طب نظامی
بهار و تابستان ۱۳۸۰ شماره ۳(۱ و ۲)
صفحات ۷۹-۷۳

آثار بیولوژیک امواج رادیویی و مایکروویو بر انسان

علی کیانی .M.Sc
آدرس مترجم: دانشگاه صنعتی مالک اشتر ـ گروه فیزیک ـ اصفهان ـ ایران

خلاصه

انسان در معرض انواع میدانهای الکترومغناطیسی ناشی از منابع طبیعی و مصنوعی است. این میدانها باعث ایجاد میدان الکتریکی در بدن و تأثیر بر حرکت یونها، ایجاد گرما، تحریک عصبی و عضلانی و انواع آثار گوناگون می‌شوند. آثار بیولوژیکی این امواج به شدت، فرکانس، شکل موج و زاویهٔ بین میدانهای اعمالی و میدان مغناطیس زمین و همچنین به پیوسته یا پالسی بودن آن بستگی دارند. میدانهای الکترومغناطیسی ناشی از وسایل معمولی در حد متعارف هستند و به نظر نمی‌رسد خطری برای انسان داشته باشند. اما نتایج تحقیقات انجام شده بر روی افراد خاص مانند پرسنل نظامی و یا افرادی که در نزدیکی ایستگاههای رادار، فرستنده‌های پُرقدرت مخابراتی و رادیویی و پُستهای فشار قوی فعالیت و زندگی می‌کنند نشان می‌دهد که آثار زیانباری دارند و زندگی در نزدیکی آنها خالی از ریسک نیست. لذا محققین توصیه می‌کنند تا حد ممکن از چنین میدانهایی اجتناب شود.

مقدمه

امواج الکترومغناطیسی سرتاسر فضای اطراف ما را پُر کرده است. بسیاری از این میدانها و امواج از ابتدای پیدایش جهان وجود داشته‌اند و از میلیونها سال قبل در پیدایش حیات و تکامل آن نقش داشته‌اند.

با پیشرفت تکنولوژی و توسعهٔ صنعت و صنایع نظامی و مخابراتی و با کاربردهای روز افزون میدانهای الکترومغناطیسی در مخابرات تحقیقات و پزشکی همه‌روزه میدانهایی با شدت متفاوت و اشکال گوناگون سلامت محیط زیست انسان را در معرض تهدید قرار می‌دهند. آثار بیولوژیک ناشی از این میدانها به شدت میدان، فرکانس تغییرات آن و خصوصیات فیزیکی فرد یا بافتی که مورد تابش قرار گرفته بستگی دارند. اکثر دستگاههایی که از برق شهر استفاده می‌کنند در اطراف خود دارای میدانی هستند که با فرکانس برابر با فرکانس برق شهر تغییر می‌کند. دستگاههای مخابراتی و رادار، فرستنده‌های بی‌سیم، دستگاههای MRI ، تلفنهای همراه، تلفنهای بدون سیم (واکی‌تایمر)، اجاقهای ماکروفر و دستگاههای تصویری و مونیتور از جمله منابع میدانهای الکترومغناطیسی در محدوده RF[1] هستند. میدانها با فرکانس پایین معمولاً می‌توانند باعث تحریک عصبی شوند و آثار گرمایی آنها (در حد تابشهای زمینه) ناچیز است. اما آثار ناشی از میدانهای فرکانس بالا بیشتر آثار گرمایی هستند.

منابع طبیعی میدانهای الکترومغناطیسی RF

تابش خورشیدی و اشعهٔ کیهانی از منابع مهم میدانهای طبیعی برون‌جوی هستند. انفجارات خورشیدی و صاعقه نیز از منابع دیگر تابشهای RF هستند. زمین و حتی بدن انسان تابشهای گرمایی با شدت حدود $0/003\ W/m^2$ و در فرکانسهای بیش از ۳۰۰ GHz ارسال می‌کنند. زمین مانند فیلتری ما را در مقابل

1. Radio Frequency

قسمتی از تابشهای زیانبار الکترومغناطیسی بیرون از جو حفظ می‌کند. امواج الکترومغناطیسی که قادرند از این فیلتر عبور کنند به دو پنجره فرکانسی، یکی در محدوده نور مرئی و دیگری حدود در فرکانسهای ۱۰ MHz تا ۳۷/۵ GHz، محدود می‌شوند [۱].

