

DEJSTVO INFRACRVENOG ZRAČENJA NA ORGANIZAM ČOVEKA

M. Hrnjak

*Institut za medicinu rada, Zavod za preventivnu medicinu, Vojnomedicinska
akademija, Beograd*

(Primljeno 12. IV 1985)

Infracrveno zračenje otkriveno je 1800. godine kada je W. Herschel stavljajući termometar u razne delove Sunčevog spektra, koji je dobio pomoću optičke prizme, primetio najveće temperaturno povećanje u nevidljivom delu spektra odmah iza crvene boje. Ovo je upućivalo u postojanje nevidljivih toplotnih zraka u tom delu spektra. Kasnije, 1858. godine, Piazzzi Smyth je dokazao infracrveno zračenje koje potiče sa Meseca.

PRIRODA INFRACRVENOG ZRAČENJA

Infracrveno zračenje (IC) ili »tamno toplotno zračenje« u spektru elektromagnetnih talasa zauzima mesto između mikrotalasnog zračenja i vidljive svetlosti (slika 1) i dobilo je ime po susednoj crvenoj boji vidljivog dela spektra. Talasne dužine ovog zračenja se kreću od 780 nm do 1 mm. Pošto se fotonske energije IC zračenja kreću od $1,24 \cdot 10^{-3}$ eV do 1,65 eV (1), a minimum energije potrebne za jonizaciju biološki važnih materija iznosi 12,4 eV, to ono spada u oblast nejonizujućeg elektromagnetnog zračenja. Energija kvanta IC zračenja je manja od energije kvanta vidljivog dela spektra.

Godine 1970. Međunarodna komisija za rasvetu (CIE) podelila je područje IC zračenja prema talasnim dužinama i biološkim svojstvima na tri opsega:

1. IC—A (kratki, tj. bliski IC zraci) — 780 .. 1 400 nm
2. IC—B (srednji IC zraci) — 1 400 .. 3 000 nm
3. IC—C (dugi, tj. daleki IC zraci) — 3 000 .. 16^6 nm

Sva tela zagrejana iznad apsolutne nule emituju elektromagnetno zračenje, a ukupna snaga zračenja je proporcionalna površini tela koje zrači i četvrtom stepenu apsolutne temperature na kojoj je telo zagrejano.

Pošto je spektar zračenja za datu temperaturu kontinualan, to će deo ovog spektra biti u oblasti IC zračenja (1). Spektar zračenja tela zagrejanih na sobnoj temperaturi zahvata uglavnom samo oblast IC zračenja. Za određenu temperaturu spektralna emisija dostiže maksimum na jednoj određenoj talasnoj dužini, a sa povećanjem temperature ovaj se maksimum pomera ka kraćim talasnim dužinama, tako da će tela koja su zagrejana na višim temperaturama imati u spektru pored IC zračenja, vidljivo svetlo i zračenje još kraćih talasnih dužina (2).

Osnovno svojstvo IC zračenja je termičko (zagrevajuće) dejstvo. IC zračenje potiče od energije toplotnog kretanja atoma i molekula zagrejanih tela, koja hladeći se emituju ovo elektromagnetno zračenje predajući ga manje zagrejanim telima (2). Ova vrsta zračenja se kreće brzinom svetlosti, a intenzitet zračenja opada sa kvadratom rastojanja od izvora. IC zračenje ima iste osobine kao i vidljivo svetlo, ali su od biološke važnosti osobine refrakcije, apsorpcije i transmisije (3). Prizme od kvarca dobro propuštaju kraće i duže IC zračenje, dok sočiva i prizme od soli (NaCl) dobro propuštaju IC zračenje srednjih talasnih dužina.

Kod IC zračenja se, kao i kod drugih zračenja iste prirode, snaga zračenja izražava u vatima (W), a energija zračenja u džulima (J). Ozračenost, koja predstavlja ukupnu snagu zračenja što pada na jedinicu površine, izražava se u vatima na kvadratni metar (W/m^2) ili uobičajenije u mW/cm^2 . Specifična doza zračenja, koja predstavlja energiju zračenja koja je pala na jedinicu površine, dobija se iz proizvoda ozračenosti i vremena ekspozicije i izražava se u džulima na kvadratni metar (J/m^2) ili u mJ/cm^2 (4).

IZVORI

Najjači prirodni izvor IC zračenja je Sunce, čija je površina zagrejana na oko 6 000 K, a čija ukupna gustina energije zračenja (solarna konstanta) koja dopire do Zemljine atmosfere iznosi $8,4 \cdot 10^4 J/m^2 \text{ min}$ (2). Sunce emituje širok spektar elektromagnetnih zračenja, a od ukupne energije zračenja koja dopire do ivice Zemljine atmosfere polovina je u oblasti IC zračenja (4), dok je maksimum energije na talasnoj dužini od 470 nm (2). Sloj ozona u gornjim delovima atmosfere apsorbuje kraće ultravioletno zračenje, a velike količine vodene pare u atmosferi apsorbuju u velikoj meri IC zračenje talasnih dužina preko 1 000 nm (2), tako da na površinu Zemlje stiže zračenje talasnih dužina od 287 do 1 500 nm (5) sa maksimumom energije na 550 nm i fluksom od $1\,350 W/m^2$ (1). Vazduh, ako nema mnogo vodene pare u sebi, dobro propušta IC zračenje talasnih dužina od 3 000 do 5 000 nm i od 8 000 do 14 000 nm — »atmosferski prozori« (5).

Čovek, kao zagrejano telo na oko 300 K, emituje IC zračenje talasnih dužina dužih od 4 000 nm (5). Koža se ponaša vrlo slično apsolutnom

crnom telu — dobro emituje i prima zračenje. Emisivnost čovečje kože za zračenje talasne dužine od 5 000 nm iznosi između 0,98 i 1 (za apsolutno crno telo vrednost iznosi 1), a epidermalni sloj kože propušta više od 50% incidentnog zračenja na talasnoj dužini od 5 500 nm (6).

