

347.823.4:537.312.7/.8

REAKCIA AUTONÓMNEHO NERVOVÉHO SYSTÉMU LETECKÉHO TECHNICKÉHO PERSONÁLU NA ELEKTROMAGNETICKÉ POLIA V PÁSME VEĽMI VYSOKÝCH FREKVenciÍ

Oto OSINA

Ústredná vojenská nemocnica, Ružomberok
Oddelenie klinického pracovného lekárstva a toxikológie

Súhrn

Práca sa venuje pôsobeniu elektromagnetických polí na autonómny nervový systém (ANS) človeka. V rámci periodických preventívnych vyšetrení profesionálnych leteckých technikov sme v laboratórnych podmienkach sledovali účinky elektromagnetických polí prostredníctvom spektrálnej analýzy variability srdcovej frekvencie. Výsledky vyšetrení ukázali, že elektromagnetické pole vyvolalo v ANS stresovú reakciu prejavujúcu sa zvýšením sympatikotónie. Tento poznatok je možné využiť pri zaradovaní osôb na pracoviská s expozíciou elektromagnetickým poliam, kedy včasné preventívne opatrenia môžu zabrániť rozvoju kardiovaskulárnych ochorení.

Kľúčové slová: Autonómny nervový systém; Spektrálna analýza variability srdcovej frekvencie; Elektromagnetické pole; Stresová reakcia; Letecký technický personál.

The Reaction of the Autonomous Nervous System in Flight Technical Staff to Electromagnetic Fields in the Very High Frequency Band

Summary

This study discusses the effect of electromagnetic fields on the autonomous nervous system (ANS) of a human being. Within the periodical preventive examinations of professional flight technicians, we monitored under laboratory conditions the effects of electromagnetic fields using heart frequency variability spectral analysis. The results of the examination showed that the electromagnetic field caused in the ANS a stress reaction manifested by an increased sympathicotonia. This knowledge can be applied when assigning persons to different places of work having exposure to electromagnetic fields. Early preventive measures can prevent the development of cardiovascular diseases.

Key words: Autonomous nervous system; Heart frequency variability spectral analysis; Electromagnetic field; Stress reaction; Flight technical staff.

Úvod

V odbornej verejnosti sú účinky elektromagnetických polí (EMP) všeobecne rozdeľované na tepelné a netepelné. Pomerne dobre preskúmané sú tepelné účinky pri vyšších výkonových hustotách reprezentované rôzne závažným poškodením alebo denaturáciou proteínov. V pásme veľmi vysokých frekvencií (vvf) 300 MHz-30 GHz sa tepelné účinky môžu objaviť už pri výkonových hustotách 1–10 mW.cm⁻², kedy však nemusí nevyhnutne dôjsť k ireverzibilnému poškodeniu tkanív. Stále neuspokojivo vysvetlenými zostávajú netepelné účinky pri dlhodobom používaní nízkointenzitných zariadení, prípadne ich kumulácia. Toto je spôsobené predovšetkým prítomnosťou mnohých faktorov, ktoré ovplyvňujú konečný efekt (vlastnosti EMP – frekvencia,

intenzita, miesto a rozsah pôsobenia, vlastnosti biologického systému ap.). V práci sme sledovali pôsobenie EMP frekvencie 430 MHz na autonómny nervový systém (ANS) u leteckého personálu, ktorý je denne vystavený rôznym elektromagnetickým poliam predovšetkým v pásme veľmi vysokých frekvencií. Pokúsili sme sa overiť hypotézu, že elektromagnetické polia môžu byť vonkajším stresogénnym faktorom, ktorý sa prostredníctvom autonómneho nervového systému môže podieľať na vzniku neurovegetatívnej dysfunkcie spájanej s rastom incidencie kardiovaskulárnych ochorení. Pre frekvenciu 430 MHz sme sa rozhodli z dôvodu jej blízkosti k frekvenciám, na ktorých pracujú rôzne druhy prenosných vysielačiek vrátane vojenských, mobilné frekvenčne nemodulované telekomunikačné systémy NMT (450 MHz), a súčasne patrí do pásma vvf, v

ktorom pracujú rôzne rádiolokačné zariadenia používané v letovej prevádzke.