منابع مصنوعی میدانهای الکترومغناطیس RF

فرستنده‌های مخابراتی، سیستمهای رادار و فرستنده‌های رادیویی و تلویزیونی میدانهای الکترومغناطیسی شدیدی تولید می‌کنند که با فرکانس بالا نوسان می‌کنند.

کارگرانی که در برجهای خبری رادیویی و تلویزیونی کار می‌کنند، تحت تأثیر میدانهای الکتریکی از مرتبه ۱۰ KV/m و میدانهای مغناطیسی با شدت بالاتر از ۵ mA/m قرار می‌گیرند. اجاقهای مایکروویو نیز از منابع تولید میدانهای الکترومغناطیسی RF هستند که با توان خروجی ۶۰۰-۱۰۰۰W در فرکانسهای ۹۱۵ MHz و ۲۴۵۰ MHz کار می‌کنند. این میدانها در صورت نشت به بیرون بسیار زیانبار هستند. از مهمترین منابع میدانهای الکترومغناطیسی با فرکانس بالا تلفنهای همراه (موبایل) هستند. این تلفنها امواج الکترومغناطیسی در محدوده ۹۰۰ MHz تا بیش از یک GHz ۱ را ارسال و دریافت می‌کنند [۲].

در فاصلهٔ فرکانسهای ۱ MHz تا ۱ GHz انرژی الکترومغناطیسی توسط بدن جذب و به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد که اگر میزان جذب انرژی از حدود ۴ W/m^2 افزایش یابد، ۱ تا ۲ درجه دما را افزایش می‌دهد، لذا از این امواج در فرکانسهای نزدیک به ۲۷ MHz و ۲۴۵۰ MHz برای مقاصد درمانی استفاده می‌شود [۳].

انسان در میدان الکترومغناطیسی

از نظر میدان الکترومغناطیسی بدن انسان یک محیط ناهمگون است که خواص الکتریکی و مغناطیسی قسمتهای مختلف آن با هم متفاوت است. میدانهای الکتریکی با فرکانس کم باعث جاری شدن بارهای مقید و شکل‌گیری دیپل‌های الکتریکی و تغییر جهت دیپل‌های موجود در بافت می‌شوند. میدان الکترومغناطیسی متغیر باعث القاء میدان الکتریکی و مغناطیسی در بدن و ایجاد جریان بسته می‌شود. اندازه میدان القایی و چگالی جریان متناسب با شعاع حلقه هدایت جریان و نرخ تغییرات فلوی میدان می‌باشد.

چگونگی جذب انرژی از میدان توسط بدن

ماکزیمم جذب از یک میدان RF زمانی اتفاق می‌افتد که جهت میدان الکتریکی موازی با قامت شخص باشد. همچنین برای یک انسان متوسط میدانهای با فرکانس بین ۷۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز یعنی باند VHF بیشترین جذب را در بدن دارند. بطور کلی میزان جذب در فرکانسهای مختلف بصورت زیر تغییر می‌کند:

- فرکانسهای زیر ۱۰۰KHz باعث جذب انرژی ناچیز و افزایش دمای اندک و غیرقابل اندازه‌گیری می‌شود و اثر آن بیشتر به ایجاد جریان القایی و تا حدی تحریک عصبی برمی‌گردد [۲].
- در فرکانسهای بیشتر از ۱۰۰KHz جذب بیشتر است. با افزایش فرکانس میزان جذب انرژی بیشتر افزایش می‌یابد و جذب موضعی می‌شود. در فرکانسهای بیش از ۱۰GHz یعنی باند EHF[1] جذب انرژی از میدان الکترومغناطیسی بیشتر به سطح پوست محدود می‌شود. به همین دلیل نیز در فرکانسهای مختلف از واحدهای متفاوتی برای اندازه‌گیری شدت میدان استفاده می‌شود [۲].