Veštački izvori IC zračenja mogu se podeliti u nekoliko grupa:

Zagrejani i usijani izvori

IC zračenje emituju sva zagrejana i usijana tela u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju. Tela čije su temperature iznad 3 000 K emituju spektar čiji veći deo čini IC zračenje. U ovu grupu izvora spadaju sve vrste električnih lampi sa volframovom (tungstenskom) niti kroz koju teče električna struja i koje su zagrejan na oko 2 400 °C sa kontinuiranim spektrom zračenja, tako da pored IC zračenja emituju i vidljivo svetlo (2). Za dobijanje intenzivnog IC zračenja u fizikalnoj terapiji koriste se Solux-lampe koje imaju volframovu nit zagrejanu na 3 000 °C, a snage im se kreću od 500 do 600 W (2), a i do 1 000 W (5). Ispred sijalice se, zbog mogućnosti eksplozije, postavlja tanka žičana mreža. Solux-lampe od 500 W emituju kontinuirani spektar talasnih dužina od 350 do 4 000 nm sa maksimumom IC zračenja na 1 100 nm. Vrlo su prikladne za primjenu u terapijske svrhe, jer pored IC zračenja emituju i mali iznos vidljivog i ultravioletnog svetla, koji u nekim slučajevima ima korisno dejstvo. Po potrebi se na reflektor postavlja filter kako bi se uklonili zraci kraćih talasnih dužina — vidljivi deo i ultravioletno zračenje, ako se želi samo terapija zračenjem iz IC oblasti (5). Često se dodaju i druge vrste filtera koje uklanjaju duže IC zrake (2), jer se u terapiji najčešće koriste IC zraci kraćih talasnih dužina — do 1 500 nm (5).

Za obasjavanje celog tela koriste se »tuneli« sa više svetiljki u nizu. Pored ovoga, u terapiji se koriste i generatori koji emituju samo IC zračenje. U reflektoru se nalazi izvor koji se sastoji od užarene spirale od metala umetnute u porculanski ili keramički izolator koji zagrejan emituje IC zračenje. Često se keramički izolatori boje u crno ili stavljaju u čelični cilindar, što omogućava emitovanje samo IC zračenja. Ovi generatori emituju IC zračenje talasnih dužina do 15 000 nm. Kada su zagrejani između 600 i 800 °C izračuju u najvećoj meri talasne dužine od 2 000 do 3 000 nm (5).

Gasna zavarivanja (acetilensko, hidrogensko i plazmeno) spadaju u ovu grupu izvora, jer se zbog visoke temperature plamena zagrejanog gasa emituje pored vidljivog svetla i ultravioletnog zračenja i vrlo intenzivno IC zračenje. Ovo zračenje se takođe javlja u toku procesa plazmene obrade metala (metalizacije).

Izvori sa električnim pražnjenjem u gasovima

Neke od gasnih lampi sa plemenitim i drugim gasovima i parama (lučne lampe), kod kojih se odvija električno pražnjenje kroz gasove, imaju u svom spektru IC zračenje. U ovu grupu spada i električno zavarivanje.

Kod električnog zavarivanja dolazi, između elektroda pod visokim naponom, do električnog pražnjenja kroz vazduh ili zaštitnu atmosferu gasova (Voltin luk). U toku ovog procesa javlja se, pored vidljivog svetla vrlo jakog intenziteta, u velikoj meri IC i ultravioletno zračenje. Intenzitet emitovanog IC zračenja zavisi od jačine struje i visine napona električne struje (7). Uglavnom se javlja blisko IC zračenje (kraćih talasnih dužina), dok se IC zračenje srednjih i dužih talasnih dužina javlja u manjoj meri, osim kod visokotemperaturnog zavarivanja (3).

Laseri

Neke vrste lasera proizvode IC zračenje raznih talasnih dužina u zavisnosti od aktivne materije. Ovo zračenje je koherentno (vremenski i prostorno), monohromatično, strogo usmereno i može se fokusirati na površinu reda veličine talasne dužine zračenja. Laseri čija je aktivna materija staklo sa primesom neodijuma emituju IC zračenje od 1 060 nm kao i YAG-neodijum i CO₂-laseri, dok poluprovodnički laseri (galijum-arsenid) emituju zračenje talasne dužine od 840 nm (8, 9). Zbog specifičnih osobina laserskog zračenja oštećenja izazvana laserima se razlikuju od oštećenja izazvanih drugim izvorima nejonizujućeg zračenja i o njima ovde neće biti reči.

EKSPOZICIJA

Intenzivnom IC zračenju su izloženi radnici koji rade u pogonima u blizini zagrejanih izvora: pored visokih peći, na topljenju, livenju, valjanju i kovanju željeza, čelika i obojenih metala, varioci i radnici koji rade na metalizaciji, te radnici na proizvodnji stakla (livci stakla i stakلودuvači), dobijanju koksa, pečenju cigle, cementa i kreča, porculana i keramičkih delova, kao i sušenju uglja. Intenzivnije IC zračenje se javlja takođe pored peći u pekarama i poslastičarnicama, kuhinjama, kovačnicama, u proizvodnji hartije i celuloze, u sušarama, u tekstilnoj i drvnoj industriji, u toku pečenja i sušenja lakova, boja i emajla, u prehrambenoj industriji, mlekarama, kao i u hemijskoj industriji (3, 10). Infracrvenom zračenju su izloženi ložači u kotlarnicama, na parnim lokomotivama, radnici koji rade na procesima lemljenja metala, sušenja eksploziva i lekova, kinooperateri, fotografi, TV-spikeri i glumci, fizioterapeuti itd.

IC zračenju prirodnog porekla su izloženi u većoj meri zemljoradnici, mornari, radnici u solanama, radnici na dalekovodima i održavanju pruge, putari, geometri, planinari i profesije čiji poslovi iziskuju stalno posmatranje nebeskog prostora golim okom ili preko instrumenata: meteorolozi, osmatračići u protivavionskoj i protivraketnoj odbrani i astronomi (11).

UPOTREBA

Sem već pomenutih namena toplote u medicini infracrveno zračenje upotrebljava se u mnoge svrhe. Tako se IC fotografija za razne namene koristi dosta dugo u svim oblastima tehnike, a i u medicini. Kada se hemijskim spojevima srebra, koji se koriste u klasičnoj fotografiji, dodaju karbocijaninska jedinjenja, ona postaju osetljiva na IC zračenje, plavu i ljubičastu boju spektra (5). Koriste se crno-bela i kolor IC fotografija. IC fotografija omogućava snimanje objekata kroz maglu, oblake ili u potpunom mraku. U medicini se koristi u dijagnostičke svrhe — za ispitivanje stanja venskog sistema i neprozirnih tkiva (beonjača, koža). Zbog bolje transmisije IC zračenja kroz venske sudove, koji sadrže veći procenat karboksihemoglobina u krvi i njegove osobine da više apsorbuje IC zračenje, vene će biti vidljive na IC fotografiji (5). IC zračenje se koristi u termografiji (registovanje različitog temperaturnog rasporeda na površini kože tela u dijagnostici tumora, dubokih tromboflebitisa, arterijskih i reumatskih bolesti), termoviziji i IC pletizmografiji (preko količine IC zračenja koje prolazi kroz krvne sudove meri se promena krvnog volumena). Ovde se koriste uglavnom IC zračenja talasnih dužina od 1 100 nm (5, 6).

