

بررسی چیدمان پرتودهی در مطالعات *in-vivo* اثرات بیولوژیکی امواج الکترومغناطیسی

اکبر انوری^{*}، حسن توکلی^۲

(۱) گروه پرتوپزشکی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(۲) مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله(عج)، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۰

چکیده

مقدمه: در سال های اخیر کاربرد امواج الکترومغناطیس در زندگی انسان به صورت بی رویه افزایش یافته است. بر اساس آمار در سال ۲۰۱۲ بیش از چهار بیلیون مشترک تلفن همراه وجود دارد، بنا بر این نیاز ضروری برای انجام تحقیقات گسترده به منظور بررسی و ارزیابی اثرات بیولوژیکی امواج الکترومغناطیسی وجود دارد.

مواد و روش ها: مطالعات آزمایشگاهی اثرات امواج بر بافت های بیولوژیکی در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی به مطالعات *in-vitro* و انسانی تقسیم می شوند. در سال های اخیر طراحی سیستم های پرتودهی برای مطالعات آزمایشگاهی به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته است.

یافته های پژوهش: هدف اصلی این مطالعه بررسی ساختار و چیدمان پرتودهی در مطالعات *in-vivo* امواج الکترومغناطیسی می باشد. بر اساس مقالات چاپ شده در مجلات معتبر علمی در طی ده سال اخیر، سی و سه اتفاق پرتودهی برای مطالعات *in-vivo* طراحی شده است. هدف اصلی این سیستم ها تولید موج الکترومغناطیس با توجه به موضوع مورد مطالعه است که شامل همه پارامترهای پرتودهی و تنوع بالای زمانی و مکانی است.

بحث و نتیجه گیری: در مطالعات *in-vivo* پرتودهی انواع حیوانات توسط امواج الکترومغناطیس مورد نظر می باشد. ناحیه تحقیق از مطالعات رفتاری تا مخاطرات بلند مدت را شامل می شود. در این مطالعات از روش های سمتی شناسی برای بررسی عوامل مختلف ریسک، استفاده می شود. در این مطالعات اتفاق پرتودهی باید به نحوی طراحی گردد تا تمامی جوانب بیولوژیکی و الکترومغناطیسی را در برگیرد.

واژه های کلیدی: مطالعات *RF*, امواج *in-vivo*, بیوالکترومغناطیس

*نویسنده مسئول: گروه پرتوپزشکی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

Email: A_Anvari@sbu.ac.ir

مقدمه

عملکرد غیر واضح باقی می‌ماند.^(۲) تخمین دز غیر ممکن است یا در حقیقت با یک گستره بزرگ در یک مکانیسم اثر دز نامعلوم به دست می‌آید.^(۳) تمرکز اصلی روحی بیماری‌ها است و دیگر اثرات فرعی و عوارض نادیده گرفته می‌شود. بنابراین مطالعات میدانی صورت گرفته، فقط برای بیماری‌های مورد نظر مفید خواهد بود. از سوی دیگر مطالعات آزمایشگاهی اثرات میدان روحی بافت‌های بیولوژیکی در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی را بررسی می‌کنند، که به مطالعات in-vivo و in-vitro و انسانی تقسیم می‌شوند.^(۲) در این پژوهش به بررسی سیستم‌های پرتودهی امواج الکترومغناطیسی در مطالعات in-vivo پرداخته می‌شود.

در سال‌های اخیر طراحی سیستم‌های پرتودهی برای مطالعات آزمایشگاهی به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است. هدف اصلی سیستم‌های پرتودهی تولید یک پرتو الکترومغناطیس با توجه به موضوع مورد مطالعه است که شامل همه پارامترهای پرتودهی و تنوع بالای زمانی و مکانی است. به علاوه سیستم‌های پرتودهی نیاز به داده‌های معین تکمیلی دارند تا تابش‌های غیر الکترومغناطیسی حذف شده یا کاهش یابند. سیستم‌های پرتودهی باید در دماهای مختلف، کنترل شده و محیط مناسبی برای حیوانات تحت آزمایش از نظر تغذیه، تنفس و دیگر شرایط لازم محباً باشد. باید از هر گونه قرار گرفتن نمونه‌های تحت آزمایش در معرض عوامل شیمیایی و فیزیکی جلوگیری گردد.

