

## HEMATOLOŠKE PROMJENE U RADNIKA IZLOŽENIH RADIOVALNOM ZRAČENJU

V. Budinščak<sup>1</sup>, J. Goldoni<sup>2</sup> i M. Šarić<sup>2</sup>

Dom zdravlja Jastrebarsko<sup>1</sup>, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb<sup>2</sup>

Primljeno 24. VII. 1991.

Tijekom četiri uzastopne godine praćene su vrijednosti hematoloških parametara 43-ju radnika Oblasne kontrole leta, profesionalno izloženih mikrovalnom zračenju uglavnom slaba intenziteta (nekoliko desetaka  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , a na nekoliko radnih mjesta 0,5, 1,5 te 10 i 20  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ). Ocijenjeni su i ostali faktori radne okoline o kojima ovise učinci radiovalnog zračenja, kao što su izloženost toplini, intenzitet mekog X-zračenja i buka, koji su bili u granicama dopuštenih vrijednosti. Od hematoloških promjena uočeno je značajno opadanje broja eritrocita, retikulocita, trombocita, segmentiranih granulocita i monocita te porast broja leukocita i limfocita. Nabrojene hematološke promjene, iako statistički značajne, nisu predstavljale jasno oštećenje zdravlja niti opasnost za zdravlje. Uglavnom se radilo o reverzibilnim promjenama.

*Cljučne riječi:* hematološki parametri, mikrovalno zračenje, profesionalna izloženost, radari, radna okolina.

Danas je od velikog značenja ispitivanje utjecaja neionizirajućeg zračenja na ljudski organizam, ponajprije mikrovalnog (MV) i radiofrekventnog (RF), jer je prisutan sve veći broj izvora tog zračenja u industriji i kućanstvima. Glavni izvori zračenja te vrste su radarske instalacije, radijska i televizijska mreža, telekomunikacijska postrojenja, mikrovalne peći, koje se danas koriste i u kućanstvima te medicinski aparati za fizikalnu terapiju. Iz SAD upozoravaju: ako se u skoroj budućnosti ne uvedu odgovarajući programi praćenja i metode kontrole, čovječanstvo će ući u eru »elektromagnetskog onečišćenja«, koja je usporediva s danas postojećim kemijskim onečišćenjem (1).

RF i MV zračenje dio je elektromagnetskog spektra, koji obuhvaća frekvencije od 100 kHz do 300 MHz, odnosno od 300 MHz do 300 GHz, valne duljine od 3 km do 1 m te od 1 m do 1 mm. Elektromagnetski valovi, šireći se kroz biološki medij, reagiraju s njim te dolazi do prijenosa energije, što rezultira oslabljenjem upadajućeg polja i porastom

kinetičke energije molekula medija, tj. zagrijavanjem. Stupanj oslabljenja elektromagnetskog polja ovisi o električnim osobinama medija i frekvenciji upadajućeg polja.

Između utvrđenih učinaka u biološkim sustavima najvažniji je razvoj topline, ali moguće je i direktno djelovanje elektromagnetskog polja na membrane, biopolimere i biološke tekućine. Za posljednju tvrdnju govori nemogućnost objašnjenja svih učinaka RF i MV zračenja biofizikalnim mehanizmom apsorpcije energije i njezine pretvorbe u toplinu. Apsorpcija energije zračenja u živom organizmu, koju prati direktna interakcija s biofizikalnim ili biokemijskim procesima, može se definirati kao primarno djelovanje. Promjene u strukturi i funkciji biološkog sustava, koje nastaju kao rezultat primarne reakcije, smatraju se biološkim učinkom zračenja. Neposredni biološki učinci, nastajući na mjestu primarne interakcije, mogu inducirati daljnje indirektno promjene, i akutne i kronične. Prilikom analiziranja podataka o učincima potrebno je imati na umu ovaj slijed događaja: fizikalno djelovanje, koje prati fiziološka reakcija, lokalna i generalizirana, i neposredni i zakasneli biološki učinci. Često aktiviranje mehanizama adaptacije može dovesti do njihova iscrpljenja, i to klasičnim slijedom događaja: stres, adaptacija, iscrpljenost. Zbog toga se učinci jednokratne i ponavljane izloženosti moraju razmatrati odvojeno, čak i kad se radi o izloženosti pod identičnim uvjetima (1, 2).