اثر غیرمستقیم میدان

اثر غیرمستقیم میدان اولاً، به جریان حاصل از اتصال بین شخص و رسانای الکتریکی دیگری که در میدان قرار دارد و در پتانسیل متفاوتی است بستگی دارد. با تماس شخص با این رسانا جریان الکتریکی از بدن او می‌گذرد که شدت این جریان بستگی به شدت میدان، فرکانس، محل تماس، سن و جنس فرد دارد. ثانیاً به کوپلینگ (جفت‌شدگی) میدان با وسایلی که در بدن شخص کار گذاشته می‌شود یا همراه اوست مانند سمعک، پیس‌میکر (ضربان‌ساز قلبی مصنوعی) یا الکترودهایی که برای تحریک و یا برای اندازه‌گیری علائم حیاتی در داخل بدن شخص قرار داده می‌شود بستگی دارد و باعث وقفه در کار آنها می‌شود.

1. Extremely High Frequency

ایمپلانتهای فلزی در داخل بدن به شدت امواج مایکروویو را جذب می‌کنند و دمای آنها سریعاً بالا می‌رود.

برای بدن خطرناک‌ترین فرکانسها، فرکانسهای ELF[1]، در حدود ۵۰ تا ۸۰ هرتز، هستند در این فرکانسها جریانهای بسیار کوچک باعث آثار بیولوژیک قابل توجه می‌شوند. به عنوان مثال عبور جریان ۲۳mA در فرکانسهای حدود ۵۰ تا ۶۰ هرتز می‌تواند باعث شوک دردناک و مشکل شدید قلبی و تنفسی شود، در حالیکه اثر مشابه در فرکانس ۱۰۰KHz با جریانی حدود ۳۲۰mA ایجاد می‌شود [۵].

آثار بیولوژیک پرتوگیری از میدانهای *RF* و مایکروویو

اطلاعات دقیق در مورد آثار بیولوژیک میدانهای RF و مایکروویو در گزارش NRPB[2] و گزارش WHO[3] در سال ۱۹۹۳ و گزارش Mackinley و همکارانش در سال ۱۹۹۶ آمده است. بر روی آثار قابل تکرار و ریسک سرطان در افرادی که در معرض امواج RF و مایکروویو قرار گرفته‌اند مطالعات اندکی انجام شده است [۳].

اثر بر زاد و ولد

در مطالعه‌ای که بر روی پرسنل شاغل در سایتهای راداری انجام شد، رابطه‌ای بین پرتوگیری مایکروویو و پیدایش سندرم دان در بین فرزندان گروه نمونه مشاهده نگردید [۶]. در طی چندین تحقیق بر روی کارگرانی که با جریانهای مایکروویو کار می‌کردند و بررسی اثر آن بر نارساییهای تولد و باروری در فرزندان آنها هم جواب مثبت و هم جواب منفی بدست آمد [۸،۷]. در دو تحقیق گسترده بر روی زنانی که برای درمان دردهای ناشی از انقباض رحم از دیاترمی استفاده می‌کردند مشخص شد که امواج مایکروویو که در دیاترمی استفاده می‌شوند هیچ اثری بر روی جنین ندارند [۹]. همچنین در مطالعات وسیع‌تر بر روی افرادی که با دیاترمی موج کوتاه کار می‌کردند هیچ اثر معنی‌داری در نرخ نارساییهای جنینی دیده نشد [۷]. در حالیکه در مطالعات دیگری نارساییهای نوزادی و ریسک سقط جنین در این گروه بیش از افراد عادی بود [۸].

اینگونه مطالعات بر پرتوگیری مایکروویو از ضعف در اندازه‌گیری شدت پرتوگیری مایکروویو و تعداد کم سوژه‌ها رنج می‌برند لذا به رغم نتایج کلی تحقیقات، بدون انجام مطالعات دیگر نتیجه‌گیری در مورد ریسک ناشی از تابش مشکل است.