سال‌ها است که تحقیقات در مورد اثرات بیولوژیکی انرژی فرکانس رادیویی در آزمایشگاه‌های مختلف علمی و صنعتی در سراسر جهان انجام می‌گیرد و هنوز هم ادامه دارد. بیشتر این تحقیقات به دلیل استفاده از تجهیزات راداری و دیگر ابزارهای رادیوفرکانسی در تجهیزات نظامی، در قسمت پدافند نظامی صورت گرفته است. هم چنین بیشتر آزانس‌های غیرنظامی مثل آزانس حفاظت محیطی (EPA) و مدیریت دارو و غذا (FDA) هم دیگر مدافعان این تحقیقات بودند. در حال حاضر بسیاری از تحقیقات غیرنظامی اثرات بیولوژیکی امواج رادیوفرکانسی در آمریکا، توسط شرکت‌های صنعتی همانند موتورولا صورت می‌گیرد. در سال ۱۹۹۶ سازمان سلامت جهانی برنامه‌ای برای بازخوانی مقاله‌های علمی در مورد اثرات بیولوژیکی تابش ارائه کر.^(۱) ارزیابی ریسک میدان الکترومغناطیسی شامل مطالعات آزمایشگاهی و میدانی است. مطالعات میدانی اطلاعات سلامت جمعیتی که مرتباً تحت تابش هستند را بررسی می‌کند و آن‌ها را با ملزمات آماری می‌سنجد. اگر نوع بیماری تحت بررسی در جمعیت پرتو دیده زیاد مشاهده شود، ممکن است میدانین الکترومغناطیسی فعال بوده و محركی برای تشديد اين بيماري باشند. مردمي که نزديك به كابل‌های فشار قوي زندگي می‌کنند و كارگران با شغل الکترونيک با دز پرتودهي بالا، موارد آزمایشي اصلی هستند. اين قبيل مطالعات ميداني، بيشتر روی ريسک سلطان متمرکز شده است. با ارتباط دادن پرتودهي با بيماري‌ها، مطالعات ميداني ممکن است روند آماري پيدا کند. اما اين مطالعات با مشکلاتي مواجه است که عبارتند از: (۱) مکانیسم

مواد و روش‌ها

مطالعات in-vivo امواج الکترومغناطیسی: در مطالعات in-vivo پرتودهی انواع حیوانات توسط امواج الکترومغناطیسی مورد نظر می‌باشد. ناحیه تحقیق از مطالعات رفتاری تا مخاطرات بلند مدت را شامل می‌شود.

مواجه می کند. تعمیم نتایج حیوانی به انسان بسیار مشکل است(۲). تقسیم بندی سیستم‌های پرتودهی in-vivo مطالعات in-vivo با توجه به این که پرتودهی کل بدن مد نظر است یا بر اندام خاصی متمرکز است، به دو دسته پرتودهی تمام بدن و پرتودهی بخشی تقسیم می شوند. معیار دیگر برای طبقه بندی مطالعات، حرکت آزادانه حیوان در حین پرتودهی یا ثابت بودن آن است. جدول شماره ۱ خلاصه ای از مطالعات دسته بندی شده با توجه به این معیارها می باشد.

در این مطالعات از روش های سمتی شناسی برای بررسی عوامل مختلف ریسک، استفاده می شود. با توجه به این که پارامترهای متعددی روی دزیمتری اثر می گذارد و کمیت های دزیمتری مربوطه در حیوانات زنده قابل اندازه گیری نیستند، دز پرتودهی به وسیله شبیه سازی های عددی محاسبه می شود و با میانگین دقت خوبی به دست می آید. در مطالعات in-vivo برای آزمایشات حیوانی به تجهیزات آزمایشگاهی گران قیمت نیاز است. هم چنین محدودیت های اخلاقی مطالعات in-vivo را با مشکل

جدول شماره ۱. دسته بندی مطالعات in-vivo بازخوانی شده(۴)