Rezultati dobiveni istraživanjima reakcije hematopoetskog sustava na izloženost MV i RF zračenju su različiti. Neki autori smatraju da ni akutna ni kronična izloženost ne utječe značajno na hematopoezu, dok većina opisuje različite patološke promjene u perifernoj krvnoj slici prilikom izlaganja MV i RF zračenju. Veći dio kliničkih i epidemioloških studija o učincima neionizirajućeg zračenja dolazi iz SSSR-a. U prošlosti su SSSR i druge istočne zemlje usmjerile svoje istraživačke napore na učinke dugotrajne izloženosti životinja i ljudi zračenjima slaba intenziteta, dok su na drugoj strani istraživanja na zapadu bila zaokupljena, sve donedavno, mogućim štetnim učincima elektromagnetskih polja neionizirajućeg zračenja dovoljnog intenziteta u smislu lokalne ili generalizirane hipertermije. Brojni autori upozoravaju da MV zračenje može uzrokovati promjene u perifernoj krvi i hematopoetskom sustavu (2-9). Većina radova podržava stav da su hematološki učinci izloženosti mikrovalovima ponajprije odgovor na promijenjeni toplinski gradijent ili hipertermiju (8, 10, 11). Međutim, neki istraživači opisuju hematološke promjene u ljudi i pokusnih životinja, koji su izloženi MV zračenju intenziteta koji ne proizvode zamjetljiv toplinski učinak (3-6, 9).

Cilj ovog rada bio je utvrditi u skupini radnika profesionalno izloženih MV zračenju slabog intenziteta, longitudinalno praćenoj tijekom razdoblja od četiri godine, eventualno postojanje značajnih hematoloških promjena, koje bi upućivale na učinak spomenutog zračenja. Ujedno smo željeli ocijeniti da li su potencijalno utvrđene promjene reverzibilne ili predstavljaju već nastalo oštećenje zdravlja te pridonijeti odabiru hematoloških parametara značajnih za procjenu eventualnog oštećenja od mikrovalnog i radiofrekventnog zračenja.

## ISPITANICI I METODE

Ispitanike je činila skupina od 43 radnika Oblasne kontrole leta Zagreb (u daljnjem tekstu OKL skupina). Radnici su bili prosječne životne dobi od 38,7 godina (od 24 do 57 godina) s prosječnim trajanjem profesionalne izloženosti od 12,2 godine (od 1 do 23 godine). Većina ih ima srednju stručnu spremu elektrotehničkog smjera. Rade u smjenama i to 12 sati dežurstva, 24 sata odmora, a povremeno zbog intervencija na uređajima odlaze i na teren. Socijalni status i radni uvjeti unutar skupine su ujednačeni. Radnici su izloženi MV zračenju frekvencije od 1300 do 1350 MHz kod nadzornog i terminalnog radara, te 9100 MHz kod prilaznog radara. Gustoća snage mikrovalne energije u radnoj okolini i na radnim mjestima iznosi nekoliko desetaka  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , a na nekoliko mjesta mjerenja iznosi 0,4–1,5 te 10 i 20  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . Točno trajanje izloženosti tijekom radnog vremena nije bilo moguće ustanoviti budući da se radnici kreću s jednog na drugo mjesto rada.

Gustoća snage MV i RF zračenja mjerena je instrumentom Raham 4A, kojemu je opseg osjetljivosti od 1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  do 20  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , a frekventno područje od 200 kHz do 26 GHz. Mjerenje je izvršeno na raznim udaljenostima od izvora zračenja. Instrumentom Ro-5A mjereno je i intenzitet mekog X-zračenja, koje je na svim radnim mjestima bilo unutar dopuštenih vrijednosti.

Budući da učinci MV i RF zračenja ovise i o toplinskoj okolini, mjerena je temperatura, vlaga i brzina strujanja zraka. Izloženost toplini je ocijenjena na temelju toplinskih indeksa, i to efektivne temperature i Belding-Hatch indeksa. Pregledani radnici rade u zoni toplinskog komfora u odnosu na svoju vrstu posla. Izloženost buci nije bila veća od maksimalno dopuštene za navedenu vrstu djelatnosti.

Krv je vadena na standardni način, a nalaz hematoloških pretraga dobiven je aparatom Coulter Counter, model S Plus, analizom venske krvi. Pretrage periferne krvi na broj eritrocita, retikulocita, trombocita, leukocita i diferencijalnu krvnu sliku učinjene su kod svih ispitanika u okviru šireg sistematskog pregleda, koji je obuhvaćao detaljnu osobnu, obiteljsku i radnu anamnezu, fizikalni pregled, laboratorijske pretrage krvi, kariogram, okulistički i ORL pregled, audiometriju, EEG, psihologijsko testiranje, EKG, mjerenje tlaka, ergometriju (Astrandov test) i kapilaroskopiju (12). Ni kod jednog ispitanika nije dobiven podatak o bolesti odnosno medikamentnoj terapiji koja bi djelovala na krvnu sliku.