Súbor a metodika

V rámci periodických preventívnych prehliadok leteckého technického personálu sme po schválení etickou komisiou vyšetrovali i vplyv EMP na činnosť autonómneho nervového systému prostredníctvom spektrálnej analýzy variability srdcovej frekvencie (SA VSF). Vyšetrenia prebiehali od marca 2002 do augusta 2002, boli vykonávané nalačno v dopoludňajších hodinách od 9.30 do 11.30, v tichej miestnosti bez rušivého elektromagnetického pozadia, pri priemernej teplote 23,8 °C a priemernom miestnom barometrickom tlaku 95,9 kPa.

Zdrojom EMP boli diaľkovo ovládané prenosné vysielacky Motorola s výkonom 1 W, frekvenciou 430 MHz, pričom stredná výkonová hustota bola 9,27 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$. Vysielačka bola samostatne fixovaná na pravej strane hlavy respondentov tak, že koniec antény bol vo vzdialenosti 3–4 cm od pravej temporálnej oblasti.

Respondenti boli informovaní o nehučnom zapnutí vysielacky, nevedeli však, v ktorej fáze vyšetrenia. Z dôvodu obmedzenia vizuálnych podnetov mali počas vyšetrenia zatvorené oči. Do štatistického spracovania bolo zahrnutých 31 mužov vo veku 21–40 rokov, u ktorých bola zistená správna reakcia ANS na prvé 3 kroky algoritmu (ľah–stoj–ľah). Priemerná expozícia rizikovým faktorom (hluk a EMP) bola 9,81 rokov. Respondenti minimálne 24 hodín pred vyšetrením nepožili alkoholické nápoje, minimálne 4,5 hodiny pred vyšetrením nepili kávu a nápoje obsahujúce kofeín, jeden deň pred vyšetrením nemali zvýšenú fyzickú alebo psychickú záťaž. V súbore bolo 16 nefajčiarov a 15 fajčiarov. Ženy neboli do súboru zahrnuté pre nedostatočný počet vyšetrení. Do spracovania neboli zahrnuté osoby s akýmkoľvek liečeným akútnym ochorením alebo tesne po liečbe, s anamnesticky alebo zjavne sa prejavujúcimi známami neurovegetatívnej lability, s poruchami srdcovej činnosti a osoby, u ktorých bol v hodnotených fázach objektívne zaznamenaný mikrosypánok. Štatistická analýza bola vykonaná v programe Microsoft Excel 97.

EKG signál bol snímaný prístrojom VariaCardio TF4 v piatich po sebe nasledujúcich 5-minútových intervaloch v stanovenom algoritme (T1 ľah, T2 stoj, T3 ľah, T4 ľah + EMP, T5 ľah). Do štatistického spracovania boli zahrnuté len fázy T3 – ľah a T4 ľah s EMP.

Spektrálna analýza variability srdcovej frekvencie (SA VSF) – intervalov R-R a ich matematické spracovanie pomocou rýchlej Fourierovej transfor-

mácie je vhodný neinvazívny test neurokardiálnych funkcií ANS, ktorý spoločne s endokrinným systémom, lokálnymi humorálnymi látkami nepretržite kontrolujú a riadia činnosť srdca a ciev (1, 2, 3). R-R variabilita (respiračná sínusová arytmia) je závislá od viacerých endogénnych faktorov, ako sú napr. dýchanie, krvný tlak, baroreflexy, venózy návrat, termoregulačné mechanizmy, aktivita vyšších etáží CNS a pod. Variabilita R-R intervalov je prejavom jemného doladovania hodnoty srdcovej frekvencie okolo priemeru na základe interakcie oboch zložiek ANS – sympatiku a parasympatiku, pričom oba systémy môžu byť aktivované alebo inhibované samostatne alebo súčasne (4, 5). Okrem uvedených endogénnych faktorov môžu variabilitu srdcovej frekvencie ovplyvňovať ďalšie okolnosti, ako sú telesná práca, stres, fyzikálne faktory vonkajšieho prostredia, napr. hluk, teplota, atmosférický tlak, UV, elektromagnetické polia a i.