تابش *RF* و سرطان

تحقیقات کمی در زمینه اندازه‌گیری ریسک ناشی از تابش مایکروویو انجام شده است و در این تحقیقات نیز معمولاً شدت تابش بصورت دقیق اندازه‌گیری نشده است. در تحقیق بر روی کارکنان ایستگاههای رادار در صنایع هوایی و نیروهای نظامی آمریکا هیچ افزایش مرگ و میری در گروه مورد بررسی مشاهده نشد [۱۰].

تحقیق مشابهی که توسط Lilienfeld و همکارانش انجام شده همان نتایج را داده است. این تحقیق بر روی کارکنان سفارت آمریکا در مسکو که بصورت مزمن تحت تابش سطح پایین RF بوده‌اند انجام شده است [۱۱]. Selvin و همکارانش هیچ افزایشی در نرخ ابتلا به سرطان در بین کودکانی که در نزدیکی محل زندگی آنها یک گسیل‌کننده RF وجود داشت مشاهده نکرده‌اند [۱۲]. در تحقیقات اخیر بر روی کارکنان و پرسنل نظامی که تحت تابش RF بودند نیز هیچ افزایش قابل مشاهده در ابتلا به تومورهای سیستم عصبی مشاهده نگردیده است [۱۳].

همچنین در استفاده‌کنندگان از موبایل نیز تحقیقات هیچ افزایش مرگ و میری را نشان نداده است. یا اینحال هنوز برای نتیجه‌گیری خیلی زود است. گزارشی از افزایش ریسک سرطان در بین پرسنل نظامی که در معرض امواج رادیویی بوده‌اند در دست است ولی چون نه تعداد جمعیت و نه شدت تابش مشخص شده تفسیر نتایج این تحقیق مشکل است [۱۴].

در تحقیق دیگری Szigielski افزایش ریسک ابتلا به لوسمی و لنفوما را در بین نظامیانی که در معرض میدانهای الکترومغناطیسی بودند مشاهده کرد اما شدت میدان الکترومغناطیسی در این تحقیق به خوبی مشخص نشده

1. Extremely Low Frequency
2. National Radiation Protection Board
3. Organization Word Health

بود [۱۵]. بطور کلی نتایج اینگونه مطالعات قطعی نیست و از اندک مطالعات اپیدمیولوژی منتشر شده اطلاعات ناقصی برای محاسبهٔ ریسک سرطان بدست می‌آید.

مطالعات آزمایشگاهی

نتایج تحقیق بر روی میدانهای الکترومغناطیس با فرکانس بیش از ۱۰۰KHz برای مطالعات اپیدمیولوژیک و آزمایشگاهی بطور جداگانه در زیر آمده است.

مطالعات بر روی داوطلبان

تحقیقات انجام شده توسط Chattergee و همکارانش نشان داد که همچنان که فرکانس از ۱۰۰KHz تا ۱۰MHz افزایش می‌یابد، آثار برجسته در میدانهای قوی از تحریک عصبی عضلانی بسوی آثار گرمایی تغییر می‌کند. در فرکانسهای زیر ۱۰۰KHz تحریک ابتدایی بصورت تیک‌های عصبی است. در حالی که در ۱۰MHz این اثر بصورت گرم شدن مغناطیسی است. گرم شدن ۱ تا ۲ درجه می‌تواند سلامتی را به خطر بیاندازد [۵].

مطالعه بر روی افرادی که در محیطهای استرس‌زای گرمایی کار می‌کنند نشان می‌دهد که گرما می‌تواند باعث کاهش کارایی افراد و حتی شوک حرارتی گردد. افرادی که یک جریان ۱۰۰-۲۰۰mA از بدنشان عبور می‌کند یک احساس گرما را گزارش کرده‌اند ولی نرخ جذب ویژه (SAR)[1] بدست آمده آنقدر است که باعث افزایش دمای موضعی بیش از ۱ درجه نمی‌شود [۱۶]. افزایش دمای موضعی ۱ درجه می‌تواند به عنوان حد دمایی که باعث هیچ اثر شناخته شده‌ای بر سلامتی نمی‌شود شناخته شود [۵]. نتایج تحقیق بر روی داوطلبان برای فرکانسهای ۵۰MHz و ۱۱۰MHz (سطح بالایی باند FM[2]) سطح جریان ۱۰۰mA را بعنوان جریانی که دارای هیچ اثر مشخصی بر سلامت انسان نمی‌شود نتیجه می‌دهد.