U statističkoj obradi podataka značajnost promjena u broju pojedinih krvnih stanica tijekom četverogodišnjeg razdoblja testirana je jednosmjernom analizom varijance za ponavljana mjerenja.

## REZULTATI

Kretanje broja eritrocita, retikulocita i trombocita, odnosno leukocita te segmentiranih granulocita, limfocita i monocita u promatranom razdoblju od četiri godine prikazano je na tablici. Jednosmjernom analizom varijance za ponavljana mjerenja uočeno je značajno opadanje broja eritrocita, retikulocita, segmentiranih

Tablica  
Kretanje broja krvnih stanica u ispitanika OKL skupine (n=43)

Krvne stanice	Godina						
	1984.	1985.	1986.	1987.			
Eritrociti (x 10 <sup>12/L</sup> )	$\bar{X}$	5,01	4,83	4,73	4,67	F	9,02
	SD	0,43	0,50	0,55	0,39	DF	3,126
						P	<0,001
Retikulociti (x 10 <sup>3</sup> )	$\bar{X}$	15,95	13,37	8,74	10,39	F	9,66
	SD	9,91	8,53	3,69	5,55	DF	3,126
						P	<0,001
Trombociti (x 10 <sup>9/L</sup> )	$\bar{X}$	256,67	210,21	199,69	205,98	F	28,37
	SD	72,67	54,18	49,66	55,11	DF	3,126
						P	<0,001
Leukociti (x 10 <sup>9/L</sup> )	$\bar{X}$	6,274	6,733	7,419	6,749	F	5,31
	SD	2,28	1,68	2,58	2,17	DF	3,126
						P	<0,001
Segmentirani granulociti (%)	$\bar{X}$	61,51	58,93	56,63	61,47	F	3,53
	SD	9,22	9,28	8,76	9,89	DF	3,126
						P	<0,005
Limfociti (%)	$\bar{X}$	29,88	34,35	35,07	30,19	F	4,47
	SD	8,87	9,64	9,68	9,74	DF	3,126
						P	<0,001

granulocita i monocita, dok ukupan broj leukocita i postotak limfocita u leukogramu rastu u promatranom četverogodišnjem razdoblju. Međutim, stalnu tendenciju prema nižim vrijednostima u tom razdoblju pokazuju samo eritrociti i monociti, dok se vrijednosti retikulocita, trombocita i segmentiranih granulocita zadnje promatrane godine vraćaju prema vrijednostima prve i druge godine. Isto tako se leukociti i limfociti četvrte godine vraćaju na vrijednosti prve odnosno druge godine promatranog razdoblja.

#### RASPRAVA

Iz dosadašnjih eksperimentalnih radova vidi se da je hematološki sustav osjetljiv na neionizirajuće zračenje (2–9, 13–15). U većini izvještaja toplinski je učinak neionizirajućeg zračenja na opažene promjene očit. Porast tjelesne temperature i hematološke promjene direktno su povezani u više radova (1, 2, 8, 10, 11). Opažene promjene moguće je objasniti toplinskim stresom izazvanim neionizirajućim elektromagnetskim zračenjem.

Druge opažene promjene teško se mogu objasniti toplinskim stresom, jer se kod izloženosti zračenju slabijeg intenziteta ne bilježi porast tjelesne temperature (3–6, 9). U radovima u kojima su uspoređeni toplinski učinci mikrovalova s učincima toplinskog

stresa, koji nije uzrokovan tim zračenjem, uočene su kvalitativne i kvantitativne razlike u odgovoru hematopoetsko-retikuloendotelnog sustava u sisavaca (2, 16). Poznato je da neionizirajuće zračenje može djelovati i prouzročiti promjene u nervnom tkivu na razini membrana (17), ali takvih jasnih podataka za krvne stanice nema, što ne isključuje mogućnost takvog djelovanja.

Najveća poteškoća u interpretaciji rezultata epidemioloških studija proizlazi iz činjenice da je kvantificiranje profesionalne izloženosti izuzetno teško (trajanje izloženosti i razina gustoće snage), posebno kada su osobe tijekom izloženosti pokretne (18 – 20).

