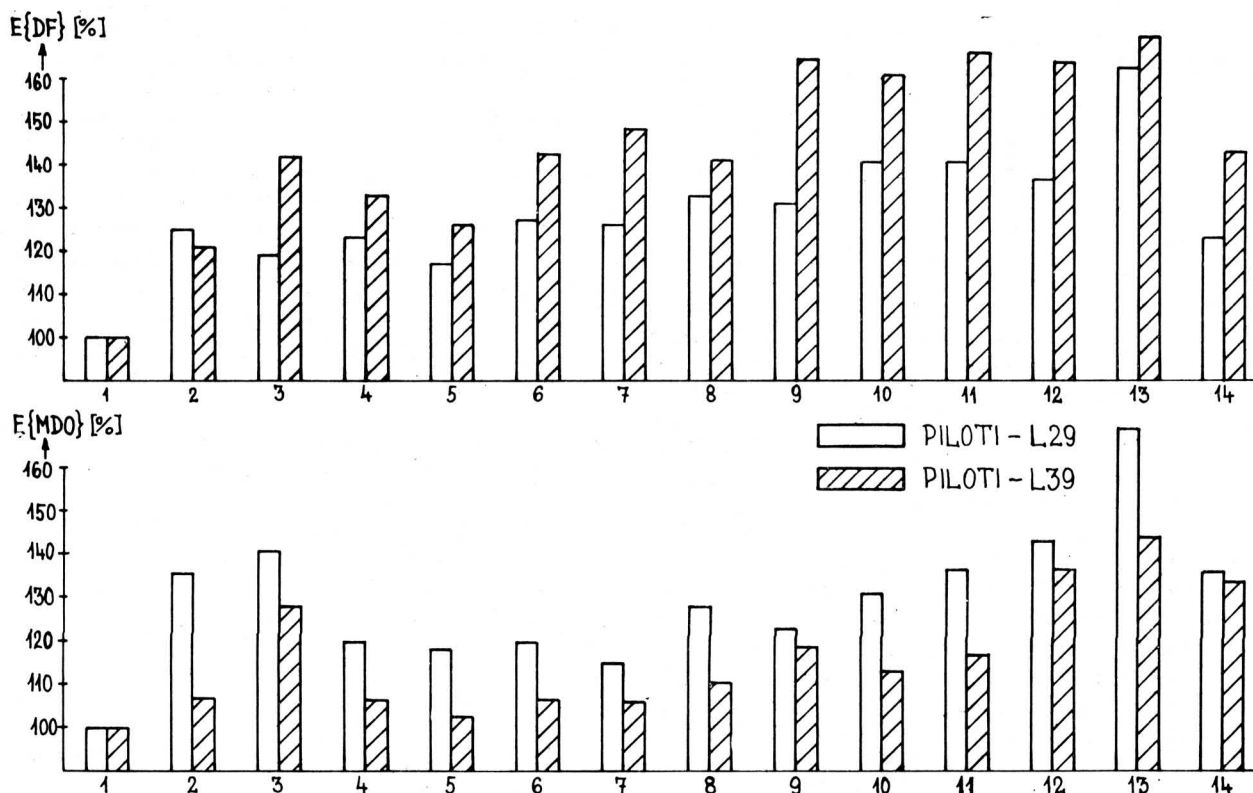
Legenda k označení jednotlivých fází letu:

1. klid před startem
2. start
3. dosažení výšky 100 m
4. ustálená zatáčka s náklonem 30°
5. horizontální let
6. strmé stoupání před navozením ZPZL
7. vísení otáček
8. zahájení sestupu
9. 20 km od letiště
10. 15 km od letiště
11. 7 km od letiště
12. 1 km od letiště
13. dosednutí při přistání
14. klid po letu (po návratu SF na hodnoty v klidu před startem)