پرتودهی بخشی	حرکت مهارشده	پرتودهی	آتن حلقوی	Chou et al., Bioelectromagnetics, 1999; Dubreuil et al., Behav. Brain Res., 2002; Leveque et al., IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2004; Jia et al., Bioelectromagnetics, 2007; Lopresto et al., Radiat. Protec. Dosimetry, 2006
			آتن موجی sleeve	Wake et al., IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Mar. 2007
			آتن نیم موج sleeve	Moros et al. Bioelectromagnetics, 1999; Swicord et al., Bioelectromagnetics, 1999; Schonborn et al., Bioelectromagnetics, 2004
			آتن تک قطی	Shirai et al., Bioelectromagnetics, 2005; Wang et al., IEEE Trans. Electromagn. Compat., 2006; Wake et al., IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Feb. 2007
پرتودهی بدن	حرکت آزادانه	پرتودهی	آتن حلقوی	Bahr et al., Radiat. Protec. Dosimetry, 2007
			TEM سولول	Arduino et al., Phys. Med. Biol., 2005
			موجبر مستطیلی	Eikkinen et al., Radiat. Res., 2001
			کاواک رزونانسی	Balzano et al., IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2000; Ebert et al., Phys. Med. Biol., 2005; Kainz et al., Phys. Med. Biol., 2006; Tillmann et al., Bioelectromagnetics, 2007; Oberto et al., Radiat. Res., 2007
پرتودهی تمام بدن	حرکت آزادانه	پرتودهی	آتن حلقوی	Chagnaud & Veyret, Int. J. Radiat. Biol., 1999; Adey et al., Radiat. Res., 2000
			آتن میکرواستریپ	Araneo & Celozzi, IEEE Trans. Electromagn. Compat., 2006
			معکس کننده شلجمی	Schelkshorn et al., Radiat. Protec. Dosimetry, 2007
			آتن مارپیچ تخت	Bartsch et al., Radiat. Res., 2002
			آتن ایستگاه BASE	Anane et al. Radiat. Res., 2003
			GTEM سولول	Bakos et al., Bioelectromagnetics, 2003
			موجبر مستطیلی	Aitken et al., Int. J. of Andr., 2005
			موجبر شعاعی	Hansen et al. IEEE Trans. Electromagn. Compat., 1999; Reinhardt et al., Radiat. Protec. Dosimetry, 2007; Lerchl et al., J. Pineal Res., 2007; Kumlin et al., Radiat. Res., 2007
			Flared par. plate	Wilson et al., Bioelectromagnetics, 2002

های تجاری قرار می‌گیرد، هم چنین میدان ایجاد شده همانند یک موج مسطح دارای مولفه‌های الکتریکی و مغناطیسی عرضی است^(۳). در برخی موارد از TEM cell برای استانداردسازی میدان الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. هم چنین در مطالعات بیوالکترومغناطیس و اندازه گیری‌های تطابق الکترومغناطیس، به عنوان چشممه استاندارد کاربرد دارد. همان طور که در شکل شماره ۱ مشخص است، سلول شامل یک اتصال دهنده داخلی و دیواره‌های کناری است. موج الکترومغناطیس بین رسانای داخلی و دیواره به صورت عرضی انتشار می‌یابد که پرتودهی در سلول را میسر می‌سازد^(۵). این سلول‌ها با انواع نگهدارنده‌های نمونه قابل استفاده هستند. اگر برای هر سلول تعداد کمی دیش استفاده شود، یکنواختی میدان بالا می‌رود. در صورت استفاده از تعداد زیاد دیش، اساساً یکنواختی کاهش یافته و دامنه میدان الکتریکی به سرعت از طریق دیوارهای سلول کاهش می‌یابد. بنا بر این TEM cell فقط برای مطالعات با دیش‌های خیلی پهن استفاده می‌کند که اتفاق برای پرتودهی باندهای خیلی پهن استفاده می‌شود باید در نظر داشت فلاسک‌های حاوی سلول ممکن است میدان را مختل کنند که دلیل آن انحرافات و نوسانات موجی تحریک شده به وسیله مدهای رزونانس درون فلاسک است^(۶).

در سیستم‌های پرتودهی In-vivo باید همان ملاک های سیستم‌های In-vitro را در نظر گرفت. علاوه بر این ملاحظات خاصی نیز لازم است. مثلاً ایجاد مشکلاتی که در مورد حرکت آزادانه حیوانات در اتفاق‌های پرتودهی پیش می‌آید، به طوری که حرکت آزادانه حیوان روی یکنواختی پرتودهی اثر منفی می‌گذارد و از طرف دیگر محدود کردن حرکت حیوان با این که یکنواختی پرتودهی را افزایش می‌دهد اما ممکن است باعث ایجاد استرس غیرقابل قبول در حیوان شود. به علاوه حیوانات می‌توانند حتی در نگهدارنده حرکت ناچیزی داشته باشند که این مورد هم در نتایج پرتودهی تاثیرگذار است. این موضوع به دلیل این که محاسبات اکثر فاکتورهای تاثیرگذار پرتودهی برای ارزیابی غیریکنواختی پرتودهی در طول آزمایش در نظر گرفته شوند، اهمیت دارد^(۲۰). سیستم‌های پرتودهی برای تابش تمام بدن و بخشی از بدن طراحی شده و جهت بررسی اثرات بیولوژیکی میدان‌های نزدیک و دور استفاده می‌شوند^(۲۰).

