

362.11:616-074:331.1

PŮSOBNÍ MIKROVLN

Podplukovník MUDr. Antonín MALÝ

Teoretický objev elektromagnetických vln, které se šíří rychlostí světla, patří k jednomu z největších úspěchů v dějinách vědy.

Když v roce 1888 Heinrich Hertz dokázal existenci elektromagnetických vln experimentálně, nevěřil příliš v jejich širší praktické uplatnění. Dnes si už bez jejich využití nedovedeme moderní společnost představit. Tím méně armádu dnešního typu. Z celého širokého spektra elektromagnetických vln si naši pozornost zaslouží část nazývaná mikrovlny, protože v tomto rozsahu pracuje technika, kterou je vybavena naše armáda — především radiolokátory.

Fyzikální vlastnosti mikrovln

Mikrovlnami nazýváme část spektra elektromagnetických vln, pohybujících se v rozsahu kmitočtu od 300 megahertzů do 300 gigahertzů, majících vlnovou délku od jednoho metru do jednoho milimetru. Ve volném prostoru se šíří rychlostí světla, ohýbají se, lámou, rozptylují a jsou polarizovány. Jsou charakterizovány velikostí svých složek — elektrické a magnetické, které jsou navzájem kolmé a obě jsou zároveň kolmé ke směru šíření podle sinusoidy. Sinusoida je tvořena z částí, které se periodicky opakují — proto název perioda, cykl, kmit. Počet kmitů za vteřinu udává kmitočet neboli frekvenci. Měří se v hertzech ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ kmit za vt.}$). Délka kmitu se rovná délce vlny. Velikost kmitů se nazývá amplituda. Mají-li dva sinusoidní průběhy téhož kmitočtu ve stejném okamžiku maximum i minimum, říkáme, že jsou ve fázi.

Během provozu mikrovlnné techniky se ně-

terý z těchto základních parametrů (kmitočet, fáze, amplituda) může rytmicky měnit. Nejzávažnější je modulace amplitudová. Zůstává-li po celou dobu činnosti přístroje (od zapnutí až do vypnutí) amplituda konstantní, jde o nepřerušovaný, stálý provoz.

Zvláštní případ této modulace, typický právě pro radiolokátory, je modulace pulsní. Cyklus pulsní modulace se mezi zapnutím a vypnutím přístroje automaticky opakuje. Okamžitý vyzářený výkon může být velmi vysoký, i když střední předaný výkon za jednotku času bude poměrně malý.

Intenzitu mikrovln vyjadřujeme pojmem výkonová hustota a udáváme ji v mikrowatech na centimetr čtverečný.

Biologické účinky mikrovln

Při dopadu záření na organismus se část energie odrazí, část absorbuje, zbytek projde. Celkové množství, které se pohltí, závisí na řadě faktorů. Frekvenci, intenzitě pole, době expozice, způsobu ozařování (pulsně nebo kontinuálně), pevné nebo pohybující se zářiče apod. Záleží i na fyzikálně chemických vlastnostech organismu, jeho rozměrech, charakteru povrchu (oděv), síle kůže, tukové vrstvy, obsahu vody. Vliv má i okamžitý stav organismu, event. současné působení jiných škodlivých faktorů.

Absorpce je hlavní, ale ne jediný způsob předání energie organismu. Je též možnost na indukovaného napětí na elektricky vodivých drahách (cévy, nervy). Dále rozměrová rezonance a stojaté vlny. Rozměrová rezonance při-

padá v úvahu tam, kde vlnová délka je srovnatelná s rozměry makromolekul. Stojaté vlnění vzniká, když část objektu, kam vlnění dopadá, odpovídá rozměrově vlnové délce nebo násobkům její poloviny. Část energie se tedy v organismu pohlcuje a přeměňuje v teplo. Mluví se o tepelném účinku elektromagnetického záření. Dochází k orientaci molekul, majících dipól, které se začnou v elektromagnetickém poli pohybovat, dojde ke tření a vznikne teplo. Množství tepla závisí na dielektrické konstantě, která je pro různé tkáně různá, na vzdálenosti od povrchu, obsahu vody, přítomnosti vodivých systémů s možností vzniku naindukovaného napětí, na množství vzniku stojatých vln a rezonance.