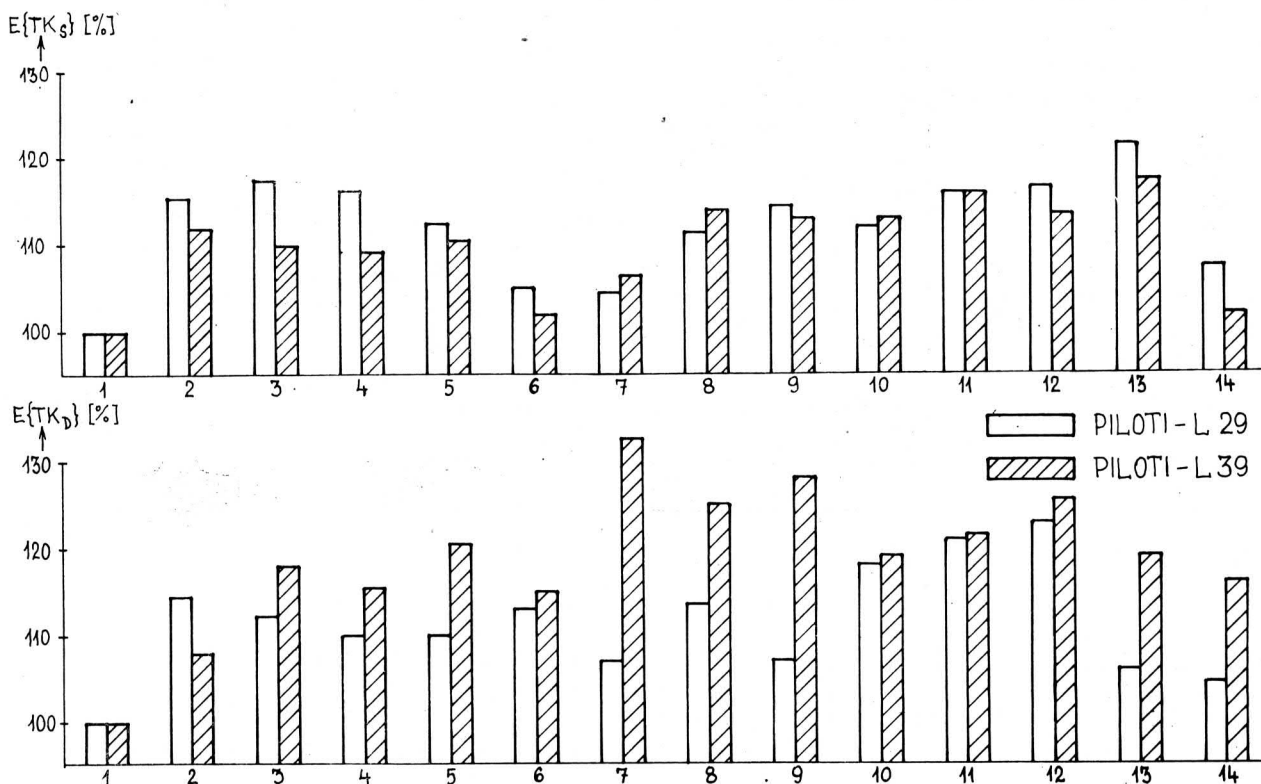
Pomocí Wilcoxonova párového testu jsme testovali, v kterých fázích simulovaného letu se jednotlivé fyziologické parametry mění



Obr. 1. Střední hodnoty změn W-indexu a relativních změn SF v průběhu simulované letové zátěže



Obr. 2. Střední hodnoty relativních změn dechové frekvence a minutového dechového objemu v průběhu simulované letové zátěže



Obr. 3. Střední hodnoty relativních změn systolického a diastolického tlaku krve v průběhu simulované letové zátěže

vzhledem ke všem ostatním fázím letu. V obr. 4, 5, 6 jsou znázorněny sumarizující údaje o statistické významnosti změn jednotlivých fyziologických reakcí v různých fázích letu vzhledem k hodnotám tzv. předstartovního klidu, k horizontálnímu letu a ke klidu po ukončení letu, a to jak pro skupinu předem seznámenou s trenažérem a létající na odpovídajícím typu letounu (L-39), tak pro skupinu létající na letounu L-29. Dvěma puntíky je znázorněn statisticky signifikantní rozdíl na hladině významnosti  $p = 0,01$  a jedním puntíkem na hladině významnosti  $p = 0,05$ .

|      | L-29 |    |                 |                 |     |    | L-39 |    |                 |                 |     |    |
|------|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|
|      | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF |
| 1-2  | ••   | •• | ••              | ••              | ••  |    | •    | •• | ••              |                 |     |    |
| 1-3  | ••   | •• | ••              |                 | ••  |    | ••   |    | ••              | ••              | ••  | •• |
| 1-4  | •    | •• | ••              | ••              |     |    |      |    | ••              |                 |     | •• |
| 1-5  |      | •• | ••              | •               |     |    |      |    | •               | ••              |     | •• |
| 1-6  |      |    | •               | •               |     |    |      |    | •               |                 |     | •• |
| 1-7  |      | •• | —               | —               |     |    | ••   | —  | —               |                 |     | •• |
| 1-8  | ••   | •• | ••              | ••              | •   |    | ••   |    | ••              | ••              |     | •• |
| 1-9  | ••   |    | ••              | •               |     |    | ••   |    | ••              | ••              |     | •• |
| 1-10 | ••   | •• | ••              | •               | ••  |    |      | •  | ••              | ••              |     | •• |
| 1-11 | ••   | •• | ••              | •               | •   |    | •    |    | ••              | ••              |     | •• |
| 1-12 | ••   | •  | ••              | •               | ••  |    | ••   |    | •               | ••              | ••  | •• |
| 1-13 | ••   |    | •               | —               | ••  | •  | ••   |    | •               |                 | ••  | •• |
| 1-14 |      |    | •               |                 |     |    | •    | •  |                 | ••              |     | •• |