یافته‌های پژوهش

سیستم‌های پرتودهی تمام بدن اتفاق‌های الکترومغناطیس عرضی(TEM cell): اتفاق‌های الکترومغناطیس عرضی رایج ترین سیستم مورد استفاده از گذشته تاکنون است. به دلیل کوچکی به آسانی در محفظه



شکل شماره ۱. نمایی از یک اتفاق الکترومغناطیس عرضی

ایمنی آزمایشات است. به اندازه کافی بزرگ است تا مورد آزمایش به راحتی در آن جا شود و شدت میدان قابل کنترل است^(۷). در شکل شماره ۲ نمایی از سلول آورده شده است.

اتفاق GTEM: این نوع اتفاق نسخه فرکانس بالای سلول الکترومغناطیس عرضی است که به طور گسترده برای آزمایشات تطابق الکترومغناطیسی(EMC) استفاده می‌شود. این اتفاق محیط استانداردی برای



شکل شماره ۲. نمایی از اتاقک GTEM cell

الکترومغناطیسی با فرکانس ۹۱۵ مگاهرتز و شدت توان $2/4 \text{ W/m}^2$ و آهنگ جذب ویژه W/kg ۰/۶ قرار گرفتند(۸). اخیراً هم مطالعه‌ای برای بررسی تغییر رفتار موش پرتودهی شده و اثبات وجود استرس اکسایشی در خون آن با استفاده از این اتاقک صورت گرفته است. در این تحقیق موش‌ها طی سی روز و هر روز دو ساعت در معرض امواج ماکروویو با فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز با آهنگ جذب ویژه W/kg ۰/۰۸۴ قرار گرفته اند(۹).

موج بر شعاعی: موج برهای شعاعی برای پرتودهی تمام بدن انواع مختلفی از حیوانات طراحی شده اند. در این موج برها می‌توان حداقل ۱۲۰ حیوان را هم زمان پرتودهی کرد(شکل شماره ۳). حیوانات در یک حجم کوچک حرکت آزادانه دارند و در نگهدارنده‌های مخصوص قرار نگرفتند(۳).

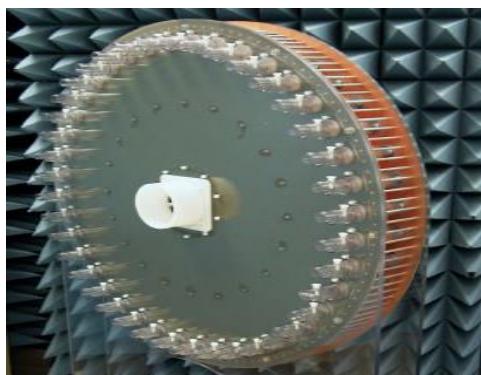
در اینجا چند مورد از مطالعات صورت گرفته با استفاده از اتاقک GTEM آورده شده است. نمونه‌ای از تحقیقات اولیه که با GTEM cell انجام شد مطالعه‌ای بود که توسط دکتر لو و همکاران در زمینه اثرات تابش امواج الکترومغناطیسی بر فشارخون موش صورت گرفت. این آزمایش با پرتودهی شش دقیقه‌ای امواج رادیوفرکانسی UWB از نوع پالسی با آهنگ جذب ویژه تمام بدن ۰/۰۷ W/kg انجام شد و مشخص گردید که فشارخون انقباضی و انبساطی پس از ۴۵ دقیقه تا چهار هفته بعد از پرتودهی به طور چشمگیری کاهش یافت(۳). مطالعه‌ای دیگر با استفاده از GTEM cell با پرتودهی امواج رادیوفرکانسی از نوع ماکروویو برای بررسی آسیب DNA در سلول‌های کلیه، کبد و مغز صورت گرفت. در این تحقیق موش‌های آزمایشگاهی در مدت دو هفته، هر روز یک ساعت در معرض میدان



شکل شماره ۳. نمایی از موج بر شعاعی

است و به تنظیم متناسب نیاز دارد. این سیستم‌ها برای پرتودهی تمام بدن حیوانات آزمایشگاهی استفاده می‌شوند. در شکل شماره ۴ نمونه‌ای از این سیستم پرتودهی نشان داده شده است.