Tepelný účín závisí i na dipolaritě vody. Například v krvi vzniká teplo z 80 % na tomto podkladě a ze 20 % na podkladě iontové vodivosti. Tkáně bohaté na vodu se více oteplují. Fascie a kosti, které jsou schopny odrazů, se ohřívají vznikem stojatých vln.

Člověk má výborný termoregulační systém, zejména krevní oběh. Prokrvené orgány jsou proto ve výhodě.

Poněvadž tepelné účinky rostou s frekvencí záření, jsou nejzávažnější právě u mikrovln.

Netepelný efekt je způsoben vznikáním energie cestou elektromagnetické indukce. Vznikají iontové proudy. Jejich vlivem dojde ke změně biologických vlastností buněk — změně permeability membrán, změně potenciálu a dráždivosti. Orientace a kmitání dipólů má kromě tepelného efektu za následek i jejich řetězení, vedoucí ke shlukování koloidů (tuk, lymfa), tvorbě makromolekul. Zároveň však z řečeného vyplývá, že nelze ostře oddělovat tepelný a netepelný účinek, protože každý biologický systém elektricky nabitý částice obsahuje (iony, molekuly s dipólem, koloidy) a ty ve střídavém poli vždy vykonávají pohyb provázený vznikem tepla.

Netepelné jevy jsou určeny převážně okamžitou amplitudou záření. Jejich význam stoupá při opakovaném ozařování poměrně malými intenzitami, zvl. při ozařování pulsními poli, při nichž je celkový předaný výkon poměrně malý, ale okamžitá amplituda značně velká — jak je tomu při provozu radiolokátoru.

Vliv na lidský organismus

Na člověka působí mikrovlny škodlivě jak při jednorázovém ozařování silným svazkem vln, tak při soustavném pulsním ozařování malými intenzitami.

Pokud se týká prvního případu — ozařování silným svazkem vln při nehodách — je bezpečně prokázáno poškození čočky oka, které podle některých autorů začíná charakteristickými změnami na zadní straně pouzdra a později se vyvinou i změny v jádru čočky ve smyslu katarakty. Dále je popsán případ úmrtí člověka, který se pohyboval v primárním svazku paprsků radaru. Za několik vteřin měl po-

cit horka v břiše, vyvinul se obraz náhlé příhody břišní. Při laparotomii byla nalezena aseptická hemorrhagická peritonitida. Pacient zemřel na perforaci ilea. Autor se domnívá, že došlo následkem přehřátí k denaturaci bílkovin mukózy a poruše stěny střevní. Při jednorázovém ozařování vyššími dávkami (nad 10 až 15 mW/cm²) se snadno překročí termoregulační schopnost organismu a uplatní se tepelný efekt.

Při opakovaném působení záření pod 10 mW na cm² dochází k adaptaci organismu a změny vznikají bez tepelného efektu. Z hlediska citlivosti jednotlivých částí těla platí toto pořadí:

- hlava, zejména oči
- trup, zejména pohlavní orgány
- končetiny.

U pracovníků v riziku mikrovln se při pokračování maximálně přípustných hodnot zjišťují hlavně příznaky nervové. Sovětští autoři označují pět klinických syndromů:

1. Vegetativní syndrom — je nejlehčí. Projevuje se zvýšenou vegetativní labilitou, zvýšeným dermografismem. Jsou projevy vagotonie s bradykardií, hypotenze. Laboratorně se zjišťuje zvýšení gama globulinů.

2. Astenický syndrom provázený únavou, cefaleou, nespavostí v noci, spavostí ve dne. Laboratorně se nachází tendence k leukocytóze, jindy k leukopenii.

3. Astenovegetativní syndrom s projevy angiospastickými (bolesti hlavy a u srdce, nestejná šíře cév na očním pozadí, změny na pletyzmogramu). Na EKG byly prokázány změny vodivosti, byly registrovány změny na EEG. Je popisována i přechodná alopecie a trofické změny na nehtech.