Obr. 4. Statistická významnost změn fyziologických hodnot v průběhu simulované letové zátěže vzhledem k hodnotám před startem

|      | L-29 |    |                 |                 |     |    | L-39 |    |                 |                 |     |    |
|------|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|
|      | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF |
| 1-5  |      | •• | ••              | •               |     |    |      |    | •               | ••              |     | •• |
| 2-5  | •    |    |                 |                 | ••  |    |      |    | —               | •               |     |    |
| 3-5  | ••   |    |                 |                 | •   |    | ••   |    |                 | —               | ••  |    |
| 4-5  |      |    |                 |                 |     |    |      |    |                 | —               |     |    |
| 6-5  |      | •• |                 |                 |     |    |      |    | —               | —               |     | •  |
| 7-5  |      | •  | —               | —               |     |    |      |    | —               | —               |     | •  |
| 8-5  | ••   |    |                 | —               | •   | •  | ••   |    | —               |                 |     | •• |
| 9-5  | ••   |    |                 | —               |     |    | •    |    |                 | —               | •   | •• |
| 10-5 | ••   |    |                 | •               | ••  | •• |      |    |                 | —               | •   | •• |
| 11-5 | ••   |    |                 |                 | ••  | •  |      |    |                 |                 | •   | •• |
| 12-5 | ••   |    |                 | •               | ••  | •  | ••   |    | —               | —               | ••  | •• |
| 13-5 | ••   |    | —               | —               | ••  | •• | ••   |    |                 | —               | ••  | •• |
| 14-5 |      | •• |                 |                 | •   |    | ••   | •• |                 | —               | •   |    |

Obr. 5. Statistická významnost změn fyziologických hodnot v průběhu simulované letové zátěže vzhledem k hodnotám v horizontálním letu

### Diskuse

Celkem logicky jsme získali maximum statisticky významných změn u měřených parametrů při jejich srovnávání s kontrolní etapou před experimentem a po něm. Přitom se tu projevila i diferencovanost různých „časových konstant“ fyziologických charakteristik, reprezentovaná rychlostí aktivace příslušné funkce a jejím návratem k výchozímu stavu v závislosti na expozici podnětové situace. Z tohoto hlediska nejdéle přetrvává zvýšení diastolic-



|       | L-29 |    |                 |                 |     |    | L-39 |    |                 |                 |     |    |
|-------|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|------|----|-----------------|-----------------|-----|----|
|       | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF | SF   | W  | TK <sub>s</sub> | TK <sub>d</sub> | MDO | DF |
| 1-14  |      |    | •               |                 |     |    | •    | •  | ••              |                 |     | •• |
| 2-14  | ••   | •• |                 | •               |     |    | ••   | •• |                 | —               |     |    |
| 3-14  | ••   | •• |                 |                 |     |    | ••   | •• |                 | —               |     |    |
| 4-14  | •    | •• |                 |                 |     |    | ••   | •• |                 |                 |     | •• |
| 5-14  |      | •• |                 |                 | •   |    | ••   | •• |                 | —               | •   |    |
| 6-14  |      | •• |                 | •               |     |    | •    |    | —               | —               | •   |    |
| 7-14  |      | •• | •               | —               | •   |    | ••   | •• | —               | —               | •   |    |
| 8-14  | ••   | •• |                 | •               |     |    | ••   | •• | •               |                 |     |    |
| 9-14  | ••   | •  | •               | •               |     |    | ••   | •• | •               | —               |     |    |
| 10-14 | ••   | •• |                 |                 |     | •  | ••   | •  | •               | —               |     |    |
| 11-14 | ••   | •• |                 | •               |     |    | ••   | •• | •               | —               |     |    |
| 12-14 | ••   | •• |                 | •               | ••  | •  | ••   | •• | •               | —               |     | •• |
| 13-14 | ••   | •• |                 |                 |     | •  | ••   | •  | •               | —               | •   | •  |

Obr. 6. Statistická významnost změn fyziologických hodnot v průběhu simulované letové zátěže vzhledem k hodnotám po letu

kého a potom systolického tlaku krve, dále vzestup minutového dechového objemu a dechové frekvence. Nejpružněji reagují na psychomotorickou zátěž srdeční frekvence a W-index.