سیستم چرخ و فلکی: این سیستم کاواک الکترومغناطیس شعاعی است که دارای دو صفحه TEM موازی است و از مرکز تغذیه شده و امواج TEM استوانه‌ای از آن خارج می‌شوند. این سیستم رزونانسی



شکل شماره ۴. نمایی از سیستم Ferris wheel

از این سیستم که یک موج بر صفحه موازی قیفی شکل در آن به کار رفته بود برای تولید موج الکترومغناطیس عرضی برای پرتودهی ۱۸ قفس حیوان نیز استفاده شد(۱۵). در آزمایشی دیگر بر روی موش‌ها، اتاقک پرتودهی به یک آتن شیپوری متصل شده بود و موش‌ها آزادانه در محفظه ای پلاستیکی حرکت می‌کردند(۱۶).

سیستم‌های پرتودهی بخشی Partial Body

سیستم چرخ و فلکی: نمونه‌ای از سیستم‌های پرتودهی بخشی، سیستم‌های پرتودهی سر از نوع چرخ و فلکی است. اگر چه دیگر قسمت‌های بدن هم ممکن است در معرض پرتو باشند ولی اندام هدف مغز موش می‌باشد. یک آتن تک قطبی یا دو قطبی دایره‌ای شکل در مرکز نگهدارنده حیوان قرار دارد(۱۷،۱۸). بازدهی چنین سیستمی با وزن حیوان تعییر می‌کند. هم چنین بازدهی به فرکانس نیز بستگی دارد. از طرفی هم با حرکت حیوان در اتاقک آهنگ جذب ویژه تعییر می‌کند(۱۹).

آتن حلقوی: سیستم‌های مورد استفاده برای پرتودهی بخشی، آتن‌های کوچکی هستند که در اطراف بافت هدف مثل گوش، چشم و مغز قرار می‌گیرند تا توان قابل توجهی در بافت مورد نظر جذب شود. صورتی که حیوانات به صورت چرخ و فلکی بسته شوند، می‌توان از یک آتن منفرد برای پرتودهی هم زمان چند حیوان استفاده کرد. معمولاً در مواقعی که مدت زمان پرتودهی طولانی می‌شود، برای پرتودهی دقیق‌تر، حیوانات با آتن‌هایی که بر

اتاقک انعکاسی یا Reverberation: این اتاقک‌ها محیطی برای آزمایشات تداخل الکترومغناطیسی و دیگر آزمایشات الکترومغناطیسی است. اتاقک‌ها از موادی با کمترین میزان جذب امواج الکترومغناطیسی پوشیده شده‌اند. به علت جذب کم حتی با توان ورودی کم هم شدت میدان بالا دست یافتنی است. اتاقک یک کاواک رزونانسی است بنا بر این توزیع مکانی شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی به شدت غیریکنواخت است. برای کاهش این غیریکنواختی از تنظیم‌کننده‌های استییر استفاده می‌شود. این تنظیم‌کننده‌ها، صفحات بازتاب کننده بزرگ فلزی هستند که می‌توانند در جهات مختلف حرکت کنند تا به شرایط مزدی مورد نظر برسند. کمترین فرکانس مفید یا LUF یک اتاقک به اندازه اتاقک و تنظیم‌کننده بستگی دارد. اتاقک‌های کوچک، LUF بزرگ تری نسبت به اتاقک‌های بزرگ دارند(۲۰). این سیستم برای حرکت آزاد حیوان تعییه شده است و یک محفظه رزونانس چندگانه است. دزیمتری در این مورد، بر اساس مقادیر مختلف آهنگ جذب ویژه با توجه به مکان و زمان در حالات تصادفی است(۲۱،۲۲).

اتاقک بدون انعکاس یا Anechoic: اتاقک پرتودهی Anechoic برای حرکات آزادانه حیوانات طراحی شده است در پژوهشی از یک سیستم Anechoic و یک منعکس کننده شلجمی با قطر ۳۲۰ سانتی متر برای پرتودهی صد حیوان با حرکت آزاد استفاده شد تا موج مسطح در فاصله کوتاه به دست آید(۲۳،۲۴). در مطالعه‌ای

روی سر قرار گیرند. این سیستم‌ها، پرتووده‌ی یک تلفن همراه استاندارد با آنتن دهی کامل را شبیه سازی می‌کردن(۲۰،۲۱).