مطالعات بسیار زیادی بر روی داوطلبانی که در حال استراحت در معرض پرتوهای الکترومغناطیس مربوط سیستمهای تصویرگیری قرار گرفته‌اند انجام شده است. در بیشتر این تحقیقات روشن شده که پرتوگیری حدود ۳۰ دقیقه در حالتی که SAR کمتر از ۴W/kg باشد باعث افزایش دمای کمتر از یک درجه در داخل بدن می‌شوند [۱۷].

مطالعات سلولی و حیوانات

گزارشهایی از پاسخ رفتاری حیوانات آزمایشگاهی مثل رودنت و سگ و انواع دیگر حیوانات برای مشخص شدن برهم‌کنش فرکانسهای ۱۰MHz با بافت وجود دارد. حساسیت گرمایی و تنظیم دمای بدن مربوط به هیپوتالاموس و رسپتورهای گرمایی در داخل بدن و پوست می‌شود. سیگنالهای ناشی از تغییر دما به مرکز سیستم عصبی می‌رسد و با تغییر ترشحات غدد درون‌ریز اعمال فیزیولوژیک و پاسخهای رفتاری مناسب برای تأمین هوموستاز انجام می‌شود. پرتو دادن به حیوانات آزمایشگاهی با نرخ جذب ویژهٔ در حدود ۴W/kg الگوی تغییر دمایی را نشان می‌دهد که در آن ابتدا دما بالا می‌رود و سپس بدنبال عمل مکانیسم تنظیم دما ثابت می‌شود. قسمت اول این پاسخ مربوط به افزایش حجم خون بدنبال ورود مایع بین سلولی به چرخه جریان خون و افزایش برون‌ده قلبی و فشار بطنی می‌باشد [۱۸]. این تغییر دینامیکی قلب باعث هدایت گرما به سطح پوست جهت کاهش دما می‌شود. افزایش زمان پرتوگیری مایکروویو که باعث افزایش دمای بیشتر می‌شود منجر به از کار افتادن این مکانیسم تنظیم دما می‌شود. مطالعات زیادی بر روی رودنتها و میمونها اجزاء رفتاری این مکانیسم تنظیم دما را نشان می‌دهد. کاهش عملکرد مکانیسم تنظیم دما در شدتهای بین ۱-۳W/kg دیده شده است [۱۹]. در میمونها تغییر عملکرد تنظیم دما هنگامی که دما بین ۰/۳-۰/۲ درجه سانتیگراد در ناحیهٔ هیپوتالاموس تغییر کند دیده می‌شود [۲۰]. هیپوتالاموس به عنوان مرکز سیستم تنظیم دما به شمار می‌رود و فعالیت آن در شرایطی که دما در ناحیه رکتوم ثابت بماند با تغییر دمای موضعی اندکی مشخص می‌شود. در سطحی از انرژی الکترومغناطیسی که باعث افزایش دمای بدن بین ۲-۱ درجه سانتیگراد می‌شود آثار فیزیولوژیکی زیادی در مطالعهٔ حیوانات آزمایشگاهی و سلولی دیده شده است. این آثار

1. Specific Absorption Rate
2. Frequency Modulated

شامل تغییرات عصبی و عصبی‌عضلانی، افزایش گذردهی خونی و مغزی، نارسایی بینایی (سیاه شدن عدسی، نارسایی قرنیه) تغییرات وابسته به استرس در سیستم ایمنی، تغییرات خونی، تغییرات تناسلی (مثلاً کاهش تولید اسپرم)، تراتوژنتیسه، تغییر در خصوصیات مرفولوژیک سلولی، تغییرات آب و الکترولیت و عملکرد غشاها می‌باشند.