Pasivni detektori osetljivi na IC zračenje koje emituje ljudsko telo mogu da selektivno otkriju prisustvo čoveka u opasnim zonama i automatski isključe mašine koje rade, kako ne bi došlo do povređivanja ili da uključe alarmni sistem (12). IC zračenje se koristi kod daljinskih upravljača za televizore i videorekordere, kod alarmnih sistema protiv provala i u druge svrhe.

Uređaji za IC osmatranje se mnogo koriste u vojne svrhe jer omogućavaju kretanje, osmatranje i gađanje po svakom vremenu i potpunom mraku. IC uređaji se koriste za otkrivanje pokretnih objekata i navođenje projektila jer detektuju IC zračenje koje se širi iz zagrejanih motora.

U IC spektrofotometriji se upotrebljavaju najčešće IC zračenja talasnih dužina od 2 500 do 25 000 nm (1).

BIOLOŠKO DEJSTVO

Premda je dejstvo IC zraka na termoregulaciju veoma značajno, u ovom će prikazu biti reči pretežno o lokalnom delovanju IC zraka.

IC zračenje je nevidljivo za ljudsko oko, a pošto je njegovo osnovno dejstvo termičko, to se na ozračenim delovima tela javlja osećaj toplote, ako su intenziteti zračenja dovoljno veliki. Pragovni nivoi toplotne osetljivosti kože za dugo IC zračenje su dosta niski, tako da je potrebno da nivoi gustine snaga iznose svega 4,2—8,4 mW/cm² u trajanju od 1 sekunde da bi se osetili kao toplotna senzacija, pri čemu se temperatura

kože povećava za 0,035 °C, a u vremenu od 2 sekunde 4,2 mW/cm² pri čemu temperaturno povećanje iznosi svega 0,025 °C (ispitivano na 37 cm² površine kože čela) (13). Dakako, osetljivost na IC zračenje ne zavisi samo od gustine snage, nego i od talasne dužine zraka.

Opšti termički efekti se mogu da ispoljavaju u vidu raznih oblika akutnih hipertermičkih poremećaja organizma. Treba navesti i sunčanicu (*insolatio*), za koju se smatra da je izazvana dejstvom IC zračenja na nezaštićeni potiljačni predeo kod ljudi koji rade i borave na otvorenom prostoru.

Pošto IC zračenje ima ograničenu sposobnost penetracije u organizam, to se lokalna dejstva ograničavaju na kožu i oči.

IC zračenja ne mogu da izazovu jonizaciju biološki važnih materijala pošto ne raspolažu dovoljno visokom energijom fotona. Apsorpcija većih talasnih dužina vidljivog spektra i kratkih IC zračenja (600 do 1 400 nm) u biološkim sredinama koje sadrže vodu, dovodi do vibracionih i/ili rotacionih stanja molekula koja predominiraju nad ekscitacionim stanjima. Vibraciono ili rotaciono pobuđeni molekuli predaju energiju okolnoj sredini i dovode do zagrevanja sredine. Ukoliko se temperatura dovoljno poveća dolazi do promena na molekularnoj strukturi makromolekula, termalne denaturacije — kidanja hidrogenskih i drugih veza. Makromolekuli gube svoju tercijernu strukturu i dolazi do njihovog međusobnog spajanja i vezivanja, što dovodi do polimerizacije ili koagulacije i gubitka osnovne funkcije (14). Ako se ove promene odigraju u dovoljnoj meri i na dovoljnom broju ćelija doći će do razvoja patoanatomске slike termičkog oštećenja tkiva.

Hromosomske aberacije

IC zračenja mogu da imaju dovoljnu fotonsku energiju potrebnu za kidanje hidrogenskih veza u biološkom materijalu (0,06 eV), te bi mogli da dovedu do izazivanja hromozomskih aberacija inhibirajući reparaciju spontanih aberacija kidajući hidrogenske veze na dvostrukim spiralama DNK hromozoma ili delujući na druge strukture. Ovo bi moglo da izazove proces mutageneze na ćelijama koje su izložene ali do sada nisu mogle biti zabeležene nasledne genetske promene izazvane IC zračenjem (3). *Gordon i saradnici* (15) su izlažući jednoslojnu kulturu ćelija bubrega svinje dalekom — crvenom delu spektra (talasna dužina oko 750 nm) koji se graniči sa bliskim IC zračenjem, dobili povećanu frekvenciju hromatidnih aberacija. Smanjivanjem temperature u kulturama tkiva dobili su povećan broj aberacija, što govori u prilog netermičkih efekata ove vrste zračenja. Smatraju da je pojava povećanog broja hromozomskih aberacija prouzrokovana padom sposobnosti za reparaciju spontanih aberacija i/ili umanjnjem sinteze hromozoma. Drugi istraživači su u značajnom broju dobili slične genetske efekte na drugim životinjskim i biljnim ćelijama izlažući ih IC zračenju, te *Moss i saradnici* (3) sma-

traju da ovo govori u prilog razmatranja mogućnosti izazivanja ovih promena od strane IC zračenja na ljudskim ćelijama.

Dejstvo na kožu

Biološko dejstvo IC zračenja na kožu zavisi od ukupne primljene doze zračenja (koja zavisi od intenziteta, talasne dužine zračenja i dužine ekspozicije) kao i individualnih osobenosti kože (boje, debljine, stanja kože itd.). Stepem i oblik promena će zavisiti u velikoj meri od dubine prodiranja IC zračenja u kožu, tj. da li dolazi do samo površnog zagrevanja ili se termičko dejstvo prostire u dubinu i oštećuje dublje slojeve kože, vaskularne elemente, nervne završetke i kožna adncksa. Koža crnaca i belaca dobro propušta IC zračenje talasnih dužina do 2 000 nm, tako da oni prodiru u dubinu, sa maksimumom penetracije na 1 200 nm i tada najmanje 50% IC zračenja prodire do dubine od 0,8 mm dolazeći u kontakt sa kapilarnim i nervnim završecima (3). Stoga se usled dejstva kraćih i srednjih IC zračenja očekuju ozbiljnija oštećenja kože nego kod dejstva dužih IC zračenja, koja će prvenstveno izazivati površno zagrevanje epiderma.

Koža ima i određene osobine refleksije IC zračenja, koja je veća u području kraćih IC zraka — između 700 i 1 200 nm (3), ali je to nedovoljna zaštita od većih intenziteta ovih zračenja.