Iako se ne nailazi na porast tjelesne temperature kod izloženosti valovima slabijeg intenziteta, ovo zračenje može inducirati »vruće« točke na kritičnim lokacijama u organizmu (imunološki i hematopoetski sustav, mozak), koje mogu utjecati na rezultate ispitivanja (12, 21). Pri interpretaciji rezultata istraživanja treba imati na umu da zamjetljivi biološki učinci ne moraju biti ujedno opasni za zdravlje. To ovisi o osobinama izloženih subjekata, a posebno o tome da li su nastale promjene unutar ili premašuju granice kompenzacijskih sposobnosti subjekata korištenjem jednog ili više fizioloških sustava za održavanje homeostaze (2, 18, 21).

Laboratorijska ispitivanja su pokazala da su među krvnim stanicama trombociti mnogo osjetljiviji i labilniji od eritrocita. Trombocite oštećuje stres manje jačine nego stres koji oštećuje eritrocite, pa se trombociti mogu smatrati mnogo osjetljivijim pokazateljem mogućih učinaka mikrovalnog zračenja na krvne stanice (22). Ispitivanjima eritrocita izloženih mikrovalovima i konvencionalnom zagrijavanju uočeno je da se učinci mikrovalova mogu pripisati toplinskom djelovanju na stabilnost i/ili permeabilnost membrane eritrocita (23, 24).

U ovom radu praćeno je kretanje broja pojedinih krvnih stanica u 43 radnika OKL skupine profesionalno izloženih MV i RF zračenju pretežno slabijeg intenziteta tijekom četiri uzastopne godine. Budući da učinci ovog zračenja ovise i o toplinskoj okolini, izloženost toplini je ocijenjena na temelju toplinskih indeksa, i to efektivne temperature i Belding-Hatch indeksa. Pregledani radnici rade u zoni toplinskog komfora u odnosu na svoju vrstu posla.

Mjerenjem je također utvrđeno da je intenzitet mekog X-zračenja na svim radnim mjestima bio unutar dopuštenih vrijednosti. Anamnestički ni kod jednog ispitanika nije dobiven podatak o bolesti odnosno medikamentnoj terapiji i dijagnostičkom postupku, koji bi imali odraza na krvnu sliku. Rezultati praćenja broja krvnih stanica u izloženih radnika OKL skupine pokazuju da se određene promjene u krvnoj slici pod utjecajem MV i RF zračenja mogu očekivati. Međutim, te promjene su očito reverzibilne i u pregledanih radnika nisu bile opasne za zdravlje niti značile jasno oštećenje zdravlja. Uočene promjene u perifernoj krvi u skladu su s ranije opisanim promjenama (1, 2, 8) koje, istražujući kliničke manifestacije oštećenja mikrovalnim zračenjem suptermičkog intenziteta, navode sovjetski kliničari Kolesnik, Gordon i Sadčikova u svom opisu kliničkog sindroma oštećenja MV zračenjem.

U razdoblju od četiri godine pojedine varijable postupno su se poboljšale zbog nabave zaštitnih odijela, koja su značajno smanjila incidentalnu vrlo visoku izloženost prilikom popravka radarskih sustava. Ograničen broj informacija dobiven je praćenjem

ljudi direktno izloženih, profesionalno ili eksperimentalno, mikrovalnom zračenju. Većina podataka o mogućim štetnim učincima tog zračenja zasniva se na proučavanju odvojenih stanica, jednostavnih organizama, životinja i modela, tako da kod pokušaja ekstrapolacije tih rezultata na čovjeka nastaju nepremostive poteškoće.

Evidentno je da su hematološki i imunološki sustav osjetljivi na neionizirajuće zračenje. Budući da su učinci dugotrajne izloženosti zračenju slabijeg intenziteta na ove sustave nepotpuno razumljivi, potrebno je njihovo daljnje proučavanje.