سیستم‌های پرتووده‌ی تمام بدن: در دو مطالعه بر روی کارایی و سلامت انسانی، از یک سیستم پرتووده‌ی تمام بدن میدان- دور برای ساطع کردن سیگنال‌های GSMS و UMTS با شدت میدان الکتریکی القایی 1 V/m استفاده شد. بدین منظور در فاصله سه متری از شخصی که در اتاق بدون انکاس نشسته، یک آنتن Base station قرار داده شد. از روش FDTD برای محاسبات عددی استفاده شد(۲۲).

روش Ex-vivo: روش نوینی از مطالعه‌های آزمایشگاهی است که مربوط به اندازه گیری‌های صورت گرفته در بافت زنده و در محیط مصنوعی با کمترین تغییرات در شرایط بدن است. با وجود این که در این روش مشخصات شبیه به مطالعات In-vitro است، ولی تمرکز روی شرایط طبیعی بدن است. شیوه کار Ex-vivo بدین صورت است که سلول‌ها و بافت‌های زنده از اندام انسان یا حیوان جدا شده و در محیط آزمایشگاهی کشت داده می‌شود. آن‌ها برخلاف نمونه‌های In-vitro که عمر هفتگی و ماهانه دارند، فقط تحت یک شرایط استریل ظرف چند ساعت قابل بررسی هستند. چنین مطالعاتی در آزمایشگاه‌های پژوهشی انجام می‌شود و به بررسی اثرات مزمنی که ممکن است پس از پرتووده‌ی نسبتاً طولانی خود را نشان دهند، پرداخته می‌شود(۲۳).

بحث و نتیجه گیری

گستردگی استفاده از امواج الکترومغناطیس به گونه‌ای است که نه تنها جامعه انسانی بلکه کل حیات و محیط زیست را تحت تاثیر خود قرار داده است. مطالعاتی که تاکنون بر روی تاثیرات این امواج صورت گرفته سه حوزه بسیار مهم اثرات زیستی، اثرات روان شناختی و اثرات بالینی را در بر گرفته است. در این مطالعه به بررسی ساختار و چیدمان پرتووده‌ی در مطالعات In-vivo امواج الکترومغناطیسی پرداخته شده است. در مطالعات In-vivo پرتووده‌ی انواع حیوانات توسط امواج الکترومغناطیس مورد نظر می‌باشد. ناحیه تحقیق از مطالعات رفتاری تا مخاطرات بلند مدت را شامل می‌شود. در این مطالعات از روش‌های سمیت شناسی برای بررسی عوامل مختلف ریسک، استفاده می‌شود. هدف اصلی این سیستم‌ها تولید موج الکترومغناطیس با توجه به موضوع مورد مطالعه است که

بدن آن‌ها سوار شده‌اند، در نگهدارنده‌های پلاستیکی قرار داده می‌شوند. این کار باعث می‌شود که حرکات آن‌ها محدود گردد(۱۷،۱۸). سیستم‌های پرتووده‌ی با یک آنتن حلقوی که به سر حیوان بسته می‌شوند، موجب می‌گردد آهنگ جذب ویژه در جمجمه به صورت محسوسی افزایش یابد.

مطالعات انسانی: در این مطالعات اثرات پرتووده‌ی میدان الکترومغناطیسی را بر روی انسان و ریسک سلامت انسان بررسی می‌گردد و باید از نظر اخلاقی محدودیت‌های مطالعه انسانی رعایت شود. تعداد اشخاص تحت مطالعه محدود بوده و محدودیت‌های زیادی برای دستابشی اعمال می‌گردد، به طوری که ممکن است فقط اثرات ضعیف بررسی شود. بنا بر این نتایج و اطلاعات کمی در این زمینه وجود دارد. کمیت‌های دزیمتري در انسان مستقیماً قابل اندازه گیری نیستند، اما مدل‌هایی از بدن انسان وجود دارد که دزیمتري خوب و با دقت از بدن را با جزئیات نسبتاً دقیق تری ممکن می‌سازد. برخلاف حیوانات آزمایشگاهی، انسان‌ها با آگاهی از موقعیت ساطع کننده و راهنمایی ناظر می‌توانند در موقعیت مناسب نسبت به منبع قرار گیرند. این شرایط کنترل شده، بستر دزیمتري دقیق تری را میسر می‌کند. از دیگر مزایای مطالعات انسانی چیدمان ساده و کم هزینه است. با استفاده از دیدگاه‌های مختلف، مطالعات میدانی و آزمایشگاهی یکدیگر را کامل کرده و با دادن اطلاعات مفید به آژانس‌های سلامت، کمک شایانی در تهیه دستوالعمل‌های حفاظت در برابر پرتوهای غیریونیزان می‌کنند(۲). از خصوصیات مهم دیگری که سیستم‌های پرتووده‌ی برای مطالعات انسانی باید داشته باشند، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد؛ دارا بودن پارامترهای پرتووده‌ی مناسب، پرتووده‌ی Blinded و قرار نگرفتن در معرض عوامل فیزیکی و شیمیایی(۳).