Akutno ozračivanje kraćim i srednjim IC zračenjem izaziva infracrveni ili toplinski eritem, koji nastaje vrlo brzo u toku ozračivanja — ne postoji period latencije kao kod eritema izazvanog ultravioletnim zračenjem. Ovaj eritem nastaje zbog površinske vazodilatacije (arterijske, venske i limfne) i nije karakterističan za IC zračenje jer se javlja kod svakog zagrevanja kože (5). Po prestanku ozračivanja ovaj se eritem vrlo brzo gubi. Često dolazi i do refleksne vazodilatacije u dubljim delovima (mišićima i unutrašnjim organima), što se kao povoljno dejstvo koristi u terapiji IC zračenjem. Kod više ponavljanih akutnih ozračenja nastaje i povećana pigmentacija kože, ali je i ova nestabilna (5). Jači intenzitet kraćih i dužih IC zračenja mogu da izazovu opekotine svih stepena i dubine. Dejstvo dužih IC zračenja se ogleda u površnom zagrevanju kože, a kod izlaganja većih površina tela može doći do akutnih hipertermičkih poremećaja organizma zbog nemogućnosti termoregulatornih mehanizama da se odupru ekscesivnom zagrevanju celog organizma. Samo jači intenziteti dužeg IC zračenja mogu da izazovu opekotine po koži.

Kod dugotrajnog svakodnevnog izlaganja IC zračenju dolazi do pojave eritematoznih promena na koži — livedo calorica, erythema ab igne; pojave smeđe pigmentacije koja ima marmorasti oblik — cutis marmorata pigmentosa; apigmentiranih delova u obliku mreže; kao i pojave teleangiektazija, keratoza, verukoznih tvorevina, pojave ljuštenja kože i atrofičnih promena kože (16). Ove promene nekad mogu maligno da alteriraju

u spinocelularni epitelium (17). Pored ovoga mogu da se jave sudamina, apscesi znojnih žlezda i intertriginozni dermatitisi. Morbus Kisličenko (retikularna pigmentacija na potkolenicama i unutrašnjim stranama natkolenica) javljao se često u nekim delovima Makedonije i drugim krajevima, kod osoba koje su se grejale sedeći pored mangala (posude sa zapaljenim ćumuruom). Slične se promene viđaju kod osoba koje se greju pored peći. Većina gore opisanih promena se održava i nekoliko godina posle prestanka ekspozicije (16). Neke od ovih promena, kao što je erythema ab igne (čest kod žena koje svakodnevno sede nezaštićenih nogu pored vatre) su ireverzibilne, jer dolazi do definitivne depozicije melanina u bazalnom sloju kože.

Dejstvo na oko

Normalno oko sisara propušta elektromagnetna nejonizujuća zračenja talasnih dužina od 400 do 1 400 nm, a ako je sočivo izvađeno, onda do retine dopiru i talasne dužine od 320 do 400 nm — ultravioletno zračenje (18). Ovo govori da oštećenja unutrašnjih medija oka mogu da nastanu usled prodiranja i apsorpcije ultravioletnog zračenja, vidljivog svetla i IC zračenja čije se talasne dužine nalaze u ovom rasponu. Zračenje većih ili manjih talasnih dužina (blisko ultravioletno zračenje, srednje i daleko IC zračenje) apsorbovaće se na rožnjači, i ako su intenziteti dovoljno veliki, mogu da izazovu oštećenja rožnjače. Pored transparentije za određene talasne dužine, očne sredine imaju osobine apsorpcije pojedinih talasnih dužina od čega zavise i moguća oštećenja na ovim sredinama. Providne sredine oka imaju osobinu najveće transparentije i najmanje apsorpcije za vidljivu svetlost (3). Rožnjača pokazuje osobine veće apsorpcije za talasne dužine veće od 1 400 nm i blisko ultravioletno zračenje; sočivo za IC zračenje od 900 do 1 400 nm i blisko ultravioletno zračenje, dok *corpus vitreum* ima osobine najveće apsorpcije za IC zračenje od 860 do 1 350 nm (19). Od ovih osobina apsorpcije će zavisiti i biološka dejstva IC zračenja, jer mesto i stepen oštećenja zavise od mesta apsorpcije i količine apsorbovane energije IC zračenja.

Oštećenja oka od kratkih, srednjih i dugih IC zračenja mogu se klasifikovati na sledeći način (3, 4, 14):

- IC—A Zapaljenja kapaka, konjunktivitisi, katarakte, termička oštećenja retine
- IC—B Oštećenja rožnjače, zagrevanje očne vodice i zapaljenja, katarakte?
- IC—C Oštećenja rožnjače, katarakte?

Dugotrajno izlaganje IC zračenju kraćih talasnih dužina izaziva lake hronične zapaljenske promene na ivicama očnih kapaka i hronične zapaljensko-degenerativne promene na konjunktivi (3, 11, 20). Refleksno

zatvaranje kapaka (treptaj) i pupilarni refleks su nedovoljno brzi da bi zaštitili oko od laserskog zraka, a isto tako su nedovoljna zaštita od industrijskih izvora IC zračenja koji ne blješte suviše jako. Koža kapaka nije dovoljno debela kako bi oko zaštitila od ekscitativnog IC zračenja, i jedan deo ovog zračenja će proći kroz kapke (3). Pošto rožnjača u velikoj meri apsorbira zračenja preko 1 400 nm (19), to srednji i dugi IC zraci mogu da izazovu oštećenja na rožnjači, ako su dovoljno jakog intenziteta. Međutim, IC zračenje iz industrijskih izvora će postepeno zagrijati površinu rožnjače, i kad se temperatura poveća na oko 45 °C (oko 100 kW/m² na rožnjači), javlja se u delu sekunde bol zbog zagrevanja nervnih završetaka na rožnjači, dolazi do refleksnog zatvaranja kapaka i okretanja glave, tako da do ovih oštećenja retko može doći. Jača oštećenja mogu da dovedu do pojave zamućenja u rožnjači (3, 11, 20). Dugotrajno zagrevanje površine rožnjače izaziva isparavanje zaštitnog sloja suza, i ako postoje raniji poremećaji u lakrimalnom aparatu, dovodi do pojave »suvog oka« sa svim daljim posledicama (3, 4).

Zagrevanje očne vodice usled IC zračenja može uticati na stvaranje katarakte zbog zagrevanja sočiva. Jače zagrevanje dužice zbog veće količine tamnog pigmenta dovodi do pojave mioze, hiperemije i zapaljenja (3), a možda i do zagrevanja prednjeg dela sočiva (Goldman je našao parcijalne katarakte koje su počinjale iza dužice) (11). U duvača stakla je nađena pojava oslabljene akomodacije — rane presbiopije (8).