در حالتی که قسمت جزیی از یک بافت حساس مثلاً چشم و تخمدانهادر معرض تابش شدید الکترومغناطیس قرار گیرد ضایعهٔ مشخصی ممکن است اتفاق بیفتد. پرتوگیری مایکروویو با دورهٔ زمانی ۳-۲ ساعت و با SAR حدود ۱۴۰-۱۰۰W/kg که باعث افزایش دمای لنزی حدود ۴۳-۴۱ درجه می‌شود می‌تواند باعث کاتاراکت در چشم خرگوش شود در حالی که هیچ کاتاراکتی در میمونها با تابش الکترومغناطیس با شدت در این حدود و یا بالاتر مشاهده نشده است [۲۱]. این تفاوت شاید به خاطر تفاوت الگوی جذب در عدسی چشم میمونها باشد. در فرکانسهای بالای ۳۰۰GHz-۱۰ جذب امواج الکترومغناطیس عمدتاً در لایهٔ اپی‌درم پوست بافت زیر لیفی[1] و لایهٔ آخر چشم محدود می‌شود. در فرکانسهای بالاتر جذب بطور فزاینده سطحی است ضایعات بینایی در این فرکانسها را می‌توان با نگهداشتن دانسیته توان مایکروویو در کمتر از ۵۰W/kg پیشگیری نمود [۲۲]. علاقهٔ زیادی به مطالعه اثر کارسینوژنز (سرطان‌زایی) امواج مایکروویو که در ارتباطات استفاده می‌شوند (مثلاً با دستگاههای موبایل و مبدلهای آن) وجود دارد. در گزارش شماره ۱۹ کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونیزان (ICNIRP) نتایج تحقیقات در این مورد خلاصه شده است. بعضی محققین پیشنهاد می‌کنند که در معرض تابش قرار دادن رودنتها با شدت SAR در حدود ۱W/kg ممکن است باعث شکستهای استاندارد در DNA بافتها و بافت مغزی گردد. اگرچه ایراداتی به روشهای مورد استفاده در این مطالعات وارد است [۲۳].

در یک تحقیق گسترده، رتهایی که برای بیش از ۲۵ ماه در معرض امواج مایکروویو بودند بدخیمی‌های اضافی قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گروه کنترل داشتند. اگرچه انسیدانس تومورهای خوش‌خیم بین گروهها تفاوت نمی‌کرد [۲۴].

مطالعات زیادی به اثر امواج مایکروویو بر رشد تومورهایی که قبلاً از سلول شروع شده می‌پردازند. سمیگلسکی و همکارانش افزایش رشد سلولهای سارکومای ریه را در اثر تابش میدانهای مایکروویو با شدت زیاد گزارش کردند. این اثر ممکن است به دلیل تضعیف سلولهای ایمنی میهمان بدلیل اثر گرمایی میدان تابش باشد. اگرچه در تحقیقات اخیر امواج مایکروویو همراه با اثر گرمایی هیچ اثری بر روی توسعهٔ ملانوما در موشها و یا گلیومای مغزی در رتها نداشته‌اند [۱۵].

گزارش شده است که در معرض یک میدان مایکروویو قرار گرفتن موشهای هوشیار باعث قطع رفلکس ترس و فرار در آنها و بی‌حرکت شدن آنها می‌شود. در بعضی تحقیقات تغییرات دژنره در سلولهای حساس به نور شبکیه برای امواج پالسی در سطح انرژی با پایینی ۲۶mj/kg گزارش شده است. در حالیکه بعد از استفاده از دارو تیمول مالئیت که در درمان گلوکوم استفاده می‌شود آستانه انرژی جذبی برای تخریب شبکیه به ۲/۶mj/kg کاهش می‌یابد [۲۵].

