

613.693:616.24-008.441

EMOČNÍ HYPERVENTILACE ZA LETU

Pplk. MUDr. Jiří ŠULC, CSc.
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha
(náčelník: plk. MUDr. M. Haňka)

Mezi prvořadě otázky řešené leteckými fyziology v posledních 10—15 letech patří výzkum možností objektivní kontroly stavu pilota za letu [7]. Jestliže se v minulosti odborníci v leteckém lékařství spokojili s registrací základních fyziologických hodnot, v budoucnosti se již neobejdou bez systémového řešení celého problému. Znamená to, že bude třeba vyhledat soubor fyziologických a výkonových charakteristik, jež spolu s příslušnými parametry pilotáže budou schopny poskytnout lékařům spolehlivou informaci o celkové kvalitě činnosti pilota ve vztahu k požadované optimální normě.

Vyřešení uvedeného systému bude mít zásadní význam nejen pro další zvýšení bezpečnosti létání, ale především pro z hospodárnění celého výcviku letců. V této souvislosti nepřekvapuje, že se od počátku 70. let znovu ve zvýšeném počtu začínají objevovat práce o vztahu hyperventilace ke stupni emoční zá-
těže letce. Děje se tak po určité odmlce, která trvala prakticky 13 let.

Po 2. světové válce se intenzívně zkoumala problematika výškové anoxie a fyziologie přetlakového dýchání [2, 5, 6, 17, 21]. Při tom zcela logicky věnovali různí badatelé značnou pozornost též fyziologickým důsledkům hyperventilace. První práce o hyperpnoí vyvolaném zhoršení psychomotorických, diskriminačních a mnestických funkcí, důležitých pro pilotování letadla, pochází od Rahna a spolupracovníků [13]. Tito autoři rovněž stanovili práh alveolárního napětí kyslíčnicku uhličitého ($p\text{CO}_2$), po jehož překročení se objevují manifestní známky hypokapnie. Měl jím být $p\text{CO}_2$ 3,3 kPa (25 torrů).

Jejich závěry později kritizoval Stoddart [16]. Upozornil na metodologickou chybu, spočívající ve směšování metabolických a regulačních důsledků umělé hyperventilace respirátorem s hyperventilací volní. Při pasivní hyperventilaci lze dosáhnout takového stupně hypokapnie a tím i respirační alkalózy, s jakým se při vědomím regulovaném hlubokém dýchání nikdy nesetkáme. Obecně se za dolní

mez poklesu $p\text{CO}_2$ při volní hyperpnoi považují hodnoty 2,0–1,9 kPa (15–14 torrů), kdežto respirátorem lze bez obtíží $p\text{CO}_2$ v alveolárním vzduchu snížit až na 1,3 kPa (10 torrů). Pro úplnost uvádíme ojedinělé Hallovo pozorování (5) o poklesu $p\text{CO}_2$ během volní hyperventilace na 706 Pa (5,3 torru).

Počátkem roku 1957 uveřejnil Balke a spol. (1) první studii věnovanou přímému měření změn $p\text{CO}_2$ v alveolárním vzduchu za letu. Autoři sledovali 29 pilotních žáků během základního výcviku na letounu T-33 a 36 zkušených pilotů, z nichž každý měl nalétáno více než 2000 hodin, při denních a nočních přeškolovacích letech na letounech F-86 a F-100.

Klidové hodnoty $p\text{CO}_2$ se u pilotních žáků pohybovaly mezi 4,1–5,6 kPa (30,5–40,0 torrů). Za dolní hranici normy autoři považovali $p\text{CO}_2$ 4,0 kPa (30 torrů). Ze 367 vzorků alveolárního vzduchu, odebraných při 100 denních a 25 nočních letech zjistili v 41 % pokles $p\text{CO}_2$ pod normální mez. Mírný stupeň hypokapnie (4,0–3,3 kPa, tj. 30–25 torrů) konstatovali u 28 %, střední stupeň (3,3 až 2,7 kPa, tj. 25–20 torrů) v 18 % a těžký stupeň (pod 2,7 kPa) u 3 % žáků.