Výsledky

Charakteristika súboru, niektoré dôležité podmienky ovplyvňujúce výsledky vyšetrení a korelačné koeficienty k sledovaným fázam vyšetrenia T3 – ľah a T4 – ľah s EMP sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1

Charakteristika súboru a podmienky vyšetrenia

Sledované faktory ovplyvňujúce výsledky	Priemerná hodnota	SD	Korel. Koef. k T3	Korel. Koef. k T4
Vek (roky)	30,28	5,37	0,10	-0,05
BMI	25,99	2,81	-0,16	-0,08
Systolický TK (mm Hg)	125,30	8,38	-0,12	-0,14
Diastolický TK (mm Hg)	81,40	3,79	-0,02	-0,13
Teplota prostredia (°C)	23,80	0,71	-0,11	-0,06
Barometrický tlak (kPa)	95,90	5,84	-0,19	-0,16
Počet hodín spánku pred vyšetrením	6,63	0,75	0,16	0,10
Fajčenie – počet cigariet/deň	10,31	5,96	-0,16	-0,09
Čas od posledného jedla (hod.)	11,65	6,03	-0,03	0,11

Časová analýza trvania R-R intervalov počas jednotlivých 5-minútových cyklov je reprezentovaná parametrom MSSD a kvantifikuje variabilitu frekvencie srdca. Pokles MSSD v stoji signalizuje správnú funkciu ANS a je významným ukazovateľom rozdielu medzi zdravými a chorými osobami (6). Respondenti, ktorí nespĺňali toto kritérium neboli zahrnutí do súboru pre štatistické spracovanie.

Výsledkom frekvenčnej analýzy R-R intervalov je spektrálny výkon (PSD), ktorý je ukazovateľom kvantity činnosti celého ANS a pozostáva z 3 frek-

venčných oblastí. Veľmi nízke frekvencie (VLF) sú obrazom termoregulačnej a vazomotorickej aktivity, renin angiotenzínového systému, chemoreceptorov a ďalších doposiaľ neidentifikovaných činností ANS, sú v rozmedzí 0,02–0,04 Hz. Nízke frekvencie (LF) 0,04–0,15 Hz komplexne odrážajú zmiešanú sympato-vagálnu aktivitu sprostredkovanú predovšetkým baroreceptormi. Parasympatickú – vagovú zložku reprezentujú vysoké frekvencie (HF) v rozmedzí 0,15–0,40 Hz (3, 4, 5).

Sila jednotlivých frekvenčných zložiek je vyjadrovaná v absolútnych hodnotách (Power VLF, LF, HF) alebo v percentuálnom pomere (Relative Power VLF, LF, HF) vo vzťahu k celkovej sile (Total Power), ktorá je súhrnom jednotlivých frekvenčných komponentov. Koeficienty variácie jednotlivých zložiek sú dané parametrami CCV VLF, CCV LF a CCV HF (Components of Coefficient Variation). Vzájomný vzťah zložiek je daný pomermi VLF/HF, LF/HF a VLF/LF (6, 8). Pomer LF/HF je indikátorom zmien sympato-vagálnej rovnováhy a rastie s pôsobením stresogénnych faktorov.

V tabuľke 2 sú priemerné hodnoty nameraných parametrov ANS. K vzostupu došlo u parametrov Total Power, Power VLF, Power LF, MSSD, CCV VLF a CCV LF. Štatisticky významný vzostup na hladine významnosti $p < 0,05$ sa prejavil v parametroch Relativ. Power LF a LF/HF.

Tabuľka 2

Namerané hodnoty parametrov VSF v ľahu a v ľahu pri pôsobení EMP

Štatisticky významné rozdiely na hladine $p < 0,05$ sú označené *.

Parametre SA VSF	Ľah	SD	Ľah + EMP	SD	Korelačný koeficient	Priemerné hodnoty pre ľah podľa (6)
Total Power	1818,97	1777,40	1827,22	1601,71	0,87	
Power VLF	179,96	147,25	245,41	248,16	0,50	
Power LF	431,86	470,40	516,29	423,94	0,51	400–1500
Power HF	1207,15	1506,54	1095,47	1253,46	0,92	550–1930
Relativ. Power VLF	14,78	11,28	14,69	8,56	0,61	
Relativ. Power LF	27,00	14,66	32,13*	18,63	0,75	20–80
Relativ. Power HF	58,23	21,43	53,18	21,64	0,79	50–85
MSSD	3024,90	4174,90	3070,09	4105,21	0,94	1500–4000
CCV VLF	1,30	0,52	1,45	0,63	0,56	
CCV LF	1,94	1,03	2,18	1,02	0,63	2,0–3,5
CCVHF	3,01	1,54	2,85	1,25	0,88	2,0–4,0
VLF/HF	0,42	0,57	0,39	0,36	0,64	
LF/HF	0,71	0,78	1,01*	1,17	0,75	0,20–1,35
VLF/LF	0,67	0,56	0,60	0,48	0,48	

