

termico e più precisamente tramite un effetto elettrico oppure un effetto modulante od un effetto molecolare. Per quanto riguarda l'effetto termico sono particolarmente importanti ai fini della genesi dei danni biologici l'assorbimento e la profondità di penetrazione delle onde elettromagnetiche. Il primo dipende da numerosi fattori, ai fini della trasformazione in calore delle onde elettromagnetiche da parte dei tessuti umani, ed è particolarmente correlato con il contenuto idrico che determina la conduttanza elettrica e la costante dielettrica dei tessuti. La seconda invece è in diretto rapporto con la presenza di tessuto adiposo. Bisogna anche sottolineare che la quantità di calore assorbito non dipende solo dalla densità di potenza del campo, ma anche dalla possibilità dell'organismo di disperdere il calore ed è quindi influenzata dai parametri fisici ambientali quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la ventilazione ed il calore radiante.

La sensibilità degli organi alle onde elettromagnetiche dipende, oltre che dal contenuto idrico, dalla presenza di tessuto adiposo, anche dal grado vascolarizzazione dei tessuti, che ne regola gli scambi termici con l'ambiente, dalla velocità di divisione mitotica e dal grado di differenziazione cellulare.

Ne risulta, che per le ragioni sopra elencate, gli organi più colpiti sono rappresentati dal cristallino, dai testicoli e dal tessuto nervoso.

Il cristallino, data la sua scarsa vascolarizzazione e quindi scarsa possibilità di disperdere calore, è particolarmente sensibile alle radiazioni elettromagnetiche. Piccole quantità di energia elettromagnetica aumentano la temperatura del tessuto, inibiscono la velocità di divisione mitotica, diminuiscono il grado di differenziazione delle cellule del cristallino portando come conseguenza alla formazione di opacità ed, oppure, di cataratta.

Le cellule germinali dei testicoli vengono facilmente danneggiate da una elevazione della temperatura (in condizioni normali la temperatura dei testicoli è di circa 33°C e comunque di 4°C inferiore a quella corporea) anche se l'elevato ritmo di divisione ed il grado di differenziazione può venire mantenuto. Inoltre l'effetto termico determina a carico delle cellule interstiziali una diminuita produzione di androgeni. Alcuni autori, a questo proposito, hanno supposto un effetto termico a carico dell'ipotalamo condizionante una ipofunzione con diminuzione della produzione di gonadotropine e secondaria diminuita produzione di androgeni.

La notevole frequenza di lesioni a carico del testicolo in lavoratori esposti a campi elettromagnetici ad alta frequenza, favorite dalla particolare sensibilità dell'organo ed anche dalla disposizione spaziale degli elettrodi rispetto all'operatore, ha indotto numerosi autori ad assumere le lesioni a carico del testicolo come parametri di iniziale danno da esposizione ad onde elettromagnetiche, per le seguenti ragioni:

- 1) precoce insorgenza di diminuzione della libido, rispetto alle lesioni a carico del cristallino e del sistema nervoso;
- 2) riconosciuta notevole incidenza delle lesioni a carico del testicolo negli esposti;
- 3) semplicità ed attendibilità degli esami conducibili sul liquido seminale.

ALBERTI e MAGGI hanno proposto, per la precoce individuazione dei danni da esposizione a campi elettromagnetici, l'utilizzazione dell'indice di fertilità

Clinica del Lavoro « Luigi Devoto » dell'Università di Milano
Direttore: Prof. E. C. VIGLIANI

RISCHI E DANNI DERIVANTI DA ESPOSIZIONE PROFESSIONALE A CAMPI ELETTROMAGNETICI

G. MOLTENI

Negli ultimi decenni si è largamente diffusa nell'industria l'utilizzazione di apparecchiature di riscaldamento ad onde elettromagnetiche ad alta frequenza ed a corta lunghezza. Questo processo tecnologico relativamente nuovo è applicato in particolare nell'industria del legno per l'incollaggio, nell'industria della plastica per il preriscaldamento delle resine termoindurenti e per la saldatura di materiale termoplastico, nell'industria della gomma per la vulcanizzazione e per l'essiccazione di materiale tessile ed alimentare.