19 pilotů druhé skupiny absolvovalo 64 letů na letounu F-86. Hyperventilace byla zjištěna v 61 % a relativní zastoupení jednotlivých stupňů hypokapnie činilo 41 %, 14 % a 8 %. Zbývajících 17 pilotů provedlo 41 letů na F-100. Hypokapnie byla diagnostikována v 78 % případů, z nichž 48 % bylo kvalifikováno jako mírný, 28 % jako střední a 2 % jako těžký stupeň.

Z uvedené práce vyvodili autoři tyto závěry:

1. hyperventilace je častější na rychlejších a výkonnějších letounech;

2. ani předchozí bohatá letecká zkušenost neredukuje emoční tenzi a ji provázející hyperventilaci při přecvičování na dokonalejší leteckou techniku;

3. jelikož u některých pilotů poklesl $p\text{CO}_2$ až na 3,3 kPa (25 torrů), aniž se u nich objevily somatické známky hypokapnie nebo zhoršení profesionální výkonnosti, lze předpokládat, že se organismus letce dokáže postupně adaptovat na stavy, provázené hyperpnoi.

Poslední závěr, později potvrzený sovětskými badateli (3), činí těžko pochopitelným stanovisko Balkeho a spol. při volbě dolní hranice normokapnie, jež je v jejich případě neobvykle vysoká. Nicméně tato práce inspirovala několik dalších studií, publikovaných v letech 1957 až 1963, ve kterých je emoční hyperventilace již hodnocena jako vážný rizikový faktor letu.

Powell a spol. (11) uveřejnili zprávu o 17 případech tzv. „fyziologického bezvědomí“. Definovali ho jako stav částečné nebo úplné ztráty vědomí, vzniklé při kombinaci přetížení, hyperventilace a hypoglykémie a experimentálně reprodukovatelné v laboratoři.

Případy anoxických poruch vědomí (byť i spojených s hyperventilací) do této kategorie nepočítají. Důraz kladou na synergismus účinku provokačních momentů, kdežto izolované faktory, včetně hyperventilace, ztrátu vědomí u pilota údajně vyvolat nemohou.

S tímto názorem však nesouhlasí jiní badatelé. Talbot (19) přisoudil hyperventilačnímu syndromu spoluúčast na 4,4 % selhání pilota při jinak nevysvětlitelných leteckých nehodách a předpokladech k leteckým nehodám. Ovšem pouze jedenkrát hyperventilace v jeho sestavě vyřadila letce úplně z činnosti. Jednalo se o pozorovatele — bombometčíka, který během bombardování hyperventiloval až do bezvědomí. Tento muž současně uvedl, že obtíže z hypokapnie jsou běžné též u ostatních pozorovatelů. Jako vyvolávající příčinu označil nadměrné fyzické a psychické nároky na operátora a nutnost rychle a nepřetržitě komunikovat během zaměřování s ostatními členy posádky.

Ve srovnání s Talbotem uvažovali McCann a Schulze o desetinasobném podílu hyperventilačního syndromu v etiologii tzv. fyziologických nehod (9). Tento stav podle jejich zkušeností často provází anxiózní stavy při prvních letech, při akrobacii, skupinových letech a letech podle přístrojů, tedy vesměs takové situace, které kladou mimořádné nároky na psychické rezervy a emoční stabilitu pilotů.

Z dalších pozorování uveďme ještě práci Martimonova (8), který popsal hyperventilaci jako etiologické agens většiny z 29 předmrákočných a mrákočných stavů za letu. Stejně jako Powell a spol. (11) upozornil na to, že v anamnéze postižených se nápadně často zjistí nedodržení předletového režimu, požití alkoholu, přehřátí nebo interkurentní onemocnění. U nás Tyle (20) našel hyperventilaci jako příčinu poruchy vědomí za letu ve svém 73členném souboru čtyřikrát. Na anxiózní stav byly vázány 2 příhody, další dvě byly důsledkem hypoxie. Poslední práce o klinické a posudkové problematice emoční hyperventilace u letců pochází z Francie (10) a její závěry jsou shodné se zkušenostmi již citovaných autorů.