4. Angiodystrofický syndrom vede ke snížení adaptability. Dochází k vystupňování předchozích obtíží, zvláště bolesti hlavy, poruch paměti, nemožnosti koncentrace. Je tendence k hypertenzi. Z laboratorních změn lze registrovat leukopenii a trombocytopenii.

5. Diencefalický syndrom — charakterizovaný paroxysmy, trvajících až desítky minut a projevujících se bolestmi hlavy, mráкотnými stavy až krátkodobým bezvědomím.

Dochází ke zvýšení tlaku, můžeme pozorovat bledost pokožky, pocení. Někdy je stav provázen horečkou a obtížemi zažívacími. Záchvat končí celkovou slabostí.

Z laboratorních nálezů dominují u tohoto obrazu změny EEG.

Pro běžnou praxi lze rozlišit tři stadia změn v centrální nervové soustavě vyvolaných vlivem mikrovln:

1. Neurovegetativní syndrom s funkcionálními poruchami, převážně vegetativními (vagotonie, bradykardie, hypotenze, vegetativní labilita, píchání u srdce, vazospastické krize periferních cév, změny cév na očním pozadí).

2. Pseudoneurastenický syndrom s pocitem únavy, s ospalostí, bolestmi hlavy, celkovou slabostí, nervozitou, pocením, palpitacemi. Při přerušení expozice obtíže vymizí.

3. Organické symptomy pyramidové, extra-pyramidové, cerebelární a vestibulární jako přechod k encefalopatii. Tyto stavy jsou provázány změnami na EEG (známky snížené vigility, projevy spánkové aktivity a epizodické abnormity).

Vedle očí a nervové soustavy jsou nejcitlivější na mikrovlnné záření pohlavní orgány. Američtí autoři popisují postižení 37letého pracovníka, který 10 let pracoval jako opravář radaru v prostředí, kde výkonová hustota 3 000krát převyšovala normu. Ochranný oděv nepoužíval. Pacient trpěl impotencí a při histologickém vyšetření testes byla nalezena tubulární atrofie s fokální nekrózou a intersticiálním edémem. Hypospermie trvala ještě rok po vyřazení z rizika.

U žen se uvádějí poruchy menstruačního cyklu.

Pokud se týká vlivu na oběhový systém, jsou popisovány změny průtoku krve s následnými změnami tlaku krevního (nejprve mírný vzestup, potom pokles). Popisované změny na EKG (změny vodivosti především v Hisově svazku) v našich podmínkách nebyly pozorovány. Ani rozdíl mezi exponovanými pracovníky a normální populací.

Někteří pozorovali u exponovaných osob úbytek červených krvinek, zvýšení leukocytů i lymfocytů. Uvádí se i snížení trombocytů. Sovětští autoři dále popisují zvýšení funkce štítné žlázy u exponovaných žen.

Biochemické změny zjištěné v experimentu se v praxi při sledování rizikových pracovníků neprokázaly, nebo ne dostatečně průkazně. Týká se to hodnot glykemické křivky, bílkovinného spektra, obsahu kyslíčnicku uhličitého, kyseliny mléčné, cholesterolu, lipidů v séru aj.

Někteří naši autoři se zaměřili na sledování hladiny kyseliny mléčné a pyrohroznové, sledovali i hladinu kreatininu, ale ani zde nebyly výsledky přesvědčivé.

V současné době nejsou k dispozici žádné vyšetřovací metody, které by specificky odhalovaly orgánové postižení způsobené mikrovlnným zářením.

I řada subjektivních obtíží neurastenického původu v našich podmínkách má mnohdy u techniků pracujících v riziku mikrovln jiný původ. A podle průzkumů, jež konal v roce 1968 Plhák, se významně neliší od ostatních skupin vojáků z povolání.

Léčení

Na našich ambulancích se setkáváme v nejhorším případě s projevy pseudoneurastenickeho syndromu u techniků radiolokátorů. Jedinou příčinou není mnohdy negativní vliv mikrovln, ale podílí se i vyčerpání při překračování pracovní doby, nedodržování hygienického režimu dne a jiné zevní faktory.