Pošto sočivo najviše apsorbira IC zračenja od 860 do 1 400 nm, to valja očekivati pojavu katarakti pod dejstvom IC—A zračenja, ali su nađene katarakte izazvane i dužim IC zračenjem — do nešto iznad 3 000 nm (3, 4, 19). Kada je Robinson 1903. godine uveo termin »katarakta duvača stakla«, a kasnije 1915. godine dao njen opis, nastaje veliko interesovanje za katarakte koje bi mogle biti izazvane IC zračenjem. On je ovu kataraktu opisao kao posteriornu, odmah iza zadnje kapsule, oblika nepravilnog diska, čija gustina opada prema ekvatoru. Ovaj opis je dopunio Duke-Elder 1926. godine, navodeći da se ona širi aksijalno ili je raspoređena u lamilarnoj formi koja se jasno izdvaja od okolnog tkiva sočiva i ima zlatni odsjaj. Ako je uznapredovala, onda ju je teško razlikovati od staračke katarakte (21). Kasnije su ove katarakte bile mnogo opisivane od drugih autora kod duvača stakla, radnika na visokim pećima, astronoma, meteorologa itd. (11). Ove katarakte, koje se javljaju na poslovima, odnosno radovima koji se vrše u zoni IC zračenja, nalaze se na našoj listi profesionalnih bolesti, u grupi oboljenja izazvanih nejonizujućim zračenjem — pod red. br. 35 (22).

Wallace (21) je ispitivao katarakte kod radnika u čeličanicama uzevši 906 radnika kao grupu eksponiranu IC zračenju i 101 radnika iz hladnih pogona kao kontrolnu grupu. Prema stepenu zamućenja podelio je katarakte u tri kategorije: tip I — mali broj sitnih opacitacija koje ne utiču na oštrinu vida; tip II — posteriorna, polarna, subkapsularna katarakta oblika zdele, koja smanjuje oštrinu vida; i tip III — katarakta koja prouzrokuje velike smetnje u oštrini vida i zahteva hiruršku inter-

venciju. Našao je kod ispitivanih radnika da nema katarakte tipa III; da postoji prevalenca katarakti tipa I kod eksponiranih u odnosu na kontrolnu grupu; i lako povećanje broja katarakti tipa I sa povećanjem izloženosti u odnosu na opštu populaciju. Ove katarakte ne utiču na oštrinu vida, ali postoji mogućnost da pređu u katarakte tipa II.

Drugi su kasnije vršili ispitivanja kod radnika na električnim pećima, proizvodnji stakla, u čeličanicama, na livenju mesinga, kod ložaca na lokomotivama, i našli određeni broj opaciteta svih vrsta i stepena (3), ali se one teško mogu smatrati specifičnim. Sovjetski autori nisu našli promene kod zavarivača (7). *Medvedovskaya* (20) je objavila rezultate oftalmoloških ispitivanja kod radnika na proizvodnji profilnog stakla (290 radnika i 109 zdravih kao kontrola) i nije našla katarakte, ali je našla pojavu blefarkonjunktivitisa, početni pterigijum, zamućenja na rožnjači, degenerativne promene u oblasti žute mrlje u vidu sitnih ognjišta, neravnomernu pigmentaciju i neznatno suženje sudova mrežnjače.

Moss i saradnici (3) zaključuju da nema dovoljno podataka o kataraktama izazvanim od novih industrijskih izvora IC zračenja koji emituju uglavnom blisko IC zračenje (zavarivanje, »lampe za zagrevanje«), zbog malog broja izvršenih ispitivanja ili zbog mogućeg dugog latentnog procesa kataraktogeneze.

Vidljivo svetlo i IC zračenja talasnih dužina do 1 400 nm dopire do retine i ako su snage zračenja dovoljno velike, mogu da izazovu termičke povrede (opekotine) retine. Priroda nastajanja termičkih oštećenja retine se razlikuje od nastanka drugih dvaju tipova oštećenja na retini: mehaničkih (strukturnalnih) izazvanih »mode-locked« ili Q-prekidačkim laserima i fotohemijskih (aktiničkih) povreda izazvanih kratkotalasnim svetlosnim zračenjem (»plavo svetlo«) malih snaga koje ne podiže značajnije temperaturu retine (4, 9, 18). Termička oštećenja potiču od ekspozicija trajanja od mikrosekunde do nekoliko sekundi (i do 10 s) sa nivoima zračenja dovoljno visokim da podignu temperaturu retine za 10 °C iznad ambijentalne (4, 14, 18, 19). Podizanje temperature retine za 10—20 °C iznad normalne izazvaće ireverzibilnu termičku denaturaciju proteina retine i kao krajnju posledicu polimerizaciju ili koagulaciju proteina (14). Za termičke povrede retine ne važi reciprocitet, tj. da proizvod iz ozračenja i vremena potrebnog da izazove povredu treba da bude isti. Potrebno je da prođe jedno određeno minimalno vreme da se podigne temperatura na retini, ali ako se povreda nije desila za nekoliko sekundi, nema izgleda da će do nje doći, jer se daljim izlaganjem neće postići minimalna potrebna temperatura za oštećenje (možda 45 °C) (4, 19). Termičke povrede retine IC zračenjem su jedino moguće od impulsnih izvora (lasera) ili drugih jakih trenutnih ekspozicija (4).

Za određivanje termičke opekotine retine uzima se minimalna retinalna lezija fundoskopski vidljiva posle 24 časa. Oštećenje je najveće u centru i opada ka periferiji. Ova minimalna lezija je manja od upadnog zraka, zato što se maksimalna temperatura stvara u centru slike na re-

tini, dok se okolina lakše hladi (14). Podizanje temperature i oštećenja nastaju zbog apsorpcije energije zračenja od strane retine i delimično od horoideje, a mesta apsorpcije se nalaze u melaninskom pigmentu i u melanozomima retinalnog pigmentnog epitela ili melanocitima horoideje (14). Što je slika na retini manja, to je manja mogućnost da dođe do oštećenja, jer će se ona brže hladiti i temperaturno podizanje će biti manje (14, 19). Veličina slike Sunca na retini čoveka iznosi oko 160 μm , a pri gledanju kroz teleskop ili dvogled ozračenost se ne povećava, ali se ova slika uvećava više puta i mogućnost oštećenja retine, zbog slabijeg hlađenja u centru slike, postaje veća. Galileo Galilei je prvi čovek koji je na ovaj način dobio oštećenje retine posmatrajući Sunce teleskopom (19), a ovo je kasnije opisivano i kod drugih astronoma.