Diskusia

Spektrálna analýza variability srdcovej frekvencie je citlivá metóda umožňujúca verifikovať jemné zmeny funkčnej rovnováhy ANS, ktorými organizmus reaguje na rôzne vonkajšie alebo vnútorné podnety. Vyšetrenie môže byť ovplyvnené celým radom rôznych faktorov, ako sú napr. vek, BMI, pohlavie, únava, stres, aktuálny zdravotný stav, telesná teplota, jedlo, kofeín, alkohol, nikotín, teplota prostredia, tlak vzduchu atd. (7). Väčšinu faktorov, ktoré mohli negatívne alebo falošne pozitívne ovplyvniť priebeh vyšetrení, sme sa snažili eliminovať na najnižšiu možnú mieru a vyšetrenie maximálne štandardizovať. Faktory, ktoré nebolo možné vylúčiť, ako napr. teplota prostredia, tlak vzduchu, dĺžka spánku pred vyšetrením, vek, BMI a iné sme podrobili korelačnej analýze vo vzťahu k vyhodnocovaným fázam vyšetrenia T3 a T4. Výsledky sú uvedené v tabuľke 1. Z uvedených korelácií vyplýva, že medzi sledovanými parametrami a fázami vyšetrení T3 a T4 nie je významnejší korelačný rozdiel a teda vyšetrenie nebolo týmito faktormi ovplyvnené.

Vyžarované elektromagnetické pole z vysielacky je prevažne pohlcované v povrchových anatomických štruktúrach (koža, lebečné kosti), kde spôsobuje len mierny lokálny ohrev. V závislosti na frekvencii a výkonovej hustote jeho časť preniká do vnútra lebky a môže priamo ovplyvňovať centrálnu časť ANS veľmi pravdepodobne aktuálnym vzostupom intrakraniálnej teploty. Okrem priameho pôsobenia môže EMP pôsobiť sprostredkované tepelným dráždením povrchových senzitivných častí n. facialis, n. trigeminus, n. vagus, medzi ktorými sú bohaté anastomózy, a touto cestou vyvolať reakcie v hypotalame s následnou reakciou celého ANS.

Pri porušení funkčnej rovnováhy medzi oboma zložkami ANS – sympatikom a parasympatikom, ktorá je za fyziologických podmienok neustále obnovovaná, sa rozvíja stav terminologicky označovaný ako dysfunkcia ANS. Pri závažnej a dlhšie trvajúcej prevahe sympatiku alebo parasympatiku sa môže vegetatívna dysfunkcia prejavovať rôznymi vegetatívnymi symptómami, ktorých obraz je závislý od prevažujúcej komponenty. Pri prevahe sympatiku sa napr. objavujú spazmy ciev, akroparestézie, tachykardia, hypertónia, cefalalgie a i. K obrazu prevahy parasympatiku patria napr. vazoparalýza, hyperhydróza, bradykardia a hypotónia (9). Pri menej závažných poruchách funkčnej rovnováhy ANS hovoríme o vegetatívnej dysbalancii.

Výsledky našich vyšetrení ukazujú, že v dôsledku pôsobenia EMP sa vo fáze T4 objavila zvýšená aktivita sympatiku, ktorá môže byť obrazom stresovej reakcie ANS na vonkajší podnet. O tejto skutočnosti svedčí nielen štatisticky významný vzostup pomeru

LF/HF, ktorý je indikátorom sympato-vagálnej rovnováhy, a relatívny vzostup LF, ale i pokles HF zložky, i keď v našom prípade bez štatistickej významnosti na hladine $p < 0,05$. Štatisticky nevýznamné zmeny HF zložky boli veľmi pravdepodobne dôsledkom zvýšenej vagotónie, ktorá sa prejavovala u 4 respondentov.

Napriek tomu, že pri vyšetreniach došlo k sympatikotónii, nezaznamenali sme žiadne objektívne známky neurovegetatívnej dystónie a žiadny z respondentov po vyšetrení neuviedol negatívne pocity vo fáze pôsobenia EMP. Tento zdanlivý paradox je možné vysvetliť tým, že zmeny jednotlivých parametrov SA VSF sa odohrávali v rozpätí širšej normy, ktorá bola v našich podmienkach stanovená pri vyšetreniach kontrolnej skupiny, ktorú tvorilo 50 zdravých mužov vo veku 20–39 rokov (6).