سیستم‌های پرتووده‌ی Partial body: در مطالعات انسانی چند نوع سیستم به کار رفته است. در برخی از این مطالعات از محصولات تجاری همراه به عنوان منبع پرتو استفاده می‌شود. بررسی‌های دزیمتري بر پایه یک روش عددی که با اندازه گیری‌های فانتوم کالیبره شده، انجام می‌گیرد. برای هر سیستم توزیع آهنگ جذب ویژه در مغز با جزیات تخمین زده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که توزیع آهنگ جذب ویژه با توجه به انواع مختلف تلفن همراه متفاوت است(۱۹). در روشی دیگر برای آزمایشات تلفن همراه، سیستم‌های آنتنی ساخته شدند که به راحتی در تمام روز و حتی در طول شب می‌توانستند بر

و فلکی، اتفاک انکاسی، اتفاک بدون انکاس و آتن حلقوی اتفاک های پرتودهی در مطالعات In-vivo امواج الکترومغناطیسی می باشند که در این مقاله به بررسی آن ها پرداخته شد.

سپاسگزاری

از تمامی استادی، پژوهشگران و همکاران محترم در دانشگاه شهید بهشتی، که در به نتیجه رسیدن این تحقیق تلاش فراوان کردند، تشکر و سپاسگزاری می شود.

شامل همه پارامترهای پرتودهی و تنوع بالای زمانی و مکانی است. با توجه به این که در مطالعات In-vivo پرتودهی کل بدن یا اندام خاصی مد نظر است، این پرتودهی ها به دو دسته پرتودهی تمام بدن و پرتودهی بخشی تقسیم می شوند. معیار دیگر برای طبقه بندی مطالعات، حرکت آزادانه حیوان در حین پرتودهی یا ثابت بودن آن است. اتفاک های الکترومغناطیس عرضی (TEM)، اتفاک های GTEM (cell)، موج بر شعاعی، چهار سیستم چرخ

References

- 1.Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: Health effects and research needs. Bioelectromagnetics 1998;19:1-19.
- 2.Oesch W. Controlling software for EMF laboratory studies. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr; 2006.P.1634-6.
- 3.Swerdlow A. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2009.
- 4.Paffi A, Pinto R, Liberti M, Apollonio F, Lovisolo G, d'Inzeo G, editors. Review of exposure setups for biological experiments in the radiofrequency range specifications and emerging trends. URSI General Assembly; 2008.
- 5.Dlugosz T, Trzaska H. On experimental setup in bioelectromagnetics. Environmetalist 2009;29:124-9.
- 6.Ji Z, Hagness C, Booske H, Mathur S, Meltz ML. FDTD analysis of a gigahertz TEM cell for ultra-wideband pulse exposure studies of biological specimens. Biom Engin 2006;53:780-9.
- 7.Nothofer A, Alexander M, Bozec D, Marvin A, McCormack L. The use of GTEM cells for EMC measurements: National Physical Laboratory; 2003.
- 8.Trošić I, Pavičić I, Milković-Kraus S, Mladinić M, Želježić D. Effect of electromagnetic radiofrequency radiation on the rats' brain, liver and kidney cells measured by Comet assay. Collegium Antropologicum 2011;35:1259-64.
- 9.Deshmukh PS, Banerjee BD, Abegaonkar MP, Megha K, Ahmed RS, Tripathi AK, et al. Effect of low level microwave radiation exposure on cognitive function and oxidative stress in rats. Ind J Biochem Bioph 2013;50:114-9.
- 10.Mendes H, editor. A new approach to electromagnetic field strength measurements in shielded enclosures. Wescon Technical Papers, Western Electronic Show and Convention; 1968.
- 11.Jung K, Kim T, Kim J, Doh H, Chung Y, Choi J, et al. Development and validation of reverberation-chamber type whole-body exposure system for mobile-phone frequency. Electromagn Biol Med 2008; 27:73-9.
- 12.Kainz W, Nikoloski N, Oesch W, Berdinas-Torres V, Fröhlich J, Neubauer G, et al. Development of novel whole-body exposure setups for rats providing high efficiency, National Toxicology Program (NTP) compatibility and well-characterized exposure. Phys Med Biol 2006;51:52-11.
- 13.Schelkshorn S, Tejero S, Detlefsen J. Exposure setup for animal experiments using a parabolic reflector. Rad Protec Dosimetr 2007;124:27-30.
- 14.Tejero S, Schelkshorn S, Detlefsen J. Concept for the controlled plane wave exposure for animal experiments using a parabolic reflector. Advanc Radio Sci 2005; 3:233-8.
- 15.Wilson BW, Faraone A, Sheen D, Swicord M, Park W, Morrissey J, et al. Space efficient system for small animal, whole body microwave exposure at 1.6 GHz. Bioelectromagnetics 2002;23:127-31.
- 16.Jianqing W, Fujiwara O. Dosimetry evaluation of a whole body exposure setup for small animal at 2.45 GHz. IEICE Transact Communicat 2002;85:2963-5.
- 17.Schönborn F, Poković K, Kuster N. Dosimetric analysis of the carousel setup