Kromě Balkeho a spol. (1) všichni ostatní badatelé učinili svůj závěr o přítomnosti emoční hyperventilace na základě anamnestických rozborů, tedy nikoli z přímých měření ventilačních poměrů u pilotů za letu. K tomuto postupu se vrátili teprve počátkem 70. let sovětsí autoři.

Gurvič a Martens (4) sledovali minutovou ventilaci, dechovou frekvenci a alveolární $p\text{CO}_2$ ve dvou druhých náročných letů. Při navigačních letech naměřili u nejvíce zatížených členů posádky pokles $p\text{CO}_2$ na 3,6–3,5 kPa (26,9–26,2 torru). Ve zvláště složitých fázích letu klesal $p\text{CO}_2$ u 1. pilotů a letovodů na 2,5 kPa (19 torrů) a u 2. pilotů na 2,8 kPa (21,2 torru). Ve druhé sérii ještě obtížnějších

letů se $p\text{CO}_2$ snížil dokonce na 2,6 kPa (19,8 torru).

Zatím nejdůkladnější studií o poměrech zevního dýchání při různě náročných letech na proudových letounech je práce Genina a spol. [3]. Vyplynulo z ní, že:

1. zkušení piloti mají klidové hodnoty $p\text{CO}_2$ v průměru o 6 % nižší než neletci (4,6 až 4,2 kPa, tj. 31,2–34,2 torru) a také známky hypokapnie se u nich dostavují při nižších hodnotách $p\text{CO}_2$, než u jedinců k hyperpnoii neadaptovaných;

2. $p\text{CO}_2$ měřený bezprostředně před letem se od kontrolních hodnot z neletových dnů prakticky neliší;

3. hodnoty $p\text{CO}_2$ jsou přímo úměrné stupni emoční náročnosti letu a úrovni pilotního mistrovství letce.

Z uvedeného přehledu zřetelně vyplývá závažnost problematiky hyperventilace pro psychofyziologii létání. Můžeme si položit otázku, co tedy leží v cestě využití charakteristik hypokapnie jakožto indikátoru aktuálního stavu pilota za letu?

Příčiny jsou jak technické, tak metodologické povahy. Spolehlivé hodnoty $p\text{CO}_2$ v alveolárním vzduchu lze prozatím získat jedine prostřednictvím složité a nákladné aparatury, o jejíž provoz se musí starat vysoce kvalifikovaný odborník. Pokusy o zprostředkování odhad intenzity hyperventilace z celkové spotřeby kyslíku během letu [12] nebo z hlasových změn [14, 18] selhaly. Technická stránka problému však není tak důležitou překážkou, jako vzpomenuté metodologické obtíže.

Stejně chyby, za niž byl kritizován Rahn se spolupracovníky [13], že totiž neodlišil pasivní hyperventilaci od hyperventilace volní, se dopouštějí i ti autoři, kteří volní hyperventilaci ztotožňují s emoční hyperpnoí. Po fyziologické stránce jde o různé stavy, při nichž alveolární $p\text{CO}_2$ má nestejnou informační hodnotu. Pro funkci jednotlivých systémů organismu je koneckonců důležitější pokles pH v extracelulární tekutině, který s $p\text{CO}_2$ v alveolárním vzduchu jednoduchým způsobem nekoreluje, a to ani v případech volní hyperventilace [14, 16, 22]. Kromě toho nelze složitou otázku regulačních mechanismů, aktivovaných v emočně náročných situacích, redukovat na společného jmenovatele humorálních změn. V tomto bodě spočívá hlavní slabina až dosud provedených výzkumů. Prozatím se nepodařilo oddiferencovat s žádoucí přesností neurofyziologickou složku komplexní odezvy lidského organismu na emociogenní podněty od složky metabolické. To je úkol, který na své řešení zatím čeká.

Souhrn

Autor podává přehled o studiích publikovaných v posledních 30 letech k problematice vztahů mezi hyperventilací a psychickým stavem pilota za letu. Dosavadní práce nepřihlížejí k fyziologickým rozdílům mezi volní a

emoční hyperventilací. Závěry o korelaci mezi hloubkou hypokapnie a alterací výkonnosti pilota, odvozené z pokusů s volní hyperventilací, nelze mechanicky přenášet na poměry, jejichž prostřednictvím organismus reaguje na emoční zátěž.