I když volba horizontálního letu jakožto referenční fáze měření nebyla v našich experimentech zatím příliš úspěšná, nevzdáváme se do budoucna jejího používání. Definice klidových podmínek měření zůstává ve fyziologii a pracovním lékařství stále otevřená [2]. Těžko si také lze při rutinním provozu na letišti představit, že by se našel dostatek času pro registraci skutečně bazálních hodnot od každého pilota. Musíme proto hledat jiné, relativně nenáročné úseky činnosti, jejichž „fyziologická cena“ je minimální, přičemž tyto úseky budou tvořit organickou součást profesionální aktivity měřených osob.

V získaných údajích nepřikládáme velký význam změnám dechové frekvence, neboť se zde projevuje zkreslení vzniklé radiokorepondencí.

### Souhrn

Sledovali jsme vliv různého stupně simulované letové zátěže na vybrané fyziologické reakce dvou skupin pilotních žáků. Jedna skupina létala na letounu odpovídající trenažé-

ru, na kterém bylo provedeno testování a s trenažérem byla seznámena. Druhá skupina létala na jiném typu letounu a s trenažérem se seznámila až před vlastními experimenty v Ústavu leteckého zdravotnictví. Bylo provedeno statistické testování vlivu simulované letové zátěže na srdeční frekvenci, W-index EKG, systolický a diastolický krevní tlak, na dechovou frekvenci a na minutový dechový objem. Projevila se diferencovanost v rychlostech aktivace různých fyziologických veličin.

### Literatura

1. Biberman, L. - Sarm, R. W. - Surawicz, B.: T-wave abnormalities during hyperventilation and isoproterenol infusion. Amer. Heart. J., 81, 1971, č. 2, s. 166—174.
2. Erikssen, J. - Rodahl, K.: Resting heart rate in apparently health middle-aged men. Eur. J. Appl. Physiol., 42, 1979, č. 1, s. 61—69.
3. Fjodorov, B. M.: Emocii i serdečnaja dejatel'nost'. Moskva, Medicina 1977. 216 s.
4. Frolov, M. V. - Sviridov, E. P.: Amplituda T-zubca EKG kak korrelyat emocionalnogo naprjaženija. Žur. vyšš. nerv. Dejat., 24, 1974, č. 5, s. 1052—1055.
5. Matyas, T. A.: T-wave amplitude stability during sinus arrhythmia in the resting man. Physiol. Behav., 16, 1976, č. 1, s. 115—117.
6. Matyas, T. A. - King, M. G.: Stable T-wave effects during improvement of heart rate control with biofeedback. Physiol. Behav., 16, 1976, č. 1, s. 15 až 20.
7. Mitchell, J. H. - Shapiro, A. P.: The relationship of adrenalin and T-wave changes in the anxiety state. Amer. Heart. J., 48, 1954, č. 3, s. 323—330.
8. Punch, J. C. - King, M. G.: Effects of signalled and unsignalled stressors on ECG T-wave amplitude. Physiol. Behav., 17, 1976, č. 2, s. 227—229.
9. Simonov, P. V. - Frolov, M. V. - Sviridov, E. P.: Characteristics of electrocardiogram under physical and emotional stress in man. Aviat. Space Environ. Med., 46, 1975, č. 2, s. 141—143.
10. Simonov, P. V. - Frolov, M. V. - Jevtušenko, V. P. - Sviridov, E. P.: Effect of emotional stress on recognition of visual patterns. Aviat. Space Environ. Med., 48, 1977, č. 9, s. 856—858.
11. Simonov, P. V. - Frolov, M. V. - Lužbin, N. A.: Physiological forecasting of efficiency. Aviat. Space Environ. Med., 49, 1978, č. 11, s. 1319—1321.
12. Šulc, J. - Cmíral, J.: Fyziologická odezva na simulovaný let a způsoby jejího měření. Voj. zdrav. Listy, 49, 1980, č. 4, s. 139—145.
13. Vajnsťejn, I. I. - Simonov, P. V.: Emociogennyye struktury mozga i serdca. Moskva, Nauka 1979. 93 s.

Klíčová slova: Letová zátěž; Simulace; Fyziologické reakce; Pilotní žáci