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشات نشان می‌دهد یک انسان خوابیده که ۳۰ دقیقه در معرض میدان الکترومغناطیسی با نرخ ویژه جذب (SAR) بین ۴W/kg-۱ قرار گیرد افزایش دمای حدود یک درجه سانتیگراد را خواهد داشت. آزمایشات مربوط به حیوانات نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. پرتوگیری از یک میدان شدیدتر که یک SAR متجاوز از ۴W/kg ایجادکند می‌تواند ظرفیت تنظیم دمای بدن را بهم زده و یک سطح زیانبار گرمای بافتی را ایجاد کند. داده‌های آزمایشگاهی و نتایج مطالعات محدود انسانی روشن می‌سازد که محیطهای استرس‌زای گرمایی و استفاده از داروها و الکل می‌تواند ظرفیت تنظیم دمای بدن را خنثی نماید. فاکتورهای ایمنی تحت این شرایط باید تعریف شود تا اطمینان کافی برای افرادی که در معرض این میدانها هستند ایجاد شود. تحقیقات آزمایشگاهی بی‌شماری بر روی رودنتها و پستانداران دیگر برای ۱ تا ۲ درجه افزایش دما طیف گسترده‌ای از آسیبهای بافتی را نشان داده‌اند. حساسیت بافتهای مختلف بسیار تغییر

1. Subcutanaus

می‌کند اما آستانه جذب غیربرگشت‌پذیر حتی برای بافتهای حساس تحت شرایط نرمال بالاتر از ۴W/kg می‌باشد. این اطلاعات یک مبنا برای پرتوگیری شغلی در ۰/۴W/kg می‌دهد که محدودهٔ ایمنی کافی حتی برای شرایط خاص مثل دمای محیطی بالا، رطوبت و فعالیت فیزیکی عرضه می‌کند.

مطالعات اپیدمیولوژیک بر روی کارگران و مردم نشان می‌دهند که هیچ اثر عمده‌ای بهداشتی به پرتوگیریهای معمولی مربوط نمی‌شود. اگرچه نقائصی در مطالعات اپیدمیولوژیک وجود دارد، اما تحقیقات آزمایشگاهی بر روی سلولها و یا حیوانات نیز نشان‌داده‌اند که هیچ اثر کارسینوژن یا تراتوژنیک از پرتوگیری گرمایی از میدانهای با فرکانس بالا در شدتهای زمینه دیده نمی‌شود.

واژه‌نامه

جذب . در انتشار امواج، تضعیف امواج رادیویی به واسطه از دست دادن انرژی آن و تبدیل به صورتهای دیگر انرژی مثل گرما می‌باشد

شدت میدان الکتریکی . کمیتی است که متناسب با مقدار نیرویی است که به واحد بار وارد می‌شود و واحد آن ولت بر متر (V/m) است.

فرکانس . تعداد نوسانات موج الکترومغناطیس در یک ثانیه فرکانس نام دارد. واحد آن هرتز (Hz) است.

شدت میدان مغناطیسی . یک کمیت برداری است که به همراه دانسیته قلوی مغناطیسی میدان مغناطیسی در یک نقطه از فضا را مشخص می‌کند و واحد آن آمپر بر متر (A/m) است.

دانسیته قلوی مغناطیسی B . یک کمیت برداری است که وقتی در شدت میدان مغناطیسی ضرب شود، دانسیته قلوی مغناطیسی را می‌دهد و واحد آن تسلا است.

امواج رادیویی RF . امواج الکترومغناطیسی که برای ارتباطات راه دور مناسب می‌باشند (فرکانسهای از ۳۰۰ Hz تا ۳۰۰ GHz).

مایکروویو . امواجی که طول موج آنها آنقدر کوتاه است که می‌توان از موجبرها برای انتقال آنها استفاده نمود و فرکانس آنها بیش از ۱۰۰MHz است.

دانسیته توان . در انتشار امواج رادیویی توانی است که از واحد سطح عمود بر جهت انتشار عبور می‌کند و واحد آن وات بر متر مربع (W/m2) است.