V posledných 5 minútach vyšetrenia vo fáze T5 v ľahu po vypnutí EMP dochádzalo k postupnému návratu sledovaných parametrov na úroveň fáze T1 alebo T3. Tieto výsledky neboli zahrnuté do štatistického spracovania z dôvodu ich nehomogenity.

Z uvedeného vyplýva, že stresová reakcia reprezentovaná ľahkou sympatikotóniou bola krátkodobá a trvala len počas pôsobenia EMP. Úprava sledovaných parametrov ANS vo fáze T5 na približne východzie hodnoty môže svedčiť pre reverzibilné tepelné účinky EMP.

U leteckých technikov sa do určitej miery dá teoreticky očakávať adaptačná reakcia na pôsobenie rizikových faktorov pracovného prostredia, v tomto prípade hluk a EMP, ktorá by čiastočne mohla vysvetliť, prečo sa významnejšie neprejavili známky sympatikotónie, resp. stresovej reakcie. Existencia adaptácie na EMP však doposiaľ nebola uspokojivo overená.

Záver

Pri pôsobení elektromagnetických polí v pásme veľmi vysokých frekvencií na autonómny nervový systém u leteckých technikov, ktoré sme sledovali pri vyšetreniach spektrálnej analýzy variability srdcovej frekvencie, došlo k prejavom ľahkej stresovej reakcie (sympatikotónie) bez objektívnej verifikácie vegetatívnej symptomatológie. Spektrálna analýza variability srdcovej frekvencie je citlivou metódou, pomocou ktorej sa pri dodržaní štandardných podmienok dajú verifikovať vplyvy vonkajších fak-

torov pracovného prostredia vrátane pôsobenia EMP. Výsledky našich zistení nie je možné vzhľadom k špecifícite zdrojov a okolností zovšeobecniť na všetky bežne používané zdroje EMP v pásme vvf. Vyvolanie stresovej reakcie, ku ktorej pravdepodobne došlo pôsobením EMP, je potrebné objektívne overiť i na iných populačných skupinách a ďalších zdrojoch EMP s rôznou výkonovou hustotou a frekvenciou. Vzhľadom k zistenému možnému stresogénnemu pôsobeniu EMP vvf je vhodné citlivo posudzovať zaradovanie osôb s kľudovou sympatikotóniou na rizikové pracoviská s EMP, čím je možné predchádzať zvyšovaniu rizika vzniku kardiovaskulárnych ochorení.

Literatúra

1. KRAHULEC, B.: Význam a možnosti vyšetřování autonómneho nervového systému u pacientov s diabetes mellitus. Časť 1., 2. *Nonivas. Cardiology*, 1995, č. 3, s. 154–164; 165–173.
2. JAVORKA, K. Metódy a prínosy vyšetřování regulácie frekvencie srdca u detí. *Čs. Pediat.*, 1996, roč. 51, č. 8, s. 462–468.
3. OPAVSKÝ, J. – SALINGER, J. Vyšetřovací metody funkci autonómni nervové soustavy – přehled pro potřeby klinické praxe. *Nonivas. Cardiol.*, 1995, č. 3, s. 139–153.
4. JAVORKA, K., et al. Heart rate variability and physical fitness in children and adolescents with diabetes mellitus type 1. *Int. J. Adolesc. Med. Health*, 2001, vol. 13, no. 4, p. 297–309.
5. KALISKÁ, G. – KMEČ, P. Testovanie autonómneho nervového systému pri stratifikovaní chorých ohrozených náhlou srdcovou smrťou. *Bratisl. lek. Listy*, 1996, roč. 97, č. 8, s. 473–478.
6. LACKO, A., et al. Neinvazívna diagnostika kardiovaskulárnych ochorení. Liptovský Mikuláš, Vojenská akadémia, 2001. 211 s.
7. OLEXA, P., et al. Dysfunkcia autonómneho nervového systému – patofyziologické aspekty a jej význam v klinickej kardiológii. *Cardiol.*, 2000, roč. 9, č. 4, s. 222–230.
8. MALIK, M., et al. Heart Rate Variability. *Eur. Heart J.*, 1996, vol. 17, p. 354–381.
9. BARTKO, D. *Neurológia*. Bratislava, Osveta, 1985. 661 s.

Korespondence: Plk. MUDr. Oto Osina

Oddelenie klinického pracovného lekárstva a toxikológie
Ústredná vojenská nemocnica SNP
Ul. gen. M. Vesela 21
034 26 Ružomberok
e-mail: osina@uvn.sk

Do redakcie došlo 8. 10. 2002