Literatura

- Balke, B. - Wells, J. G. - Clack, R. T. Jr.: In-flight hyperventilation during jet pilot training. *J. Aviat. Med.*, 28, 1957, č. 3, s. 241–248.
- Čapek, D.: Fysiologie letce. Praha, Naše vojsko 1953. 380 s.
- Genin, A. M. - Poljakov, V. M. - Asjamolova, N. M. et al.: Aktivacija vnešnego dychanija i uroveň alveolarnogo $p\text{CO}_2$ u letčikov v polete. *Kosm. Biol. aviakosm. Med.*, 9, 1975, č. 2, s. 59–65.
- Gurvič, G. I. - Martens, V. K.: O giperventilacii u letčikov v polete. *Voj. med. Žurnal*, 150, 1973, č. 5, s. 64–66.
- Hall, A. L.: Involuntary hyperventilation during pressure breathing at 43,000 feet. *J. aviat. Med.*, 24, 1953, č. 1, s. 14–19.
- Malette, W. G. - Eiseman, B.: Cerebral anoxia resulting from hyperventilation. *J. aviat. Med.*, 29, 1958, č. 8, s. 611–615.
- Malinin, I. D.: Ob expertno-dagnostičeskoj cennosti fiziologičeskich parametrov objektivnogo kontrolja sostojanija letčika v polete. *Kosm. Biol. aviakosm. Med.*, 10, 1976, č. 3, s. 3–8.
- Martimonov, P. D.: O pričinach uchudšeniya samočuvstvija letnogo sostava v polete. *Voj. med. Žurnal*, 135, 1958, č. 8, s. 67–71.
- McCann, J. P. - Schulze, V. E. Jr.: In-flight pilot incapacitation. *JAMA*, 183, 1963, č. 13, s. 1088–1090.
- Pannier, R. - Leguay, G. - Didier, A.: L'hyperventilation dans le personnel navigant (a propos de 13 observations). *Rev. Méd. aeronaut. spatiale*, 10, 1971, č. 38, s. 63 n.
- Powell, T. J. - Carey, T. M. - Brent, H. P. - Taylor, W. J. R.: Episodes of unconsciousness in pilots during flight in 1956. *J. aviat. Med.*, 28, 1957, č. 4, s. 374–386.
- Pronin, A. T.: Izučeniye sostojanija letčika v polete po raschodu kisloroda. *Voj. med. Žurnal*, 148, 1971, č. 10, s. 65–66.
- Rahn, H. - Otis, A. B. - Hodge, M. et al.: The effects of hypocapnia on performance. *J. aviat. Med.*, 17, 1946, č. 2, s. 164–178.
- Robinson, H. C.: Effects of hyperventilation on speech and hearing. *J. aviat. Med.*, 29, 1958, č. 10, s. 763–768.
- Samuelsson, R. G. - Nagy, G.: Effects of respiratory alkalosis on myocardial excitation. *Acta physiol. scand.*, 97, 1976, s. 158–165.
- Stoddart, J. C.: Reaction time during voluntarily controlled alveolar hyperventilation. *Aerospace Med.*, 38, 1967, č. 2, s. 171–175.
- Sunahara, F. A. - Girling, F. - Snyder, R. A. - Topliff, D.: Studies in hyperventilation at ground level and at simulated altitude. *J. aviat. Med.*, 28, 1957, č. 1, s. 13–18.
- Šulc, J.: Stabilita individuálních charakteristik hlasu v letecké radiokorespondenci. (Závěrečná zpráva č. 245). Praha, Ústav leteckého zdravotnictví 1977. 33 s.
- Talbot, J. M.: Unexplained aircraft accidents in the U. S. Air Forces in Europe. *J. aviat. Med.*, 29, 1958, č. 2, s. 111–116.
- Tyle, S.: Poruchy vědomí za letu. (Závěrečná zpráva č. 68). Praha, Ústav leteckého zdravotnictví 1963. 87 s.
- Wayne, H. H.: Clinical differentiation between hypoxia and hyperventilation. *J. aviat. Med.*, 29, 1958, č. 4, s. 307–315.
- Wright, S.: Klinická fysiologie. Praha, SZdN 1967. 680 s.