جذب ویژه انرژی (SA) . مقدار انرژی جذب شده در واحد جرم ماده بیولوژیک برحسب ژول بر کیلوگرم (J/kg) است.

نرخ جذب ویژه انرژی (SAR) . نرخ جذب انرژی در بافتهای بدن برحسب وات بر کیلوگرم (W/kg) است.

References

1. Young A, Hugh D. University Physics 8th 1992. New York Adisson Wesly.

2. Durney CH, Massoudi H, Iskandar MF. Radiofrequency radiation dosimetry handbook, Brook Air Force Base, Tx: US Air Force School of Aerospace, Medical Division; Reg. no. SAM-TR_73, 1985.

3. Polk CE. Biological effects of electromagnetic fields. 2nd ed. Boca Raton. FL; CRC Press, 1996.

4. Tenford TS, Kaun WT. Case of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. Health Phys; 53: 585-606, 1987.

5. Chatterjee IWD, Gandhi OP. Human body impedance and thershold currents for perception and pain for contact hazards analysis in the VLF-Mf band. IEEE Trasactions on Biomedical Engineering; 33: 486-94, 1986.

6. Cohen BH, Lilienfield AM. Parental factors in down's syndrome: New York Academic Press: 301-52, 1977.

7. Kallen B, Malquist G. Delivery outcome among physiotherapists in sweden: Arch Environ Health; 37: 81-85, 1982.

8. Larsen Al, Olsen J, Svane O. Gender-specific reproductive outcome and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among physiotherapists. Scand J Work Environ Health; 17: 324-9, 1991.

9. Dales JM. Microwave heating of the uterine wall during parturition. J Microwave Power; 11: 166-7, 1976.

10. Barron CI. Medical considerations of exposure to microwaves (radar). J Am Med Assoc; 168: 1194-99, 1958.

11. Lillienfeld AM, Tonasica J. Forein service health status study evaluation of health status of foreign service and other employees from selected eastern european posts. Final report. Bioelectromagnetics; 14: 395-403, 1993.

12. Selvin S, Schulman J. Distance and risk measures for the analysis of spatial data; a study of childhood cancer. Soc Sci Med; 34: 769-77, 1992.

13. Beall C. Brain tumors ammong industry workers. Epidemiology: 125-130, 1996.

14. Rothman KJ. Assesment of cellar telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research. Epidemiology; 7: 291-8, 1996a.

15. Szmigielski S. Canser morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radio frequency and microwave) electromagnetic radiation. Sci Tot Environ; 180: 9-17, 1996.

16. Ramsey JD, Kown YC. Simplified decision rules for predicting performance loss in the heat; Proceedings Seminar on heat stress indices. Luxembourg CEC, 1988.

17. Shellock FG, Crues JV. Temperature, heart rate and blood pressure changes associated witn clinical imaging at 1.5 T. Radiology; 163: 259-62. 1987.

18. Michelson SM. Biological effects of RF and MW energy: Overall phenomenology in biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press: 435-533, 1996.

19. Stern S, Margolin L. Microwave: Effects on thermoregulatory behavior in rats. Science; 206: 1198-1201, 1979.

20. Adaire ER, Adams BW. Minimal changes in hypothalamic temperature accompany microwave-induced alteration of thermoregolatory behavior. Bioelectromagnetics; 5: 13-30, 1984.

21. Guy AW, Lin JC, Kramar PO. Effect of 2450 MHz radiation on the rabbit eye. IEEE Transactions on Microwave Theory Technique; 23: 494-8, 1975.

22. Sliney D, Wolbarsht M. Safety with laser and other optical sources. London Plenum Press, 1980.

23. Sakar S, Ali S, Behari J. Effect of low power microwave on the mouse genom: A direct DNA analysis. Mutation Res; 320: 141-7, 1994.

24. Chouc K, Guy AW. Long-term, low level microwave radiation of rats. Bioelectromagnetics; 13: 469-96, 1992.

25. Kamimura Y, Sato K. Effects of 2.45 GHz microwave irradiation on monkey eyes. IEICE Trans Conunications; E77: B762-5, 1994.