Il principio fisico sfruttato è rappresentato dalla proprietà dei campi elettromagnetici variabili di mettere in movimento gli elettroni del materiale esposto; nel caso di materiale dielettrico, la notevole resistenza degli elettroni allo spostamento richiede l'applicazione di elevata energia, che viene dissipata, a livello degli elettroni in movimento, sotto forma di calore.

Le apparecchiature utilizzate in campo industriale sono costituite da un generatore a radiofrequenza di potenza, da due elettrodi metallici terminali, tra i quali trova posto il materiale da riscaldare, che è sistemato su dispositivi in genere oleodinamici atti a stabilire il posizionamento ed il grado di pressature a seconda del materiale.

Le radiazioni elettromagnetiche possono irraggiarsi direttamente dal generatore, sia dal cavo che collega generatore ed elettrodi ed infine dagli elettrodi. Il campo elettromagnetico può essere misurato con un misuratore di campo oppure con un misuratore di potenza: il primo è costituito da un'antenna collegata con un voltmetro ed indica l'intensità di campo in Volt/m; il secondo è costituito da un termistore collegato ad un circuito a ponte tarato in W/m² ed indica la densità di potenza del campo.

EFFETTI BIOLOGICI

Il meccanismo d'azione delle onde elettromagnetiche ad alta frequenza è stato indagato da diversi autori, in particolare russi, rumeni, cecoslovacchi ed americani. I diversi autori concordano in linea di massima nell'attribuire i danni biologici ad un effetto termico; tuttavia è ancora in discussione la possibilità di ingenerare danni biologici con un meccanismo d'azione non

Comunicazione al Convegno su « Patologia nell'industria del legno » tenuto il 14-6-73 alla Ass. Lomb. Medici del Lavoro.

TABELLA 1 - Spettro delle onde elettromagnetiche.

Banda	Lunghezza	Frequenze	Applicazioni scientifiche e industriali	Sorgenti di radiazione	Micro onde		
					decimetri	centimetri	millimetri
lunga	3000 m	100 m	100-10 m	10-1 m	1 m-10 cm	10 cm-1 cm	1 cm-1 mm
media	100 m	3 MHz	3-30 MHz	20-300 MHz	300-3000 MHz	3-30 GHz	30-300 GHz
corta	100-10 m	3-30 MHz	3-30 MHz	20-300 MHz	300-3000 MHz	3-30 GHz	30-300 GHz
	Trattamento a caldo di metalli Trattamento a caldo di materiale dielettrico Radiocomunicazione	Trattamento a caldo di metalli Trattamento a caldo di materiale dielettrico Radiocomunicazione	Radiocomunicazioni Televisione Fisioterapia	Radiocomunicazioni Televisione Fisioterapia	Radar Radiostonomia Radiometeorologia Fisioterapia	Radar Radiostonomia Radiometeorologia Fisioterapia	Radar Radiostonomia Radiometeorologia Fisioterapia
	Trasformatori ad alta frequenza Circuiti accoppiati Antenne	Trasformatori ad alta frequenza Circuiti accoppiati Antenne	Antenne Trasmettitore	Antenne Trasmettitore	Trasmettitore Sistemi ed altissime frequenze	Trasmettitore Sistemi ed altissime frequenze	Trasmettitore Sistemi ed altissime frequenze

da Z. V. GORDON

di PAGE ed HOULDING che mette in relazione il numero di spermatozoi per mm³ di liquido seminare e la percentuale di spermatozoi normalmente conformati. In 5 casi da loro studiati, l'indice di fertilità risultò notevolmente ridotto.

Per quanto riguarda il sistema nervoso centrale, la struttura ossea relativamente spessa, l'alto contenuto in lipidi delle cellule nervose, la forma sferica del cranio che permette rifrazione e diffusione delle onde elettromagnetiche sono stati riconosciuti come fattori che facilitano ed influenzano la penetrazione delle onde elettromagnetiche e disturbano la dispersione di calore.

Dagli scarsi studi su questo argomento sembra risultare che la regione ipotalamica sia la più sensibile all'effetto termico delle onde elettromagnetiche, e che anche piccoli aumenti di temperatura in questa regione possono disturbare in maniera significativa le diverse funzioni organiche.