- for the exposure of rats at 1.62 GHz. *Bioelectromagnetics* 2004;25:16-26.
18. Wake K, Mukoyama A, Watanabe S, Yamanaka Y, Uno T, Taki M. An exposure system for long-term and large-scale animal bioassay of 1.5-GHz digital cellular phones. *Microwave Theory Techn* 2007;55:343-50.
19. Kuster N, Schuderer J, Christ A, Futter P, Ebert S. Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. *Bioelectromagnetics* 2004;25:524-9.
20. Bahr A, Dorn H, Bolz T. Dosimetric assessment of an exposure system for simulating GSM and WCDMA mobile phone usage. *Bioelectromagnetics* 2006;27:320-7.
21. Manteuffel D, Bahr A, Waldow P, Wolff I, editors. Numerical analysis of absorption mechanisms for mobile phones with integrated multiband antennas. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*; 2001.
22. Regel SJ, Negovetic S, Röösli M, Berdiñas V, Schuderer J, Huss A, et al. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environm Health Perspect.* 2006;114:12-7.
23. Boice Jr JD, McLaughlin JK. Epidemiologic Studies of Cellular Telephones and Cancer Risk,—A Review. *Hospital* 1999;8: 199-17.



The study of Radiancy Design in In Vivo Studies about Biological Effects of Electromagnetic Waves

Anvari A^{1*}, Tavakoli H²

(Received: January 30, 2014 Accepted: August 24, 2014)

Abstract

Introduction: In the last years, the usage of electromagnetic fields (EMF) has anomalously increased in human life. In according to statistics, there are over than 4 billions of mobile phone subscribers in 2012. So performing the extensive researches is a necessity to investigate and evaluate the biological effects of electromagnetic waves.

Materials & Methods: Laboratory studies about the effects of waves on biological tissues in controlled laboratory situations, are devided into three groups: human studies, in-vivo studies and in-vitro studies. In the last years, designing of radiancy systems for laboratory studies has been improved considerably.

Findings: The main goal of this study was investigating on design and structure of radiation in in vivo studies of electromagnetic waves. According to published

articles in valid scientific journals during 10 past years, 33 radiation rooms have been designed for in-vivo studies. The main goal of these systems is producing electromagnetic waves, regarding to the subject, which includes all of radiation parameters and high diversity in time and location.

Discussion & Conclusion: The purpose of in-vivo studies is to exposure all kinds of animals by electromagnetic waves. The research realm includes behavioral studies to long-term adventures. In these studies, toxicology procedures are used to study different risk factors. The radiation room should be designed in a way that would be included all biological and electromagnetic aspects.

Keywords: In vivo studies, RF, Bioelectromagnetic

1. Dept of Radiation Medicine Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Applied Neurosciences Research Center, Baqiyatallah University of Medical Science, Tehran, Iran

* Corresponding author Email: A_Anvari@sbu.ac.ir