Novija istraživanja govore da solarne retinopatije (koje su se javljale kod vojnih lica u II svetskom ratu), solarni retinitisi i »slepila od pomračenja« (usled gledanja u Sunce golim okom) nisu izazvani termičkom povredom retine, kako se ranije mislilo, jer ne dolazi do dovoljnog temperaturnog povećanja na retini, nego da su ova oštećenja »neki tip ili tipovi termički potpomognutih fotohemijskih promena« nastalih prvenstveno od dejstva kraćih talasnih dužina vidljivog dela spektra — »plavog svetla« (18). »Oštećenja retine od bliskog IC zračenja su prave termičke opekotine« (4). Opasnost od oštećenja retine kod rada sa standardnim industrijskim izvorima IC zračenja praktično ne postoji, jer kako je ranije navedeno, samo vrlo jaki izvori (laseri, jake lučne lampe i dr.) mogu da izazovu ova oštećenja (19).

Kod instrumenata za oftalmološka ispitivanja kao što su slit lampe, oftalmoskopi, fundus kamere i sl. iznos IC zračenja koji pada u oko samo doprinosi povećanju temperature na retini, ali ne doprinosi boljoj vidljivosti, tako da povećava mogućnost oštećenja retine kod pacijenata. Zato ove instrumente treba obezbediti odgovarajućim efikasnim filterima za IC zračenje (19, 23, 24, 25).

Ostala dejstva

Navodi se, pored gore opisanih promena, da kod dugotrajne izloženosti IC zračenju može doći kod ljudi do pojave hroničnih rinitisa, laringitisa i smetnji od strane paranazalnih šupljina, pada u broju spermija (osetljivost testisa na zagrevanje) i promena imunološkog reaktiviteta (3). Posebno je značajan učinak IC zraka na termoregulaciju, ali je to predmet posebne rasprave.

U terapiji IC zračenjem se koristi povoljno lokalno zagrevajuće, vazodilatatorno i analgetsko dejstvo, kao i opšte dejstvo na povećanje metabolizma i blago sedativno dejstvo. Primenjuje se kod reumatskih i degenerativnih hroničnih bolesti, bolnih spazama unutrašnjih organa, hroničnih zapaljenskih stanja, nekih bolesti kože i povreda ekstremiteta. Najčešće se primenjuju intenziteti od 350 do 530 W/cm^2 , a najviše do 1 400 W/cm^2 (5).

INSTRUMENTI ZA MERENJE

Detektori za IC zračenja su se razvili prvenstveno za potrebe tehničkih istraživanja, a zadnjih nekoliko desetina godina zbog potrebe istraživanja i upotrebe u vojne svrhe. Sve veća upotreba u medicini (termografija, termovizija) i gore navedene potrebe dovele su i do razvoja pogodnih instrumenata za merenje IC zračenja u radnoj sredini. Iako nisu do kraja usavršeni, neki od ovih instrumenata su prenosivi i pogodni za terenski rad.

Instrumenti za merenje IC zračenja se sastoje od optičkog sistema, pretvarača (senzora), elektronskog pojačivača, pomoćnih elektronskih kola i indikacionog instrumenta (analognog ili digitalnog). Moraju biti snabdeveni monohromatorima (optičkim rešetkama) ili skupom filtera za pojedine talasne dužine IC zračenja.

Najvažniji deo instrumenta — pretvarač može biti termalni ili kvantni (fotonski).

Termalni detektori koriste osobinu IC zračenja da apsorpcijom vrši zagrevanje, što izaziva promenu električnog otpora i daje odgovarajući signal koji se dalje prenosi i prikazuje na indikacionom instrumentu. Za ovo se koriste termoelementi, piroelektrični elementi, bolometri i Golyeve ćelije. Ovi detektori prikazuju ukupnu apsorbovanu snagu zračenja, vrlo su osetljivi, pokrivaju vrlo širok spektar zračenja, ne zahtevaju hlađenje i relativno su jeftini (3).

Kvantni (fotonski) detektori imaju u sebi fotodiode ili fotocevi i rade na principu izazivanja fotoelektričnog efekta. Oni iskazuju broj apsorbovanih kvanta u sekundi, imaju vrlo kratko vreme odgovora, pokrivaju uži pojas talasnih dužina zračenja i zahtevaju hlađenje (3).

ZASTITA

Najbolja zaštita se ostvaruje u tehničkim merama na izvoru IC zračenja — postavljanjem izvora u izolovane kabine, oklopljavanjem i ekranizacijom. U prostorijama u kojima prisustvo čoveka nije neophodno treba obezbediti automatsko zabavljanje vrata u toku rada izvora ili znake upozorenja (3). Rad na što većoj distanci od izvora IC zračenja je vrlo efikasna mera, jer intenzitet zračenja opada sa kvadratom rastojanja od izvora. Veći izvori IC zračenja se ograđuju reflektujućim ili apsorpcionim ekranima i paravanima. Refleksioni ekrani su obično od visokopoliranog metala (najbolje od aluminijuma) u obliku folija ili tankog lima ravni ili talasastih površina (3), metaliziranog stakla ili platna. Apsorpcioni ekrani se prave od raznih materijala koji zadržavaju IC zračenje. Ovi ekrani se prave ili u cilju zaštite od samo termičkog dejstva IC zračenja ili za zaštitu očiju. Transparentni ekrani se prave od specijalnih duplih stakala sa tankim zaštitnim slojem ili bez njega, kao i od pogodnih plastičnih masa (26). Obično prozorsko staklo zadržava u velikoj meri IC zračenje talasnih dužina preko 3 000 nm, dok voda dobro apsorbuje talasne dužine veće od 1 000 nm (2). Dobra zaštita su razne

vrste zavesa od metala ili drugih materijala, vodene zavese, i vodom ili vazduhom hladjeni ekrani (3).

Lična zaštitna sredstva se koriste za zaštitu kože, očiju ili celog tela od zagrevanja IC zracima. Vrlo efikasna mera je skraćenje vremena izlaganja u toku rada.

Zavarivanje treba vršiti u potpuno odvojenim prostorijama ili ove poslove treba odvojiti paravanima od čvrstog materijala ili cirkadnog platna. Ove paravane treba premazati mat premazima sa primesama cinkovog ili titanovog belog — zaštita od ultravioletnog zračenja (7). Za zaštitu očiju, lica i vrata kod zavarivača se koriste štitnici (ručni ili naglavni), zaštitni šlemovi i naočari sa promenljivim filterima. Između filtera i stakla na naočarima treba da bude sloj vazduha od 0,5 do 1 mm koji sprečava zagrevanje stakla od IC zračenja (7). Filteri (od stakla ili plastike) treba da štite od jakog svetla, IC zračenja i ultravioletnog zračenja. Obično imaju tanak metalni premaz koji reflektuje neželjeno zračenje (27) ili se koriste mineralna obojena stakla (28), a prema vrsti zavarivanja i potrebi vidne oštine (zbog zatamnjenja) bira se određeni filter (27). Kod standardnog zavarivanja ovi filteri treba da štite uglavnom od bliskog IC zračenja, a kod visoko-temperaturnog i od srednjeg i dalekog IC zračenja. Za poslove pored peći i na topljenju metala filteri treba da štite od svih vrsta IC zračenja (3, 27).