Per quanto riguarda gli effetti non termici delle radiazioni elettromagnetiche, allo stato attuale sono state prospettate solo delle ipotesi e più precisamente:

effetto elettromagnetico: i campi elettromagnetici posseggono la proprietà di orientare particelle con carica elettrica di diametro maggiore di 15 μ secondo la direzione del campo. Tuttavia, siccome i tessuti umani non contengono strutture istologiche libere con diametro superiore a 15 μ tale possibilità d'azione sembra da escludere;

effetto demodulante: si esplica su organi che posseggono attività elettrica propria (in particolare cuore e sistema nervoso centrale). Ricerche effettuate sia sull'uomo che sull'animale, esposti a campi elettromagnetici, hanno messo in luce modificazioni sia dell'ampiezza che della frequenza delle onde elettroencefalografiche ed elettrocardiografiche;

effetto molecolare: sarebbe dovuto ad una possibile azione catalitica delle onde elettromagnetiche su alcune reazioni chimiche ed enzimatiche. Tale effetto è, tuttavia, limitato ad una banda di frequenza molto ristretta e appare di scarsa rilevanza per l'organismo umano.

MISURE DI SICUREZZA

In numerose nazioni sono stati definiti i livelli massimi di sicurezza per gli operatori esposti a radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza ed a corta lunghezza d'onda. Tuttavia, i livelli massimi sono notevolmente differenti da nazione a nazione sia come limite massimo permesso che come tempo di esposizione ed espressi talvolta con unità di misura differente. Gli standards USSR prendono in considerazione la banda di frequenza ed il tempo di esposizione, come elencato nella Tabella 2.

Gli standards americani in vigore sono circa 10 volte superiori a quelli russi, ma attualmente sono sotto revisione.

Vengono inoltre consigliati misure protettive ed in particolare isolamento delle sorgenti di irradiazione e loro segnalazione con appositi cartelli, l'uso da parte del personale esposto di strumenti di monitoraggio, e l'adozione di schemi protettivi per le gonadi e di elmetti.

TABELLA 2 - Standards russi

Banda di frequenza	Massimo livello ammissibile	Tempo di esposizione massimo
3 - 30 M Hz	20 V.m	per turno lavorativo
30 - 300 M Hz	5 V.m	per turno lavorativo
300 - 300.000 M Hz	10 μ W/cm ² 100 μ W/cm ² 1 m W/cm ²	per turno lavorativo per 2 h d'esposizione su 24 h per 15-20 m ogni 24 h

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La scarsa conoscenza allo stato attuale degli effetti biologici conseguenti all'esposizione a campi elettromagnetici ad alta frequenza, il notevole aumento d'impiego industriale di generatori di campi elettromagnetici ad alta frequenza, l'assenza di modalità standards per la misura dell'intensità di campo, non permettono allo stato attuale di trarre conclusioni definitive, anche se si deve ammettere un rapporto causale fra tecnologia usata e patologia riscontrata.

Ne scaturisce, a nostro parere l'urgenza di impostare su vasta scala un programma di intervento, articolato sui seguenti punti fondamentali:

- 1) identificazione dei soggetti professionalmente esposti;
- 2) standardizzazione degli apparecchi di misura dell'intensità di campo;
- 3) Esecuzione di esami clinici e di laboratorio sui soggetti professionalmente esposti per una valutazione dell'estensione di manifestazioni patologiche, ma soprattutto per una precoce identificazione di alterazioni funzionali causate da onde elettromagnetiche, prima della loro trasformazione in alterazioni organiche e quindi irreversibili.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTI S., MAGGI G. e SOLIMEI E. (1971): *Securitas*, 5, 375. -- KALENT H. (1959): *Can. Med. Ass. J.*, 81, 575. -- JOLY R. (1968): *Arch. mal. prof. med. Travail Sec. soc.*, 29, 121. -- Occupational health and safety - International Labour Office Geneve, 1972. -- PELIS L. Jr. (1964): *Ind. Med. Surg.*, 33, 866. -- WESTIN J. B. (1968): *J. Occ. Med.*, 10, 134. -- TERRILL J. G. (1969): *Arch. Environm. Health*, 19, 265.