Zlepšení dosahujeme dočasným přerušením

expozice, nejlépe formou domácího léčení, u těžších forem krátkodobou hospitalizací s následným pobytem v lázních.

Léčení medikamentózní je symptomatické.

Preventivní opatření

Preventivní opatření můžeme rozdělit do dvou skupin. Především je to realizace hygienických požadavků. Patří sem stavebně technické úpravy, rozmístění zdrojů záření, školení pracovníků, vybavení ochrannými pomůckami, pravidelné provádění měření a hodnocení pracovišť a řada dalších opatření tohoto druhu.

Mělo by být samozřejmé, že při pobytu v elektromagnetickém poli, při provozu radiolokátorů se dodržují normy platné v ČSLA.

Druhá oblast preventivních zásahů patří do sféry léčebně preventivních opatření.

Počíná výběrem osob k práci se zdroji mikrovln. K trvalé práci s nimi nesmějí být připuštěny osoby trpící nemocemi krve, organickými nemocemi nervové soustavy, zvláště záchvatovými, těžšími neurózami s vegetativní labilitou, význačnějším diencefalickým syndromem, těžšími psychopatiemi a endokrinními chorobami. Dále osoby s onemocněním očí (katarakta, retinitidy, jednostranná slepota), osoby s kovovým materiálem v těle, s výjimkou zubních protéz, s chronickým onemocněním s přetížením cirkulačního aparátu. Konečně mladiství do 18 let, těhotné ženy a ženy do jednoho roku po porodu.

Všechny osoby, které vzhledem ke svému funkčnímu zařazení pracují trvale v hygienicky závažném poli elektromagnetického záření, především technici radiolokátorů, jsou povinny se podrobit předepsaným pracovním lékařským vyšetřením. Provádí je příslušná pracovní lékařská stanice spádové vojenské nemocnice. U ostatních příslušníků útvaru, kteří nepracují trvale v hygienicky závažném poli záření (operátoři, obsluhy agregátů a podobně), ale mohou být náhodně vystaveni vlivu záření, provádí prohlídku Hlavní (závodní) lékař nejméně jedenkrát ročně. Jen v případě potřeby (podezření z poškození mikrovlnným zářením, rozpaky při výběru) odesílá k odbornému pracovnímu lékařskému vyšetření do vojenské nemocnice.

Hlavní lékař navrhuje veliteli opatření vyplývající z výsledků pracovních lékařských prohlídek, v indikovaných případech přechodné nebo trvalé přeřazení postiženého pracovníka.

Účinnost prevence při ochraně pracovníků v riziku mikrovlnného záření závisí od úzké spolupráce velitelských, technických a zdravotnických orgánů.

I když zatím v naší armádě nedošlo k vážným poškozením vlivem mikrovln, nutno věnovat i této problematice náležitou pozornost

už proto, že nejen v armádě, ale i v civilním životě se stále ve větší míře používá techniky pracující s elektromagnetickým zářením v nej-
různějších pracovních oborech.

Literatura

1. Bartoníček a spol.: Některé biochemické změny u pracujících s centimetrovými vlnami. Čas. Lék. čes., 103, 1964, č. 1, s. 26—30.
2. Einstein - Infeld: Fysika jako dobrodružství poznání.
3. Hoeft a spol.: A Study of the critical Exposure variables for Man and experimental Animal. Aerospace Medicine, 36, 1965, s. 621—622.
4. Hůzl, F. a kolektiv: Choroby z povolání a další vybrané kapitoly z pracovního lékařství.
5. Marha: Elektromagnetická pole a životní prostředí.
6. Pazderová: Vliv elektromagnetického záření cm a m na zdraví člověka. Pracovní lékařství, 10, 1968, s. 448.
7. Plhák a spol.: Riziko mikrovlnného záření se zaměřením na preventivní prohlídky techniků radiolokátorů. Voj. zdrav. Listy, 1969, č. 1.
8. Sbírka nařízení a směrnic MNO č. 9 z roku 1969.
9. Slepíčka a spol.: Vliv elektromagnetického záření o vlnové délce řádu m na pracovníky krátkovlnného vysílače. Prac. Lék., 19, 1967, č. 1, s. 5—11.