Za zaštitu kože i tela se koriste odgovarajuća radna odela, svetle boje, od lakog pamučnog tkanja, rukavice, kecelje i ogrtači od aluminiziranih materijala koji dobro reflektuju IC zračenje (3).

Na prethodnim zdravstvenim pregledima kod ljudi koji će raditi sa izvorima IC zračenja treba posvetiti najveću pažnju promenama na koži i očima. Kontraindikacije za rad sa ovim izvorima obuhvataju očna oboljenja, encefalitis larvata i postmeningitična stanja.

U većini zemalja u svetu standardi za zaštitu od nejonizirajućih zračenja nisu još uvek dovoljno razvijeni. U našoj zemlji za sada ne postoje normativi za zaštitu od IC zračenja. Jediní normativi za IC zračenja koji su se mogli naći u literaturi su američke preporuke za nekoherentna IC zračenja u »Threshold limit value for physical agents« koje je izdala ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 1982. godine u Cincinnatiju (29). Ove preporuke određuju gornje pragovne vrednosti za vidljivo zračenje i blisko infracrveno zračenje (400 do 1400 nm) u pogledu zaštite od a) termičkih oštećenja retine, b) fotohemijskih oštećenja od hronične ekspozicije »plavom svetlu« i c) nastajanja katarakte zbog dejstva IC zračenja. Ove pragovne vrednosti važe za svakodnevno profesionalno izlaganje.

Za zaštitu retine od termičkih oštećenja gornji prag ne sme da pređe vrednosti koje su određene formulom:

$$\sum_{400}^{1400} L_{\lambda} R_{\lambda} \Delta \lambda \leq \frac{1}{at^{1/2}}$$

Tabela 1.

Faktori za procenu rizika od fotohemijiskog dejstva i nastajanja opekotina retine za pojedine talasne dužine vidljivog svetla i bliskog infracrvenog zračenja (ACGIH standard 1982) (29).

Talasna dužina λ u nm	Faktor rizika od dejstva »plavog svetla«, B_λ	Faktor rizika od nastajanja opekotina retine, R_λ
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,0	10,0
440	1,0	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500—600	$10^{(450-\lambda)/50}$	1,0
600—700	0,001	1,0
700—1049	0,001	$10^{(700-\lambda)/505}$
1050—1400	0,001	0,2

gde je L_λ — spektralna zračnost u $W/(m^2 \cdot sr)$, tj. snaga zračenja po jedinici površine i po jediničnom prostornom uglu (spektralna »sjajnost«); R_λ — faktor rizika za nastajanje opekotina za talasnu dužinu λ (tabela 1); $\Delta \lambda$ — priraštaj talasne dužine; α — ugao viđenja svetlosnog izvora i t — trajanje gledanja u sekundama.

Za zaštitu od fotohemijiskih oštećenja retine nastalih usled hroničnog dejstva »plave svetlosti« pragovne vrednosti ne smeju da pređu vrednosti koje se dobijaju iz formula koje važe za razne slučajeve i koje uzimaju u obzir B_λ — faktor rizika od dejstva »plave svetlosti« (tabela 1).

Za zaštitu od nastajanja katarakte zbog dejstva IC zračenja ozračenost ne sme da pređe 10 mW/cm². Ako izvori bliskog IC zračenja ne izazivaju jak vizuelni stimulus, onda gornji prag energetske sjajnosti ne sme da pređe vrednosti iz formule:

$$\sum_{770}^{1400} L_{\lambda} \Delta \lambda = \frac{0,6}{a}$$

za dijametar pupile od 7 mm (3, 4, 28).

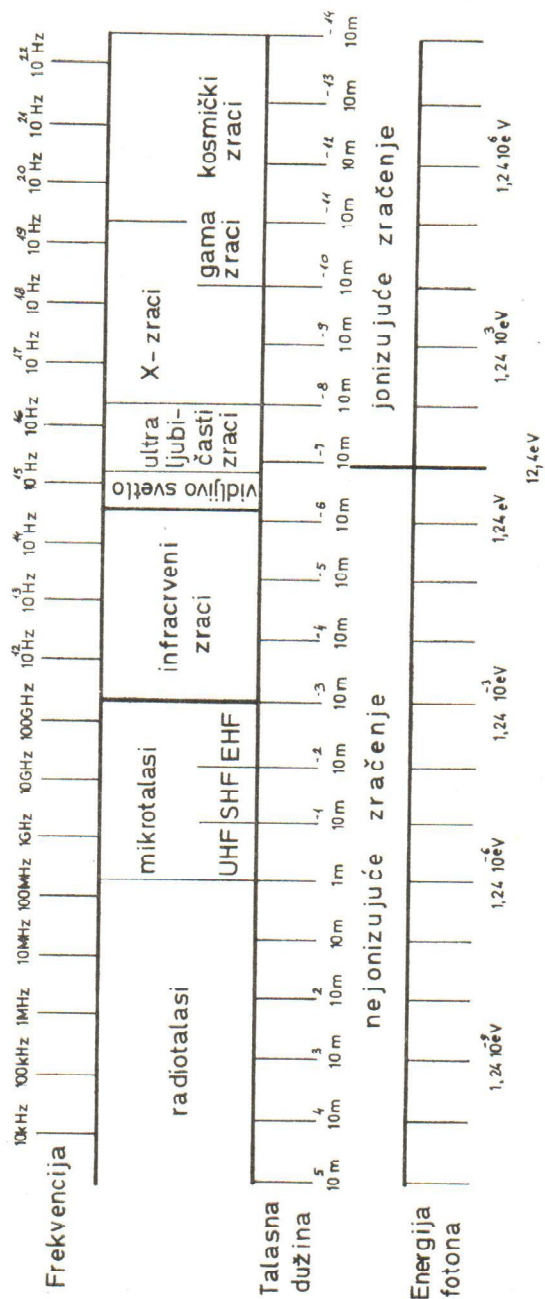
ZAKLJUČAK

Sigurno je da zbog nemogućnosti jonizacije biološki važnih tkiva i činjenice da do sada nije bilo evidentnih dokaza o mogućnosti izazivanja kancerogenih dejstava, izloženost IC zračenju predstavlja mnogo manju opasnost za profesionalno izloženu i opštu populaciju u odnosu na jonizujuće zračenje, pa možda i neka druga nejonizujuća zračenja. Međutim, sve veća upotreba izvora IC zračenja, a naročito onih koji emituju kraće talasne dužine, u industriji i tehnici, nameće potrebu daljeg istraživanja u pravcu razjašnjenja dejstva na organ vida, a naročito mogućnosti nastajanja katarakti usled dugotrajne profesionalne ekspozicije, i opekotina retine usled akutne ekspozicije intenzivnom nekoherentnom IC zračenju. Jedan određeni broj nalaza hromozomskih aberacija u ćelijama biljaka i životinja podvrgnutih IC zračenju, govori o potrebi daljeg istraživanja u ovom pravcu.