#### LITERATURA

1. *World Health Organization*: Radiofrequency and microwaves. Environmental Health Criteria, No. 16, Geneva 1981.
2. *World Health Organization*: Nonionizing radiation protection. Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe, WHO Regional Publication European Series. No. 10, 1982;97-174.
3. *Baranski S, Czerski P*. Investigations of the behaviour of corpuscular blood constituents in persons exposed to microwaves. *Lekarz Wojskowy* 1966;42:903-8.
4. *Baranski S*. Effect of chronic microwave irradiation on the blood forming system of guinea pigs and rabbits. *Aerospace Medicine* 1971;42:1196-9.
5. *Baranski S*. Effect of microwaves on the reactions of the white blood cells system. *Acta Physiol Polonica* 1972;23:619-29.
6. *Czerski P*. Microwave effects on the blood-forming system with particular reference to the lymphocyte. *Ann N Y Acad Sci* 1975;247:233-42.
7. *Smialowicz RJ, Weil CM, Kinn JB, Elder JA*. Exposure of rats to 425 MHz (cw) radiofrequency radiation: Effects on lymphocytes. *Journal of Microwave Power* 1982;17(2):211-21.
8. *Pazderova-Vejlukova J, Josifko M*. Changes in the blood count of growing rats irradiated with a microwave pulse field. *Arch Environ Health* 1979;34:44-50.
9. *Sadčikova MN*. Clinical manifestations of reactions to microwave irradiation in various occupational groups. U: *Proceedings of International Symposium on Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Irradiation*. Warszawa, 1973.
10. *Djordjević Z, Kolak A, Djoković V, Ristić P, Kelečević Z*. Results of our 15-year study into the biological effects of microwave exposure. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 1983;28-31.
11. *Djordjević Z, Kolak A*. Changes in the peripheral blood of rat exposed to microwave radiation (2400 MHz) in conditions of chronic exposure. *Aerospace Medicine* 1973;44:1051-4.
12. *Goldoni J*. Biomedicinski učinci profesionalne izloženosti mikrovalovima i radiofrekvencijama (Disertacija). Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, 1988.
13. *Smialowicz RJ*. Hematologic and immunologic effects of nonionizing electromagnetic radiation. *Bull N Y Acad Med* 1979;55(11):1094-1118.
14. *Galvin MJ, Ortner MJ, McRee DI*. Studies on acute *in vivo* exposure of rats to 2450-MHz microwave radiation. III Biochemical and hematologic effects. *Radiat Res* 1982;90:558-63.
15. *Galvin MJ, MacNichols GL, McRee DI*. Effect of 2450 MHz microwave radiation on hematopoiesis of pregnant mice. *Radiat Res* 1984;100:412-17.
16. *Rotkowska D, Vacek A*. The effect of electromagnetic radiation on the hematopoietic stem cells of mice. *Ann N Y Acad Sci* 1975;247:243-50.

17. Blackmann CF, Elder JA, Weil CM, et al. Two parameters affecting radiation-induced calcium efflux from brain tissue. *Radio Sci* 1979;14 (suppl 6):93–8.
18. Roberts NJ, Michaelson SM. Epidemiological studies of human exposures to radiofrequency radiation. *Int Arch Occup Environ Health* 1985;56:169–78.
19. Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar). *Am J Epidemiol* 1980;112:39–53.
20. Michaelson SM. Health implications of exposure to radiofrequency/microwave energies. *Br J Ind Med* 1982;39:105–19.
21. Roberts NJ, Michaelson SM, Lu ST. The biological effects of radiofrequency radiation: a critical review and recommendations. *Int J Radiat Biol* 1986;50(3):379–420.
22. Piana ML, Hellums JD, Wilson W. Effects of microwave irradiation on human blood platelets. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 1981;28:661–4.
23. Peterson DJ, Partlow LM, Gandhi OP. An investigation of the thermal and athermal effects of microwave irradiation on erythrocytes. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 1979;26:428–36.
24. Wong LS, Merritt JH, Kiel JL. Effects of 20-MHz radiofrequency radiation on rat hematology, splenic function, and serum chemistry. *Radiat Res* 1985;103:186–95.

#### Summary

#### HAEMATOLOGICAL CHANGES IN WORKERS EXPOSED TO RADIOWAVE AND MICROWAVE RADIATIONS

Haematological parameters were measured in 43 radar operators employed in air traffic control occupationally exposed to microwave radiation of low intensity over a period of four years. Exposure to heat, soft X-ray radiation and noise were within maximally allowed limits. The haematological changes included a decreased number of erythrocytes, reticulocytes, platelets, segmented granulocytes and monocytes, and an increased number of leucocytes and lymphocytes. The changes were not pathologically significant and most of them were reversible.

Health Centre, Jastrebarsko<sup>1</sup>, Institute for Medical Research and Occupational Health University of Zagreb, Zagreb<sup>2</sup>

*Key terms:* haematological parameters, microwave radiation, occupational exposure, radars, working environment.