Literatura

1. Ristanović, D., Simonović, J., Vuković, J., Radovanović, R.: Biofizika. Medicinska knjiga, Beograd—Zagreb 1981, str. 278—288.
2. Popov, S.: Biofizika. Naučna knjiga, Beograd 1980, str. 155.
3. Moss, C. E., Ellis, R. J., Murray, W. E., Parr, W. E.: Infrared radiation. U: Nonionizing radiation protection, ed. Suess, M. J., WHO, Copenhagen 1982, str. 69—95.
4. Sliney, D. H.: Biohazard of Ultraviolet, Visible and Infrared Radiation. J. Occup. Med., 25 (1983) 203—206.
5. Licul, F.: Elektrodijagnostika i elektroterapija. Školska knjiga, Zagreb 1981, str. 381—403.
6. Waimought, D. J., Phil, D., Oliver, R.: The emission of infrared radiation from human skin — implications for clinical thermography. Br. J. Radiol., 42 (1964) 411—415.
7. Braude, M. Z., Voroncova, E. I., Lando, S. Ja., Nekrilov, V. P., Tambovcev, V. A.: Ohrana truda pri svarke v mašinstroenije. Mašinstroenije, Moskva 1978, str. 8—9.
8. Joly, R.: Problèmes posés aux médecins du travail par l'utilisation des fasceaux laser. CAMIP, 89 (1983) 5—26.
9. Raybourn, M. S., Kong, R. I.: A functional approach to the assessment of ocular hazard of low-power lasers. Health. Phys., 46 (1984) 107—114.

10. *Stanković, D.*: Visoka temperatura vazduha i toplotno zračenje U: Medicina rada. Stanković, D. (ur.) Medicinska knjiga, Beograd—Zagreb 1984, str. 368—372.
11. *Panajotović, D.*: Ozlede organa vida zracima infracrvenog, vidljivog i ultraljubičastog dela elektromagnetnog spektra. Vojnosanit. Pregl., 19 (1962) 682—688.
12. *Bonefeld, X.*: Protection à proximité de zones dangereuses par détecteurs de rayonnement infrarouge. Cah. Not. Doc., 109 (1982) 547—553.
13. *Michaelson, S. M.*: Health implications of exposure to radiofrequency / microwave energies. Br. J. Ind. Med., 39 (1982) 105—109.
14. *Ham, W. T., Jr., Ruffolo, J. J., Mueller, H. A., Guerry, D. III.*: The nature of retinal radiation damage: dependence on wavelength, power level and exposure time. Vision. Res., 20 (1980) 1105—1111.
15. *Gordon, S. A., Stroud, A. N., Chen, C. H.*: The Induction of Chromosomal Aberrations in Pig Kidney Cells by Far-Red Light. Radiat. Res., 45 (1971) 274—287.
16. *Kogoj, F. i suradnici*: Bolesti kože, II dio. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb 1971, str. 701—702.
17. *Jeremić, M.*: Biološki efekti infracrvenog zračenja. U: Zbornik uvodnih referata — Regulisanje zaštite od nejonizujućeg zračenja. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd 1984, str. 63—65.
18. *William, T. H.*: Occular Hazard of Light Sources: Review of Current Knowledge. J. Occup. Med., 25 (1983) 101—103.
19. *Sliney, D. H., Wolbarsht, M. L.*: Safety standard and measurement techniques for high intensity light sources. Vision. Res., 20 (1980) 1133—1141.
20. *Medvedovskaya, C. P.*: Nekotorye dannye o sostojanii organa zrenija u lic, zanjatyh v proizvodstve sortovoga stekla. Gig. Sanit., 3 (1970) 105—106.
21. *Wallace, L., Sweetnam, P. M., Warner, C. G., Graham, P. A., Colchrame, A. L.*: An epidemiological study of lens opacities among steel workers. Br. J. Ind. Med., 28 (1971) 265—271.
22. Samoupravni sporazum o listi profesionalnih bolesti. Službeni list SFRJ br. 38/1983.
23. *Fishman, G. A.*: Potential Hazard of Light Toxicity from Ophthalmic Devices. U: Year Book of Ophthalmology 1983. Ernest, T. J. (ed.) Year Book Medical Publishers Inc., Chicago 1983, str. 231—240.
24. *Hochheimer, B. F., D'Anna, S. A., Calkins, J. L.*: Retinal damage from light. Am. J. Ophthalmol., 88 (1979) 1039—1044.
25. *Calkins, J. L., Hochheimer, B. F., D'Anna, S. A.*: Potential hazard from specific ophthalmic devices. Vision. Res., 20 (1980) 1039—1043.
26. *Rapp, R., Salsi, S., Aubertin, G., Claude, G.*: Écrans de protection contre le rayonnement thermique. Cah. Not. Doc., 115 (1984) 179—191.
27. Occupational and environmental health occupational vision (TB MED 506). Headquarters, Department of the Army, Washington, 1981.
28. *Rajković, M.*: Zaštita oka u industriji — iskustva i faktori od posebnog značaja za projektovanje naočara za zaštitu od letećih čestica. U: Zbornik radova sa naučno-stručnog skupa o upotrebi ličnih sredstava u industrijskim uslovima rada. Institut za dokumentaciju zaštite na radu »Edvard Kardelj«, Niš 1983, VIII, str. 20.
29. Valeurs limites d'exposition aux agents physiques. Cah. Not. Doc., 110 (1983) 85—97.



Sl. 1. Spektar elektromagnetnog zračenja

Summary

THE EFFECT OF INFRARED RADIATION ON HUMAN ORGANISM

Infrared (IR) radiation is the part of the electromagnetic spectrum which produces an increase in the temperature of the biological tissue and causes definite biological effects. This paper deals with the nature of IR radiation, its sources, use, measurement and biological effects on man, laying stress on ocular and skin hazard. Protective measures and the existing exposure standard are discussed.

Literature data on biological effects of IR radiation on man are scarce. The risk of damage following overexposure to IR radiation is encountered in a number of situations, especially in industry. This calls for further research of the biological effects on the eye and skin with the aim of establishing an appropriate exposure standard and protecting the occupationally exposed population.

*Institute of Occupational Health
Military Medical Academy, Belgrade*

*Received for publication
April 12, 1985*